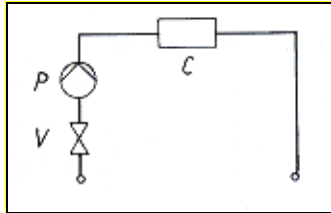


Netze im $\Delta p, \dot{V}$ -Diagramm

1. Reihenschaltung von Pumpe und Ventil

- gegeben ist das folgende einfache Netz:



- Verschaltung und hydraulische Daten:

SCHALTUNGSBAUFRAM 7.3a				
SCHALTSCHRITT	ELEMENT 1	VERSCHALTUNG	ELEMENT 2	ERSATZELEMENT
1	C	Reihe	P	RE1
2	RE1	Reihe	V	RE2

TECHNISCHE DATEN 7.3a				
ELEMENT	Element-Art			
C	C-Wert Fix	n: 2.000000	C: 10000.00	
P	Pumpe (WertePaare)	dp1: 38000 dp2: 30000 dp3: 18000	V1: 0 V2: 1 V3: 2 in HSR	
RE1	ERSATZ (Reihe)			
V	Regelventil	Kv: 5 SV: 500	Hub: 100 KL: linear C: 3932.800	
RE2	ERSATZ (Reihe)			

- Kennlinien der Teilelemente

Widerstand: $\Delta p_{\text{widerstand}} = 10000 \frac{P a h^2}{m^6} \dot{V}^2$

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

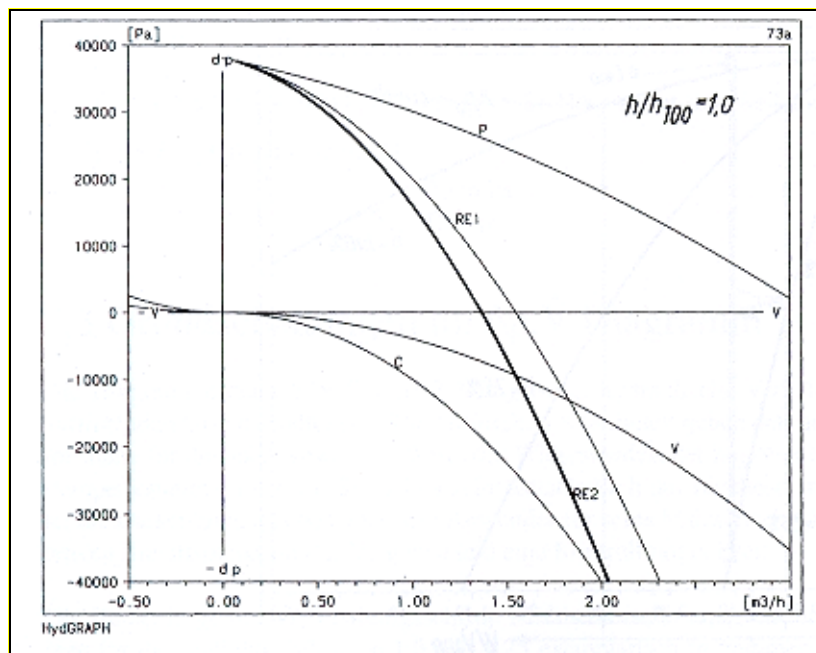
Ermittlung von a, b und c aus den 3 gegebenen Punkten

Ventil: $s_{v0} = \frac{k_{v100}}{k_{v0}} = 500$ (Stellverhältnis)

