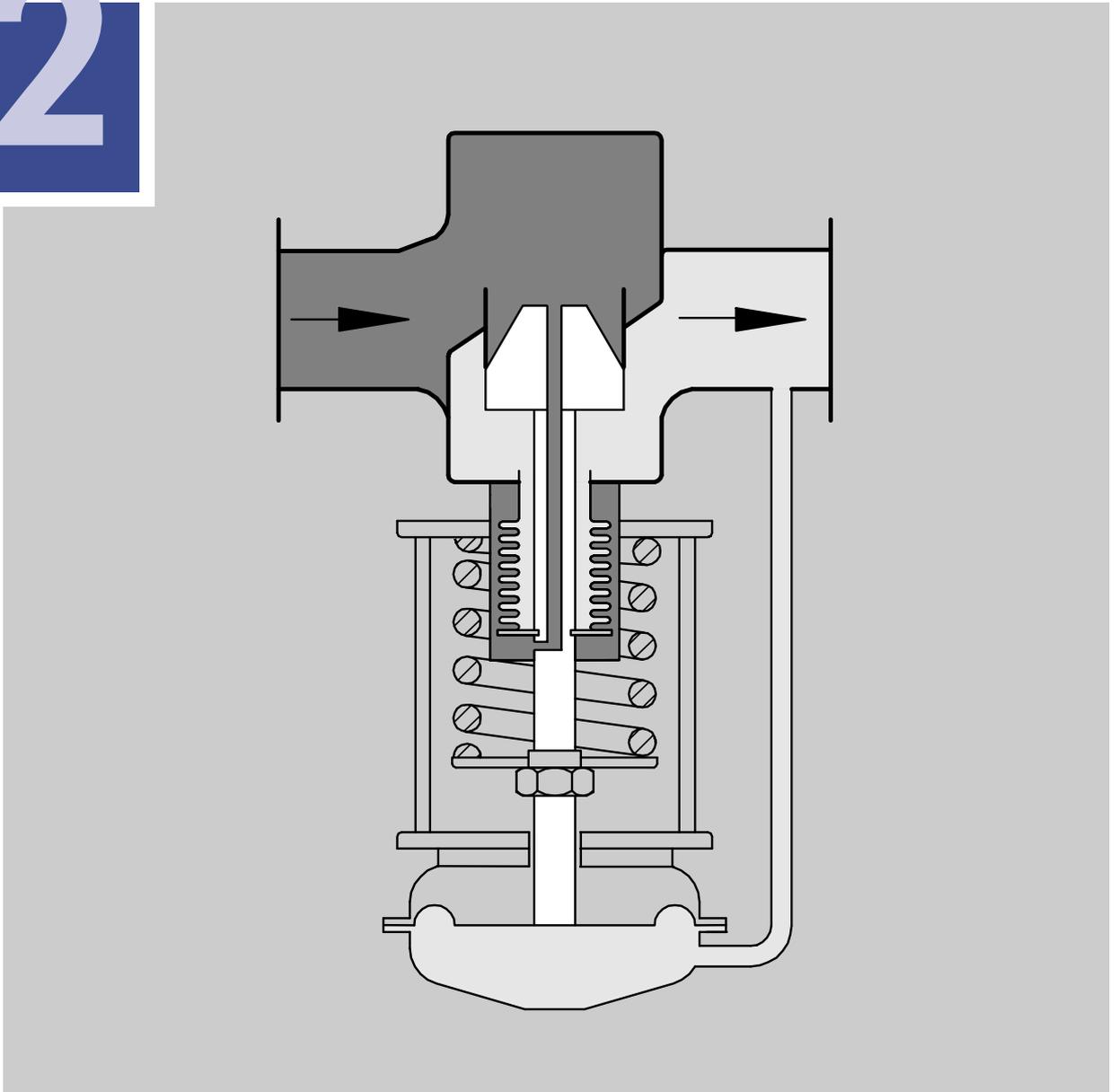


Einführung in die ROH-Technik



Teil 2 Regler ohne Hilfsenergie





Technische Informationen

Teil 1: Grundlagen

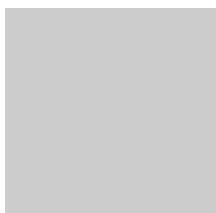
Teil 2: Regler ohne Hilfsenergie

Teil 3: Stellventile

Teil 4: Kommunikation

Teil 5: Gebäudeautomation

Teil 6: Prozessautomation



Bitte richten Sie Rückfragen und Anregungen an:

SAMSON AG
V74 / Schulung
Weismüllerstraße 3
60314 Frankfurt

Telefon (069) 4 00 94 67
Telefax (069) 4 00 97 16
E-Mail: schulung@samson.de
Internet: <http://www.samson.de>

Einführung in die ROH-Technik

Einleitung	5
Einsatzbereiche.	7
Funktionsprinzip	8
Arbeitspunkteinstellung	12
Druckentlastung	14
Regeleigenschaften	16
Anhang A1: Ergänzende Literatur	20

Einleitung

Die Regelung einer Prozessgröße erfordert drei wesentliche Funktionseinheiten – die Messeinrichtung, den Regler und eine Stellanrichtung – sowie das Know-how, die zugehörigen Elemente richtig einzusetzen. Zumeist werden diese Regelkreiskomponenten als eigenständige Geräte ausgeführt, die mit Hilfsenergie versorgt werden müssen (Bild 1; siehe auch Lit. [1] und [2]).

