# Regelungskonzepte für öleingespritzte Schraubenkompressoren

**G. Kindl,** Wien/A

**Zusammenfassung**

Allen Verfahren und Komponenten für die Regelung der Liefermenge von Schraubenkompressoren sind sowohl technische als auch wirtschaftliche Einsatzgrenzen gesetzt. Dies gilt auch für Maßnahmen außerhalb der Kompressoranlage, etwa für den Zuschaltbetrieb von Kompressoren oder für Speicherbehälter. Die Techniker sind gefordert, durch neue Produktideen und Technologien bestehende Einsatzgrenzen zu sprengen. Bestimmend für den Einsatz von neuen Regelungskonzepten und neuen Produkten ist letztlich aber die Wirtschaftlichkeit.

Der Konkurrenzdruck forciert kurzfristige Überlegungen, wie die Minimierung von Investitionskosten und rasche Amortisation. Langfristig wirksame Konzepte, die Betriebs- und Servicekosten oder den Umweltschutz betreffen, treten in den Hintergrund. Die Verbilligung von Altbekanntem wird gegenüber der Einführung neuer, zukunftsweisender Produkte und Verfahren favorisiert. Allerdings lassen sich, wie nachfolgend beschrieben, beachtliche Fortschritte auch durch Weiterentwicklung von an sich bekannten Regelungsverfahren und Produktarten erzielen.

**Summary**

Application ranges of all methods and components for the capacity control of screw compressors are limited by either technical or commercial reasons. Limits also apply to systems outside of the screw compressor unit such as multi compressor installations or to the size of air receivers. It is a challenge to engineers to widen application ranges by invention of new products and utilisation of new technologies. However, most decisions are forced by strictly commercial reasons.

Competition favors short term concepts like low costs for investments and short pay back time. Long range concepts, like low operating costs or environmental protection are ranging in the background. Actions to minimize costs for existing product seem to dominate over development of new products and methods. However, a few examples demonstrate, that the efficiency and application range even of existing products can be improved considerably by new ideas.

## Konzepte und Komponenten zur Regelung von Schraubenkompressoren für Luft

**Regelungskonzepte:**

Bei dieser größten Gruppe der Schraubenkompressoren werden meist passive Regelverfahren eingesetzt, die auf eine bereits stattgefundene Verbrauchsänderung reagieren. Aktive, prozessgesteuerte Regelungen sind Großanlagen vorbehalten. Die heute bei Industriekompressoren verwendeten Mikroprozessor-Regelungen, die Druckänderungen und programmierte Vorgaben für eine Prognose verwenden, sind in ihrer Wirksamkeit von Umfeld, Verbrauchsstruktur und Wartungspersonal abhängig. Meist wird eine Kombination von Verfahren zur Liefermengenregelung eingesetzt:

| | |
|---|---|
| Stationäre Industriekompressoren: | • Ansaugung drosseln oder absperren,<br>• Druckentlastung im Leerlauf,<br>• Verbrauchsabhängige Leerlauf-Stopp-Programme |
| Fahranlagen/Baukompressoren: | • Ansaugung drosseln,<br>• Drehzahl des Dieselmotors regeln |

**Regelungskomponenten:**

Arten und Ausführungsformen der eingesetzten Regelungskomponenten sind vielfältig. Unterschiedliche Bedürfnisse von Kompressorherstellern und Verbrauchern mögen eine der Ursachen sein. Vielleicht sind aber auch die bestehenden Produkte technisch oder kostenmäßig unbefriedigend.

An einigen Produktbeispielen werden nachfolgend Fortschritte im Betriebsverhalten und Auswirkungen auf Anschaffungs- und Betriebskosten beschrieben. Die optimale Nutzung durch Wahl der Funktionen, Schnittstellen zu anderen Regeleinrichtungen, Installation und Integration, bleibt dem aktiven Zusammenwirken von Regelungsspezialist und Kompressorhersteller vorbehalten.

## Saugregelmodule zur wirtschaftlichen Regelung kleiner Industriekompressoren

Kleine Kompressoren werden in großer Stückzahl unter hohem Konkurrenzdruck produziert. Beim Kauf von Regelungskomponenten entscheiden geringe Anschaffungskosten, sichere Funktion, einfache Installation.
Optik, Kompaktheit, Durchflußleistung, Energiesparfunktionen, Servicefreundlichkeit sind willkommen, aber meist nicht entscheidend.
Moderne Fertigungstechnologien sind Voraussetzung für niedrige Kosten bei guter Qualität. Sie ermöglichen es, Steuer- und Regelungsfunktionen technisch und wirtschaftlich vorteilhaft in ein sogenanntes Saugregelmodul einzubeziehen.

