

# Durchgangsventile als Stell- und Regelventile

## 1. Einsatz und Grundkennlinien von linearen Ventilen

lineare Ventile bevorzugt für reine Mischtemperaturregelstrecken

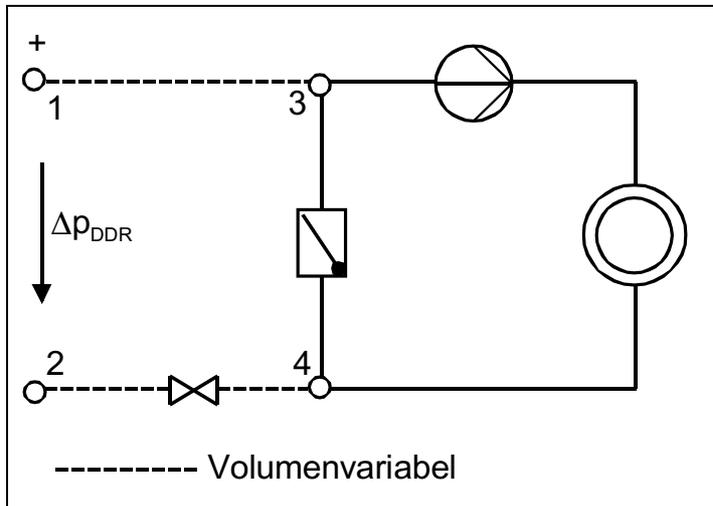


Abbildung 1 Beispiel Wärmeübergabe in Fernwärmeanwendungen

Direkte Wärmeübergabe ohne Wärmeübertrager zwischen Mess- und Stellort. Lineares Ventil mit hoher Ventilautorität anwenden.

$$a_v = \frac{\Delta p_{V100}}{\Delta p_{V100} + \Delta p_{\text{vol var } 100}} = \frac{\Delta p_{V100}}{\Delta p_{V100} + \Delta p_{RL13,24}} \quad \text{Ventilautorität für diese Anwendung}$$

Hohe  $a_v$ -Werte sind fast immer gegeben, denn die Leitungen haben meist geringe Druckverluste gegenüber den Ventilen.

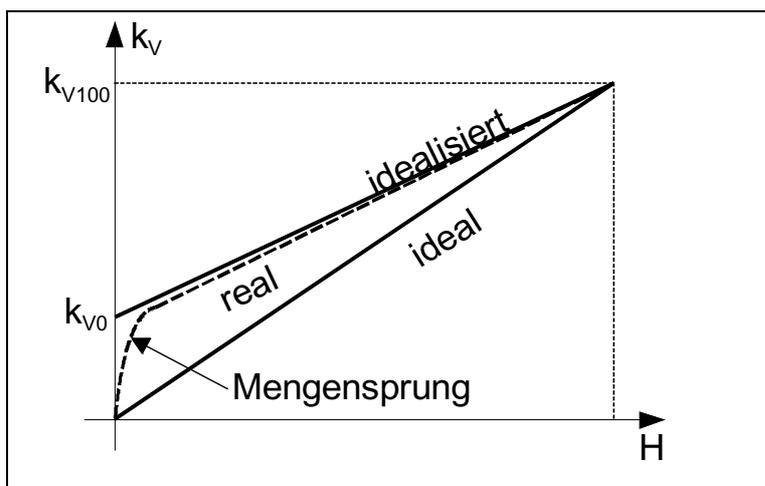


Abbildung 2 Grundkennlinie eines linearen Ventils

$$\frac{k_v}{k_{v100}} = \frac{H}{H_{100}} \quad \text{die lineare Grundkennlinie (ideal)}$$

$$\frac{k_v}{k_{v100}} = \frac{k_{v0}}{k_{v100}} + n_{lin} \cdot \frac{H}{H_{100}} \quad \text{die lineare Grundkennlinie (idealisiert)}$$

Im Folgenden wird – wenn nicht anders angegeben – mit der idealen Kennlinie gerechnet.

$$S_{v0} = \frac{k_{vs}}{k_{v0}} \quad \text{Stellverhältnis}$$

## 2. Einsatz und Grundkennlinien von gleichprozentigen Ventilen

Gleichprozentige Ventile werden bevorzugt für Kombinationen von Regelventil und Wärmeübertrager.

Beispiel: Wärmeübergabe in Fernwärmeanwendungen

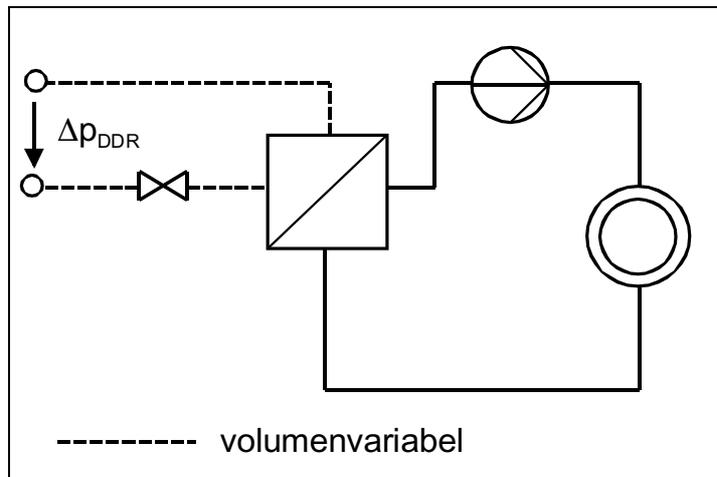


Abbildung 3 Beispiel einer Wärmeübergabe bei Fernwärmeanwendungen

Bei indirekter Wärmeübergabe mit Wärmeübertrager zwischen Mess- und Stellort gleichprozentiges Ventil mit hoher Ventilautorität verwenden.

Warum setzt man hier gleichprozentige Ventil ein?

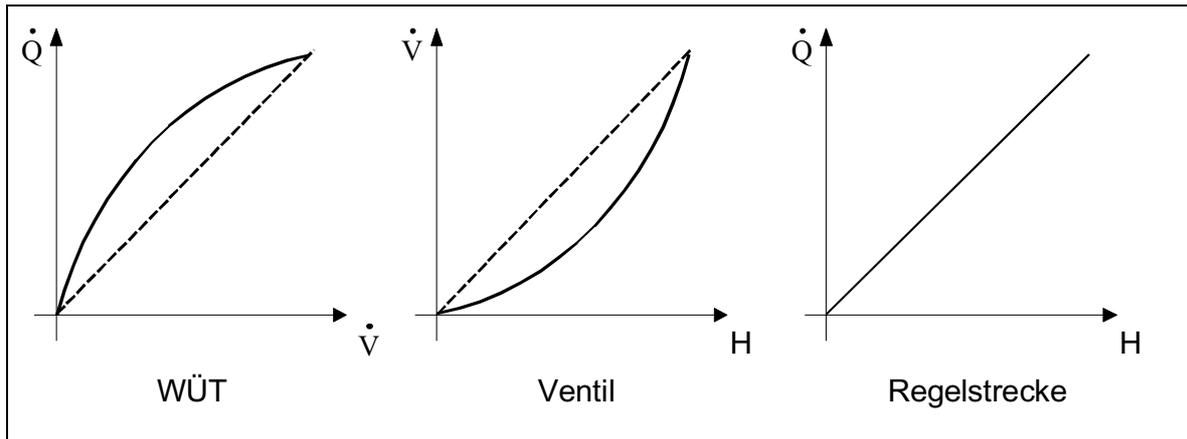


Abbildung 4 Entwicklung einer Regelstrecke

$$a_v = \frac{\Delta p_{V100}}{\Delta p_{V100} + \Delta p_{vol var 100}} = \frac{\Delta p_{V100}}{\Delta p_{DDR}} \quad \text{Ventilautorität für diese Anwendung}$$

Die Grundkennlinie von gleichprozentigen Ventilen:

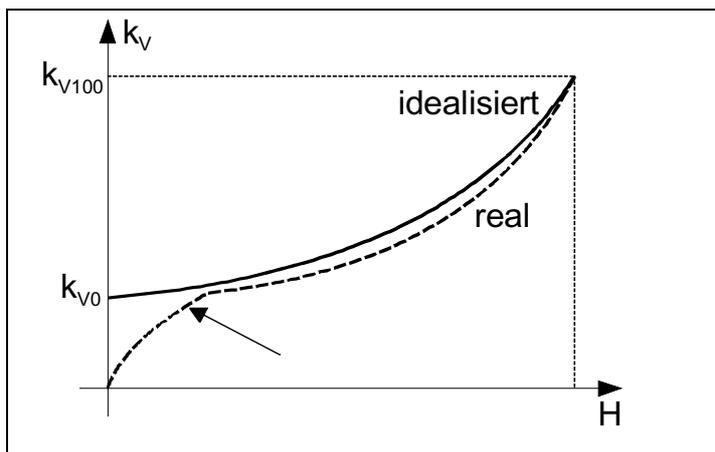


Abbildung 5 Grundkennlinie eines gleichprozentigen Ventils

$$\frac{k_v}{k_{v100}} = e^{n \left( \frac{H}{H_{100}} - 1 \right)} \quad \text{die gleichprozentige Grundkennlinie (idealisiert)}$$

in Zukunft wird – wenn nicht anders gegeben – mit der idealisierten Kennlinie gerechnet

$$S_{v0} = \frac{k_{vs}}{k_{v0}} \quad \text{Stellverhältnis}$$

$$n = \frac{\ln(k_v / k_{v100})}{H / H_{100} - 1} = \ln S_{v0} \quad \text{Faktor n}$$

typische Werte in der Versorgungstechnik

$$S_{v0} = \underline{25} \dots 50$$

$$n = \underline{3,2} \dots 4$$

### 3. Betriebskennlinie von gleichprozentigen und linearen Ventilen

Die folgenden drei Formeln gelten nur für  $p_{ges} = konst!$

$$\frac{\dot{V}}{\dot{V}_{100}} = \frac{1}{\sqrt{1 - a_v + \frac{a_v}{\left(\frac{k_v}{k_{v100}}\right)^2}}} \quad \text{allgemeine Betriebskennlinie}$$

$$\frac{\dot{V}}{\dot{V}_{100}} = \frac{1}{\sqrt{1 - a_v + \frac{a_v}{\left(\frac{H}{H_{100}}\right)^2}}} \quad \text{Betriebskennlinie für lineares Ventil}$$

$$\frac{\dot{V}}{\dot{V}_{100}} = \frac{1}{\sqrt{1 - a_v + \frac{a_v}{e^{2 \cdot n \cdot (H/H_{100} - 1)}}}} \quad \text{Betriebskennlinie für gleichprozentiges Ventil}$$

Bei unregelter Pumpe Anstieg des Gesamtdruckes  $p_{ges}$  mit sinkendem Volumenstrom. Mit  $p_{konst}$ -geregelten Pumpen können die Formeln angewandt werden.