Regeln mit...

Für einfache Druck-, Durchfluss-, Differenzdruck- oder Temperaturregelungen ist solch eine Instrumentierung häufig zu aufwendig und aus betriebswirtschaftlicher Sicht zu kostspielig. Hier bietet sich der Einsatz von Reglern ohne Hilfsenergie an, die häufig als ROH bezeichnet werden.

Regler ohne Hilfsenergie übernehmen alle zur Regelung erforderlichen Aufgaben. Sie integrieren den Messaufnehmer, den Regler und auch das Stellglied in ein System (Bild 2). Die Zusammenschaltung dieser Komponenten führt zu sehr robusten und preiswerten Geräten.

**...oder ohne
Hilfsenergie**

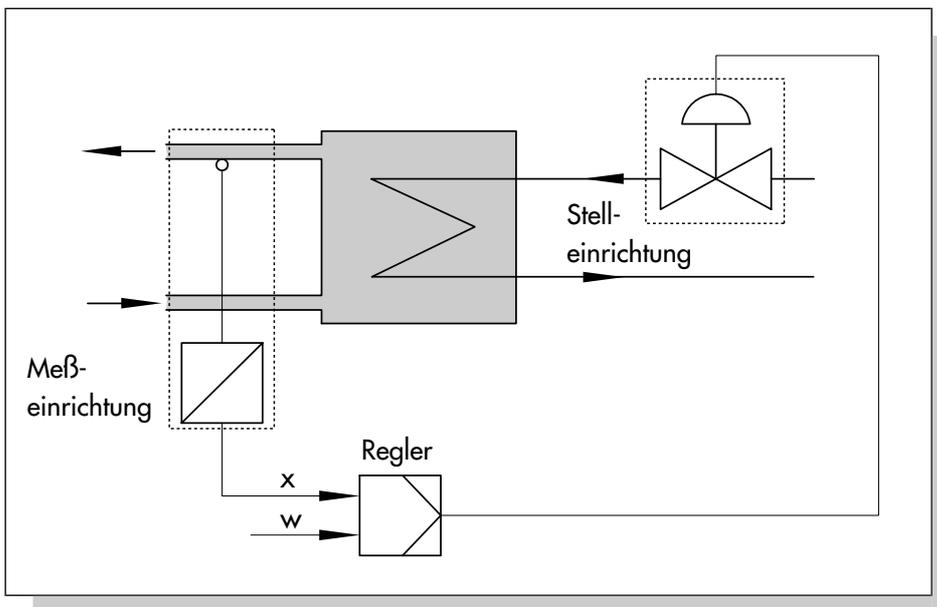


Bild 1: Konventionell instrumentierter Regelkreis

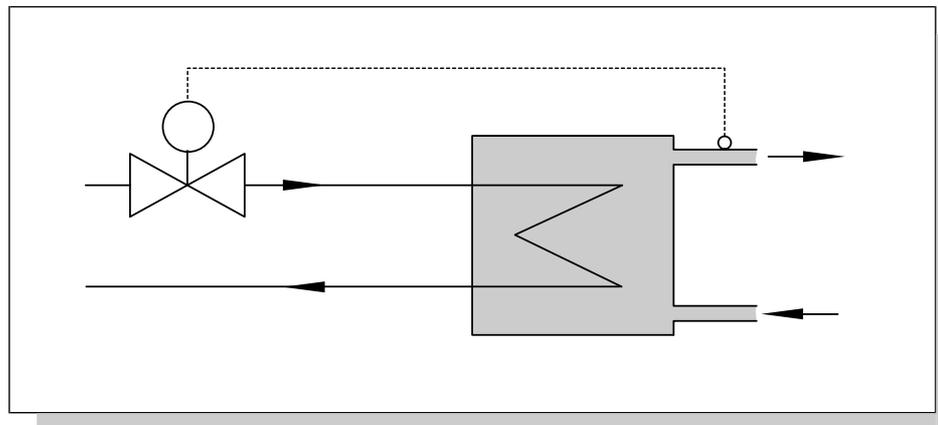


Bild 2: Regelkreis mit einem Regler ohne Hilfsenergie

Da ein Regler ohne Hilfsenergie – wie seine Bezeichnung erkennen lässt – keine externe Hilfsenergieversorgung benötigt, fallen im Vergleich zur konventionellen Instrumentierung wesentlich geringere Installations- und Betriebskosten an.

Einsatzbereiche

Regler ohne Hilfsenergie sind für Temperatur-, Druck-, Volumenstrom- und Differenzdruckregelungen verfügbar. Sie eignen sich immer dann, wenn geringe Abweichungen der Regelgröße vom eingestellten Sollwert akzeptabel sind und wenn der Sollwert über lange Zeit – oft während der gesamten Nutzungsdauer – konstant bleibt.

**konstanter Sollwert –
Festwertregelung**

Besonders in solchen Umgebungen, in denen eine zusätzliche Hilfsenergieversorgung hohe Investitionen erfordern würde, bietet sich der Einsatz von hilfenergieunabhängigen Reglern an. So werden in den weit ausgedehnten Netzen der Gas-, Wasser- und Wärmeversorger sehr häufig ROH eingesetzt.

einfache Installation

Da Regler ohne Hilfsenergie ihre Schalt- oder Regelaufgaben auch und gerade bei einem Energieausfall sehr zuverlässig erfüllen, empfehlen sie sich auch für Sicherheitseinrichtungen. Den Vorschriften entsprechende typ- oder bauteilgeprüfte Geräte decken viele Anwendungsbereiche ab und bieten dabei im Vergleich zu anderen Lösungsmöglichkeiten ein hervorragendes Preis-Leistungsverhältnis.

