

Linde

GROSS-SAUERSTOFF-
ANLAGEN

NACH DEM LINDE-FRÄNKEL-VERFAHREN

Auszug aus der Werbeschrift der
GESELLSCHAFT FÜR LINDE'S EISMASCHINEN
A.G.
Höllriegelskreuth bei München

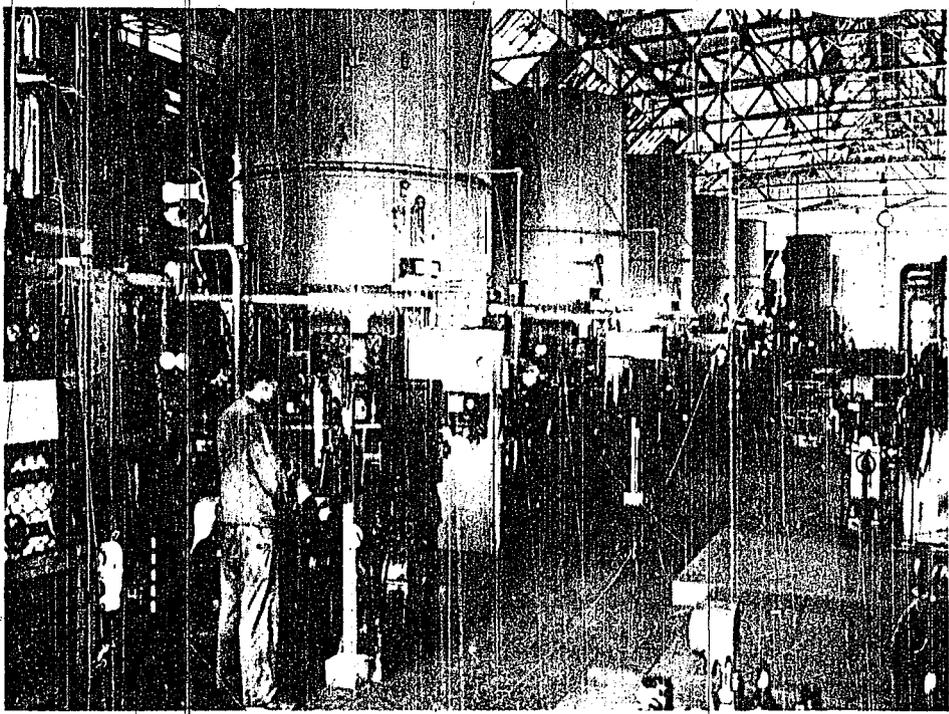


Abb. 1: Linde-Fränkl-Anlage für 25000 cbm h Sauerstoff (98% o₂).

Speicheraustauscher statt Rohraustauscher.

Der Gestehungspreis des Sauerstoffs hängt ab vom Leistungsverbrauch der Erzeugungsanlage, ihrem Bedarf an Kühlwasser, Schmiermitteln und Chemikalien, von der Höhe der aufzuwendenden Löhne für Überwachung und Bedienung und schließlich von den Anschaffungs-, Aufstellungs- und Unterhaltungskosten. Alle diese Kosten hängen ferner mehr oder weniger von dem angewandten Erzeugungsverfahren ab. Die bekanntesten und bisher am meisten gebrauchten Verfahren sind die klassischen von Linde, Claude, Heylandt. Wiewohl man annehmen könnte, daß die beiden letzten einen billigeren Sauerstoff zu gewinnen gestatteten, da bei ihnen Kälte durch Entspannung unter Leistung äußerer Arbeit erzeugt wird, sind in der Praxis diese drei Verfahren doch ziemlich gleichwertig. Dabei liefern alle drei einen Sauerstoff, der verhältnismäßig teuer ist. Auch andere Vorschläge, die später zur Herabsetzung der Erzeugungskosten gemacht wurden, führten nicht zum Ziel oder hatten nur geringen Erfolg. Der Grund hierfür liegt darin, daß die praktische Ausführung der Anlagen bisher immer weit hinter den theoretischen Forderungen und Erwartungen zurückblieb. Die Folge war, daß der Sauerstoff lange Zeit nur dort benutzt werden konnte, wo sein verhältnismäßig hoher Preis aufgewandt werden durfte. Seine oft vorgeschlagene Verwendung zu chemischen und metallurgischen Verfahren in großem Maßstab mußte seines Preises wegen unterbleiben.

Eine Änderung trat ein, als der Vorschlag von Matthias Fränkl, an Stelle von Rohraustauschern (Rekuperatoren) die in der Hüttenindustrie vielfach benutzten Speicheraustauscher (Regeneratoren) auch in der Kältetechnik einzuführen, seine Brauchbarkeit bewies. Das Verfahren wurde von der Gesellschaft für Linde's Eismaschinen A.G. ausgebaut, theoretischen und praktischen Untersuchungen unterworfen und in immer wachsendem Maße angewandt. Es zeigte bald seine Überlegenheit vor den klassischen Verfahren, vor allem in Großanlagen; denn durch den Einbau der Speicheraustauscher konnte man den Leistungsverbrauch der Luftzer-

legungsanlagen und ihren Bedarf an Chemikalien erheblich senken und durch die Möglichkeit, sehr viel größere Einheiten als bisher zu bauen, auch Bedienungs- und Anschaffungskosten wesentlich vermindern. Mit dem neuen Verfahren, dem **Linde-Fränk-Verfahren**, gelingt es daher, die Gewinnung des Sauerstoffs so weit zu verbilligen, daß viele Anwendungen in der chemischen Industrie und in Hüttenwerken ermöglicht werden und sein niedriger Preis sogar zur Erfindung und Einführung neuer chemischer und metallurgischer Arbeitsweisen den Anreiz gibt.

