Schraubenverdichter von der Planung bis zum Betrieb

Ing. (grad.) **K. Warnke,** Hamburg

Zusammenfassung

Die Möglichkeiten bei der Druckluftversorgung sind so vielfältig, daß es hier einer intensiven Vorarbeit bedarf, bevor es zur Aufstellung eines Schraubenverdichters oder einer alternativen Verdichterbauart kommt. Die Druckluftmaschinen haben ihre Grobschlächtigkeit verloren, so daß auch an die Qualität ihrer Antriebsenergie besondere Forderungen zu stellen sind.

Der Druckluftplaner oder Energieversorger muß wissen wie teuer Druckluft ist und versuchen, durch detaillierte Planung und Ausnutzung aller nur denkbaren Kniffe und Möglichkeiten für jeden Einzelfall die optimalste Lösung zu finden.

Zur Erfüllung der gestellten Forderungen, wie Druckluftqualität, Betriebssicherheit, geringer Energieaufwand, hohe Lebensdauer u.a. benötigt man ein für jeden Verwendungszweck abgestimmtes Konzept, denn nur damit lassen sich Fehler bei der Auswahl der Anlagenkomponenten auf ein Minimum reduzieren.

Es ist bekannt, daß die Druckluft eine teure Energieform ist, es ist aber auch bekannt, daß die Druckluft gewisse Vorteile bietet gegenüber dem elektrischen Antrieb, bei dem Einsatz und der Handhabung von Werkzeugen, hier auch im Hinblick auf die Arbeitssicherheit, im Bereich des Ex-Schutzes und im Bereich der Steuerung und Regelung.

Diese Vorteile, verknüpft mit einer Minimierung der in der Druckluft enthaltenen Nachteile, muß das Ziel der Planung sein. Die Zeit der Euphorie für die Schraube ist vorbei, heute müssen vor einer Entscheidung für die Schraube eine ganze Reihe Vergleiche mit anderen Verdichtersystemen angestellt werden.

In den meisten Fällen beginnt die Planung mit der Forderung nach Vergrößerung der Druckluftbedarfsmenge (Liefermenge). Für einen Vergleich und eine wirtschaftliche Beurteilung der zu ergänzenden Leistung stellen sich auch gleichzeitig eine Reihe von Fragen, die es gilt sorgfältig zu beantworten. Es sind dies die Fragen nach dem derzeitigen Druckluftverbrauch, dem min. und max. Druckniveau und den Mengenschwankungen.

Hierzu ist es sinnvoll über einen längeren Zeitraum ein Meßprotokoll zur Ermittlung obiger Werte zu erstellen. Weiter stellt sich die Frage nach dem zu erwartenden Mehrverbrauch. Hier muß vermieden werden, mit Hilfe von Gleichzeitigkeitsfaktoren, eine zu große Menge als den zu erwartenden Mehrverbrauch zu ermitteln.

Hieraus kann dann ein Diagramm erstellt werden, welches eine wichtige Grundlage für die Beurteilung und die Auslegung des neuen Verdichters ist.

Eine wichtige Frage ist die nach der Beschaffenheit des vorhandenen Druckluftnetzes, ermittelt mit dem heutigen Verbrauch und mit dem zu erwartenden Verbrauch.

Messungen bei Spitzenbelastungen lassen hier oft Überraschungen zutage treten, d.h. Druckverluste bis 0,5 bar sind hier keine Seltenheit.
Diese aber kosten Energie. Aus diesen Messungen ergibt sich ein Druckniveau am Erzeuger, welches ebenfalls eine Meßgröße für die Auslegung des neuen Verdichters ist und unter Umständen zur Korrektur des derzeitigen Druckniveaus führt.
Bei großen Druckverlusten über 0,8 bar ist auch an eine Sanierung des Netzes zu denken.
Bei Netzdrücken von 7 bar beeinflußt eine Druckdifferenz im Netz von 0,1 bar die Leistung des Verdichters um ca. 0,6 %.
Bei einer Liefermenge von 10 Mio. m^3 pro Jahr sind das Mehrkosten von ca. 1.100,-- DM.
Mitentscheidend ist die Frage nach der Beschaffenheit der vorhandenen Verdichter, hier der Energieverbrauch der Anlage und die Wartungs- und Reparaturaufwendungen.

