

KAM- Vortrag über Verdichter

Definition:

Verdichter und Kompressoren sind Arbeitsmaschinen, die gasförmige Medien von Räumen niederen in Räume höheren Druckes fördern. Die durch Elektro- oder Verbrennungsmotoren zugeführte Energie erhöht den Druck des Gases, dabei kommt es aber auch zur Erwärmung des Mediums.

Bemerkung:

Während die Flüssigkeiten bis zu Drücken von 1000 bar praktisch nicht zusammendrückbar (inkompressibel) sind, verändern Gase ihr Volumen in starker Abhängigkeit von den herrschenden Drücken.

Historische Entwicklung des Verdichterbaus:

Erzeugung eines Luftstroms nachweisbar schon in der Bronzezeit (etwa 250 Jahre v. u. Z.) mittels Blasebälge aus Tierfellen, Luftstrom war notwendig zur Erzeugung der Schmelzwärme für verschiedene Metalle

erster Kolbenverdichter bestand aus Bambusholzzyylinder, Holzkolben und Vogelfedern als Abdichtung, vor etwa 2000 Jahren gefertigt

eigentliche Entwicklung des Verdichters begann mit der Einführung der Dampfmaschine als Arbeitsmaschine, 1680 erste doppelwirkende Luftpumpe, diese wurde im Laufe der Zeit zur Kolbenmaschine weiterentwickelt, mit Einsatz der industriellen Revolution setzte man dampfbetriebene Luftverdichter für Hochöfen und Bessemerbirnen ein, ständige Erhöhung der Förderströme und Drücke, um die Einsatzbereiche der Druckluft zu erweitern, Einsatz als Bewetterungselement beim Bau des Mont Cenis Tunnels durch die Entwicklung des „nassen Kompressors“ vom italienischen Ingenieur Sommeiler im Jahre 1860, Arbeitsprinzip ist durch das Zwischenschalten einer Wassersäule gekennzeichnet, die den Saug- und Druckimpuls vom Arbeitskolben mitgeteilt bekam und für die Verdichtung der Luft zuständig war Entwicklung über „halbnasse“ Verdichter, die mit Wassereinspritzung arbeiteten, zum ersten „trockenen“ Verdichter.

1885 stellte die Firma DAVEY, PAXMAN & Co, Paris, den ersten ölgeschmierten einstufigen Kolbenverdichter vor,

Nachfrage nach hochverdichteter Luft stieg Ende der 60-iger Jahre des 19. Jahrhunderts sprunghaft an, unter anderem durch die Entwicklung des Torpedos, der Druckluft-Lokomotive im Untertage- Bergbau und der Gasverflüssigung,

1887 brachte die Firma G. A. Schütz Wurzen den ersten 3-stufigen Kolbenverdichter für die Verflüssigung von Kohlensäure heraus. Um die Jahrhundertwende wurden verschiedene Verdichterarten mit immer höheren Leistungen angeboten. Die Leistungsparameter konnten mit Erhöhung der Druckzahl, Verringerung der Baumassen und mehrstufigen Verdichtern enorm gesteigert werden. Thermische Probleme löste man durch den Einsatz von Zwischenkühlern und Wärmeaustauschern

1925 stellte die Firma NEUMAN & ESSER, Aachen den größten luftfördernden Kolbenkompressor vor.

heute steht der Wirtschaft ein umfangreiches Sortiment an Kolbenverdichtern zur Verfügung, unterscheiden sich äußerlich in Bauform und Größe, Leistung, Wirkungsgrad und Einsatzgebiet

Einteilung dieser Arbeitsmaschinen:

nach Wirkungsweise:

- *Turboverdichter*, erhöhen zunächst die Geschwindigkeitsenergie und wandeln sie dann in Druckenergie um, Hauptanwendung zur Erzeugung großer Förderströme
- *Verdrängungsverdichter*, Druckerhöhung durch Verringerung des Arbeitsraumes, Hauptanwendung zur Erzeugung hoher Drücke

nach Druckbereichen:

- Ventilatoren bis ca. 1 bar
- Gebläse bis 3 bar
- Verdichter 3 bis 50 bar
- Hochdruckverdichter 50 bis 500 bar
- Höchstdruckverdichter über 500 bar
- Vakuumerzeuger bis 0,13 mbar

nach dem Volumenstrom:

- Kleinverdichter bis 10 m³ /min
- Mittelverdichter 10 bis 100 m³ /min
- Großverdichter über 100 m³ /min

	Kompressoren	Gebläse	Ventilatoren
Druckverhältnis	3 - 10	1,1 - 3	1 - 1,1
Förderhöhe [m]	10 - 130	1 - 16	< 1
max. Druck [bar]	1000	3	1,1

Bei einem Druckverhältnis > 5 werden Kompressoren stets mehrstufig ausgeführt. Gebläse werden ein- oder mehrstufig, Ventilatoren stets einstufig gebaut.

Erläuterungen zu den einzelnen Arten

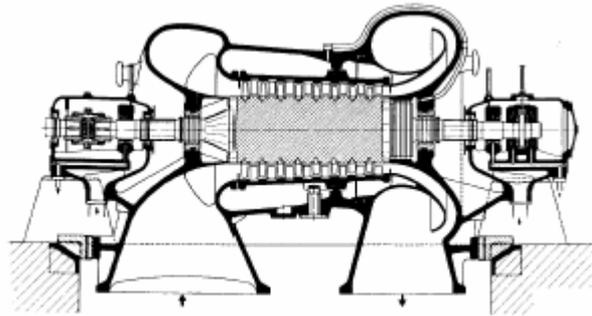
Turboverdichter:

auch Kreiselerdichter oder Turbokompressoren genannt, arbeiten wie Kreiselerdpumpen nach dem dynamischen Prinzip, d.h. sie erzeugen den statischen Druck durch Umwandlung von kinetischer Energie in statische Druckenergie.

Als energieübertragendes Element besitzen sie Laufräder, die mit hoher Drehzahl rotieren. Je nach Laufradform unterscheidet man Radialverdichter und Axialverdichter.

