

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 83 (1965)  
**Heft:** 16: Schweizer Mustermesse

**Artikel:** Horizontale oder vertikale Bauart von Kolbenkompressoren  
**Autor:** Bauer, H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-68137>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 17.05.2025

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

Von H. Bauer, dipl. Ing., Basel

Vor dem Kriege wurden Grosskompressoren in Europa fast ausschliesslich als schwere, langsam laufende und langhubige, liegende Tandem-Maschinen gebaut, bei denen drei bis vier Kompressorstufen hintereinander mit derselben Kolbenstange verbunden waren. Grössere und mehrstufige Maschinen wurden als Zwillingsmaschinen ausgeführt, bei denen der Motor gewöhnlich in der Mitte zwischen beiden Kompressorseiten lag. Mit dieser Bauart wurden Leistungen bis zu 4000 PS bewältigt, jedoch kam man dabei zu ausserordentlich grossen Gewichten und Abmessungen der Maschinen. Entsprechend wurden auch die Massenkraften sehr gross und die Beanspruchung der Fundamente wurde erheblich. Die Zugänglichkeit dieser Maschinen war ebenfalls nicht überragend, da man, um den am Gestell liegenden Zylinder zu öffnen, alle anderen Zylinder abbauen musste.

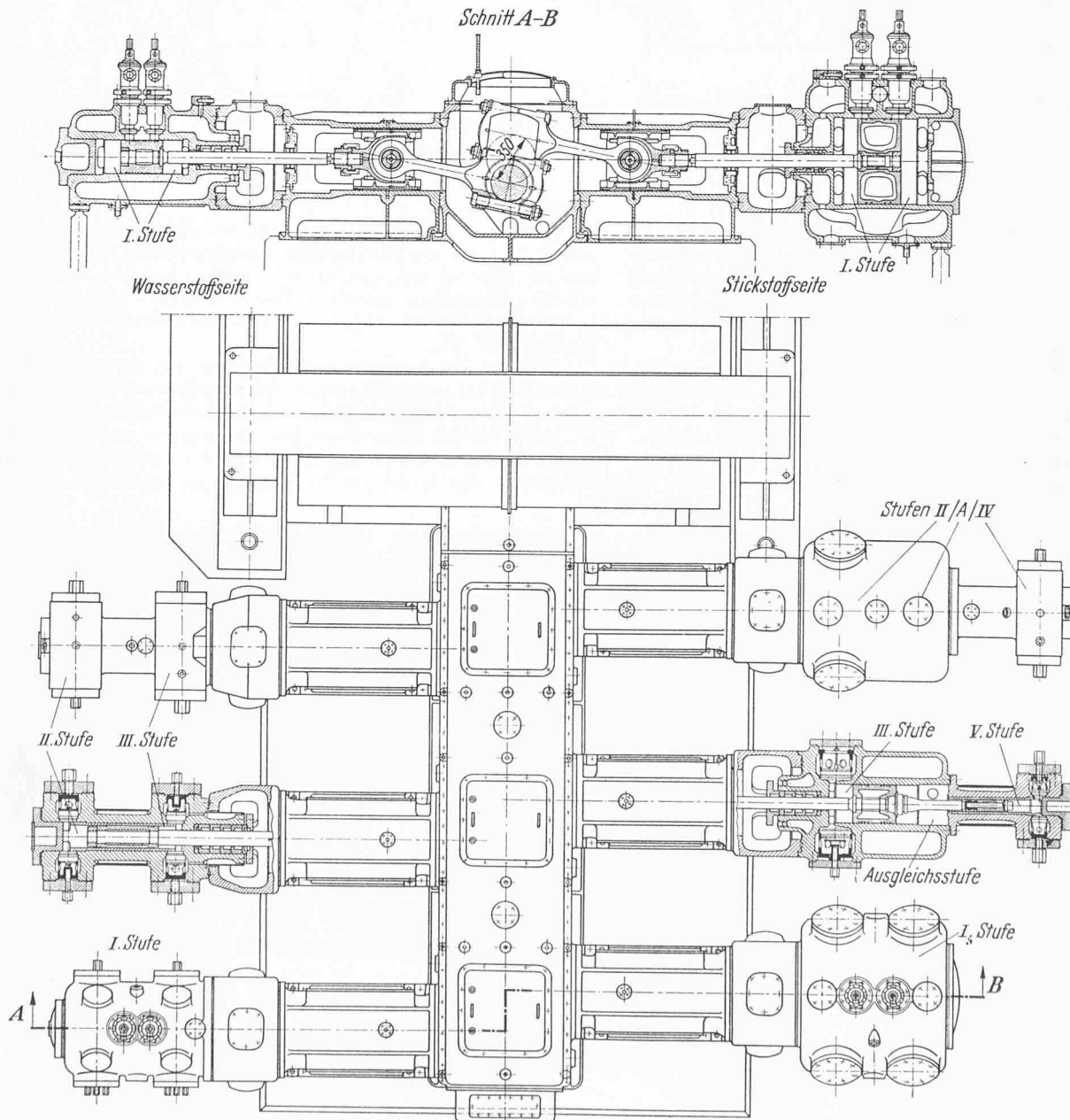
Seit dem Kriege sind diese Maschinen fast völlig verschwunden und sind durch mehrkurbelige, kurzhubige Schnellläufer verdrängt worden. Dabei stehen zwei Bauarten im Vordergrund, nämlich die sogenannte Boxermaschine mit liegenden Zylindern und gegenläufigen