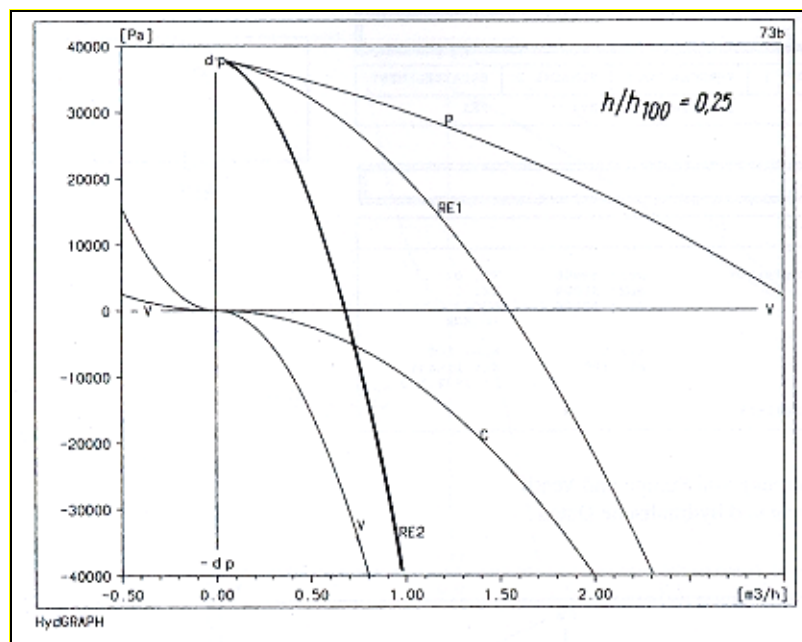
$$k_{vs} = 5 \frac{m^3}{h}$$

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

- Verschaltung im $\Delta p, \dot{V}$ -Diagramm für 100 % offenes Ventil:



- Verschaltung im $\Delta p, \dot{V}$ -Diagramm für 25 % offenes Ventil:



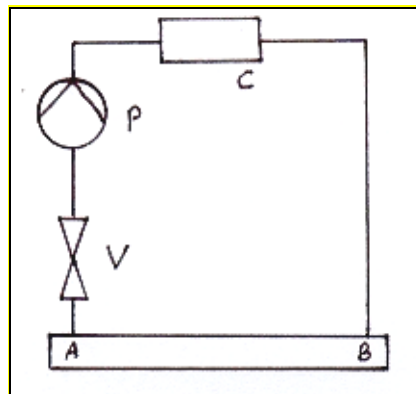
es gilt in diesem Fall: $\frac{H}{H_{100}} = 0,25$

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

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

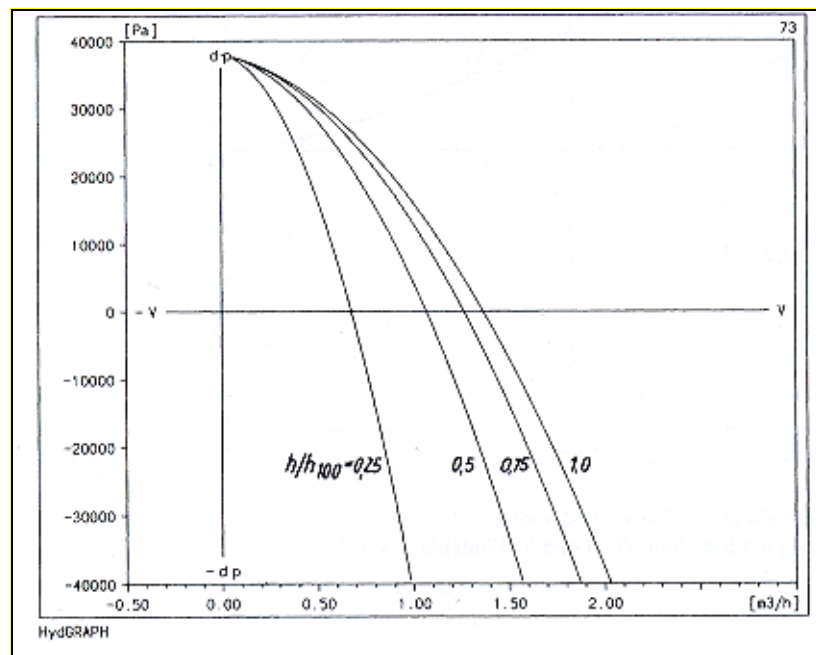
neuer Widerstand: $c_{V,\text{neu}} = \frac{1\text{bar}}{k_v^2} = \frac{100000\text{Pa}\cdot\text{h}^2}{1,25^2\text{m}^6} = 64000 \frac{\text{Pa}\cdot\text{h}^2}{\text{m}^6} = 16 \cdot c_v$