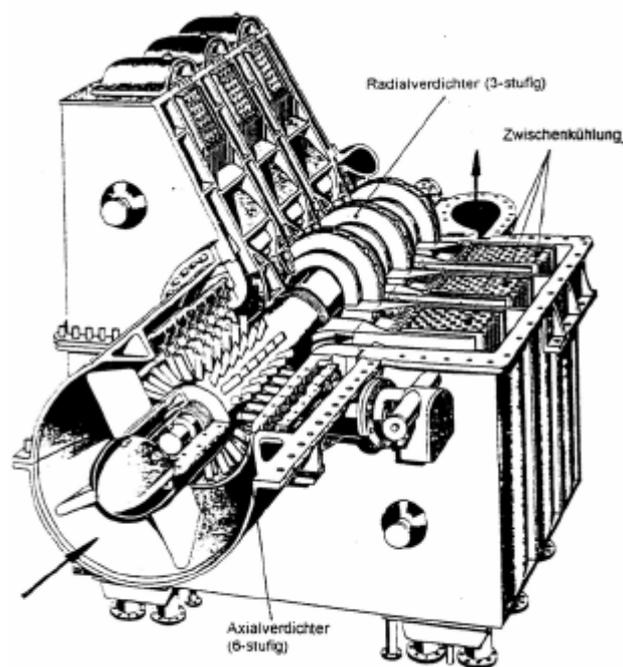
Turboverdichter mit Radiallaufrad sind für mittlere Gasförderströme geeignet. Bei ihnen wird das Gas im Laufradeintritt erfasst und von der Fliehkraft im düsenartig sich verengenden Schaufelradzwischenraum beschleunigt. Am Laufradumfang verlässt das Gas mit großer Geschwindigkeit die Laufradzwischenräume und strömt in den sich erweiternden, radialen Diffusor und von da in das spiralförmige Sammelrohr. Hier wird es umgelenkt und seine Geschwindigkeit stark abgebremst. Die dabei freiwerdende kinetische Energie wird in statische Druckenergie umgewandelt, so dass der statische Druck hier stark zunimmt.

Der komprimierte Gasstrom verlässt den Kompressor durch den Druckstutzen.
 Das Verdichtungsverhältnis p_2/p_1 von einstufigen Radialturboverdichtern liegt bei 1.3 bis 3.
 Sie liefern einen gleichmäßigen, ölfreien Druckgasstrom.



Radialturboverdichter

Durch Hintereinanderanordnen mehrerer Laufräder auf einer Antriebswelle können auch mittelhohe und sehr hohe Drücke erzeugt werden. Hierbei wird das im ersten Laufrad verdichtete Gas über ein Sammelrohr, und nach Zwischenkühlung, in das zweite Laufrad geleitet usw. Ein vierstufiger Radialturboverdichter hat z.B. einen Enddruck von 8 bis 10 bar. Sie werden im Chemiebetrieb z.B. zur Prozessgasverdichtung eingesetzt.



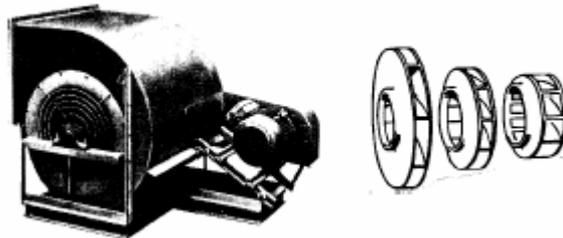
Kombinierter Axial- und Radialturboverdichter

Turboverdichter mit Axiallaufrädern liefern größte Volumenströme von bis zu 1000000 m³/h.
 Sie werden z.B. in Erdgasverflüssigungsanlagen eingesetzt.
 Die kombinierte Bauweise trägt den thermischen Zuständen Rechnung, vereinigt die Vorteile beider Bauarten, und vermeidet zu große Bauweise des Radialkompressors, weil das Gas bereits ein kleineres Volumen hat.

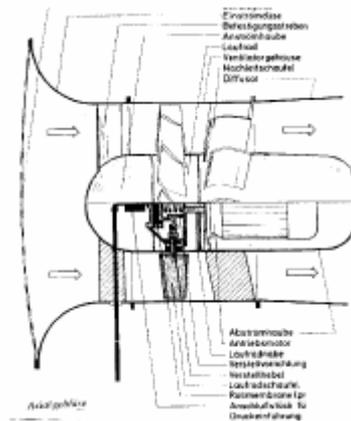
Ventilatoren

Ventilatoren, auch Lüfter genannt, werden bevorzugt für die Luftförderung benötigt, z.B. zum Belüften von Arbeitsräumen oder Betriebsgebäuden, zum Absaugen von Abgasen oder staubhaltiger Luft. Sie sind zum Fördern von Luft zwischen Räumen geeignet, in denen etwa der gleiche Druck herrscht. Der erzeugte Förderdruck von Ventilatoren beträgt maximal 0.1 bar.

Radialventilatoren, auch Zentrifugalventilatoren genannt, entsprechen in ihrem grundsätzlichen Aufbau einem Radialrad-Turbogebläse. Sie besitzen ein Laufrad mit radialen Schaufeln, die entweder gerade, in Laufrichtung oder gegen die Laufrichtung gekrümmt sind.



Die Luft wird am Saugstutzen angesaugt, von den Laufrädern radial beschleunigt, im spiralförmigen Sammelgehäuse abgebremst und in den Abluftkanal gedrückt. Die im Abluftkanal erzeugten Drücke betragen bei Niederdruck-Radialventilatoren bis 1000 Pa, bei Mitteldruck-Ventilatoren 1000 bis 4000 Pa und bei Hochdruck-Ventilatoren 4000 bis 10000 Pa. Radialventilatoren werden eingesetzt, wenn große Luftströme durch mehrere Apparate gedrückt werden müssen, wie z.B. bei der Rauchgasreinigung in Kraftwerken, in großen Klimaanlage oder bei der Luftversorgung von Hochöfen.



Axialventilatoren, auch Propellerverdichter genannt, fördern große Luftströme und erzeugen nur einen geringen Förderdruck. Sie haben ein Laufrad, das aus einer Nabe und darauf sitzenden, zur Strömungsrichtung angestellten Propellerventilatoren besteht. Bei der Drehung versetzen sie der Luft einen Impuls in Richtung der Laufradachse. Kleine Axialventilatoren sind z.B. an jedem Elektromotor angebau, um die vom Motor erzeugte Verlustwärme durch den Luftstrom fortzuführen.

Wandeinbaugeräte dienen zum Lüften von Betriebsgebäuden. Grosse Axialventilatoren arbeiten z.B. in Kühltürmen.