Kolben und die vertikale Maschine. Insbesondere die Boxer-Bauart, die ursprünglich in den USA entwickelt worden ist, hat sich im letzten Jahrzehnt sehr stark ausgebreitet, da ihr grosse Vorteile nachgesagt werden, und es ist daher von Interesse, sie mit der vertikalen Bauart zu vergleichen.

Bild 1 zeigt einen typischen sechskurbeligen Boxerkompressor. Zwei gegenüberliegende Zylinder werden jeweils von zwei um  $180^\circ$  versetzten Kröpfungen der Kurbel angetrieben, so dass die Kolben gegenläufig sind.

Bereits bei einer zweikurbeligen Maschine dieser Bauart wird ein hervorragender Massenausgleich erreicht. Dies ist denn auch der wesentliche Vorteil dieser Maschinenart. Wenn die Kolben auf beiden Seiten gleich schwer wären, würde bereits bei einer zweikurbeligen Maschine ein vollständiger Ausgleich der Kräfte der ersten und der zweiten Ordnung erreicht. Da die Axen der Zylinder um ein geringes Mass versetzt sind, entstehen sehr kleine Momente der ersten und zweiten Ordnung.

Bild 1. Sechskurbeliger Boxerkompressor (DEMAG); linke Seite für Wasserstoff mit drei Stufen, rechte Seite für Stickstoff mit fünf Stufen (aus Fröhlich, Franz: Kolbenverdichter, Berlin 1961, Springer, S. 155, Abb. 124)