- Anschluss des Systems an eine hydraulische Weiche:



praktisch kein Druckunterschied zwischen den Punkten A und B

- Auftragung der Gesamtkennlinien PE1 bei verschiedenen Hubstellungen des Ventils:



- 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 Ventilhübe

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)

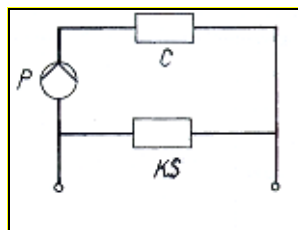
aus $\Delta p, \dot{V}$ -Diagramm für 100 % offenes Ventil: $\Delta p_{v100} = 7500 \text{ Pa}$

(Druckabfall über dem voll geöffneten Ventil)

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

2. Sonderparallelschaltung

- gegeben ist das folgende Netz:



- Verschaltung und hydraulische Daten:

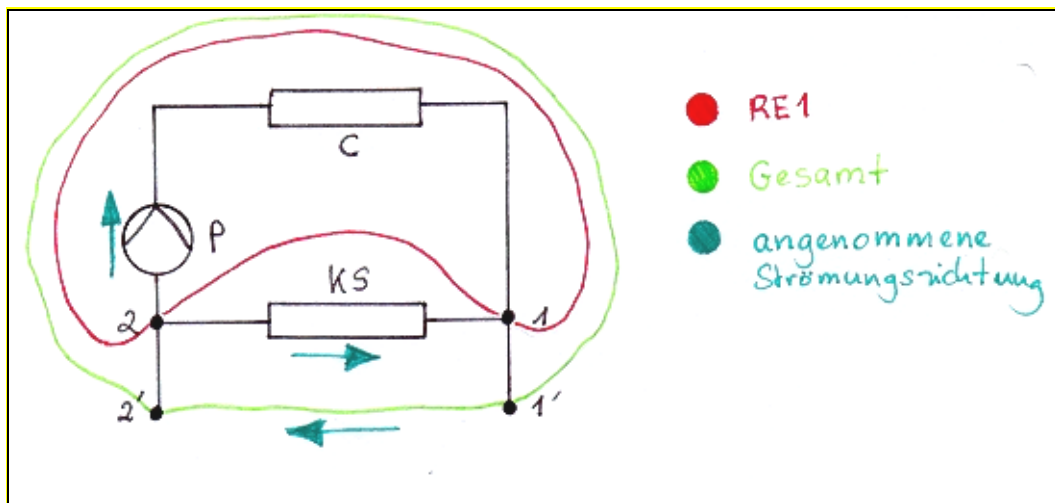
SCHALTUNGSBAU 75a				
SCHALTSCHRITT	ELEMENT 1	VERSCHALTUNG	ELEMENT 2	ERSATZELEMENT
1	P	Reihe	C	REL
2	REL	Parallel	KS	PEL

HydGRAPH

TECHNISCHE DATEN 75a				
ELEMENT	Element-Art			
P	Pumpe (WertePaare)	dp1: 38000	v1: 0	
		dp2: 30000	v2: 1	
		dp3: 18000	v3: 2	
			in HSR	
C	C-Wert Fix	n: 2.0	C: 10000.00	
REL	ERSATZ (Reihe)			
KS	C-Wert Fix	n: 2.0	C: 3500.000	
PEL	ERSATZ (Parallel)			

HydGRAPH

- Netz mit angenommenen Volumenstromrichtungen:



