

Federbelastete Sicherheitsventile

Einleitung

Sempell-Armaturen sind heute in Hunderten von chemischen Anlagen, Kraftwerken und in über 80 Kernkraftwerken eingesetzt.

Eine besondere Bedeutung wird im Hause Sempell der Entwicklung von Sicherheitsarmaturen beigemessen. Hier folgte es in besonderem Maße den Herausforderungen der Technik und den Anforderungen des Marktes und entwickelte Sicherheitsventile, die auch bei den gestiegenen Anlagengrößen den sicherheitstechnischen Richtlinien entsprechen.

Die Firma Sempell regte die Einführung der Bauteilprüfung für Sicherheitsventile an, um allgemein verbindliche Maßstäbe für Qualität, Leistung und sichere Funktion zu setzen und zu gewährleisten.

Durch die Entwicklung moderner Sicherheitsventile hat Sempell dazu beigetragen, die Sicherheit der Anlagen zu erhöhen.

Im folgenden wollen wir Ihnen die Funktionsprinzipien federbelasteter Sicherheitsventile erläutern und anhand einiger Beispiele zeigen, welchen Beitrag die Armaturen bei der Lösung der sicherheitstechnischen Aufgaben in konventionellen Anlagen und Kernkraftwerken leisten.

Begriffsbestimmungen nach DIN 3320

Bild 1

- a) Ein Vollhub-Sicherheitsventil ist eine Armatur, die nach dem Ansprechen (Hubbeginn) innerhalb von 5 % Drucksteigerung schlagartig bis zum konstruktiv begrenzten Hub öffnet. Der Anteil des Hubes bis zum schlagartigen Öffnen (Proportionalbereich) darf nicht mehr als 20 % des Gesamthubes betragen.
- b) Ein Normal-Sicherheitsventil ist eine Armatur, die nach dem Ansprechen (Hubbeginn) innerhalb eines Druckanstieges von maximal 10 % den für den abzuführenden Massenstrom erforderlichen Hub erreicht. An die Öffnungscharakteristik werden keine weiteren Anforderungen gestellt.
- c) Ein Proportional-Sicherheitsventil ist eine Armatur, die in Abhängigkeit vom Druckanstieg nahezu stetig öffnet. Hierbei tritt ein plötzliches Öffnen ohne Drucksteigerung über einen Bereich von mehr als 10 % des Hubes nicht auf. Diese Sicherheitsventile erreichen nach dem Ansprechen (Hubbeginn) innerhalb eines Druckanstieges von maximal 10 % den für den abzuführenden Massenstrom erforderlichen Hub.

Zuordnung der federbelasteten Sempell-Sicherheitsventile

- a) **Vollhub-Sicherheitsventile** sind vorzugsweise für kompressible Medien geeignet (Gase, Dämpfe und Wasserdampf).

Vorteilhaft ist der Einsatz eines Vollhub-Sicherheitsventils, wenn der Ausflußmassenstrom bekannt und der Druckverlust in der Zuleitung kleiner als 3 % des Ansprechdruckes ist. Der Druck in der Anlage wird nach einem geringen Druckanstieg durch das schlagartige Öffnen (Vollhubverhalten) schnell abgebaut. Dadurch werden Druckspitzen im abzusichernden System vermieden.

Bild 2 zeigt die dimensionslose Strömungskraft-Kurvenschar zur Beurteilung des Arbeitsverhaltens einer geometrisch ähnlichen Ventilbaureihe. In diesem Diagramm ist die Strömungskraft F_s über dem Hub H/D_0 für verschiedene Anlagendrucke p aufgetragen. Die Strömungskraft auf dem Ventilkegel und dem Hubkolben ist beim Ansprechdruck ($p = 1$) gleich der Federkraft. Mit größer werdendem Ventilhub fällt die Strömungskraft zuerst leicht ab und steigt dann bis zum Hubende an. Die Federkennlinie der Sempell-Sicherheitsventile ist so festgelegt, daß sie die Strömungskraftkurve schneidet.

Das Sicherheitsventil öffnet unmittelbar und vollständig bis zum Hubanschlag, wenn der Öffnungsdruck erreicht ist, da dann die Strömungskraft bei jedem Hub größer als die Federkraft ist. Fällt der Druck vor dem Sicherheitsventil unter den Schließdruck, liegt die Strömungskraftkurve bei jedem Hub unterhalb der Federkennlinie. Das Ventil schließt daher in einem Zug.

Aus den Strömungskraftkurven ist zu erkennen, daß die Federkennlinie den Strömungskraftkurven angepaßt werden muß. Bei höheren Drücken (p größer 1) werden steifere Federn, bei niedrigeren Drücken (p kleiner 1) werden weichere Federn benötigt.

Für eine Baureihe geometrisch ähnlicher Ventile wird in Strömungsversuchen eine Strömungskraftkurve für bestimmte, vorher festgelegte Randbedingungen ermittelt. Diese Kurve wird als Strömungskraftkennlinie bezeichnet. Strömungskraftkurven für andere Randbedingungen, z. B. Druckverluste in der Zuleitung zu einem Sicherheitsventil und Gegendrucke am Austritt des Ventils, werden in weiteren Versuchen bestimmt.

Bild 3 zeigt zwei Diagramme, in denen die Strömungskräfte F_s über dem Hub H/D_0 in Abhängigkeit vom Druckverlust in der Zuleitung und dem Eigengegendruck dargestellt sind. Mit steigendem Druckverlust bzw. Eigengegendruck vermindert sich die Strömungskraft mit wachsendem Hub. Die Strömungskraftkurven weichen von der Strömungskraftkennlinie ab. In gewissen Grenzen können diese Einflüsse durch eine geänderte Federkennlinie korrigiert werden.

Wichtig ist anzumerken, daß der Ausflußmassenstrom proportional mit dem Druckverlust abnimmt. Im Regelwerk ist der zulässige Druckverlust in der Zuleitung auf 3 % des Ansprechdruckes begrenzt. Auch bei einem Gegendruck von mehr als ca. 35 % vermindert sich der Ausflußmassenstrom. Diese Einflüsse müssen bei der Größenbemessung des Sicherheitsventils gegebenenfalls berücksichtigt werden.

Bei extremen Einbaubedingungen können Vollhub-Eigenschaften zum Flattern des Ventils führen, d. h. das Ventil öffnet und schließt mit einer hohen Frequenz (bis zu mehreren 100 Hz). Durch die dynamische Überbeanspruchung können sowohl das Ventil als auch angrenzende Anlagenteile beschädigt werden.

Ein Flattern eines Vollhub-Sicherheitsventils tritt immer dann auf, wenn nach dem Öffnen des Ventils der infolge des entstehenden Ausflußmassenstroms auftretende Druckverlust in der Zuleitung so groß wird, daß dadurch der Schließdruck p_s unterschritten wird. Dies ist aus dem oberen Diagramm zu erkennen. Die Strömungskraftkurve fällt mit steigendem Druckverlust ab und schneidet, z. B. bei 10 % Druckverlust, vor Erreichen des Hubendes die festgelegte Federkennlinie. Nach dem Schließen des Ventils wird der Ausflußmassenstrom unterbrochen, der Druck vor dem Ventil steigt und das Ventil öffnet wieder. Teilhübe, die in einem solchen Fall ein Flattern verhindern könnten, stellen sich bei einem Vollhub-Sicherheitsventil nicht ein.