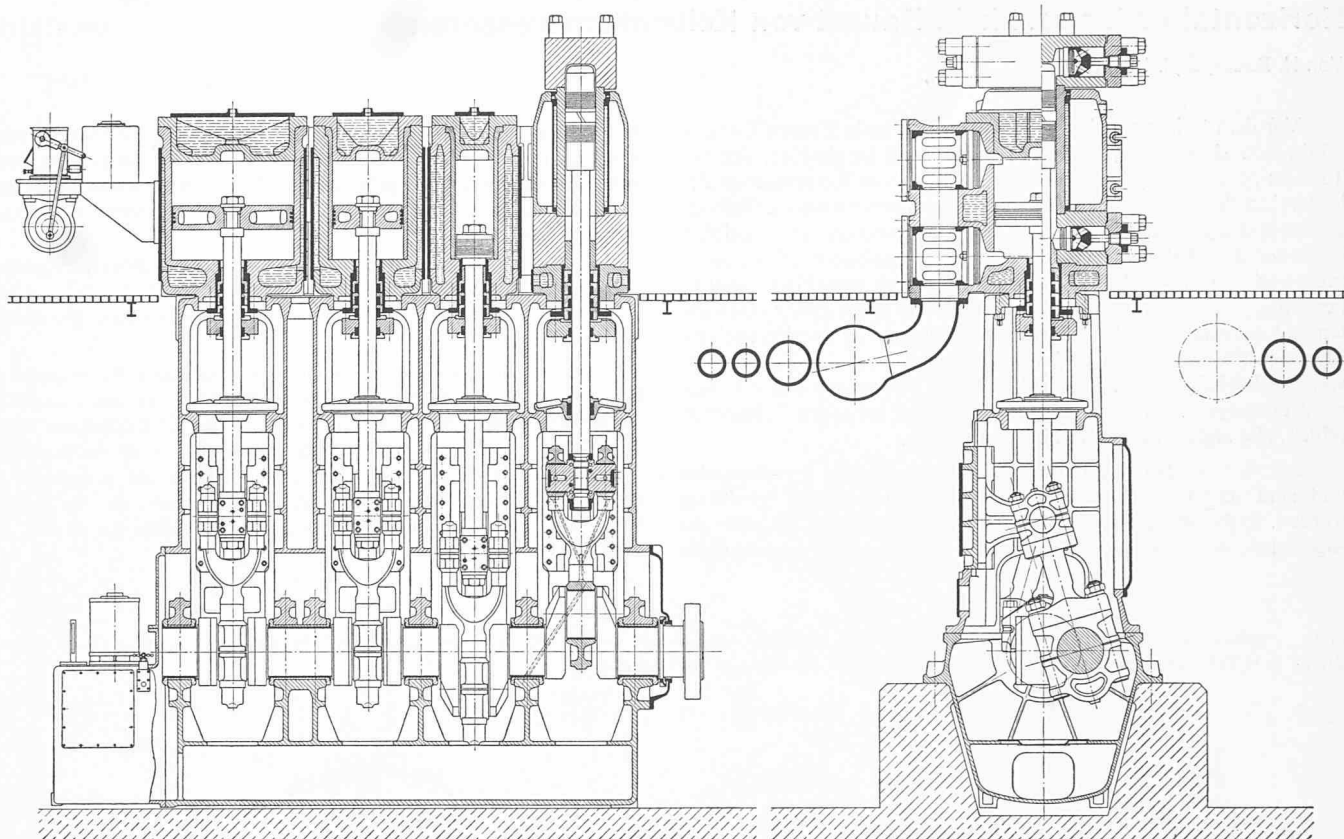


Bild 2. Fünftufiger vertikaler Kolbenkompressor für Ammoniak-Synthese; Ansaugvolumen 13 280 Nm<sup>3</sup>/h, Ansaugdruck 3 ata, Enddruck 301 ata, Drehzahl 200 U/min., Leistungsbedarf 3550 PS

Bei einem zweikurbigen, vertikalen Kompressor wäre der Ausgleich der Kräfte der ersten Ordnung zwar ebenso gut, das freie Moment jedoch erheblich grösser, da der Abstand zwischen den beiden Zylinderachsen notwendigerweise grösser sein muss. Die zweikurbige Boxermaschine ist daher einem zweikurbigen, vertikalen Kompressor zweifellos bezüglich der freien Massenkräfte stark überlegen.

Ein dreikurbiger, vertikaler Kompressor besitzt zwar einen vollständigen Ausgleich der Kräfte der ersten und zweiten Ordnung, aber noch recht erhebliche freie Momente, so dass auch hier der Massenausgleich nicht sehr gut ist. Bei einer Boxermaschine ist eine dreikurbige Anordnung offensichtlich unmöglich.

Der Vorteil der Boxermaschine besteht jedoch nicht mehr bei

vier- und mehrkurbigen Maschinen. Die freien Kräfte und Momente sind zwar bei einem vierkurbigen Boxerkompressor sehr gering, erreichen aber bei geeigneter Kurbelanordnung bei einer vertikalen Maschine dieselben geringen Werte. Fünf- und sechskurbige, vertikale Kompressoren können mit fast vollkommenem Massenausgleich gebaut werden.

Bezüglich des Ungleichförmigkeitsgrades und der Grösse des notwendigen Schwungrades bestehen bei sonst gleichen Verhältnissen zwischen beiden Maschinen-Bauarten keine Unterschiede.

Zugunsten des horizontalen Boxerkompressors wird vor allen Dingen die gute Zugänglichkeit ins Feld geführt. Sämtliche Teile des Triebwerkes sind in der Tat hervorragend gut zugänglich, da die

