

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 95 (1977)
Heft: 36

Artikel: Kompressorenbau für hohe Drücke
Autor: Bauer, Helmut
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-73444>

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>

- eine Vergrößerung ihrer Konkurrenzfähigkeit durch Kostenersparungen und Vereinheitlichung der Arbeitsabläufe
- eine Erhöhung ihrer Absatzchancen im In- und Ausland vom Standort Schweiz durch gewisse Strukturanpassungen und Konzentration auf Produkte und Dienstleistungen hoher Wertschöpfung und hohen Know-How-Gehalts in verfahrenstechnischer, konstruktiver, fertigungstechnischer oder arbeitsmethodischer Hinsicht
- Erschliessung neuer Möglichkeiten und Märkte durch vermehrt innovative Tätigkeit
- Gewährleistung der Schlagkraft durch zunehmende Verlagerung gewisser Aktivitäten ins Ausland und Zusammenarbeit auf internationaler Ebene
- eine Anpassung an die heutigen Anforderungen auf dem Markt verschiedener Länder durch Vergebung von Lizenzrechten und Beschränkung auf essentielle Lieferungen und Leistungen
- Eröffnung zusätzlicher Geschäftsmöglichkeiten durch Ver-

stärkung ihrer Aussenorganisation und Intensivierung der Verkaufsanstrengungen

- Begegnung der zunehmend umfangreicher werdenden technischen und finanziellen Risiken bei grösseren und komplexeren Anlagengeschäften durch Bildung von Partnerschaften, Konsortien usw.

Diese Hinweise verstehen sich lediglich als *Streiflichter* und können nicht die ganze Fülle der Probleme im einzelnen beleuchten. Renommierete Lieferfirmen im verfahrenstechnischen Sektor und Ingenieurorganisationen im Chemieanlagenbau streben stets in offener Aussprache mit dem Kunden eine Gemeinschaftsarbeit an. Es ist zu hoffen, dass in diesem Sinne die weitere Verbesserung einer engen Zusammenarbeit, eines regelmässigen Austausches und einer bereitwilligen Vermittlung von Erfahrungen sowie einer rationellen und optimal gestalteten Arbeitsteilung allseitig gefördert wird.

Adresse des Verfassers: H. E. Wickli, dipl. Ing. ETH, Direktor Buss Engineering, Buss AG, 4133 Pratteln.

Kompressorenbau für hohe Drücke

Von Helmut Bauer, Basel

Die Hochdruckverfahren in der chemischen Industrie benötigen Kompressoren mit immer steigenden Leistungen und Enddrücken. Die Lösung dieser Aufgaben hat eine ständige Weiterentwicklung der Bauart erforderlich gemacht.

In den Jahren vor dem Ersten Weltkrieg verstand man unter Hochdruck den Druck von 200 at, der für die Luftverflüssigung nach dem Verfahren von Linde benötigt wurde. Die Maschinenfabrik Burckhardt in Basel hatte schon früh begonnen, den Bau der benötigten Hochdruck-Kompressoren aufzunehmen. Es wurden vierstufige Maschinen entwickelt, bei denen der Zylinder der letzten Stufe dem hohen Druck entsprechend in einem Stück aus Stahl geschmiedet war. Diese Maschinen erwiesen sich als sehr betriebssicher und begründeten durch ihre einfache, robuste Bauart den Ruf der Firma auf dem Gebiet der Hochdrucktechnik. Es wurden mehr als hundert derartige Maschinen in alle Teile der Welt geliefert, und als man im Jahre 1913 bei der BASF Ludwigshafen mit dem Bau der ersten kleinen Versuchsanlage für die Ammoniak-Synthese nach Haber-Bosch begann, wurde der Kompressor für 350 at ebenfalls von Basel geliefert.

Der Erste Weltkrieg setzte dieser Entwicklung ein jähes Ende. Die vorwiegend ausländische Kundschaft hatte sich auf Kompressoren einheimischer Provenienz umgestellt und war verlorengegangen.

Inzwischen waren aber andere Verfahren der *Ammoniak-Synthese* entwickelt worden, die mit wesentlich höheren Drücken arbeiteten. Claude in Frankreich führte die Synthese unter 1000 at durch und Casale in Italien verwendete 850 at. Diese

Verfahren hatten den Vorteil, dass durch den erhöhten Druck der Reaktor kleiner und der Umsetzungsgrad besser wurde. Allerdings gab es keinen betriebssicheren Kompressor für diese hohen Drücke, die eine völlig neue Aufgabe stellten.

