

Linde

Anlagen zur Gewinnung von

SAUERSTOFF
und
STICKSTOFF



Gesellschaft für Linde's Eismaschinen
A.-G.

Abteilung Gasverflüssigung
Höllriegelskreuth
bei München

Telegramm-Adresse: Sauerstoff München
Fernsprecher: Amt München Nr. 73416

Abteilungen der Gesellschaft für Linde's Eismaschinen A.-G.

Groß-Kältemaschinen: Wiesbaden.

Eis- und Kühlmaschinen (über 15000 kcal/h); vollständige Anlagen jeder Größe für alle Verwendungszwecke künstlicher Kälte; Anlagen zur Gewinnung von Benzol; Anlagen zum Eindicken wässriger Lösungen.

Gasverflüssigung: Höllriegelskreuth bei München.

Anlagen zur Verflüssigung und Zerlegung von Gasgemischen, insbesondere zur Gewinnung von Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Wasserstoff-Stickstoff-Gemisch, Methan, Äthylen usw.

Maschinenfabrik Sürth: Sürth bei Köln.

Verdichter für alle Drücke und Gase und in jeder Größe; Anlagen zur Erzeugung von Wasserstoff und Sauerstoff durch Elektrolyse; Anlagen zur Erzeugung von flüssiger und fester Kohlensäure, von flüssigem Chlor, Ammoniak, schwefeliger Säure; Gastankanlagen; Preßluftanlagen; Hochdruckausrüstungsteile.

Güldner-Motoren-Werke: Aschaffenburg.

Verdichterlose Dieselmotoren; Dieselmotoren-Sätze mit Stromerzeugern, Pumpen, Verdichtern; Schlepper für die Landwirtschaft; Schiffs-Dieselmotoren; Eisengießerei.

Matra-Werke-G. m. b. H.: Frankfurt a. M.

Feinbohrwerke; Honwerke; Schleifmaschinen; Sonderwerkzeuge; Prüf-Geräte; Drehbänke; Pressen; Werkstatteinrichtungen.

Klein-Kältemaschinen: Sürth bei Köln.

Kleinkältemaschinen; selbsttätige Kühl- und Gefrieranlagen; Kühlschränke.

Kühl-Möbel: Mainz-Kostheim.

Kühlmöbel; Schauschränke; Ladentische; Kühltruhen; Speiseeisbereiter; Laboratoriums-Geräte.

Linde-Riedinger, Maschinenfabrik: Wien.

Planung und Verkauf von Groß- und Kleinkälteanlagen; Fertigung von Apparaten und Teilen für Kälteanlagen.

Eigene Werke:

Eisfabriken, Kühlhäuser; Sauerstoffwerke; Azetylenwerke; Anlagen zur Erzeugung von Edelgasen.

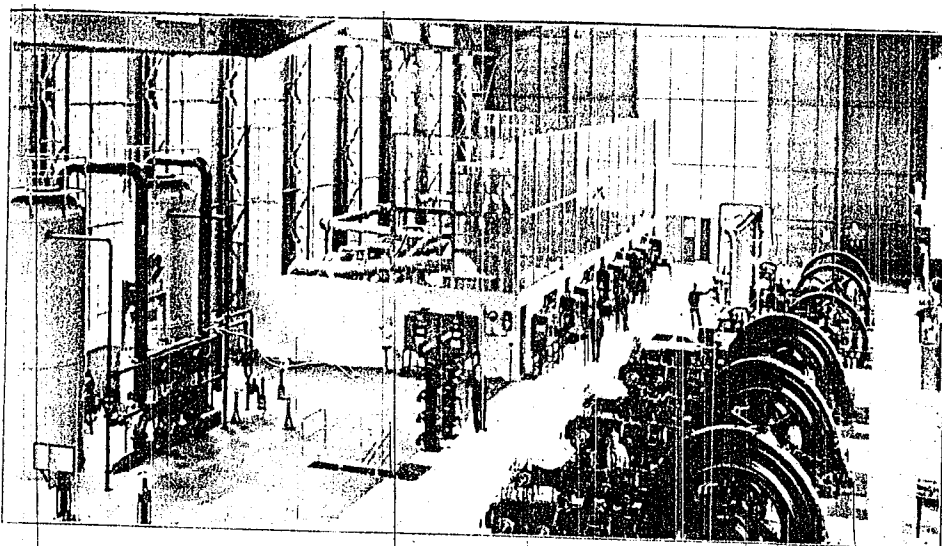


Abb. 1. Stickstoffanlage mit 4 Einheiten von je 3000 cbm Stundenleistung

Einleitung

Als Ausgangsstoff für die Gewinnung von Sauerstoff und Stickstoff dient die atmosphärische Luft, welche mit einem Gehalt von rd. 21% Sauerstoff und 79% Stickstoff einen unerschöpflichen Vorrat an beiden Gasen bildet. Unser Verfahren für die Zerlegung der Luft gründet sich auf die Verschiedenheit der Siedepunkte der beiden Stoffe in flüssigem Zustand (Sauerstoff $-183,0^{\circ}$ und Stickstoff $-195,8^{\circ}$). Die Luft wird deshalb zunächst verflüssigt, in flüssigem Zustand einer Rektifikation (ähnlich wie sie in der Spiritus-Industrie zur Trennung von Alkohol und Wasser üblich ist) unterworfen, und die Zerlegungserzeugnisse werden unter Wiedergewinnung der zur Verflüssigung aufgewendeten Kälte verdampft und auf Zimmertemperatur gebracht. Die Luft verbleibt also nur vorübergehend kurze Zeit im flüssigen Zustand; Sauerstoff und Stickstoff verlassen den Zerlegungsapparat mit Umgebungstemperatur.

Luftverflüssigung. Die Verflüssigung der Luft erfolgt nach dem von Carl von Linde im Jahre 1895 geschaffenen Verfahren: Die Luft wird auf hohen Druck (bis zu 200 at) gepreßt und nach Entziehung der Verdichtungswärme mittels Kühlwasser durch ein Drosselventil auf Atmosphärendruck entspannt. Infolge der anziehenden Kräfte, welche die Teilchen der Luft aufeinander ausüben, besitzt die verdichtete Luft einen geringeren Wärmehalt als die entspannte Luft bei gleicher Temperatur, wie dies in der Abweichung von den Gesetzen der idealen Gase zum Ausdruck kommt. Daher tritt bei einer Abdrosselung, bei welcher eine Wärmeaufnahme von der Umgebung und damit eine Zunahme des Wärmehaltes ausgeschlossen ist, eine Abkühlung der Luft ein (Thomson-Joule-Effekt). Diese beträgt, wenn man von Zimmertemperatur und 200 at Anfangsdruck ausgeht, ungefähr 40° . Indem nun die eintretende verdichtete Luft der entspannten Luft in einem Gegenstrom-Wärmeaustauscher (Abb. 2) entgegenströmt und deren Kälte aufnimmt, gelangt sie mit immer tieferer Temperatur zum Drosselventil; entsprechend fällt auch die Temperatur hinter dem Drosselventil immer weiter, bis schließlich die Verflüssigungstemperatur erreicht und nun die durch die Ausströmung bewirkte Kälteleistung zur Verflüssigung eines Teiles der Luft verwendet wird.

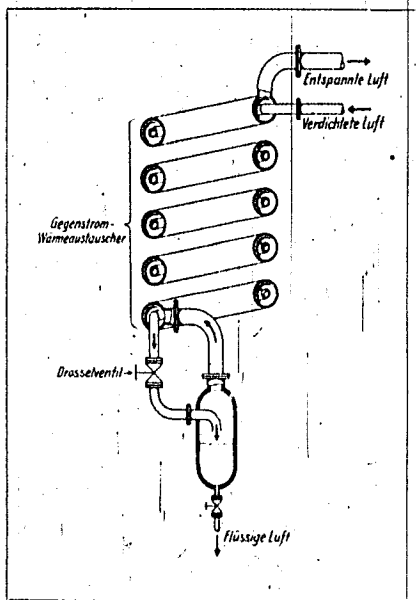


Abb. 2 Schema der Luftverflüssigung

wir gleichfalls C. v. Linde verdanken. Das Verfahren besteht in der eigenartigen Verbindung einer Destillation mit einer Waschung der dabei entwickelten Dämpfe. Man läßt die durch Erwärmung der Flüssigkeit mittels einer Verdampferspirale (Abb. 3) entstehenden Dämpfe in einer „Rektifikationssäule“ aufsteigen und schiebt ihnen von oben her einen gleichmäßigen Strom verflüssigter Luft entgegen. Durch Einbau besonders ausgebildeter Rektifikationsböden wird für eine feine Verteilung von Flüssigkeit und Dampf und für eine innige Berührung beider gesorgt. Die Flüssigkeit wäscht auf dem Wege nach abwärts aus den entgegenströmenden Dämpfen die Hauptingen des Sauerstoffs heraus, so daß die Dämpfe nach oben hin allmählich stickstoffreicher werden, während die Flüssigkeit sich von oben nach unten an Sauerstoff anreichert und zwar so weit, daß unten aus der Säule schließlich flüssiger Sauerstoff in gewünschter Reinheit abfließt. Von den Dämpfen, die durch die oben erwähnte Heizvorrichtung aus dieser Flüssigkeit entwickelt werden, strömt ein Teil in die Säule zurück, der Rest

Zerlegung der Luft. Das Zerlegungsverfahren gründet sich, wie erwähnt, auf die Verschiedenheit der Siedepunkte von Sauerstoff und Stickstoff (Abb. 5). Unterwirft man flüssige Luft einer allmählichen Verdampfung, so werden zunächst Dämpfe gebildet, welche mehr Stickstoff enthalten als die Ausgangsflüssigkeit, während der Sauerstoffgehalt der zurückbleibenden Flüssigkeit entsprechend anwächst. Es ist jedoch weder möglich, auf diese Weise reinen, sauerstofffreien Stickstoff zu erzeugen, noch einen praktisch reinen Sauerstoff in solcher Ausbeute zu gewinnen, daß das Verfahren wirtschaftlich wird; denn um die erforderliche Reinheit des Sauerstoffs zu erreichen, müßte man die Eindampfung so weit treiben, daß nur noch ein kleiner Bruchteil des ursprünglich vorhandenen Sauerstoffes rein zurückbliebe.

Eine praktisch vollkommene Zerlegung wird erst durch Anwendung des Rektifikationsverfahrens ermöglicht, welche grundlegende Erfindung

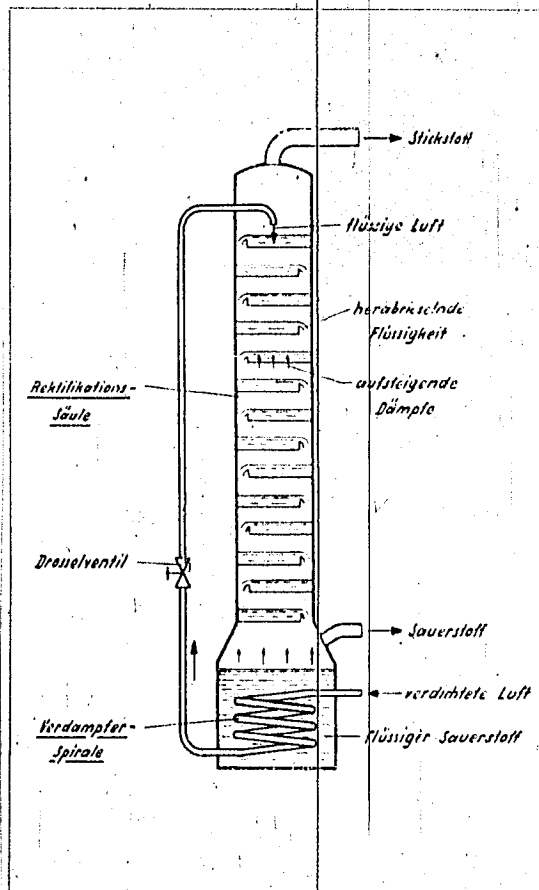


Abb. 3. Schema der einfachen Luftzerlegung (Einsäulen-Apparat).

wird als gewinnbarer Sauerstoff (nach Abgabe seiner Kälte) gasförmig entnommen.