Mit Hilfe dieser ermittelten Werte kann die Erstellung eines neuen, für die Planung erforderlichen Druckluftversorgungskonzeptes erfolgen.

Dieses Konzept soll alle wichtigen Punkte, beginnend bei der Liefermenge über die Druckluftaufbereitung bis hin zur Aufstellung der Anlage beinhalten. Aus dem Konzept müssen sich bei entsprechenden Vorgaben ableiten lassen, Verdichtergröße und Verdichtersysteme unter Berücksichtigung einer wirtschaftlichen Bedarfsdeckung, das heißt Optimierung aller mit der Erzeugung verbundenen Kosten.

In der Industrie, hier Anlagen größer als 5 m^3/min ohne die Kleinverdichter und ohne die fahrbaren Anlagen, gliedern sich die Verdichterbauarten bzw. Verdichtersysteme in 2 Gruppen,

Verdrängermaschinen
Strömungsmaschinen.

Diese Verdichtersysteme wiederum gliedern sich in

2-stufigen Kolbenverdichter
bis zu einer Größenordnung von 60 m^3/min,
1- und mehrstufige Schraubenverdichter,
beginnend mit der Kleinschraube bis zur
Schraube größer als 300 m^3/min.,
1- und mehrstufige Turboverdichter
mit Leistungen von 40 bis größer als 400 m^3/min.

Die letzten Jahre waren die Jahre der Rationalisierung, anfänglich wurde rationalisiert auf dem Gebiet der Energiekosten, dann folgten sehr schnell Rationalisierungen im Bereich der Personalkosten, hier bei den Aufgaben der Überwachung und der für Instandhaltung sprich Wartung, Reparatur und Inspektion für die Verdichteranlagen. Hieraus wurden Forderungen abgeleitet, betriebssichere, energieverbrauchsarme und wartungs- und verschleißarme Maschinen zu bauen.

Wenn die Schraube auf der Energieverbrauchsseite auch einen teilweise deutlichen Nachteil gegenüber dem Kolben hatte, so hat sie dieses doch in den meisten Fällen wettgemacht durch den wesentlich geringeren Aufwand für Wartung und Instandsetzung.

Um so größer war natürlich die Nachfrage nach verschleiß- und wartungsarmen Schraubenverdichtern, doch auch die Kolben, mit Hilfe der synthetischen Öle wurden wartungsärmer.

Welches Verdichtersystem zur Deckung der einzelnen Bedarfsfälle zum Einsatz kommt, läßt sich so nicht sagen, sondern muß von Fall zu Fall sorgfältig ermittelt werden.

Für eine grobe Einstufung der einzelnen Verdichterbauarten kann die Aussage gemacht werden, daß die Schraube fast konkurrenzlos ist im Leistungsbereich zwischen 30 m^3/min. und 60 m^3/min.

Darunter muß der Kolbenverdichter und darüber sollte der Turboverdichter als Vergleich mit herangezogen werden.

Zur Bewertung eines Druckluftsystemes braucht man vergleichsbare Werte, aus der sich in der Gesamtheit eine Vergleichszahl ermitteln läßt, hier ist gemeint die Druckluftkennzahl.

Die Druckluftkennzahl ist kein Maß für die Wirtschaftlichkeit der Anlage, läßt man sie doch beinflußen durch zusätzliche Werte, wie Wärmerückgewinnung, Druckluftaufbereitung, Regelung, Auslegungstoleranzen , kann sie bei konzequenter Ermittlung mindestens ein Vergleich für die Wirtschaftlichkeit einer Anlage sein.
Die Druckluftkennzahl wird ermittelt aus:

Investitionskosten
Kapitaldienst
Betriebskosten
Druckluftaufbereitungskosten
Kosten für die Wärmerückgewinnung
und der Wärmenutzung (Gutschrift für die Betriebskosten)

Zu diesen Punkten im einzelnen:

Wie bei jeder Investition stehen ganz oben die Kosten, diese aber sind im Falle der Druckluftversorgung stark schwankend mit der Liefermenge und der evtl. einzusetzenden Verdichterzahl. Weiter sind sie abhängig von der Druckluftqualität, hier die Aufwendung für die Aufbereitung und den Umfang der Wärmerückgewinnung. Ein Vergleich von Investitionskosten zwischen Kolben- und Schraubenverdichtern muß nicht immer zu Gunsten des Schraubenverdichters ausgehen.

