Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 78 (1960)
Heft: 16

Artikel: Kleinere Luftverflüssigungs- und Trennanlagen
Autor: Binder, Ulrich
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-64873

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 07.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

einer zusätzlichen, ungezielten Kontrolle von Silozementlieferungen beschafft werden sollen.

6. Ueber alle Ergebnisse der Silozementqualitäts-Kontrolle wird die E. G. Portland durch die EMPA mit periodisch erstatteten Berichten für sich und zu Handen des S. B. V. orientiert; jeder Fall, da eine Silozementprobe die Normenprüfung in irgend einer Beziehung nicht erfüllt, wird dagegen seitens der EMPA umgehend der Technischen Forschungs- und Beratungsstelle der E. G. Portland gemeldet, damit diese die im Einzelfall gebotenen Massnahmen trifft.

Kleinere Luftverflüssigungs- und Trennanlagen

Von **Ulrich Binder**, dipl. Masch. Ing., Zürich

DK 621.593

1. Luftverflüssigungsanlagen für kleine Leistungen

Luftverflüssigungsanlagen sind seit vielen Jahrzehnten bekannt, sie spielen in Wissenschaft und Technik eine bedeutende Rolle. Im folgenden soll nicht eine theoretische Abhandlung gegeben, sondern anhand einiger praktischer Ausführungsbeispiele über dabei entstehende Probleme berichtet werden.

Das meist gebräuchliche Verfahren, das in dieser Form erstmals von Claude angegeben wurde, ist in Bild 1 schematisch dargestellt. Die Luft wird in den drei Stufen K_1, K_2, K_3 eines Kompressors auf 100 at verdichtet, anschliessend mit Wasser auf + 15° C gekühlt und sodann in diesem Zustand einem Gegenstrom-Wärmeaustauscher KT zugeführt, in dem sie sich auf —50° C abkühlt. Dabei scheidet sich die Luftfeuchtigkeit bis auf einen sehr kleinen Rest aus, weshalb der Austauscher auch Kältetrockner genannt wird. Nach ihm trennt sich der Luftstrom; etwa 75 % fliessen einer Expansionsmaschine ExM zu, in der sich dieser Teil in einer Stufe von 100 auf etwa 1,7 ata entspannt und dabei auf —160° C abkühlt. Die restliche Luft wird, immer noch unter 100 at Druck, im Gegenstrom zur expandierten Luft im Tiefkühler TK auf etwa —150° C abgekühlt. Aus diesem überkritischen Zustand wird sie in einer Düse entspannt, wobei ein Teil flüssig wird und den Behälter des Ausscheiders LA für flüssige Luft füllt. Ein besonderes Ventil, welches das Niveau in diesem Ausscheider konstant hält, gestattet, die Flüssigkeit beinahe kontinuierlich zu entnehmen. Der Teil der flüssigen Luft, der bei der Drosselung und infolge der Isolationsverluste verdampft, strömt im Rücklauf zusammen mit der in der Expansionsmaschine entspannten Luft durch den Tiefkühler und den Kältetrockner zurück in die freie Atmosphäre oder in den Ansaugstutzen EP des Kompressors.

Im Entropie-Temperatur-Diagramm stellt sich das Verfahren wie folgt dar (Bild 2): Verdichtung von 6 nach 1, Abkühlung im Kältetrockner nach 2, möglichst adiabatische Entspannung eines Teils der Luft in der Expansionsmaschine von 2 nach 4 und Rückstrom über 5 nach 6. Die Distanz von 4 bis 5 zeigt den Kältegewinn gegenüber einer Düsenexpansion von 2 nach 5. Die Restluft wird bei 100 at von 2 nach 3 gekühlt, worauf die Düsenexpansion auf den Gegendruck erfolgt. Auf der Druckgeraden kann der Anteil der flüssigen Phase zum wieder verdampfenden Teil abgelesen werden.

Das hier beschriebene Verfahren, das im Gegensatz zu der ursprünglich von Linde beschriebenen, nur mit Drosselentspannung arbeitenden Luftverflüssigung den wesentlichen Teil der Entspannung in einer Expansionsmaschine unter Leistung äusserer Arbeit durchführt, kommt mit einem kleineren Energieaufwand aus und wurde deshalb für grössere