Übersicht über Sempell-Vollhub-Sicherheitsventile

Bild 4

VSE1 und VSR1 mit offenem Ventilaufsatz

Einsatzbereich Wasserdampf (Heißdampf/Sattdampf)

Bei t größer 400°C ist eine Zwischenlaterne SN 110 erforderlich.

Bild 5

VSE2 und VSR2 mit geschlossenem Ventilaufsatz

Einsatzbereich Gase, Dämpfe, Wasserdampf bis 250°C

Flüssigkeiten (Sitz für Flüssigkeiten SN 123 erforderlich)

Bild 6

VSE5 und VSR5 mit geschlossenem Ventilaufsatz und Ausgleichsfaltenbalg

Einsatzbereich Gase, Dämpfe, Flüssigkeiten (Sitz für Flüssigkeiten SN 123 erforderlich)

Der Ausgleichsfaltenbalg bewirkt, daß der Ansprechdruck gegendruckunabhängig ist.

b) Normal-Sicherheitsventile sind erst in den Regelwerken seit 1980 definiert.

Normal-Sicherheitsventile werden im wesentlichen für inkompressible Medien (Flüssigkeiten) verwendet. Sie sollten in unmittelbarer Nähe eines abzusichernden Behälters angeordnet sein. Bei den Normal-Sicherheitsventilen ist der Funktionsverlauf nicht festgelegt. Ein proportionaler Anteil ist in jedem Bereich des Hubes möglich.

Diese Sicherheitsventile sind normalerweise aus den Vollhub-Sicherheitsventilen entstanden. Durch eine stärkere Umlenkung des Mediums am Sitz, z. B. bei den Sempell-Sicherheitsventilen mit dem Sitz für Flüssigkeiten SN 123, wurde erreicht, daß dieses Ventil bei einem Druckanstieg von weniger als 10 % den vollen Hub erreicht. Das Ventil öffnet wie ein Vollhub-Sicherheitsventil schlagartig. Die

Ausflußziffer beträgt dabei etwa $\alpha_w = 0,55$. Diese hohe Ausflußziffer ermöglicht kleine Ventile und kleine Leitungen für große Ausflußmassenströme.

- c) Proportional-Sicherheitsventile** öffnen nach Überschreiten des Ansprechdruckes p nur so weit, bis ein Gleichgewichtszustand zwischen der Strömungskraft und der Federkraft erreicht wird. Der sich einstellende Hub ist dem Druck proportional. Das Proportional-Sicherheitsventil arbeitet wie ein Regler.

Bis 1980 wurden viele Sicherheitsventile mit geringem Hub und einer Ausflußziffer α_w unter 0,1 als Proportional-Sicherheitsventile angeboten. Sie wurden im wesentlichen als Überströmventile eingesetzt. Nach dem heutigen Regelwerk sind diese Sicherheitsventile aufgrund ihres Funktionsverhaltens Normal-Sicherheitsventile.

Das proportionale Öffnen eines Sicherheitsventils ist besonders bei Flüssigkeiten von Vorteil, da der Ausflußmassenstrom stetig und langsam verändert wird.

Ziel der Entwicklung der Firma Sempell war es, ein echtes Proportional-Sicherheitsventil für inkompressible Medien zu bauen, welches eine vertretbare Ausflußziffer α_w hat. Eine langjährige, umfangreiche Entwicklung an unserem Rechner sowie Versuche im Labor haben zu dem Sempell-PSE-Proportional-Sicherheitsventil geführt (Bild 7).

Mit einer Ausflußziffer von $\alpha_w = 0,30$ wurde ein Wert erreicht, der bei Flüssigkeiten zu einer vernünftigen Dimensionierung der Rohrleitung führt.

Die Konstruktion des Proportional-Sicherheitsventils wurde nach umfangreichen Versuchen festgelegt. Das Ergebnis ist ein Proportional-Sicherheitsventil, das eine gute Funktion und dabei auch ein einwandfreies Teillastverhalten hat.

Bild 8 zeigt das Funktionsverhalten eines Proportional-Sicherheitsventils mit $D_o = 28$ mm bei Wasser. Die Öffnungs- und Schließfunktion wurde auf dem Prüfstand gemessen.

Bild 9 zeigt einen Versuchsaufbau, mit dem das Verhalten eines Proportional-Sicherheitsventils bei Wasser mit und ohne Luftvorlage geprüft wurde. Über die Steig- und die Fall-Leitung konnte ein eingeschlossenes kompressibles Medium simuliert werden. Zusätzlich zu den Drücken p_0 bis p_2 konnte auch der Ausflußmassenstrom über eine Differenzdruckmessung p_3 gemessen und aufgezeichnet werden.

Die Meßergebnisse zeigen einen Funktionsversuch mit Wasser. Beim Aufreißen des Schnellöffnungsventils stellte sich nach einer kurzen Druckspitze durch das Betätigen des Schnellöffnungsventils der Öffnungsdruck p_2 ein. Nach dem plötzlichen Schließen des Schnellöffnungsventils fällt der Druck ab und pendelt sich ein. Der Hubverlauf folgt ohne Schwingungen dem Druckverlauf. Der Teilhub stellt sich entsprechend dem Ausflußmassenstrom ein.

Wichtig ist auch der Nachweis, daß das Proportional-Sicherheitsventil nicht flattert, wenn in der Zuleitung kompressibles Medium (Luft) eingeschlossen ist.

Normalerweise ist es schwierig, ein Ventil für beide Phasen abzustimmen. Bei dem PSE-Proportional-Sicherheitsventil haben wir erreicht, daß auch beim Abblasen kompressibler eingeschlossener Medien das Ventil nicht flattert, sondern das Funktionsverhalten sich nach Sekundenbruchteilen absolut selbständig stabilisiert.

Bild 10 zeigt im oberen Teil einen Funktionsversuch für Wasser mit Luftvorlage mit einem Proportional-Sicherheitsventil PSE. Dabei ist zuerst ein gedämpftes Schwingen während des Luftdurchsatzes zu erkennen, dann erfolgt ein kurzes Schwingen während des Durchsatzes von Wasser-Luft-Gemisch. Bei Wasserdurchfluß stabilisiert sich die Funktion des Ventils sofort.

Im unteren Teil zeigt Bild 10 den gleichen Funktionsversuch für Wasser mit Luftvorlage mit einem Vollhub-Sicherheitsventil. Während des Luftdurchsatzes arbeitet das Ventil normal; das gedämpfte Schwingen ergibt sich aus dem fehlenden Ausflußmassenstrom bzw. dem zu großen Druckverlust in der Zuleitung. Bei der Wasserphase kommt es jedoch sofort zu einem starken Flattern, das zum Abbruch des Versuches führt.

Die beiden Funktionsdiagramme zeigen, daß PSE-Proportional-Sicherheitsventile geeignet sind, ein Behälter- und Leitungssystem für Flüssigkeiten abzusichern, wenn mit dem Einfluß kompressibler Medien in den Zuleitungen zu den Sicherheitsventilen zu rechnen ist. Diese Verhältnisse wurden z. B. bei der Absicherung von Rohrleitungsstücken in den Hilfskreisläufen der Kernkraftwerke vorgegeben.