**auch für Sicherheits-
einrichtungen**

Funktionsprinzip

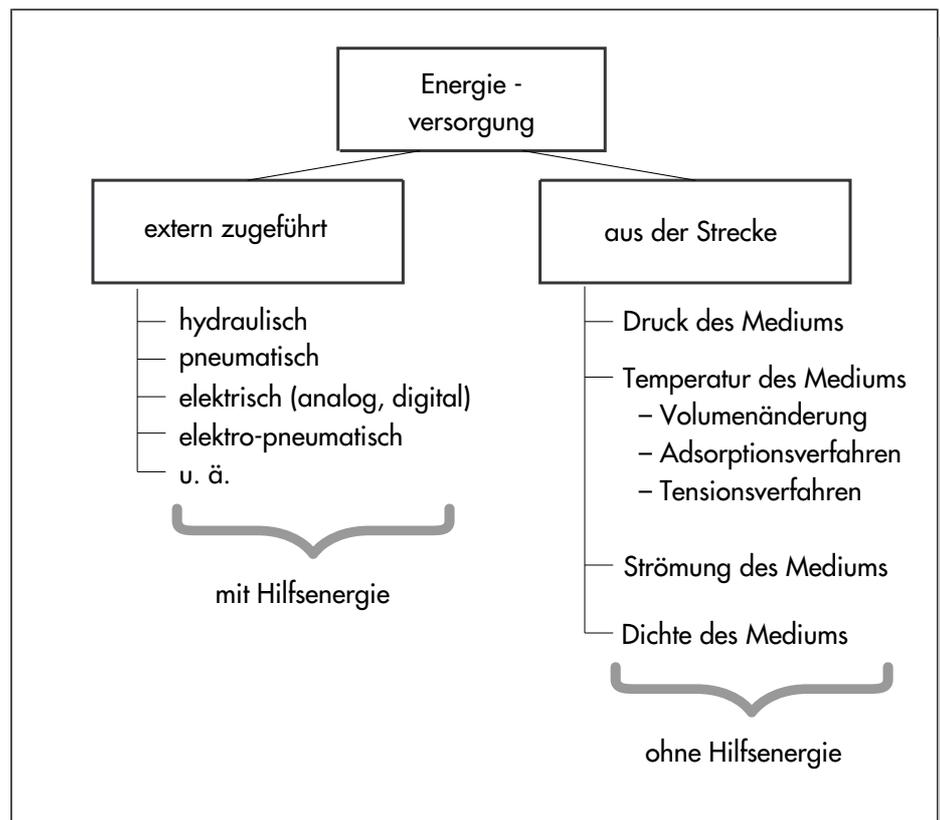


Bild 3: Energieversorgung von Regeleinrichtungen

das Medium liefert die Energie

Um Arbeit verrichten zu können, ist stets Energie erforderlich. Beim ROH wird diese Energie dem Medium entnommen, dessen Zustand geregelt werden soll.

Mit Hilfe des Mediumdruckes oder unter Ausnutzung thermischer Stoffeigenschaften (siehe Bild 3) baut die Messeinrichtung des ROH einen Stelldruck auf, der an einer Antriebsmembran oder einem sogenannten Arbeitskörper die erforderlichen Stellkräfte erzeugt.

Beispiel: Druckminderer

Beim Druckregler wird die Rollmembran des Antriebes direkt oder unter Umständen über Ausgleichsgefäße mit dem Mediumdruck p_2 beaufschlagt.

Dadurch entsteht proportional zur Membranfläche A_M die Kraft F_M , der sowohl die Kraft einer Feder F_f als auch die strömungsbedingte Kegelkraft F_K entgegenwirkt (Bild 4):

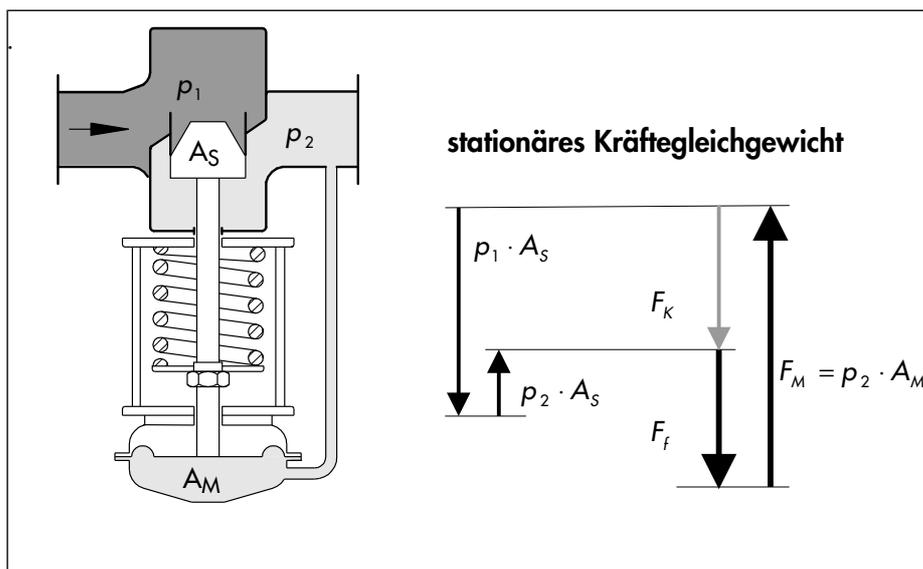
$$F_M = p_2 \cdot A_M = F_K + F_f$$

F_K entsteht aufgrund des Druckunterschiedes $\Delta p = p_1 - p_2$, der an der Kegeloberfläche vor- und nachdruckseitig ansteht:

$$F_K = \Delta p \cdot A_S \quad A_S: \text{Sitzquerschnitt}$$

Die Feder erzeugt proportional zum Federweg x Rückstellkräfte und ermöglicht durch eine Vorspannung die Einstellung des Sollwertes bzw. Arbeitspunktes:

$$F_f = c_f \cdot x \quad c_f: \text{Federkonstante}$$



A_S : Sitzquerschnitt
 F_K : Kraft am Kegel
 F_f : Federkraft
 F_M : Kraft an der Membran

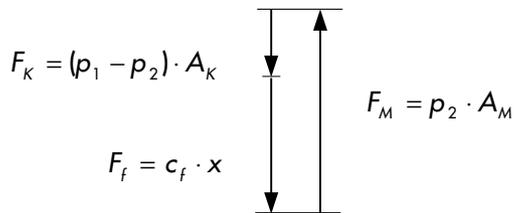
Bild 4: Kräftebilanz beim Druckminderer

Ausgehend vom Gleichgewichtszustand in Bild 4 führt jede Druckänderung zu einer Veränderung der Kräftebilanz und damit zu Hubverstellungen.

Dies lässt sich anhand des Regelzyklus im Bild 5 (nächste Seite) anschaulich darstellen:

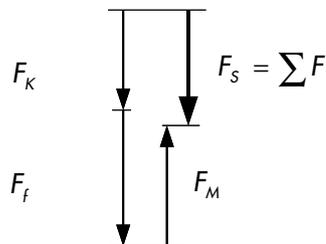
- Regelzyklus**
- ▶ Im Gleichgewichtszustand des Arbeitspunktes kompensiert die Membrankraft F_M die Federkraft F_f und die am Kegel angreifende Kraft F_K (Zustand 1).
 - ▶ Mit steigendem Verbrauch erhöht sich der Druckabfall über dem Ventil, so dass der Nachdruck p_2 abnimmt (Zustand 2).
 - ▶ Gegen den sinkenden Membrandruck drückt die Feder das Ventil soweit auf, bis sich bei stärker geöffnetem Ventil wiederum ein Kräftegleichgewicht einstellt (Zustand 3).
 - ▶ In der neuen Ventilstellung (Zustand 4) ist die Federkraft und auch der zu regelnde Druck p_2 geringer. Es verbleibt eine Regelabweichung, deren Betrag vom Proportionalbeiwert des Reglers abhängt.

1. Kräftegleichgewicht im Arbeitspunkt



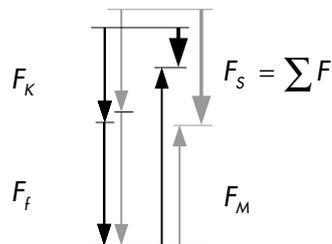
- ▶ Nachdruck p_2 ist konstant
- ▶ Ventil bleibt im Beharrungszustand

2. Verbrauch steigt (Störgröße)



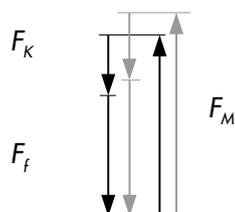
- ▶ Nachdruck p_2 sinkt
- ▶ Membrankraft F_M wird kleiner und F_K größer
- ▶ Resultat: Stellkraft F_S entsteht
- ▶ Ventil öffnet

3. Ventil öffnet



- ▶ Feder entspannt sich: Federkraft F_f wird kleiner
- ▶ p_2 steigt: F_M nimmt zu, während F_K abnimmt
- ▶ Resultat: Stellkraft F_S geht zurück
- ▶ Annäherung an einen neuen Gleichgewichtszustand

4. Gleichgewicht bei veränderter Ventilstellung



- Veränderung gegenüber Zustand 1:
- ▶ größerer Durchfluss: Ventil weiter geöffnet
 - ▶ Feder weiter entspannt $\Rightarrow p_2$ kleiner als am Arbeitspunkt
 - ▶ Resultat: bleibende Regelabweichung

Bild 5: Regelzyklus beim ROH-Druckminderer

Arbeitspunkteinstellung am Beispiel eines Druckminderers

Der Arbeitspunkt des Reglers wird über die Vorspannung der Feder eingestellt. Die Darstellung in Bild 6 zeigt die Federkräfte in den Hubstellungen H_{zu} , H_x und H_{auf} , einschließlich der daraus resultierenden Federkennlinie. Das Vorspannen der Feder bewirkt eine Parallelverschiebung der Federkennlinie, so dass bei der Hubstellung H_{auf} bereits die Vorspannung $F_{VSP} = F_{auf}$ wirkt.