Die Wärmeaustauscher der klassischen Verfahren sind Rohraustauscher. Grundsätzlich bestehen diese aus einem weiteren Außenrohr, durch das eine große Anzahl von engen Röhren hindurchgeführt ist. Durch die Röhren tritt z. B. die zu zerlegende Luft in den Apparat ein, während ein Zerlegungserzeugnis, Sauerstoff oder Stickstoff, durch das Außenrohr aus dem Apparat — in der Regel im Gegenstrom zur Luft — austritt. Die Luft gibt durch die Rohrwand hindurch ihre Wärme an das austretende Gas ab, wobei sie selbst abgekühlt und das Gas auf die Temperatur der Luft angewärmt wird. Je besser man zur Vermeidung von Verlusten den Wärmeaustausch machen will, um so größer müssen die Übertragungsflächen und um so höher müssen die Gasgeschwindigkeiten sein. Große Übertragungsflächen aus Rohren sind aber teuer, da bei tiefen Temperaturen in den meisten Fällen nur Kupfer verwandt werden kann und die Löhne zur Anfertigung der Rohrbündel recht hoch sind. Außerdem bewirken hohe Gasgeschwindigkeiten bei langen Gaswegen große Druckverluste, die den Leistungsverbrauch der Anlage heraufsetzen. Besonders ins Gewicht fallen aber die Herstellungskosten und die Druckverluste, wenn ein Gaszerlegungsverfahren gewählt wird, das an sich die Anwendung niedrigerer Drücke gestattet. Denn gerade bei kleinem Druckunterschied zwischen den die Wärme austauschenden Gasen sind besonders große, teurere Übertragungsflächen notwendig und daher auch hohe Druckabfälle unvermeidlich. Dadurch aber werden die aufzuwendenden Drücke doch wieder heraufgesetzt, und ein Teil der erwarteten Vorteile geht verloren. Der Bau eines gut bemessenen Rohraustauschers ist in den meisten Fällen recht schwierig, da ein Ausgleich zwischen sich entgegenstehenden Forderungen gefunden werden muß. Daher kommt es auch, daß die praktischen Ergebnisse stets viel schlechter sind, als die Theorie zu erzielen verspricht.

Da die neuen Speicheraustauscher indessen günstigere Eigenschaften als die Rohraustauscher besitzen, wird durch ihre Anwendung eine billigere und erfolgreichere Durchführung der Zerlegungsverfahren ermöglicht. Die Regeneratoren, wie sie beispielsweise bei Siemens-Martin-Öfen verwandt werden, haben allerdings im besten Falle einen Wirkungsgrad von kaum 80%. Fränkl wies aber den Weg, solche Austauscher mit Wirkungsgraden von 99% und darüber zu bauen. Nach seinem Vorschlag sind die Speicheraustauscher (Kältespeicher, Abb. 2) 4—5 m hohe zylindrische Gefäße mit einem dem Gasdurchsatz entsprechenden Durchmesser, die mit einer metallischen Füllmasse möglichst großer Oberfläche gefüllt sind. An den oberen und unteren Enden sind Steuervorrichtungen zur Schaltung der Gasströme angebracht. Meistens verwendet man an den oberen Enden Doppelsitzventile, die von einer Schaltmaschine aus durch Druckluft betätigt werden, und an den unteren Enden selbsttätig wirkende (federbelastete) Ventile oder Klappen. Die Speicher arbeiten jeweils paarweise zusammen, weshalb bei der Luftzerlegung 4 Speicher notwendig sind: 2 für den Kälte-austausch zwischen Luft und Stickstoff und 2 für den Austausch zwischen Luft und Sauerstoff. Die Steuervorrichtungen werden nun

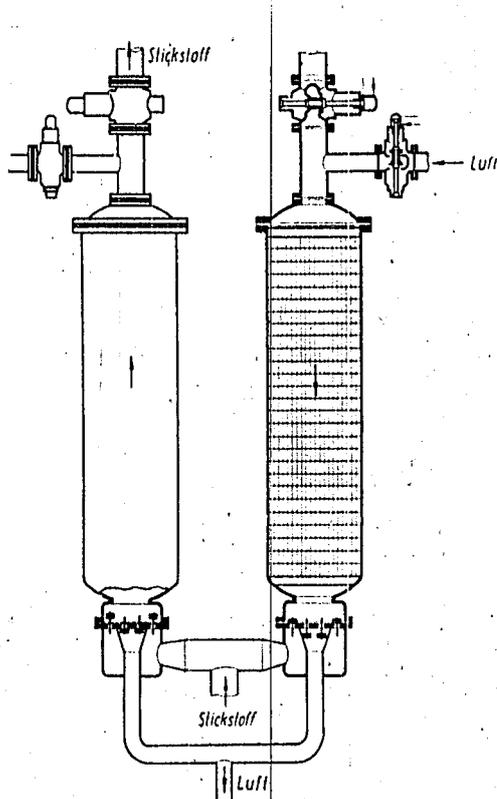


Abb. 2: Schema eines Speicheraustauscher-Paares.