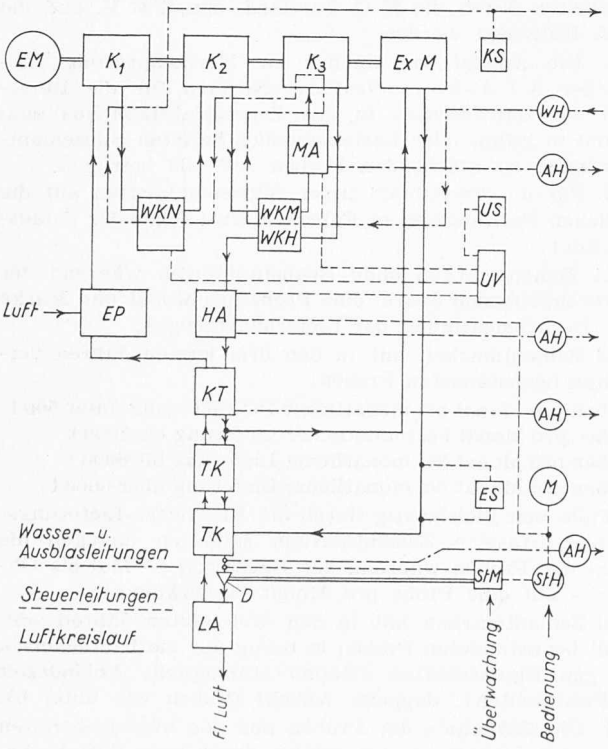


Bild 1. Schaltungsschema der Luftverflüssigungsanlage

EP	Eingangspufferraum	HA	Hochdruck-Abscheider	UV	Ueberdruck-Ventil
EM	Elektromotor	KT	Kältetrockner	ES	Durchfluss-Schalter
K_1 K_2 K_3	dreistufiger Luftkompressor	TK	Tiefkühler	StM	Steuermembran
ExM	Expansionsmaschine	LA	Ausscheider für flüssige Luft	WH	Kühlwasserhahn
WKN	Wasserkühler Niederdruck	D	Expansionsdüse	AH	Ausblasventile
WKM/WKH	Wasserkühler Mittel/Hochdruck	KS	Kühlwasser-Schalter	M	Manometer
MA	Mitteldruck-Abscheider	US	Ueberdruck-Schalter	StH	Betriebsdruckventil

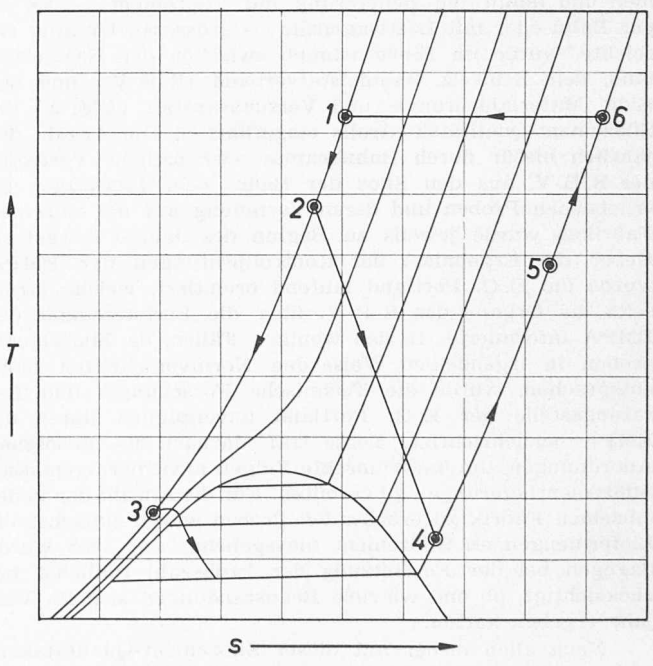


Bild 2. Entropie-TS-Diagramm für Luft
Die Zahlen bezeichnen die im Text beschriebenen Zustände

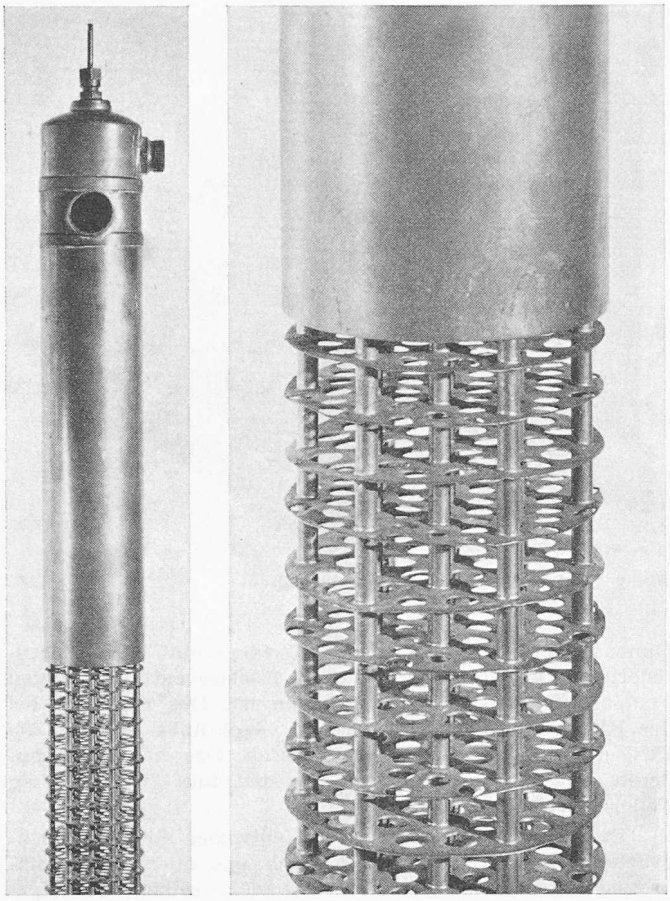
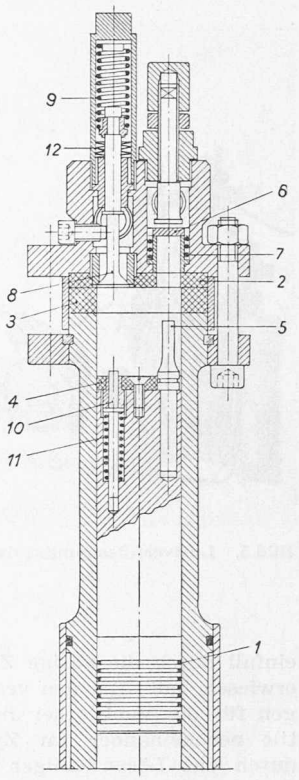


Bild 3. Wärmeaustauscher (teilweise offen)