Parallelverschiebung der Federkennlinie

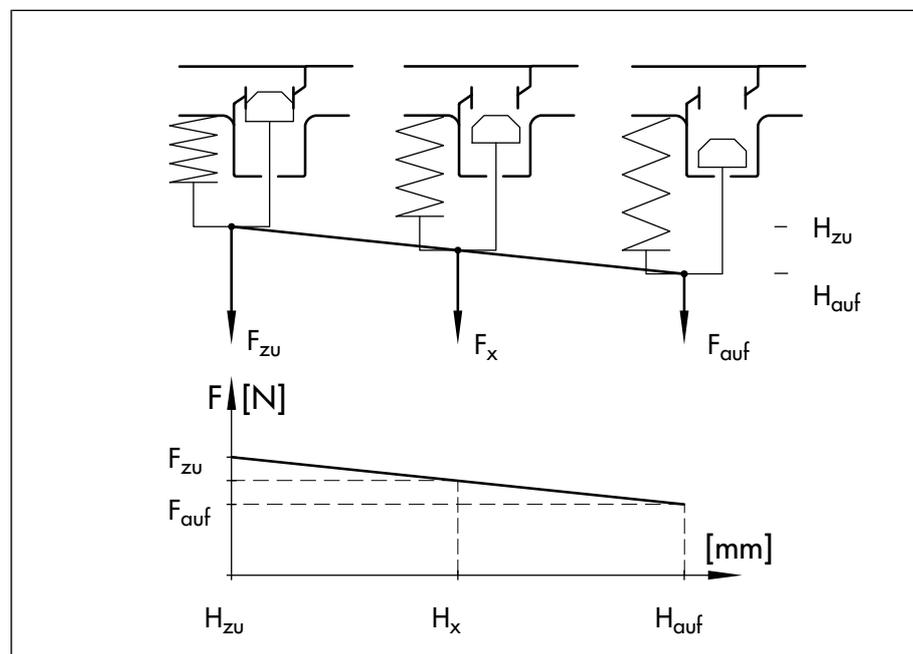


Bild 6: Federkräfte und Federkennlinie

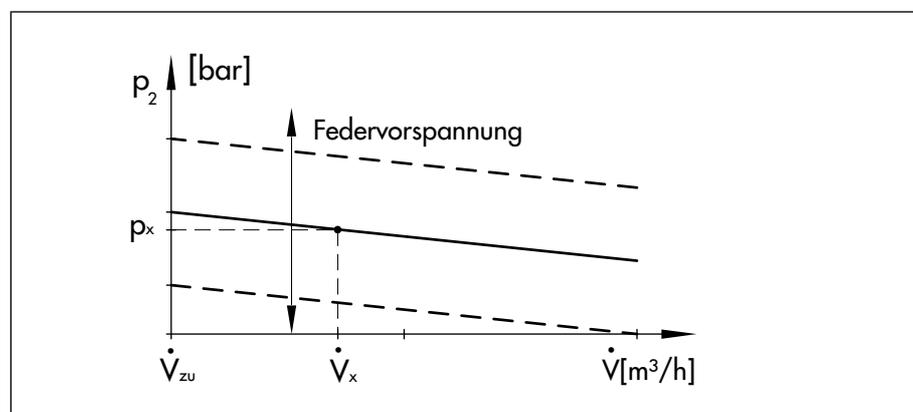


Bild 7: Idealisierte Kennlinie des Druckminderers

Während der Arbeitspunkteinstellung erhöht man die Federvorspannung so lange, bis die zu regelnde Prozessgröße den gewünschten Betriebspunkt/Sollwert erreicht. Die so eingestellte Federkraft ergibt sich aus dem Kräftegleichgewicht entsprechend Bild 4:

$$F_f = F_M - F_K = c_f \cdot x = p_2 \cdot A_M - \Delta p \cdot A_S$$

Einstellung des Arbeitspunktes

Bei kleinem Sitzdurchmesser A_S und niedrigen Differenzdrücken entstehen nur geringfügige Kegelkräfte F_K . Unter diesen Bedingungen ändert sich der Federweg x – gleichbedeutend mit dem Ventilhub – proportional mit dem Druck p_2 . Das resultierende Stellverhalten hängt deshalb unmittelbar von der Federkennlinie ab (siehe auch Bild 7):

Ventilhub ändert sich proportional zum Druck

$$p_2 = \frac{c_f}{A_M} \cdot x = \frac{c_f}{A_M} \cdot (\text{Hub} + x_{\text{auf}}) = \frac{c_f}{A_M} \cdot \text{Hub} + \frac{c_f}{A_M} \cdot x_{\text{auf}}$$

x_{auf} : Vorspannung

Sowohl die Gleichung als auch die Stellkennlinie lassen das proportionale Regelverhalten dieses Reglers ohne Hilfsenergie erkennen:

- ▶ Der Faktor c_f/A_M steht für die Steigung der Kennlinie bzw. den Proportionalbeiwert des Reglers.
- ▶ Der zweite Summand der Gleichung ($c_f \cdot x_{\text{auf}}/A_M$) beschreibt die Parallelverschiebung der Kennlinie. Sind große Sollwerte einzustellen, muss dieser Term groß werden. Dafür muss entweder eine Ausführung mit steifer Feder (c_f groß) oder kleiner Antriebsfläche A_M gewählt werden, oder die Feder muss sehr lang sein, damit sie ausreichend weit vorgespannt werden kann (x_{auf} wird entsprechend groß).

Kennlinienverschiebung in den Arbeitspunkt

Wie bereits erwähnt, gelten die Beziehungen nur für den Fall, dass die Kegelkraft F_K vernachlässigt werden kann. Bei großem Sitzdurchmesser und/oder hohen Differenzdrücken ist das nur zulässig, wenn die Ventile mit einer so genannten Druckentlastung ausgestattet sind. Solche Entlastungen

bieten sich bei Reglern ohne Hilfsenergie allein schon wegen des verbesserten Regelverhaltens an.

