

VEREIN DEUTSCHER
INGENIEURE
VERBAND DEUTSCHER
ELEKTROTECHNIKER

Strömungstechnische Kenngrößen von Stellventilen und deren Bestimmung¹⁾

VDI/VDE 2173

Inhalt

	Seite
1 Allgemeines	2
1.1 Vorbemerkung	2
1.2 Gültigkeitsbereich	2
1.3 Zusammenstellung der benutzten Zeichen	2
2 Hub	2
2.1 Definition des Hubes	2
2.2 Nennhub	2
3 k_v -Werte	2
3.1 Definition des k_v -Wertes	2
3.2 Meßeinrichtungen	2
3.3 Meßverfahren und Auswertung	2
3.4 Definition von k_{v100} und Toleranz	3
4 Kennlinienform	3
4.1 Definition der Kennlinie	3
4.2 Grundformen von Kennlinien	3
4.3 Erreichte Kennlinien	3
5 Kennlinienneigung	3
5.1 Kennlinienneigung der Grundformen	3
5.2 Kennlinienneigung der erreichten Kennlinie	3
5.3 Toleranzen für die Kennlinienneigung n	3
6 Stellverhältnis	3
6.1 Definition des Stellverhältnisses k_{vs}/k_{vr}	3
6.2 Toleranz des Stellverhältnisses	4
7 Meßpunkte zur Ermittlung des Kennlinienverlaufes	4
8 Angabe der Kenngrößen auf dem Ventil	4
9 Beispiele für Kennlinienbilder	4

Diese Richtlinie wurde von der VDI/VDE-Fachgruppe Regelungstechnik im Unterausschuß „Stellglieder für strömende Stoffe“ des Ausschusses „Technik der Regelgeräte“ erarbeitet.

Der Unterausschuß besteht aus folgenden Herren:

Dr. R. Beck, Königstein (Taunus)	Dir. Dipl.-Ing. A. Krüßmann, Minden
Dipl.-Ing. H. Calame, Karlsruhe	Obering. O. Maichle, Ludwigshafen (Rhein)
Dipl.-Ing. G. Eifert, Stuttgart	Gerd Müller, Karlsruhe
Dr.-Ing. M. Hansen, Düsseldorf	Hans-J. Prieur, München
Dr.-Ing. G. Heinzmann, Düsseldorf (Geschäftsstelle der VDI/VDE-Fachgruppe Regelungstechnik)	Dipl.-Phys. H. G. Sanner, Ludwigshafen (Rhein)
Dr. K. Hengst, Ludwigshafen (Rhein)	Dipl.-Ing. U. Sauerbeck, Mannheim
Dr.-Ing. N. Jeschke, Frankfurt am Main	Dr.-Ing. Th. Schmidt, Essen
Obering. K. Kluge, Karlsruhe	Dipl.-Ing. Schröder-Babo, Frankfurt am Main
	Dipl.-Ing. F. G. Sponnagel, Hamburg (Vorsitz)

¹⁾ Mechanische Kenngrößen siehe Richtlinie VDI/VDE 2174 (in Vorbereitung)

VDI/VDE-Fachgruppe Regelungstechnik
Ausschuß Technik der Regelgeräte
Unterausschuß Stellglieder für strömende Stoffe

VDI/VDE-Handbuch Regelungstechnik

1 Allgemeines

1.1 Vorbemerkung

Der richtige Einsatz von Stellventilen wird erleichtert, wenn ihre Eigenschaften durch Messung ermittelt werden. Aus diesen Messungen lassen sich geeignete Kenngrößen ableiten, die das Durchflußverhalten des Stellventiles in Abhängigkeit vom Hub beschreiben.

1.2 Gültigkeitsbereich

Diese Richtlinie gilt vorerst nur für Stellventile mit Nennweiten NW 15 bis NW 200 und Sitzweiten von mindestens 10 mm.