Als die Maschinenfabrik Burckhardt im Jahr 1924 den ersten Auftrag für einen *Hyperkompressor* (so nannte man diese Maschine damals) mit einem Enddruck von 850 at erhielt, war es naheliegend, auf den früheren guten Erfahrungen mit Maschinen für 200 at aufzubauen. Bild 1 zeigt den Hochdruckzylinder der ersten Maschine, der zwar dem höheren Druck entsprechend verstärkt, aber im wesentlichen Aufbau gleich war wie die früheren Maschinen. Er bestand aus einem einzigen grossen Schmiedestück von einem Meter Länge.

Es zeigte sich rasch, dass diese Bauart einer Erhöhung des Betriebsdruckes auf das Viereinhalbfache nicht gewachsen war. Zahlreiche *Brüche* traten an allen Stellen auf, wo der Querschnitt eine plötzliche Änderung aufwies, wie an den Abstufungen der Innenbohrung und an den Übergängen zum Flansch und zum Ventilkopf.

Besondere *Schwierigkeiten* bereitete der *Ventilkopf*. Um möglichst kleine Ventile und damit möglichst geringe Beanspruchung in der Ventiltasche zu erhalten, hatte man vier Ventile verwendet (2×Saug+2×Druck); dadurch ergaben sich nach Bild 2 zahlreiche Durchdringungsstellen von Bohrungen im Bereich pulsierenden Druckes, die zum Ausgangspunkt ständiger Dauerbrüche wurden.

Die grundsätzlichen Schwächen, die dieser Bauart anhafteten, waren mit herkömmlichen Mitteln nicht zu beheben. Durch einen Aufbau des Zylinders aus drei Teilen (Ventilkopf + Zylinderteil mit enger Bohrung + Zylinderteil mit weiter Bohrung) wurde zwar erreicht, dass bei einem Schaden nicht mehr der ganze Zylinder weggeworfen werden musste, aber die Brüche wurden nicht beseitigt. Eine Erhöhung der Wandstärke war offensichtlich sinnlos, weil dadurch die massgebende Beanspruchung an der Innenfaser nur unwesentlich hätte verringert werden können. Die Verwendung von besserem Material war ebenfalls nicht möglich, da man von Anfang an das beste genommen hatte, das erhältlich war.

Das Problem konnte also nicht durch Weiterentwicklung der bestehenden Bauart gelöst werden, sondern nur durch eine