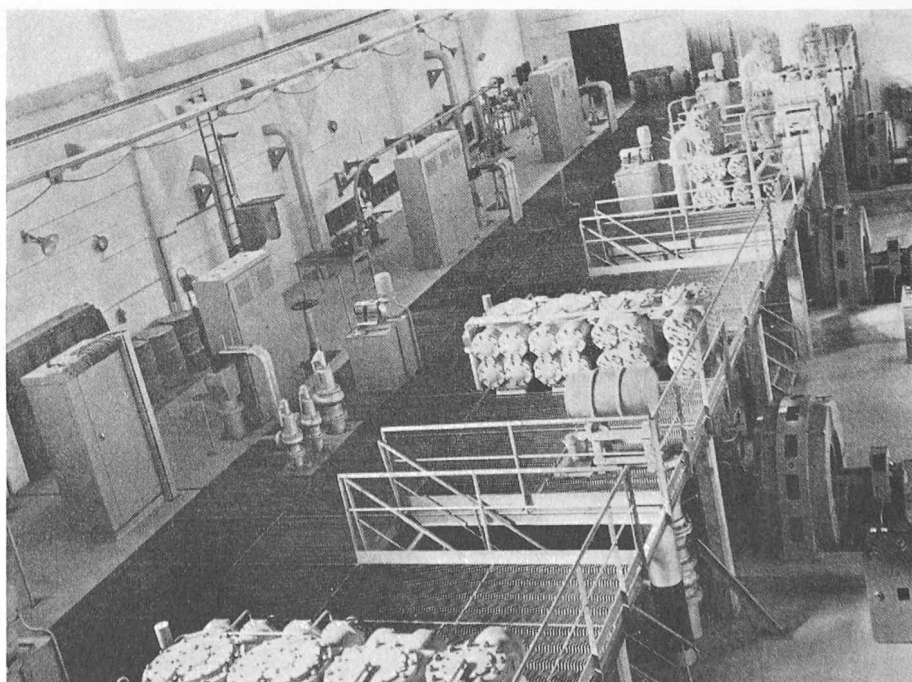


Bild 3. Burckhardt-Kompressoren für die synthetische Herstellung von Harnstoff. Im Vordergrund zwei dreistufige Kompressoren für die Verdichtung von je 7000 Nm<sup>3</sup>/h NH<sub>3</sub>-Gas von 1 auf 18 ata, Hub 300 mm, Drehzahl 375 U/min., Leistungsbedarf 1350 PS. Im Hintergrund zwei fünfstufige Kompressoren für 2900 Nm<sup>3</sup>/h CO<sub>2</sub>-Gas von 1 auf 285 ata, Hub 320 mm, Drehzahl 375 U/min., Leistungsbedarf 900 PS

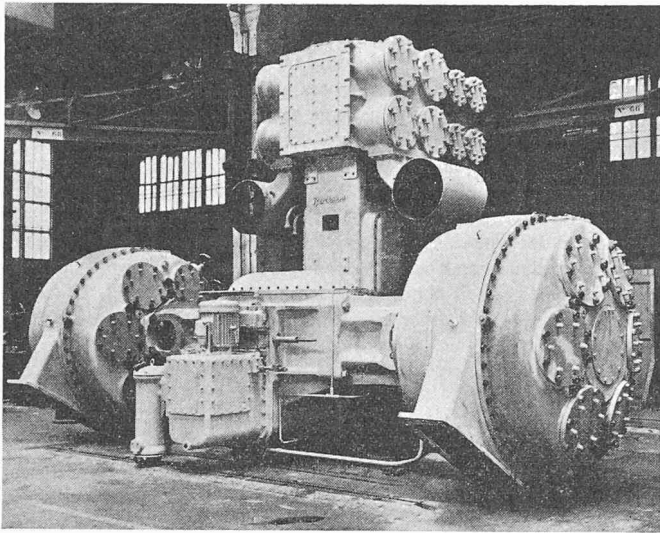
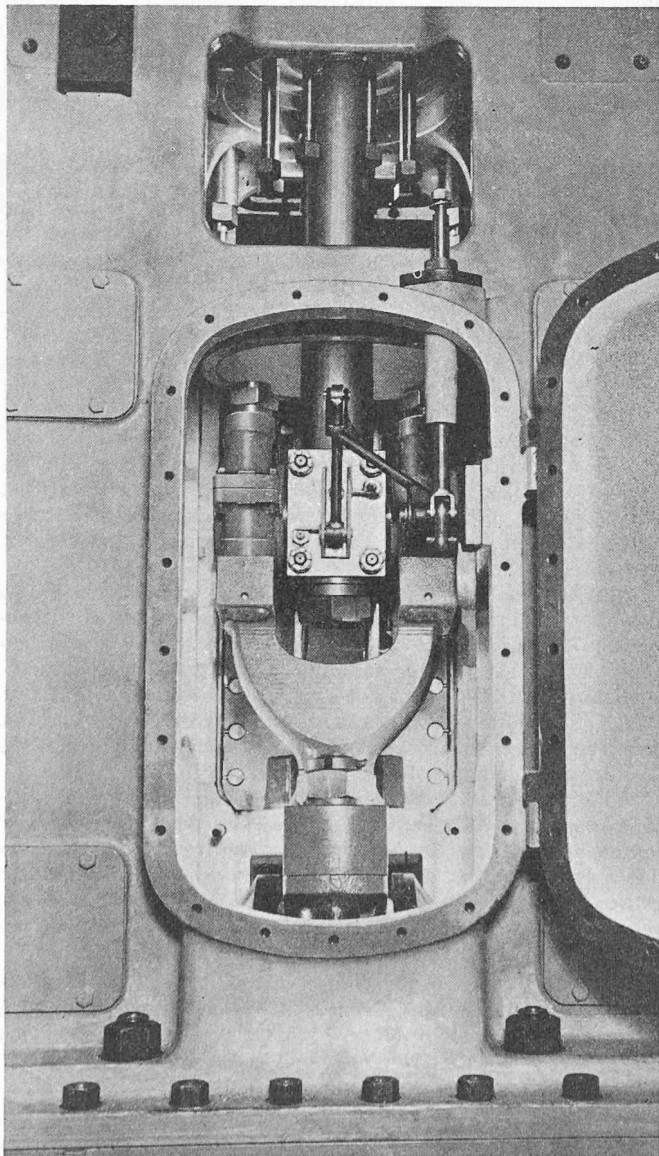