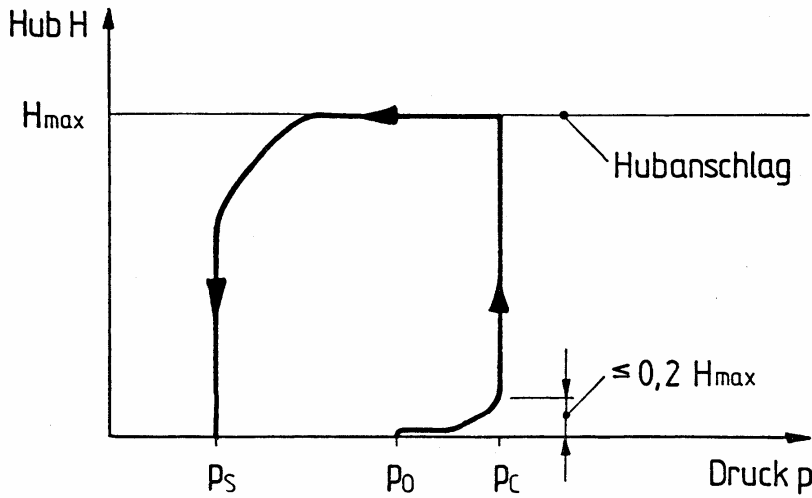
Schlußbemerkung

Grundsätzlich ist für den Einsatz der Sicherheitsventile die Kenntnis des abzusichernden Systems unerlässlich. Das Medium, der Druckverlust in der Zuleitung, die Anordnung an Behälter oder Rohrleitung, die Druckänderungsgeschwindigkeit usw. müssen bekannt sein.

Für die Absicherung eines Dampfkessels oder eines Behälters ist das Vollhub-Sicherheitsventil besonders gut geeignet. Durch das frühe und schlagartige Öffnen werden unerlaubte Druckspitzen in der Anlage auch bei hohen Druckänderungsgeschwindigkeiten vermieden.

Behältersysteme für flüssige Medien können mit proportional wirkenden Sicherheitsventilen abgesichert werden. Dann können bei kleinen Störungen kleine Ausflußmassenströme bei einem Teilhub abgeführt werden. Bei einer Fehlbetätigung eines größeren Absperrorgans werden jedoch auch große Massenströme beherrscht.

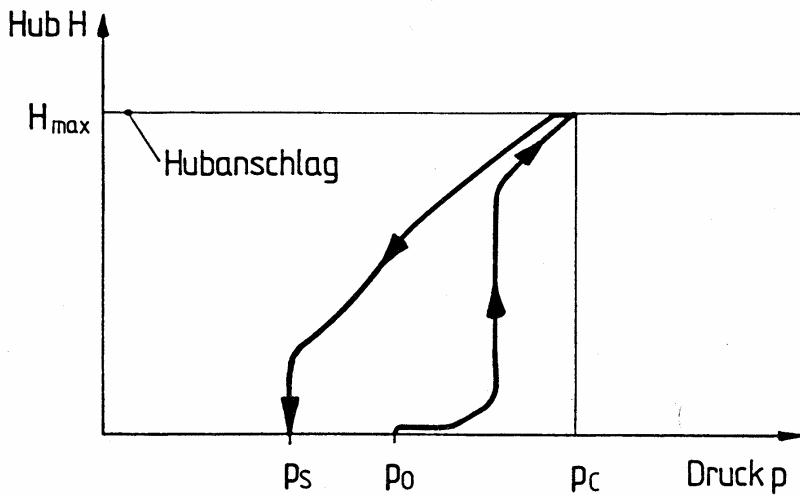
Bei Anwendungen von Sicherheitsventile in stabilitätsgefährdeten Flüssigkeitssystemen sei auf den Sempell-Schwingungsdämpfer verwiesen. Auf Anforderung senden wir Ihnen gerne weitere Informationen zu.