Verdrängungsverdichter:

Rotierende Verdränger:

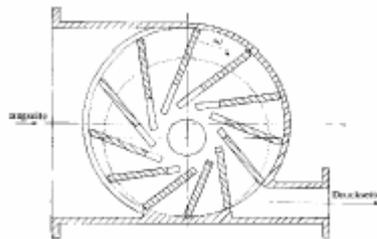
Merkmale: Drehkolben wird direkt angetrieben, einfacher Aufbau da keine Ventilsteuerung nötig, keine oszillierenden Massekräfte, Temperaturanstieg von Saug- zur Förderseite, deshalb intensive Kühlung zur Verringerung der Spannungen in der Maschine erforderlich, starke Geräuschemission

Arten:

Wingverdränger : Medium fließt am Umfang des von Gehäuse und Rotor gebildeten Raumes, Rotor wird von nicht umlaufender Kurbelschwinge in Schwingung versetzt, Verdrängungsraum ändert sich periodisch zwischen zwei Extremwerten, radialer Fluss des Mediums

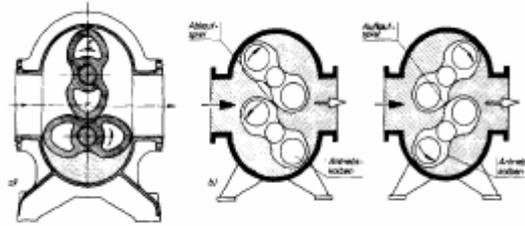
Rotationsverdränger: (Rotationszellenverdichter), haben einen exzentrisch, in einem Gehäuse, rotierenden Drehkolben. Er besitzt an seinem Umfang Schlitze, in die verschiebbare Dichtungsleisten eingepasst sind. Bei der Drehung des Rotors werden die Dichtungsleisten durch die Fliehkraft an die Gehäusewand gepresst. Es entstehen gegeneinander abgedichtete Zellen. Dreht sich der Rotationskolben, so wird das Zellenvolumen zwischen zwei Dichtungsleisten, vom Ansaugstutzen ausgehend verkleinert und dadurch das eingeschlossene Gas verdichtet. Das Verdichtungsverhältnis p_2/p_1 von einstufigen Rotationszellenverdichter liegt bei 3 bis 5.

radialer Fluss des Mediums, Förderstrom bis $150 \text{ m}^3 / \text{h}$, Drehzahlen bis 1500 min^{-1}



Rollkolbenverdränger : rotierender exzentrisch gelagerter Verdrängungskolben bildet sichelförmigen Arbeitsraum, ein im Gehäuse liegender Schieber trennt Saug- und Förderstutzen, radialer Fluss des Mediums, verwendet in Kleinkälteanlagen, Förderstrom bis $8 \text{ l} / \text{min}$, Drehzahlen bis 1500 min^{-1}

Drehkolbenverdichter: zwei lemniskateförmige Kolben- (Außenform einer 8) werden über Zahnradpaar angetrieben, rotieren mit entgegengesetzter Drehrichtung, dichten Arbeitsraum zwischen sich und dem Gehäuse ab, radialer Fluss des Mediums, dienen zur Aufladung von Dieselmotoren, Förderstrom bis $1000 \text{ m}^3 / \text{min}$, Drehzahlen bis 3000 min^{-1} , starke Schallemission



Drehkolbengebläse (Roots-Gebläse)

Flüssigringverdichter (Wasserringverdichter): ölfreie Verdichtung, keine Schmierung nötig, geringer Wirkungsgrad, radialer Fluss des Mediums, eingesetzt in der Nahrungs- und Genussmittelindustrie, Förderströme bis $50 \text{ m}^3 / \text{min}$, maximale Drehzahl 3000 min^{-1} , speziell für Vakuumerzeugung bei feuchten Gasen (z.B. Vakuumfilter), nur ein bewegtes Teil (Rotor mit Schaufeln), als Saugschlitz dient ein sichelförmiger Wanddurchbruch, der sich in Drehrichtung des Läufers erweitert, ein gleichgeformter Druckschlitz verengt sich in Drehrichtung.

Flüssigringverdichter sind speziell für Vakuum bei feuchten Gasen (z.B. Vakuumfilter). Nur ein bewegtes Teil (Rotor). Die Flüssigkeit wird ständig ergänzt.

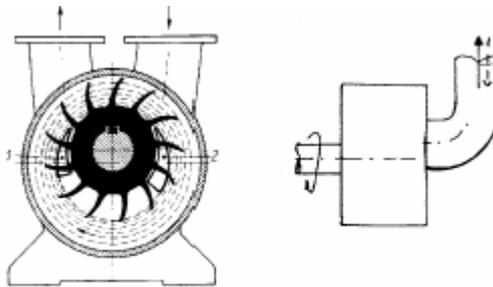
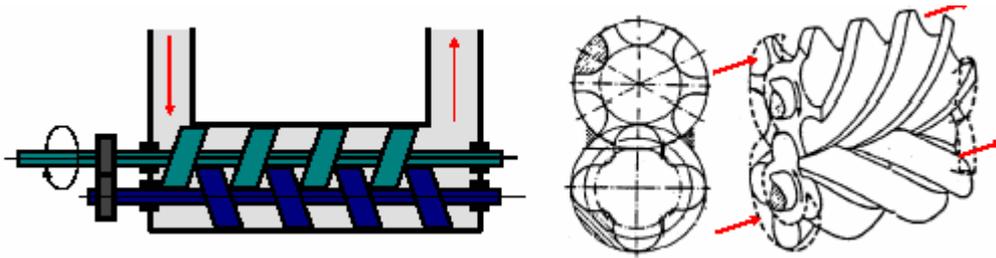


Abb. 2.7. Flüssigringverdichter

1 Einlassschlitz
2 Auslassschlitz

In dem teilweise mit Flüssigkeit gefüllten Gehäuse bildet sich durch die Schleudervirkung des rotierenden Läufers ein Flüssigkeitsring, der sich der Gehäusewand anschmiegt, der Läufer ist exzentrisch zum Gehäuse gelagert, dieser Ring, die Nabe des Läufers und seine Schaufeln bilden Kammern, die sich zunächst in Drehrichtung erweitern und dann wieder verengen. durch Raumvergrößerung entsteht ein Unterdruck mit großer Saugwirkung, der das Arbeitsmittel ansaugt, durch die Kammerverengung bei weiterem Umlauf wird das Arbeitsmittel durch den Druckschlitz verdrängt