Bild 5. Dreistufiger Burckhardt-Kompressor für die Synthese von Ammoniakgas. Ansaugvolumen 16 000 Nm<sup>3</sup>/h, Verdichtung von 1 auf 17 ata, Hub 440 mm, Drehzahl 300 U/min., Leistungsbedarf 3000 PS

Bild 4. Blick durch die geöffnete Kontrolltür eines vierkurbligen Burckhardt-Kompressors mit einseitiger Kreuzkopfführung und gegabelter Schubstange. Normalausführung für 440 mm Hub. Die Maschine verdichtet 7250 m<sup>3</sup>/h von 1 auf 901 ata, arbeitet mit 250 U/min. und verbraucht 2950 PS



Hauptlager und Schubstangen nach Abheben der oben angeordneten Deckel freiliegen. Gleiches gilt für die Kreuzköpfe, da sie infolge des grossen Abstandes der Zylinderachsen von beiden Seiten durch Abschrauben der Deckel freigelegt werden können.

Auch die Zugänglichkeit zu Zylindern und Ventilen lässt nicht zu wünschen übrig, insbesondere dann, wenn der Kompressorenraum unterkellert wird, so dass die zu den Kühlern führenden Leitungen unmittelbar nach dem Austritt aus dem Zylinder im Boden verschwinden. Der Platzbedarf der Maschine ist ebenfalls gering. Die beanspruchte Grundfläche lässt sich klein halten, wenn die Kühler unter den Zylindern angeordnet werden, worunter allerdings die Zugänglichkeit der Kühler leidet.

Demgegenüber wird der vertikalen Bauart eine wesentlich schlechtere Zugänglichkeit nachgesagt, und es sind in der Tat Bauarten bekannt geworden, bei denen dieser Vorwurf berechtigt ist. Insbesondere trifft dies auf Maschinen mit Rundführung der Kreuzköpfe zu, wo diese nur von den Maschinenstirnflächen her zugänglich sind und wo bei drei- und mehrkurbligen Maschinen die mittleren Kreuzköpfe nicht erreicht werden können. Häufig sind auch die Gestellöffnungen so klein, dass sich Pleuel- und Hauptlager erst nach vollständiger Zerlegung der Maschine ausbauen lassen. Der gleiche Vorwurf trifft auch bei Maschinen mit Tandem-Anordnung der Zylinder zu, weil der untere Zylinder nur durch Abheben des oberen zugänglich ist und weil die Rohre, die an der Maschine herunterführen, die Erreichbarkeit der Ventile und die freie Bewegung auf der Plattform behindern.

Die genannten Nachteile sind bei der Bauart nach Bild 2 vermieden. Wie ersichtlich, ist die Gesamtkonzeption dieser Maschine sehr stark von der modernen Schiffdieselmachine beeinflusst. Die Pleuelstangen sind gegabelt, um die Bauhöhe zu vermindern, und die Kreuzköpfe erhalten eine einseitige Führung, die es ermöglicht, auf der Frontseite der Maschine grosse Türen anzuordnen, so dass die Zugänglichkeit aller Triebwerksteile ohne Demontage von Leitungen und Zylindern gewährleistet ist. Die Zylindermäntel sind abgeflacht, so dass man mit geringen Achsabständen auskommt. Ausserdem werden die Zylinder (wie dies bei Schiffdieselmachines üblich ist) gegenseitig verschraubt. Dadurch bildet die ganze Maschine einen starren Block. Da bewusst auf die Tandem-Anordnung der Zylinder verzichtet und je Kurbel nur ein Zylinder angeordnet wird, lässt sich die Maschine niedrig bauen, und man gewinnt eine hervorragend gute Zugänglichkeit zu den Kolben. Sämtliche Leitungen werden nach unten herausgeführt und kommen daher unter die Plattform zu liegen, so dass der Zugang zu den seitlich angeordneten Ventilen vollständig ungehindert ist.