Bild 4 (rechts). Schnitt durch Expansionsmaschinen-Zylinder

1 Kolbenringe
2 isolierende Platte im Zylinderkopf
3 isolierender Teil des Zylinders
4 isolierende Platte auf Kolbenboden
5 Stössel zu 6
6 Einlassventilplatte
7 Feder zu 6
8 Auslassventil
9 Feder zu 8
10 Stössel zu 8
11 Feder zu 10
12 Dämpfungsfeder zu 8



Anlagen schon seit langem vorgezogen. Die Thermodyn GmbH in Zürich hat dann auf Grund einer vereinfachten Expansionsmaschine das Verfahren auch für kleine Einheiten nutzbar gemacht. Gleichzeitig wurde eine Reihe von Zusatzapparaten entwickelt, die einen automatischen Betrieb ermöglichen. Gerade bei kleinen Leistungen ist die damit erzielte Verringerung der Personalkosten für die Wirtschaftlichkeit ausschlaggebend.

Eine der wichtigsten Massnahmen war die selbsttätige Regelung des Betriebsdruckes am Ende der Kompression. Zu diesem Zwecke ist die Düsennadel in der Expansionsdüse D mit einer Steuermembran StM derart verbunden, dass bei steigendem Druck im System der Ausgang geöffnet wird. Da der Druck bei geöffneter Nadel rascher sinkt als er durch den Kompressor ergänzt werden kann, schliesst die Düse rasch wieder, sobald der mit dem Betriebsdruckventil StH einstellbare Druck unterschritten wird. Die ständige Bewegung der Düsennadel hat den grossen Vorteil, dass die Düse weder durch Eis- noch durch CO_2-Ansatz verstopft, so dass eine Vorreinigung durch Chemikalien entfällt. Das CO_2 geht in feinen Flocken in die flüssige Luft über und setzt sich im Vorratsgefäss am Boden ab.

Damit die Anlage im Betrieb sich selbst überlassen werden kann, sind verschiedene Ueberwachungsorgane notwendig. Der Druck des Kühlwassers wird durch einen Schaltkontakt KS kontrolliert; wenn kein oder zu wenig Wasser fliesst, stellt der Antriebsmotor EM des Kompressors ab. Ein weiterer Kontakt US öffnet, falls in einer der drei Kompressorstufen der normale Druck überschritten wird. Die aus den entsprechenden Sicherheitsventilen austretende Luft wirkt auf eine Membran, die einen Kontakt betätigt. Ein dritter Kontakt an einem einfach gebauten Durchflusswächter ES überwacht die richtige Funktion der Ventile der Expansionsmaschine; er ist nur dann eingeschaltet, wenn im Austrittskanal der Expansionsmaschine genügend Luft strömt. Die drei Kontakte sind elektrisch in Serie mit der Spule im Schützen des Antriebsmotors EM geschaltet und während des Anlaufs überbrückt. Bei Erreichen des richtigen Durchflusses erlischt eine Kontrollampe, als Zeichen dafür, dass auf die Stellung «Lauf» geschaltet werden darf. Ist das geschehen, so überwacht sich die Anlage selbst.

Bei der mehrstufigen Kompression scheidet sich nach jeder Zwischenkühlung ein Teil der Luftfeuchtigkeit als Kondensat ab. Dieses Wasser, das mit mitgerissenem Kompressorenöl vermischt ist, kann durch besondere Ausblashahnen AH während des Betriebes abgelassen werden.

Der Kältetrockner KT muss derart gebaut werden, dass sich in ihm während möglichst langer Zeit das aus der Luftfeuchtigkeit unterhalb des Gefrierpunktes ausgeschiedene Eis ablagern kann. Dabei dürfen keine Verstopfungen auftreten. Diese Forderung wird dadurch erfüllt, dass die zu kühlende Hochdruckluft zwischen kreuzweise gelagerten dünnen Rohren, in denen die Niederdruckluft im Rücklauf fliesst, hindurchgeführt wird. Dadurch erhält man ein verhältnismässig grosses Volumen für die Hochdruckluft, in welchem sich das Eis ansammeln kann. Die Dauer, während der der Kältetrockner ohne Verstopfung arbeitet, kann auf viele Stunden, ja ganze Tage ausgedehnt werden. Durch eine besondere Schaltung kann das Eis während eines kurzen Betriebsunterbruchs mit warmer Luft abgetaut werden.

Bild 3 zeigt die Konstruktion der übrigen Wärmeaustauscher, die sich infolge ihrer leichten Bauart sehr gut bewährt hat. Sie wurde von Prof. Dr. *P. Grassmann* bereits früher beschrieben *). Gerade Rohrbündel sind mit dünnen Kupferblechen mit verschiedener Lochung verlötet. Diese Bleche dienen nicht nur als Schikanen, sondern noch mehr als Rippen und sind direkt am Wärmeaustausch beteiligt.

Die Expansionsmaschine verdient besonderes Interesse, da die hier gewählte Konstruktion manchen alten Gedanken in neuer Form enthält. Wesentlich ist bei einer Tieftemperaturmaschine, die eigentlich einen Luftmotor darstellt, dass die Reibung zwischen Kolben und Zylinder möglichst klein ist, da sie direkte Verluste im Wirkungsgrad ergibt. Dadurch, dass die Maschine auf einem Kompressorkurbelgehäuse normaler Bauart aufgesetzt wird, dienen die ursprünglichen Kolben als Geradeführungen und entlasten den eigentlichen Kälteteil vom Seitendruck der Pleuel. Für die Abdichtung der hohen Drücke wurden Kolben mit genauer Passung verwendet. Eine noch bessere Bauart zeigt Bild 4. Die Kolbenringe 1 befinden sich im warmen Teil des Zylinders, wo sie von unten her mit Oel geschmiert werden. Der oberste Teil des Expansionsraumes (Zylinderkopf 2, Seitenwand 3 und Kolbenboden 4) wird durch wärmedichte Baustoffe abgegrenzt, während der Wärme-

*) «Chemie-Ing.-Technik» 1954, Nr. 11, Seite 601 ff.

