# *Druckverluste in thermostatischen Heizkörperventilen*

**Allgemeines:**

Ein Thermostatventil muss zwei eventuell bis zu vier Aufgaben erfüllen:

1. Absperrung des Heizkörpers,
2. Regelung der Raumtemperatur durch Drosselung des Volumenstroms,
3. Einmalige Einstellung des notwendigen Volumenstroms, der im Auslegungsfall durch den Heizkörper fließen soll (Voreinstellung später),
4. Frostschutzsicherung für den Heizkörper und seine Rohranschlussleitungen oder Grundtemperierung (nur erfüllbar, wenn Heizung läuft!).

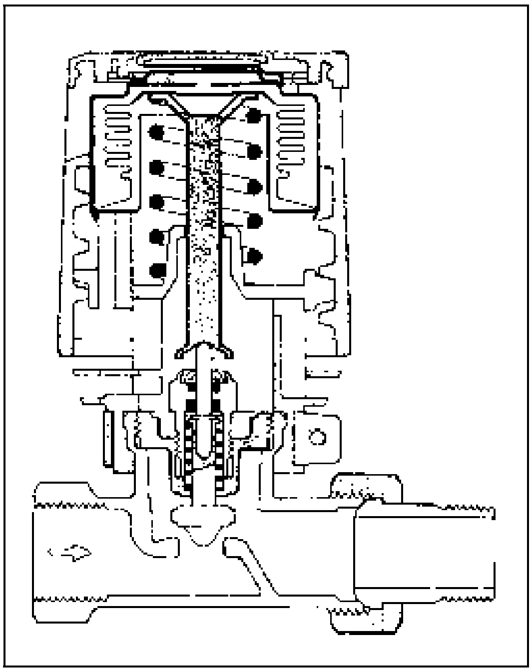

Bild 1: Schematische Darstellung eines Thermostatventils

Auf das regeltechnische Verhalten von Thermostatventilen und die richtige Auswahl wird später ausführlich eingegangen. Die Ermittlung des Druckverlustes eines Thermostatventils erfolgt entweder an Hand eines Diagramms $\Delta p = f(\dot{V})$ oder heute immer mehr über den $k_V$-Wert, den die Hersteller in Katalogen für die einzelnen Ventile ausweisen. Daher wird im folgenden eine kurze Einführung in den Problemkreis „HK-Thermostatventile“ gegeben.