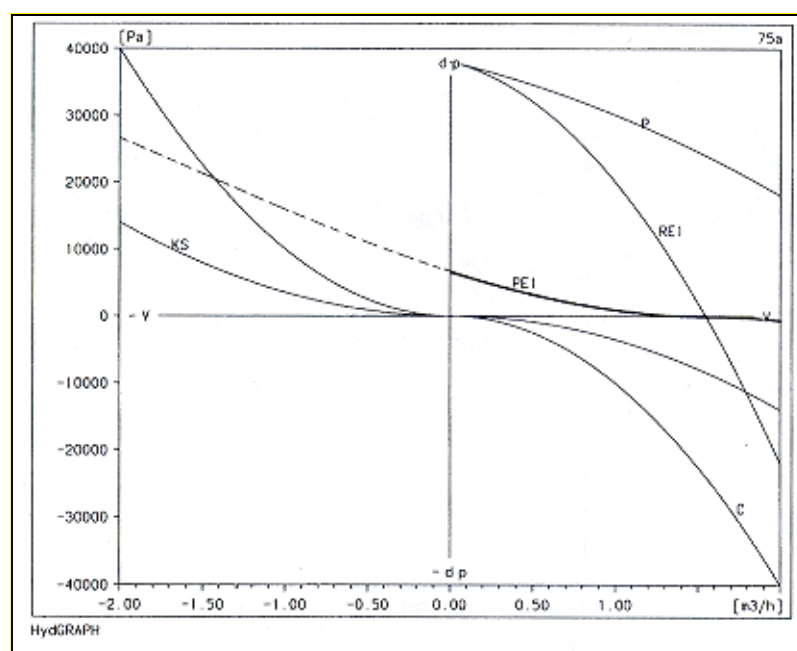
die Pumpe liegt im 1. Quadranten, denn die Strömungsrichtung durch sie wird richtig herum angenommen

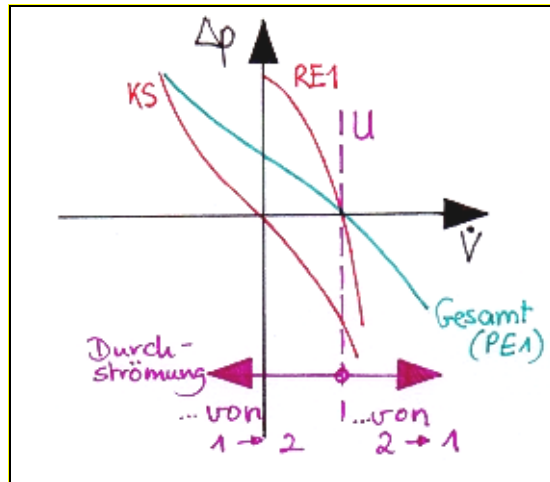
die Zusammenschaltung RE1 von Pumpe und Verbraucher liegt ebenfalls im ersten Quadranten

der Kurzschluss liegt im zweiten und vierten Quadranten, wobei die angenommene Strömungsrichtung durch den Kurzschluss bei der Verschaltung nicht der tatsächlichen entspricht (verschaltet wird also der Teil der im 2. Quadranten liegt)

bei der Gesamtverschaltung ergibt sich, dass der Volumenstrom vom Punkt 2' nach 1' strömt; entspricht der Realität

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

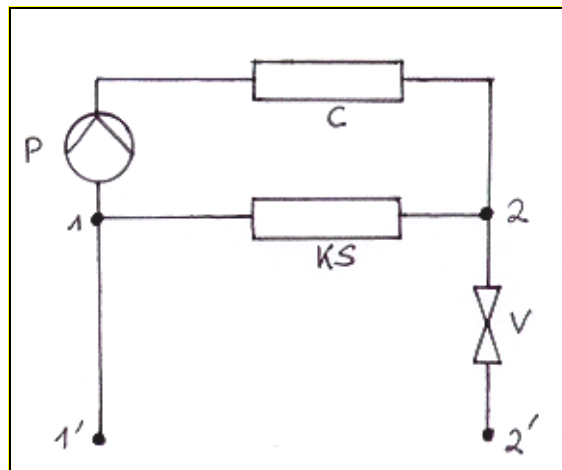




- wenn $\Delta p_2' < \Delta p_1'$ ist, dann ist dies wie eine konstant geregelte Pumpe im dritten Quadranten zu betrachten (Pumpe pumpt entgegen angenommener Strömungsrichtung)
- liegt der Gesamtbetriebspunkt BP_{gesamt} links von der Linie U, wird KS von 1 nach 2 durchströmt, also wie angenommen
- liegt der Gesamtbetriebspunkt BP_{gesamt} rechts von der Linie U, wird KS von 2 nach 1 falsch herum durchströmt, der Einfluss der gedachten Sekundärpumpe zwischen 2' und 1' ist dann zu hoch!