Die aus der Säule oben abziehenden Dämpfe können bei dieser Arbeitsweise nicht vollständig von Sauerstoff befreit werden, sondern enthalten noch mindestens soviel Sauerstoff, wie dem Gleichgewicht über der eintretenden Flüssigkeit entspricht, das sind rd. 7 Vol.-% Sauerstoff. Etwa 2% des gesamten in der Luft enthaltenen Sauerstoffs gehen auf diese Weise mit dem Stickstoff verloren.

Die Gewinnung von reinem Stickstoff und die Erzielung einer größeren Sauerstoffausbeute wird durch unser Verfahren der zweistufigen Zerlegung der Luft (Doppelrektifikation) ermöglicht (Abb. 4). Die zu zerlegende Luft wird dabei zunächst in einer unter ungefähr 5 at Druck stehenden Rektifikationssäule (Drucksäule) einer Vorrektifikation unterworfen, bei welcher hochprozentiger Stickstoff ausgeschieden wird. Über der Drucksäule ist eine zweite Hauptrektifika-

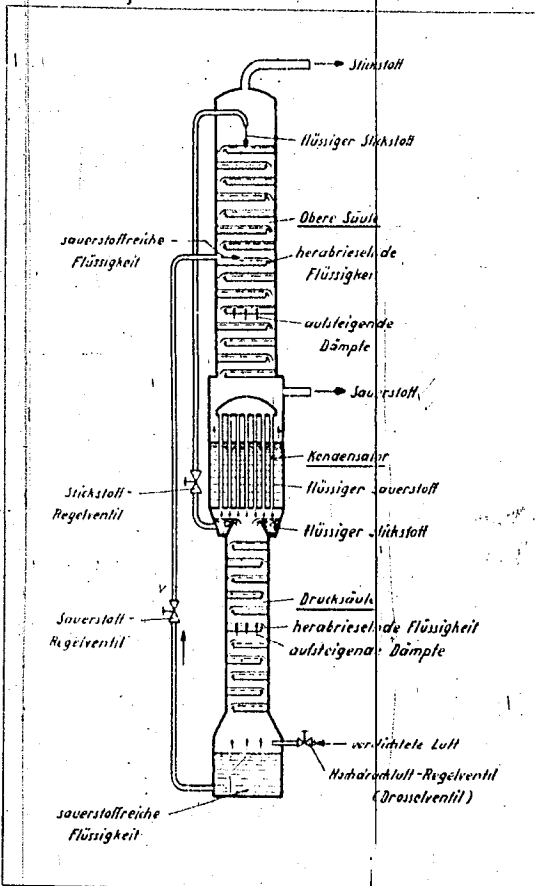


Abb. 4. Schema der doppelten Luftzerlegung (Zweisäulen-Apparat)

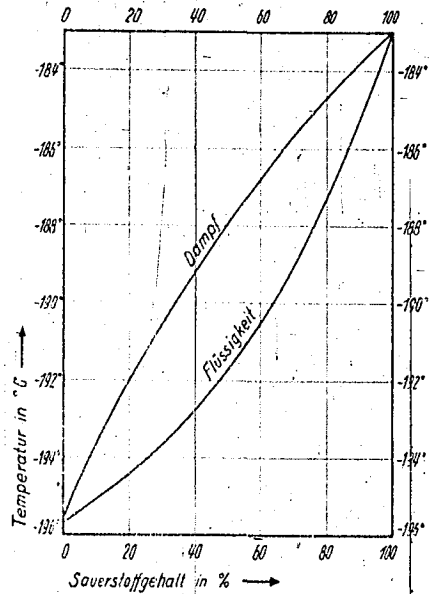


Abb. 5. Siedetemperaturen von Sauerstoff-Stickstoff-Gemischen

tionssäule (Obere Säule), die unter Atmosphärendruck arbeitet, angeordnet und zwischen beiden ein Kondensator, der von dem aus der oberen Säule ablaufenden flüssigen Sauerstoff umspült wird. In den Röhren des Kondensators verflüssigt sich der in der Drucksäule abgeschiedene Stickstoff unter gleichzeitiger Verdampfung des Sauerstoffs. Ein Teil des flüssigen Stickstoffs wird in der Drucksäule selbst zur Auswaschung des Sauerstoffs aus den Stickstoffdämpfen verwendet, der andere Teil wird als Waschflüssigkeit auf den Kopf der oberen Säule aufgegeben, während die in der Drucksäule gleichzeitig gewonnene an Sauerstoff angereicherte Flüssigkeit in die Mitte der Säule eingeführt wird. Das Ergebnis der Zerlegung ist, daß nunmehr nicht nur der Sauerstoff, sondern auch der Stickstoff in beliebiger Reinheit gewonnen werden kann.

Die gleichen Anlagen und Apparate dienen bis auf kleine Abweichungen sowohl für die Gewinnung von reinem Sauerstoff wie von reinem Stickstoff.

Ausführung der Anlagen

Die wesentlichen Verfahrensschritte bei der Zerlegung von Luft in Sauerstoff und Stickstoff sind stets folgende:

Die Luft wird in einem Kompressor auf höheren Druck verdichtet, dessen Höhe bei den verschiedenen Arbeitsweisen zwischen 5 und 200 at liegt. Die Luft wird ferner einer Reinigung unterzogen, wobei einerseits mechanische Verunreinigungen (Staub usw.), andererseits die bei der Abkühlung auf tiefe Temperatur in fester Form sich abscheidenden Bestandteile — Wasserdampf und Kohlendioxyd — entfernt werden, die sonst bald zu einer Verstopfung der Apparate führen würden. Die Kohlensäure wird mit Ätznatron chemisch fortgenommen, der Wasserdampf entweder durch Chemikalien oder durch besondere Kühleinrichtungen entfernt. Sodann wird die Luft in einem Gegenstrom-Wärmeaustauscher abgekühlt, ganz oder teilweise verflüssigt und durch den oben beschriebenen Rektifikationsvorgang zerlegt. Die Zerlegungserzeugnisse werden unter Ausnutzung ihrer Kälte verdampft und auf Zimmertemperatur wieder angewärmt, wobei sie gleichzeitig die neu zur Zerlegung zuströmende Luft abkühlen.

Je nach den besonderen Anforderungen, die an die Anlagen zur Gewinnung von Sauerstoff und Stickstoff zu stellen sind, werden diese in verschiedenen Bauarten ausgeführt. Einer Erörterung dieser Bauarten soll eine kurze Erklärung über die Ausführung der einzelnen Teile, die den verschiedenen Bauarten gemeinsam sind, vorangeschickt werden.

Luftfilter. Für die Reinigung der Luft von Staub und anderen mechanischen Beimengungen dienen Luftfilter aus einem Metallgehäuse mit einer Schicht von kleinen Raschigringen, die mit Öl benetzt sind. Beim Durchgang der Luft durch die Filterschicht werden alle Verunreinigungen weitgehend zurückgehalten. Die Filter beanspruchen wenig Platz und praktisch keine Wartung.

Verdichter. Zur Verdichtung der Luft werden mehrstufige Kolbenverdichter verwendet, die in unserer Zweighiederlassung, der Maschinenfabrik Sürth in Sürth b. Köln, hergestellt werden. Je nach den verwendeten Hochdrücken ist ihre Stufenzahl verschieden groß. Hochdruckverdichter werden bei 200 at Enddruck mit 4—5 Stufen, bei 60 at Enddruck mit 3—4 Stufen ausgeführt. Niederdruckverdichter, die die Luft nur auf 5—6 at verdichten, haben 2 Stufen. Bei Anlagen mit gleichzeitiger Verwendung von Hoch- und Niederdruckluft werden die Hoch- und Niederdruck-Luftverdichter gewöhnlich zu einer zweikurbeligen Maschine vereinigt.

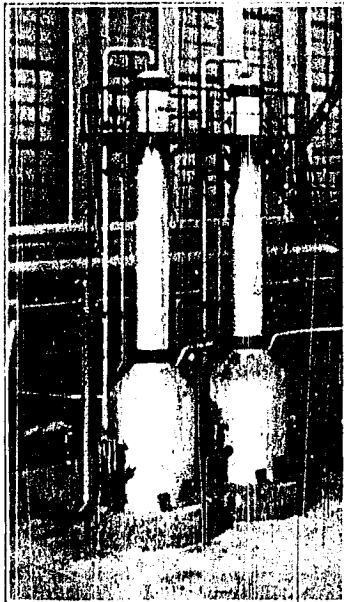


Abb. 6. Laugtürme zu einer Stickstoffanlage

Die Verdichter werden in der Regel bis zu einer stündlichen Luftmenge von etwa 90 cbm in stehender, darüber in liegender Bauart ausgeführt. Sie besitzen einen kräftigen Gußrahmen und Rundführung für den Kreuzkopf. Die einzelnen Stufen haben wassergekühlte Differentialzylinder, die eine geringe Baulänge und die Anwendung von nur einer Stopfbüchse ermöglichen. Nach jeder Stufe ist ein reichlich bemessener Wasserkühler eingeschaltet, ferner ein Sicherheitsventil und ein Manometer. Die Ventile der Verdichter sind freigängige Plattenventile aus bestem Spezialmaterial. Die Schmierung der Zylinder erfolgt durch Schmierpumpen, die der Lagerstellen durch Preßöl-Umlaufschmierung, so daß die Wartung der Verdichter auf das denkbar geringste Maß verringert ist. Nach jeder Stufe ist zur Entölung und Wasserabscheidung der verdichteten Luft ein Abscheider eingebaut.

Der Antrieb der Verdichter kann den jeweiligen Verhältnissen angepaßt werden. Bei kleineren Typen empfiehlt sich ein Antrieb durch einen Elektromotor mittels eines Treibriemens unter gleichzeitiger Verwendung einer Riemenspannrolle. Solien größere Verdichter (über 400 PS) ebenfalls durch einen Elektromotor angetrieben werden, so wird dessen Rotor zweckmäßig unmittelbar auf der Welle aufgekeilt und zugleich als Schwungrad ausgebildet, wodurch sich ein besonderes Schwungrad erübrigt. Ferner

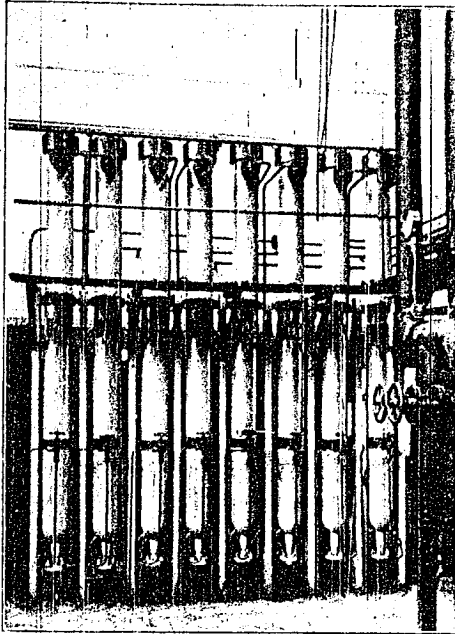


Abb. 7. Batterie von Trockenrohren

ist eine unmittelbare Kuppelung mit jeder anderen Kraftmaschine, wie Dampfmaschine, Gasmaschine, Dieselmotor usw. möglich.