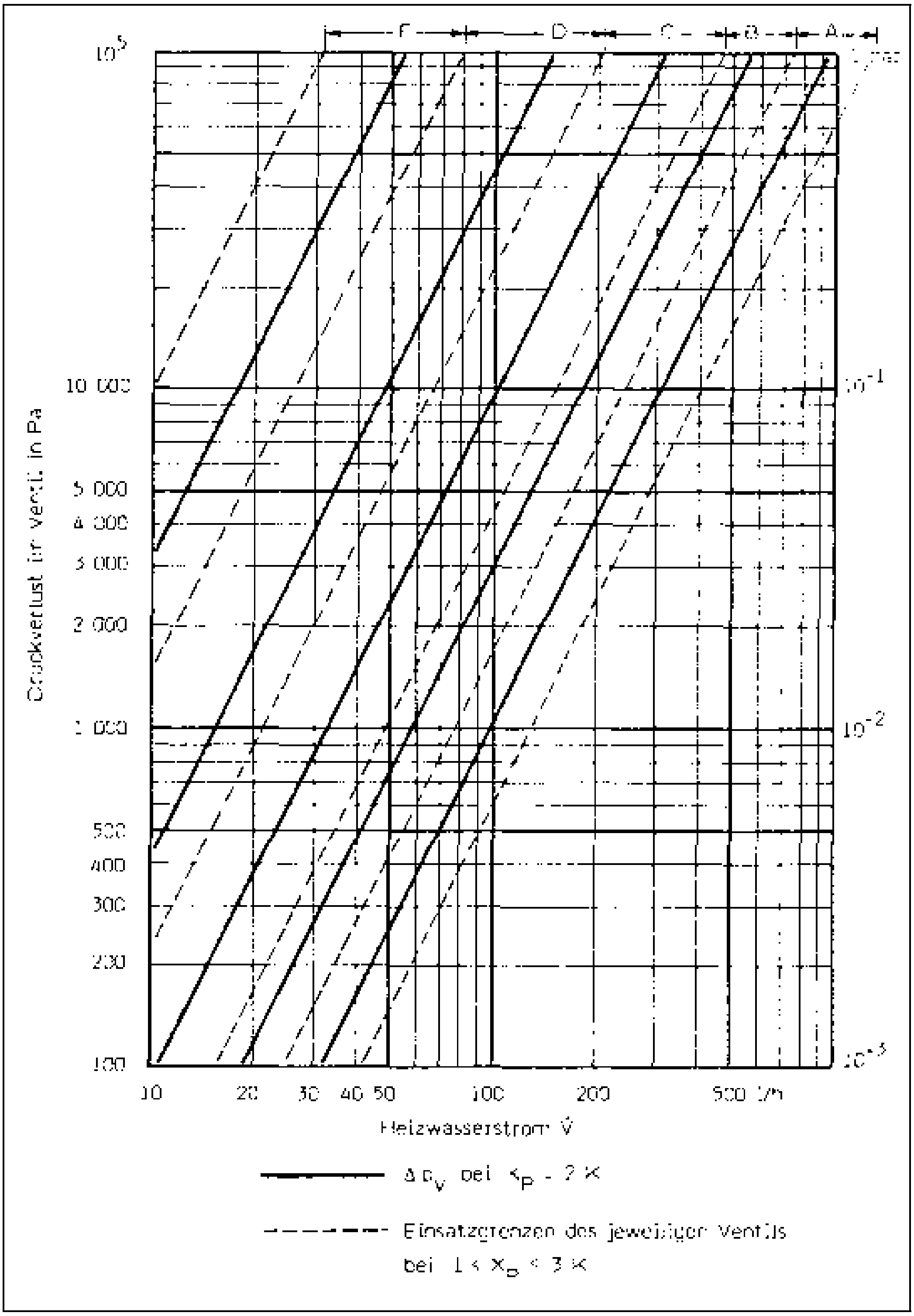


Bild 2: Beispiel eines Auslegungsdiagramms für thermostatische Heizkörperventile

**Heizkörper - Thermostatventile**

Heizkörper-Thermostatventile dienen zur raumweisen Temperaturregelung und sollen zur Energieeinsparung beitragen, indem sie Überheizung vermeiden und Fremdwärme (z.B. durch Sonneneinstrahlung, Haushaltsgeräte, Beleuchtungskörper) ausnutzen.

Thermostatventile sind proportional wirkende Regler. „Proportional"-Regelung bedeutet, dass im Beharrungszustand jeder Raumtemperatur ein ganz bestimmter Hub zugeordnet ist. Ändert sich durch eine Störung, z.B. durch Sonneneinstrahlung, die momentane Raumtemperatur, so wird im Regelventil (durch Ausdehnung des im Temperaturfühler enthaltenen Stoffs) eine Hubänderung bewirkt, in diesem Fall eine Verkleinerung des Hubs.

Das Ventil vermindert durch Verringerung des Heizwasserstroms die Wärmeleistung des Heizkörpers so weit, dass sich ein neues Gleichgewicht zwischen den Wärmeverlusten des Raumes einerseits und der Wärmezufuhr durch Heizwasser und (z. B.) Sonnenwärme andererseits einstellt. Es wird so ein übermäßiges Ansteigen der Raumtemperatur verhindert. Da aber der kleinere Hub einer etwas höheren Raumtemperatur zugeordnet ist („proportionales Regelverhalten"), kann der Regler den Unterschied zwischen der gewünschten Raumtemperatur (dem Sollwert) und dem sich in dem neuen Gleichgewichtszustand ergebenden Istwert der Raumtemperatur nicht vollständig beseitigen; es stellt sich eine „bleibende Regelabweichung" ein. Dies ist ein charakteristisches Merkmal eines P-Reglers.

Wichtige Kenngrößen eines thermostatischen Heizkörperventils sind:

- Proportional-Bereich (P-Bereich)
- Ventilkenngröße ($k_V$-Wert)
- Ventilautorität (wird später behandelt)
- maximaler Differenzdruck (wird später behandelt)