1.3 Zusammenstellung der benutzten Zeichen

Zeichen	Benennung	Einheit (bzw. Bezugsgröße)
Δp	Druckverlust am Stellventil	kp/cm ²
Δp_o	Bezugswert für den Druckverlust am Stellventil	1 kp/cm ²
gl	Kennzeichen für gleichprozentige Kennlinie	-
ρ	Dichte des Meßstoffes	kg/m ³
ρ_o	Dichte des Bezugsstoffes	1 000 kg/m ³
H	Hub	mm
H_i	Hub bei i Prozent des Nennhubes	mm
H_{100}	Nennhub	mm
k_v	k_v -Wert	m ³ /h
k_{vr}	Niedrigster k_v -Wert, bei dem die Neigungstoleranz noch eingehalten wird	m ³ /h
k_{vs}	Vorgesehener k_v -Wert einer Bauserie bei Nennhub	m ³ /h
k_{vs}/k_{vr}	Stellverhältnis	-
k_{vs}/k_{vo}	Theoretisches Stellverhältnis	-
k_{vo}	Schnittpunkt der Kennlinien-Grundform mit der Ordinatenachse	m ³ /h
k_{v100}	k_v -Wert eines einzelnen Stellventiles bei Nennhub	m ³ /h
lin	Kennzeichen für lineare Kennlinie	-
n	Kennlinienneigung	-
n_{gl}	Neigung der gleichprozentigen Kennlinie	-
n_{lin}	Neigung der linearen Kennlinie	-
Q	Durchfluß durch das Stellventil	m ³ /h

2 Hub

2.1 Definition des Hubes

Der Stellweg des Drosselkörpers in mm, gemessen ab Schließstellung, wird als Hub H bezeichnet.

2.2 Nennhub

Für jede Bauserie von Stellventilen wird ein Nennhub H_{100} angegeben, bei dem das Ventil als voll geöffnet zu betrachten ist.

3 k_v -Werte

3.1 Definition des k_v -Wertes

Unter k_v -Wert versteht man den Durchfluß in m³/h von Wasser bei 5 bis 30 °C²⁾, der bei einem Druckverlust von 1 kp/cm² durch das Stellventil bei dem jeweiligen Hub H hindurchgeht.

Somit ist der k_v -Wert ein auf die genannten Einheitsbedingungen bezogener Durchfluß.

Der k_v -Wert ist durch Messungen bei einer bestimmten Durchflußrichtung zu ermitteln.

3.1.1 Definition des k_{vs} -Wertes

Für die Kennzeichnung von Ventiltypen (Bauserien) wird ein Wert k_{vs} angegeben, der den vorgesehenen k_v -Wert beim Nennhub H_{100} des Ventiles darstellt.

3.2 Meßeinrichtungen

3.2.1 Anschlußleitungen

Die lichte Weite D der Anschlußrohrleitungen soll den lichten Weiten der Anschlüsse des Stellventiles entsprechen. Die Rohre sollen von einwandfreier Oberflächenbeschaffenheit sein (handelsübliches Rohr in technisch glattem Zustand).

3.2.2 Ein- und Auslaufstrecken

Die ungestörte gerade Einlaufstrecke muß mindestens 20 D, die gerade Auslaufstrecke mindestens 15 D, vom Prüfling aus gemessen, betragen.

3.2.3 Druckentnahme

Die Stellen der Druckentnahme müssen von den Anschlußflanschen des Ventiles

im Einlauf 1 D
im Auslauf 10 D

entfernt sein.

Der Druckverlust dieser Rohrabschnitte von 11 D geht in die Messung ein. Er ist durch Messung zu ermitteln und bei der Bestimmung der k_v -Werte zu berücksichtigen³⁾.

3.3 Meßverfahren und Auswertung

Die k_v -Werte sollen möglichst durch eine Messung bei 1 kp/cm² Druckverlust mit Wasser von 5 bis 30 °C ermittelt werden und sind in m³/h anzugeben.

Bei der Messung muß darauf geachtet werden, daß das Ventil und auch die Anschlußrohrleitungen völlig mit Wasser gefüllt sind.

²⁾ Allgemein: Bei einer Flüssigkeit der Dichte $\rho \approx 1\,000\text{ kg/m}^3$ und der kinematischen Viskosität $\nu \approx 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$.

³⁾ In der Praxis kann in den meisten Fällen auf diese Korrektur verzichtet werden.

Sollte die Bestimmung bei einem Druckverlust von 1 kp/cm^2 mit Wasser nicht möglich sein, so sind auch Messungen unter anderen Bedingungen zulässig.

Hierbei soll jedoch der Druckverlust zwischen $0,35 \text{ kp/cm}^2$ und $1,0 \text{ kp/cm}^2$ liegen, damit die Gültigkeit der folgenden Unrechnungsformel gewährleistet ist. Dann gilt

$$k_v = Q \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_o}{\Delta p}} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\rho_o}}$$

3.4 Definition von k_{v100} und Toleranz

Der k_v -Wert des Ventiles beim Nennhub wird k_{v100} genannt. Er darf nicht mehr als $\pm 10\%$ von dem angegebenen Wert k_{vs} abweichen.