Schraubenverdränger: (Schraubenverdichter) besitzen zwei schrägverzahnte, ineinander greifende Schraubenrotoren, die in einem Dichtumschließenden Gehäuse miteinander rotieren. Der angetriebene Hauptläufer hat z.B. vier erhabene Zähne, der über ein Zahnradgetriebe mitlaufende Nebeläufer z.B. sechs Zahnluken. Durch die Drehung der Rotoren füllen sich auf der Saugseite eine Haupt- und eine Nebeläuferzahnluke mit dem zu verdichtenden Gas. Beim Weiterdrehen taucht ein Zahn des Hauptläufers in die mit Gas gefüllte, passende Zahnluke des Nebeläufers ein, komprimiert mit zunehmender Eintauchtiefe das dort eingeschlossene Gas und transportiert es auf die Druckseite. Bei weiterer Drehung wird das komprimierte Gas auf der Druckseite ausgeschoben. Das Verdichtungsverhältnis p_2/p_1 von einstufigen Schraubenkompressoren beträgt 4. geringe Spiele zwischen den Läufern und zum Gehäuse hin notwendig, axialer Fluss des Mediums, Förderströme bis $3500 \text{ m}^3 / \text{min}$ bei maximalen Drücken bis 40 bar



Schraubenkompressoren - **robuste Dauerläufer**, die jahrelang rund um die Uhr arbeiten.

Die **kompakte Bauweise** spart Platz und damit Kosten.

Sprichwörtlich ist die hohe Zuverlässigkeit, Leistung und Druckluftqualität. Auch im Dauerbetrieb ist eine **ausgezeichnete Wirtschaftlichkeit** garantiert.

Geradlinig hin- und hergehende Verdränger

Merkmale: Verdränger ist meist ein Kolben, kann aber auch eine Membran sein, durch Schubkurbel angetrieben, wobei Koppel mit Verdränger und Kurbel mit Motor verbunden ist, durch Kolben- und Kurbelbewegung treten Massekräfte auf, Ventile auf der Saug- und Druckseite, Kühlung erforderlich, Vorteil gegenüber den rotierenden Verdichtern: stetig wechselnde Verteilung der Temperatur

Arten:

Kolbenverdichter: rotationssymmetrischer Kolben bewegt sich oszillierend in einem Zylinder, angetrieben von einem Kurbelgetriebe mit oder ohne Kreuzkopf, Arbeitsraumverringern durch Kolbenbewegung, Abdichtung mittels Kolbenringe, Ansaug- und Ausstoßvorgang durch Ventile gesteuert, ein oder mehrere Zylinder in einem Verdichter möglich (Stufenschaltung), angeordnet in Reihe, Boxer- oder V-Form, Schmierung erforderlich, Sonderform: Trockenlaufverdichter mittels Einsatz von PTFE- Kolben- Führungs- und Packungsringen im Zylinderbereich, besonders geeignet für die Nahrungs- und Genussmittelindustrie (reine, ölfreie Druckluft für PET- Flaschenherstellung, Verdichtung von Sauerstoff, Stickstoff, Acetylen



Kolben -Kompressor mit Start/Stop-Regelung . Langerprobt und über Jahrzehnte bewährt: Für **kleinere Luftmengen** und hohe Leistung gibt es praktisch keinen Besseren.

Zudem ist er unendlich kombinierbar und bietet eine **ideale Vielfalt**: stationär oder fahrbar, mit oder ohne Schallhaube oder als Erstausrüsteranwendung.

Ganz unten lassen sich die Kosten für den Betrieb ansiedeln, der LE/LT-Kompressor arbeitet mit äußerst **geringem Energieaufwand**

Membranverdichter: Membran aus Kunststoff oder mehrschichtigem Stahlblech dichtet Arbeitsraum ab, arbeitet ohne Ölschmierung, Schwingung der Membran über oszillierenden Kolben ausgelöst, Förderstrom bis zu $100 \text{ m}^3 / \text{h}$, Betriebszeit bis 4000 h

Vakuumerzeuger

Vakuumpumpen sind Maschinen, mit denen in Behältern und Rohrleitungen Vakuum, d.h. ein Druck unterhalb des Atmosphärendrucks erzeugt wird. Ihr Prinzip beruht darauf, das in dem Behälter sich befindende Gas aus ihm herauszubefördern.

Für die Erzeugung von **Großvakuum** im Druckbereich um $1,013 \text{ bar}$ bis $0,00133 \text{ bar}$ werden als Vakuumpumpen die üblichen Verdichter und Gebläse, bzw. geringfügig modifizierte Abwandlungen dieser Maschinen, eingesetzt. Sie werden mit dem Saugstutzen an den zu evakuierenden Behälter angeschlossen.

Zur Evakuierung großer Behälter werden Turbomolekularpumpen, Schraubenvakuumpumpen, Hubkolbenvakuumpumpen und große Rotationszellen-Vakuumpumpen eingesetzt. Für kleine Behältervolumen bevorzugt man Roots - Vakuumpumpen und kleine Rotationszellen-Vakuumpumpen.



Um **Feinvakuum** (Druckbereich $0,00133 \text{ bar}$ bis $1,33 \cdot 10^{-6} \text{ bar}$) bereitzustellen, sind speziell entwickelte Schraubenvakuumpumpen, Rotationszellen-Vakuumpumpen und Turbomolekularpumpen erforderlich.

Kolbenverdichter

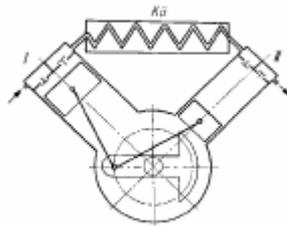
Allgemeines Funktionsprinzip eines Kolbenverdichters:

Verdichter wird zur Förderung eines Gases aus einem Raum mit niedrigem Druck in einen Raum mit höherem Druck eingesetzt, durch Volumenverringern und der daraus entstehenden Druckerhöhung im Zylinder, jede Umdrehung der Kurbelwelle bewirkt die Arbeitsvorgänge in der Maschine- Ansaugung, Verdichtung, Ausschubung und Rückexpansion des Gases, gesteuert durch selbsttätige Ventile, die zwischen Ansaugraum, Zylinder und Druckraum in Strömungsrichtung angeordnet sind
Kolben ist mit dem Kurbeltrieb verbunden, welcher die Drehbewegung der Welle in eine geradlinige Hin- und Herbewegung des Kolbens umwandelt, Bewegungsrichtungsumkehr in

den beiden Totpunkten (OT/UT), während des Hubes vom oberen zum unteren Totpunkt wird im Zylinder ein Unterdruck erzeugt, Druckunterschied zwischen Zylinder und Druckraum hält das Druckventil geschlossen, Druckunterschied zwischen Ansaugraum und Zylinder bewirkt das Öffnen des Ansaugventils = Druckausgleich.