Betriebskennlinien für lineare Ventile und gleichprozentige Ventile:

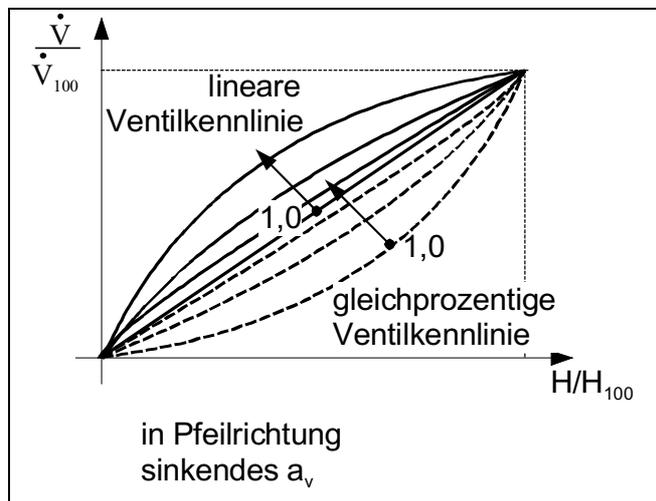


Abbildung 6 Betriebskennlinien von linearen und gleichprozentigen Ventilen

## 4. Ehrliche Ventilautorität von Durchgangsventilen

Zusammensetzung des Widerstandes eines Durchgangsventils:

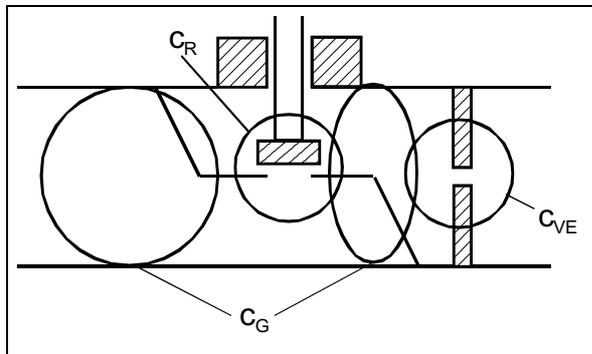


Abbildung 7 Zusammensetzung des Widerstandes in einem Ventil

Der Widerstand des Ventils besteht aus

dem Regelwiderstand	$C_R$	– variabel je nach Ventilstellung
dem Gehäusewiderstand	$C_G$	– fest für jede Ventilstellung
dem Widerstand der Voreinstellung	$C_{VE}$	– fest für jede Ventilstellung

$$C_v = C_G + C_R + C_{VE}$$

Die „ehrliche Ventilautorität“ bezieht in ihre Betrachtung nur den veränderlichen Widerstand  $C_R$  ein, alle festen Widerstände des Ventils werden dem angeschlossenen Netz als in Reihe geschaltete Widerstände zugeschrieben:

$$a_{v,ehrlich} = \frac{\Delta p_{v100,R100}}{\Delta p_{ges100}}$$

Bestimmung von  $\Delta p_{v100,R100}$ :

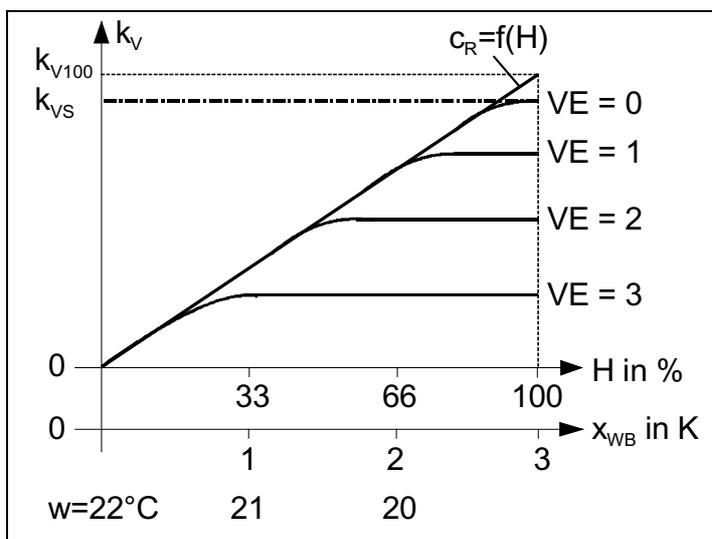


Abbildung 8 Bestimmung von  $\Delta p_{v100}$

$k_{vs}$  ist der reale Wert, den der Hersteller liefert

$k_{v100}$  wird bestimmt, indem die Tangente an die Kurve „VE=0“ angelegt wird

aus  $k_{v100}$  wird  $c_R$  bestimmt : 
$$k_{v100} = \dot{V}_{100} \cdot \sqrt{\frac{1 \text{ bar}}{\Delta p_{v100,R100}}}$$

Zur Abbildung 8:

Wenn bei einer 2K- Auslegung des Ventils ein Sollwert von 20°C gegeben ist, der Ist-Wert aber 21°C im Raum beträgt, so schließt das Ventil mit der VE=3 so gut wie nicht, obwohl bereits eine Regelabweichung von 1K anliegt!

Erst die Ventile mit  $VE \leq 2$  reagieren über den gesamten P-Bereich von 2K einigermäßen linear.

Folgen zu hoher Voreinstellung:

höhere Regelabweichungen nötig, bevor das Ventil beginnt zu reagieren, stark entartete Ventilkennlinie, sehr stark entartete Gesamtkennlinien, Neigung zu un-stetigem 2-Punkt-Verhalten.

### Beispiel: Anwendung der ehrlichen Ventilautorität und Konsequenzen

Gesucht: normale und ehrliche Ventilautorität

Gegeben für den Auslegungsfall:

Volumenstrom  $\dot{V}_A = 20 \text{ l/h}$

Druckabfall über dem Restkreis  $\Delta p_{\text{Rest}100} = 0,1 \text{ bar}$

Druckabfall über dem  $\Delta p_{v100} = 0,1 \text{ bar}$

Das Ventil soll für einen P-Bereich von 2 K ausgelegt werden.

$$k_v\text{-Wert für Auslegung: } k_{v,VE} = 0,02 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \sqrt{\frac{1 \text{ bar}}{0,1 \text{ bar}}} = 0,063 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Aus den Herstellerunterlagen wird ein Ventil so gewählt, dass mit Voreinstellung dieser  $k_v$ -Wert erreicht wird. Zum Beispiel ergibt sich die Voreinstellung VE=6.

Aus den Herstellerunterlagen ergibt sich z.B. bei  $X_p=2 \text{ K}$  ein  $k_{v100}$  von  $0,35 \text{ m}^3/\text{h}$

Bestimmung der Druckabfalls über dem Regelkegel bei  $X_p=2 \text{ K}$ :

$$\Delta p_{v100,R100} = \left( \frac{0,02 \text{ m}^3/\text{h}}{0,35 \text{ m}^3/\text{h}} \right)^2 \cdot 1 \text{ bar} = 0,00326 \text{ bar}$$

Der gesamte Restdruck von 0,09674 bar fällt über der Voreinstellung ab!

## Ventilautoritäten

übliche Ventilautorität:

$$a_V = \frac{\Delta p_{v100}}{\Delta p_{v100} + \Delta p_{Rest100}} = \frac{0,1}{0,1 + 0,1} = 0,5$$

Ehrliche Ventilautorität:

$$a_{V,ehrlich} = \frac{\Delta p_{v100,R100}}{\Delta p_{v100,R100} + \Delta p_{Rest100}} = \frac{0,00326}{0,00326 + 0,19674} = 0,0168$$

Vergleich der Betriebskennlinien:

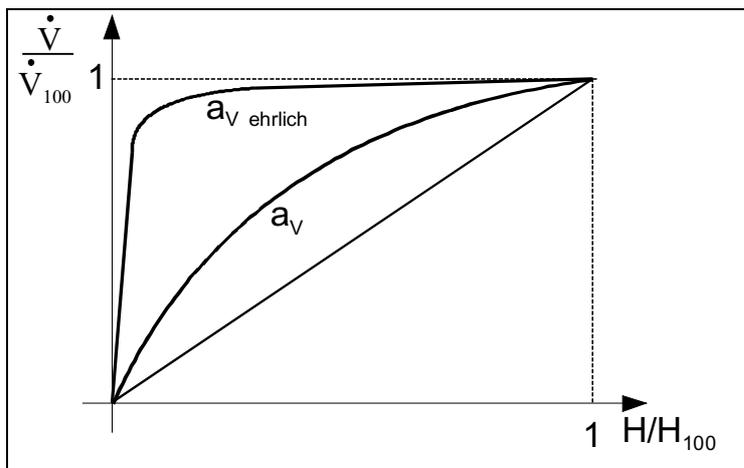


Abbildung 9 Vergleich von Betriebskennlinien

Die ehrliche Ventilautorität ist vernachlässigbar gering und schlecht; das Regelverhalten gleicht fast dem eines 2-Punktreglers; der höchste Druckabfall in einem voreingestellten Ventil ist über die Voreinstellung.