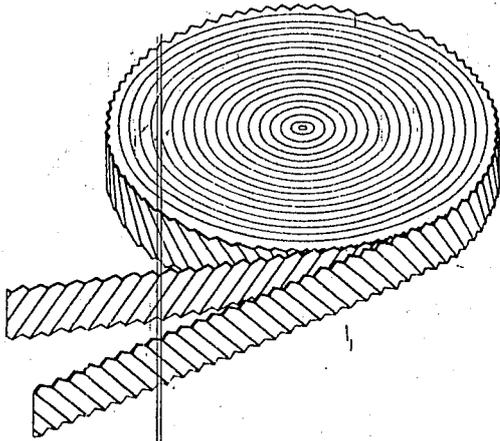


Abb. 3: Spiralthorde für Speicheraustauscher.

der zuerst beschriebenen Richtung durch die Speicher geleitet. So wiederholt sich in regelmäßigen Zeitabständen das Spiel. Die Dauer der Schaltzeit richtet sich nach der Wärmeaufnahmefähigkeit der Speicherermasse und nach der Größe der Temperaturschwankungen, die man an den oberen und unteren Speicherenden zulassen will. Sie beträgt im Gegensatz zu den in der Hüttenindustrie gebräuchlichen Regeneratoren nur einige wenige Minuten. Als Füllmasse benutzt man schmales, dünnes, geriffeltes Metallband, das man zu Spiralen aufwickelt (Abb. 3) und als Horden in großer Zahl aufeinanderschichtet.

In der Regel werden auch die Speicheraustauscher im Gegenstrom betrieben. Sie sind dann ebenfalls Gegenströmer.

Die Anwendung der Speicheraustauscher bringt nun die folgenden Vorteile:

Bei der beschriebenen Anordnung können infolge der eigentümlichen Form der Spiralthorden auf kleinem Raum sehr große Heizflächen untergebracht werden: in 1 m^3 mehr als 1000 m^2 . Und dabei werden durch sie so günstige physikalische Bedingungen geschaffen, daß man selbst bei niedrigen Arbeitsdrücken und fast beliebig gutem Kälteausaustausch nur sehr geringe Druckverluste erhält. Man kann die Speicher so bemessen, daß der Druckabfall in ihnen nicht mehr als $0,1-0,15 \text{ at}$ einschließlich der Ventile an den oberen und unteren Enden beträgt. Man hat also nicht nur den Gewinn des hohen Wirkungsgrades der Wärmeübertragung, sondern auch den, niedrige Drücke ohne Nachteil anwenden zu können, also in mehrfacher Hinsicht die Möglichkeit, Energie zu sparen. Hinzu kommt noch, daß der Beschaffungspreis der Speicheraustauscher auch bei großen Ausmaßen nicht hoch ist, da im Gegensatz zu den Rohraustauschern die Speichermäntel aus Eisen und die Horden, ebenfalls aus billigem, devisensparendem Werkstoff bei niedrigen Lohnkosten hergestellt werden können. Es können daher viel größere Apparateeinheiten gebaut werden, die verhältnismäßig billiger zu stehen kommen, auch mit verhältnismäßig geringeren Kosten aufzustellen sind und verhältnismäßig niedrigere Bedienungskosten erfordern.

Ein weiterer großer Vorteil der Speicheraustauscher ist der, daß die in ihnen abzukühlende Luft nicht von Kohlensäure befreit und nicht getrocknet zu werden braucht. Bekanntlich muß dies bei Benutzung von Rohraustauschern unbedingt geschehen, da sonst schon nach sehr kurzer Betriebszeit die Zerlegungsapparate durch feste Kohlensäure und Wassereis verstopft würden. Bei Verwendung von Speicheraustauschern ist dies nicht der Fall. Denn in den Speichern werden aus der Luft, während sie durch sie hindurchströmt, mit zunehmender Abkühlung zuerst der Wasserdampf und weiter unten die Kohlensäure ausgeschieden und an den kalten Hordenflächen niedergeschlagen. Nach dem Umschalten werden sie aber wieder durch Sauerstoff und Stickstoff, die vollkommen kohlensäurefrei und trocken von der Rektifikation herkommen, verdunstet und aus den Speichern mit herausgenommen. Damit die Niederschläge restlos verdampft werden, muß allerdings der Rauminhalt der austretenden Gase etwas größer sein als der der eintretenden Luft. Dies ist aber durch geeignete Maßnahmen

so gestellt, daß einmal beispielsweise der im Apparat erzeugte Stickstoff durch den 1. Speicher von unten nach oben hindurchströmt, dabei die Speichermasse abkühlt und selbst von ihr Wärme aufnimmt, während gleichzeitig die zu zerlegende Luft durch den 2. Speicher von oben nach unten hindurchstreicht, dabei ihre Wärme an die Speichermasse abgibt und selbst heruntergekühlt wird. Nach Ablauf einer gewissen Zeit werden die Steuervorrichtungen (Schaltventile) so umgestellt, daß jetzt der Stickstoff durch den 2. Speicher strömt und diesen, der vorher angewärmt worden ist, wieder abkühlt, während die Luft durch den 1. Speicher in den Apparat eintritt und sich an der während der vorausgegangenen Schaltzeit kalt gewordenen Speichermasse abkühlt. Nach Ablauf der gleichen Zeit wird wieder geschaltet und die Gase in

allen Fällen leicht zu erreichen. Durch Wegfall der Einrichtungen zur Trocknung und Kohlenure-Ausscheidung wird aber nicht nur an Energie, an Chemikalien und an Löhnen für die Bedienung gespart, sondern auch wieder der Anschaffungspreis der Anlage vermindert.