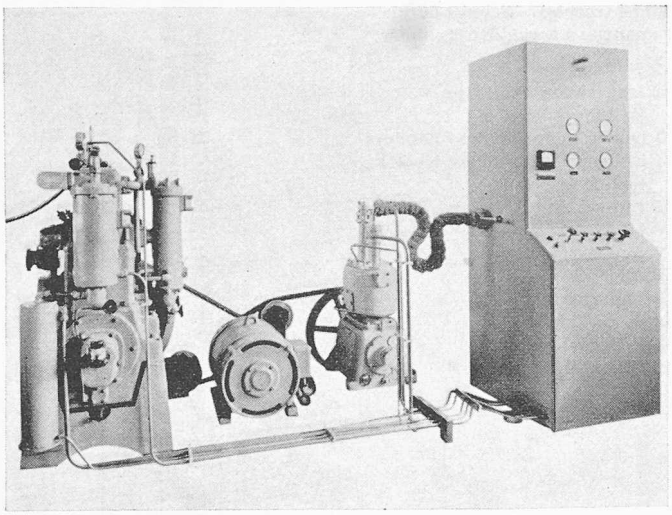


Bild 5. Luftverflüssigungsanlage für 25 l/h

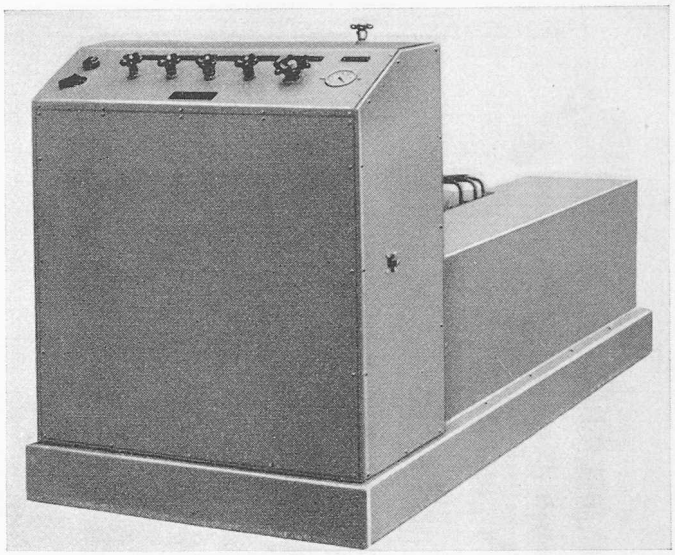


Bild 6. Luftverflüssigungsanlage für 6 l/h

einfall durch die übrige Zylinderwand sich als unerheblich erwiesen hat. Aus den verschiedenen geprüften Anordnungen für die Ventile sei diejenige gezeigt, bei der die Ventile nebeneinander im Zylinderkopf sitzen. Dieser kann durch das Lösen einiger Schrauben in wenigen Minuten als Ganzes ausgewechselt werden.

Die Steuerung der Ventile erfolgt vom Kolben aus, wodurch Nockenwellen und Verbindungen mit der Kurbelwelle vermieden werden. Ein äusserer Ventilantrieb wäre wegen der tiefen Temperaturen unzweckmässig, da für ihn besondere Stopfbüchsen entwickelt werden müssten. Bei der dargestellten Konstruktion hebt ein mit dem Kolben fest verbundener Stössel 5 die Ventilplatte des Einlassventils 6 ab, worauf der Druckausgleich zwischen Hochdruckrohr und Arbeitsraum rasch erfolgt. Eine Feder 7 hält die Ventilplatte in der geöffneten Stellung, bis beim Rückgang des Kolbens nach einer einstellbaren Zeit das Ventil durch die Luftströmung unter Ueberwindung der Federkraft geschlossen wird.

Das Auslassventil 8 wird durch die Feder 9 geöffnet, sobald der Druck im Zylinder infolge der Expansion auf einen bestimmten Wert gesunken ist. Es bleibt dann während des Hochgehens des Kolbens offen, bis nahe vor dem obern Totpunkt der federnd im Kolben sitzende Stössel 10 das Ventil schliesst. Erst dann öffnet das Einlassventil wieder. Die Betriebssicherheit hängt wesentlich von der Dimensionierung sowie der Materialqualität der Ventilfedern ab, wobei besonders beim Auslassventil den tiefen Temperaturen Rechnung zu tragen ist. Der Platz ist bei der Kleinheit der Anlage äusserst beschränkt, so dass die Federn hoch belastet werden müssen. Das hat zu besonderen Ausführungen geführt; so sind mit gutem Erfolg Tellerfedern verwendet worden.