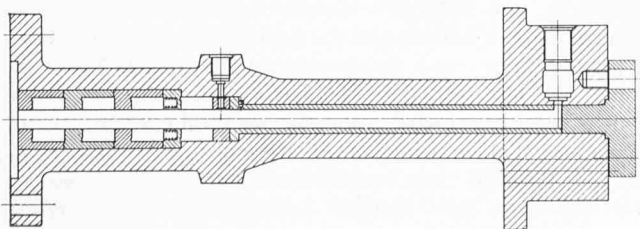


Bild 1. Hochdruckzylinder 850 at von 1924

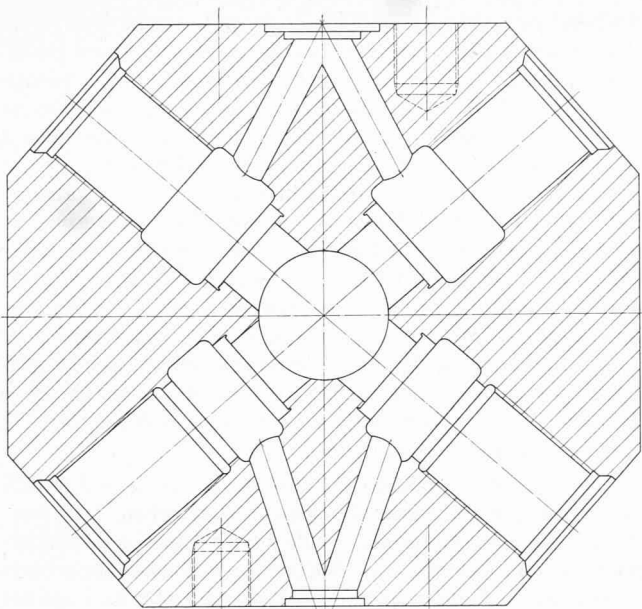


Bild 2. Ventilkopf 850 at von 1924

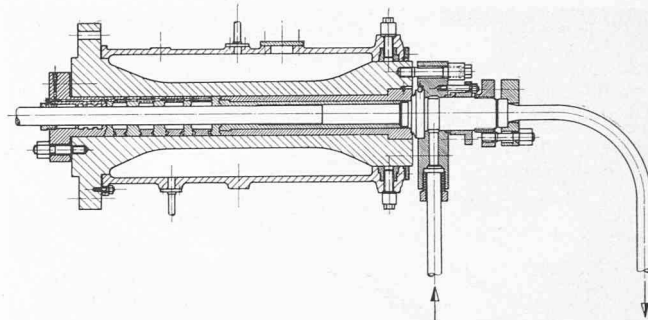
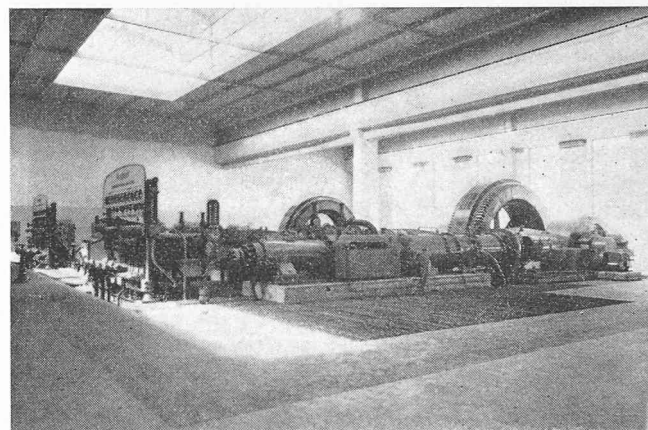


Bild 3 (rechts oben). Hochdruckzylinder 1000 at von 1927

Bild 4 (rechts unten). 7stufiger Hyperkompressor 1000 at



grundsätzlich neue Konstruktion, die schroffe Querschnittänderungen und Durchdringungs-Stellen zu vermeiden gestattet.

Die Lösung dieser Aufgabe gelang im Jahre 1927 mit einem Zylinder nach Bild 3. Bei Ingenieuren gilt es als goldene Regel, dass eine gute Konstruktion auch einfach sein müsse, und es könnte auf den ersten Blick scheinen, dass diese Regel hier verletzt worden sei, denn der «einfache» Zylinder nach Bild 1 wurde durch einen *vierteiligen Aufbau* ersetzt. Eine nähere Betrachtung zeigt jedoch, dass dem Zylinder nach Bild 3 eine Einfachheit höherer Ordnung innewohnt.

Alle dem *Innendruck* ausgesetzten Teile sind aufgelöst in ein *System aufeinandergeschichteter Scheiben, Ringe und Büchsen*, die alle eine *rein zylindrische Gestalt ohne Querschnittsveränderung* haben und die *dichtend aufeinander aufgeschliffen* sind. Infolge ihrer einfachen Gestalt kann die Beanspruchung dieser Teile leicht und zuverlässig berechnet werden. Ausserdem wird die *rationelle Verwendung hochfester Stähle* ermöglicht; da alle Teile verhältnismässig klein sind, können sie *gut durchvergütet* werden und der Nachteil hochfester Stähle, ihre

hohe Kerbempfindlichkeit, tritt nicht in Erscheinung, weil keine Kerbstellen vorhanden sind.

Der äussere Zylinder wird nicht mehr vom Innendruck beansprucht; er hat nur noch die Aufgabe, die *Längskräfte zu übertragen* und die *Innenteile zu zentrieren* und sicher zu verpacken. Selbst ein eventueller Dauerbruch eines der inneren Ringe wäre völlig ungefährlich und würde nur durch den damit verbundenen Leckverlust angezeigt.

Die Ventile sind im *Zentralventil* zusammengefasst; in der Maschinenachse liegt das Druckventil und konzentrisch drum herum ist die Ringplatte des Saugventils angeordnet. Dadurch steht der Körper des Zentralventils aussen unter Saugdruck und ist wie durch eine Schrumpfung vor Bruch geschützt.

Durchdringungen verschiedener Bohrungen unter pulsierendem Druck sind bei dieser Bauart vollständig vermieden. Übrig geblieben ist eine unvermeidliche Durchdringung beim Zusammentreffen der Ansaugbohrung mit der Innenbohrung des Ventilkopfes. Diese ist völlig ungefährlich, denn sie steht nur unter dem verhältnismässig niedrigen Saugdruck, der über-