Die geschilderten Vorzüge der Speicheraustauscher haben ferner eine sehr wichtige Folge: In Verbindung mit ihnen werden einige Verfahren der Kälteerzeugung und der Rektifikation, die Energieersparnis bezwecken, erst lohnend. Ja, sie ermöglichen manchen Verfahren überhaupt erst ihre Anwendung.

Dies sind vor allem die Verfahren von Claude und Heylandt, die zur Kälteerzeugung nicht nur die einfache Drosselung verdichteter Gase in einem Ventil, sondern die viel wirksamere Entspannung in einer Maschine unter Leistung von äußerer Arbeit benutzen. Diese Verfahren wurden zwar auch früher und werden noch heute recht häufig angewandt; ihre Energieersparnis ist indessen bei Verwendung von stetig arbeitenden Rohraustauschern nicht erheblich. Aus diesem Grunde auch blieb man gern beim Linde-Verfahren, da es einfacher ist und die etwas empfindlichen Entspannungsmaschinen, die besonders sorgfältiger Wartung bedürfen, vermeidet. Zusammen mit Speicheraustauschern dagegen bringen diese Arten der Kälteerzeugung mehr Gewinn, indem sie den Arbeitsdruck erheblich zu senken und den Anteil der auf hohen Druck zu fördernden Luft auf wenige Prozent der Gesamtluft zu vermindern gestatten. Da es möglich ist, mit Speicheraustauschern große Einheiten zu bauen und deshalb die arbeitestend zu entlassenden Gasmengen groß werden, kann man Entspannungsturbinen statt der Kolbenmaschinen in Claude verwenden. Die für den besonderen Zweck eigens geschaffene Baupart Linde-Sürth hat einen recht guten thermodynamischen Wirkungsgrad und ist äußerst anspruchslos hinsichtlich Bedienung und Wartung. Auch die gleichzeitige Anwendung von Heylandt-Maschine (Hochdruck-Kolbenmaschine) und Turbine kann in bestimmten Fällen in Frage kommen und die Kälteerzeugung dann besonders wirtschaftlich gestalten.

Von den Verfahren zur Verbesserung der Rektifikation werden besonders zwei wichtig, durch die an Energie für den Zerlegungsvorgang dadurch gespart werden soll, daß sie die Rektifikation unter günstigeren Bedingungen, als bisher üblich, vor sich gehen lassen. Das eine Verfahren beruht auf der Gleichstrom-Verdampfung oder Rücklaufverflüssigung, die ebenfalls von Claude vorgeschlagen wurde. Es kann dann angewandt werden, wenn Sauerstoff von geringerer Reinheit hergestellt werden soll. Der grundsätzliche Aufbau eines Gleichstromverdampfers ist folgender (Abb. 4): Ein Rohrbündel, das aus vielen dünnen Röhren besteht, ist in einem länglichen zylindrischen druckfesten Gefäß angeordnet. Durch die Röhren läßt man von oben nach unten ein flüssiges Sauerstoff-Stickstoff-Gemisch hindurchströmen und es dabei auf seinem Wege nach unten durch Wärmezufuhr aus dem Außenraum allmählich vollständig verdampfen. Die entstehenden Dämpfe werden im gleichen Strom mit der Flüssigkeit nach unten geführt. Infolge der Gleichgewichtsgesetze muß die Flüssigkeit auf ihrem Wege nach unten allmählich an Sauerstoff angereichert werden; d. h. die oben verdampfende Flüssigkeit hat einen kleineren Sauerstoffgehalt (nämlich denjenigen des zu erzeugenden Sauerstoffgemisches) und ist kälter, während der aus ihr sich entwickelnde Dampf nur einige Prozent Sauerstoff enthält, und der letzte Rest der unten verdampfenden Flüssigkeit hat einen hohen Sauerstoffgehalt und ist wärmer, während der dort gebildete Dampf den Gehalt des zu erzeugenden Sauerstoffgemisches hat. Die Wärme zur Verdampfung des flüssigen Gemisches führt die Niederdruckluft zu, die durch den Außenraum um das Rohrbündel herum nach oben geleitet wird. Ein Teil der Niederdruckluft verflüssigt sich hierdurch und läuft außen an den Röhren herab der Luft entgegen. Dabei wird der Gehalt der herablaufenden Flüssigkeit an Sauerstoff langsam höher und derjenige der aufsteigenden Dämpfe niedriger, so daß oben am Kopf des Gefäßes Stickstoff mit nur wenigen Prozent Sauerstoff ankommt. Die unten an den Röhren zurücklaufende Flüssigkeit wird unten gesammelt und dann nach oben in die Röhren des Rohrbündels entspannt. Im Außenraum unten an den