Die Expansionsmaschine wird entweder mit dem Hochdruckkompressor, gelegentlich auch mit allen drei Kompressionszylindern zusammen, auf dem selben Kurbelgehäuse montiert, so dass die abgegebene Leistung, die allerdings wegen der tiefen Temperaturen trotz der hohen Drücke prozentual sehr gering ist, die gesamte Antriebsleistung verringert. Um einen Begriff der Grössenordnung zu geben, sei erwähnt, dass bei den Anlagen für eine Verflüssigungsleistung von 25 l/h der Expansionszylinder einen Durchmesser von 40 mm und einen Hub von 130 mm bei 600 bis 700 U/min aufweist. Dabei werden rd. 80 Normalkubikmeter Luft zwischen —50° C und —160° C verarbeitet, entsprechend einer Leistung von etwa 1800 kcal/h. Der adiabatische Wirkungsgrad beträgt dabei etwas über 60 %. Bei geringern Expansionsverhältnissen und höhern Temperaturen wurden mit ähnlichen Konstruktionen schon 85 Prozent gemessen.

Bild 5 zeigt eine Anlage für 25 l/h flüssiger Luft. Sie besteht aus dem Niederdruckkompressor (rechts), dem

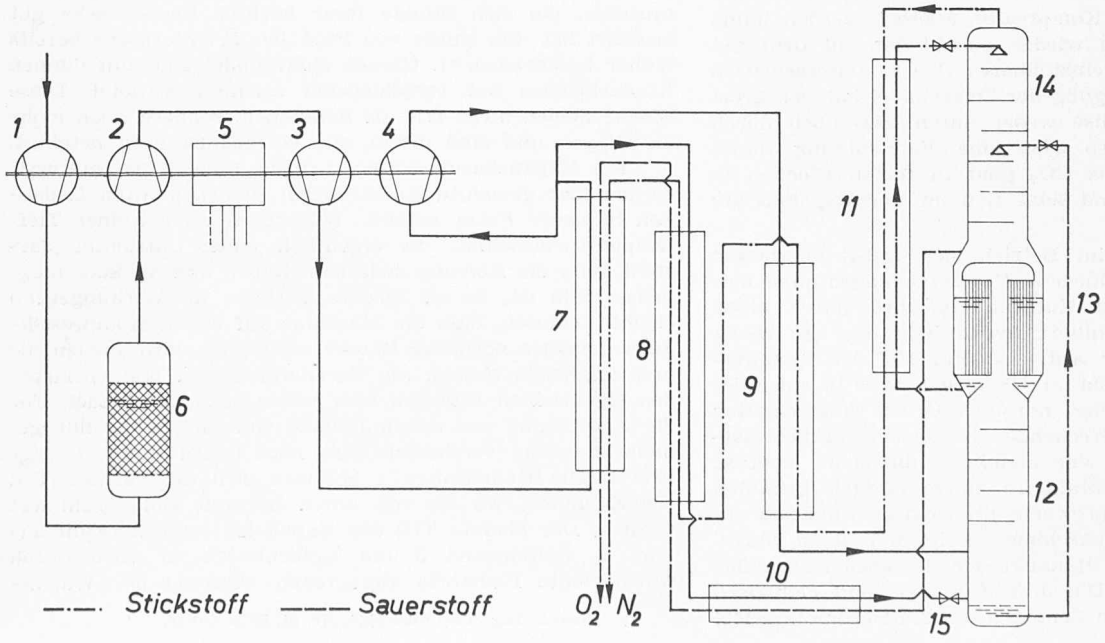


Bild 7. Prinzipielles Stofflussdiagramm einer Lufttrennanlage

1, 2, 3 dreistufiger Kompressor
4 Expansionsmaschine
5 Elektromotor
6 Laugenwäscher
7 Kältetrockner
8 bis 11 Wärmeaustauscher
12 Mitteldruck-Trennkolonne
13 Kondensator
14 Niederdruck-Trennkolonne
15 Expansionsdüse

Motor, dem Hochdruckkompressor mit Expansionsmaschine und dem Apparategestell, das die nötigen Wärmeaustauscher und die übrigen Apparate enthält. Auf Bild 6 ist eine Kleinanlage dargestellt, die 6 l/h liefert. Es wurden gelegentlich noch kleinere Anlagen gewünscht, weil sich auch diese Leistung an einigen Orten als zu gross erwies: Das Studium der Ausführungsmöglichkeiten liess erkennen, dass es kaum ratsam ist, kleinere Anlagen nach dem selben Prinzip zu bauen, da die Verkleinerung nur unwesentliche Einsparungen in den Baukosten ergäbe. Alle Apparate für die Regelung und Ueberwachung müssen gleich gebaut werden, so dass es zweckmässiger ist, die Anlage für 6 l/h nur kurzzeitig in Betrieb zu nehmen. In vielen Fällen hat es sich gezeigt, dass der Verbrauch sehr stark steigt, sobald die Anlage im eigenen Haus steht und die flüssige Luft damit rasch und billig zur Verfügung steht. Die hier beschriebenen Anlagen zeichnen sich durch sehr kurze Anfahrzeiten aus. So beträgt die Zeit vom warmen Zustand bis zum Ausstossen der ersten flüssigen Luft bei der grösseren Anlage kaum 4 Minuten, bei der kleineren ungefähr 8 Minuten.