Der Kapitaldienst soll hier nicht unser Thema sein und ist auch resultierend aus den Anschaffungskosten.

Die Betriebskosten, eigentlich ein Kernpunkt der Druckluftkennzahl, setzen sich zusammen aus Energiekosten, wie

Strom
Wasser
Öl
Druckluft (Regenerationsluft für Absorptionstrockner)

und Instandhaltungskosten wie

Wartung
Inspektion
Instandsetzung
Reserveteilhaltung.

Viele Punkte dieses Vergleiches können betriebsintern ermittelt werden, wenige, dafür aber entscheidende Punkte, sind aus den Angeboten der Verdichterhersteller zu entnehmen.

Hier heißt es aufgepaßt bei der Erstellung eines wirklichen Vergleiches. Hier ist es ratsam sich zu beziehen auf Regelwerke wie DIN, VDI und ISO-Normen (DIN 1945, VDI 2045 und ISO 1217), die zwar unterschiedlich messen, durch Umrechnungen aber doch vergleichbar sind.

Wichtig ist der Bezug auf diese Regelwerke bei dem Vergleich der Liefermenge und des Leistungsbedarfes bei Vollast und im Leerlauf. Mit diesen beiden Werten ist ganz schnell über die spezifische Leistungsaufnahme ein Vergleich zweier Verdichter machbar. Auch bei den anderen Werten sollte nach objektiven Vergleichsmöglichkeiten gesucht werden.

Die Investition einer Verdichteranlage ist eine Investition für mindestens 10 - 15 Jahre. Hier gilt es nicht den Kaufpreis zu reduzieren, hier gilt es vielmehr die Aussagen der einzelnen Verdichterhersteller dahingehend zu überprüfen, daß die während der 10 - 15 jährigen Betriebszeit des Verdichters anfallenden Betriebskosten auf ein Minimum reduziert werden können.

Ein weiterer Punkt zur Reduzierung der Betriebskosten ist die Regelung. Bedingt durch das Verdichtungsprinzip des Kolbenverdichters und des Schraubenverdichters, nämlich das Verdrängungsprinzip, haben beide Systeme nicht die Möglichkeit der linearen Mengenanpassung. Hierdurch ergeben sich zwangsläufig Druckschwankungen, d.h. Regeldifferenzen und nicht vermeidbare Leerlaufzeiten.

Beide Bauarten, Kolben- wie auch Schraubenverdichter, haben zugehörig zum niedrigsten Energieverbrauch auch einen optimalen Betriebspunkt. Das Verlassen diese Betriebspunktes bedeutet grundsätzlich eine Änderung der spezifischen Leistung. Es ist also wichtig den Verdichter für einen ganz bestimmten Betriebspunkt auszulegen, d.h. aber auch, daß bei der Auswahl der Verdichter unterschieden werden muß, ob dieser im Betriebspunkt arbeitet oder für schwankende Liefermengen eingesetzt werden soll. Es muß bei der Auswahl unterschieden werden zwischen einem Grundlast- und einem Spitzenlastverdichter.

Die Regelung der Grundlastmaschine ist die Aussetzschaltung, d.h. O-Förderung bei Betriebsunterbrechung. Dieses Regelungsart ist überdies die Regelung mit den niedrigsten Betriebskosten.

Weitere Regelungsmöglichkeiten an Verdichteranlagen sind die Mengenregelung, die Vollast-Leerlaufregelung, die Voll-Leerlaufregelung mit verzögerter Aussetzschaltung

und die bereits angesprochene Aussetzschaltung als 2-Punkt-Schaltung.

Solange nicht die Forderung nach Aufrechterhaltung eines konstanten Netzdruckes gestellt ist, ist die Mengenregelung für Verdrängermaschinen nicht energieverbrauchsgünstig einzusetzen.

Diese Regelung ist optimal einsetzbar bei Strömungsmaschinen sprich Turboverdichtern.