im Augenblick des Hubwechsels schließt sich das federbelastete Ventil, der Verdichtungsarbeitsgang beginnt, Druck im Zylinder steigt und erreicht den Wert des Förderbehälterdruckes hinter dem Druckventil, bei fortschreitender Bewegung des Kolbens zum OT wird das Gas weiter verdichtet, der entstehende Druckunterschied wird durch das sich öffnende Druckventil ausgeglichen, Gas strömt in den Förderraum, erreicht der Kolben den Umkehrpunkt, schließt die Druckfeder das Ventil.

Kolben beginnt nun seine Bewegung in Richtung UT, wobei der Druck im Zylinder fällt, Saugventil öffnet sich nach Unterschreitung des Saugraumdruckes, es kommt wieder zum Ansaugen des Gases,



Ein Teil der zugeführten Arbeit wird durch Reibung innerhalb des Maschinensystems in Wärmeenergie umgewandelt. Weiterhin verursacht der Verdichtungsprozess eine Erhöhung der inneren Energie des Gases, was dessen Temperatur ansteigen lässt. Um den Prozess thermisch stabil zu gestalten, muss die Wärme abgeführt werden. Das erfolgt mittels luft- oder wassergekühlten Zylindern und nachgeschalteten Wärmetauschern.

Der Verdichter ist eine Maschine, die mittels zugeführter Energie eine Arbeit verrichtet. Die zugeführte Energie wird als Exergie für die Arbeitsverrichtung verwendet, ein Teil wird in Anergie umgewandelt, welche nicht zur Arbeitsverrichtung zur Verfügung steht. Diese Anergie ist bedingt durch mechanische Reibungsverluste, Undichtigkeits- und Aufheizverluste, Wärmeverluste im Kühlern und Strömungsverluste in Ventilen, Kühlern und Rohrleitungen. Verdeutlicht wird der Sachverhalt durch den Wirkungsgrad des Verdichters.

Regelung:

Konstanter Betriebsdruck bei unregelmäßiger Entnahme bedingt Regelung. Dies erfolgt bei elektrischem Betrieb meist über einen Druckschalter (Ein- und Ausschalten). Größere Kompressoren werden oft über die Drehzahl geregelt, manchmal findet man auch Leerlaufregelung (Saugventile werden offen gehalten, bei gleichzeitigem Zusperrern der Druckleitung). Damit nicht zu häufig geschaltet werden muss, ist oft ein Windkessel nachgeschaltet.

Wichtig für störungsfreien Betrieb sind anschließende Entwässerung, Entölung und Filter (Meist in einer Wartungseinheit zusammen gefasst).

Bauarten:

Einteilung der Verdichter nach Anordnung der Zylinder:
in Reihe, V-, Boxer- und Sternform

Reihenmaschine: Zylinder sind hintereinander angeordnet, ihre Mittellinie liegt mit Kurbelwellenachse in einer Ebene, Zylinder oberhalb der KW = stehend, unterhalb der KW = hängend, waagerechte Lage = liegend

Boxermaschine: Zylinder liegen einander gegenüber, ihre Mittellinie ist mit KW- Achse in waagerechter Ebene, jeder Kolben hat eine Kurbel (zwecks optimalen Masseausgleich), kleinere Massekräfte = höhere Drehzahlen

V- Maschine: Mittellinien zweier Zylinder bilden ein V, Gabelwinkel 45 bis 120 °, ein Kurbelzapfen nimmt zwei Schubstangen auf, liegen unter Versatz der Zylindermittellinien um eine Pleuellagerbreite voneinander entfernt auf dem Kurbelzapfen

nach Stufenzahl der Verdichtung:
einstufig, mehrstufig

nach Kolbenform:

Tauchkolben mit Saugventilen im Boden (große Ventilquerschnitte, geringe Aufheizverluste)

Scheibenkolben für doppelwirkende Stufen (geringere Gestängekräfte als bei Tauchkolben)

Stufenkolben mit zylindrischen Ansätzen für weitere Stufen (zur Einsparung von Triebwerken, aber: kompliziertere Zylinder, größere oszillierende Massen)

nach Anzahl der Kurbeln:

einkurbelig, zweikurbelig, dreikurbelig, vierkurbelig

nach Art der Schmierung:

ölgeschmierte Verdichter, Trockenlaufverdichter

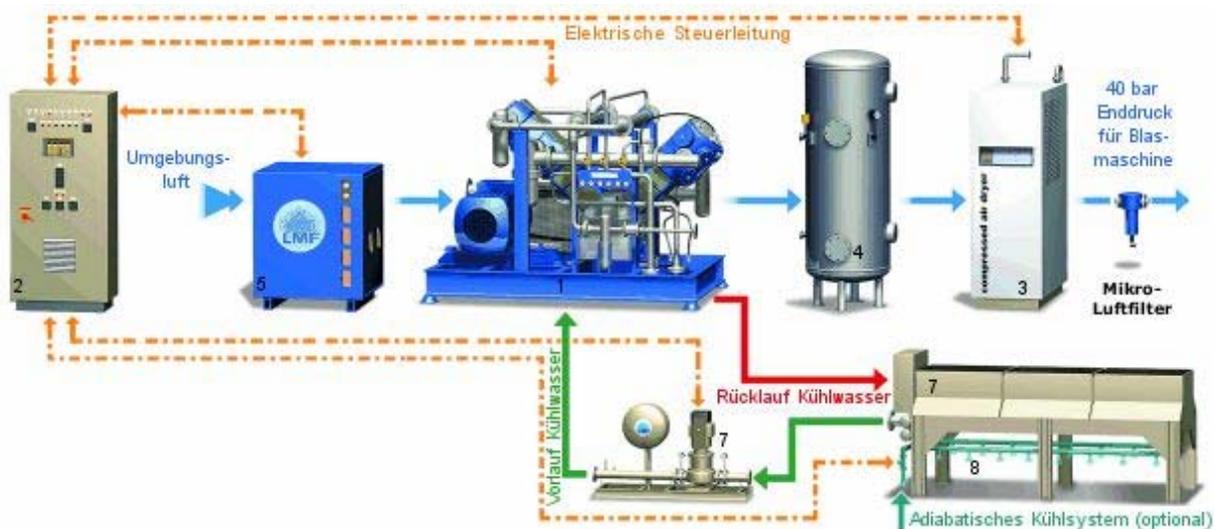
nach Höhe des Förderdruckes:

Nieder-, Mittel-, Hochdruckverdichter

nach Art der Kühlung:

luftgekühlt, wassergekühlt

Die Verdichteranlage



Der Kompressor ist Herzstück der Anlage. Zur Anlage zählen:

- Ansaugfilter
- Rohrleitungen und Ventile
- Kühlsystem mit Zwischenkühlern, Kondensatabscheidern, Ölabscheidern, Wasserpumpen oder Gebläse
- Schmiersystem mit Ölkühler, Ölpumpen
- Lufttrocknungsanlagen mit Ölabscheidern
- Antriebssystem (E- Motor, Verbrennungsmotor)
- Regeleinrichtungen (Druckregler, Drehzahlregelung)
- Sicherheitseinrichtungen (Sicherheitsventile, Notaus- Schaltung, Temperaturwächter)
- Betriebssteuerungssystem (Betriebswahl: Aussetzbetrieb, Durchlaufbetrieb, Anfahren, Abstellen)

DRUCKLUFTFILTER

**...bei denen verschmutzte Druckluft
keine Chance hat.**



Dies sind Filter auch und gerade für den Schmutz, der aus der verunreinigten Luft der Industriegebiete in das Druckluftsystem gelangt und dort zusammen mit Feuchtigkeit, Rost und Ablagerungen ein stark abrasives Gemisch bildet.

So unterschiedlich die Anforderungen der Kunden auch sein mögen - aus dem umfangreichen Filterprogramm von Atlas Copco lässt sich auf jeden Fall immer die ideale Filterkombination zusammenstellen.

Mehrzweckfilter

- mit Tiefbettmikrofaservlies aus Borsilikat, Edelstahl-Stützmaterial und Schaumstoffmantel
- garantierte Partikelabscheidung 100% bis zu 1 Mikron; 99,9% bis zu 0,1 Mikron
- Abscheidung von Kondensat und Ölaerosolen
- maximaler Restölgehalt 0,1 mg/m³ bei 20°C

Einsatz der Mehrzweckfilter:

Dieser Filter wird entweder als Einzelfilter zur Abscheidung von Kondensat / Ölaerosolen oder als Vorfilter zu den PD-Hochleistungsfiltren eingesetzt.

Hochleistungsfilter

- **mit Tiefbettmikrofaservlies aus Borsilikat, Edelstahl-Stützmaterial und Schaumstoffmantel**
- **garantierte Partikelabscheidung 100% bis zu 1 Mikron; 99,9% bis zu 0,01 Mikron**
- **Abscheidung von Ölaerosolen**
- **maximaler Restölgehalt 0,01 mg/m³ bei 20°C**

Einsatz der Hochleistungsfilter:

Vor Druckluftwerkzeugen, pneumatischen Fördereinrichtungen und Farbspritzgeräten. Als Vorfilter für Adsorptionstrockner und die Aktivkohlefilter QD.

Aktivkohlefilter

- **Aktivkohle-Tiefbett**
- **werden in Kombination mit PD-Hochleistungsfilter eingesetzt**
- **Abscheidung von Öldämpfen und Gerüchen**
- **maximaler Restölgehalt 0,003 mg/m³ bei 20°C**

Einsatz der Aktivkohlefilter:

Zur Reinigung von Druckluft in der Lebensmittelindustrie, der Pharma- und Elektronikindustrie sowie für Prozessluftsysteme.

Staubfilter

- **mit Tiefbettmikrofaservlies aus Borsilikat, Edelstahl-Stützmaterial und Schaumstoffmantel**
- **garantierte Partikelabscheidung 100% bis zu 1 Mikron; 99,9% bis zu 0,1 Mikron**
- **Abscheidung von Staub- und Schmutzpartikeln**

Einsatz der -Staubfilter:

Nach Adsorptionstrocknern. Sie dienen zur Abscheidung der Staub- und Schmutzpartikel.

ADSORPTIONSTROCKNER

...sind benutzerfreundlich, zuverlässig und sicher.



Wenn es um die **effiziente Aufbereitung** von Druckluft geht, verlassen sich Produktionsbetriebe in aller Welt auf Hankison - Trockner und -Komponenten.

Die jahrzehntelange Erfahrung eines Wegbereiters dieser Technologie kommt auch Kunden mit problematischen Umfeldbedingungen zugute - hier gelangen Hankison-Adsorptionstrockner als **Problemlösung** zum Einsatz.

Die **Vorteile** des Hankison- Konstruktionsprinzips sind eindeutig:

- Großzügig dimensionierte Trockenmittelbehälter ermöglichen **geringe Luftgeschwindigkeiten**

Einige Grundbegriffe aus dem Verdichterbereich:

Hubvolumen:

Ist der von einer Kolbenfläche während eines Hubes s zwischen OT und UT durchlaufene Raum

$$V_H = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot s$$

(bei Kreuzkopfverdichtern mit doppelt wirkenden Kolben das Kolbenstangenvolumen berücksichtigen)

Drehzahl und Winkelgeschwindigkeit

Drehzahl n der Kurbelwelle ist Kehrwert ihrer Umlaufzeit T , Drehzahlen handelsüblicher Verdichter liegen im Bereich zwischen 150 bis 2000 min^{-1}

$$n = \frac{1}{T}$$

Winkelgeschwindigkeit der Kurbelwelle für eine Umdrehung:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} = 2 \cdot \pi \cdot n$$

mittlere Kolbengeschwindigkeit

Kolben durchläuft während der Umlaufzeit T die Strecke s

$$c_m = \frac{2 \cdot s}{T} = 2 \cdot s \cdot n$$

wichtige Kenngröße für die Geschwindigkeit des Mediums in der Maschine, Massekräfte des Triebwerkes, Verschleiß, Anhaltswert: $c_m = 3$ bis 5ms^{-1} für kleinere Tauchkolbenverdichter, $2,5$ bis 4ms^{-1} für größere mehrstufige Kreuzkopfmaschinen