Kohlensäure-Ausscheidung: Der Kohlensäuregehalt der Luft, der in der Regel ungefähr 0,03 Vol.-% beträgt, wird auf chemischem Wege durch Behandlung mit Natron- oder Kalilauge beseitigt. Die Waschung der Luft mit Lauge kann unter Atmosphärendruck vor Eintritt der Luft in den Verdichter ausgeführt werden. Wirksamer ist die Absorption unter höherem Druck. Bei Anlagen mittlerer Größe wird die Luft zwischen 2 Stufen des Verdichters bei ungefähr 15 at Druck durch ein Tauchrohr in einen stehenden druckfesten Kessel geleitet, der mit einer Lösung von Natronlauge gefüllt ist. In diesem Laugetopf steigt sie durch die Lauge in die Höhe, wobei durch Füllkörper für eine möglichst große Berührungsfläche zwischen Luft und Lauge gesorgt wird. Bei größeren Anlagen wird ein Laugeturm angewandt, der aus einer mit Raschigringen gefüllten Waschsäule besteht, unter welcher ein druckfester Kessel als Laugebehälter angeordnet ist (Abb. 6). Durch den

Turm strömt die Luft von unten nach oben, während umgekehrt die Lauge herabrieselt, sich unten im Kessel sammelt und dann durch eine kleine Kreiselpumpe wieder nach oben gefördert wird. Diese Reinigung wird meist unter 3-6 at ausgeführt. Bei kleinen Anlagen wird das Kohlendioxyd aus der Luft unter

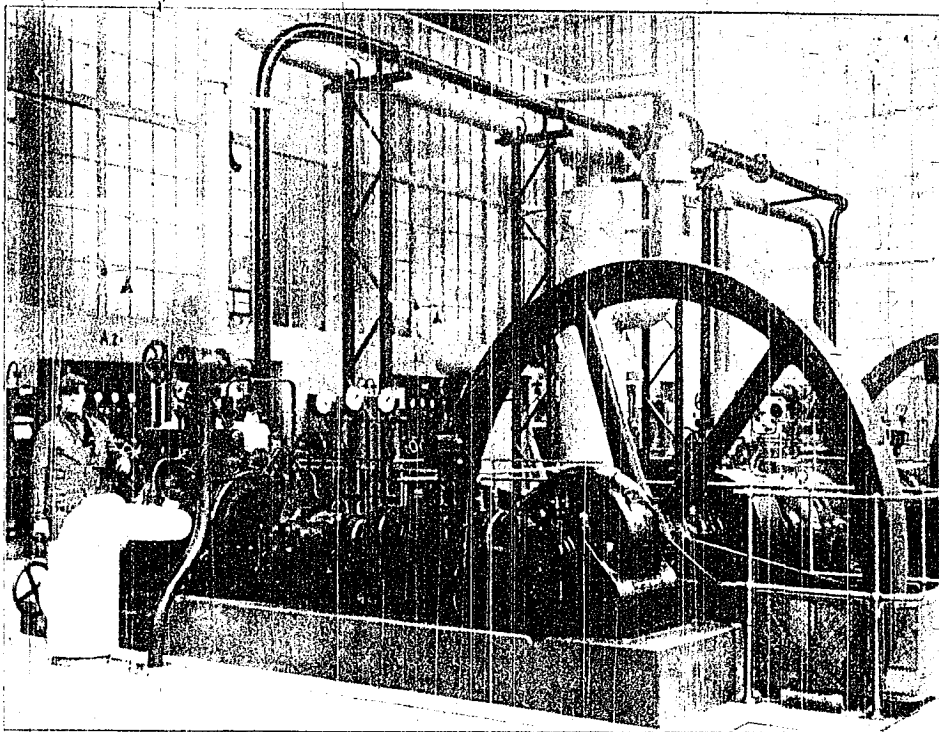


Abb. 8. Ammoniak-Kältemaschinen zur Luft-Vorkühlung der Stickstoff-Anlage Abb. 1

hohem Druck (80—200 at) durch festes Ätzkali absorbiert, das in druckfesten Stahlzylindern untergebracht ist.

Zur Bereitung der Natronlauge liefern wir auf Wunsch Auflösegefäße, in denen die Lauge durch Auflösen des handelsüblichen Ätznatrons in Wasser hergestellt werden kann.

Lufttrocknung. Ein großer Teil des Wasserdampfgehaltes der Luft scheidet sich schon bei der Verdichtung aus, da die in der Luft verbleibende Menge an Wasserdampf nahezu verhältnismäßig dem Rauminhalt ist, auf welchen die Luft verdichtet wird. Der Rest kann durch Absorption in Trockenrohren (Abb. 7) entfernt werden, die für 200 at Druck gebaut sind und einen leicht auswechselbaren Einsatz zur Aufnahme von wasserfreiem Chlorkalzium (oder auch Ätzkali) als Absorptionsmittel für den Wasserdampf besitzen. An Stelle von Chlorkalzium oder Ätzkali kann zur Trocknung auch Silika-Gel verwandt werden. Dies bringt den Vorteil, daß eine Füllung ohne Erneuerung für einen jahrelangen Betrieb ausreicht; denn der im Gel adsorbierte Wasserdampf wird nach 1—2 Tagen Betriebszeit durch aufgeheizten trockenen Stickstoff wieder ausgetrieben.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, die verdichtete Luft in Kältetrocknern von Wasserdampf zu befreien. Diese sind wechselbare Gegenstrom-Wärmeaustauscher, in denen die aus dem Zerlegungsapparat kalt austretenden Gase die Luft soweit abkühlen, daß die Feuchtigkeit fast vollkommen niedergeschlagen wird.

In größeren Anlagen wird die Luft in der Regel in einer Ammoniak-Vorkühleinrichtung getrocknet (siehe nächsten Abschnitt!).

Vorkühlung. Die Vorkühlung der Luft mittels einer besonderen Ammoniak-Kältemaschine (Abb. 8), die insbesondere bei größeren Anlagen ausgeführt wird, dient folgenden Zwecken: Zunächst wird durch die Abkühlung der Luft auf etwa -40° ein Ausfrieren des Wasserdampfes und damit eine fast vollkommene Trocknung der Luft auf physikalischem Wege erreicht; die

Verwendung von Chemikalien für diesen Zweck erübrigt sich dadurch. Dann wird durch die Vorkühlung der Luft die Kälteleistung bei ihrer Abdrosselung erheblich gesteigert und dadurch eine Verkürzung der Abkühlzeit und eine wesentliche Verringerung des Energiebedarfes erzielt.

Die Vorkühlung der Luft erfolgt durch verdampfendes Ammoniak, das von einem Verdichter unter vermindertem Druck angesaugt und in 2 Stufen auf einen Druck von 6—10 at verdichtet wird; unter diesem Druck wird das Ammoniak in einem Kondensator durch Kühlwasser verflüssigt und hierauf entspannt, um dann erneut den gleichen Kreislauf durchzumachen. Die eigentlichen Vorkühler, in denen das flüssige Ammoniak seine Verdampfungskälte auf die verdichtete Luft überträgt, sind als schraubenförmig gewundene oder als gerade stehende Rohrbündel gebaut und mit einer Kälteschutz-Masse umkleidet. Sie werden in der Regel doppelt ausgeführt; ist ein Vorkühler durch auskondensiertes Eis verstopft, so wird der andere in Betrieb genommen und der erste in Zwischen aufgetaut und ausgeblasen.

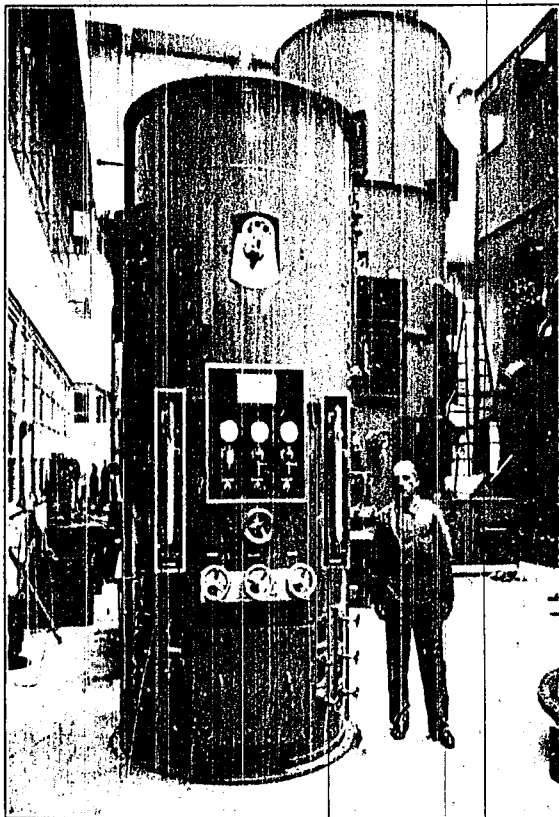


Abb. 9. Werkstattaufnahme eines Apparates zur Erzeugung von 30 cbm/h Sauerstoff

Da bei Anwendung einer Vorkühlung die Luft bereits mit etwa -40° in den Trennungsapparat eintritt, können sich die aus dem Apparat kommenden kalten Gase Sauerstoff und Stickstoff auch nur bis auf einige Grade unter diese Temperatur erwärmen. Die dadurch noch zur Verfügung stehende Kälte der Zerlegungserzeugnisse wird in Gegenstromkühlern ausgenützt, in welchen die Luft, bevor sie in den Ammoniakvorkühler eintritt, mit dem kalten Sauerstoff und Stickstoff in Wärmeaustausch tritt. Letztere werden dadurch auf die Temperatur der Umgebung erwärmt, während die Luft auf -10° bis -20° gekühlt wird. Die Gegenstromkühler werden ebenfalls in zwei Ästen ausgeführt mit einer Umschaltvorrichtung, die einen ununterbrochenen Betrieb ermöglicht.

Luftzerlegungs-Apparat. Die Luftzerlegungs-Apparate enthalten sowohl die Rektifikationseinrichtung, deren Wirkungsweise beschrieben worden ist, als auch die Wärmeaustauscher, in welchen die verdichtete Luft durch die entgegenströmenden Zerlegungserzeugnisse gekühlt wird. Die vorgenannten Teile sind aus Kupfer und Bronze hergestellt als denjenigen Baustoffen, welche auch bei den in Frage kommenden tiefen Temperaturen die nötige Festigkeit und Dehnbarkeit besitzen. Zum Schutz gegen Kälteverluste sind sie mit einer Schicht von Schlackenwolle umgeben und in einen kräftigen Mantel eingebaut, der bei kleinen Apparaten aus Holz, bei größeren aus Eisenblech ausgeführt wird. Alle Meß- und Regelvorrichtungen, Manometer, Ventile, Flüssigkeitsanzeiger sind an die Außenwand der Apparate geführt und dort zu einer Schaltschleife vereinigt.

Anwärmung. Die Trennungsapparate pflegen trotz der Reinigungseinrichtungen für die Luft nach einer Betriebszeit, die je nach Größe und Betriebsverhältnissen zwischen einer Woche und mehreren Monaten liegt, durch Eis und feste Kohlensäure zu verstopfen. Sie werden dann außer Betrieb gesetzt und angewärmt, indem man Luft, die durch Verdichtung getrocknet ist, oder auch den als Nebenerzeugnis von einem etwaigen zweiten Apparat anfallenden trockenen Sauerstoff oder Stickstoff durch den aufzutauenden Apparat hindurchschickt. Zur Beschleunigung dieses Vorganges wird das Anwärmgas auf eine Temperatur von etwa $+50^{\circ}$ erwärmt und für diesen Zweck ein Anwärmer vorgesehen, der je nach den örtlichen Verhältnissen mit Dampf oder elektrischem Strom beheizt wird.

Bauarten von Luftzerlegungs-Anlagen

Die hauptsächlichsten Bauarten von Anlagen sind:

- | | |
|---|-------------|
| 1. Anlagen mit einfacher Zerlegung für 200 at Höchstdruck ohne Vorkühlung | Bauart „E“ |
| 2. Anlagen mit doppelter Zerlegung für 200 at Höchstdruck ohne Vorkühlung | Bauart „D“ |
| 3. Anlagen mit doppelter Zerlegung für 200 at Höchstdruck und Vorkühlung | Bauart „DV“ |
| 4. Anlagen mit doppelter Zerlegung für 60 at Höchstdruck und Vorkühlung | Bauart „MD“ |
| 5. Anlagen mit doppelter Zerlegung für 50 at Höchstdruck mit Mitteldruck-Entspannungsmaschine und Kältetrockner | Bauart „ME“ |
| 6. Anlagen mit doppelter Zerlegung für Hoch- und Niederdruckluft und Vorkühlung | Bauart „ND“ |

Für kleinere Anlagen zur Gewinnung von Sauerstoff wird gewöhnlich die Ausführungsform mit einem Hochdruck-Luftverdichter ohne Vorkühlung gewählt (Bauart E und D). Die Zerlegungsapparate werden als Einsäulenapparate ausgeführt (Bauart E), wenn es sich im wesentlichen darum handelt, eine rasche Betriebsbereitschaft zu erreichen und keine zu lange Zeit zum Abkühlen der Apparate zu benötigen. Dem Vorteil der kürzeren Abkühlungszeit steht der Nachteil einer schlechteren Sauerstoffausbeute und damit eines höheren Energieverbrauches je ebn Sauerstoff entgegen.

Anlagen mit Zweisäulenapparaten (Bauart D) arbeiten dagegen mit sehr guter Ausbeute an Sauerstoff, also geringerem Energieaufwand je cbm Sauerstoff als Einsäulenapparate und werden für größere Leistungen ausschließlich verwendet. — Bei den Anlagen der Bauarten E und D erfolgt die Trocknung der Luft unter hohem Druck mittels Chemikalien (Chlorkalzium, festem Ätzkali oder Silika-Gel).