Für kleinere Anlagen ist zu prüfen, ob durch das Netzvolumen und ein zusätzliches Behältervolumen die Möglichkeit für eine Aussetzschaltung gegeben ist. Hier muß unbedingt auf die vom Hersteller vorgegebenen max. Einschaltzahlen für die Motoren Rücksicht genommen werden.
Die für große Anlagen günstigste Regelung von Verdrängermaschinen ist die Leerlaufschaltung evtl. ergänzt durch eine verzögerte Aussetzschaltung. Hier ist die Möglichkeit gegeben durch größere Einschaltzahlen zwischen Leerlauf und Vollast, die bis 120 pro Stunde gehen können, die Druckdifferenz zwischen dem Einsatz- und dem Ausschaltpunkt gering zu halten. Dies bedeutet wiederum, daß das max. Druckniveau am Erzeuger kleiner gehalten werden kann. Eine Reduzierung des Maximaldruckes um 0,5 bar ist durchaus machbar, was eine Energieeinsparung für die Regelmaschine von 1,8 % bedeutet.

Aus der Wärmelehre ist bekannt, daß bei einem Verdichtungsprozeß die aufgewandte Energie fast vollständig in Wärme umgewandelt wird und diese wiederum fast vollständig an ein Kühlmedium abgegeben wird.
Um nun die Druckluft wirtschaftlich zu erzeugen, muß es das Ziel sein, wo immer nur möglich, diese Abwärme in Nutzwärme umzuwandeln, d.h. den Verdichter als Wärmepumpe zu nutzen.

Über die Einbeziehung der Wärmerückgewinnung in eine neu zu erstellende Verdichteranlage sollte heute nicht mehr

diskutiert werden. Es gibt inzwischen eine Vielzahl von Möglichkeiten, die anfallende Wärme zu nutzen. Sicher spielt die Frage der Wirtschaftlichkeit eine große Rolle, aber muß sich diese Mehrinvestition immer in 1 oder 2 Jahren rechnen lassen?

Eine wichtige Größe bei der Beurteilung der Anwendung einer Wärmerückgewinnung ist die Benutzungsdauer und hier besonders die Vollbenutzungsdauer. Zugegeben, es ist nicht unbedingt sinnvoll eine Wärmerückgewinnung zu planen, bei Vollbenutzungsstunden von weniger als 1000 Stunden pro Jahr, doch auch hier kann bei einer sinnvollen Verwendung der Abwärme eine Wärmerückgewinnung wirtschaftlich arbeiten. Es muß in jedem Falle über geeignete Maßnahmen nachgedacht und versucht werden, hier auch einen wirtschaftlichen Nachweis zu erbringen. Erst dann kann objektiv für oder gegen eine Wärmerückgewinnung entschieden werden.

Irgendwann in der Planungsphase kommt die Frage, wohin mit der Anlage. Hier ist zu versuchen, den Aufstellungsort so zu legen, sei es zentral, sei es denzentral, daß die entstehende Abwärme optimal zu nutzen ist. Die Nachteile einer Zentralisierung bzw. einer Dezentralisierung bei vorhandenen Netzen, können ausgeglichen werden durch eine evtl. bessere Nutzung der Abwärme.

In einigen Produktionsstätten gibt es Ringnetze mit wechselnden Belastungen, daß heißt es hängen Verbraucher dran, deren Abnahme wegen wechselnder Produktionsverfahren unterschiedlich groß ist. Hier kann es erforderlich werden, den Einspeisepunkt zu verlegen, um die entstehenden Netzverluste zu verringern. In diesen Anwendungsfällen ist natürlich besonders darauf zu achten, daß die neu zu beschaffende Anlage diesen Forderungen weitestgehend entgegen kommt, d.h. einfache Aufstellung und einfache Anschlüsse, sowie einfache Wärmenutzung, z.B. Beheizung einer Halle.

Bei einer Aufstellung im Freien, die bei den heutigen Anlagen durchaus machbar ist, ist darauf zu achten, daß bei Ansaugung kalter Außenluft die Leistung des Verdichters und damit auch die des Antriebsmotors zunimmt. Die Leistungserhöhung des Motors kann durchaus 4 - 8 % betragen. Das gleiche gilt natürlich für Anlagen mit einer direkten Ansaugung von außen.

Bei der Aufstellung der Anlage überhaupt muß an die Zugänglichkeit der einzelnen Aggregate und an evtl. entstehende Schwingungen, die auf das Gebäude übertragen werden können, gedacht werden.