## Ausführungsbeispiel: Normal offenes Saugregelmodul für Kleinkompressoren

Abb. 1 zeigt Ansicht und Funktionsschnittbild eines Saugregelmoduls für 2,2kW bis 11kW-Kompressoren. Obwohl als normal offenes Ventil ausgeführt, kann dieses Gerät bei kleinen Kompressoren mit Elektromotorantrieb eingesetzt werden. Zum Schließen des Ventils ist nur etwa 1 bar Leerlaufdruck im Ölabscheider erforderlich. Die Ansteuerung des Moduls erfolgt über ein Magnetventil, bei Anlagen mit Verbrennungsmotor über pneumatische Schalter.

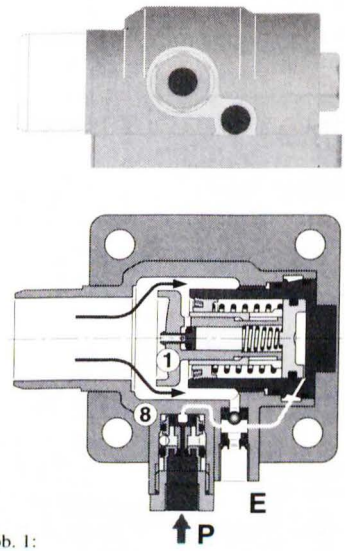



Abb. 1:

Mengenregelungs- und Entlüftungsfunktionen sind auf kleinstem Raum wirtschaftlich und platzsparend in einem Druckgußgehäuse untergebracht. Die Innenteile von Regel- und Entlüftungsventil bestehen aus öl-, temperatur- und alterungsbeständigem Kunststoff. Sie sind auch als komplette Funktionseinheit in ein Schraubenstufengehäuse integrierbar. Dreh-Schnappverschlüsse ermöglichen es, die Bauteile mit wenigen Handgriffen zusammenzusetzen oder zu trennen.

Durch nutzungsorientierte Gehäusegestaltung und flexible Kombination von Funktionsbauteilen wird eine kundengerechte Ausführung eines Regelungsmoduls erreicht:

Produktionstechniken

Spritz- und Preßtechnik, Kunststofftechnik, CNC-Bearbeitung, Oberflächenveredelung
- niedrige Stückkosten
- gleichbleibend gute Qualität
- kompakt, funktionsgerecht
- montage- und servicefreundlich

Funktionsmix

mehrere unterschiedliche Funktionen in einem Gehäuse
- kompakt und dicht
- billiger als Summe der einzelnen Komponenten
- geringer Aufwand für Leitungen, Verschraubungen

Integrationsfähigkeit

Design als Bestandteil des Kompressorkonzepts
- systemkonforme Funktionsschnittstellen
- Optik nach Vorstellungen des Kompressorherstellers

## Ausführungsbeispiel: Normal geschlossenes Saugregelmodul

Abb. 2 und 3 zeigen Schaltung und Funktionsschnittbilder eines Saugregelmoduls, das alle Komponenten für die Regelung des Kompressors bei Start und Stopp, Last und Leerlauf enthält. Es gibt nur eine einzige Zuleitung für Luft. Das angeflanschte kleine Magnetventil erhält das Steuersignal vom Druckschalter (DS) bzw.von der elektronischen Regelung.

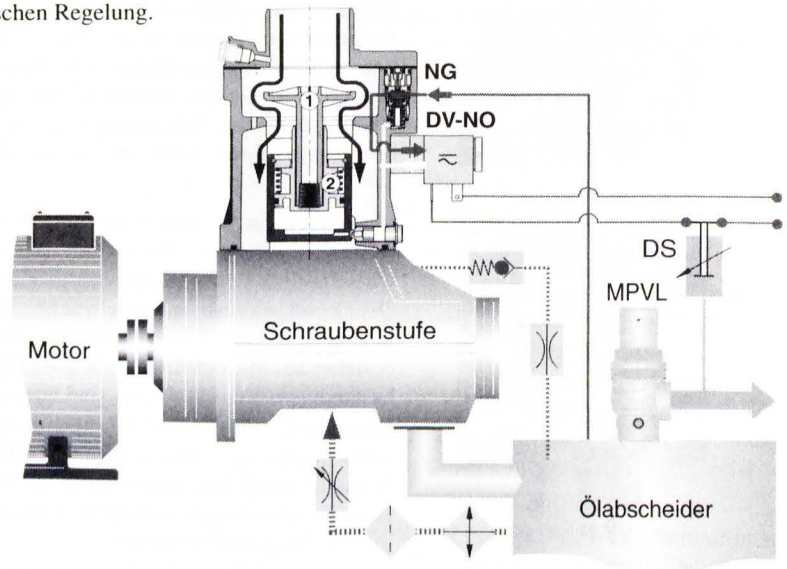



Abb. 2: Saugregelmodul für Industriekompressoren bis 22kW Lastbetrieb (Installationsschema vereinfacht)