Der Proportionalbereich, richtiger der Auslegungsproportionalbereich ist die Temperaturänderung, die nötig ist, damit das Ventil so weit öffnet, dass der Volumenstrom, ausgehend vom Wert Null, in den Auslegungsvolumenstrom geändert wird (s. Bild 45). Bei dem eingetragenen Beispiel ist das Ventil bei 22 °C Raumtemperatur geschlossen und bei 20 °C so weit geöffnet, dass der Auslegungsvolumenstrom (das ist der Wert, der mit der gewählten Spreizung am Heizkörper aus dem Normwärmebedarf berechnet wird) erreicht wird; der Auslegungsproportionalbereich ist hier 2 K. Je kleiner er ist, desto geringer wird die bleibende Regelabweichung sein, d.h. desto genauer ist die Regelung. Er darf allerdings nicht zu klein werden, sonst wird die Regelung instabil, d.h. eine auch nur annähernd konstante Raumtemperatur lässt sich nicht mehr einhalten. Erfahrungen der Praxis haben gezeigt, dass der Auslegungsproportionalbereich nicht kleiner als 1 K sein soll und mit etwa 2 K am günstigsten liegt.

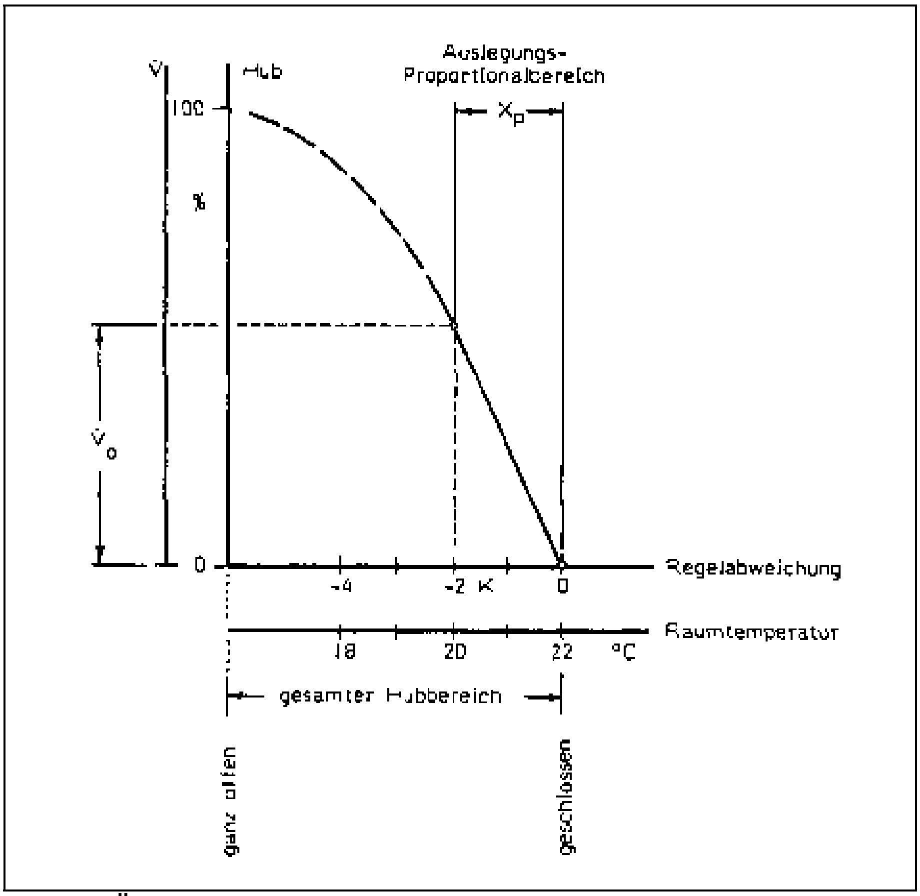


Bild 3: Öffnungskennlinie eines thermostatischen Heizkörperventils

Die Ventilkenngröße $k_V$ kennzeichnet den Volumenstrom $\dot{V}_0$, der durch ein Ventil bei bestimmten Betriebsbedingungen fließt. Es sind dies

1. eine Druckdifferenz am Ventil von $\Delta p_0$ = 1,0 bar = $10^5$ Pa,
2. ein bestimmter Ventilhub oder eine bestimmte Regelabweichung (P-Abweichung) und wenn
3. Wasser mit einer Dichte von $\rho_0$ = 1000 kg/m³ ansteht.
4. Oder anders ausgedrückt: Der $k_V$-Wert ist gleich dem Volumenstrom $\dot{V}_0$ in m³/h, der sich bei einem Druckunterschied zwischen Ein- und Ausgang eines Ventils von 1 bar (Druckverlust $\Delta p_0$ = 1,0 bar) bei einem bestimmten Hub ergibt und wenn Wasser mit $\rho_0$ = 1000 kg/m³ ansteht.