Vorteil der Voreinstellung: Auch bei großen Regelabweichungen (zum Beispiel nach Nachtabsenkung) ist der Volumenstrom durch das Ventil begrenzt:

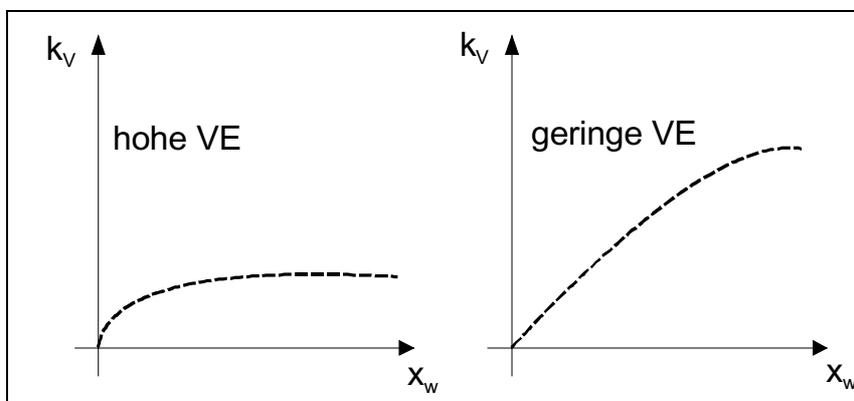


Abbildung 10 Auswirkungen der Voreinstellung

Um das gesamte Problem so gering wie möglich zu halten: Immer Ventile mit möglichst kleinem  $k_{Vs}$  wählen, dann wird die nötige Voreinstellung am geringsten!

#### 4.1. Anwendungsfall „Bypassgeregelte Pumpe“

Bei der bypassgeregelten Pumpe sind Pumpendruckseite und -saugseite durch einen Bypass miteinander verbunden. In dieser Leitung sitzt ein Drosselorgan, das in seinem Querschnitt veränderlich ist und damit auch in seinem Druckabfall.

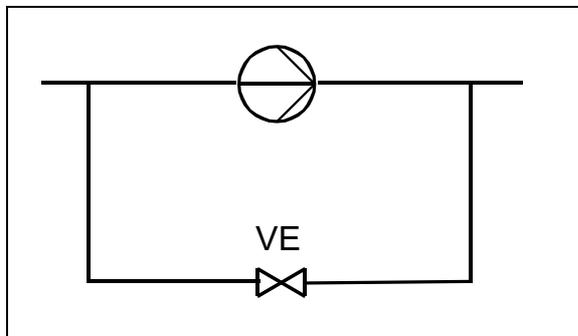


Abbildung 11 Bypassgeregelte Pumpe

Ist das Ventil geschlossen, so liegt die eigentliche Pumpenkennlinie vor. Beim Öffnen des Ventils findet eine Rückströmung von der Druckseite zur Saugseite statt.

Bei der Ermittlung der Ersatzkennlinie dieser Schaltung wird von einer Parallelschaltung (!) von Pumpe und Ventil ausgegangen.

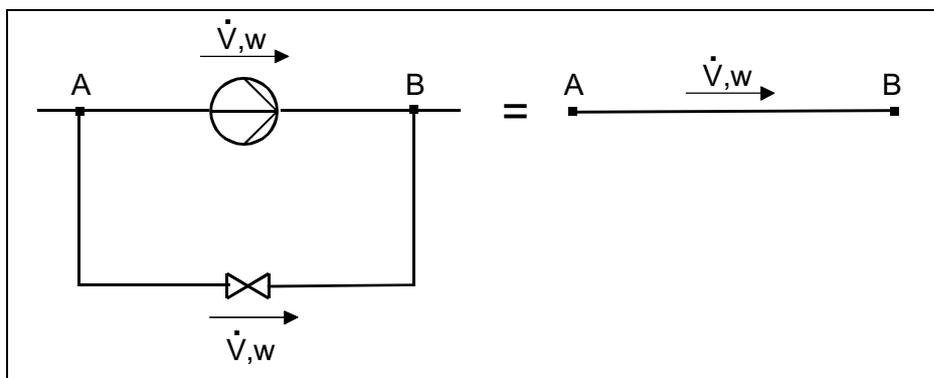
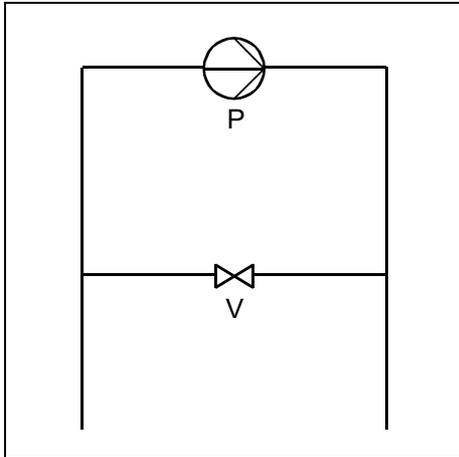


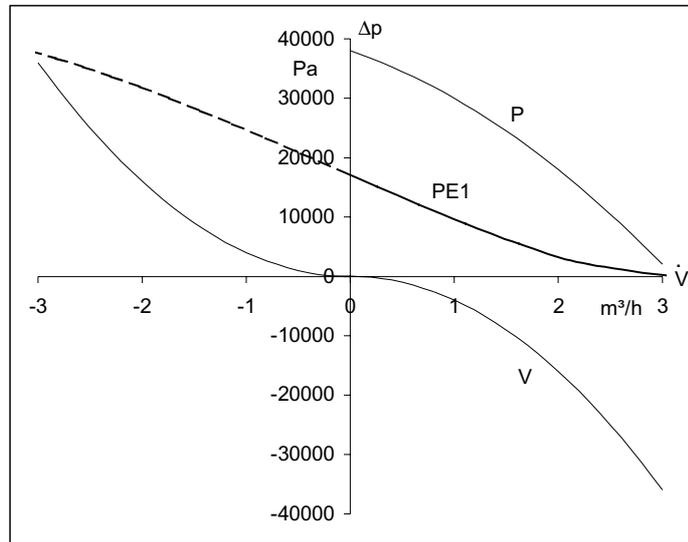
Abbildung 12 Ersatzschaltung

Die folgende Abbildung zeigt die Konstruktion der Ersatzkennlinie einer bypassgeregelten Pumpe für

das vollgeöffnete Bypassorgan (100 %; PKL<sub>100</sub>)  
 eine Zwischenstellung (x %; PKL<sub>x</sub>)



Schaltschema



Ermittlung der Ersatzkennlinie PE1 bei Stellhub  $H/H_{100} = 1,0$

Schaltschritt	Element 1	Verschaltung	Element 2	Ersatzelement
1	P	Parallel	V	PE1

Das Kennlinienfeld der bypassgeregelten Pumpe wird begrenzt von den Kurven

PKL = PKL<sub>0</sub>      Bypass geschlossen  
 PKL<sub>100</sub>      Bypass voll geöffnet

Die Abbildung zeigt die Konstruktion der Ersatzkennlinie einer bypassgeregelten Pumpe und dem Rohrnetz. Dargestellt sind die Verhältnisse bei geschlossenem Bypass (0) und geöffnetem Bypass (100). Es ergeben sich die Netzvolumenströme  $\dot{V}_{N0}$  und  $\dot{V}_{N100}$ . Während der Netzvolumenstrom bei Öffnen des Bypass von  $\dot{V}_0$  auf  $\dot{V}_{100}$  abnimmt, steigt der Pumpenförderstrom von  $\dot{V}_{P0}$  auf  $\dot{V}_{P100}$ . Da dies auch mit einem Anstieg der Leistungsaufnahme verbunden ist, wird diese Regelung auch bei kleinen Pumpen nicht mehr angewendet.