4 Kennlinienform

4.1 Definition der Kennlinie

Unter der Ventilkennlinie versteht man die Abhängigkeit des k_v -Wertes vom Hub H ⁴⁾. Damit eine einheitliche Darstellung erreicht wird, sind die k_v -Werte in Prozent von k_{vs} und der Hub in Prozent des Nennhubes H_{100} anzugeben.

Es ist zu unterscheiden zwischen der bei der Konstruktion angestrebten Grundform, welche meist eine einfache mathematische Beschreibung zuläßt und der wirklich erreichten Kennlinie.

4.2 Grundformen von Kennlinien

Von den beliebig möglichen Kennlinienformen haben sich als technisch besonders wichtig herausgestellt:

- a) die gleichprozentige Kennlinie,
- b) die lineare Kennlinie.

4.2.1 Gleichprozentige Kennlinie

Die gleichprozentige Kennlinie ist dadurch gekennzeichnet, daß zu gleichen Hubänderungen gleiche prozentuale Änderungen des jeweiligen k_v -Wertes gehören. Trägt man also zur Darstellung der Grundform k_v/k_{vs} in logarithmischem Maßstab über dem Hub H/H_{100} in linearem Maßstab auf, so erhält man eine Gerade, welche die Ordinatenachse bei einem Wert k_{vo}/k_{vs} schneidet. Die Gleichung der Kennlinie lautet

$$\frac{k_v}{k_{vs}} = \frac{k_{vo}}{k_{vs}} \cdot \exp\left(n_{gl} \frac{H}{H_{100}}\right)$$

Wegen der Kennlinienneigung n_{gl} siehe Abschn. 5.

4.2.2 Lineare Kennlinie

Die lineare Kennlinie ist dadurch gekennzeichnet, daß zu gleichen Hubänderungen gleiche Änderungen des k_v -Wertes gehören, Trägt man also zur Darstellung der Grundform k_v/k_{vs} über dem Hub H/H_{100} (beides in linearem Maßstab) auf, so erhält man eine

⁴⁾ Die Definition der Ventilkennlinie $k_v/k_{vs} = f(H/H_{100})$ setzt Wasser als strömenden Stoff und konstanten Druckverlust am Stellventil von 1 kp/cm^2 bei allen Ventilstellungen voraus. Bei der Anwendung eines Stellventiles in der Regelstrecke ist beides meist nicht der Fall. Die sich dort ergebende Durchflußkennlinie $Q = f(H)$ beschreibt daher etwas ganz anderes (vgl. hierzu Richtlinie VDI/VDE 3502 Dampferzeuger-Regelung; Trommelwasserstand-Regelung). Ihre Ermittlung aus der Ventilkennlinie für gegebene Betriebsbedingungen ist nicht Gegenstand dieser Richtlinie.

Gerade, welche die Ordinatenachse bei einem Wert k_{vo}/k_{vs} schneidet. Die Gleichung der Kennlinie lautet

$$\frac{k_v}{k_{vs}} = \frac{k_{vo}}{k_{vs}} + n_{lin} \cdot \frac{H}{H_{100}}$$

Wegen der Kennlinienneigung n_{lin} siehe Abschn. 5.

4.3 Erreichte Kennlinien

Die erreichten Kennlinien ausgeführter Ventile können nur bis zu einem gewissen Grade der angestrebten Grundform entsprechen. Insbesondere weichen sie in der Nähe des Schließpunktes erheblich davon ab. Für die zulässigen Abweichungen werden in Abschn. 5.3 Toleranzen angegeben.

5 Kennlinienneigung

5.1 Kennlinienneigung der Grundformen

Für die in 4.2 erklärten Grundformen läßt sich die Kennlinienneigung angeben durch die Beziehungen

- a) für gleichprozentige Kennlinie:

$$n_{gl} = \ln \frac{k_{vs}}{k_{vo}}$$

- b) für lineare Kennlinie:

$$n_{lin} = 1 - \frac{k_{vo}}{k_{vs}}$$

Zur Kennzeichnung der Grundformen genügt die Angabe gleichprozentig „gl“ oder linear „lin“ und des theoretischen Stellverhältnisses k_{vs}/k_{vr} .