Da der Volumenstrom $\dot{V}$ vom Hub H abhängt, ist der $k_V$-Wert nicht *ein* Wert, sondern eine Funktion des Hubes. Der $k_{VS}$-Wert ist der $k_V$-Wert (Serienwert) bei vollständiger Öffnung (bei $H_{100}$) bei den oben genannten Bedingungen.

Der Druckverlust eines Ventils $\Delta p_V$ kann durch folgende Gleichung ermittelt werden:

$$\Delta p_V = \zeta_V \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2$$

In obiger Gleichung wird die Strömungsgeschwindigkeit w durch den Volumenstrom $\dot{V}$ ersetzt:

$$\dot{V} = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot w \qquad \text{bzw.} \qquad w = \dot{V} \cdot \frac{4}{d^2 \cdot \pi}$$

Setzt man den Ausdruck für w in die Gleichung für $\Delta p_V$ ein, so erhält man:

$$\Delta p_V = \zeta_V \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \dot{V}^2 \cdot \left( \frac{4}{d^2 \cdot \pi} \right)^2$$

Diese Gleichung wird für den Fall umgeformt, dass der Druckverlust im Ventil genau 1 bar (=$\Delta p_0$) beträgt und die Dichte des hindurchströmenden Wassers genau $\rho_0$ = 1000 kg/m³ gewählt wird. Setzt man dabei voraus, dass der Hub des Ventils sich zwischen dem minimalen und dem maximalen Hub befindet, so entspricht der Volumenstrom dem $k_V$-Wert:

$$\Delta p_0 = \zeta_V \cdot \frac{\rho_0}{2} \cdot {k_V}^2 \cdot \left( \frac{4}{d^2 \cdot \pi} \right)^2$$

Teilt man die Gleichung für $\Delta p_V$ durch die Gleichung für $\Delta p_0$, so erhält man:

$$\frac{\Delta p_V}{\Delta p_0} = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot \frac{\dot{V}^2}{{k_V}^2}$$

Diese Gleichung wird nun nach dem Volumenstrom $\dot{V}$, dem $k_V$-Wert und nach $\Delta p_V$ aufgelöst:

$$\dot{V} = k_V \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_V}{\Delta p_0} \cdot \frac{\rho_0}{\rho}}$$

$$k_V = \dot{V} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_0}{\Delta p_V} \cdot \frac{\rho}{\rho_0}}$$

$$\Delta p_V = \frac{\dot{V}^2}{{k_V}^2} \cdot \frac{\rho}{\rho_0} \cdot \Delta p_0$$

mit:
$\Delta p_0$ = 1 bar
$\rho_0$ = 1000 kg/m³

Bild 4 zeigt beispielhaft für verschiedene Thermostatventile eines bestimmten Herstellers den Zusammenhang zwischen $k_V$-Wert und P-Abweichung. Daraus lässt sich z.B. ablesen, dass für das Ventil vom Typ „B“ $k_V$ = 0,58 m³/h ist, bei einer P-Abweichung von 2 K. Weiter ist zu erkennen, dass bei $X_P \geq 4{,}5$ K die Ventilkenngröße ihren Maximalwert von 0,8 m³/h erreicht; das ist der $k_V$-Wert bei vollständig geöffnetem Ventil, der als $k_{VS}$-Wert bezeichnet wird.

Der $k_{VS}$-Wert gibt den Nennbetrag des $k_V$-Wertes bei vollständig geöffnetem Ventil an (Serienwert).

Die Abhängigkeit der Ventilkenngröße von der P-Abweichung, wie in Bild 46 beispielhaft dargestellt, ist fabrikatabhängig. Der Planer ist daher auf die Planungsunterlagen der Ventilhersteller angewiesen.