### Regel- und Rückschlagventil

Der Ventilteller (1) des normal geschlossenen Doppelsitzventils liegt bei Start und Leerlauf am unteren Sitz auf. Zum Aufbau des Leerlaufdruckes im Ölabscheider wird Luft über eine Leerlaufdüse (links am Sitz) angesaugt.

Während des Lastbetriebs (Abb. 2) befindet sich der Ventilteller (1) in einer Mittelstellung und wird von der Luft umströmt. Beim Abstellen (Abb. 3) wird der Ventilteller durch Federkraft (6) gegen den oberen Dichtsitz gedrückt, bevor Öl-Luftgemisch aus der Schraubenstufe in die Ansaugleitung gelangt (Rückschlagfunktion).

### Leerlaufregelungs- und Entlüftungsmodul

Eine Besonderheit dieses Ansaugregelgeräts ist das Modul zum Entlüften der Anlage beim Abstellen und zum Regeln des Leerlaufdrucks im Ölabscheider. Die Kunststoffspritztechnik ermöglicht hier eine kompakte, kostengünstige Herstellung. Funktionen, Zuluft, Steuer- und Abluftleitungen sind hier zusammengelegt.

### Entlüften beim Abstellen des Kompressors (Abb. 3)

Das normal geschlossene Entlüftungsventil NG schaltet vollkommen unabhängig von der elektrischen und pneumatischen Kompressorregelung. Vakuum im Saugraum der Schraubenstufe schließt das Ventil, Überdruck im Saugraum öffnet es. Die Kompressoranlage wird immer vollständig entlastet, wenn der Kompressor stoppt; gleichgültig, ob der Stopp aus Last oder Leerlauf erfolgt, ob manueller Notstopp, Stromausfall oder ein Anlagendefekt die Ursache ist.

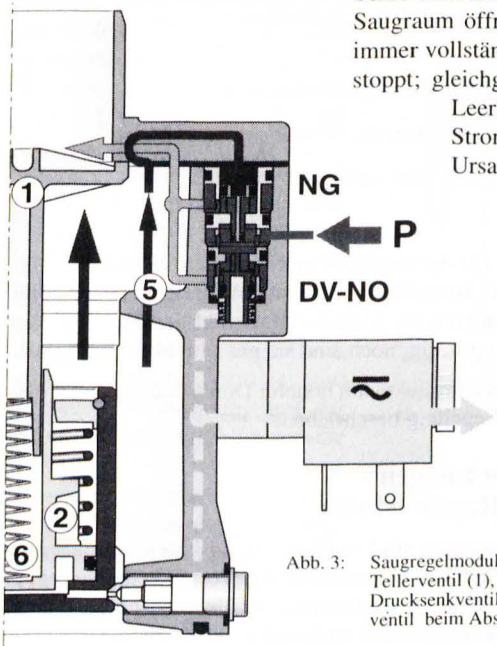



Abb. 3: Saugregelmodul für Industriekompressoren
Tellerventil (1), Entlüftungsventil (NG), Drucksenkventil (DV-NO) und Magnetventil beim Abstellen des Kompressors

### Ölabscheiderdruck im Leerlauf regeln (Abb. 4)

Während der Startphase hält die Feder im Drucksenkventil DV-NO den Ölabscheider auf Leerlaufdruck. Während des Lastbetriebs ist das Drucksenkventil DV-NO durch Signaldruck vom Magnetventil geschlossen. Beim Schalten auf Leerlauf wird der Druck im Ölabscheider rasch auf den Leerlaufdruck abgesenkt und durch Federkraft geregelt.