Der Schadraum:

Totraum, welcher von dem nicht zum Hubvolumen zählenden Teil des Arbeitsraumes gebildet wird, ist durch die Ventile und das axiale Kolbenspiel (Spaltmaß zwischen Kolben im OT und Zylinderdeckel – ca. 2 bis 5 mm) bedingt, Spaltmaß verhindert ein Anstoßen des Kolbens an den Deckel – besonders nach der Erwärmung, im Totraum befindliche Gasmenge wird nicht mit ausgestoßen, vermindert nach ihrer Rückexpansion das Ansaugvolumen, erfordert laut 2. Hauptsatz für ihre Verdichtung mehr Arbeit als sie für ihre Rückexpansion abgibt, deshalb bei der Konstruktion möglichst klein halten
Schadraum abhängig von Art und Größe der Ventile, zur Verminderung von Reibungsverlusten werden Ventile größer gewählt, aber dadurch wiederum mehr Schadraum

VerhältnisSchadraum / Hubvolumen

$$\varepsilon = \frac{V_S}{V_H} \quad (\text{Epsilon})$$

Anhaltswert zwischen 0,04 und 0,06 bei konzentrischen Ventilen (um die Zylinderachse angeordnet), abhängig von der Bauart des Verdichters bis max. 0,1

Indizierte Arbeit:

auch als innere Arbeit bezeichnet, umfasst die technische Arbeit und Reibungsverluste, die hauptsächlich in den Ventilen auftreten, Folge: Verringerung des Saugdruckes p_1 auf p_1^I , Erhöhung des Gegendruckes p_2 auf p_2^{II} , Ermittlung der Arbeit mittels Indikator diagramm (p-V-Diagramm), es stellt den Druckverlauf im Zylinder dar
Indizierte Arbeit W_i ist die eingeschlossene Fläche im p-V- Diagramm

Stufendruckverhältnis:

Verhältnis zwischen Druck p_1 im Saugbehälter und Druck im Förderbehälter p_2 zur thermodynamischen Berechnung des Verdichters

$$\Psi = \frac{p_2}{p_1} \quad (\text{psi})$$

Zylinderdruckverhältnis:

Verhältnis zwischen den Zylinderdrücken beim Ansaugen p_1^I und Ausstoßen p_2^{II} zur Ermittlung der Gestängekräfte

$$\psi^I = \frac{p_2^{II}}{p_1^I} \quad (\text{psi- strich})$$

Anhaltswert für einstufige Verdichter $\psi = 8 \text{ bis } 10$

Massen und Volumina:

theoretisch angesaugte Masse m_{th}

$$m_{th} = \rho_a \cdot V_H \quad \rho_a = \text{Dichte des Mediums beim Ansaugzustand mit } p_1 \text{ und } t_a \text{ (Anfangstemperatur)}$$

(rho)

angesaugte Masse $m_a < m_{th}$, da Verluste bei Rückexpansion (Schadraum) und Aufheizung des Mediums an Zylinderwand

$$m_a = \rho_a \cdot V_1 \quad V_1 \text{ ist Ansaugvolumen, gemessen vor dem Saugbehälter}$$

geförderte Masse $m_f < m_a < m_{th}$, da zusätzlich die Leckverluste berücksichtigt werden

$$m_f = \rho_f \cdot V_{2'} \quad \rho_f \text{ Dichte des Mediums im komprimierten Zustand mit } p_2 \text{ und } t_f \text{ (Endtemperatur)}$$

$V_{2'}$ gefördertes Volumen

Volumenberechnung mittels thermischer Zustandsgleichung $p \cdot V = m \cdot R \cdot T$ (Gesetz von Gay-Lussac und Boyle-Mariotte)

Verdichtungsvolumen:

$$V_{2'} = V_1 \cdot \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{\kappa}}$$

Verdichtungstemperatur:

$$T_{2'} = T_1 \cdot \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

Fördervolumen V_{fa} , auf den Ansaugzustand bezogen:

$$V_{fa} = V_{2'} \cdot \frac{\rho_f}{\rho_a}$$

Förderstrom, auf den Ansaugzustand bezogen:

$$\dot{V}_{fa} = V_{fa} \cdot n \quad n = \text{Drehzahl}$$

Liefergrad:

Verhältnis geförderter zur theoretischen Masse, zeigt Ausnutzung des Hubvolumens durch das geförderte Medium

Liefergrad ist vom Druckverhältnis, vom Wärmeübergang im Zylinder, vom Schadraum und Drosselverlusten abhängig, wird in Füllungs-, Aufheizungs- und Durchsatzgrad unterteilt

Füllungsgrad: Quotient des indizierten Saugvolumens V_D und des Hubraumes je Zylinder V_H
Erfasst die Volumenabnahme durch die Rückexpansion sowie die Strömungsverluste

$$\lambda_F = \frac{V_D}{V_H} \quad (\text{Lambda})$$

Aufheizungsgrad: Verhältnis von Saugvolumen V_1 und indiziertem Saugvolumen V_D , dient der Beurteilung der Volumenverluste durch Erwärmung des kühlen Mediums beim Ansaugen (Aufheizung durch heiße Zylinderwände), vermindert geförderte Gasmasse

$$\lambda_A = \frac{V_1}{V_D}$$

Durchsatzgrad: Verhältnis von im Druckstutzen geförderten und angesaugten Volumens, zeigt Einfluss der Undichtheiten von Kolbenringen, Ventilen, Stopfbuchsen

$$\lambda_D = \frac{V_{fa}}{V_1}$$

Liefergradberechnung zur Ermittlung der Auslegung des Verdichters (für einstufige Verdichter)

$$\lambda_L = \lambda_F \cdot \lambda_A \cdot \lambda_D = \frac{V_{fa}}{V_H}$$

Leistung und Wirkungsgrade bei einstufiger Verdichtung

Verdichtung erfolgt in einem Arbeitsraum in eine Stufe vom Ansaugdruck zum Enddruck, Erhöhung des Druckverhältnisses bewirkt Steigerung des Gegendruckes und der Temperatur des Mediums, höherer Druck = erhöhte Gestängekräfte und Volumenverlust durch Rückexpansion, durch höhere Temperatur wird Zylinderwand stärker erwärmt, Medium beim Ansaugen mehr aufgeheizt, max. Verdichtungstemperatur 200°C- (sonst eventuell Explosionsgefahr)