2. Kleine Lufttrennanlagen

Lufttrennanlagen setzen sich grundsätzlich aus einer Luftverflüssigungsanlage und einem zusätzlichen Aggregat zusammen, das die Rektifikationskolonne enthält. Bekanntlich wird die Luft getrennt, indem sie in flüssigem Zustand mehrfach destilliert wird. Bild 7 zeigt das Stoffflussdiagramm einer Doppelkolonnen-Anlage. Die Luft wird in drei Stufen 1, 2 und 3 verdichtet. Zwischen der ersten und zweiten Stufe ist die CO_2-Auswaschung 6 mit Lauge zwischengeschaltet. Die Luft tritt dann über den Kältetrockner 7 zur Expansionsmaschine 4. Die übrigen Wärmeaustauscher sind mit 8, 9, 10 und 11 bezeichnet. 12 stellt die Mitteldruckkolonne (rd. 5 atü), und 14 die Niederdruckkolonne (rd. 0,5 atü) dar, dazwischen liegt der Kondensator 13. Die Expansionsdüse 15 hat eine ähnliche Funktion wie bei der Luftverflüssigungsanlage, nur führt sie hier in den Sumpf der Rektifikationskolonne. Ein Teil der Luft tritt somit flüssig, der andere Teil, der aus der Expansionsmaschine 4 kommt zwar gasförmig, aber annähernd mit der selben Temperatur in die Mitteldruckkolonne 12 ein. Die Luft steigt durch die verschiedenen Böden bis in den Kondensator 13, wird dort verflüssigt und rinnt über die Böden hinunter als Waschflüssigkeit bis in den Sumpf zurück. Durch die Rektifikation (Stoffaustausch) in den Böden erfolgt bereits eine teilweise Trennung in Stickstoff und Sauerstoff, und zwar steigt der tiefer siedende Stickstoff nach oben, das sauerstoffreichere Gemisch sammelt sich unten. Ueber zwei Entspannungsventile werden die beiden entstandenen Komponenten flüssig in die oben angeordnete Niederdruckkolonne 14 hinaufgefördert, wo sie wieder als Waschflüssigkeit dienen. Dort findet eine praktisch vollständige Trennung in Sauerstoff und Stickstoff statt, wobei der Reinsauerstoff, der sich im Sumpf der obern Kolonne sammelt, durch den in der untern Kolonne kondensierenden Stickstoff ständig wieder verdampft wird. Die beiden reinen Komponenten werden gasförmig entnommen und über die verschiedenen Wärme - Austauscher auf Umgebungstemperatur erwärmt.

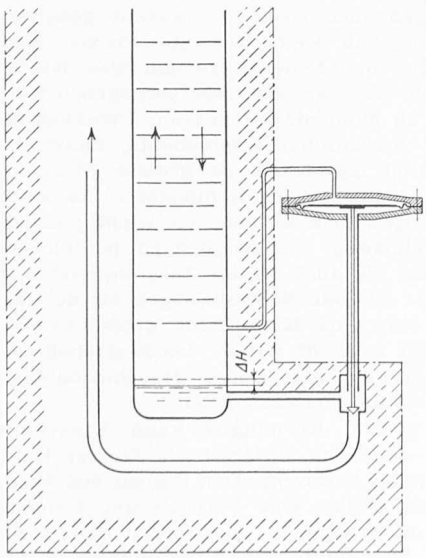


Bild 8. Schema der Niveau-Regeldüse

Die grundsätzliche Anordnung bietet nichts Neues; sie ist auch bei grösseren Anlagen üblich, allerdings können wegen der prozentual kleinern Verluste dort kleinere Drücke angewendet werden.

Bei der Lufttrennung hat sich der CO_2-Wäscher als notwendig erwiesen, da sich bei längerem Betrieb der CO_2-Gehalt der Luft in der Kolonne störend bemerkbar macht.

Die Reinheit der beiden hauptsächlichen Luftkomponenten Sauerstoff und Stickstoff hängt weitgehend von der Höhe der Kolonne und vom Wirkungsgrad der einzelnen, in der Kolonne eingebauten Böden ab. Eine Doppelkolonne, die eine Reinheit des Stickstoffes von 99,99 % ergibt, wurde mit ungefähr 5 m Gesamthöhe gebaut. Darin ist die obere und die untere Isolation eingeschlossen, die bei einer Innentemperatur von —190° C sehr dick sein muss. Falls nur die eine der beiden Komponenten benötigt wird, kann die Anlage wesentlich niedriger gebaut werden, indem der eine Kolonnenteil wegfällt. So besteht zum Beispiel die Möglichkeit, reinen Stickstoff in flüssiger Form zu gewinnen, indem man die obere Kolonne weglässt und ein Teil des Stickstoffs, der sich in der untern Kolonne unterhalb des Kondensators ansammelt, als Produkt aus der Anlage wegführt. Wird die untere Kolonne weggelassen, so ergibt sich in der obern Kolonne im Sumpf reiner Sauerstoff, wobei allerdings der oben austretende Stickstoff nicht rein ist, sondern noch bis zu 10 % Sauerstoff mitführt, was eine entsprechend grössere Durchsatzmenge erfordert. Diesem Nachteil steht die einfachere Bedienung einer solchen Einkolonnenanlage gegenüber.

Vom Sauerstoff wird gewöhnlich eine Reinheit von 99,5 % verlangt, was für alle technischen und auch medizinischen Zwecke ausreicht. Der Sauerstoff kann auch in flüssiger Form entnommen werden, was heute für verschiedene Verwendungszwecke erwünscht ist. Die Anlagen werden mit einem Betriebsdruck von rd. 100 at betrieben, wobei sich sehr kurze Anfahrzeiten ergeben. Die Lufttrennanlagen haben je nach Typ und Grösse eine Anfahrzeit zwischen 2 und 3 Stunden. Wie aus Bild 7 ersichtlich, sind alle Apparate nur einfach ausgeführt, auch der Kältetrockner 7. Das bedeutet, dass nach einer gewissen Zeit die Anlage zwecks Wiederaufwärmen und Abtauen des Kältetrockners kurz stillzusetzen ist. Am besten hat sich ein Arbeitszyklus von ungefähr 36 Stunden bewährt, wobei 3 Stunden Anfahrzeit, 30 Stunden Laufzeit und 1,5 bis 3 Stunden Trockenzeit mit einem Warmfahraggregat eingeschlossen sind. Dieses ermöglicht, die Anlage mit heisser Luft durchzuspülen.