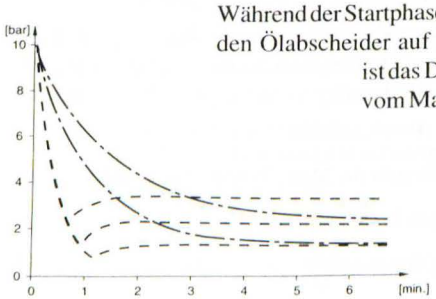



Abb. 4: Leerlaufdruckregelung
– – – – mit DV-NO (Federn für 3 Druckniveaus)
—·—·— konventionell (2 Düsen, mit denen innerhalb von 10 Minuten das gleiche Druckniveau erreicht werden kann)

**Vorteile bei der Wirtschaftlichkeit:**

- Kompakt und preisgünstig: externe Entlüftungskomponenten, Leitungen, Montagekosten werden gespart
- Der Ölabscheiderdruck wird rasch auf Leerlaufdruckniveau gesenkt (Abb. 4), kurze Leerlaufzeiten werden wirtschaftlich: Mehr als 5000 kWh/Jahr Ersparnis bei einer 22kW-Anlage im Zweischichtbetrieb (10 Leerlaufzyklen/h)!

**Vorteile bei der Betriebssicherheit:**

- Der Druck im Ölabscheider wird bei Start und im Leerlauf durch eine Regelfeder konstant gehalten
- Die Anlage wird beim Abstellen der Kompressoranlage immer sicher und vollständig entlüftet
- Die Anzahl der möglichen undichten Stellen wird verringert

**Zusammenfassung**

Tellerventile sind die am häufigsten zur Ansaugregelung eingesetzte Ventilart. Für kleine Durchflußmengen sind sie kompakt und kostengünstig herstellbar, da für Regel- und Rückschlagventil nur ein einziger Bauteil erforderlich ist. Sie sind aber weder von der Durchflußleistung her günstig, noch sind sie gut stufenlos zu regeln.

In den folgenden Kapiteln werden neue Produkte mit höherer Durchflußleistung sowie für genauere und stabile stufenlose Regelung beschrieben.

## Stufenlose Regelung für Fahranlagen - genau und stabil mit neuen Regelmodulen

Stufenlos regelbare Industriekompressoren sind in Deutschland kaum gefragt, zum Unterschied von anderen Ländern, in denen Verbraucher den Vorteilen des stufenlos geregelten Kompressors einen höheren Stellenwert einräumen, als dem Energiesparen. Fahranlagen werden allerdings fast ausschließlich stufenlos geregelt, da

- das Verbrauchervolumen meistens aus nur einigen Metern Schlauchleitung besteht,
- die Druckluft jederzeit mit dem vollen Betriebsdruck verfügbar sein muß,
- die stufenlose Drehzahlregelung des Dieselmotors billig und treibstoffsparend ist.

Vielfach werden auch hier Tellerventile eingesetzt. Die Qualität der Regelung läßt dabei oft zu wünschen übrig. Kaltstartprobleme und Druckschwingungen sind die Folge. Die häufigsten Ursachen für Schwierigkeiten mit Fahranlagenregelungen gehen zurück auf:

- Ventile mit ungünstiger Durchflußkennlinie (Durchfluß über Ventilöffnung)
- Ventil-Einheitsgrößen, gewählt nach Kompressorkosten, nicht nach Regelbarkeit
- Ventilwahl nur für Vollastdrehzahl; beim Abregeln der Motordrehzahl sinkt jedoch die angesaugte Luftmenge
- Antriebsmotor ist zu schwach, hat ungünstigen Drehmomentverlauf, reagiert mit beträchtlicher Verzögerung
- Zylinder der Drehzahlregelung ist ungünstig dimensioniert oder installiert, nicht mit Ansaugregelung abgestimmt
- Reglersignal ist ungenau, sprunghaft, progressiv ansteigend
- Leitungsbedingte Totzeiten, Signaldruckstöße, Steuerluftmangel durch Drosselstellen

### Kennlinienformen

Die Durchflußkennlinien von Ventilen, Klappen oder Schiebern sind an sich ungünstig für eine stufenlose Regelung. Die kompressorspezifische Betriebskennlinie zeigt (Beispiel siehe Abb. 5), daß auch bei richtiger Ventilwahl bereits ein relativ geringer Öffnungsgrad bzw. Hub für 90% der Liefermenge genügt. Soll der Ventilverlust bei Vollast gering sein, so muß eine Nennweite gewählt werden, die für eine genaue und stabile stufenlose Regelung schon zu groß ist. Überdimensionierte Ventile und schlechte Abstimmung mit der Motorregelung verschlimmern die Situation.