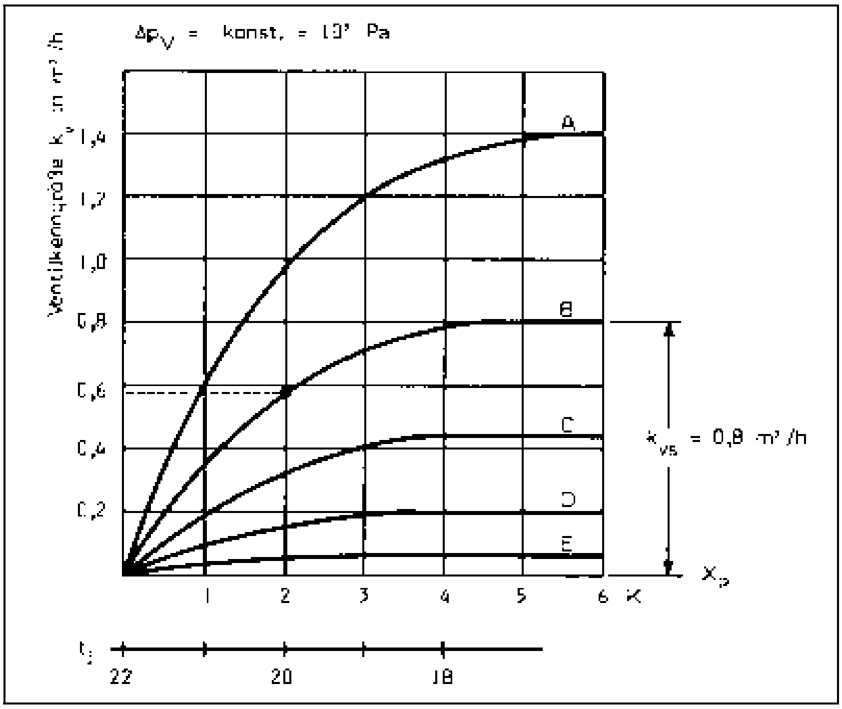

Bild 4: Beispiele für Ventilkennlinien

Bei der Berechnung von Heizungsnetzen sind im allgemeinen bei der Auslegung der Thermostatventile $\dot{V}\,(\dot{m})$ und $\Delta p_V$ vorgegeben oder letzterer Wert nach bestimmten Kriterien zu wählen. Dann kann $k_V$ bestimmt werden und das entsprechende Thermostatventil unter der bei Heiznetzen üblichen Vorgabe DN-Rohr = DN-Ventil aus Katalogen ausgewählt werden.

Dabei ist noch zu beachten, dass es folgende Typen gibt:

1. Ventile mit festem $k_{VS}$-Wert,
2. Ventile, die durch Wechsel des Ventilkegels mehrere, dann aber feste $k_{VS}$-Werte bei einer Nennweite besitzen (=voreinstellbar in Stufen durch Kegelauswechselung),
3. Ventile, deren $k_{VS}$-Werte in Stufen oder stufenlos einstellbar sind.

Z.B. das in Bild 3 dargestellte Thermostatventil ist ein Ventil mit festem $k_{VS}$-Wert.
Das Ventil Typ C hat bei $\dot{m}$ = 50 kg/h ($\equiv \dot{V} = 0{,}050\,\mathrm{m}^3/\mathrm{h}$) und $\Delta p$ = 2400 Pa einen $k_V$-Wert von

$$k_V = 0{,}050\,\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{h}} \cdot \sqrt{\frac{100000\,\mathrm{Pa}}{2400\,\mathrm{Pa}} \cdot \frac{1000\ \mathrm{kg/m^3}}{1000\ \mathrm{kg/m^3}}} \Rightarrow \qquad k_V = 0{,}32\ \mathrm{m^3/h} \text{ bei } X_P = 2\ \mathrm{K}$$

**Zusammenhang zwischen ζ-Wert und $k_V$-Wert**

Für den Druckverlust gilt laut Definition mit $k_V$-Wert:

$$\Delta p = \Delta p_E \cdot \frac{\rho}{\rho_E} \cdot \frac{\dot{V}^2}{k_V{}^2}$$
$$= \frac{\Delta p_E}{\rho_E} \cdot \frac{\rho}{k_V{}^2} \cdot \frac{\pi^2 \cdot d^4}{16} \cdot w^2$$
$$= \frac{\Delta p_E}{\rho_E} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \frac{\pi^2 \cdot d^4}{k_V{}^2 \cdot 8} \cdot w^2$$

Die Definition mit Zeta-Wert ist folgende:

$$\Delta p = \zeta \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2$$

Daraus folgt der Zusammenhang:

$$\zeta = \frac{1\,\text{bar}}{1000\ \text{kg}/\text{m}^3} \cdot \frac{\pi^2 \cdot d^4}{8} \cdot \frac{1}{k_V{}^2} \qquad \text{bzw.} \qquad k_V = \sqrt{\frac{1\,\text{bar}}{1000\ \text{kg}/\text{m}^3} \cdot \frac{\pi^2 \cdot d^4}{8} \cdot \frac{1}{\zeta}}$$

Quelle: Datenpool IfHK, FH Wolfenbüttel