Ebenfalls muß dem Schallschutz hier eine besondere Aufmerksamtkeit geschenkt werden. Es sollte versucht werden, auf die Lieferfirmen einzuwirken, den Schalldruckpegel unter Werte von 80 dB(A) zu reduzieren. Wichtig ist bei der Überprüfung der Angaben des Schalldruckpegels auch die Angabe der Meßmethode.

Hier gilt die Messung nach CAGI-PNEUROP (Freifeldmessung in 1 m Abstand) oder die Messung nach DIN 45 635 mit dem Zusatz, Freifeldmessung oder Messung in geschlossenen Räumen. Die Toleranzgrenze liegt bei beiden Messmethoden bei ± 2 %.

Bei Schraubenverdichtern ist abgesehen von den täglich und wöchentlich zu wiederholenden Wartungs- bzw. Inspektionsarbeiten an den Filtern, den Entlastungseinrichtungen, Kühlwassereinrichtungen sowie einer Leistungsüberprüfung die wichtigste Aufgabe die Kontrolle des Öles. Hier sollten in regelmäßigen Abständen Proben gezogen werden, die zwecks Untersuchung an den Mineralöllieferanten geschickt werden. Hierdurch ist eine ständige, gleichmäßige Kontrolle des Öles gegeben, die auch gleichzeitig eine Kontrolle der Verdichteranlage beinhaltet. Vielfach kann durch diese Probenanalysen eine Verlängerung der Ölwechselintervalle erreicht werden.

Bei den Kolbenverdichtern ist der Aufwand für Wartung und Inspektion um ein erhebliches größer.

Hier sind die Vielzahl der Ventile, hier gibt es ein Triebwerk mit hin- und herbeweglichen Teilen, hier beginnen auch die Probleme im Betrieb. Durch die in einer Kolbenverdichteranlage arbeitenden und freiwerdenden Kräfte, gibt es Probleme mit Dichtungen, Stopfbuchsen, Rohrleitungen, Halterungen, u.a., die die Verfügbarkeit gegenüber dem Schraubenverdichter wesentlich stärker reduziert.

Diese Tatsache, ein höherer Wartungs- und Instandhaltungsaufwand für den Kolbenverdichter, darf aber nicht dazu führen, daß ein bewährtes und überdies energiesparendes Verdichtungsprinzip ins Abseits gedrängt wird.

Hier muß bei der wirtschaftlichen Betrachtung der Anlagensysteme die Wertung dahingehend überprüft werden, was höher einzustufen ist, die Beschäftigung der Mitarbeiter oder die Einsparung von Energie.

Leute sind vorhanden, Energie ist knapp.

4 Anlagen

MBB UH	DRUCKLUFTVERSORGUNG Erweiterung der Verdichterstation Auslegungsbedingungen	TFH 122

Bauart .....

Alternative .....

Liefermenge bei pverd. 8 bar (ü) m³/min ....
(nach DIN 1945)

Leistungsaufnahme (Gesamtanlage) kW ....
(nach DIN 1945) bei pverd. 8 bar (ü)

Leistungsaufnahme (Gesamtanlage) kW ....
Leerlauf

Verdichterenddruck bar (ü) ....

Verdichterendtemperatur vor N.K. °C ....

Druckluftaustrittstemperatur °C ....

Verdichterkühlung Luft / Stadtwasser / Kreislaufwasser ....

Kühlwasser (luft) austrittstemperatur °C ....

vorhandenes Kühlsystem ....

vorhandene Kühlmediumstemperatur °C ....

Wärmerückgewinnung geplant / nicht geplant /Bh pro Jahr ....

Schalldruckpegel max. dB(A) ....
Freifeldmessung nach CAGI PNEUROP

Druckluftqualität:

Restölgehalt mg/m³ ....
Restwassergehalt g/m³ ....
Taupunkt atm °C ....

Laufzeit pro Jahr h ....

Regelung : Menge bei pverd. in mbar ....
Voll/Halbl./Leerl./Auss. bei pverd. in mbar ....

Aufstellung der Anlage:

innen,Raumgröße L/B/H ....
belüftbar / nicht belüftbar / Aussenanschluß ....
aussen, Platzbedarf max. L/B ....
umsetzbar ....