5.2 Kennlinienneigung der erreichten Kennlinie

Für den wirklichen Verlauf der Kennlinie ist die Kennlinienneigung in jedem Punkt gegeben:

- a) für gleichprozentige Ventile durch

$$n_{gl} = \frac{H_{100}}{dH} \cdot \frac{dk_v}{k_v}$$

- b) für lineare Ventile durch

$$n_{lin} = \frac{H_{100}}{dH} \cdot \frac{dk_v}{k_{vs}}$$

5.3 Toleranzen für die Kennlinienneigung n

Die Kennlinienneigung n darf über einen möglichst großen Hubbereich, mindestens aber von H_{100} bis H_{10} nicht mehr als $\pm 30\%$ von der Kennlinienneigung der angegebenen Grundform abweichen.

6 Stellverhältnis

6.1 Definition des Stellverhältnisses k_{vs}/k_{vr}

Nach 3.4 und 5.3 muß die Kennlinie bei $k_{vs} \pm 10\%$ und Nennhub H_{100} beginnen und bis mindestens Hub H_{10} innerhalb der Neigungstoleranz verlaufen. Unterhalb eines Mindesthubes, der höchstens bei H_{10} liegen darf, kann die Neigungstoleranz praktisch nicht mehr eingehalten werden.

Der kleinste k_v -Wert, welcher die Bedingung der Neigungstoleranz erfüllt, wird mit k_{vr} bezeichnet. Das Stellverhältnis ist definiert als k_{vs}/k_{vr} .

6.2 Toleranz des Stellverhältnisses

Der Wert des Stellverhältnisses eines Ventils darf den für die Bauserie angegebenen Wert um höchstens 10% unterschreiten.

7 Meßpunkte zur Ermittlung des Kennlinienverlaufes

Um eine einheitliche Bestimmung der Kenngröße zu ermöglichen, empfiehlt es sich, Vereinbarungen über die Zahl der Meßpunkte zur Bestimmung der Kennlinien zu treffen. Wird zwischen Hersteller und Verbraucher nichts anderes vereinbart, so werden Meßpunkte im Abstand von 10% des Nennhubes und zusätzlich ein Meßpunkt bei einem Hub von 5% als notwendig angesehen.

Folgende Vereinfachung kann dabei benutzt werden:

Überschreitet die Neigung der Verbindungslinie zwischen den Meßpunkten bei 5 und 10% des Nennhubes die Neigungstoleranz, so liegt der Punkt, bei dem die Kennlinie das Neigungsfeld verläßt, in diesem Bereich. Man kann den genauen Punkt und damit den Wert von k_{VR} durch weitere Messungen noch ermitteln. Es ist jedoch ausreichend, wenn man den Mittelwert der k_V -Werte bei 5 und 10% Hub als k_{VR} ansieht.

Ist die Neigung der Verbindungslinie noch innerhalb der Neigungstoleranz, so genügt es, den k_V -Wert bei Hub 5% als k_{VR} anzunehmen.

8 Angabe der Kenngrößen auf dem Ventil

Für die Kennzeichnung des Durchflußverhaltens des Ventils werden folgende Angaben benötigt:

1. k_{VS}
2. Grundform der Kennlinie:
z. B. gl (gleichprozentig)
oder lin (linear)
3. Theoretisches Stellverhältnis k_{VS}/k_{VO}
4. Stellverhältnis k_{VS}/k_{VR} .

Diese Kennwerte sollen auf dem Typenschild angegeben werden. Die Form der Angaben ist aus Bild 1 und 2 ersichtlich.

9 Beispiele für Kennlinienbilder

Die Bilder 1 und 2 zeigen als Beispiele jeweils die Grundform der Kennlinie, die erreichte Kennlinie, die Richtungslinien für die maximal und minimal zulässige

Neigung sowie jeweils ein Beispiel für eine Kennlinie, die den Toleranzforderungen genügt. Bild 1 gilt für gleichprozentige Kennlinien, Bild 2 für lineare Kennlinien.