Druckentlastung

Differenzdruck wirkt
als Störgröße

Die Kegelkraft F_K ist vom Differenzdruck abhängig und wirkt somit für die Regelung als Störgröße. Bei hohem Vordruck und großen Sitzquerschnitten ergeben sich ganz erhebliche Kegelkräfte, gegen die der Antrieb arbeiten muss, wie folgendes Beispiel zeigt:

$$\Delta p = 10 \text{ bar}; \text{ Sitz-}\varnothing = 125 \text{ mm} \Rightarrow F_K = 12272 \text{ N}$$

Durch spezielle bautechnische Maßnahmen ist es möglich, diese Störgröße fast vollständig zu kompensieren.

Balgentlastung

Bild 8 zeigt eine Ventilausführung mit Balgentlastung. Dadurch, dass der Vor- und Nachdruck zusätzlich über die Balgfläche A_B auf die Kegelstange wirkt, entstehen Kräfte, die F_K entgegenwirken. Sind die Wirkflächen

A_S : Sitzquerschnitt
 A_B : Balgquerschnitt
 F_f : Federkraft (mit Balg)
 F_M : Kraft an der Membrane

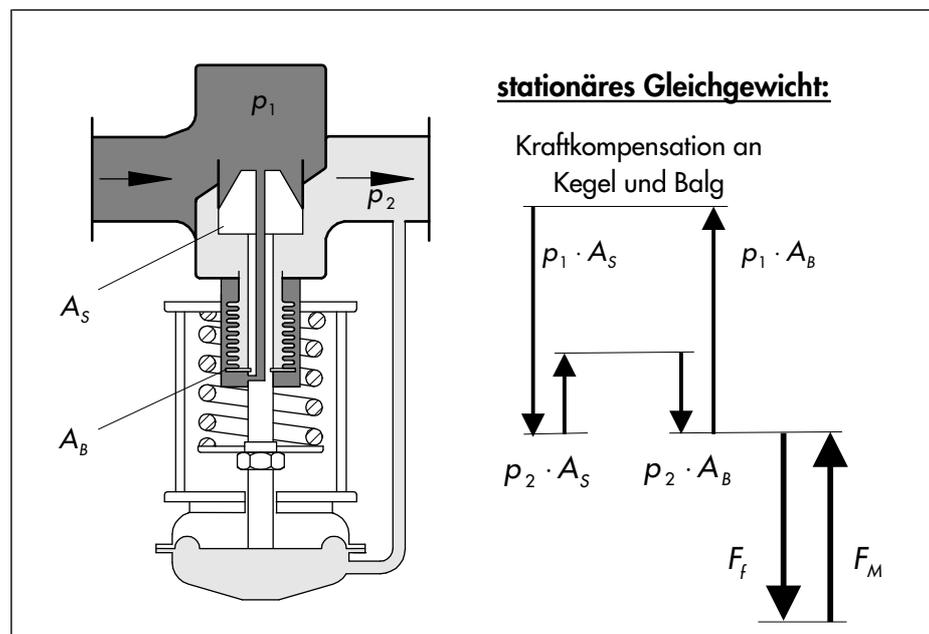


Bild 8: Kräftebilanz des balgentlasteten Druckminderers

A_S und A_B gleich groß und vernachlässigt man den Querschnitt der Kegelschance, so wird F_K durch die am Balg angreifenden Kräfte kompensiert.

Druckentlastete Ventile erfordern deutlich geringere Antriebskräfte als nicht entlastete (vgl. Bild 4 und 8). Bei der Berechnung der zu überwindenden Federrückstellkraft F_f muss jedoch zusätzlich die Elastizität des Balges berücksichtigt werden:

Federrückstellkraft

$$F_f = F_M = (c_f + c_{\text{Balg}}) \cdot \text{Hub} + F_{\text{auf}} \quad F_{\text{auf}} : \text{Federvorspannung}$$

Ventile mit Entlastung werden verwendet, wenn eine Anwendung eine möglichst genaue Regelung erfordert. Entlastungen sind immer erforderlich, wenn über dem Ventil – besonders bei großen Nennweiten – große Differenzdrücke entstehen und damit große Stellkräfte notwendig werden und diese vom Antrieb nicht mehr ohne sehr große Membrane aufgebracht werden können.

Regeleigenschaften

Regler ohne Hilfsenergie werden zumeist als Proportionalregler ausgeführt. Das Regelverhalten eines P-Reglers wird im Wesentlichen durch den Proportionalbeiwert (früher: Proportionalbereich) sowie den eingestellten Arbeitspunkt bestimmt.

am Beispiel des Druckminderers

Um die Zusammenhänge möglichst anwendungsnah und anschaulich darstellen zu können, stützen sich die folgenden Ausführungen – wie in den Abschnitten zuvor – beispielhaft auf den Druckminderer. Aus regelungstechnischer Sicht lassen sich die Aussagen jedoch auf jeden anderen ROH mit Proportionalverhalten übertragen.