In konstruktiver Hinsicht bietet eine derartige moderne, vertikale Maschine erhebliche Vorteile gegenüber der horizontalen Boxermaschine. Da alle Kräfte senkrecht wirken, sind die Hauptlager der Kurbelwelle senkrecht zu ihrer Teil-Fläche belastet, während bei der Boxermaschine die Belastung in Richtung der Teilfläche wirkt (allerdings wird diese Belastung durch den Einfluss des gegenüberliegenden Zylinders vermindert). Die Übertragung der von den Zylindern ausgeübten Zug- und Druckkräfte auf die Grundplatte erfolgt vollkommen symmetrisch durch die Gestellseitenwände, die fast nur auf Zug und Druck beansprucht sind und kaum eine Biegebeanspruchung aufweisen. Die Stabilität der Maschine wird dadurch erhöht.

Bei einer Boxermaschine muss die Grundplatte tief ausgeschnitten werden, um die Kurbelwelle einlegen zu können, so dass sie im Querschnitt die Form eines oben offenen U erhält. Die von den Zylindern herrührenden Kräfte versuchen dieses U auf- und zuzubiegen und verursachen starke Biegebeanspruchungen und Deformationen in der Grundplatte. Diese können auch nicht durch einen Riegel verhütet werden, der die obere Öffnung des U schliesst, weil dieser niemals denselben Materialquerschnitt haben kann wie die Wand der Grundplatte unter den Lagern. Die Fundamente müssen also dazu beitragen, die Stabilität der ganzen Maschine zu sichern.

Die Kurbelwelle eines vertikalen Kompressors wird ausserordentlich kurz und steif, so dass kaum eine Gefahr kritischer Drehschwingungen besteht. Die Kurbelwelle eines Boxerkompressors baut sich notwendigerweise sehr lang, denn die Zylinder müssen so weit auseinandergerückt werden, dass zwischen ihnen ein genügender Durchgang für die Zugänglichkeit der Ventile verbleibt. Die vertikale Maschine ist durch ihre Bauart in sich selbst so steif, dass sie gegen Senkungen und Verwerfungen des Fundamentes unempfindlich ist. Überdies überträgt sie keine nennenswerten Kräfte auf das Fundament.

Bild 3 zeigt eine moderne Anlage mit vertikalen Kompressoren. Was auffällt, ist der ausserordentlich geringe Platzbedarf, der bei

hervorragender Zugänglichkeit erreicht wird. Nur die Blöcke von gegenseitig verschraubten Zylindern ragen über die Oberfläche der Plattform empor; sie sind von allen Seiten frei zugänglich. Die Ventile können ohne jede Behinderung durch Rohrleitungen erreicht werden. Die Zylinderdeckel liegen frei, was den Ausbau der Kolben ebenfalls sehr einfach macht, da die Kolben mit dem Kran vertikal nach oben herausgezogen werden können. Der Kolbenausbau ist bei der horizontalen Maschine wesentlich komplizierter, da das Seil mehrfach umgehängt werden muss, bis der Kolben zum Vorschein kommt. Beim Einbau haben ausserdem die Kolbenringe die Neigung, in ihren Nuten nach unten zu fallen, weshalb beim Einschieben in den Zylinder grosse Sorgfalt notwendig ist, um ein Hängenbleiben und Brechen der Ringe zu verhindern.

Sämtliche Bedienungsorgane, wie Zylinderschmierpumpe, Kühlwasserabläufe und Schalttafeln sind ebenfalls auf der Höhe des Podestes angeordnet, so dass die ganze Bedienung und Überwachung der Maschine sich praktisch auf dieser Ebene abspielt.

Die Kühler sind unter der Plattform angeordnet, wodurch man mit sehr kurzen Verbindungsleitungen auskommt. Gleichzeitig sind die Kühler sehr gut zugänglich; dazu ist lediglich ein Geviert aus der Plattform herauszuheben. Bild 4 lässt die hervorragende Zugänglichkeit aller Einzelteile des Triebwerkes erkennen.