Vollhubventil

$$p_c \leq p_0 + 5\%$$

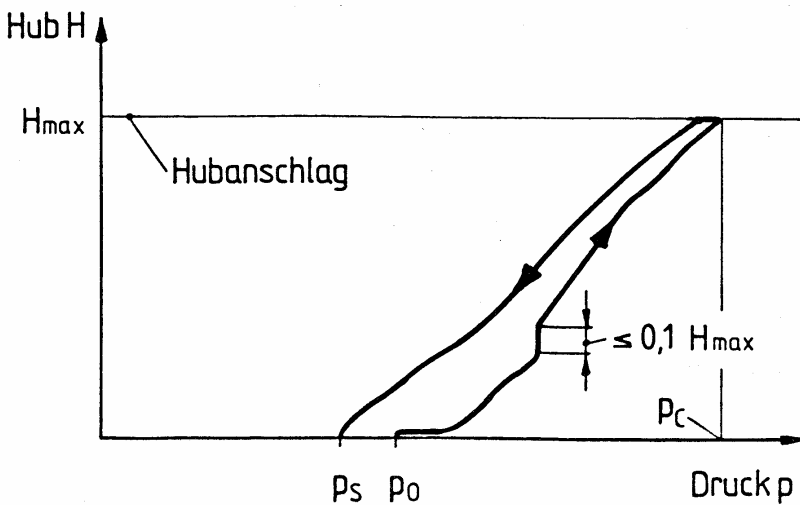
$$p_s \geq p_0 - 10\%$$



Normalventil

$$p_c \leq p_0 + 10\%$$

$$p_s \geq p_0 - 10\%$$



Proportionalventil

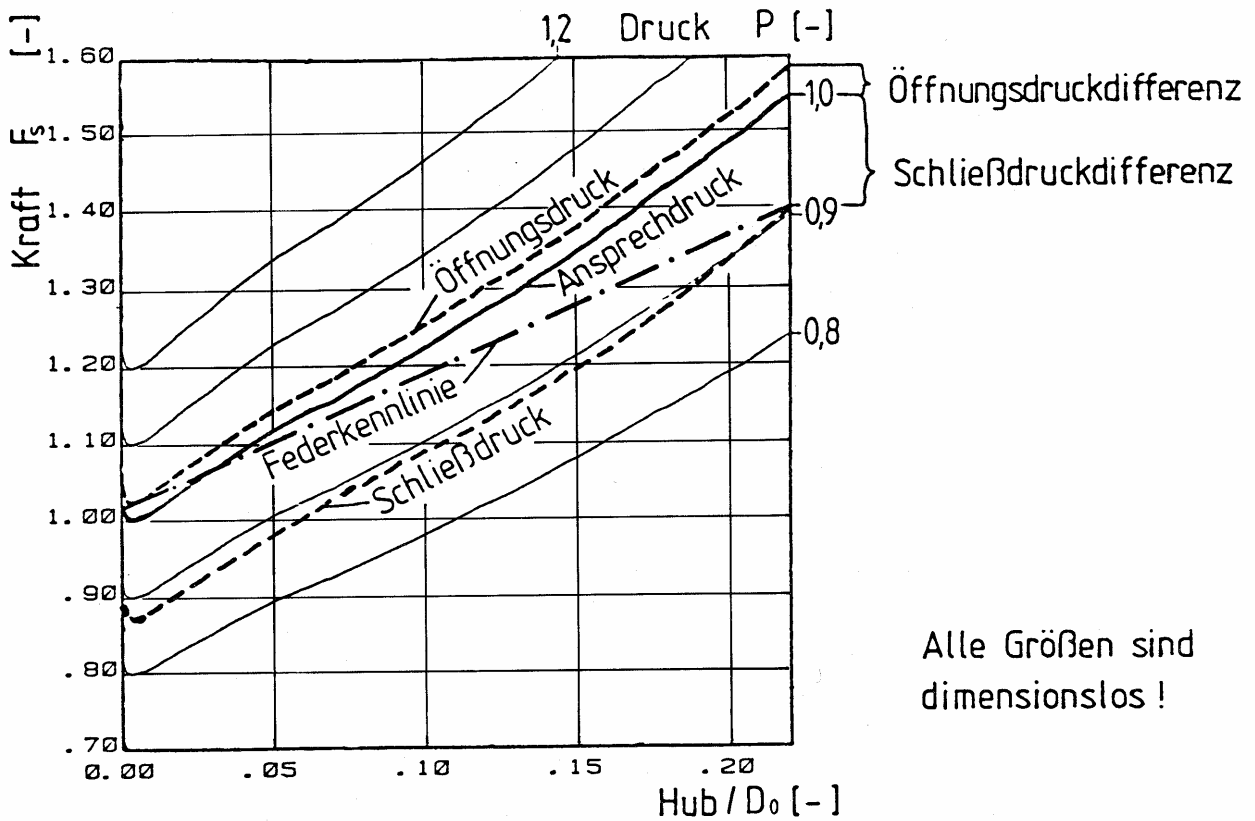
$$p_c \leq p_0 + 10\%$$

$$p_s \geq p_0 - 10\%$$

p_0 = Ansprechdruck

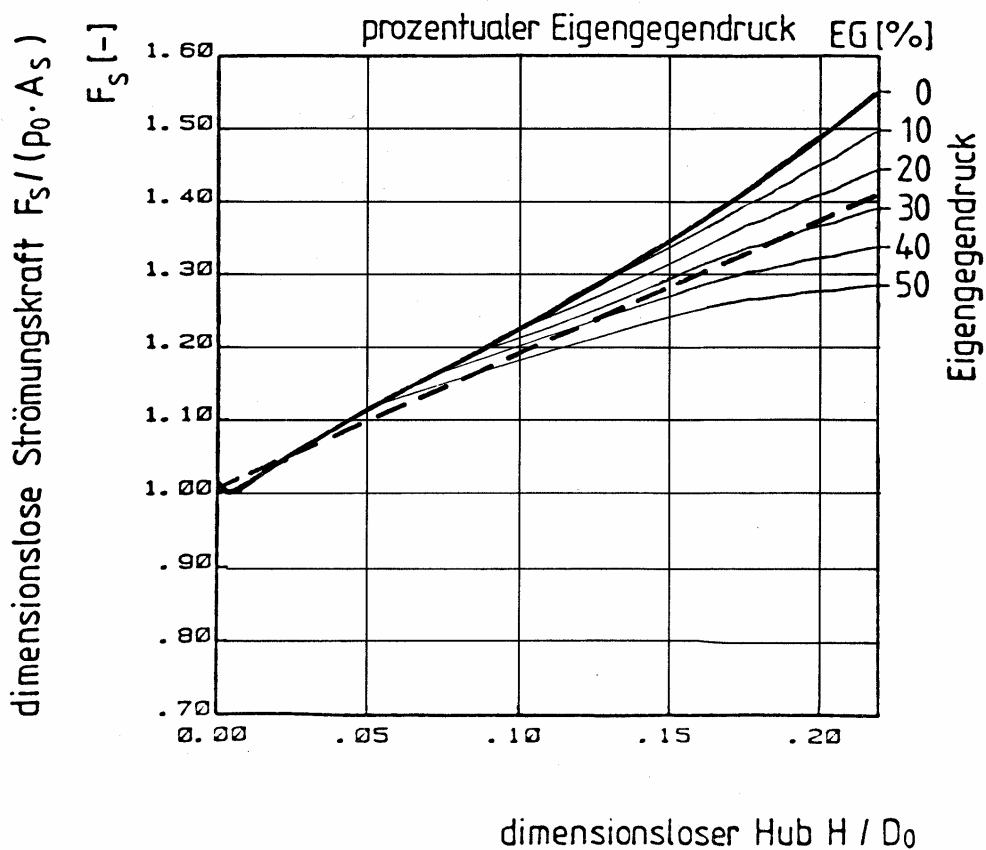
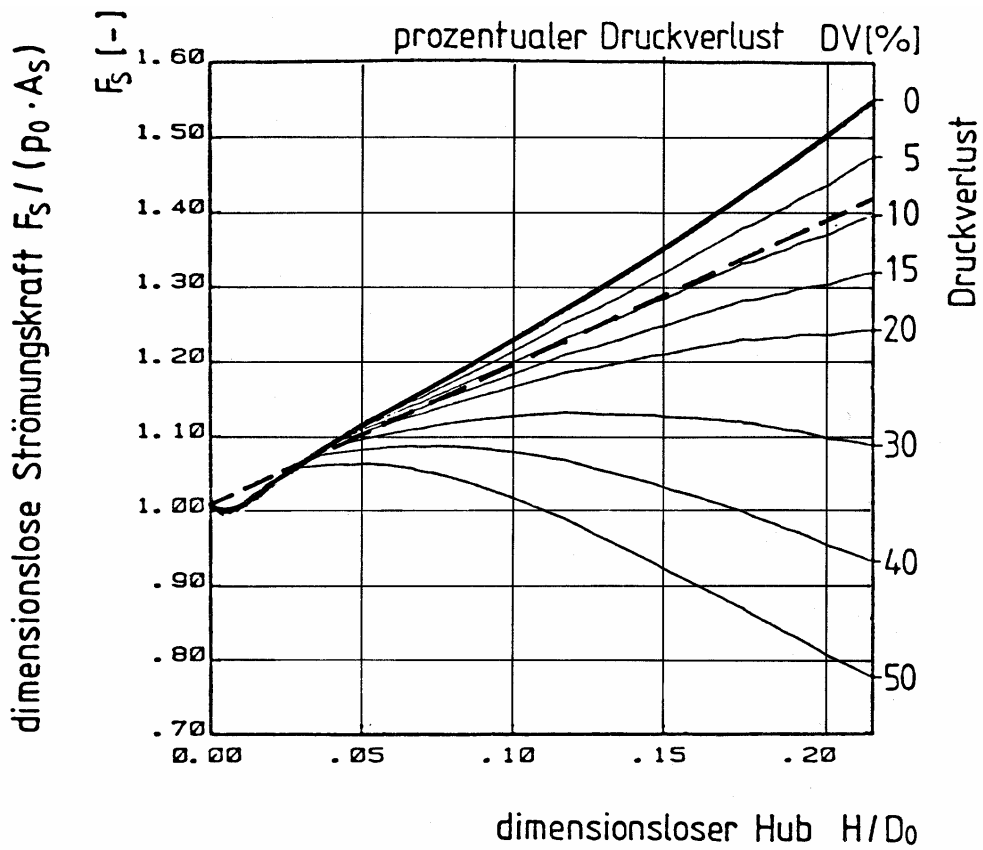
p_c = Öffnungsdruck