Proportionalbeiwert

Aus den Grundlagen der Regelungstechnik (siehe z. B. Lit. [2]) ist bekannt, dass ein möglichst großer Proportionalbeiwert (bzw. ein kleiner Proportionalbereich) erforderlich ist, will man die bleibende Regelabweichung klein halten. In der Umgebung eines Betriebspunktes berechnet sich K_p aus Stellgröße y und Regeldifferenz e :

$$K_p = \frac{y}{e}; \quad \text{beim Druckminderer: } K_p = \frac{\Delta K_v}{\Delta p_2}$$

Beim Druckminderer muss demnach erreicht werden, dass bei kleinen Druckänderungen große Hubverstellungen entstehen, die wiederum große K_v -Wert-Änderungen bewirken:

- ▶ Große Hubverstellungen ergeben sich, wenn die Federsteifigkeit c_f möglichst klein und die Fläche der Antriebsmembran A_M groß ist.
- ▶ Die K_v -Wert-Änderung steht mit dem Ventilhub über die Kontur des Kegels und den K_{VS} -Wert in Bezug. Bei gleichem Hub resultieren bei steiler Stellkennlinie und/oder großem K_{VS} -Wert größere K_v -Wert-Änderungen als bei flacher Kennlinie und/oder kleinem K_{VS} -Wert.

Eine Auslegung auf einen großen Proportionalbeiwert – und damit kleine Regelabweichung – führt demzufolge zu folgender Ausstattung:

- ▶ weiche Feder oder große Antriebsfläche oder großer – hier gleichbedeutend mit überdimensioniertem – K_{VS} -Wert oder Kombinationen daraus. Zu große Proportionalbeiwerte, besonders bei Einsatz eines überdimensionierten K_{VS} -Wertes, erhöhen die Schwingungsneigung des Regelkreises.

notwendig für geringe Regelabweichung

In Bezug auf Feder und Antrieb erfüllt diese Anforderungen der ROH mit dem niedrigsten Sollwertbereich am besten.

Beispiel: Für einen Sollwert von 1,0 bar ist deshalb der Sollwertbereich 0,2 bis 1,2 bar zu wählen und nicht die Ausführung mit dem Bereich 0,8 bis 2,5 bar.

Anmerkung: Wie auf Seite 13 geschildert, setzt man folgendes ein, um große Sollwerte realisieren zu können:

- ▶ eine steife Feder oder kleine Antriebsfläche oder lange vorgespannte Federwege und Kombinationen daraus.

notwendig für große Sollwerte

Will man ein Gerät mit großen Sollwerten/Stellkräften bei kleinen Regelabweichungen verwirklichen, zeigen sich bei der Auslegung von Feder und Antriebsfläche einander widersprechende Forderungen. Es bleiben einzig die Möglichkeiten

- ▶ kleine Regelabweichungen über große K_{VS} -Werte zu verwirklichen,
- ▶ die hohen Sollwerte über weiche, aber entsprechend lange Federn zu kompensieren und
- ▶ große Antriebsflächen einzusetzen.

geringe Regelabweichung und hohe Sollwerte

Diese Varianten sind nicht uneingeschränkt nutzbar: Während sehr lange Federn zu aufwendigen und teuren Geräten mit großen Abmessungen führen, hat der Einsatz eines überdimensionierten K_{VS} -Wertes physikalisch begründete Grenzen: Der Antrieb muss bei der Positionierung die Haft- und Gleitreibung überwinden, die an der Führung und Abdichtung der Kegel- und Antriebsstange entsteht. Berücksichtigt man diese Reibung sowie die zusätzlichen Kräfte zum Schließen des Ventils, so erhält man statt der idealisierten Kennlinie des Bildes 7 das reale Stellverhalten entsprechend Bild 9.

- X_w : Regelabweichung
- X_p : Proportionalbereich
- X_h : Hysterese
- X_s : Schließdruck
- p_2 : Nachdruck
- \dot{V} : Volumenstrom

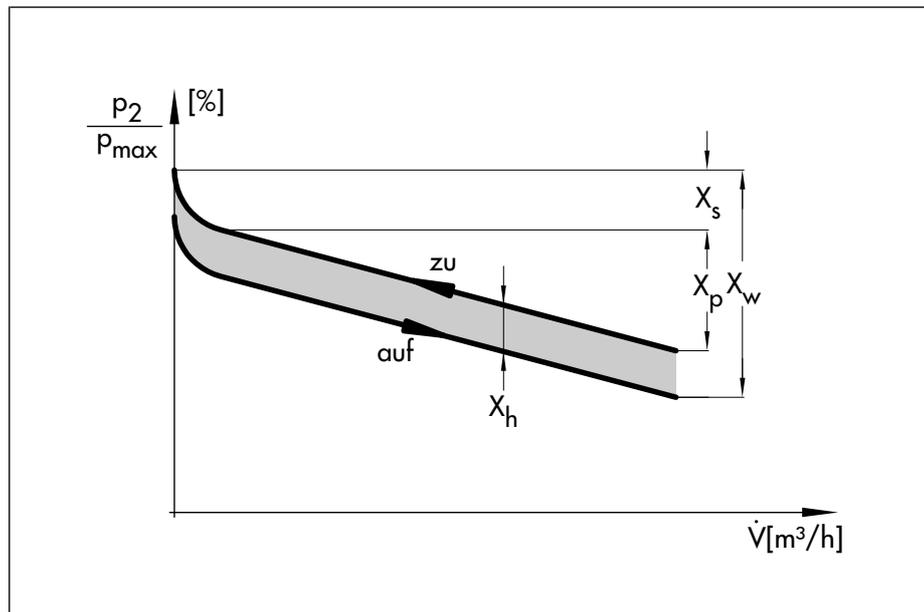


Bild 9: Kennlinie des Druckminderers

Hysterese begrenzt die Stellgenauigkeit

Die durch Haftreibung entstehende Hysterese X_h begrenzt die erreichbare Stellgenauigkeit. Eine Vergrößerung von K_p mit Hilfe eines größeren K_{VS} -Wertes kann diesen Fehler nicht kompensieren. Dadurch verringert sich zwar die stationäre Regelabweichung x_w , doch die Hysterese in der Stellkennlinie bleibt bestehen (Bild 10).