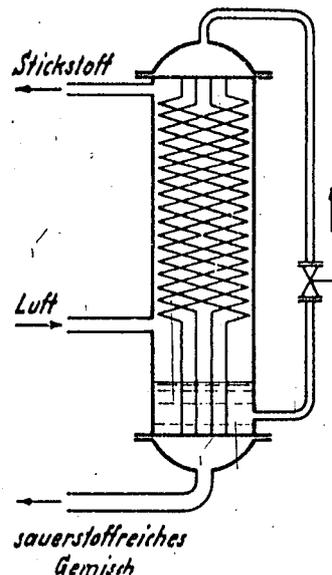
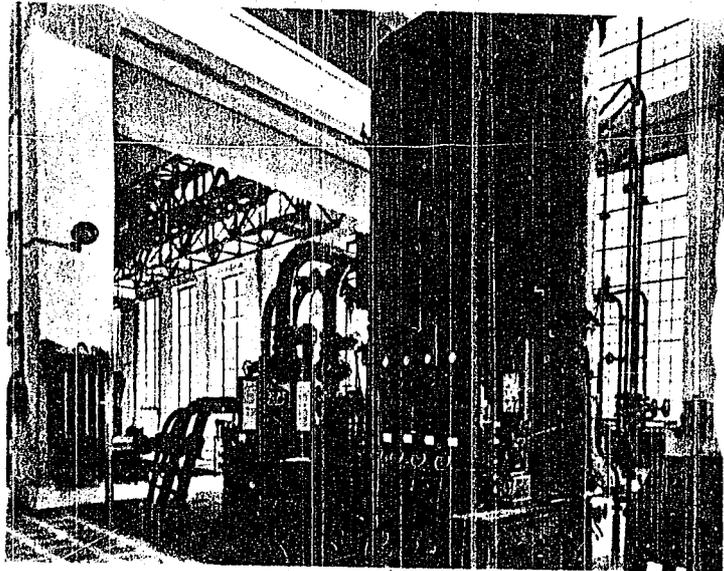


Abb. 4: Gleichstromverdampfer.

Abb. 5: Linde-Fröanklin-
lage für 600 cbm/h Sauer-
stoff (98% o).



Röhrchen verflüssigt sich also Luft dadurch, daß innerhalb der Röhrchen eine sauerstoffreiche Flüssigkeit verdampft, und schließlich oben im Außenraum verflüssigt sich Stickstoff dadurch, daß in den Röhrchen eine sauerstoffarme Flüssigkeit verdampft. Damit der Vorgang eintritt, braucht daher die Luft nur auf einen verhältnismäßig niedrigen Druck verdichtet zu werden, im Gegensatz zu einem Kondensator über der Vorzerlegungssäule (Drucksäule) eines gewöhnlichen Zweisäulenapparates. Denn dort muß die Luft so hoch verdichtet werden, daß sich reiner Stickstoff durch Verdampfung des reinsten flüssigen Sauerstoffs, der im Apparat hergestellt wird, also bei hoher Temperatur, verflüssigen kann. Läßt man das Sauerstoff-Stickstoff-Gemisch in den Röhrchen bei etwa Atmosphärendruck sieden, so muß die Luft auf nicht ganz 1,5 atü verdichtet werden. Das erzeugte Gemisch wird dabei etwa 42% Sauerstoff enthalten. Durch arbeitsteilige Entspannung des vom Kopf des Gleichstromverdampfers kommenden Stickstoffs kann die für den Vorgang notwendige Kälte erzeugt werden. 60- bis 80proz. Sauerstoff kann man gewinnen durch Verbindung eines Gleichstromverdampfers mit einer Rektifikationssäule.

Ein zweites Verfahren war von Lachmann angegeben worden: Bei einem Zweisäulenapparat der gewöhnlichen Bauart wird die gesamte zu zerlegende Luft in die 1. (Vorzerlegungs-, Druck-) Säule unter dem Druck dieser Säule eingeführt. Dadurch wird bewirkt, daß im unteren Teil der 2. Rektifikationssäule (oberen Säule) mehr Dämpfe aufsteigen und im oberen Teil dieser Säule mehr Waschflüssigkeit herabrieselt, als es für eine genügende Rektifikationswirkung notwendig wäre. D. h.: Der Austausch geht unter unnötig großen Temperaturunterschieden vor sich und daher auch unter unnötig hohem Leistungsverbrauch. Dieser kann nach Lachmann vermindert werden, wenn man einen Teil der zu zerlegenden Luft nur auf den Druck der 2. Säule verdichtet, auf Verflüssigungstemperatur abkühlt und in die 2. Säule an der Stelle einbläst, an der die aufsteigenden Dämpfe ungefähr Luftzusammensetzung haben. Theoretisch könnte man etwa 44% der Luft unmittelbar in die obere Säule einführen und entsprechend an Verdichtungsleistung sparen. Aber vor Einführung der Speicheraustauscher konnte man — wieder wegen der Unzulänglichkeiten der stetig arbeitenden Gegenströmer — dieses Verfahren nicht ausnutzen.

Auf die Rektifikation in der oberen Säule wirkt es sich ähnlich aus, wenn man zwar die ganze Luftmenge in die Drucksäule einführt, am Kopf dieser Säule aber einen Teil des Stickstoffs gasförmig entnimmt und diesen Teil nach Entspannung in einer Claude-Maschine oder Linde-Turbine unmittelbar dem durch die Speicheraustauscher abziehenden Stickstoff heimischt. Dadurch wird erreicht, daß in der oberen Säule in ihrem unteren Teil die aufsteigenden Dämpfe und in ihrem oberen Teil die Waschflüssigkeit vermindert werden. Die arbeitsteilige Entspannung des entnommenen Stickstoffs vom Drucksäulendruck auf den sehr geringen Druck vor den Stickstoffspeichern liefert dabei den größten Teil der erforderlichen Kälteleistung.