3. Beimischung mit Ventil

- gegeben ist das folgende Netz:



- Verschaltung und hydraulische Daten:

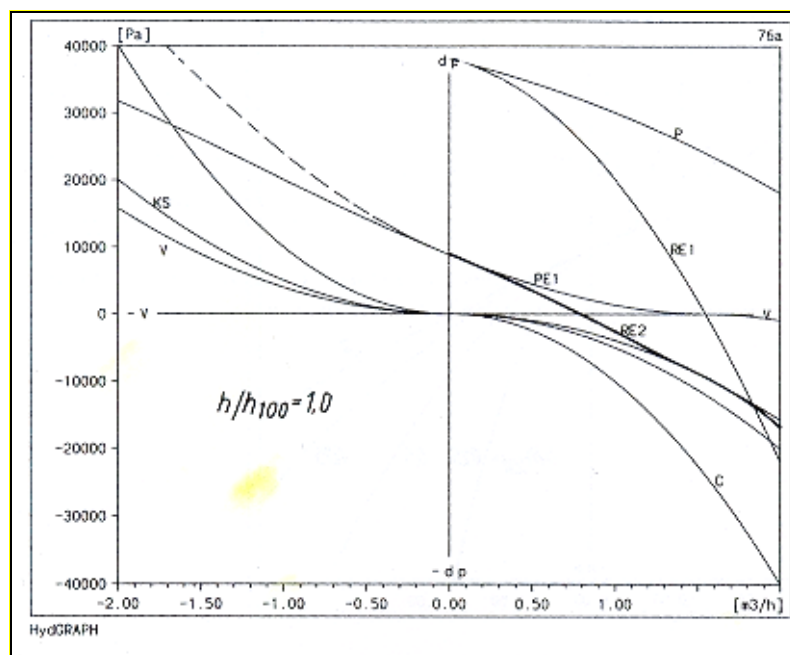
SCHALTUNGSAUFBAU 76a				
SCHALTSCHRITT	ELEMENT 1	VERSCHALTUNG	ELEMENT 2	ERSATZELEMENT
1	P	Reihe	C	RE1
2	RE1	Parallel	KS	PE1
3	PE1	Reihe	V	RE2

HydGRAPH

TECHNISCHE DATEN 76a				
ELEMENT	Element-Art			
P	Pumpe (Wertopaare)	dp1: 38000 dp2: 30000 dp3: 18000	V1: 0 V2: 1 V3: 2 in MSR	
C	C-Wert Fix	n: 2.0	C: 10000.00	
RE1	ERSATZ (Reihe)			
KS	C-Wert Fix	n: 2.0	C: 5000.000	
PE1	ERSATZ (Parallel)			
V	Regelventil	Kv: 5 SV: 500	Hub: 100 KL: linear C: 3932.800	
RE2	ERSATZ (Reihe)			

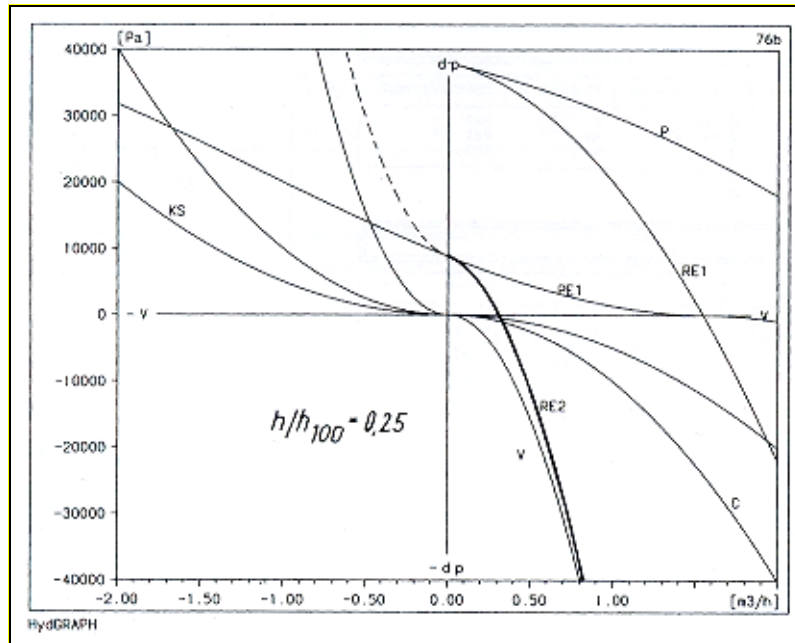
HydGRAPH

- $\Delta p, \dot{V}$ -Diagramm für die Verschaltung mit 100 % offenem RV:

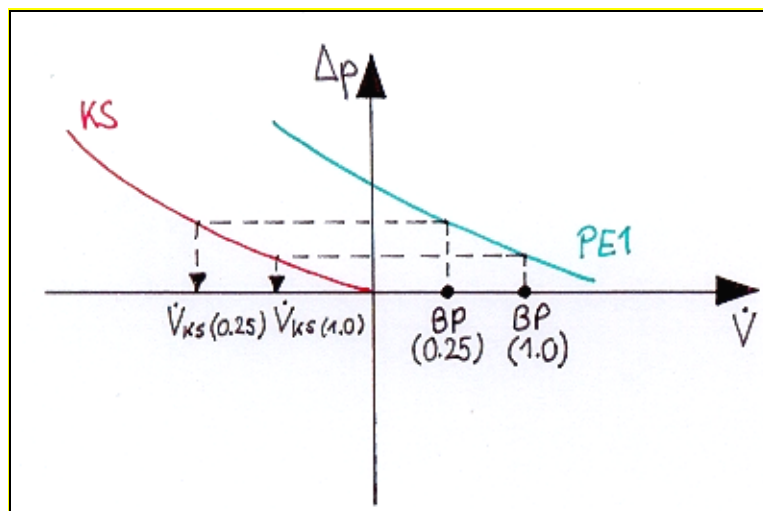


- wird eine hydraulische Entkopplung (=Weiche) zwischen den Punkten 1' und 2' angenommen, gilt $\Delta p_{1'2'} = 0$
- der Betriebspunkt ist in diesem Fall der Schnittpunkt von Kennlinie RE2 mit der $\dot{V}$ -Achse
- wenn man sich eine Pumpe zwischen 1' und 2' denkt, die in Richtung 1' pumpt, liegt diese im ersten Quadranten, denn angenommene und wirkliche Strömungsrichtung stimmen überein

- $\Delta p, \dot{V}$ -Diagramm für die Verschaltung mit 25 % offenem RV:



- bei hydraulischer Entkopplung zwischen 1' und 2' wird der Gesamtvolumenstrom kleiner mit schließendem RV
- der Volumenstrom durch den Kurzschluss wird größer mit schließendem RV; der Differenzdruck zwischen 1 und 2 steigt

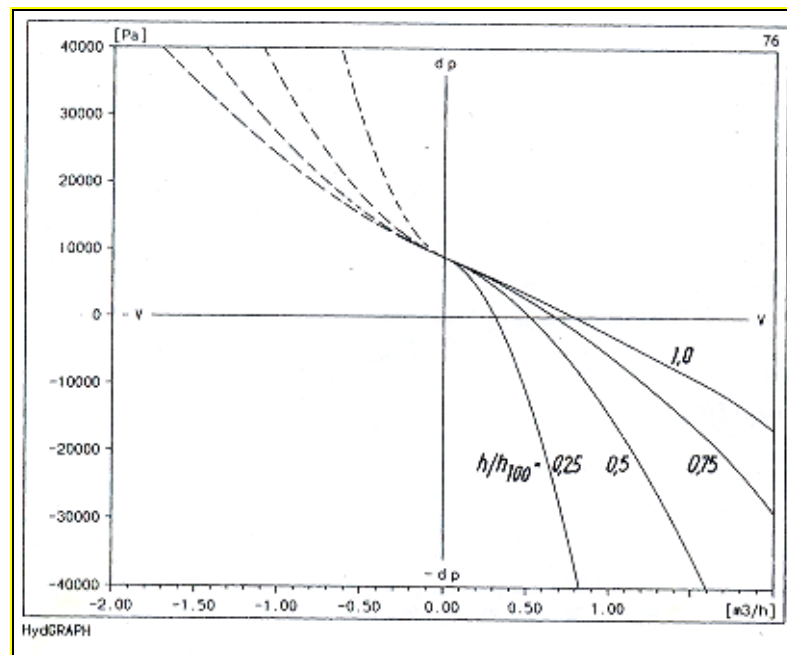


- wenn RV vollständig geschlossen, liegen die anderen 3 Komponenten in Reihe (nur innere Zirkulation); in die Schaltung fließt nichts mehr von außen hinein; den Gesamtbetriebspunkt bildet der Schnittpunkt von RE2 mit der Δp -Achse