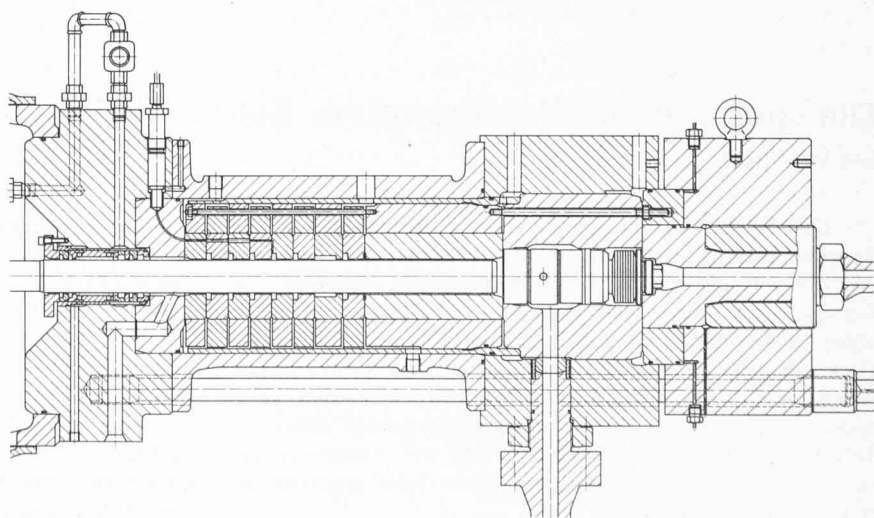


Bild 5. Hochdruckzylinder 2500 at von heute

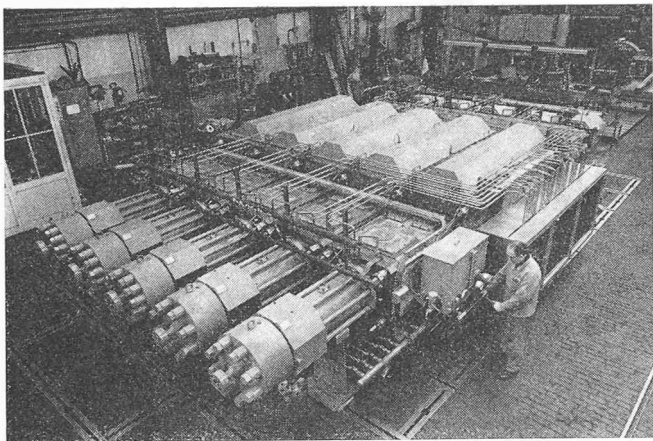


Bild 6. Sekundärkompressor 3166 at von heute

dies praktisch konstant ist. Bei konstantem Druck können sich Spannungsspitzen unschädlich durch örtliches Fließen abbauen, während bei pulsierendem Druck immer die Gefahr eines Dauerbruchs besteht. Eine zweite Durchdringungsstelle entsteht beim Zusammentreffen zweier Bohrungen für die Einführung des Schmiermittels; auch diese ist ungefährlich, weil die Bohrungsdurchmesser sehr klein sind und weil die Schmierung nur beim Saughub erfolgt.

Durch ihren logischen Aufbau hat diese Konstruktion nicht nur das Problem gelöst, betriebssichere Kompressoren für die Ammoniaksynthese zu bauen, sondern sie hat darüber hinaus den Weg zu erfolgreicher Bewältigung noch weit höherer Drücke gezeigt.

Durch diese Zylinderbauart konnte sich die Maschinenfabrik Burckhardt eine führende Stellung im Bau von Hochdruckkompressoren erwerben. Bild 4 zeigt eine siebenstufige Maschine für 1000 at Enddruck. Allerdings gehören heute diese Maschinen bereits der Technikgeschichte an; die Entwicklung seit dem Zweiten Weltkrieg verlangte immer höhere Leistungen und gleichzeitig gelang es, durch Verbesserung der Katalysatoren die erforderlichen Drücke zu reduzieren. Dadurch wurde es möglich, *Turbokompressoren* für die Ammoniaksynthese zu verwenden und das bedeutete das Verschwinden der grossen Kolbenkompressoren.

Etwa gleichzeitig begann die stürmische Ausbreitung des *Polyäthylens*. Dabei wurden zunächst Drücke von 1500 at mit Antriebsleistungen von 700 PS verlangt; in kurzer Zeit stiegen aber die verlangten Drücke auf 3500 at und die Antriebsleistungen wuchsen auf 20000 PS und mehr.