- X_{w1} : Regelabweichung mit K_{p1}
- X_{w2} : Regelabweichung mit K_{p2}

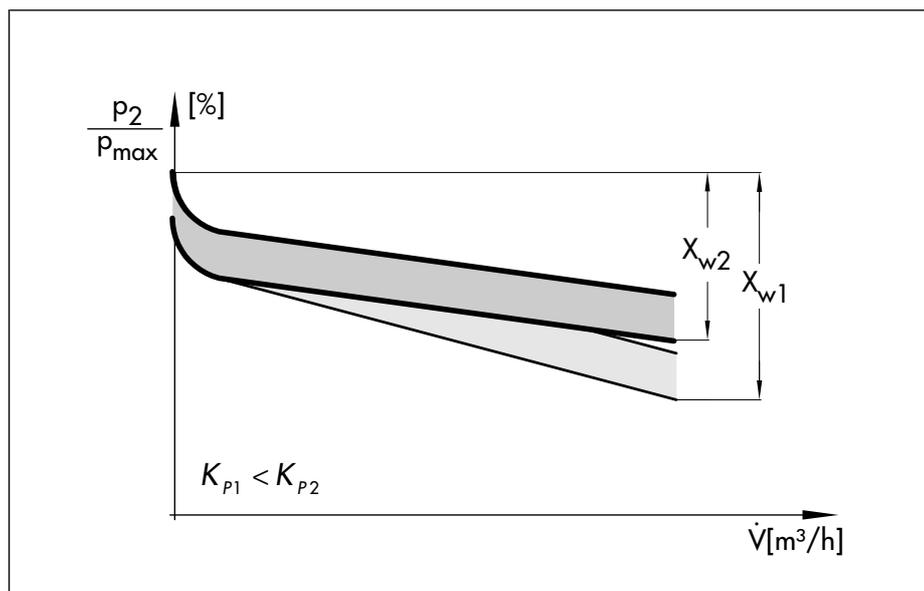


Bild 10: Regelabweichungen bei verschiedenen Proportionalbeiwerten

Bei überdimensioniertem K_{VS} -Wert besteht daher die Gefahr, dass die Regelung zu schwingen beginnt. Zum einen wird aufgrund der Hysterese die exakte Einstellung eines K_V -Wertes immer schwieriger, zum anderen bewirken dann schon kleine Regelabweichungen sehr große K_V -Wert-Änderungen.

Aufgrund der geschilderten Abhängigkeiten wird bei erhöhten Regelanforderungen immer versucht, durch Druckentlastung die Einflüsse durch Schwankungen von Δp am Kegel besonders bei großen Nennweiten soweit wie möglich zu verringern und gleichzeitig die Ausführung mit dem kleinsten Sollwertbereich zu wählen.

Mit dieser Auslegung – Balgentlastung, weiche Federn, große Antriebsmembran und gegebenenfalls große K_{VS} -Werte – kann die Regelabweichung beim ROH gering gehalten werden. Zu große Proportionalbeiwerte – besonders wenn mit überdimensioniertem K_{VS} -Wert verwirklicht – bergen jedoch die Gefahr, dass der Regelkreis zu schwingen beginnt. Auch die Dämpfung des erfaßten Drucksignals durch Drosseln in den Steuerleitungen zum Membranantrieb hat ihre Grenzen.

Die beschriebenen Zusammenhänge lassen klar erkennen, dass die Regelabweichung beim ROH stark von dessen Auslegung abhängt. Durch entsprechende Maßnahmen kann die Regelabweichung am ROH deutlich reduziert werden.

Verringerung der Stellkräfte

Anhang A1: Ergänzende Literatur

- [1] Begriffe und Symbole der Regelungstechnik
Technische Information L101; SAMSON AG
- [2] Regler und Regelstrecken
Technische Information L102; SAMSON AG
- [3] Temperaturregler
Technische Informationen L205; SAMSON AG
- [4] Regelungstechnik in der Versorgungstechnik
Verlag C.F. Müller GmbH, Karlsruhe

Bildverzeichnis

Bild 1: Konventionell instrumentierter Regelkreis 5

Bild 2: Regelkreis mit einem Regler ohne Hilfsenergie 6

Bild 3: Energieversorgung von Regeleinrichtungen 8

Bild 4: Kräftebilanz beim Druckminderer 9

Bild 5: Regelzyklus beim ROH-Druckminderer 11

Bild 6: Federkräfte und Federkennlinie 12

Bild 7: Idealisierte Kennlinie des Druckminderers 12

Bild 8: Kräftebilanz des balgentlasteten Druckminderers 14

Bild 9: Kennlinie des Druckminderers 18

Bild 10: Regelabweichungen bei verschiedenen Proportionalbeiwerten . 18

NOTIZEN

NOTIZEN



SAMSON AG · MESS- UND REGELTECHNIK · Weismüllerstraße 3 · D-60314 Frankfurt am Main
Telefon (069) 4 00 90 · Telefax (069) 4 00 95 07 · Internet: <http://www.samson.de>