Einige nachteilige Eigenschaften, die verhindern, daß in jedem Falle das Linde-Fränkli-Verfahren angewandt werden kann, besitzen die Speicheraustauscher allerdings auch. So eignet sich dieses Verfahren nicht dazu, Gase von äußerster Reinheit herzustellen, wie es die klassischen Verfahren vermögen. Denn, wie es oben beschrieben wurde, durchströmen die zu zerlegende Luft und die gewonnenen Gase nacheinander dieselben Räume der Speicheraustauscher. Trifft man keine besonderen Schaltmaßnahmen, so muß sich jedesmal beim Umschalten die gerade in einem Speicher befindliche Luft in die Leitung des Sauerstoffs oder Stickstoffs entspannen und diese Gase verunreinigen. Um diesen Übelstand zu mildern, bringt man einen ebenfalls durch die Schaltmaschine gesteuerten Vorauslaß an, der jedesmal die Luft erst ins Freie auspuffen läßt, ehe der betreffende Speicher mit der Reingasleitung verbunden wird. Indessen wird dadurch, daß man der Ausbeute wegen diesen Vorauslaß nicht allzulange betätigen darf, und man andererseits die Schaltventile auch bei größter Sorgfalt nicht dauernd vollkommen dicht halten kann, die erzielbare Gasreinheit begrenzt. Apparate mit Speicheraustauschern sind daher nicht brauchbar zur Herstellung von Sauerstoff mit einer Reinheit von 99,7%, wie er zum Schneiden gefordert wird, oder von Stickstoff mit einem höchsten Sauerstoffgehalt von nur 0,02%, wie er für die Ammoniaksynthese verlangt wird. Immerhin kann aber, wenn nötig, Sauerstoff mit einer Reinheit von 99% oder Stickstoff mit einem Gehalt von weniger als 0,2% Sauerstoff hergestellt werden. Sollten wirklich große Mengen reinsten Sauerstoffs benötigt werden, so müßte man für den Kälteausch zwischen Luft und Sauerstoff Rohraustauscher verwenden; für etwa $\frac{1}{5}$ der Luft wenigstens könnte man dann doch Speicheraustauscher mit ihren Vorteilen benutzen. Auch kleinere

Mengen ganz reinen Stickstoffs kann man in Linde-Fränkli-Anlagen durch eine einfache Zusatzeinrichtung nebenher gewinnen.

An dieser Stelle muß ferner darauf aufmerksam gemacht werden, daß die aus Speicheraustauschern austretenden Gase — entsprechend den obigen Ausführungen über die Wasser- und Kohlensäureausscheidung — soviel Feuchtigkeit und Kohlensäure enthalten als die Luft, die durch dieselben Speicher eingeführt wird, mit sich hereinbringt. Ein Fehler dürfte dies wohl in den wenigsten Fällen sein. Durch eine einfache Schaltmaßnahme kann aber auch hier wenigstens ein Teil der erzeugten Gase trocken und kohlensäurefrei gewonnen werden.

Aus der Eigenart der Arbeitsweise der Speicheraustauscher folgt ein weiterer Nachteil. Die Luftmengen nämlich, die beim Schalten jedesmal in die erzeugten Gase oder durch den Auspuff ins Freie geblasen werden, gelangen nicht zur Zerlegung in den Trennapparat. Die Ausbeute der Anlage an reinen Gasen wird dadurch herabgesetzt, und das um so mehr, je höher der Druck der eintretenden Luft ist. Aber auch hier gelingt es, durch besondere Schaltmaßnahmen diese Verluste in erträglichen Grenzen zu halten, so daß Ausbeuten an reinem Gas von 90% und mehr erzielt werden können.

Ein gewisser Nachteil der Linde-Fränkli-Anlagen liegt schließlich darin, daß sie etwas verwickelter als die klassischen Anlagen sind. Dieser Umstand wirkt sich aber nur bei kleinen und kleinsten Anlagen durch eine Verteuerung der Anschaffungskosten und Erhöhung der Betriebslöhne aus. Man wird daher



Abb. 6: Linde-Fränkli-Apparat für 2600 cbm/h Sauerstoff (98%) beim Zusammenbau in der Werkstatt.

Anlagen bis zu einer Stundenleistung von etwa 400 cbm Sauerstoff (entsprechend etwa 2200 cbm/h verarbeitete Luft) noch nach den klassischen Verfahren bauen; bei größeren Anlagen sind Speicheraustauscher vorteilhafter.

Zum Schluß sei noch kurz bemerkt, daß sich die Anwendbarkeit der Speicheraustauscher nicht auf die Zerlegung der Luft beschränkt. Sie können auch zu anderen Aufgaben der Gaszerlegung benutzt werden, wie zur Abtrennung und Gewinnung von Bestandteilen aus einem technischen Gas, z. B. zur Ausscheidung von Kohlensäure aus Synthesegas usw.. Vielversprechende Versuche größeren Ausmaßes wurden und werden in dieser Richtung angestellt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß sich das Linde-Fränk-Verfahren zur Herstellung großer Mengen nicht allzureinen Sauerstoffs und Stickstoffs vorzüglich eignet, weil durch die Anwendung der Speicheraustauscher an Leistung, Chemikalien, Löhnen, Anschaffungs- und Aufstellungskosten gespart werden kann. Zur Gewinnung von Sauerstoff für die Großindustrie kommt allein dieses Verfahren in Betracht, da nur mit ihm ein billiger Gestehungspreis erzielt werden kann. Unter günstigen Verhältnissen beträgt dieser nur etwa 1,5 Rpf./cbm bei einer Reinheit von 98%, also erheblich weniger als der Preis des Sauerstoffs, der nach einem der klassischen Verfahren hergestellt wird. Damit ist der Anreiz zu ausgedehnter Verwendung des Sauerstoffs gegeben.