Die Steuerung der Lufttrennanlage ist wesentlich komplizierter als bei der Luftverflüssigung. Die Rücklaufverhältnisse in der Kolonne müssen konstant bleiben. Bei kleinen Dimensionen ist dabei besondere Sorgfalt nötig, da der Rücklauf nicht zu einem Aufstauen oder zu andern Störungen führen darf. Wenn die Anlage einmal kaltgefahren ist und die Reinheit der beiden Komponenten ihr Optimum erreicht hat, muss dafür gesorgt werden, dass das Flüssigkeitsniveau im Sumpf der Mitteldruckkolonne immer konstant bleibt. Die zuerst verwendeten Schwimmer aus Leicht-Isolationsmaterial versagten nach einer gewissen Betriebszeit, da sich die Poren mit flüssiger Luft vollsaugten, trotzdem sie geschlossen waren. Sie wurden dann durch Niveau-Regeldüsen ersetzt, deren grundsätzliche Bauart aus Bild 8 hervorgeht. Bei ihnen wird der Differenzdruck ΔH einer Flüssigkeitssäule gemessen. Beim Ansteigen des Niveaus steigt der Druck auf der Unterseite dem Membran, so dass die Düsennadel angehoben wird. Umgekehrt schliesst das Ventil, sobald die Flüssigkeit wieder die erforderliche Sollhöhe erreicht hat.

Für ein gutes Funktionieren der Rektifikationskolonne ist vor allem die Wahl des entsprechenden Rektifikationsbodens wichtig. Von Prof. Dr. *P. Grassmann* wurde eine Konstruktion entwickelt, die eine sehr intensive Durchwirbelung der nach abwärts fliessenden flüssigen Phase durch den aufsteigenden Gasstrom ermöglicht. Spiralförmige Kanäle auf der Ebene jedes Bodens werden entweder von aussen nach innen oder umgekehrt durchflossen (Bild 9). Die Bodendistanz beträgt 40 bis 50 mm, in beiden Kolonnenteilen werden je etwa 30 Böden verwendet.

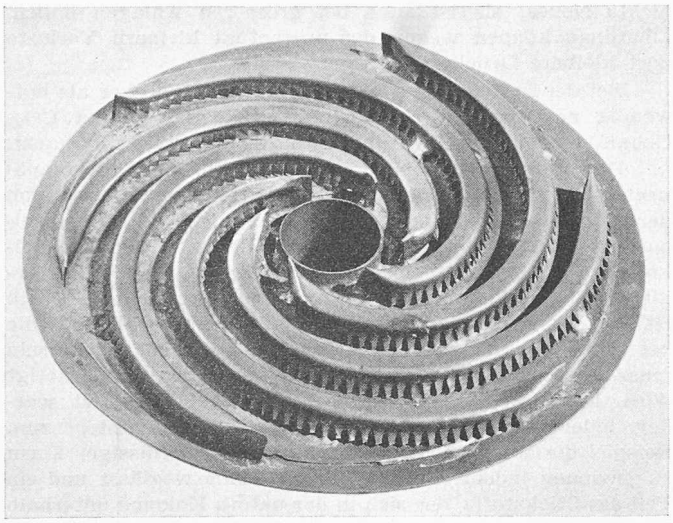


Bild 9. Rektifikationsboden

Die Entwicklung der verschiedenen Anlageteile erforderte teilweise besondere Massnahmen materialtechnischer Natur. Ueberall musste das Materialgewicht niedrig gehalten werden, weil die Anfahrzeit hauptsächlich durch das Abkühlen aller Apparate bedingt ist. Stahl kann nur in Form von rostfreiem Stahl 18/8 in Frage kommen, da die übrigen Stähle bei tiefen Temperaturen zu Kaltbrüchen neigen. Weitgehend wurden deshalb Kupferrohre verwendet. Bei den Verschraubungen bewährte sich das System ERMETO wegen der leichten Demontage. Messing ist nur in guten, bleifreien Legierungen zulässig. Das Betätigen der Ventile bei tiefen Temperaturen ist problematisch, da keine Stopfbüchsen mehr dicht halten. Durch die Verlängerung der Ventilschäfte konnten die Stopfbüchsen an warme Stellen ausserhalb der Isolation verlegt werden.

3. Verwendungsmöglichkeiten

Die Verwendungsmöglichkeiten von Luftverflüssigungs- und Trennanlagen sind sehr vielseitig. Die Luftverflüssiger werden in physikalischen und chemischen Laboratorien entweder zur Herstellung sehr tiefer Temperaturen oder zur Verbesserung von Hochvakua benützt, in der Industrie zum Kaltschrumpfen von Maschinenteilen, zum Vergüten von Stählen, zum Verarbeiten plastischer Materialien usw.

Der Stickstoff dient zur Erzeugung von Ofenatmosphären, zum Teil in Verbindung mit andern Gasen als Mischgase verschiedenster Art. Als inertes Gas wird Stickstoff zum Verhindern von Oxydationen (Rostschutz), von Verdunstungsverlusten oder auch gegen Explosionen verwendet und kann in Kleinanlagen der beschriebenen Art sehr wirtschaftlich hergestellt werden. Der Sauerstoff ist demgegenüber in Kleinanlagen meistens nicht so billig herzustellen wie in Grossanlagen; doch gibt es auch hier viele Fälle, wo Kleinanlagen angezeigt sind.