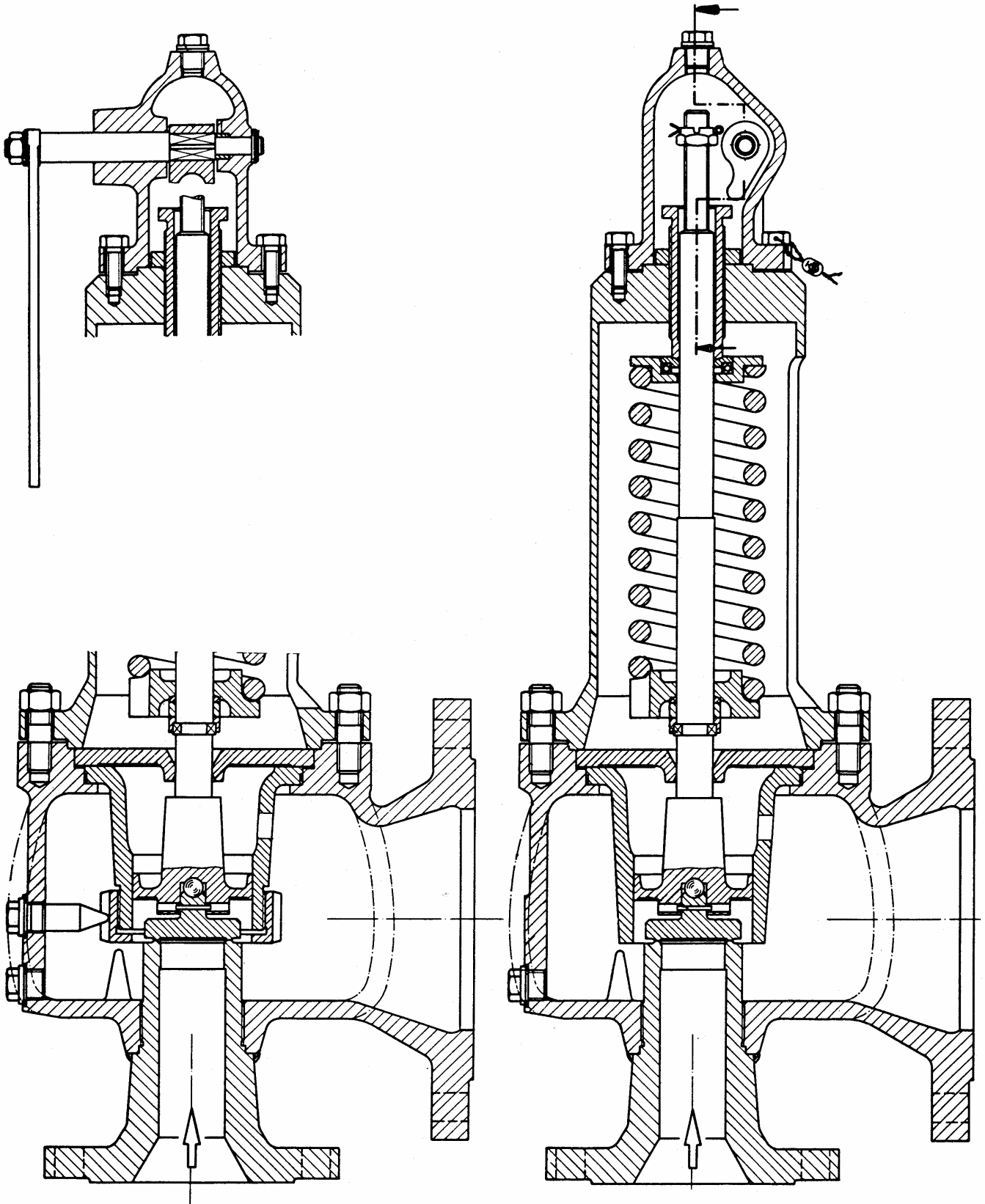
p_s = Schließdruck

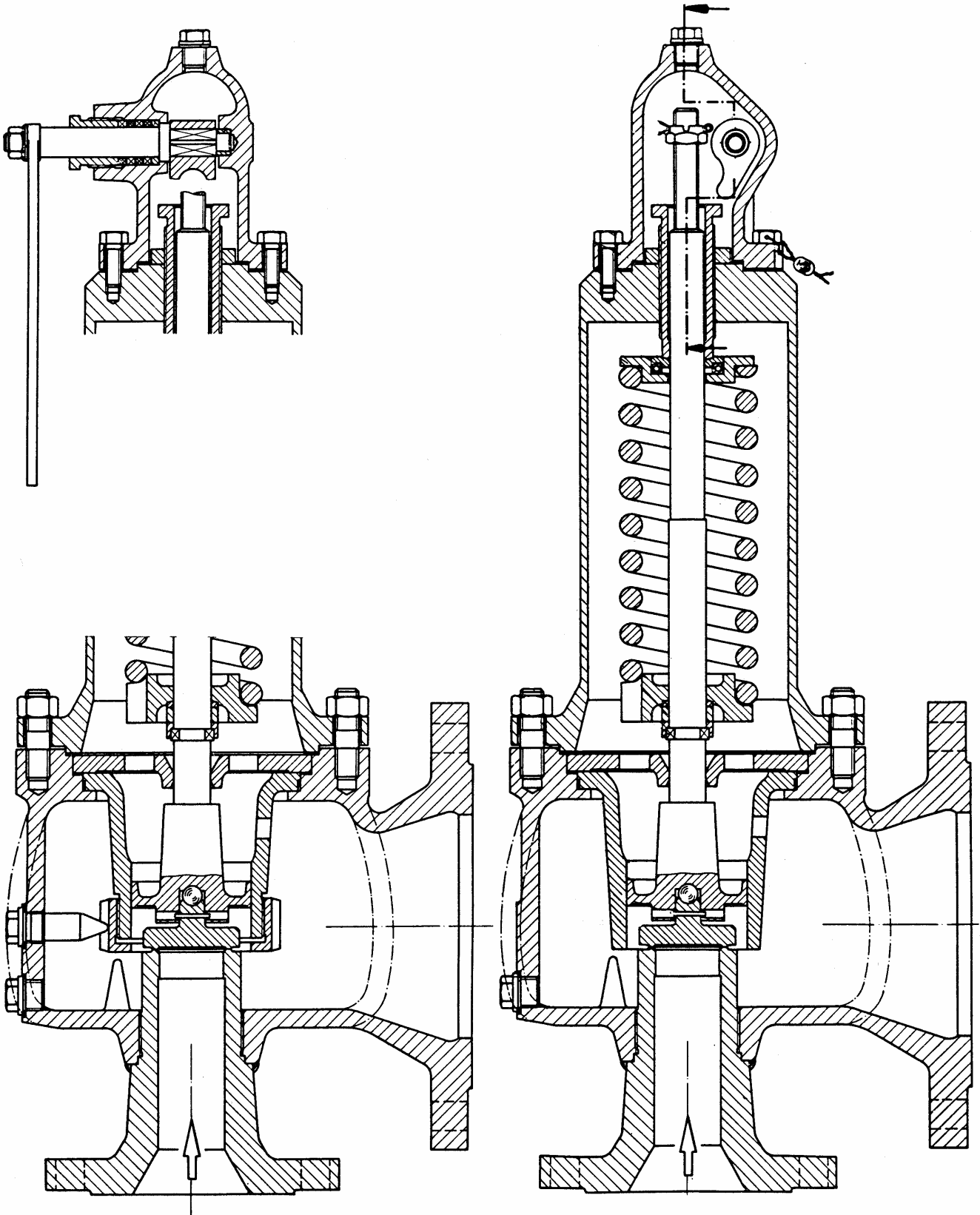


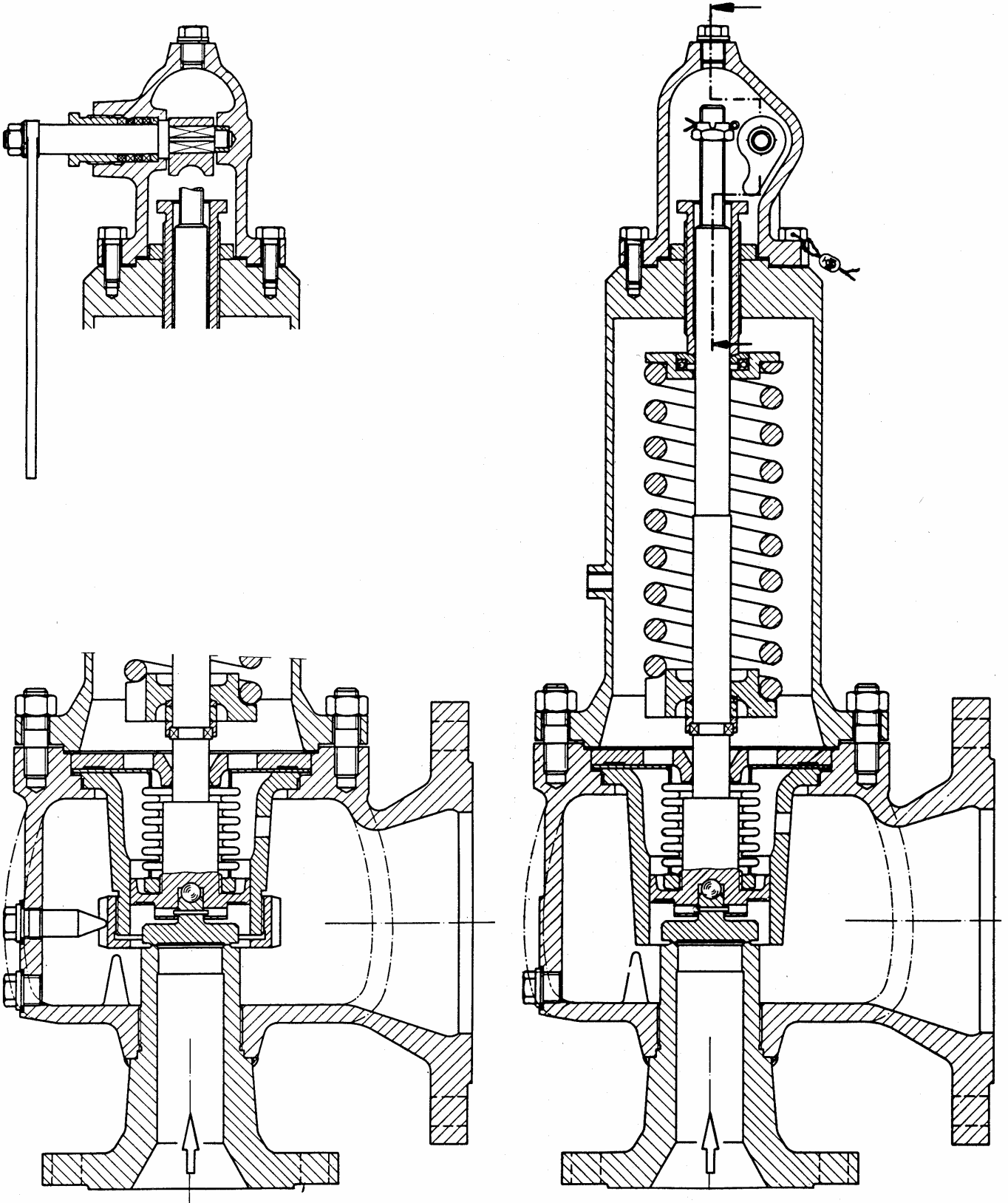
Alle Größen sind dimensionslos !