## 4.2. Drosselschaltung mit Durchgangsventil in Reihe zur Pumpe

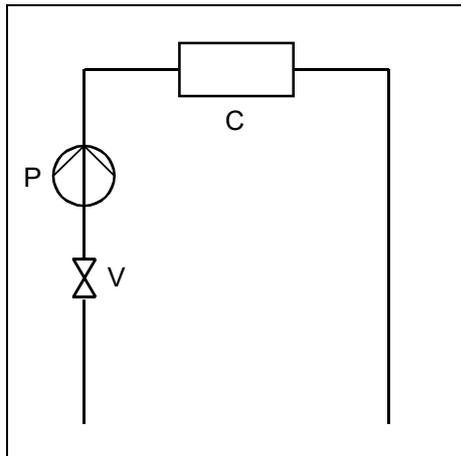


Abbildung 13 Drosselschaltung

Verschaltung und hydraulische Daten

Schaltschritt	Element 1	Verschaltung	Element 2	Ersatzelement
1	C	Reihe	P	RE1
2	RE1	Reihe	V	RE2

Tabelle 1 Schaltungsaufbau

Element	Elementart	Daten	
C	C-Wert Fix	$n = 2$	$C = 10000$
P	Pumpe	$\Delta p_1 = 38000 \text{ Pa}$ $\Delta p_2 = 30000 \text{ Pa}$ $\Delta p_3 = 18000 \text{ Pa}$	$\dot{V}_1 = 0 \text{ m}^3/\text{h}$ $\dot{V}_2 = 1 \text{ m}^3/\text{h}$ $\dot{V}_3 = 2 \text{ m}^3/\text{h}$
V	Regelventil	$k_v = 5 \text{ m}^3/\text{h}$	lineare Kennlinie

Tabelle 2 Technische Daten

Kennlinien der Teilelemente

Widerstand: 
$$\Delta p_{\text{Widerstand}} = 10000 \frac{\text{Pa} \cdot \text{h}^2}{\text{m}^6} \cdot \dot{V}^2$$

Pumpe: 
$$\Delta p_{\text{pumpe}} = a \cdot \dot{V}^2 + b \cdot \dot{V} + c$$

Ermittlung von a, b und c aus den 3 gegebenen Punkten

Ventil: 
$$s_{v0} = \frac{k_{vs}}{k_{v0}} = 500 \text{ (Stellverhältnis)}$$

$$k_{vs} = 5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\Delta p_{\text{ventil}} = 3932,8 \frac{\text{Pa} \cdot \text{h}^2}{\text{m}^6} \cdot \dot{V}^2$$

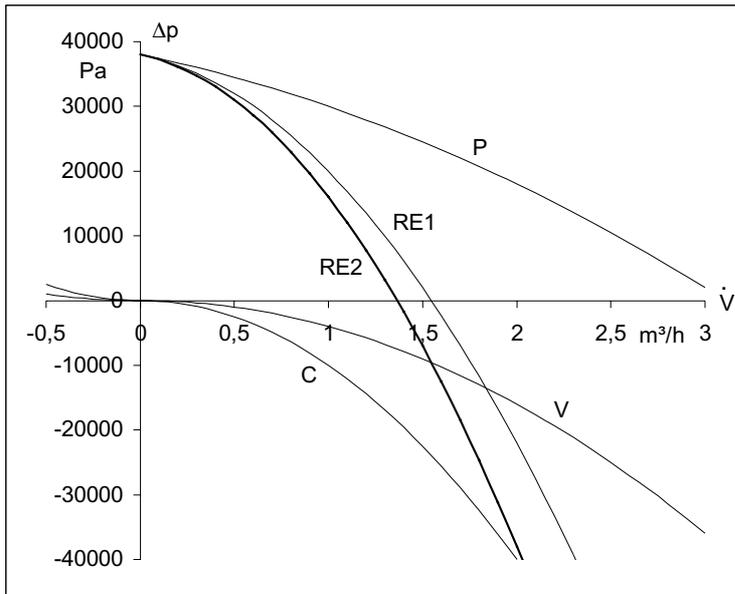


Abbildung 14 Ermittlung der Ersatzkennlinie RE2 bei Stellhub  $H/H_{100} = 1,0$

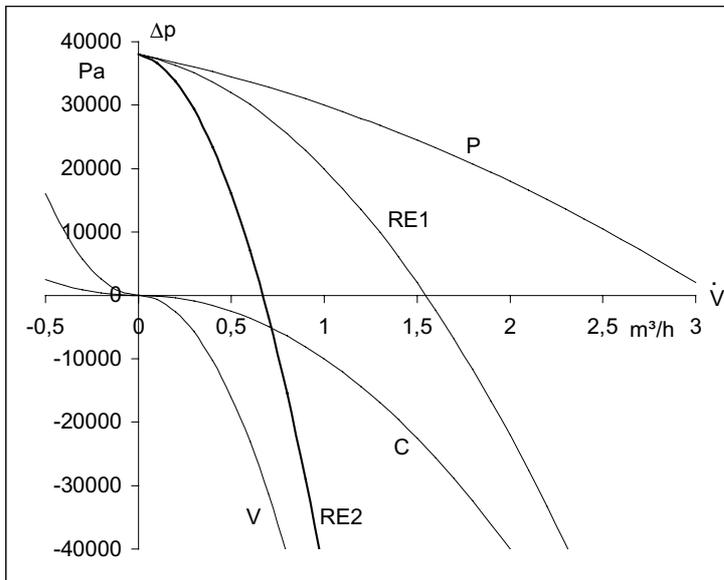


Abbildung 15 Ermittlung der Ersatzkennlinie RE2 bei Stellhub  $H/H_{100} = 0,25$

Es gilt in diesem Fall:  $\frac{H}{H_{100}} = 0,25$

Für ein lineares Ventil also:  $\frac{k_v}{k_{vs}} = 0,25$

Neuer  $k_v$ -Wert:  $k_v = 0,25 \cdot 5 \text{ m}^3/\text{h} = 1,25 \text{ m}^3/\text{h}$

neuer Widerstand:  $c_{V,\text{neu}} = \frac{1 \text{ bar}}{k_v^2} = \frac{100000 \text{ Pa} \cdot \text{h}^2}{1,25^2 \text{ m}^6} = 64000 \frac{\text{Pa} \cdot \text{h}^2}{\text{m}^6} = 16 \cdot c_V$

Anschluss des Systems an eine hydraulische Weiche:

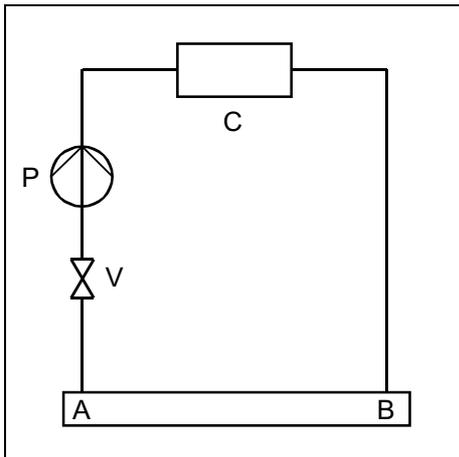


Abbildung 16 Reihenschaltung mit hydraulischer Weiche

praktisch kein Druckunterschied zwischen den Punkten A und B

Auftragung der Gesamtkennlinien PE1 bei verschiedenen Hubstellungen des Ventils:

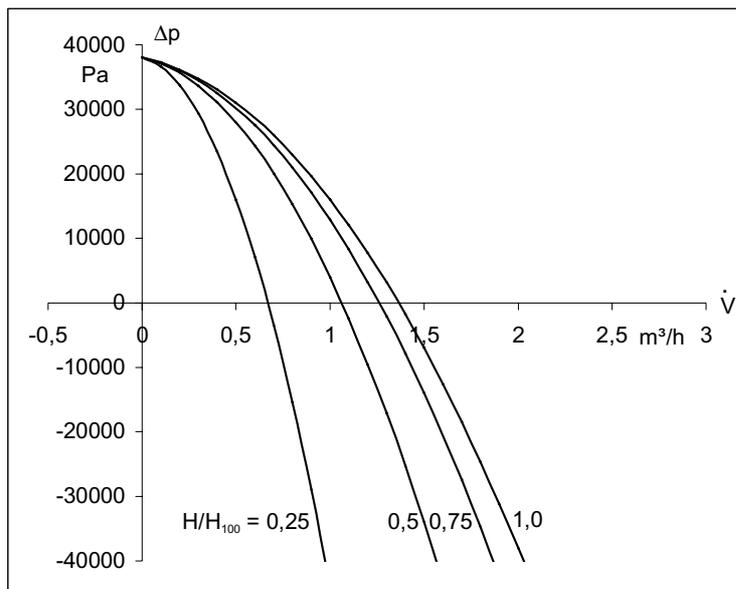


Abbildung 17 Reihenschaltung mit hydraulischer Weiche

Erstellung der Betriebskennlinie

Eintragen einer Ventilkennlinie mit bekanntem Hub in das  $\Delta p, \dot{V}$ -Diagramm,  
 Verschaltung dieser Ventilkennlinie mit dem Rest des Netzes,  
 Ablesen des Volumenstromes der Gesamtkennlinie bei  $\Delta p=0$ ,  
 Wiederholung für verschiedene Ventilhubbe,  
 Auftragen der Volumenströme über der Hubstellung ergibt die Betriebskennlinie.