Der Chemikalienverbrauch für die Trocknung fällt fort bei Anlagen mit Kältetrocknern oder mit Vorkühlung durch Ammoniak-Kältemaschinen. Solche Anlagen werden in der Regel für Luftmengen von 450 cbm stündlich aufwärts angewendet. Der etwas verwickeltere Aufbau und die etwas teureren Anschaffungskosten dieser Anlagen werden mit zunehmender Leistung bald überwogen durch den Fortfall des Chemikalienverbrauches und die Ersparnis an Energie. Größere Anlagen werden stets mit Vorkühlung ausgeführt. — Anlagen, bei denen Sauerstoff auch in flüssiger Form gewonnen werden soll, werden für 200 at Höchstdruck und mit Vorkühlung gebaut (Bauart DV), gegebenenfalls unter Verwendung einer Hochdruck-Entspannungsmaschine (Bauart Heylandt). —

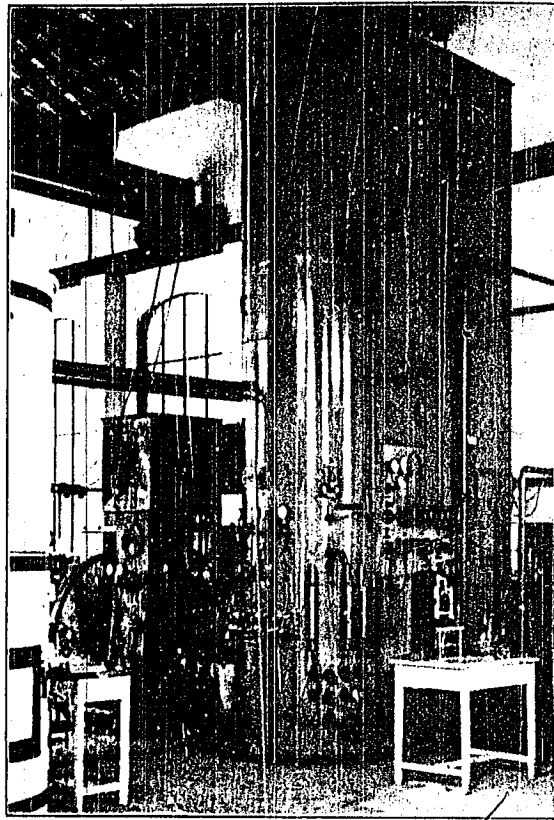


Abb. 10. Apparat mit Kältetrockner und Entspannungsmaschine zur Erzeugung von 80 cbm h Sauerstoff

Für Anlagen mittlerer Größe, und zwar von einer Leistung von 500 cbm h Luft, entsprechend etwa 100 cbm/h Sauerstoff an aufwärts, wird eine Ausführungsform vorgezogen, bei der die Luft nur auf einen Höchstdruck von 60 at verdichtet wird (Bauart MD). Die Apparate dieser Bauart arbeiten mit so geringen Kälteverlusten, daß die Abdrosselung der Luft von 60 at für die Abkühlung der Apparate ausreicht; im Beharrungszustand kann der Druck auf 20-30 at gesenkt werden.

Für die Erzeugung von etwa 50—150 cbm Sauerstoff stündlich eignen sich besonders die Apparate mit Mitteldruck-Entspannungsmaschine und Kältetrockner (Bauart ME). Die Kältetrocknung ist gerade hier vorteilhaft angewendet, da durch die Entspannungsmaschine in reichlichem Maße Kälte erzeugt wird. Die Anlagen zeichnen sich durch einen geringen Zerlegungsdruck (15—18 at) aus, und ihr Energiebedarf kommt demjenigen der Anlagen nach Bauart MD nahe.

Anlagen mit Hoch- und Niederdruckluft (Bauart ND) weisen von allen angeführten Typen den niedrigsten Energieverbrauch auf und werden deshalb für Einheiten größerer Leistung stets bevorzugt. Bei Anlagen dieser Bauart wird die Hauptmenge der Luft auf einen Druck von 5—6 at verdichtet. Nur einen kleinen Teil der Luft verdichtet man auf 200 at, um bei der Abdrosselung die für den Apparat erforderliche Kälteleistung aufzubringen. Die gleiche Kälteleistung, die bei der Abdrosselung von 100 Teilen Luft von 30 auf 1 ata erhalten wird, läßt sich erzielen, wenn man 15 Teile Luft von 200 auf 1 ata und den Rest von 6 auf 1 ata entspannt. Der Energieaufwand für die Verdichtung sinkt aber im zweiten Fall von 21 PS auf 14 PS je 100 cbm Luft.

Anlagen größerer Leistung, die nicht zur Erzeugung von sehr reinem Stickstoff und sehr reinem Sauerstoff bestimmt sind, werden unter Verwendung von wechselweise arbeitenden

Speicheraustauschern (Kältespeichern, Regeneratoren) an Stelle der stetig arbeitenden Rohraustauscher nach dem Linde-Fränkler-Verfahren ausgeführt, das durch besonders niedrigen Energieverbrauch sowie durch den fast gänzlichen Fortfall der Einrichtungen zur Kohlensäure-Ausscheidung und Trocknung ausgezeichnet ist. Über diese Anlagen gibt eine besondere Schrift näheren Aufschluß.

Beschreibung der Anlagen

Anlagen mit einfacher Zerlegung für 200 at Höchstdruck ohne Vorkühlung. Bauart E. Die Arbeitsweise einer solchen Anlage ist in Abb. 17 schematisch dargestellt. Die zu zerlegende Luft wird zunächst durch ein Luftfilter 1 von Staub gereinigt und dann in den beiden ersten Stufen eines mehrstufigen Hochdruckverdichters 2 auf etwa 15–20 at verdichtet. Unter diesem Druck wird sie nach Durchströmen eines Ölabscheiders 3 in den Laugeopf 4 geleitet, hier von Kohlensäure befreit und in den Verdichter zurückgeführt. Ein Rückschlagventil verhindert, daß bei unvorhergesehenem plötzlichem Stillstand und Druckentlastung des Verdichters durch den Druck im Laugeopf rückwärts Lauge in den Verdichter gedrückt werden kann. Nach der Kohlensäureausscheidung fördert der Verdichter die Luft in seinen letzten Stufen bis auf einen Höchstdruck von 200 at, der nach dem Abkühlen des Apparates im Dauerbetrieb auf 50–65 at erniedrigt wird. Die Luft gelangt hierauf nach Durchströmen eines weiteren Ölabscheiders in mehrere mit Chlorkalzium gefüllte Trockenrohre 5, wird dabei getrocknet und tritt dann in den Trennungsapparat 6 ein, in welchem sie gekühlt, auf 1 at abgedrosselt und durch Rektifikation in einer Säule in reinen Sauerstoff und etwa 92%igen Stickstoff zerlegt wird. Nach Außerbetriebsetzung des Apparates wird die Luft durch den Anwärmer 7, erwärmt und von rückwärts durch den aufzutauenden Apparat geschickt.

Anlagen mit doppelter Zerlegung für 200 at Höchstdruck ohne Vorkühlung. Bauart D. Diese Anlagen unterscheiden sich, wie aus der schematischen Abb. 18 hervorgeht, von den Anlagen Bauart E nur dadurch, daß zur Zerlegung der Luft statt des Einsäulenapparates ein Zweisäulenapparat 6 (wie oben beschrieben) verwendet wird. Durch die vollständige Zerlegung wird bei dieser Bauart eine höhere Sauerstoffausbeute erzielt. Der Druck dieser Anlagen beträgt im Dauerbetrieb etwa 40–60 at.

Anlagen mit doppelter Zerlegung für 200 at Höchstdruck und Vorkühlung. Bauart DV. Bei den Anlagen mit Vorkühlung kommen, wie aus Abb. 19 ersichtlich, die Trockenrohre

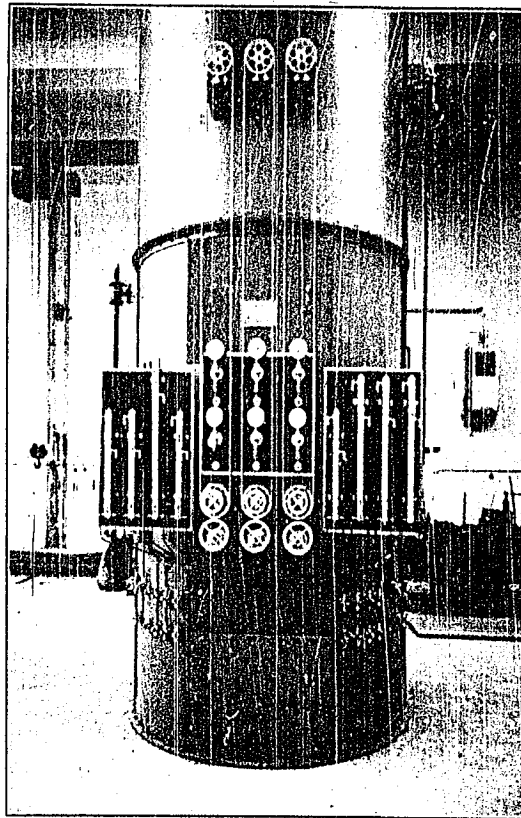


Abb. 11. Werkstattaufnahme eines Apparates zur Erzeugung von 130 cbm/h Sauerstoff

in Fortfall. Statt dessen wird die Luft einer Vorkühlung durch eine Ammoniak-Kältemaschine 7 unterworfen. Durch verdampfendes Ammoniak, das durch Verdichtung, Kühlung und Entspannung in stetem Kreislauf erhalten wird, erfährt die Luft im Vorkühler 6 eine Abkühlung auf etwa -40° und wird hierbei getrocknet. Da die Luft jetzt mit tieferer Temperatur in den Gegenstrom-Wärmeaustauscher des Trennungsapparates 8 eintritt, steht bei den aus dem Apparat austretenden Gasen noch Kälte zur Verfügung, die vor dem Eintritt der Luft in den Vorkühler durch einen Gegenstromkühler 5 ausgenützt wird. Die Anlagen dieser Bauart arbeiten im Dauerbetrieb mit einem Druck von etwa 35—45 at.

Anlagen mit doppelter Zerlegung für 60 at Höchstdruck und Vorkühlung. Bauart MD. Die Anlagen der Bauart MD arbeiten nach der in Abb. 20 schematisch dargestellten Weise mit einem Betriebsdruck von etwa 20—30 at. Der Luftverdichter 2 ist 3—4stufig, da nur auf einen Höchst- druck von 60 at verdichtet wird. Die Kohlendioxid- ausscheidung erfolgt unter einem Druck von etwa 3 at durch Berieselung mit Natronlauge in einem Laugeturm 4, bei welchem die Lauge durch eine Zentrifugalpumpe 5 ständig in Umlauf gehalten wird; eine zweite Pumpe gestattet die Neubeschickung des Turmes mit frischer Lauge während des Betriebes. Im übrigen gleichen die Anlagen der vorigen Bauart.

Anlagen mit doppelter Zerlegung für 50 at Höchstdruck mit Mitteldruck-Entspannungsmaschine und Kältetrockner. Bauart ME. Das Schema einer solchen Anlage ist aus Abb. 21 zu ersehen. Die Verdichtung und Reinigung der Luft erfolgt in der gleichen Weise wie bei der eben beschriebenen Anlage nach Bauart MD. Die Kältetrockner sind zusammen mit der Zerlegungseinrichtung und den beiden Wärmeaustauschern, die hier in einer anderen Bauweise dargestellt sind, in einem gemeinsamen Isoliermante 6 eingebaut. Zwischen den beiden Wärmeaustauschern wird ein Teil der verdichteten Luft zur Entspannungsmaschine abgezweigt und dort auf den Druck der ersten Zerlegungssäule entspannt. Die Zerlegung findet, wie üblich, in 2 übereinander angeordneten Säulen statt. Die Leistung der Entspannungsmaschine wird am vorteilhaftesten von einem Asynchron-Generator aufgenommen, der den erzeugten Strom an das Drehstromnetz abgibt. (Siehe auch Abb. 10!)