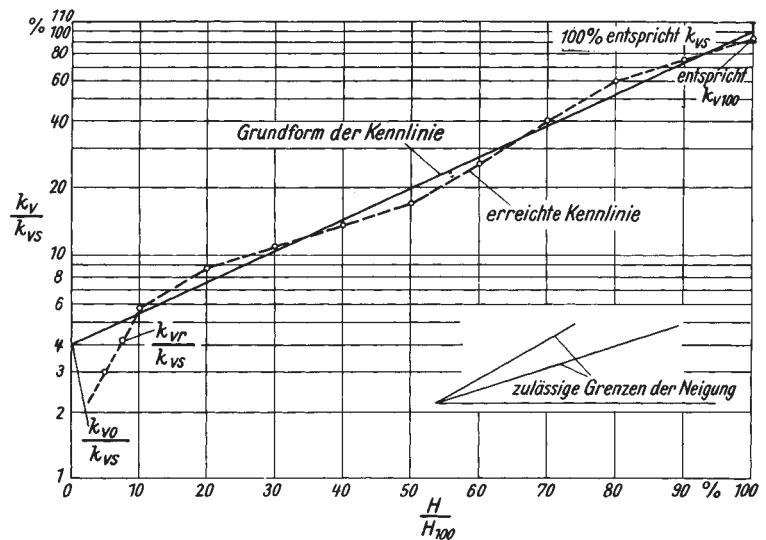


Bild 1. Beispiel für eine gleichprozentige Kennlinie

Die k_V -Werte sind entsprechend 4.1 in Prozenten von k_{VS} aufgetragen. Die ausgezogene Linie ist die Grundform der Kennlinie. Sie ist unabhängig vom Betrag von k_{VS} und gekennzeichnet durch die Angabe „gl 25“, d. h. $k_{VS}/k_{VO} = 25$. Die gestrichelte Linie ist eine mit einem Stellventil wirklich erreichte Kennlinie. Sie verläuft innerhalb der Neigungstoleranz zwischen 100% und 10% des Nennhubes und ist somit zulässig im Sinne dieser Richtlinie. $k_{VR}/k_{VS} = 4,2\%$ ist nach 7. durch Interpolation gefunden. Die Angaben auf einem Stellventil mit dieser Kennlinie und einem k_{VS} -Wert von beispielsweise 120 müssen lauten:

$k_{VS} 120 - gl 25 - 24$

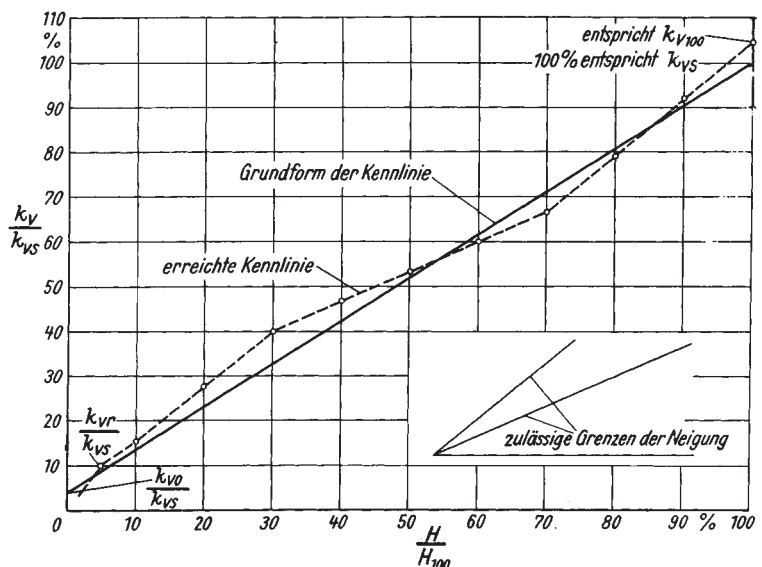


Bild 2. Beispiel für eine lineare Kennlinie

Die k_V -Werte sind entsprechend 4.1 in Prozenten von k_{VS} aufgetragen. Die ausgezogene Linie ist die Grundform der Kennlinie. Sie ist unabhängig vom Betrag von k_{VS} und gekennzeichnet durch die Angabe „lin 25“, d. h. $k_{VS}/k_{VO} = 25$. Die gestrichelte Linie ist eine mit einem Stellventil wirklich erreichte Kennlinie. Sie verläuft innerhalb der Neigungstoleranz zwischen 100% und 10% des Nennhubes und ist somit zulässig im Sinne dieser Richtlinie.

$k_{VR}/k_{VS} = 10\%$ liegt in diesem Falle nach 7. bei 5% des Nennhubes. Die Angaben auf einem Stellventil mit dieser Kennlinie und einem k_{VS} -Wert von beispielsweise 50 müssen lauten:

$k_{VS} 50 - lin 25 - 10$