Die geschilderten Vorteile einer modernen, vertikalen Bauart treten allerdings nur dann in Erscheinung, wenn es sich um eine mehrkurbelige Hochdruckmaschine handelt, bei der die Zylinder so klein sind, dass deren Axabstand von den Abmessungen der Lager und Kurbeln und nicht von den Durchmessern der Kolben bestimmt wird. Bei einer Niederdruckmaschine, die mit atmosphärischem Druck ansaugen muss, erhalten jedoch die Zylinder der 1. und 2. Stufe grosse Durchmesser, und es würde dann bei einer vertikalen Maschine notwendig sein, die Axabstände zu vergrössern. Dadurch müssten Kurbelwelle und Gestell sehr lang gebaut werden, was wegen hohem Mehrgewicht eine unwirtschaftliche Bauart ergäbe. Bei Niederdruckmaschinen mit atmosphärischer Ansaugung ist daher die horizontale Boxermaschine der vertikalen Maschine eindeutig überlegen.

Die Vorteile der horizontalen und der vertikalen Bauart lassen sich kombinieren, wenn man die Niederdruckzylinder mit ihren grossen Durchmessern horizontal und die Hochdruckzylinder vertikal anordnet. Auf diese Art entsteht, wie auf Bild 5 ersichtlich ist, eine ausserordentlich kompakte Maschine mit wesentlich geringerer Baulänge und kürzerer Kurbelwelle, als eine Boxer- oder vertikale Maschine sie aufweisen könnte. Trotz dieser ausserordentlich kompakten Bauart ist die Zugänglichkeit zu allen Ventilen und den anderen Teilen ausgezeichnet.

Infolge der Entwicklung der Druckvergasung in der chemischen Industrie werden aber Kompressoren mit atmosphärischem Ansaugdruck nur noch selten benötigt. Meist erhält bereits die 1. Stufe des Kompressors das Gas unter einem beträchtlichen Druck, so dass die Vorteile des vertikalen Kompressors klar zur Geltung kommen können. Maschinen von Leistungen bis 15000 PS lassen sich in dieser Bauart ausführen.

Dem Bau von Kompressoren mit ungeschmierten Zylindern kommt in den letzten Jahren immer mehr Bedeutung zu, und alle Kompressorhersteller versuchen auch für höhere Drücke mit schmierungslosen Kolben und Packungen zu arbeiten. Für Maschinen mit ungeschmierten Zylindern erweist sich die vertikale Bauart der horizontalen Bauart als überlegen, da das Kolbengewicht nicht auf der Zylinderwand ruht und da infolgedessen kein einseitiger Verschleiss der Kolbenführungsringe eintritt.

### Zusammenfassung

Sowohl die horizontale Boxerbauart mit gegenläufigen Kolben als auch die vertikale Bauart haben im Kompressorenbau ihre Vorteile. Diese überwiegen bei der Boxerbauart insbesondere dann, wenn es sich um zweikurbelige Maschinen und um Kompressoren für niedere Drücke handelt. Dagegen ist die vertikale Maschine für höhere Ansaugdrücke und mindestens vier Kurbeln vorteilhafter. Es ist daher anzunehmen, dass beide Bauarten nebeneinander bestehen werden und dass mit weiteren Fortschritten im Bau ungeschmierter Zylinder die vertikale Maschine an Bedeutung gewinnen wird.

## Die NOK bauen das erste schweizerische Atomkraftwerk

DK 621.039.5

Die Tagespresse hat über den am 18. Dezember 1964 erfolgten Beschluss der Nordost-Schweizerischen Kraftwerke AG (NOK) berichtet, ein Atomkraftwerk in der Beznau (Gemeinde Döttingen) zu erstellen. Vorgängig der Generalversammlung der NOK vom 6. März 1965 orientierte der scheidende Verwaltungsratspräsident Dr. P. Meierhans die Presse über die Gründe, die zu diesem Projekt führten.

Vom 1. Oktober 1963 bis 30. September 1964 wurden in der Schweiz 22,5 Mrd kWh hydraulischer Energie erzeugt, davon wurden 21,7 Mrd kWh im eigenen Lande verbraucht. Der Energieumsatz der NOK belief sich in der gleichen Zeitspanne auf 5 Mrd kWh. In eigenen Kraftwerken konnten davon nur 15,5%, in Tochtergesellschaften und Partnerwerken 43,2% erzeugt werden, so dass 41,3% des Gesamtumsatzes als Fremdstrom bezogen werden mussten. Die NOK haben das Bestreben, in der Energieproduktion unabhängig zu sein. Da der Strombedarf weiterhin ansteigt, würde sich bis zum Jahre 1973 für sie ein Manko von 2,6 Mrd kWh pro Jahr ergeben. Dabei ist ein Jahr normaler durchschnittlicher Wasserführung vorausgesetzt, und die Energieabgabe in Bau befindlicher bzw. erst projektierte Kraftwerke ist schon berücksichtigt. Um dieses Manko decken zu können, sehen sich die NOK gezwungen, nach neuen, preisgünstigen und rasch zur Verfügung stehenden Energiequellen Ausschau zu halten.