Ventilautorität für das Ventil bei Vollöffnung:

aus Verschaltungstabelle:  $\Delta p_0 = 38000 \text{ Pa}$

(Nullförderhöhe der Pumpe, gute Näherung für tatsächliche Druckerhöhung)

aus  $\Delta p, \dot{V}$ -Diagramm für 100% offenes Ventil:  $\Delta p_{v100} = 7500 \text{ Pa}$

(Druckabfall über dem voll geöffneten Ventil)

$$\text{Ventilautorität: } a_v = \frac{\Delta p_{v100}}{\Delta p_0} \approx 0,2$$

### 4.3. Nicht regelbare Beimischschaltung oder Sonderparallelschaltung

Gegeben ist das folgende Netz:

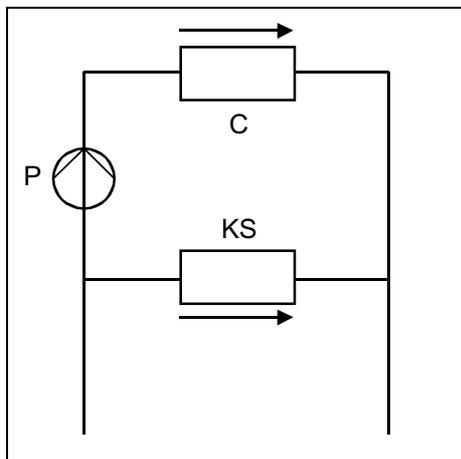


Abbildung 18 Schaltschema

Verschaltung und hydraulische Daten

Schaltschritt	Element 1	Verschaltung	Element 2	Ersatzelement
1	P	Reihe	C	RE1
2	RE1	Parallel	KS	PE1

Tabelle 3 Schaltungsaufbau

Element	Elementart	Daten	
C	C-Wert Fix	$n = 2$	$C = 10000$
P	Pumpe	$\Delta p_1 = 38000 \text{ Pa}$ $\Delta p_2 = 30000 \text{ Pa}$ $\Delta p_3 = 18000 \text{ Pa}$	$\dot{V}_1 = 0 \text{ m}^3/\text{h}$ $\dot{V}_2 = 1 \text{ m}^3/\text{h}$ $\dot{V}_3 = 2 \text{ m}^3/\text{h}$
KS	C-Wert Fix	$n = 2$	$C = 3500$

Tabelle 4 Technische Daten

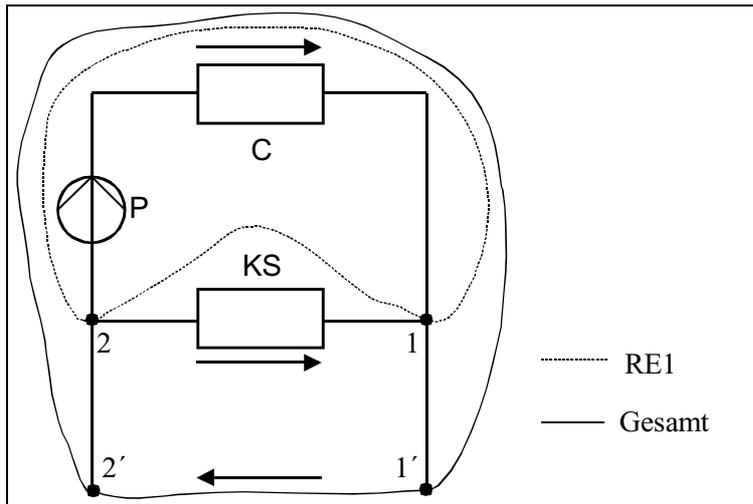


Abbildung 19 Netz mit angenommener Strömungsrichtung

Für die Netzteile C und KS und die Pumpe P sind die Kennlinien eingezeichnet. Die Pumpe P und der Netzteil C sind in Reihe geschaltet. Im ersten Zeichenschritt entsteht die Kennlinie RE1. Diese Kennlinie verläuft im 1. und 4. Quadranten. Der Kurvenverlauf im 4. Quadranten bedeutet, dass auf dem Weg von 2 über C nach 1 ein Druckverlust auftritt, d.h. dass der Druck im Punkt 1 kleiner als im Punkt 2 sein muss. Wenn dies der Fall ist, muss in der Kurzschlussleitung KS eine Durchströmung von 2 nach 1 stattfinden.

Beim Durchtritt der Kennlinie RE1 durch die  $\dot{V}$ -Achse liegt weder eine positive noch eine negative Druckdifferenz vor; in den Punkten 2 und 1 herrscht dann Druckgleichheit. In der Kurzschlussleitung KS tritt damit keine Strömung auf. Beim Verlauf der Kurve RE1 im 1. Quadranten liegt auf dem Weg von 2 über C nach 1 ein Druckanstieg vor; der Druck im Punkt 1 ist größer als im Punkt 2, die Strömung verläuft in der Kurzschlussleitung von 1 nach 2. Der Punkt U stellt den Umschlagpunkt der Strömung in der Kurzschlussleitung KS dar. Im Betrieb ist eine Zumischung von Rücklaufwasser über die Strecke KS nur möglich, wenn sich ein Betriebspunkt ergibt, der auf der Kennlinie RE1 im 1. Quadranten liegt.

Die Strömungsrichtung von 2 nach 1 in der Kurzschlussleitung findet im Diagramm insofern Berücksichtigung, als der Volumenstrom mit positivem Vorzeichen gewertet wird. Ändert sich die Strömungsrichtung, so ändert sich auch das Vorzeichen. Der Druckverlust, der sich dann von 1 nach 2 ergibt, ist aber bezogen auf die positive Volumenstromrichtung von 2 nach 1 nicht als Druckverlust, sondern als Druckgewinn zu werten. Die Kennlinie KS setzt sich somit im 2. Quadranten fort.

Im nächsten Zeichenschritt kann durch Addition der Volumenströme (wobei  $\dot{V}_{2-P-C-1}$  negativ zu werten ist!)  $\dot{V}_{2-KS}$  und  $\dot{V}_{2-P-C-1}$  die Ersatzkennlinie auch für den Bereich links vom Umschlagpunkt U gefunden werden. Wenn im weiteren Ablauf der in der Parallelmasche 2-1 einströmende Volumenstrom  $\dot{V}_{1-2}$  bestimmt werden kann, der identisch mit dem Volumenstrom  $\dot{V}_{(2-1)E}$  in der Ersatzleitung (2-1)E ist, so lässt sich daraus bestimmen, welche Strömungsrichtung in der Kurzschlussleitung vorliegt (Abbildung 20).

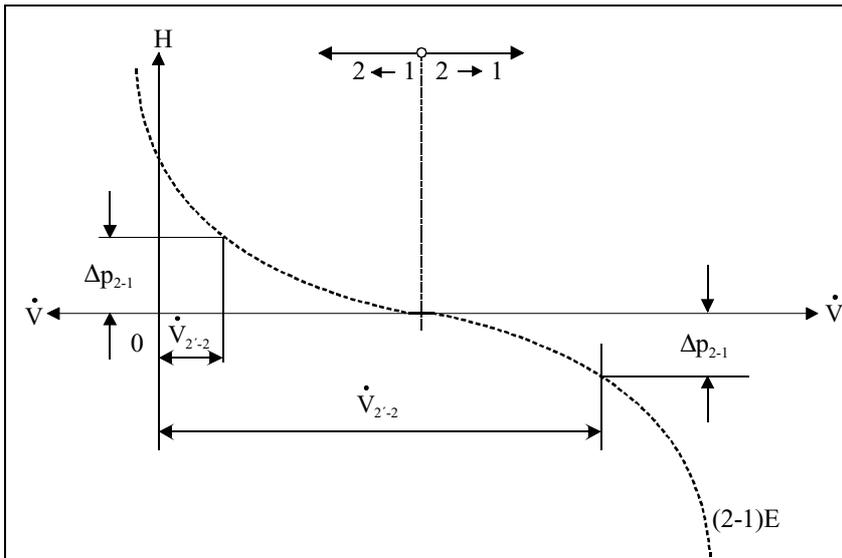


Abbildung 20 Strömungsrichtungen in der Beimischleitung 2-1 anhand der Ersatzkennlinie (2-1)E

$\Delta p, \dot{V}$ -Diagramme für die Verschaltung:

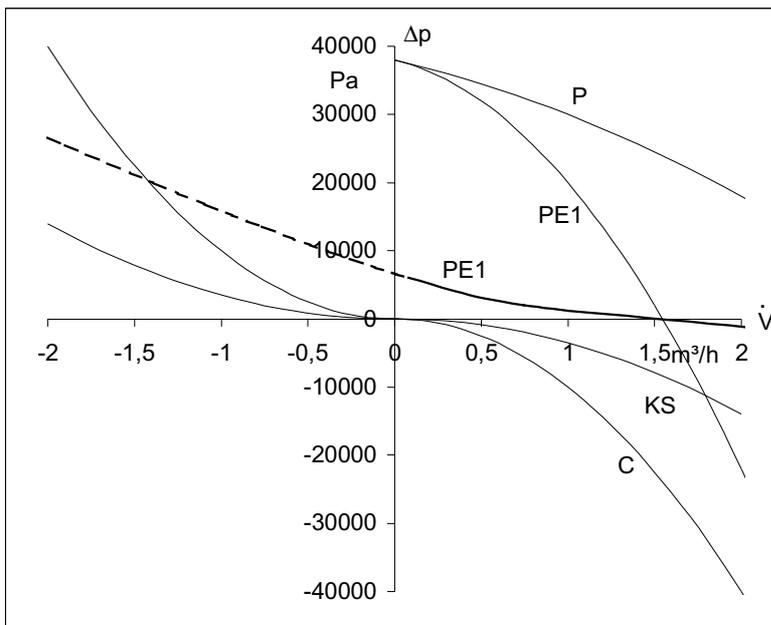


Abbildung 21 Ermittlung der Ersatzkennlinie PE1

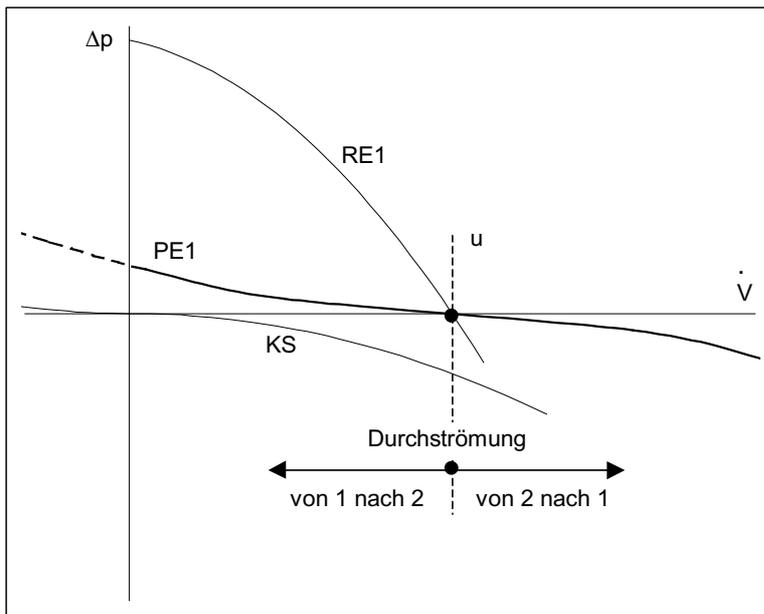


Abbildung 22 Durchströmung der Kurzschlussstrecke

Wenn  $\Delta p_{2'} > \Delta p_{1'}$  ist, ist dies wie eine konstant geregelte Pumpe im ersten Quadranten zu betrachten (Pumpe pumpt in angenommener Strömungsrichtung).