Anlagen mit doppelter Zerlegung für Hoch- und Niederdruckluft und Vorkühlung. Bauart ND. Wie aus Abb. 22 zu ersehen ist, wird bei diesen Anlagen zunächst die gesamte Luftmenge durch einen Luftverdichter 2 in 2 Stufen auf etwa 5—6 at Druck gefördert und in einem Laugeturm 4 ähnlich wie bei der Bauart MD von Kohlendioxid befreit. Ein kleiner Teil der Luft wird hierauf auf etwa 100—200 at weiterverdichtet und dann durchströmen beide Luftmengen getrennt je einen Gegenstromkühler 6a und 6b und Vorkühler 7a und 7b. Sie werden erst nach der Entspannung im Trennungsapparat 9 wieder vereinigt und dann in der beschriebenen Weise in den Rektifikationssäulen zerlegt.

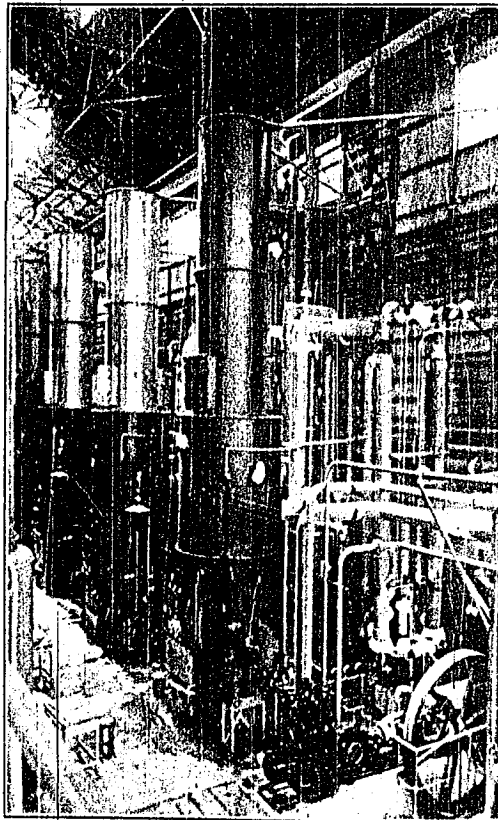


Abb. 12. Anlage zur Erzeugung von 4 · 1200 cbm/h Stickstoff.

Abfüll-Anlagen

Zum Abfüllen der erzeugten Gase in Stahlflaschen liefern wir vollständige Abfüll-Anlagen, bestehend aus einem dreistufigen, wassergekühlten Verdichter zum Verdichten der Gase auf 150–200 at, einer Verteilungseinrichtung zum gleichzeitigen Anschluß mehrerer Stahlflaschen und den nötigen Verbindungsleitungen und Absperrventilen nach Zahlentafel 1.

Abfüllverdichter für 150 at				Zahl der Flaschen-Anschlüsse	Gewicht der Abfüllanlage in kg
Saugleistung in cbm je Std.	Leistungsverbrauch a. d. Welle in PS	Motorgröße in PS	Kühlwasserverbrauch in cbm je Std.		
6	2,5	3,5	0,2	2	600
10	4,5	5,5	0,3	3	700
15	6,5	7,5	0,4	4	820
20	8,0	9,5	0,5	4	875
30	12	14	0,75	6	1250
40	18	20,5	1,1	8	1800
60	22	25	1,4	12	2650
80	28	32	1,7	16	3700
100	34	40	2,0	20	4900
120	44	50	2,5	24	5300

Zahlentafel 1. Abfüll-Anlagen

Betriebskosten und Reinheit der Gase

Die Betriebskosten von Sauerstoff- und Stickstoffanlagen sind außer von Größe und Art der Anlage in erster Linie vom Energiepreis abhängig. Die Zahlentafeln 2 und 3 geben die ungefähren Gesteungskosten von 1 cbm Sauerstoff bzw. 1 cbm Stickstoff für einige Anlagengrößen und Bauarten; die beim Abkühlen und Anwärmen der Apparate entstehenden Unkosten sind mit eingerechnet, nicht dagegen die Abschreibung und Verzinsung der Anlage, sowie eine etwa erforderliche Verdichtung der erzeugten Gase. An Hand der angegebenen Preise für Energie, Betriebsstoffe und Löhne ist eine Umrechnung nach den jeweils gültigen Preisen ohne weiteres möglich. Die Verbrauchszahlen für Betriebsstoffe sind Mittelwerte aus der Praxis und können durch sparsame Betriebsführung, wie Laugeregenerierung, Schmierölinigung usw. noch wesentlich unterschritten werden. Ebenso kann eine Anlage durch Verringerung der Betriebsunterbrechungen besser ausgenutzt werden. Die Aufstellung eines zweiten Trennungapparates ermöglicht das Anwärmen des außer Betrieb

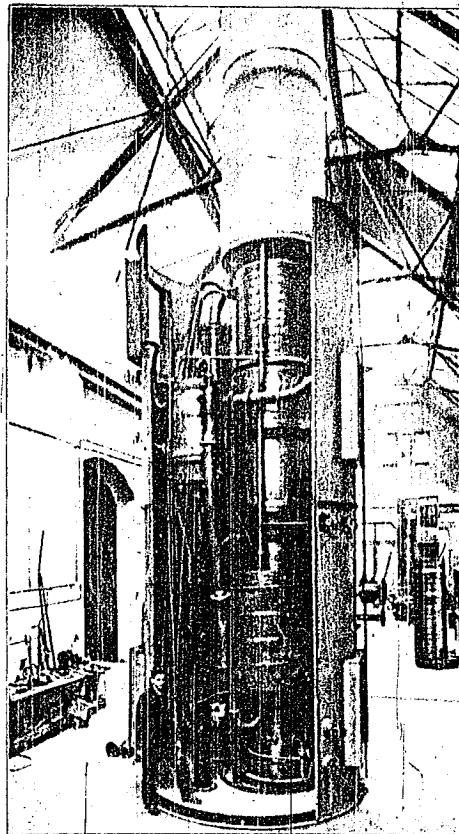


Abb. 13. Stickstoff-Apparat für 5200 cbm je Stunde (Werkstatt-Aufnahme)

Bauart		E	D	DV	ME	MD	ND
Leistung	cbm Std.	10		50		500	
angenommene tägliche Betriebszeit	Stunden	8			24		
Energiekosten (einschl. Abkühlen und Auftauen)	1 PS-St. = 0,10 RM 1 PS-St. = 0,02 RM	2,67	7,62	6,91	5,70	11,32	9,09
Chemikalien	Ätznatron 100 kg = 30 RM	0,05	0,13	0,13	0,13	1,35	1,35
	Chlorkalzium 100 kg = 23 RM	0,02	0,05				
	HD-Verdichter-Öl 100 kg = 105 RM	0,01	0,02	0,02	0,02	0,10	0,12
Schmieröl	Maschinen-Öl 100 kg = 52 RM	0,01	0,01	0,01	0,01	0,08	0,08
	Eismaschinen-Öl 100 kg = 40 RM			0,002		0,02	0,02
Wasser, Putzwolle, Dichtungsmaterial,	Instands. u. dergl.	0,20	0,40	0,40	0,50	1,00	1,00
Bedienung (einschl. Abkühlen u. Auftauen)	1 Maschinist 1 Masch. u. 1 Helfer	1,24					
	Stundenlohn eines Maschinisten = 1,10 RM Stundenlohn eines Helfers = 0,80 RM		1,96	1,94	1,94	2,03	2,01
Stündliche Betriebskosten	RM	4,20	10,19	9,41	8,30	15,90	13,67
Betriebskosten für 1 cbm Sauerstoff (ohne Verdichtung, Abschreibung und Verzinsung)	Rpf.	42,0	20,4	18,8	16,6	3,2	2,7

Zahlentafel 2. Betriebskosten von Sauerstoff-Anlagen

Bauart		E	MD	MD	ND	ND
Leistung	cbm Std.	40	400		2000	4000
angenommene tägliche Betriebszeit	Stunden	8			24	
Energiekosten (einschl. Abkühlen und Auftauen)	1 PS-St. = 0,10 RM 1 PS-St. = 0,02 RM	2,67	12,48		11,32	9,09
Chemikalien	Ätznatron 100 kg = 30 RM	0,05	0,25		1,35	1,35
	Chlorkalzium 100 kg = 23 RM	0,02				2,70
	HD-Verdichter-Öl 100 kg = 105 RM	0,01	0,04		0,10	0,12
Schmieröl	Maschinen-Öl 100 kg = 52 RM	0,01	0,02		0,08	0,08
	Eismaschinen-Öl 100 kg = 40 RM		0,01		0,02	0,02
Wasser, Putzwolle, Dichtungsmaterial,	Instands. u. dergl.	0,20	0,40		1,00	1,50
Bedienung (einschl. Abkühlen u. Auftauen)	1 Maschinist 1 Masch. u. 1 Helfer	1,24				
	Stundenlohn eines Maschinisten = 1,10 RM Stundenlohn eines Helfers = 0,80 RM		1,95		2,03	2,01
Stündliche Betriebskosten	RM	4,20	15,15		15,90	13,67
Betriebskosten für 1 cbm Stickstoff (ohne Verdichtung, Abschreibung und Verzinsung)	Rpf.	10,5	3,8		0,8	0,7

Zahlentafel 3. Betriebskosten von Stickstoff-Anlagen

gesetzten Apparates mit dem nicht benützten Zerlegungserzeugnis während der Betriebszeit des anderen und erspart somit Zeit und Energie. Für einen vollkommen ununterbrochenen Betrieb ist eine vollständige Reserveeinheit erforderlich.

Die in den Zahlentafeln 2 und 3 angegebenen Gasmengen gelten für einen Normalzustand von +15° C und 735,5 mm Barometerstand. Weichen Druck und Temperatur von den Normalwerten ab, herrscht z. B. starke Erwärmung der Atmosphäre bei niedrigem Barometerstand, so geht die Ansaugleistung des Luftverdichters und damit die auf den Normalzustand bezogene Leistung zurück. In diesem Falle kann ein Ausgleich durch Einschaltung eines Gebläses in die Saugleitung des Luftverdichters erzielt werden. — Die Reinheit des Sauerstoffes ist in den Tafeln

mit 99,5% O₂-Gehalt angenommen, die des Stickstoffes mit 99,8% N₂. Der Sauerstoff enthält als Verunreinigungen lediglich zusammen 0,5% Argon und Stickstoff, der Stickstoff ist durch weniger als 0,2% O₂ sowie sehr geringfügige Mengen Argon verunreinigt. Unsere Anlagen gestatten ohne weiteres, durch geänderte Regelung die Reinheit des Erzeugnisses und damit entsprechend die Ausbeute innerhalb ziemlich weiter Grenzen zu verändern. Wird in einer Sauerstoffanlage Sauerstoff mit einer anderen Reinheit als 99,5% erzeugt, so ändert sich die Ausbeute etwa nach Zahlentafel 4.

Sauerstoff-Gehalt		Aus 100 cbm Luft werden gewonnen:
im gewonnenen Sauerstoff	im abziehenden Stickstoff	
97,0%	0,5%	21,1 cbm = 14% mehr als bei 99,5%
98,0%	1,5%	20,1 cbm = 9% " " " "
98,5%	2,0%	19,6 cbm = 6% " " " "
99,0%	2,5%	19,1 cbm = 3% " " " "
99,5%	3,0%	18,5 cbm = 0% " " " "
99,7%	4,0%	17,6 cbm = 5% weniger " " "

Zahlentafel 4. Reinheit der erzeugten Gase und Ausbeute

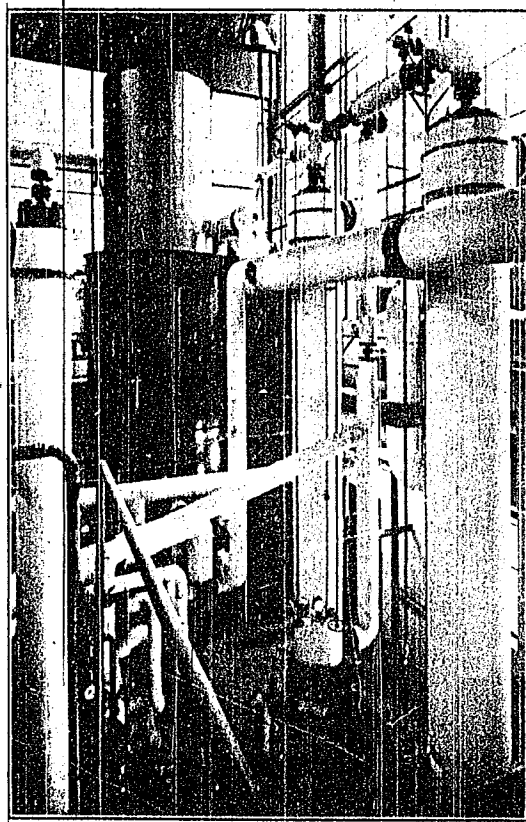


Abb. 14. Anlage zur Erzeugung von 5100 cbm h Stickstoff (Ansicht des Apparaterumes)

Der bei Gewinnung von Sauerstoff abfallende Stickstoff weist bei Anlagen mit einfacher Rektifikation eine Reinheit von 92—93%, bei Anlagen mit doppelter Rektifikation, wie aus vorstehender Tafel ersichtlich, eine solche von 96—99% auf; der als Nebenerzeugnis bei der Stickstoffgewinnung anfallende Sauerstoff besitzt einen Gehalt von 85—98,5%. Es können jedoch mit verhältnismäßig geringen Mehrkosten die Trennungsgeschichten mit Vorrichtungen ausgestattet werden, die es ermöglichen, gleichzeitig reinen Sauerstoff und reinen Stickstoff zu erzeugen. Je nach den Mengen des zu gewinnenden Nebenerzeugnisses stehen hierfür verschiedene Ausführungsformen zur Verfügung. Da die Betriebskosten durch die gleichzeitige Gewinnung der beiden Gase keine nennenswerte Erhöhung erfahren, erhält man die Nebenerzeugnisse fast kostenlos.