Das Linde-Fränk-Verfahren ist in vielen Ausführungsformen durch zahlreiche Patente des In- und Auslandes geschützt.

Die z. Z. (1940) größte Sauerstoffanlage der Welt ist von der Gesellschaft für Linde's Eismaschinen A.G. in Deutschland in einer chemischen Fabrik errichtet worden (Abb. 1). Sie erzeugt stündlich 25000 cbm Sauerstoff mit einer Reinheit von etwas über 98%; 40000 cbm/h Stickstoff mit einem Sauerstoffgehalt von weniger als 0,5% können mit ihr nebenher gewonnen werden. Die Anlage arbeitet nach dem Linde-Fränk-Verfahren.

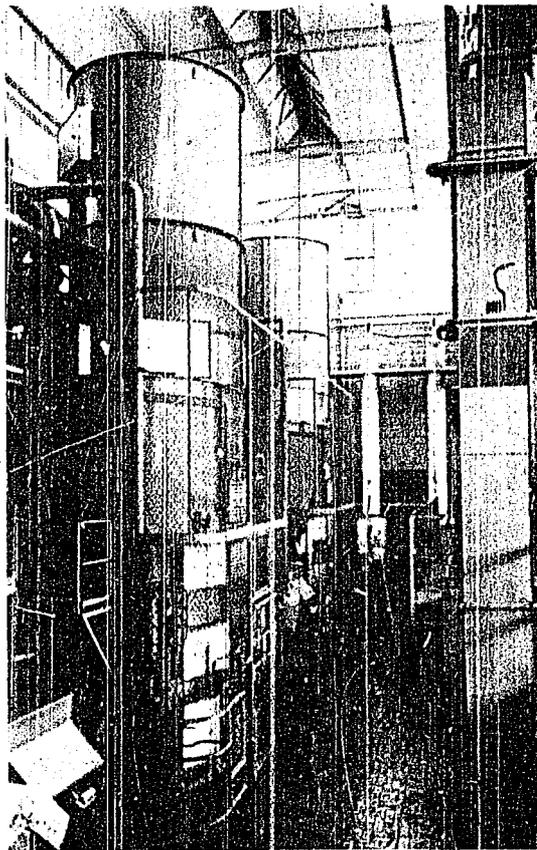


Abb. 7: Linde-Fränk-Apparate für je 3000 cbm/h Sauerstoff (98%)

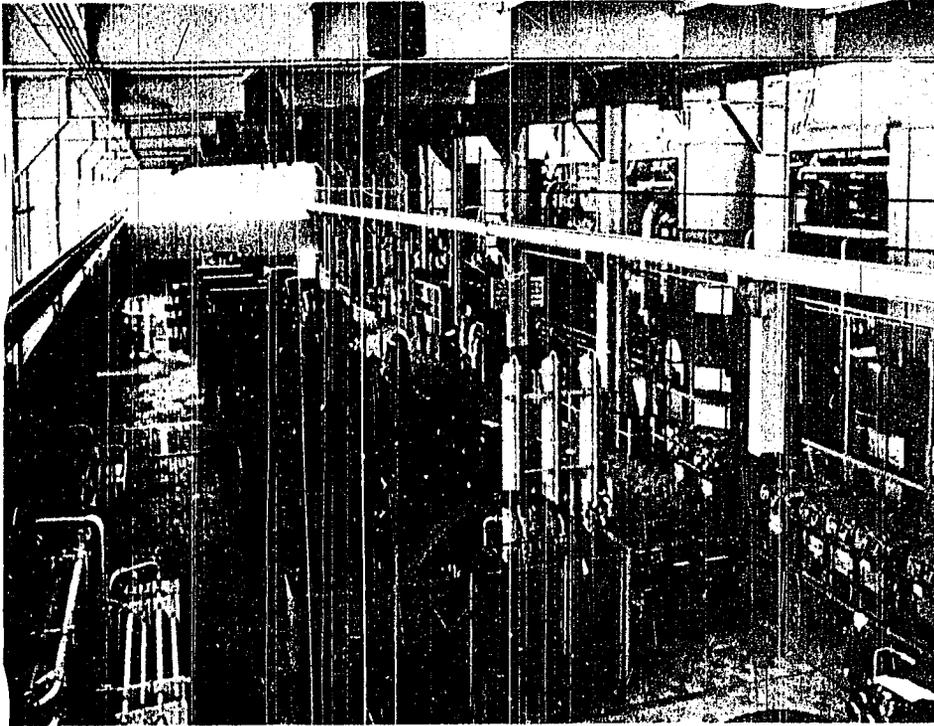


Abb. 8: Linde-Fränkling-Anlage für 15000 cbm h Sauerstoff (98% O₂).