Wenn  $\Delta p_{2'} < \Delta p_{1'}$  ist, ist dies wie eine konstant geregelte Pumpe im dritten Quadranten zu betrachten (Pumpe pumpt entgegen der angenommenen Strömungsrichtung).

Liegt der Gesamtbetriebspunkt  $BP_{\text{gesamt}}$  links von der Linie U, wird KS wie angenommen von 1 nach 2 durchströmt.

Liegt der Gesamtbetriebspunkt  $BP_{\text{gesamt}}$  rechts von der Linie U, wird KS von 2 nach 1 durchströmt. Der Einfluss der gedachten Sekundärpumpe zwischen 2' und 1' ist dann zu hoch!

#### 4.4. Beimischschaltung mit Dreiwegventil

Gegeben ist das folgende Netz:

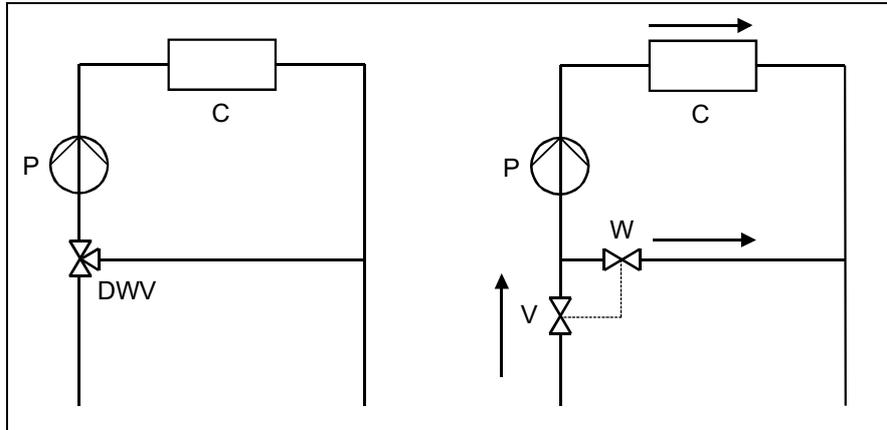


Abbildung 23 Schaltschema

Ersatzschaltbild

Verschaltung und hydraulische Daten

Schaltschritt	Element 1	Verschaltung0	Element 2	Ersatzelement
1	P	Reihe	C	RE1
2	RE1	Parallel	W	PE1
3	PE1	Reihe	V	RE2

Tabelle 5 Schaltungsaufbau

Element	Elementart	Daten	
C	C-Wert Fix	$n = 2$	$C = 10000$
P	Pumpe	$\Delta p_1 = 38000 \text{ Pa}$ $\Delta p_2 = 30000 \text{ Pa}$ $\Delta p_3 = 18000 \text{ Pa}$	$\dot{V}_1 = 0 \text{ m}^3/\text{h}$ $\dot{V}_2 = 1 \text{ m}^3/\text{h}$ $\dot{V}_3 = 2 \text{ m}^3/\text{h}$
W	Regelventil	$k_{vs} = 5 \text{ m}^3/\text{h}$	lineare Kennlinie
V	Regelventil	$k_{vs} = 5 \text{ m}^3/\text{h}$	lineare Kennlinie