Die Anlagen gestatten des Weiteren, neben der Erzeugung von gasförmigem Sauerstoff und Stickstoff gewisse Mengen dieser Gase auch in flüssigem Zustand zu entnehmen. Außerdem werden auch Anlagen ausgeführt, in denen der gesamte Sauerstoff oder Stickstoff in flüssiger Form

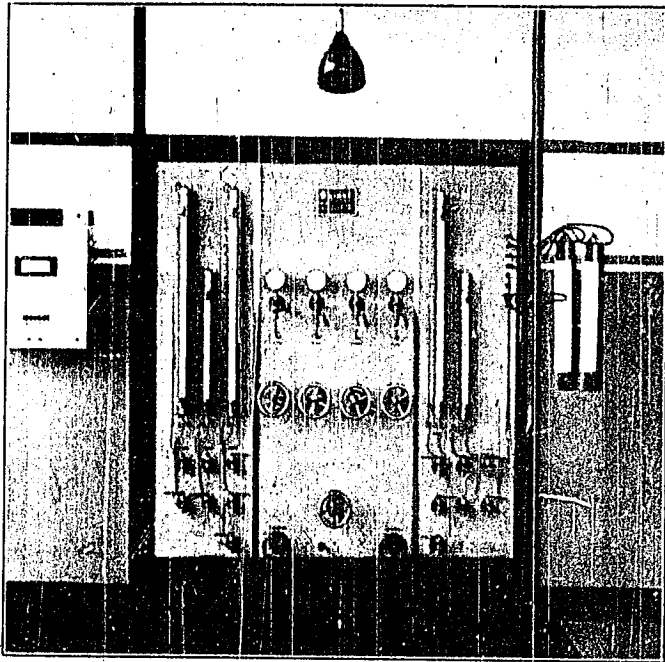


Abb. 15. Schalttafel zum Apparat der Anlage Abb. 14

gewonnen wird. Die Erzeugung von flüssigen Erzeugnissen erfordert einen höheren Kälteaufwand und dementsprechend auch einen höheren Energieaufwand als die von gasförmigen.

Sauerstoff geringerer Reinheit bzw. an Sauerstoff angereicherte Luft, wie man sie für manche metallurgische Zwecke benötigt, wird dadurch hergestellt, daß man zunächst Sauerstoff von höherer Reinheit aus der Luft abscheidet und diesen Sauerstoff sodann mit weiteren Mengen Luft mischt, bis der gewünschte O_2 -Gehalt erreicht ist. Bei großen Anlagen ist es vorteilhafter, die sauerstoffreichen Gemische nach dem auf S. 11 erwähnten Linde-Fränkl-Verfahren herzustellen.

Als wesentlicher Vorzug unserer Anlagen darf gelten, daß sie bei einfacher und zweckmäßiger Anordnung in gediegener Ausführung auf Grund unserer jahrelangen Erfahrungen größtmögliche Betriebssicherheit bei niedrigsten Gestehungskosten der Gase gewährleisten; ferner ermöglichen sie die höchste Reinheit der erzeugten Gase bei vollständiger Trockenheit unter Ausschluß aller schädlichen Verunreinigungen. Die Verunreinigungen der Gase bestehen lediglich aus Stickstoff bzw. Sauerstoff und Argon; andere Verunreinigungen sind nach der Natur des Gewinnungsverfahrens ausgeschlossen. Die große Zahl der von uns gelieferten Anlagen, welche einen erheblichen Teil des heutigen Weltbedarfs an Sauerstoff und Stickstoff decken, und insbesondere die Tatsache, daß die größten Anlagen und diejenigen, bei welchen auf unbedingt zuverlässigen und ununterbrochenen Betrieb besonderes Gewicht gelegt wird, fast ausschließlich nach unseren Verfahren ausgeführt worden sind, bilden die beste Empfehlung für unsere Anlagen.

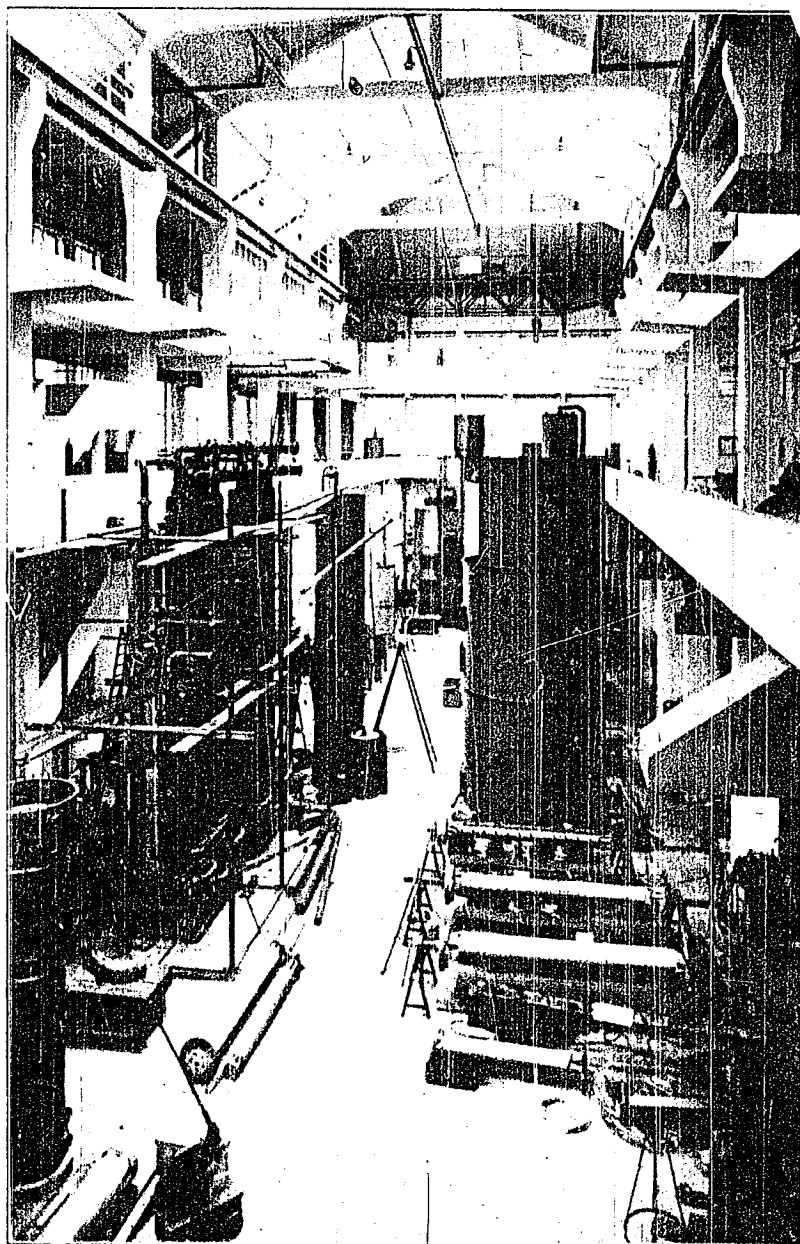


Abb. 16. Blick in unsere Montagehalle für Gaszerlegungsanlagen

Sauerstoff-Anlagen

(Maße und Gewichte unverbindlich)

Leistung in cbm je Std.	10	15	20		30	40		50		60		80			
Bauart	E	E	D	E	D	E	D	E	D	DV	D	DV	D	DV	
Energiebedarf i. PS eff. für die Gesamtanlage (an d. Welle gemessen) für 1 cbm	23	33	24	43	32	63	43	81	57	72	70	84	80	110	101
Kühlwasserverbrauch cbm/Std.	1,5	2,0	1,5	2,5	2,0	3,5	2,5	4,5	3,0	4,0	4,5	4,5	5,0	6,5	7,0
Gesamtgewicht der Anlage in t	5,5	6,5	6,5	7,8	8,0	11,5	10,0	14,0	13,0	14,5	20,3	19,4	22,4	24,8	25,2
Schwerst. Montagegewicht in t	1,0	1,1	1,1	2,0	1,5	2,5	2,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,8	2,8	3,0	3,0
Raum-Grundfläche in qm	60	90	90	120	120	150	150	170	170	190	250	200	265	220	300
bedarf Höchste Kranhakensttlg. in m	3,5	3,7	6,5	3,7	6,5	3,7	6,5	3,7	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	8,1	8,1
Erforderl. Stärke der Antriebsmasch. i. PS für d. Luftverdichter	33	48	32	61	41	88	61	113	81	100	100	120	120	160	160
bedarf für d. Ammoniakverd.											7,4		7,4		7,4

Leistung in cbm je Std.	100		150		200		300		400		500		1000	
Bauart	MD	ND	ND	MD	ND	MD	ND	MD	MD	MD	ND	MD	MD	ND
Energiebedarf i. PS eff. für die Gesamtanlage (a. d. Welle gemessen) für 1 cbm	122	108	157	236	204	350	290	465	570	450	1140	960	1140	960
Kühlwasserverbrauch cbm/Std.	7,5	6,5	10	16	13	22	18,5	29	36,5	30	73	55	73	55
Gesamtgewicht der Anlage in t	36	45	47	52	62	71	83	85	100	105	150	165	150	165
Schwerst. Montagegewicht in t	3,0	3,0	6,0	6,0	6,5	6,5	14,5	14,5	14,5	14,5	15	18	15	18
Raum-Grundfläche in qm	370	400	450	520	550	660	700	850	950	1000	1300	1350	1000	1350
bedarf Höchste Kranhakensttlg. in m	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	10,0	10,0	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2
Erforderl. Stärke der Antriebsmasch. i. PS für d. Luftverdichter	165	120	160	320	210	450	300	630	735	430	1450	820	1450	820
bedarf für d. Ammoniakverd.	12	12	20	26	26	32	32	45	45	45	85	85	45	85

Zahlenlafel 5

Stickstoff-Anlagen

(Maße und Gewichte unverbindlich)

Leistung in cbm je Std.	10	40	80	120	200	400	500	800	1000		
Bauart	E	E	D	D	D	MD	ND	MD	ND	MD	ND
Energiebedarf in PS eff. für die Gesamtanlage (an der Welle gemessen) für 1 cbm	7,3	2,3	3,2	4,3	7,2	12,2	1,30	2,36	2,04	2,95	2,50
Kühlwasserverbrauch cbm Std.	0,5	1,5	2,0	2,5	4,0	8,0	8,0	16	13	20,0	15,0
Gesamtgewicht der Anlage in t	3,8	5,5	8,0	10,0	14,5	30	46	52	62	60	72
Schwerstes Montagegewicht in t	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,0	6,0	6,5	6,5	14,5
Raum- Grundfläche in qm	45	60	120	150	190	370	415	520	550	600	630
bedarf Höchste Kranbakenstelle, in m	2,8	3,5	6,5	6,5	6,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
Erforderl. für den Luftverdichter Stärke der Antriebs- masch. i. PS für d. Ammoniakverd.	10	33	41	61	100	165	135	320	210	400	260
						12	20	26	26	32	32

Leistung in cbm je Std.	1200		1600		2000		3000		4000		5000							
Bauart	MD	ND	MD	MD	ND	ND	MD	ND	MD	ND	MD	ND						
Energiebedarf in PS eff. für die Gesamtanlage (an der Welle gemessen) für 1 cbm	350	200	465	570	450	660	1140	860	960	0,29	0,24	0,29	0,28	0,23	0,22	0,28	0,21	0,19
Kühlwasserverbrauch cbm Std.	22	18,5	29	36,5	30	40	73	55	60	71	83	85	100	405	145	150	165	200
Gesamtgewicht der Anlage in t	6,5	14,5	14,5	14,5	14,5	15	15	18	18	660	700	850	950	1000	1230	1300	1350	1500
Schwerstes Montagegewicht in t	10,0	10,0	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,5	10,0	10,0	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,5
Raum- Grundfläche in qm	450	300	630	735	430	640	1450	820	920	450	300	630	735	430	640	1450	820	920
bedarf Höchste Kranbakenstelle, in m	32	32	45	45	45	85	85	85	85	32	32	45	45	45	85	85	85	85
Erforderl. für den Luftverdichter Stärke der Antriebs- masch. i. PS für d. Ammoniakverd.																		