Ansaugregelungen mit Drosselklappen sind bei der Durchflußcharakteristik gegenüber Tellerventilen im Vorteil. Dies beruht weniger auf dem Kennlinienverlauf bei geringer Öffnung, als auf dem höheren Durchflußwert der voll geöffneten Klappe. Bei gleicher Kompressorleistung und gleichem Ventilverlust kann die Klappe erheblich kleiner gewählt werden als ein Tellerventil. Der Verlauf der Kurve "Durchfluß über Öffnungsgrad" ist dadurch für Klappen günstiger.

Tellerventile für kleine Ansaugmengen hingegen sind durch die Integration der Rückschlagventilfunktion kostengünstiger als Klappen-Saugregelventile mit eigenem Rückschlagventil.

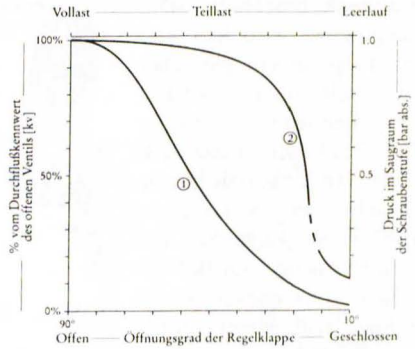
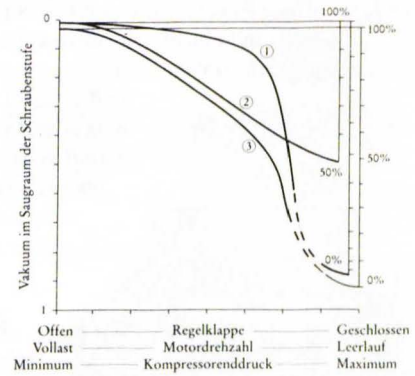



Abb. 5: Ventilkennlinie (1) und Betriebskennlinie (2) (Kompressor: 4m³/min, geregelt mit Klappe 50mm Durchmesser)




① Liefermenge nur über Ansaugklappe geregelt
② Liefermenge nur über Motordrehzahl geregelt
③ Liefermenge über Ansaugklappe und Motordrehzahl geregelt

Abb. 6: Betriebskennlinien einer Fahranlage mit Liefermenge 4m³/min (Meßwerte)

### Regelungsbeispiel

Abb. 7 zeigt eine stufenlose Regelung eines fahrbaren Schraubenkompressors. Die Ansaugmenge wird hier von einem Proportionalregler über eine Drosselklappe geregelt. Die Betriebskennlinie entspricht Abb. 6, ihre Form ist aber auch für Tellerventile typisch. Für die Drehzahlregelung ist ein eigener Verstellzylinder vorgesehen. Bei einer Liefermenge von 10% bis 30% der Vollastmenge ist die Stabilität der Regelung gering.

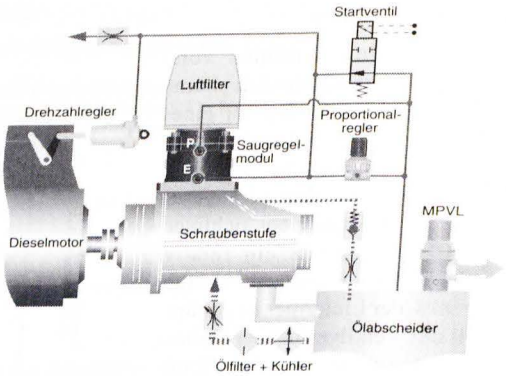



Abb. 7: Fahranlage (vereinfachtes Installationsschema)

Dies kann auch durch gute Abstimmung der einzelnen Regelungskomponenten oft nicht ganz vermieden werden. Da Fahranlagen in diesem Liefermengenbereich selten verwendet werden, wird hier geringe Regelungsstabilität zugunsten einer geringeren Regelabweichung in Kauf genommen.

## Ausführungsbeispiel: Saugregelmodul für stabile Regelung

Das normal offene Regelungsmodul Abb. 8 für Fahranlagen mit Liefermengen von 2 bis 7 m³/min ist mit einem neu entwickelten Stellantrieb für leichten Kaltstart und stabile Regelung, einem Ventil zum automatischen Entlüften der Anlage beim Abstellen, und einem Leerlauf-Bypaßventil ausgerüstet. Beim Abstellen und bei Stillstand des Kompressors wird der Ventilteller durch die Rückschlagventilfeder an den oberen Sitz gedrückt. Beim Start öffnet das Ventil voll. Beim Lastbetrieb erhält der Stellantrieb über den Anschluß E ein proportionales Regelsignal. Durch progressives Öffnen des Regelventils wird sowohl Stabilität bei Teillast, als auch ein geringer Ventilverlust bei Vollast erreicht.