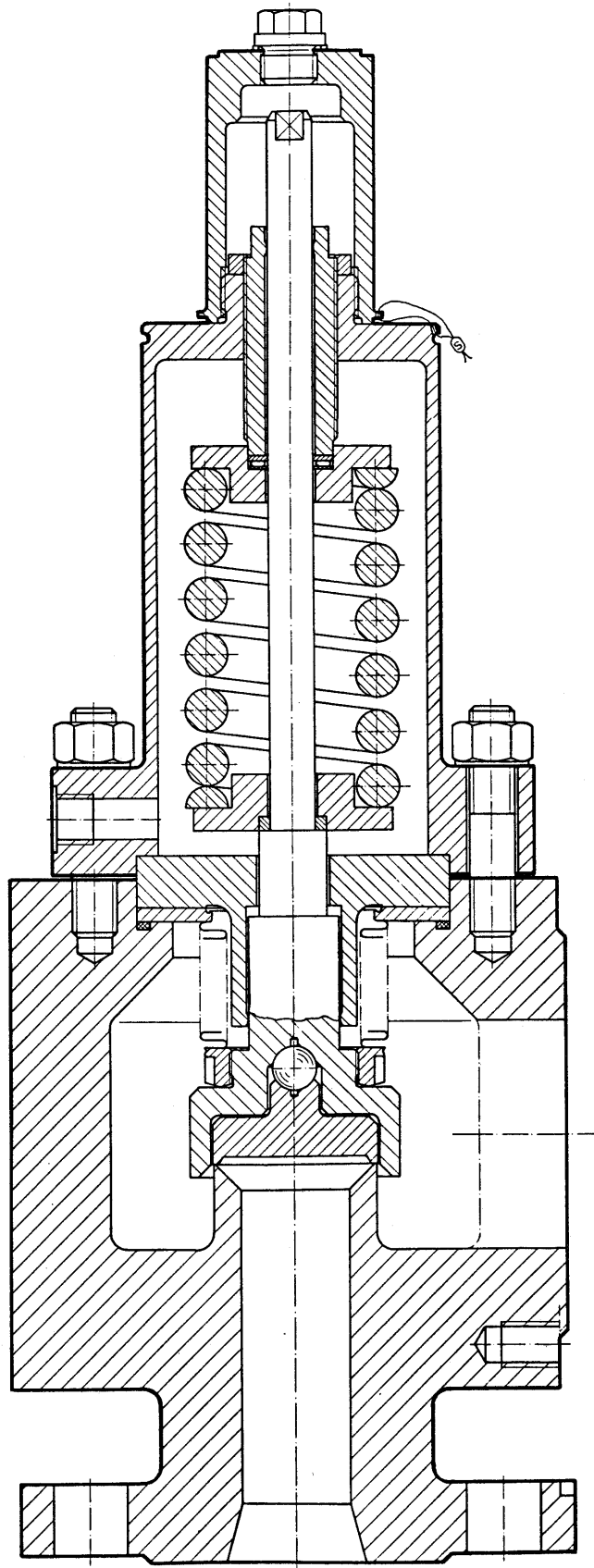
Dimensionslose Strömungskraft-Kurvenschar zur Beurteilung des Arbeitsverhaltens einer geometrisch ähnlichen Ventil-Baureihe