Zusammenfassend darf gesagt werden, dass die hier beschriebene Entwicklung kleiner Einheiten von Luftverflüssigern und Lufttrennanlagen eine dezentralisierte Aufstellung ermöglicht, womit sich Transportprobleme vereinfachen. Es gelang, die Anfahrzeiten stark zu verkürzen und die Anlagen weitgehend zu automatisieren.

Adresse des Verfassers: *Ulrich Binder,* berat. Masch.-Ing., Beethovenstrasse 1, Zürich 2.

Möglichkeiten und Grenzen der Kiesdosierung

Von **R. Beyeler,** dipl. Ing. in Firma U. Ammann, Maschinenfabrik AG., Langenthal

DK 624.012.52:622.74

Viele Kieswerkbesitzer stehen heute vor der Frage der Anschaffung einer Kiesdosieranlage. Auf dem Markt sind bereits verschiedene Fabrikate solcher Anlagen erhältlich, die nach verschiedenen Prinzipien arbeiten. Es scheint angezeigt, die bei der Kiesdosierung auftretenden Probleme in aller Sachlichkeit zu beleuchten, um den Interessenten zu veranlassen, seine besondern Bedürfnisse vorerst abzuklären und dann die Dosieranlage auszuwählen, die diesen Bedürfnissen am besten entspricht.

Mit einer Kiesdosieranlage sollen die verschiedenen im Kieswerk anfallenden Einzelkomponenten so zusammengemischt werden, dass ein fertiges Betonkiesgemisch abgegeben werden kann, das in seinem Kornaufbau einer bestimmten Kurve entspricht. Massgebend ist dabei die Trokkensubstanz. Im folgenden sollen die wesentlichen Einflüsse näher beleuchtet werden, die zum Erreichen dieses Ziels von Bedeutung sind.

Kornaufbau der Einzelkomponente

Wollen wir eine bestimmte Betonmischung herstellen, z. B. nach Kurve EMPA 40 aus den Einzelkomponenten 0-4, 4-8, 8-15, 15-30 und 30-40, so zeigt Bild 1, dass die Einzelkomponenten ebenfalls eine ganz bestimmte Kornkurve haben müssen. Nun weichen aber die im Kieswerk anfallenden Einzelkomponenten meistens sehr stark von diesen Idealkurven ab und ändern sich zudem noch ständig. Bild 2 und 3 zeigen die Ergebnisse von Untersuchungen der EMPA an 2 Kieswerken, die sich über einen Monat erstrecken. Trägt man die Kornkurven aller dieser Proben auf, so liegen sie innerhalb eines bestimmten Bandes, dessen Höhe den Streubereich ergibt. Dabei sind Streubreiten von 10 % insbesondere beim Sand als gut zu bezeichnen, 30 % oder sogar mehr sind durchaus keine Seltenheit. Diese Feststellungen wurden auch bei deutschen Untersuchungen gemacht, die sich auf Hunderte von Probeentnahmen erstreckten. Es ist dies also der allgemein verbreitete Normalfall.

Diese Streuungen sind bedingt durch die Streuung im natürlichen Kiesvorkommen einerseits und die Güte der Klassierung anderseits. Die Klassierung erfolgt allgemein mit Vibrationssieben, einem Gerät also, das abgesehen vom geringfügigen Einfluss durch die Abnützung eine unveränderte Maschenweite besitzt. Die Kornklasse ist somit nach oben eindeutig begrenzt. Die untere Grenze dagegen ist beeinflusst durch das Unterkorn, das noch mitkommt und seinerseits wieder von der Grösse der Siebe und der Aufgabeleistung bestimmt ist.

Um diese Leistungsabhängigkeit etwas zu verdeutlichen, seien noch folgende Richtwerte angegeben. Nehmen wir an, dass wir bei einer Leistung von 100 % 6 % Unterkorn haben, so müssen wir bei einer Leistung von 120 % mit 15 % Unterkorn rechnen, bei 150 % Leistung mit etwa 25 % Unterkorn, bei doppelter Leistung mit etwa 35 % Unterkorn. Nun wird wohl die Gesamtaufgabeleistung eines Werkes im allgemeinen ziemlich konstant gehalten, dagegen ist es leider auch weitverbreitete Praxis, dass einige Baggerkübel aus einer feinen Lage und dann wieder einige Baggerkübel aus einer groben Lage aufgegeben werden. Dies führt dann zu momentanen grossen Ueberlastungen der Siebe einer bestimmten Komponente, damit zu grossem Unterkornanteil und somit zu grosser Streuung in der Kornkurve der betreffenden Komponente. Es kann nicht genug darauf hingewiesen werden, wie wichtig es ist, ein Kieswerk so regelmässig wie möglich zu beschicken, sowohl in der Leistung, als auch in der Zusammensetzung des Materials. Da aber gewisse Schwankungen nie zu umgehen sind, verlangt eine gute Klassierung grossdimensionierte Siebe. Dem steht sehr oft wieder das Bestreben des Kieswerkbesitzers entgegen, aus seiner Maschinenanlage die grösstmögliche Leistung herauszuholen.

Namentlich bei groben Körnungen kann Unterkorn auch noch entstehen, wenn das Material aus grosser Höhe hinunterfällt und teilweise zerbricht. Der Einbau von Kiesleitern kann in solchen Fällen eine Verbesserung bringen.

Es bleibt noch zu erwähnen, dass selbst die beste Klassierung nur die Endpunkte einer bestimmten Kornklasse festhalten kann, währenddem sie auf die Streuung