Der Energiekonsum in der Schweiz beträgt im Jahresmittel 3500 kWh pro Kopf der Bevölkerung. Damit liegt die Schweiz noch erheblich unter der Jahresrate von 4900 kWh der USA. Es kann aus diesem Grunde mit einer Steigerung des Bedarfes gerechnet werden. Für das Gebiet der NOK ist die jährliche Zusatzrate mit 7,2% berechnet worden.

Vor allem interessiert die Frage, warum gerade ein Atomkraftwerk gewählt wurde. Es läge nahe, weitere Wasserkraftwerke zu erstellen. Tatsächlich stehen die Rheinkraftwerke Stein-Säckingen und Koblenz-Kadelburg im Bau. Ihre Erzeugungsfähigkeit reicht aber bei weitem nicht aus. Für grosse Speicherwerke sind die Bauzeiten zu gross, um dem Bedarf gerecht werden zu können. Ausserdem hält es schwer, geeignete Speicherräume zu finden. Vor allem aber hat der Fall der Engadiner Kraftwerke gezeigt, dass bei einigemmassen ungünstigen Verhältnissen die Baukosten solcher Werke zu hoch ausfallen können. Dampfkraftwerke von genügender Leistung liessen sich in nützlicher

Frist erstellen und ergäben beim heutigen Stand auch interessante Energiegestehungskosten. Entsprechende Projekte wurden ausgearbeitet, namentlich in Verbindung mit grossen Ölleitungen. Ihre Ausführung stiess aber auf harten Widerstand der betroffenen Bevölkerung, die namentlich die Verunreinigung der Luft durch Rauchgase befürchtete. Die Möglichkeit, einen Reaktor schweizerischer Konstruktion zu wählen, wurde ebenfalls erwogen. Der Versuchsreaktor von Lucens ist noch nicht im Betrieb, und die Arbeiten der Therm-Atom AG am Bau eines schweizerischen Reaktors schreiten wegen Fehlens genügender finanzieller Mittel nur langsam vorwärts<sup>1)</sup>.

Schon nach dem ursprünglichen Programm hätte erst 1970 ein detailliertes Projekt für den Bau eines Grosskraftwerkes vorgelegt werden können. Ein Zuwarten bis zur Betriebsreife eines solchen Werkes wäre nach Ansicht von Dr. P. Meierhans nicht zu verantworten gewesen.

Der Reaktortyp für das Werk der NOK ist noch nicht festgelegt. In engerer Wahl stehen ein Siedewasser- und ein Druckwasser-Reaktor. Eine Entscheidung soll bald getroffen werden. Die elektrische Leistung wird mit 300 MW angegeben. Bei einer jährlichen Vollbetriebsstundenzahl von 7000 ergibt sich eine Jahreserzeugung von 2,1 Mrd kWh. Die Brennstäbe mit angereichertem Uran werden in den USA angefertigt. Der erste Satz reicht für die Erzeugung von 6 Mrd. kWh, also für knapp drei Jahre Betriebszeit aus.

Eingehend wurden verschiedene Einwände gegen Atomkraftwerke durch Dr. Meierhans entkräftet. Über die Gefährdung der Umgebung durch den Betrieb eines Atomkraftwerkes liegen schon viele Erfahrungen vor, die zeigen, dass das technische Risiko nicht grösser ist, als etwa dasjenige beim Bau eines thermischen Kraftwerkes. Es ist in den USA kein Fall bekannt geworden, aus welchem sich eine Gefährdung der Bevölkerung ergeben hätte.

Was die Beseitigung radioaktiver Abfälle betrifft, so muss zwischen den ausgebrannten Brennstoffstäben und dem anfallenden Atom Müll unterschieden werden. Während die Erstgenannten nach einer gewissen Lagerzeit der Aufbereitungsanlage zugeführt werden,

<sup>1)</sup> Vgl.: Die Zukunft des Reaktorbaues in der Schweiz. SBZ 1964, Heft 49, S. 868