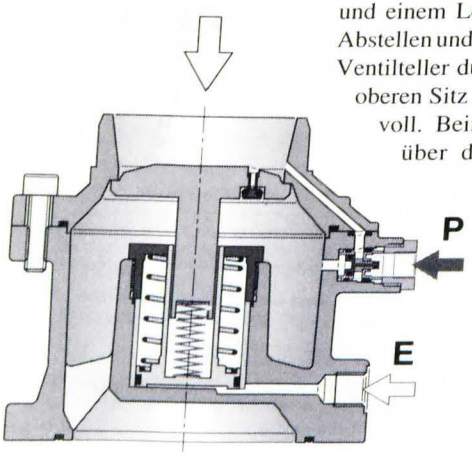



Abb. 8: Regelungsmodul für Fahranlagen mit Liefermenge 2 bis 7 m³/min

Das Regelverhalten dieses Saugregelmoduls kommt an die ideale Betriebskennlinie Abb. 5 heran. Dies wird für stabile Regelung, geringe Enddruckabweichung und für einen breiteren Anwendungsbereich genutzt.

## Saugregelventile für große Kompressoren: Stille Reserven wirtschaftlich genutzt

Von Saugregelventilen für Kompressoren mit Antriebsleistungen ab etwa 55kW wird hohe Durchflußleistung bei kompakter Ausführung gefordert. Saugregelventile mit Klappen (Abb. 9), wie sie seit Jahren verwendet werden, erfüllen weitgehend diese Anforderungen.

Werden aber die guten Durchflußleistungen solcher Ventile von den Kompressorherstellern auch voll genutzt?
Welche Ansaugdruckverluste werden fälschlicherweise dem Ventil zugeordnet?
Welche Fehler entstehen durch Meßverfahren und -geräte?
Welche "stillen" Leistungsreserven stecken aber auch noch in den Ventilen selbst?
Wie können sie nutzbar gemacht werden?
Diese Fragen sollten durch die Ergebnisse eines Forschungsprojekts beantwortet werden, bei dem die Ventile an standardisierten Meßstrecken, an Testkompressoren und an Schraubenkompressoren bei Kompressorerzeugern gemessen wurden.

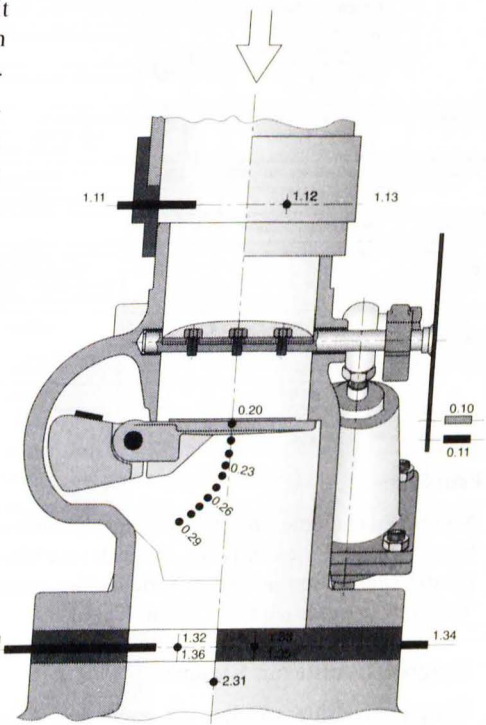



Abb. 9: Saugregelventil mit Meßstellen

### Forschungsprojekt "Saugregelventil für große Schraubenkompressoren"

Untersucht wurden die Leistungsunterschiede zwischen verschiedenen Bauarten und -versionen von Saugregelventilen sowie Ergebnisabweichungen durch unterschiedliche Meßverfahren und -geräte.

Für vergleichbare und damit bewertbare Ergebnisse war der Ansaugdruck auf tausendstel bar genau zu messen, der Einflußgrad von turbulenten Strömungen auf den Ventilverlust festzustellen, Enddruck, Liefermenge und Antriebsleistung genauestmöglich zu erfassen. Zur Speicherung und Auswertung der beträchtlichen Datenmengen (Tabelle) wurden schnelle Notebook-PC´s verwendet. Dafür wurden eigene Progamme entwickelt.