Zahlentafel 6

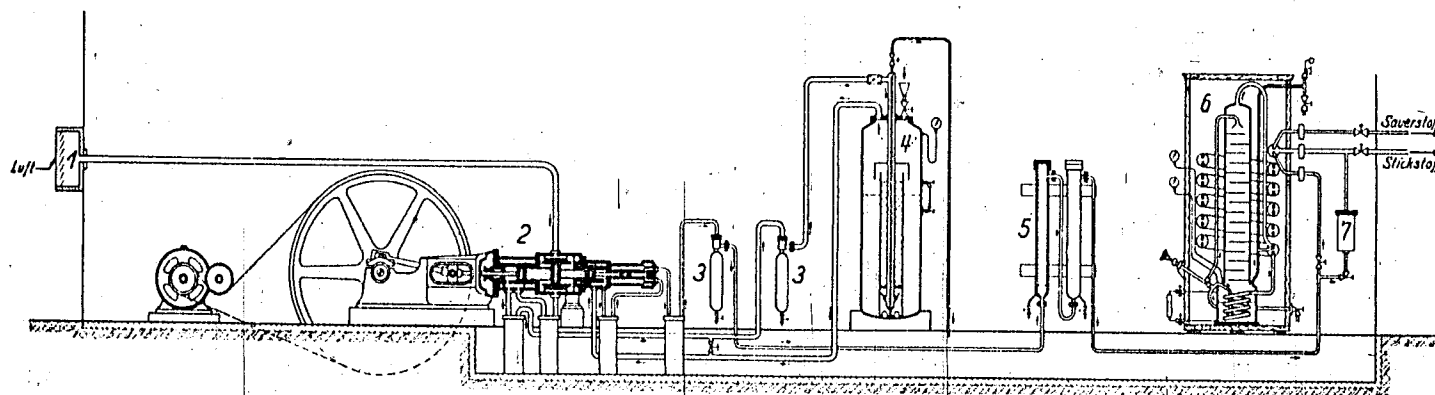


Abb. 17. Anlagen mit einfacher Zerlegung für 200 at Höchstdruck ohne Vorkühlung

Bauart E

1 Luftfilter

reinholt die angesaugte Luft von Staub und anderen mechanischen Verunreinigungen

2 Luftverdichter

verdichtet die Luft in 4 Stufen unter jedesmaliger Zwischenkühlung mit Kühlwasser auf einen Höchstdruck von 200 at, der nach dem Abkühlen des Apparates im Dauerbetrieb auf 50–65 at erniedrigt wird

3 Ölabscheider

befreien die verdichtete Luft von Öl und dem bei der Verdichtung ausgeschiedenen Wasser

4 Laugetopf

entfernt durch Waschung mit Natronlauge unter einem Druck von etwa 15–20 at den Kohlensäuregehalt der Luft

5 Trockenrohre

mit wasserfreiem Chlorkalzium gefüllt, entfernen den Wasserdampfgehalt aus der Luft

6 Trennungsgesamtheit

enthält den Gegenstrom-Wärmeaustauscher, in dem die Luft bis auf Verflüssigungstemperatur gekühlt wird, und die Rektifikationsssäule, die sie zerlegt

7 Anwärmer

erwärmt nach Außerbetriebsetzung der Anlage die Luft, die dann von rückwärts durch den aufzutauenden Apparat geschickt wird.

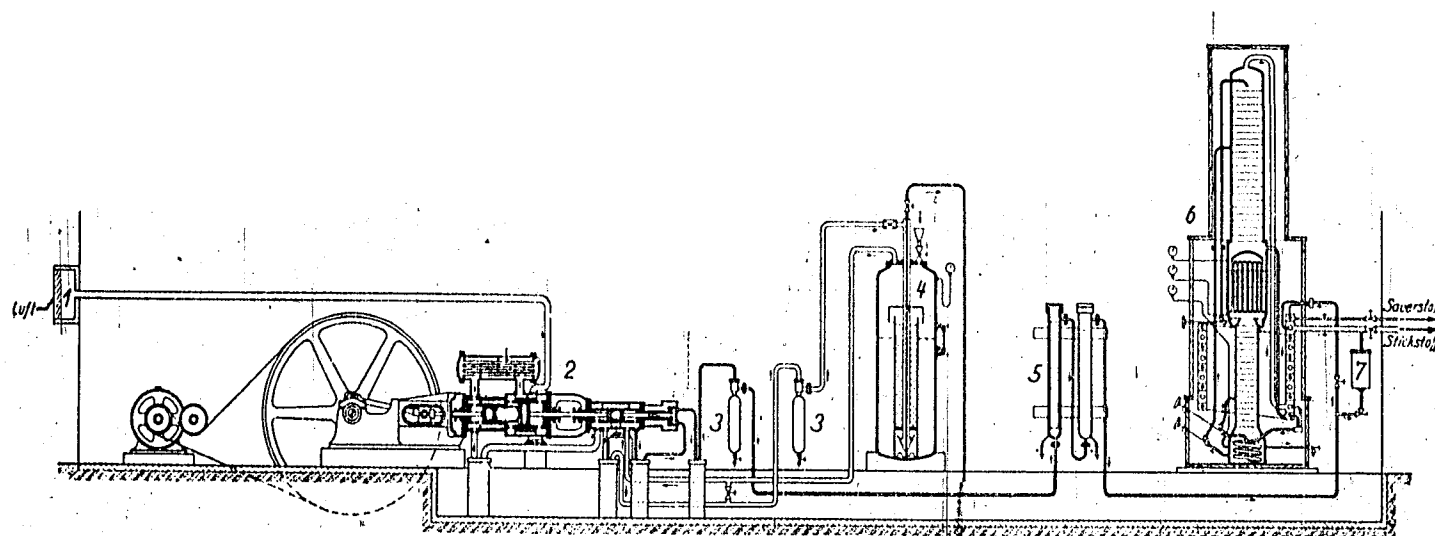


Abb. 18. Anlagen mit doppelter Zerlegung für 200 at Höchstdruck ohne Vorkühlung

Bauart D

1 Luftfilter

reinholt die angesaugte Luft von Staub und anderen mechanischen Verunreinigungen

2 Luftverdichter

verdichtet die Luft in 5 Stufen unter jedesmaliger Zwischenkühlung mit Kühlwasser auf einen Höchstdruck von 200 at, der nach dem Abkühlen des Apparates im Dauerbetrieb auf 40–60 at erniedrigt wird

3 Ölabscheider

befreien die verdichtete Luft von Öl und dem bei der Verdichtung ausgeschiedenen Wasser

4 Laugetopf

entfernt durch Waschung mit Natronlauge unter einem Druck von etwa 15 at den Kohlensäuregehalt der Luft

5 Trockenrohre

mit wasserfreiem Chlorkalzium gefüllt, entfernen den Wasserdampfgehalt der Luft

6 Trennungsgesamtheit

enthält den Gegenstrom-Wärmeaustauscher, in dem die Luft bis auf Verflüssigungstemperatur gekühlt wird, und die Rektifikationsssäulen, die sie zerlegen

7 Anwärmer

erwärmt nach Außerbetriebsetzung der Anlage die Luft, die dann von rückwärts durch den aufzutauenden Apparat geschickt wird.

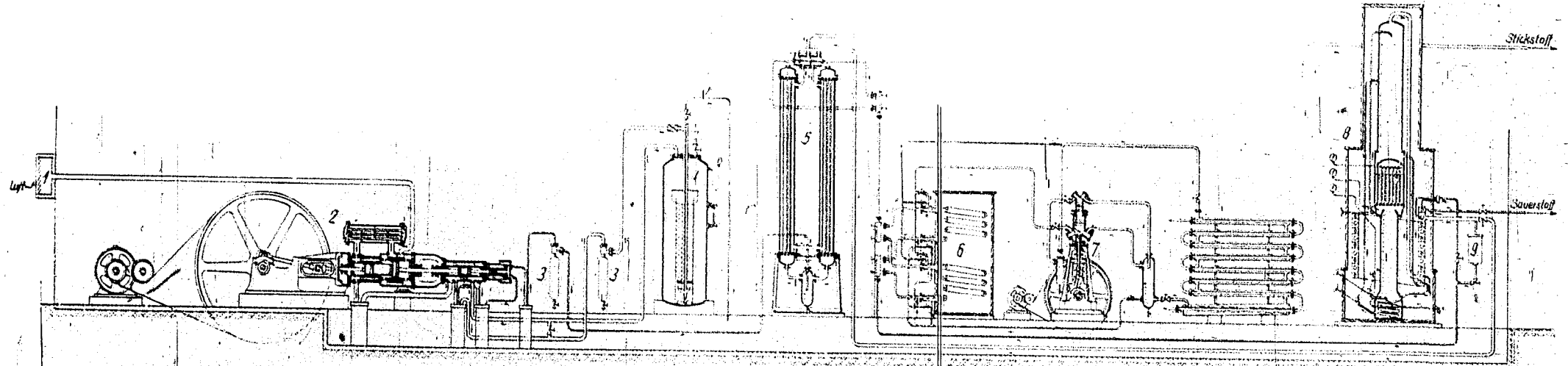


Abb. 19. Anlagen mit doppelter Zerlegung für 200 at Höchstdruck und Vorkühlung
Bauart DV

- 1 **Luftfilter**
reingt die angesaugte Luft von Staub und anderen mechanischen Verunreinigungen
- 2 **Luftverdichter**
verdichtet die Luft in 3 Stufen unter jedesmaliger Zwischenkühlung mit Kühlwasser auf einen Höchstdruck von 200 at, der nach dem Abkühlen des Apparates im Dauerbetrieb auf 35-45 at erniedrigt wird
- 3 **Ölabscheider**
befreien die verdichtete Luft von Öl und dem bei der Verdichtung ausgeschiedenen Wasser

- 4 **Laugetopf**
entfernt durch Waschung mit Natronlauge unter einem Druck von etwa 13 at den Kohlenstoffgehalt der Luft
- 5 **Gegenstrom-Kühler**
kühlt die Luft durch den aus dem Trennungsapparat 8 austretenden kalten Stickstoff auf etwa -20° ab

- 6 **Vorkühler**
kühlt die Luft durch verdampfendes Ammoniak auf etwa -10° zeitig
- 7 **Kältemaschine**
versorgt den Vorkühler 6 mit flüssigem Ammoniak durch zweistufige Verdichtung des aus dem Vorlager verdampften Ammoniaks, das dann durch Kühlwasser verflüssigt wird

- 8 **Trennungsapparat**
enthält den Gegenstrom-Wärmeaustauscher, in dem die Luft bis auf Verflüssigungstemperatur gekühlt wird, und die Rektifikations Säulen, die sie zerlegen
- 9 **Anwärmer**
erwärmt nach Außerbetriebsetzung der Anlage die Luft, die dann von rückwärts durch den aufzunehmenden Trennungsapparat 8 geschickt wird.