Verdichtungs Vorgang weicht stärker von Isotherme ab, weil gasförmige Medien geringe Dichte haben, dadurch höhere Strömungsgeschwindigkeiten bzw. Kolbengeschwindigkeiten, schlagartige Verdichtung lässt keine vollständige Kühlung zu, trotz intensiver Zylinderkühlung ist nur Verdichtung nahe der Isentropen möglich (Verdichtungsarbeit umgewandelt in innere Energie und in Wärme, die durch Zylinderkühlung abgegeben wird)

Nachteile der einstufigen Verdichtung:

- kleine Förderströme
- größere Gestängekräfte
- höherer Leistungsbedarf
- stärkerer Verschleiß
- erschwerte Schmierung
- verkürzte Lebensdauer
- begrenztes Druckverhältnis durch Temperaturgrenzbereich des Schmieröls (Höchsttemperatur im Druckstutzen max. 200 °C)

Verdichterarbeit polytrop

Teilweise Abfuhr der Verdichtungswärme, Lage der Polytropen ist abhängig von der Güte der Kühlung, starke Kühlung = näher an Isotherme, weniger Kühlung = näher an Isentrope

Verdichtungsarbeit bei polytroper Betrachtung

$$W_{1,2} = \frac{p_2 \cdot V_2 - p_1 \cdot V_1}{n-1}$$

Verdrängungsarbeit

$$W_{2,3} = p_2 \cdot V_2$$

Ansaugarbeit

$$W_{4,1} = p_1 \cdot V_1$$

Verdichterarbeit bei polytroper Betrachtung:

$$W_{pol} = \frac{n}{n-1} \cdot (p_2 \cdot V_2 - p_1 \cdot V_1)$$

Auswertung:

Bei einem Verdichter, der die gesamte Druckluft aus dem Zylinder ausschleibt, ist bei polytroper Verdichtung die gesamte Verdichterarbeit gleich der n – fachen Volumenänderungsarbeit der Verdichtung.

Leistung eines einstufigen Verdichters

- ist die zur Verdichtung des Massestromes vom Ansaugzustand p_1, T_1 auf den Gegendruck p_2 notwendige Leistung (im Idealfall: ohne Feuchte)

indizierte Leistung P_i :

Innenleistung des Kolbenverdichters unter Beachtung der Strömungsverluste

$$P_i = A_K \cdot p_i \cdot s \cdot n$$

A_K = wirksame Kolbenfläche

s = Kolbenhub

p_i = mittlerer Druck

n = Drehzahl in Sekunden

Kupplungsleistung P_K :

bei Direktantrieb mittels Motor, P_K muss wegen Reibungsverlusten (Kolben, Stopfbuchse, Kreuzkopf, Lager) größer als P_i sein

$$P_K = \frac{P_i}{\eta_m}$$

Wirkungsgrade

isothermer Wirkungsgrad:

$$\eta_{iso} = \frac{P_{iso}}{P_i} \quad \frac{\text{isotherme}}{\text{indizierte}}$$

mechanischer Wirkungsgrad:

$$\eta_m = \frac{P_i}{P_K} \quad \frac{\text{indizierte}}{\text{effektive}}$$

Mehrstufige Verdichtung

Stufenweise Verdichtung in mehreren hintereinandergeschalteten Arbeitsräumen, Besonderheit: Medium wird zwischen den einzelnen Stufen gekühlt, dadurch Abnahme der Volumenverluste, Aufteilung der Gesamtarbeitsaufwandes auf einzelne Verdichtungsstufen zum Enddruck bewirkt Verringerung der Gestängekräfte im Kurbeltrieb sowie Verringerung der Arbeitsleistung, Erhöhung der Lebensdauer des Verdichters durch geringere thermische Belastung

Nachteile:

- mit Zunahme der Stufenzahl erhöhen sich Herstellungskosten
- Zunahme der Gasreibungsverluste und Triebwerksverluste
- wirtschaftlichstes Stufendruckverhältnis bei ca. 4

Berechnung der Stufendruckverhältnisse:

Stufendruckverhältnis der K – ten Stufe:

$$\psi_K = \frac{P_{K+1}}{P_K} \quad \frac{\text{Stufendruck der Nachfolgestufe}}{\text{Stufendruck der } k\text{-ten Stufe}}$$

Gesamtstufendruckverhältnis:

$$\psi_{Ges} = \psi_1 \cdot \psi_2 \cdot \dots \cdot \psi_K \cdot \dots \cdot \psi_i = \frac{p_2}{p_1} \cdot \frac{p_3}{p_2} \cdot \dots \cdot \frac{p_{K+1}}{p_K} \cdot \dots \cdot \frac{p_{i+1}}{p_i} = \frac{p_{i+1}}{p_1} \quad (\text{Psi})$$

wenn Stufendruckverhältnisse der einzelnen Stufen gleichgroß; dann:

$$\psi_{Ges} = \psi^i = \frac{p_{i+1}}{p_1} \quad \rightarrow \text{Berechnung der Stufenzahl } i: \quad i = \frac{\lg(p_{i+1}/p_1)}{\lg \psi}$$

Berechnung der Zylinderdrücke:

Zylinderdrücke p_k für die k -te Stufe , Unterschied zu den Stufendrücken liegt in der Berücksichtigung der Gasreibungsverluste in den Ventilen, Leitungen und Kühlern Δp_{RK}

$$p_K^{II} = p_K + \Delta p_{RK} \quad p_K^I = p_K - \Delta p_{RK} \quad p_K^{II} - p_K^I = 2\Delta p_{RK}$$

Zylinderdruckverhältnis als Kenngröße zur Ermittlung der Zylinderdrücke und Gestängekräfte:

$$\psi_K^I = \frac{p_{K+1}^{II}}{p_K^I} \quad (\text{Psi- Strich der } k\text{-ten Stufe})$$

Temperaturen:

Ansaugtemperatur der k -ten Stufe = Rückkühltemperatur des davorliegenden Zwischenkühlers, bei Luftkühlung ca. 25°C , bei Wasserkühlung ca. 15°C , (außer Ansaugstufe)

Massen und Volumina:

Ermittlung der angesaugten und geförderten Masse m_a und m_f durch Messung vor dem Saugbehälter der ersten Stufe und nach dem Nachkühler der letzten Stufe, Ansaugvolumina wichtig zur Berechnung der Auslegung für alle Stufen