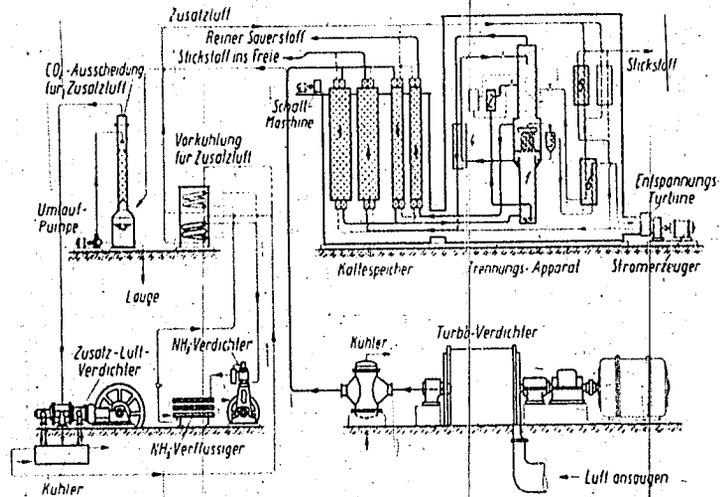
Beschreibung einer Linde-Fränkling-Anlage.

Im folgenden soll kurz an Hand der Abb. 9 eine Linde-Fränkling-Anlage beschrieben werden, und zwar eine der gebräuchlichsten Ausführungsart zur Herstellung reinen Sauerstoffs (98 bis 99% O₂).

Die gesamte zu zerlegende Luft wird durch einen Turboverdichter auf ungefähr den Druck, der in der 1. Zerlegungssäule (Drucksäule) des Luftzerlegungsapparates herrscht, verdichtet. Dieser Druck hängt von der Reinheit des zu erzeugenden Sauerstoffs ab und beträgt im vorliegenden Falle in der Säule etwa 4,4, am Verdichter etwa 4,6 atü. Der größte Teil der verdichteten Luft wird durch die Speicheraustauscher bis zur Verflüssigungstemperatur abgekühlt, dabei von Wasser und Kohlensäure befreit und dann der Drucksäule (1) zugeführt. Hier findet eine Vorzerlegung der Luft in Stickstoff und unreinen Sauerstoff mit einem Gehalt von etwa 39% O₂ statt. Diese Zerlegungserzeugnisse werden flüssig in die 2. (obere) Säule, die über der Drucksäule angeordnet ist und unter etwas mehr als atmosphärischem Druck arbeitet, gegeben und dort vollständig in Stickstoff und reinen Sauerstoff mit einem Gehalt von 98—99% O₂ getrennt. Die Gase verlassen darnach den Apparat durch die Speicheraustauscher, indem sie diese abkühlen und die in ihnen abgelagerte Kohlensäure und den Wasserdampf verdunsten und mit sich hinausführen.

Die zur Durchführung des Verfahrens notwendige Kälteleistung wird dadurch erzeugt, daß man erstens einen Teil des in der Drucksäule gewonnenen Stickstoffs — etwa 15% der gesamten Luftmenge — am Kopf der Drucksäule entnimmt, ihn in einem Gegenströmer (6) um einige Grade erwärmt und dann in einer Entspannungsturbine arbeitend auf den Druck des von der oberen Säule kommenden Stickstoffs, d. h. von etwa 4,3 auf 0,15 atü entspannt. Zweitens wird ein geringer Teil der Gesamtluft durch einen Hochdruckluftverdichter von 4,6 atü weiter auf 180 atü verdichtet, in einem Gegenströmer (5) durch eine kleine Menge Stickstoff, die vom Turbinenaus-

Abb. 9: Schema einer Linde-Fränk-Anlage zur Erzeugung von 98%igem Sauerstoff.



puff kommt, darauf in einem zweiten Gegenströmer (6) durch den ganzen zur Turbine strömenden Stickstoff abgekühlt und durch ein Drosselventil in eine der Zerlegungssäulen flüssig entspannt. Die Hochdruckluftmenge macht nur etwa 4% der Gesamtluftmenge aus, d. h. 96% der gesamten Luft braucht nur auf den Druck von etwa 4,6 atü zu verdichten. Die kleine Menge Hochdruckluft muß allerdings, da sie in stetig arbeitenden Gegenströmern (5 und 6) abgekühlt wird, vor Eintritt in den Apparat von Kohlensäure befreit und getrocknet werden. Die Kohlensäure wird aus der Luft vor ihrem Eintritt in den Hochdruckverdichter in einem Waschturm durch Berieselung mit Natronlauge ausgeschieden, die Feuchtigkeit nachher in einem Hochdruckluftvorkühler durch verdampfendes Ammoniak ausgefroren. Die Kosten für diese Luftreinigung sind gering, entsprechend der geringen Menge an Hochdruckluft.

Die Entnahme von Stickstoff aus der Drucksäule und seine Entspannung in der Turbine wirkt sich, wie oben Seite 7 gezeigt wurde, energiesparend aus. Die Rektifikation in der oberen Säule wird dadurch aber etwas erschwert. Durch geeignete Ausbildung der Rektifikationsböden (Ringböden der Gesellschaft für Linde's Eismaschinen A.G.) gelingt es trotzdem, den Sauerstoffgehalt des abziehenden Stickstoffs gering (unter 2%) zu halten und damit eine gute Ausbeute zu erzielen.

Ein Bild von dem Aussehen und den Größenverhältnissen neuzeitlicher Sauerstoffanlagen, die nach dem Linde-Fränk-Verfahren arbeiten, geben die beigefügten Abb. 1 und 5 bis 8, die in den Anlagen selbst oder in der Werkstatt beim Zusammenbau aufgenommen wurden.