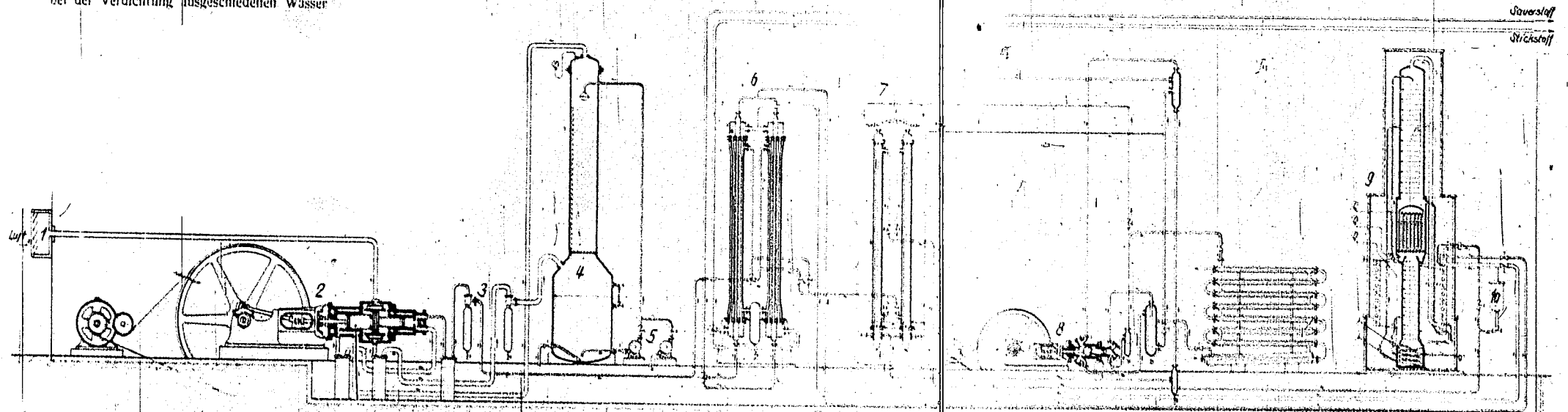


Abb. 20. Anlagen mit doppelter Zerlegung für 60 at Höchstdruck und Vorkühlung
Bauart MD

- 1 **Luftfilter**
reingt die angesaugte Luft von Staub und anderen mechanischen Verunreinigungen
- 2 **Luftverdichter**
verdichtet die Luft in 3 Stufen unter jedesmaliger Zwischenkühlung mit Kühlwasser auf einen Höchstdruck von 60 at, der nach dem Abkühlen des Apparates im Dauerbetrieb auf 20-30 at erniedrigt wird
- 3 **Ölabscheider**
befreien die verdichtete Luft von Öl und dem bei der Verdichtung ausgeschiedenen Wasser

- 4 **Laugeturm**
entfernt durch Waschung mit Natronlauge unter einem Druck von etwa 3 at den Kohlenstoffgehalt der Luft
- 5 **Laugepumpen**
sorgen für einen ständigen Umlauf der Lauge im Laugeturm 4, bzw. für eine Neubeschickung des Turmes mit frischer Lauge
- 6 **Gegenstrom-Kühler**
kühlt die Luft durch den aus dem Trennungsapparat 9 austretenden kalten Sauerstoff und Stickstoff auf etwa -20° ab

- 7 **Vorkühler**
kühlt die Luft durch verdampfendes Ammoniak auf etwa -10° zeitig
- 8 **Kältemaschine**
versorgt den Vorkühler 7 mit flüssigem Ammoniak durch zweistufige Verdichtung des aus dem Vorlager verdampften Ammoniaks, das dann durch Kühlwasser verflüssigt wird

- 9 **Trennungsapparat**
enthält den Gegenstrom-Wärmeaustauscher, in dem die Luft bis auf Verflüssigungstemperatur gekühlt wird, und die Rektifikations Säulen, die sie zerlegen
- 10 **Anwärmer**
erwärmt nach Außerbetriebsetzung der Anlage die Luft, die dann von rückwärts durch den aufzunehmenden Trennungsapparat 9 geschickt wird.

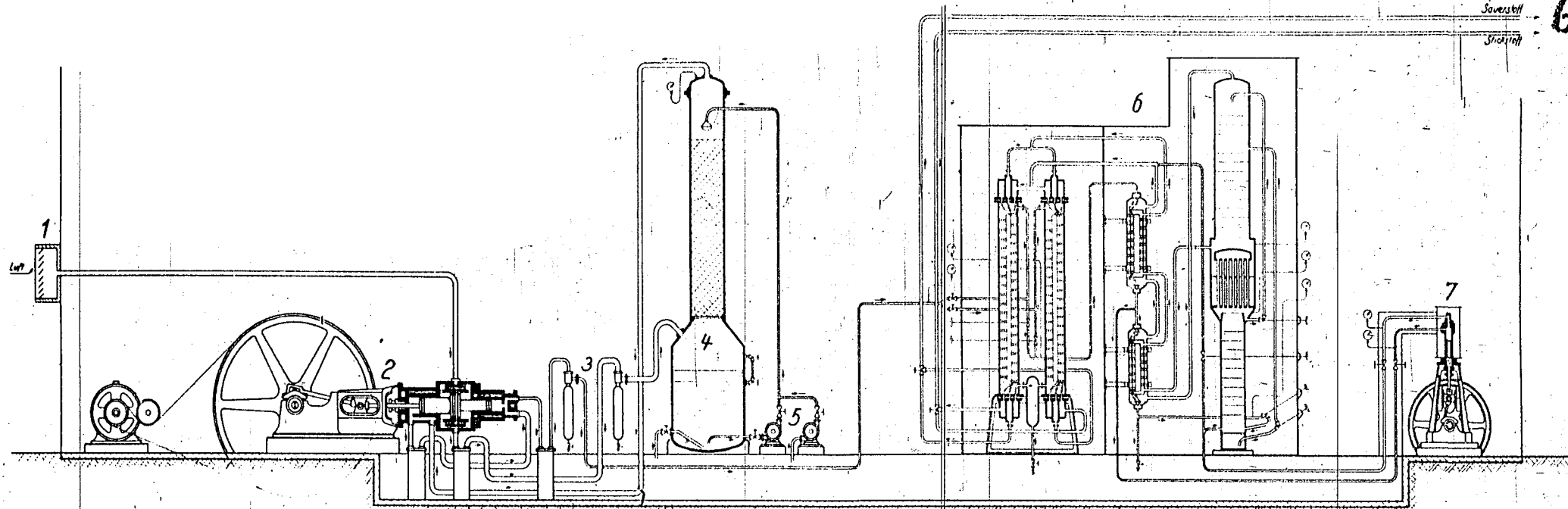


Abb. 21. Anlagen mit doppelter Zerlegung für 50 at Höchstdruck mit Mitteldruck-Entspannungsmaschine und Kältetrockner Bauart ME

- 1 Luftfilter reinigt die angesaugte Luft von Staub und anderen mechanischen Verunreinigungen
- 2 Luftverdichter verdichtet die Luft in drei Stufen unter jedermaliger Zwischenkühlung mit Kühlwasser auf einen Höchstdruck von 50 at, der nach Abkühlen des Apparates im Dauerbetrieb auf 15-18 at erniedrigt wird

- 3 Ölabscheider befreien die verdichtete Luft von Öl und dem bei der Verdichtung ausgeschiedenen Wasser
- 4 Laugeturm entfernt durch Waschung mit Natronlauge unter einem Druck von etwa 2,5 at den Kohlensäuregehalt der Luft

- 5 Lauepumpen sorgen für einen ständigen Umlauf der Lauge im Laugeturm 4, bzw. für eine Neubeschickung des Turmes mit frischer Lauge
- 6 Trennungsapparat enthält den zweistufigen Kältetrockner und die beiden Wärmeaustauscher, in denen die Luft bis

- auf Verflüssigungstemperatur abgekühlt wird, und die Rektifikationssäulen, die sie zerlegen
- 7 Entspannungsmaschine entspannt einen Teil der Luft unter Leistung äußerer Arbeit und erzeugt dadurch den größten Teil der notwendigen Kälte; die Leistung der Maschine wird in der Regel von einem Generator aufgenommen

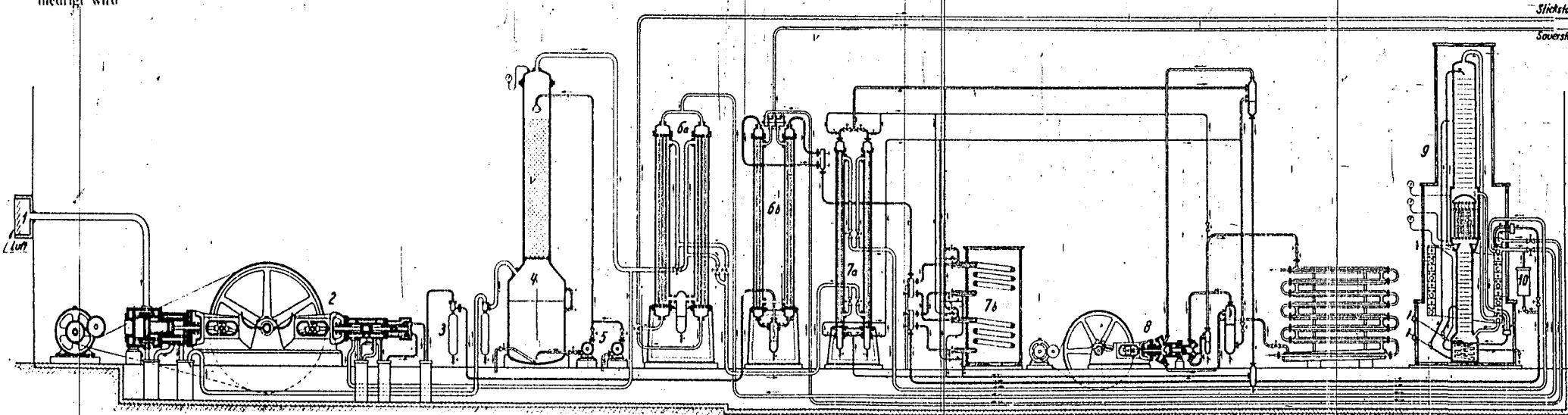


Abb. 22. Anlagen mit doppelter Zerlegung für Hoch- und Niederdruckluft und Vorkühlung Bauart ND

- 1 Luftfilter reinigt die angesaugte Luft von Staub und anderen mechanischen Verunreinigungen
- 2 Luftverdichter verdichtet zunächst die gesamte Luftmenge unter jedermaliger Zwischenkühlung mit Kühlwasser auf einen Druck von 5-6 at; nach der Kohlensäureabscheidung wird ein kleiner Teil der Luft auf einen Höchstdruck von 200 at weiterverdichtet
- 3 Ölabscheider befreien die verdichtete Luft von Öl und dem bei der Verdichtung ausgeschiedenen Wasser

- 4 Laugeturm entfernt durch Waschung mit Natronlauge unter einem Druck von 5-6 at den Kohlensäuregehalt der Luft
- 5 Lauepumpen sorgen für einen ständigen Umlauf der Lauge im Laugeturm 4, bzw. für eine Neubeschickung des Turmes mit frischer Lauge
- 6a Gegenstrom-Kühler kühlt die Niederdruckluft durch den aus dem Trennungsapparat 9 austretenden kalten Stickstoff auf etwa -20° ab

- 6b Gegenstrom-Kühler kühlt die Hochdruckluft durch den aus dem Trennungsapparat 9 austretenden kalten Sauerstoff auf etwa -20° ab
- 7a Vorkühler kühlt die Niederdruckluft durch verdampfendes Ammoniak auf etwa -40° vor und trocknet sie dabei gleichzeitig
- 7b Vorkühler kühlt die Hochdruckluft durch verdampfendes Ammoniak auf etwa -40° vor und trocknet sie dabei gleichzeitig

- 8 Kältemaschine versorgt die Vorkühler 7a und 7b, mit flüssigem Ammoniak durch zweistufige Verdichtung des aus den Vorkühlern abgesaugten verdampften Ammoniaks, das dann durch Kühlwasser verflüssigt wird
- 9 Trennungsapparat enthält den Gegenstrom-Wärmeaustauscher, in dem die Luft bis auf Verflüssigungstemperatur gekühlt wird, und die Rektifikationssäulen, die sie zerlegen
- 10 Anwärmer erwärmt nach Außerbetriebsetzung der Anlage die Hochdruckluft, die dann von rückwärts durch den aufzutauenden Trennungsapparat 9 geschickt wird