Die Grundlagen für die erfolgreiche Bewältigung dieser neuen Aufgabe waren vorhanden; die vor fast einem halben

Jahrhundert geleistete Entwicklungsarbeit erwies sich auch hier als tragfähige Basis. Bild 5 zeigt einen modernen Hochdruckzylinder für einen *Äthylen-Kompressor*, und die prinzipielle Ähnlichkeit mit Bild 3 ist in die Augen springend. Gewiss sind einzelne Änderungen notwendig gewesen: Entsprechend dem wesentlich höheren Enddruck sind alle Innenteile im Durchmesser vergrössert und überdies geschrumpft, der äussere Stahlzylinder ist weggefallen und durch eine *Führungsbüchse aus Guss* ersetzt, denn die Längskräfte werden nun durch lange Zuganker übertragen, die Durchdringungsstelle der Schmierbohrungen wurde durch eine *krumme Bohrung* ersetzt, die durch Elektroerosion hergestellt und durch Autofrettage verstärkt ist, usw. Ausserdem wurde in den Ventilkopf eine *hydraulische Spannvorrichtung* eingebaut, mit der die Zuganker ohne manuelle Arbeit gleichmässig und genau auf die errechnete Last vorgespannt werden können.

Abgesehen von solchen Detailverbesserungen sind jedoch die grundlegenden Ideen die gleichen geblieben: Die Ausführung der drucktragenden Teile als ein Paket aufeinander geschichteter Scheiben und Büchsen, die Verwendung eines Zentralventils, das aussen unter Saugdruck steht, die Lage der Durchdringung der Saugbohrung an einer ungefährlichen Stelle sind auch heute noch die Fundamente einer betriebs-sicheren Bauart. Der Erfolg dieser Maschinen hat den Export in praktisch alle Teile der Welt möglich gemacht, denn einen Inlandmarkt gibt es für diese Kompressoren nicht.

Bild 6 zeigt einen zweistufigen Kompressor mit einem Saugdruck von 250 at, einem Enddruck von 3166 at und einer Leistung von 57000 kg/h mit einem Leistungsbedarf von 14000 PS bei der Werksmontage. Es ist beachtenswert, dass wegen der Grösse dieser Maschinen ein Probelauf und Abnahmeversuch im Herstellerwerk nicht möglich sind. Um trotzdem eine störungsfreie Inbetriebsetzung am Aufstellungsort gewährleisten zu können, ist äusserst sorgfältige und genaue Arbeit bei der Blindmontage im Werk und bei der endgültigen Montage am Aufstellungsort erforderlich.

Gegenwärtig ist der *Druck von 3500 at der höchste, der in der Grossindustrie verwendet wird*. Noch höhere Drücke bis zum Doppelten werden nur in Laboratorien und Forschungsanstalten gebraucht; dort werden natürlich relativ wenige Maschinen von kleiner Leistung gebraucht, für die Sonderbauarten mit hydraulischem Antrieb entwickelt werden mussten. Für den Hochdruckteil wurde wiederum mit Erfolg das gleiche vorstehend geschilderte Konstruktionsprinzip verwendet: Weitgehende Zerlegung in Einzelteile, die nach Funktion und Beanspruchung getrennt sind.

Adresse des Verfassers: H. Bauer, dipl. Ing., Marignanostrasse 21, 4059 Basel.

Die spezifischen Probleme einer Kläranlage für Chemieabwasser

Von Willi Roth, Basel

Die Behandlung von Abwässern aus chemischen Produktionsbetrieben erfordert naturgemäss *kompliziertere Verfahren und Anlagen, als dies für kommunale Zwecke üblich ist*. Die Abwässer aus *organisch-chemischen Fabrikationen* sind im *allgemeinen nach geeigneter chemischer Vorbehandlung biologisch hinreichend abbaubar*. Verglichen mit kommunalem Abwasser sind jedoch die Konzentrationen z. B. *Summenparameter*, aber auch von *Einzelsubstanzen* erheblich höher. In Tab. 1 sind die entsprechenden Werte des Abwassers aus einem chemischen Werk und jene einer Stadt gegenübergestellt.

Die *Summenparameter* BSB₅ (*biologischer Sauerstoffbedarf*) und TOC (*total organic carbon*) liegen beim Chemieabwasser um etwa eine Zehnerpotenz höher als beim kommunalen. Das Verhältnis COD/BSB₅ (*chemischer/biologischer Sauerstoffbedarf*) liegt ebenfalls höher und deutet auf schlechtere biologische Abbaubarkeit hin. Gewisse Probleme bieten die *Salze*, welche die Abbaugeschwindigkeit in einer biologischen Stufe hemmen können, sodann *zum Teil die Farbstoffe*. Die letzten sind vorwiegend *optisch störend*, beeinflussen sie doch die Abwasserbiologie im allgemeinen nicht. Das Funktionieren einer biologischen Stufe ist aber auch