Tabelle 6 Technische Daten

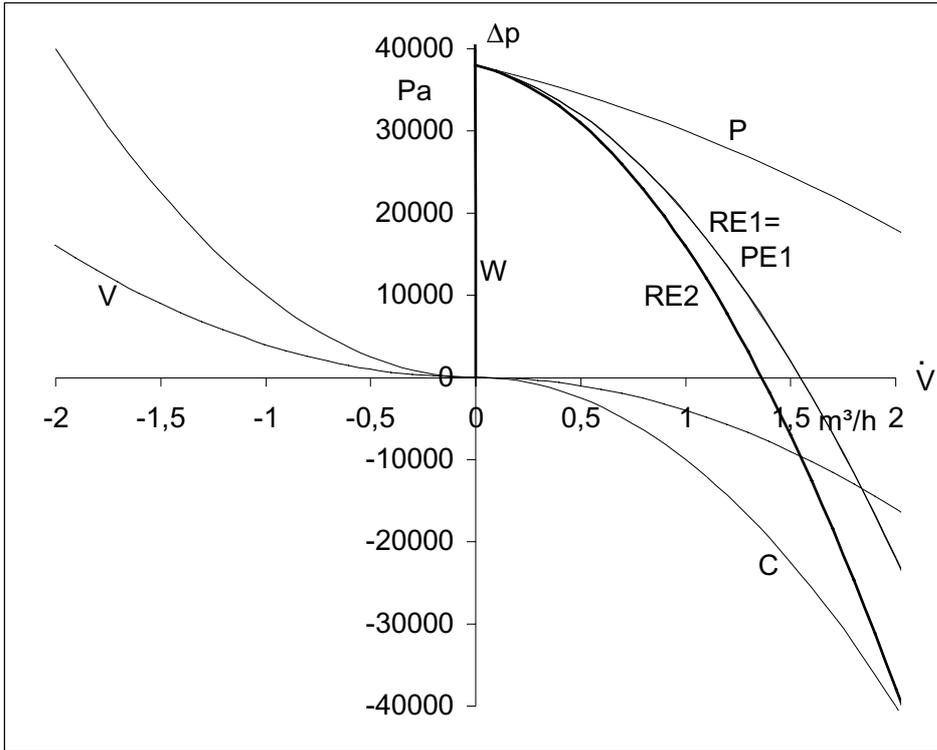


Abbildung 24 Ermittlung der Ersatzkennlinie RE2 bei Stellhub  $HIH_{100} = 1,0$

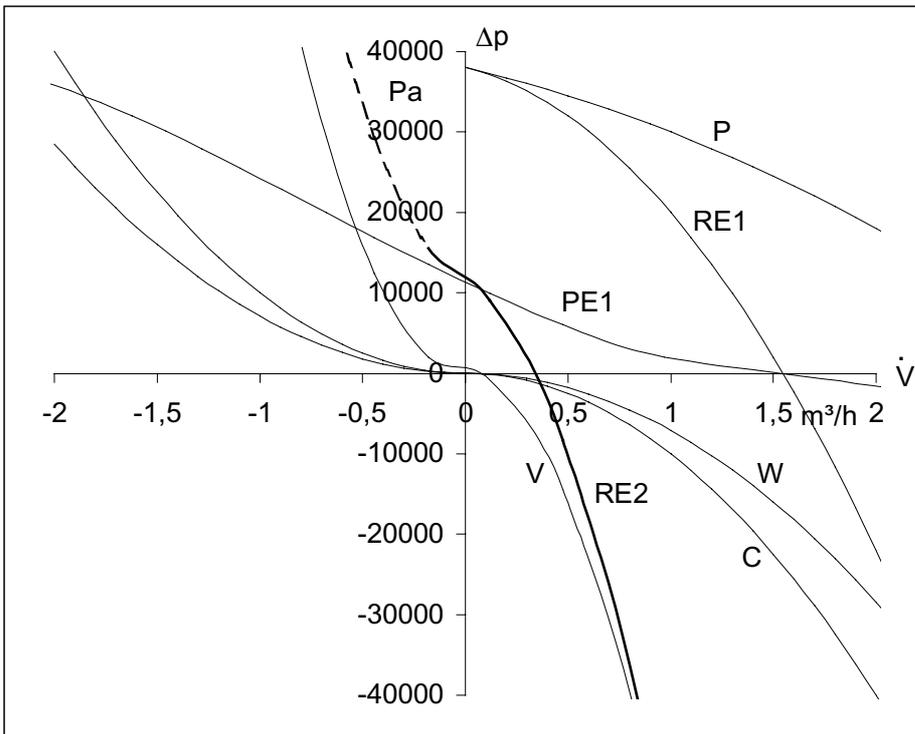


Abbildung 25 Ermittlung der Ersatzkennlinie RE2 bei Stellhub  $HIH_{100} = 1,0$

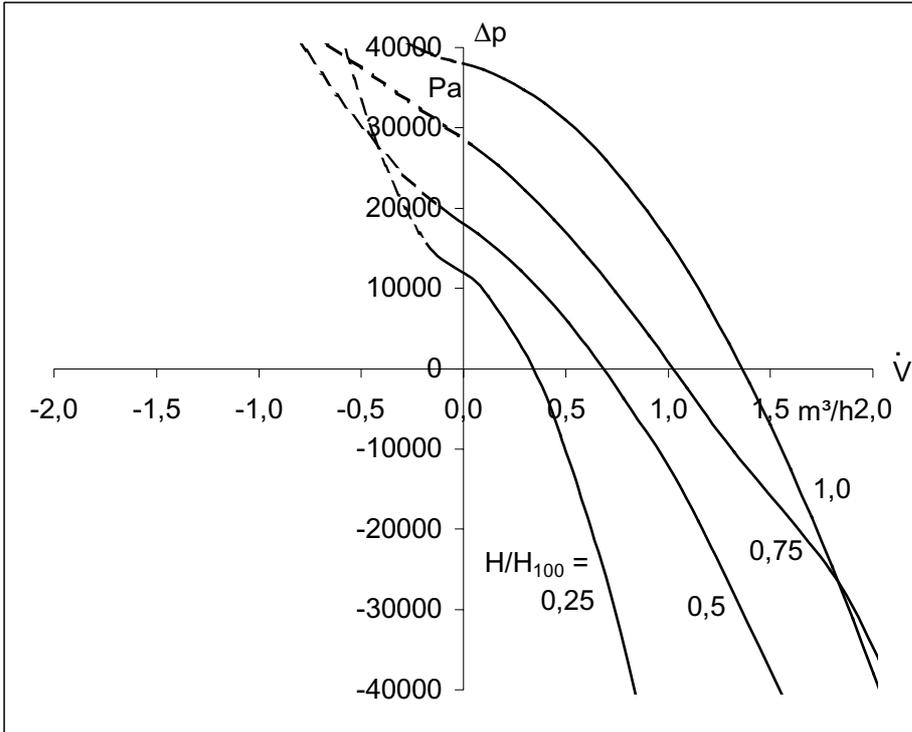


Abbildung 26 Ersatzkennlinie RE2 bei unterschiedlichen Stellhöhen

#### 4.5. Beimischschaltung mit Dreiwegventil und Kurzschlussstrecke (Einspritzschaltung - Version I)

Gegeben ist das folgende Netz:

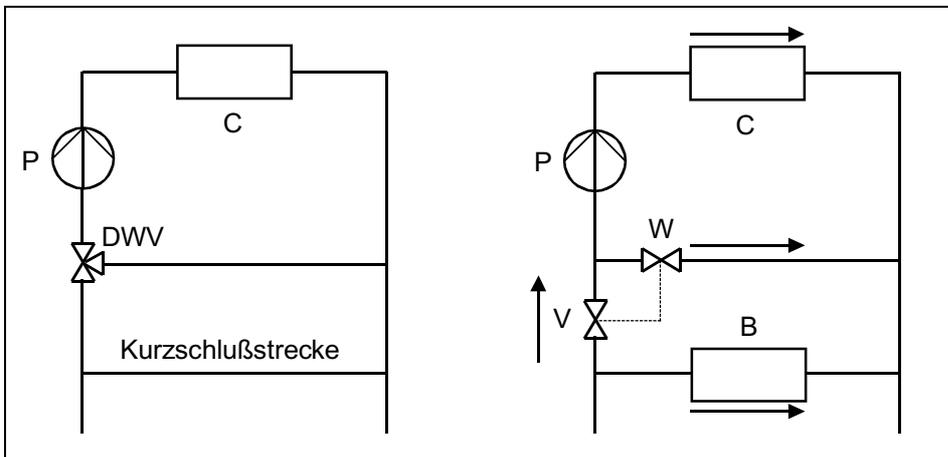


Abbildung 27 Schaltschema

Ersatzschaltbild

## Verschaltung und hydraulische Daten

Schaltschritt	Element 1	Verschaltung	Element 2	Ersatzelement
1	P	Reihe	C	RE1
2	RE1	Parallel	W	PE1
3	PE1	Reihe	V	RE2
4	RE2	Parallel	B	PE2

Tabelle 7 Schaltungsaufbau

Element	Elementart	Daten	
C	C-Wert Fix	n = 2	C = 10000
P	Pumpe	$\Delta p_1 = 38000 \text{ Pa}$ $\Delta p_2 = 30000 \text{ Pa}$ $\Delta p_3 = 18000 \text{ Pa}$	$\dot{V}_1 = 0 \text{ m}^3/\text{h}$ $\dot{V}_2 = 1 \text{ m}^3/\text{h}$ $\dot{V}_3 = 2 \text{ m}^3/\text{h}$
W	Regelventil	$k_{vS} = 5 \text{ m}^3/\text{h}$	lineare Kennlinie
V	Regelventil	$k_{vS} = 5 \text{ m}^3/\text{h}$	lineare Kennlinie
B	C-Wert Fix	n = 2	C = 5000