## Meßdatenerfassung

| Erfaßte Meßwerte | Me3programme für | Meß-stellen | Einheit | Abtastfrequenz | Meßwert-aufnehmer | Genauig-keit | Meß-zyklus | Datenmenge pro Zyklus |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Druck | Ventilverluste bei stationären Kompressoranlagen | 14 | bar | stationäre Messungen 5Hz dynamische Messungen 40Hz | mechanische Ventile | 0,1% | 4 sek | 0,1 MB |
| | Stufenlose Regelung stationärer Kompressoranlagen | 3 | bar | stationäre Messungen 5Hz dynamische Messungen 40Hz | mechanische Ventile | 0,1% | 240 sek | 0,3 MB |
| | Leerlaufdruckregelung stätionärer Kompressoranlagen | 3 | bar | dynamische Messungen 40Hz | elektronische Druckaufnehmer | 1% | 400 sek | 0,5 MB |
| | stufenlose Regelung von Fahranlagen | 3 | bar | dynamische Messungen 40Hz | elektronische Druckaufnehmer | 1% | 240 sek | 0,3 MB |
| Temperatur | Liefermengen- und Leistungsmessungen | 6 | °C | identisch mit der jeweiligen Abtastfrequenz der Druckaufnehmer | Thermoelemente | 1% | *) | **) |
| Drehzahl | Hauptläufer der Schraubenstufe | 1 | $min^{-1}$ | 1/Umdrehung | optische Sensoren | | *) | **) |
| | Dieselmotor | 1 | $min^{-1}$ | 1/Umdrehung | optische Sensoren | | *) | **) |
| Liefermenge | alle Leistungsmessungen | 1 | $m^3$/min | | Flowmeter | 0,5% | *) | **) |
| Öffnung Regelventil | alle Leistungsmessungen | 1 | Winkel-grad | identisch mit der jeweiligen Abtastfrequenz der Druckaufnehmer bzw. der Rückschlagventilsensoren | Potentiometer | 1% | *) | **) |
| Öffnung Rückschlagventil | Einfluß der Last/Leerlaufregelung | 10 | Winkel-grad | 6000 Hz | Hallsensoren | 0,5% | 8 sek | 1,2 MB |
| Elektromotor | Leistungsmessung | 6 | kW | 256 Hz | Meßwandler | 1% | 4 sek | 0,6 MB |
| | Energiemessung | 2 | kWh | 2500 Hz | Meßwandler | 1% | 400 sek | 6,0 MB |

*) Dauer entspricht der jeweiligen Zykluslänge der Druckmessungen
**) Datenmenge (Megabyte) abhängig von der Meßzyklusdauer

## Prüflinge

Als Prüflinge dienten Klappensaugregelventile und Tellerventile, sowohl bestehende Versionen aus Serienfertigung, als auch neue Versionen. Abb. 9 zeigt das Anschlußbild für die Meßstellen an einem serienmäßig gefertigten Ventil. Abb. 12 zeigt ein für Testzwecke modifiziertes 120mm-Ventil.

## Saugregelventile mit Klappen

Saugregelventile werden oft nach den Anschlußmaßen des Saugflansches der Schraubenstufe ausgesucht. Leistungsfähige Ventile werden daher oft zu groß und zu teuer gewählt. Druckverluste werden oft ungenau gemessen bzw. sind Summenwerte aus Einströmverlusten sowie aus Druckabfällen im Luftfilter, in der Ansaugleitung, und im Ventil.

Bei Saugregelventilen mit Klappen, Abb. 9, haben die eigentlichen Ventilverluste nur einen geringen Anteil am gesamten Ansaugdruckverlust. Messungen, Abb. 10, mit handelsüblichen Luftfiltern und Ansaugschläuchen zeigten, wo wesentlich größere Druckverluste auftreten:

- beim Beschleunigen des Luftstroms — Einströmen in Luftfilter bzw. Zuleitung
- im Luftfilter und in der Zuleitung zum Ventil — Filterpatrone, Ansaugluftschlauch/-rohr
- am Ventileingang — formbedingter Übergangsverlust
- im Saugraum der Schraubenstufe — turbulente Strömung vom Ventil zu den Rotoren