Netzanschlußwerte:

Spannung V ....
Frequenz Hz ....

Zubehör: ....
....

Bemerkungen: ....
....

Datum:	Bearbeiter:	Geprüft:		Anlage 1

MBB UH	DRUCKLUFTVERSORGUNG Bewertung der vorhandenen Anlagen	TFH 122

vorhandene Verdichter ....

Bauart ....

Leistungsüberprüfung:

Bewertung 1 – 4

- Betriebsstd. pro Tag Last h ....
- Betriebsstd. pro Tag Leerlauf h ....
- Menge m³ / Tag ....
- Leistungsaufnahme kW ....
- Stromverbrauch kWh/Tag ....
- spez. Leistung kWmin/m³ ....
- Wasserverbrauch m³/Tag ....
- Druckluftaustrittstemp. °C ....
- Ölverbrauch g/h ....
- Instandhaltung ....
- allgemeiner Zustand ....
- Druckluftaufbereitung ....
- Wärmerückgewinnung Bh/Tag ....
- Rückwärmezahl ....

Volumenstrom m³/min max. ....

Volumenstrom m³/min min. ....

Volumenstrom Differenz m³/min ....

Vollbenutzungsstunden h/a ....

Volumenstrom pro Jahr m³ ....

Netzdruck pmin am Erzeuger bar (ü) ....

Netzdruck pmin am Verbraucher bar (ü) ....

Diff.-Druck Netz bar ....

davon Diff.-Druck Station bar ....
(bei Δ p Netz 0,8 bar Dimensionierung überprüfen)

Leistung Gesamtanlage:

- Menge m³/Tag ....
- Stromverbrauch kWh/Tag ....
- spez. Leistung kWh/m³ oder kWhmin/m³ ....
- allgemeiner Zustand ....
- Druckluftaufbereitung:
  - Taupunkt atm °C ....
  - Restwassergehalt g/m³ ....
- Regelung: Menge/Voll./Halbl./Leerl./ Δ pverd. mbar ....
- Last-Laufzeit pro Tag Std. ....

Bemerkungen: .....
.....

Bei Anlagenerweiterung:

Mehrverbrauch theor. m³/min ....

Gleichzeitigkeitsfaktor ....

Mehrverbrauch tats. m³/min ....

Diff.-Druck Netz nach Erweiterung bar ....

Datum:	Bearbeiter:	Geprüft:		Anlage 2

MBB UH	DRUCKLUFTVERSORGUNG Verdichtervergleich	TFH 122

Hersteller..... .....

Type..... .....

Bauart ....

Verdichterenddruck bar (ü) ....

Liefermenge bei pverd. 8 bar (ü) m³/min . .....
(nach DIN 1945)

Leistungsaufnahme (Gesamtanlage)* KW ....
(nach DIN 1945) bei pverd. 8 bar (ü)

Leistungsaufnahme (Gesamtanlage) KW ....
Leerlauf

Motor: Nennleistung KW ....
Spannung/Frequenz ....
Bauform ....
Schutzart ....

Antriebswirkungsgrad ....

Verdichterkühlung luft/wasser ....

Kühlwassermenge (Gesamt) m³/h ....

Kühlwasserein- u. -austrittstemp. °C ....

Druckluftaustrittstemperatur °C ....

Ölverbrauch gr/h ....

Restölgehalt mg/h ....

Regelung: Menge/Voll./Halbl./Leerl./Aus . .....

Schalldruckpegel dB(A) ....
Freifeldmessung nach CAGI PNEUROP

Toleranzen: Schalldruckpegel ....
Liefermenge ....
Leistungsaufnahme ....
spez. Leistungsaufn. ....

Abmessungen L / B / H / m ....

Gewicht kg ....

Kompaktanlage mit / ohne Schallhaube ....

Lieferzeit ....

Preis DM ....

Zubehör: .....
.....

E.-Anschluß: .....
.....

Bemerkungen: .....
.....

spez. Leistung kWh/m³ oder kWmin/m³ .....

spez. Preis DM/m³/min .....

* Gesamtanlage beinhaltet Verbraucher wie 1. bis nte. Verdichterstufe, Keilriemen, Getriebe, Lüfterrad bez. sep. Lüftermotor, Nachkühler.

Datum:	Bearbeiter:	Geprüft:		Anlage 3