Tabelle 8 Technische Daten

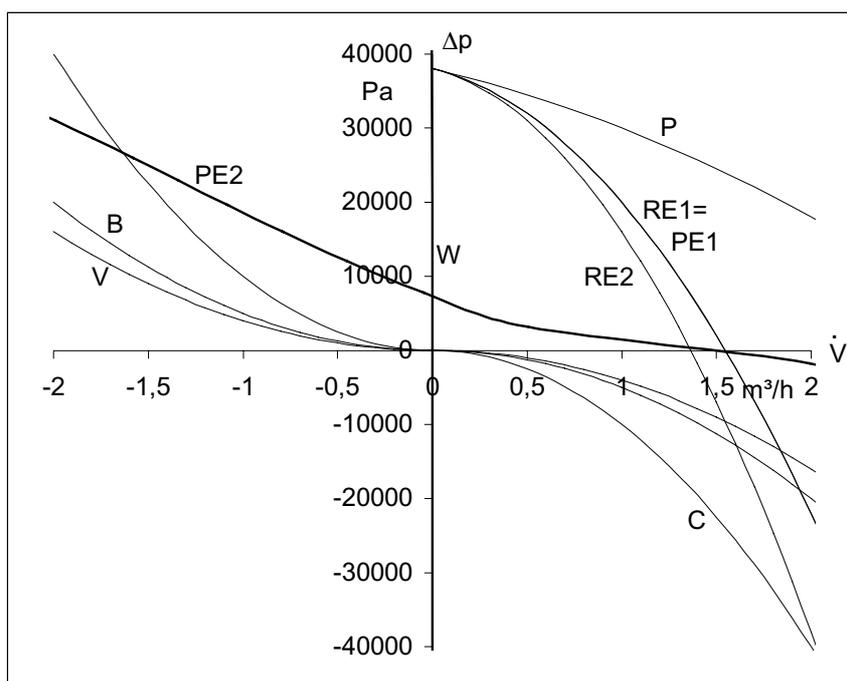


Abbildung 28 Ermittlung der Ersatzkennlinie PE2 bei Stellhub  $HIH_{100} = 1,0$

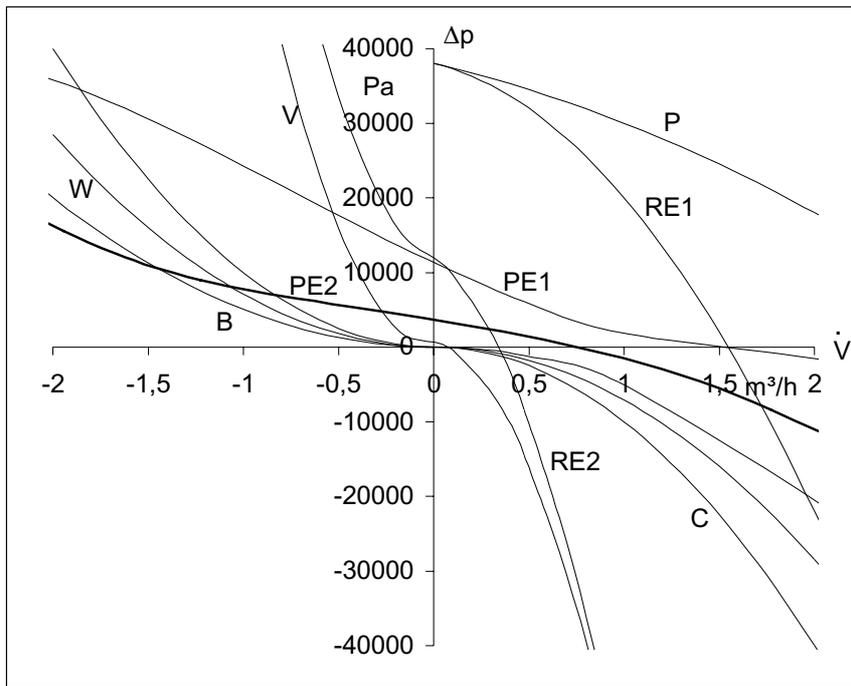


Abbildung 29 Ermittlung der Ersatzkennlinie PE2 bei Stellhub  $H/H_{100} = 0,25$

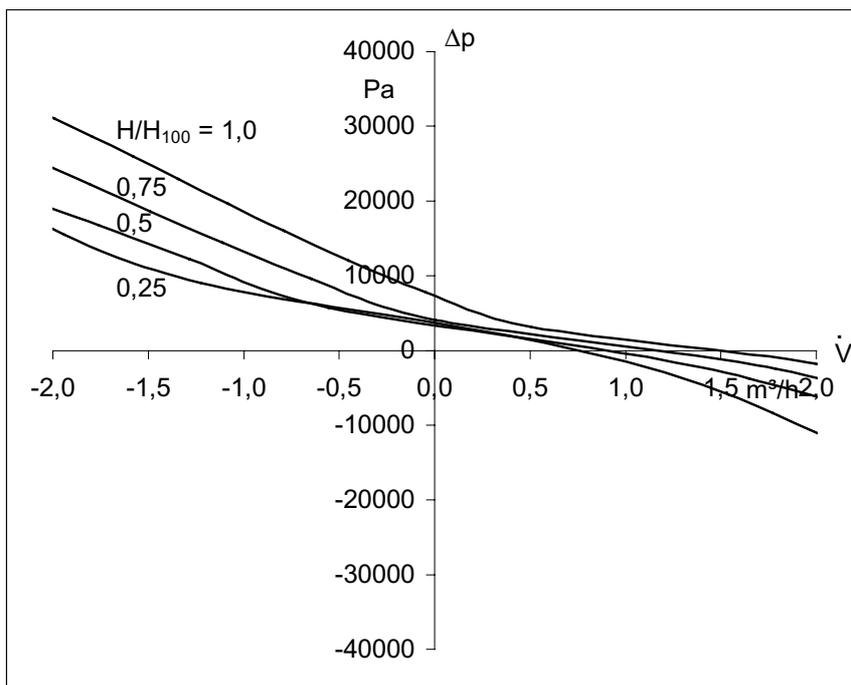


Abbildung 30 Ermittlung der Ersatzkennlinie PE2 bei unterschiedlichen Stellhüben

#### 4.6. Beimischschaltung mit Dreiwegventil und Kurzschlussstrecke (Einspritzschaltung – Version II)

Gegeben ist das folgende Netz:

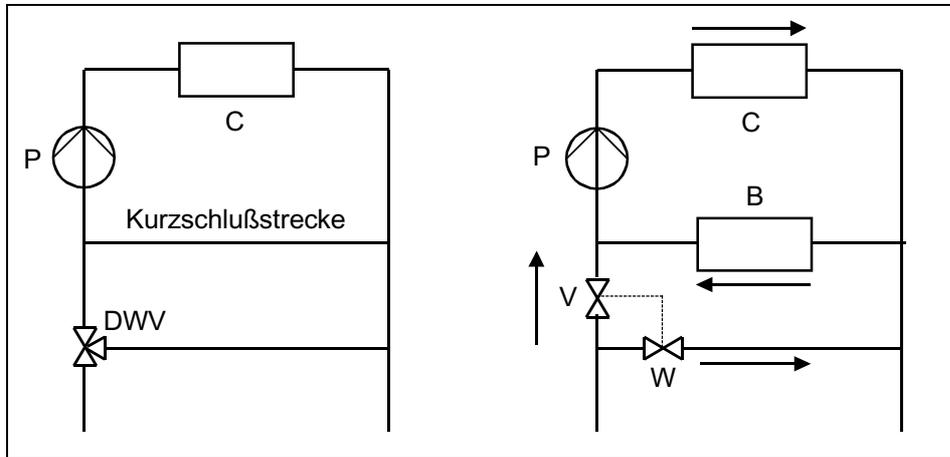


Abbildung 31 Schaltschema

Ersatzschaltbild

Verschaltung und hydraulische Daten

Schaltschritt	Element 1	Verschaltung	Element 2	Ersatzelement
1	P	Reihe	C	RE1
2	RE1	Parallel	W	PE1
3	PE1	Reihe	V	RE2
4	RE2	Parallel	B	PE2

Tabelle 9 Schaltungsaufbau

Element	Elementart	Daten	
C	C-Wert Fix	$n = 2$	$C = 10000$
P	Pumpe	$\Delta p_1 = 38000 \text{ Pa}$ $\Delta p_2 = 30000 \text{ Pa}$ $\Delta p_3 = 18000 \text{ Pa}$	$\dot{V}_1 = 0 \text{ m}^3/\text{h}$ $\dot{V}_2 = 1 \text{ m}^3/\text{h}$ $\dot{V}_3 = 2 \text{ m}^3/\text{h}$
W	Regelventil	$k_{vs} = 5 \text{ m}^3/\text{h}$	lineare Kennlinie
V	Regelventil	$k_{vs} = 5 \text{ m}^3/\text{h}$	lineare Kennlinie
B	C-Wert Fix	$n = 2$	$C = 5000$

Tabelle 10 Technische Daten

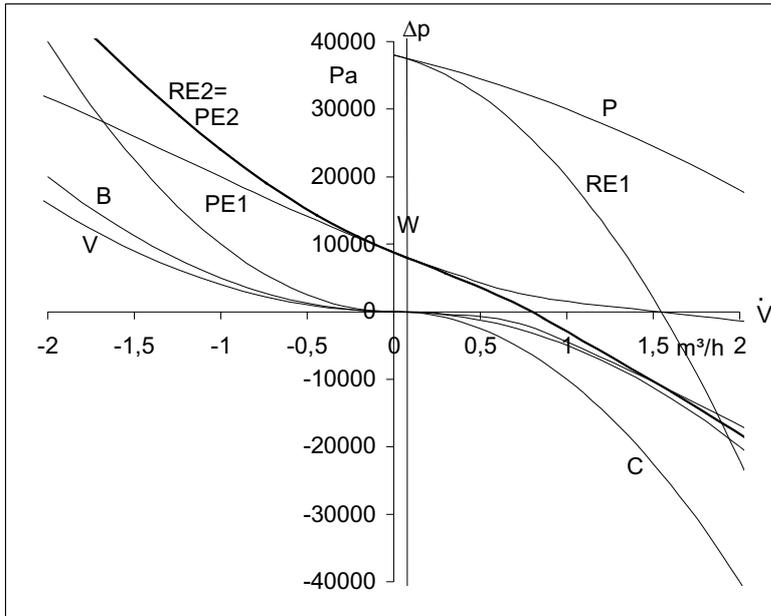


Abbildung 32 Ermittlung der Ersatzkennlinie PE2 bei Stellhub  $HIH_{100} = 1,0$

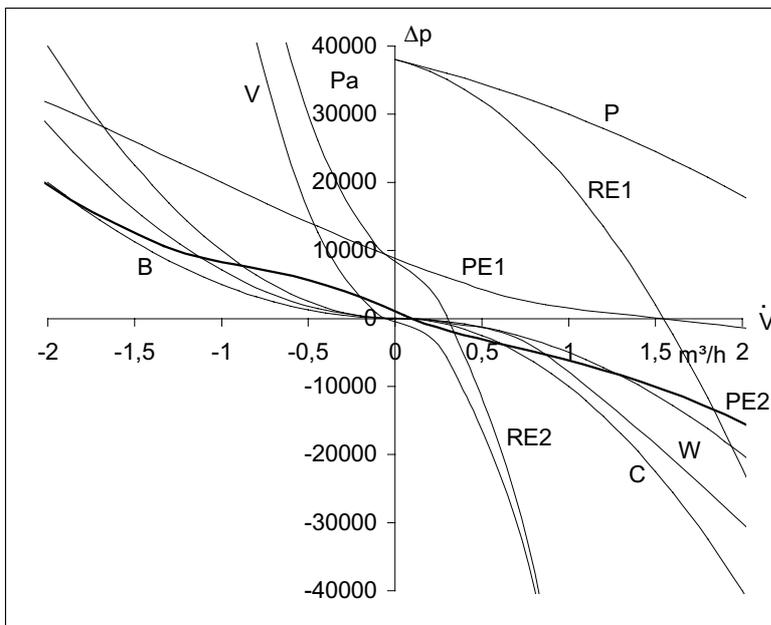


Abbildung 33 Ermittlung der Ersatzkennlinie PE2 bei Stellhub  $HIH_{100} = 0,25$

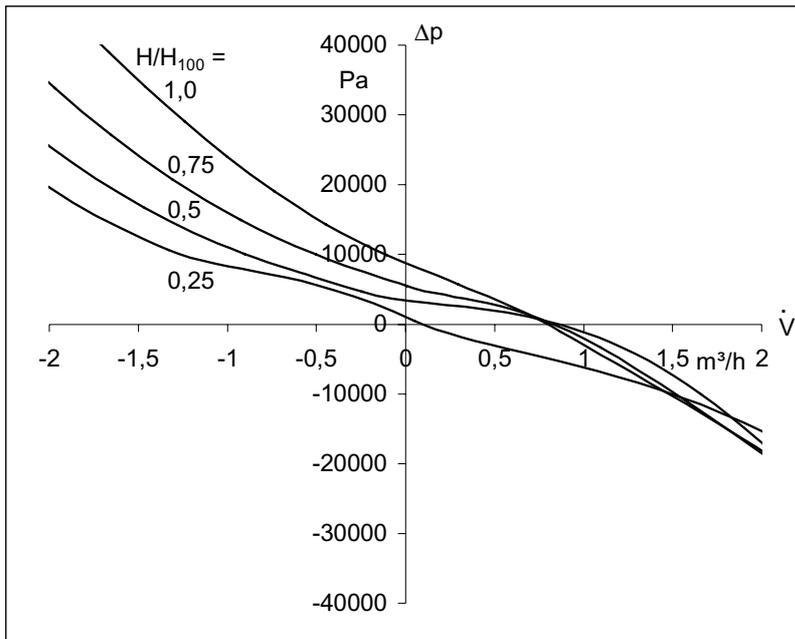


Abbildung 34 Ermittlung der Ersatzkennlinie PE2 bei Stellhub  $H/H_{100} = 0,25$

Quelle: Datenpool IfHK, FH Wolfenbüttel