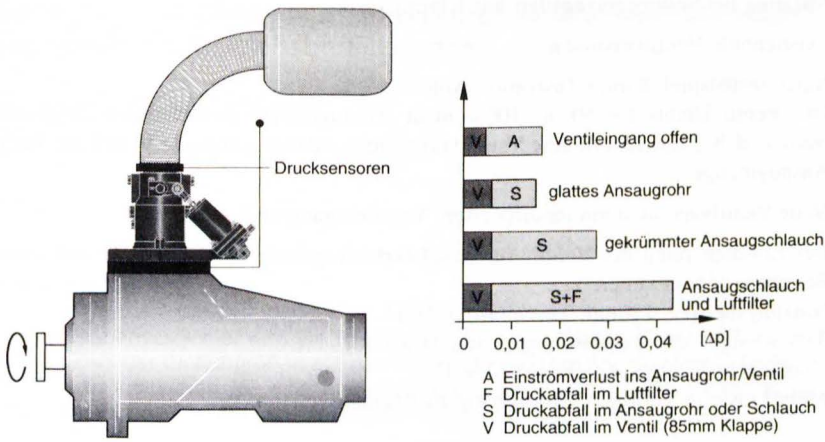



Abb. 10: Meßwertanalyse aus 10 Drucksensoren an einem 75kW Kompressor (11m³/min, 10bar)

Saugregelventile mit Klappen könnten durch verbesserte Zuleitungen wesentlich wirtschaftlicher genutzt werden. Die Leistungsfähigkeit dieser Ventile selbst kann ebenfalls noch gesteigert werden, etwa durch Modifizierung des Ventileingangs und -ausgangs.

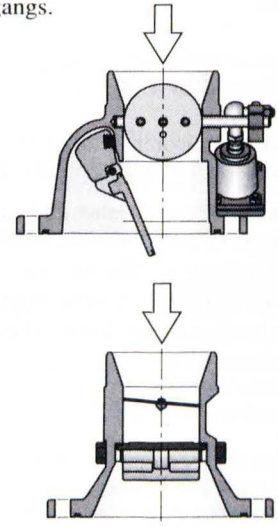


Abb. 11: Saugregelventil mit 85mm-Klappe modifiziert für erweiterten Einsatzbereich

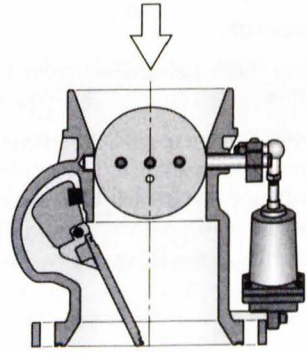


Abb. 12: Saugregelventil mit 120mm-Klappe modifiziert für erweiterten Einsatzbereich

### Nutzung bei Saugregelventilen mit Klappen

Existierende Ventilversionen:

Nutzungsbeispiel: 85mm-Testventil, Abb. 9:
Das Ventil könnte für 50 bis 100% mehr Ansaugmenge wirtschaftlich eingesetzt werden: d. h. kleinere, billigere Ventile für gleiche, oder gleich große Ventile für mehr Ansaugmenge.

Neue Ventilversionen mit modifiziertem Ventileingang und -ausgang:

Der Einsatzbereich des Ventils für Last/Leerlaufregelung und für stabile stufenlose Regelung wird erweitert.
Nutzungsbeispiel 120mm-Testventil, Abb. 11:
33% weniger Ventilverlust als das Standardventil.
Nutzungsbeispiel 85 mm-Ventil Abb. 12:
Mehr Leistung, geringere Einbauhöhe als Standardversion.

### Nutzung bei Saugregelventilen mit Ventilteller

Tellerventile müssen größer gebaut werden als Regelventile mit Klappen, damit sie den gleichen kV-Wert erreichen. Für gute Umströmung von Ventilteller und Stellantrieb ist genügend Raum vorzusehen, bei Durchgangsventilen wie auch bei Eckventilen.

Änderungen in der Zuleitung zum Ventil führten bei den gemessenen Tellerventilen nur zu einer Verringerung des Ansaugverlustes von 10 bis 25%. Dies wurde auf den höheren Strömungswiderstand im Ventilinneren zurückgeführt.

## Schlusswort

Ein gutes Preis-Leistungsverhältnis bei Schraubenkompressoren beruht zu einem wesentlichen Teil auf hochentwickelte und richtig eingesetzte Ventile und Regler.

Die Beispiele zeigten, daß sich bei Regelungskomponenten noch beträchtliche Fortschritte hinsichtlich Kompaktheit, Genauigkeit und Wirkungsgrad erzielen lassen. Auch die Anschaffungs- und Betriebskosten können durch neue Produkte oder durch wirtschaftlich eingesetzte, neue Produktversionen wesentlich reduziert werden. Vorraussetzung dafür sind neue Ideen sowie entsprechende Möglichkeiten bei Forschung, Entwicklung und Fertigung.