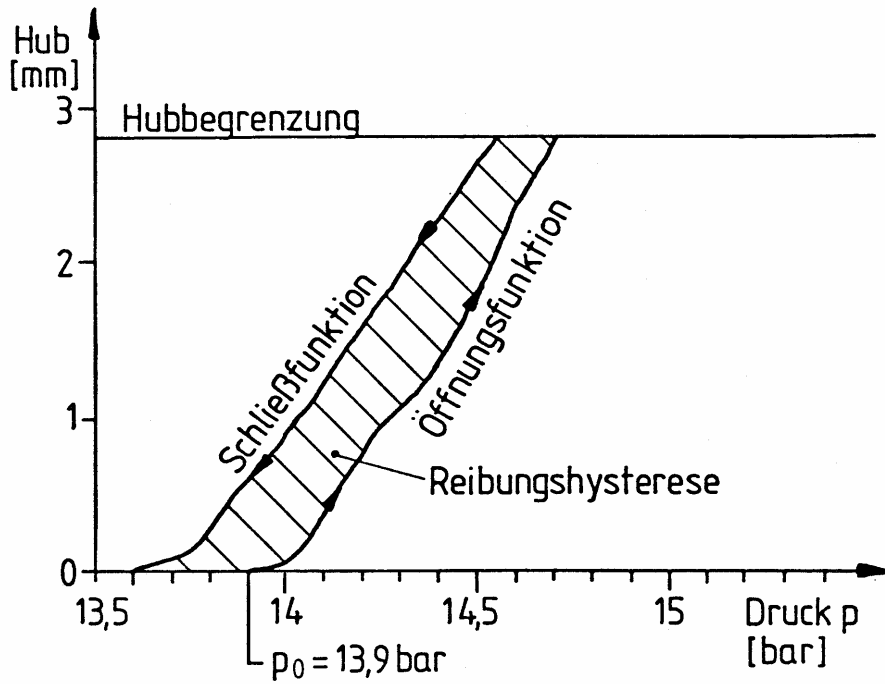




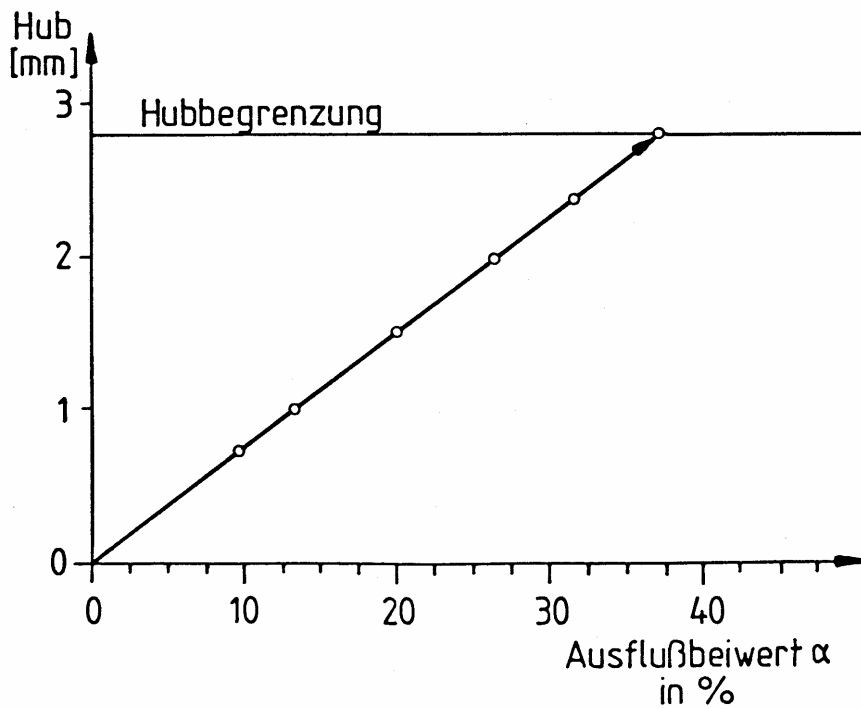


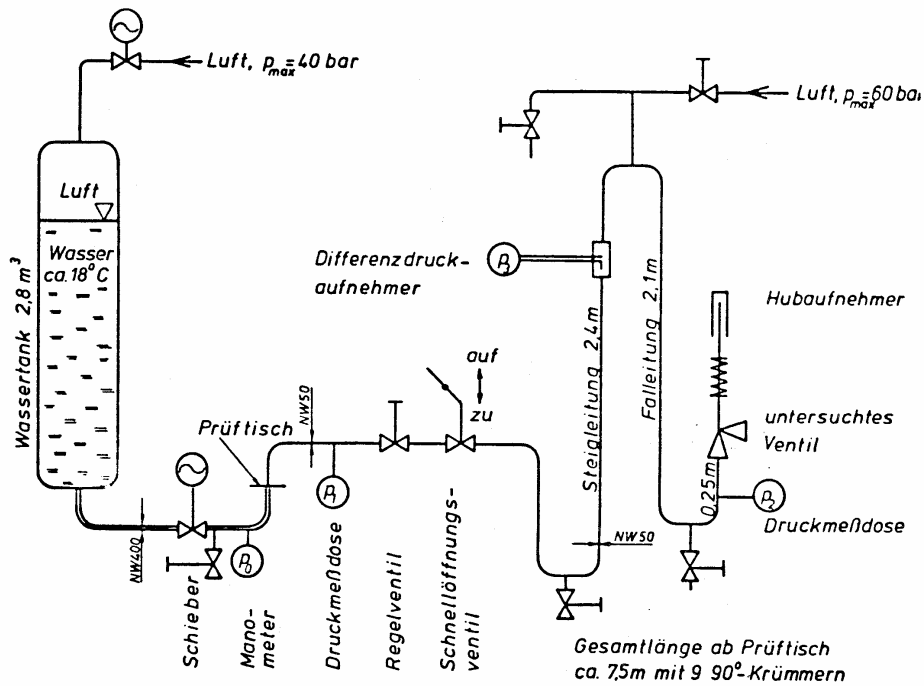




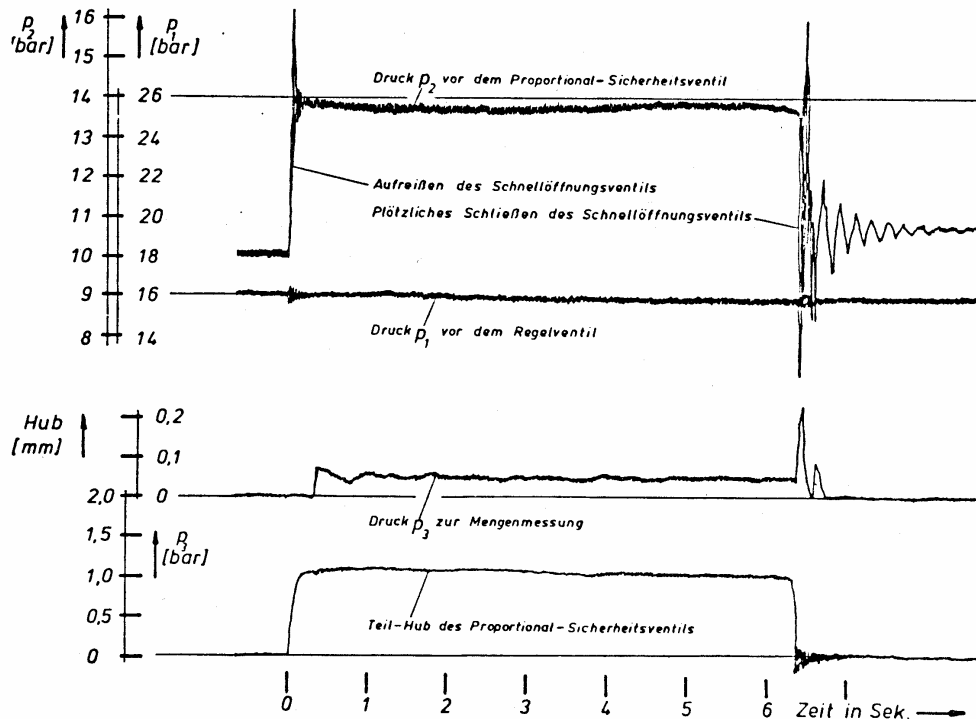


Öffnungsdifferenz = 4,3 % } bezogen auf p_0
 Schließdifferenz = 2,2 % }
 Engster Düsendurchmesser $D_0 = 28 \text{ mm}$

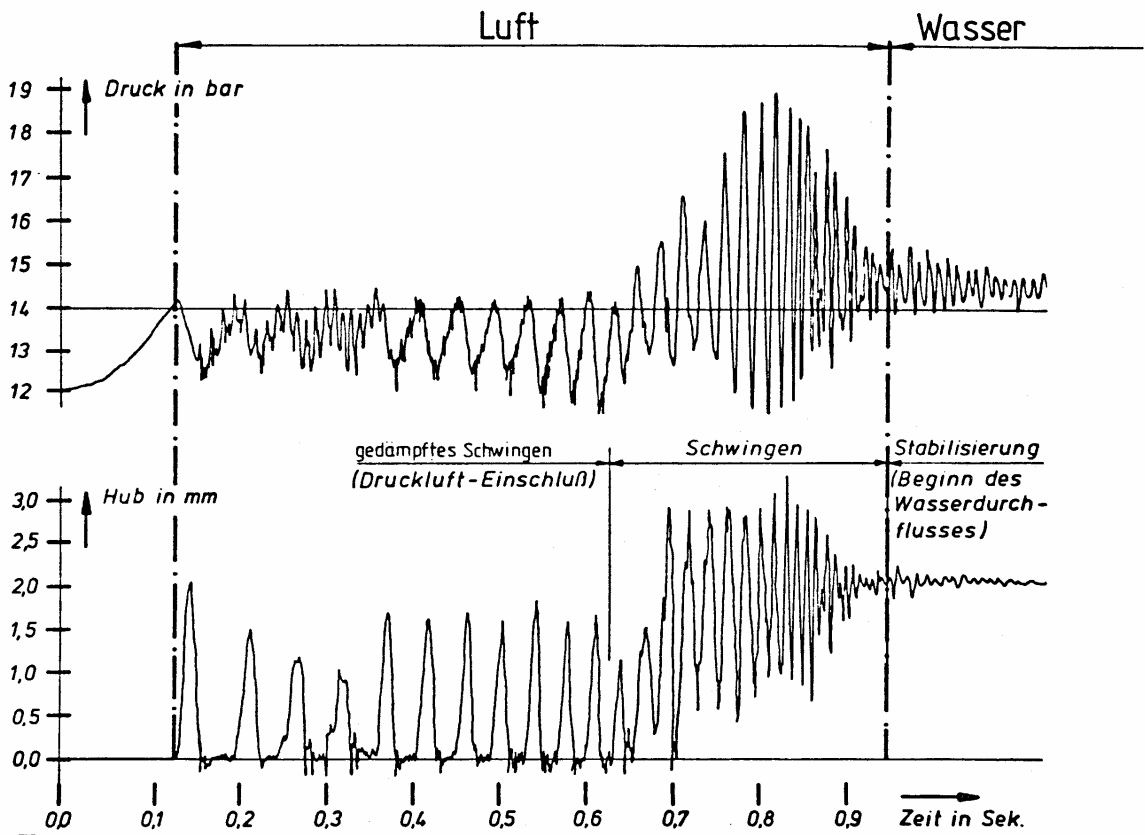




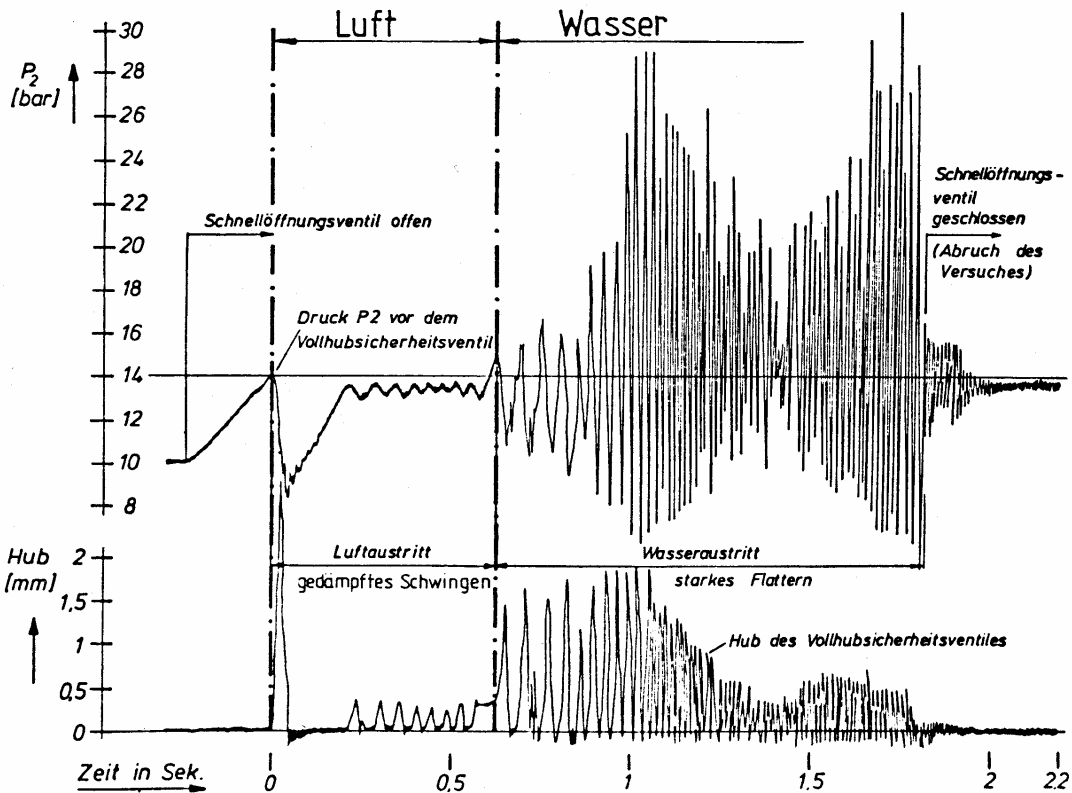
Versuchsaufbau



Funktionsversuch an einem Proportionalventil ohne Luftvorlage



Funktionsversuch an einem Proportionalventil



Funktionsversuch an einem Vollhubventil