- wenn das RV geschlossen wird, dann steigt die Druckdifferenz zwischen 2 und 2'; das heißt über dem RV fällt mehr Druck ab; zum Beispiel (Anschluss an eine hydraulische Weiche):

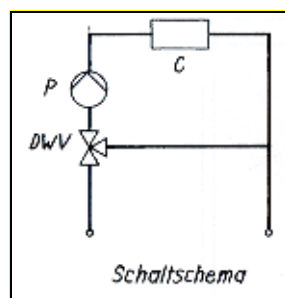
$H/H_{100}=1,0$	ergibt	$\Delta p_{RV} \approx 3000 \text{ Pa}$
$H/H_{100}=0,25$	ergibt	$\Delta p_{RV} \approx 5000 \text{ Pa}$

- Gesamtkennlinien RE2 bei verschiedenen Hubstellungen:

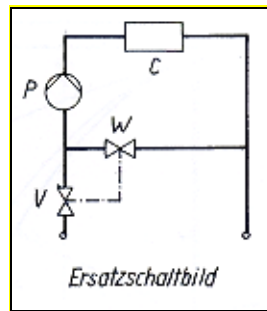


4. Beimischung mit DWV

- gegeben ist das folgende Netz:



- Ersatzschaltbild der Schaltung:



- Verschaltung und hydraulische Daten:

SCHALTSCHAUBAU 77a		Seite 1	
-------------------------	--	---------	--

SCHALTSCHRITT	ELEMENT 1	VERSCHALTUNG	ELEMENT 2	ERSATZELEMENT
1	P	Reihe	C	RE1
2	RE1	Parallel	W	PE1
3	PE1	Reihe	V	RE2

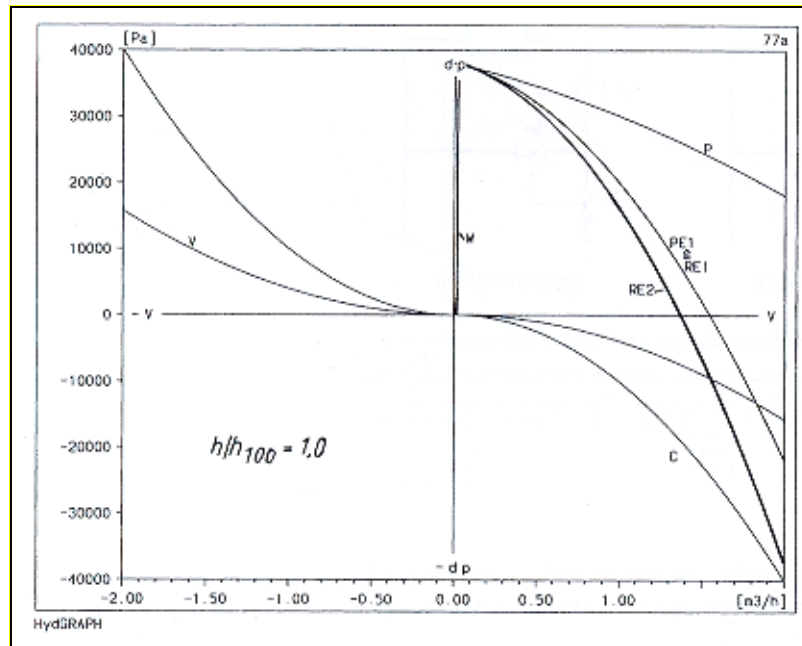
HydGRAPH

TECHNISCHE DATEN 77a	Seite 1
---------------------------	---------

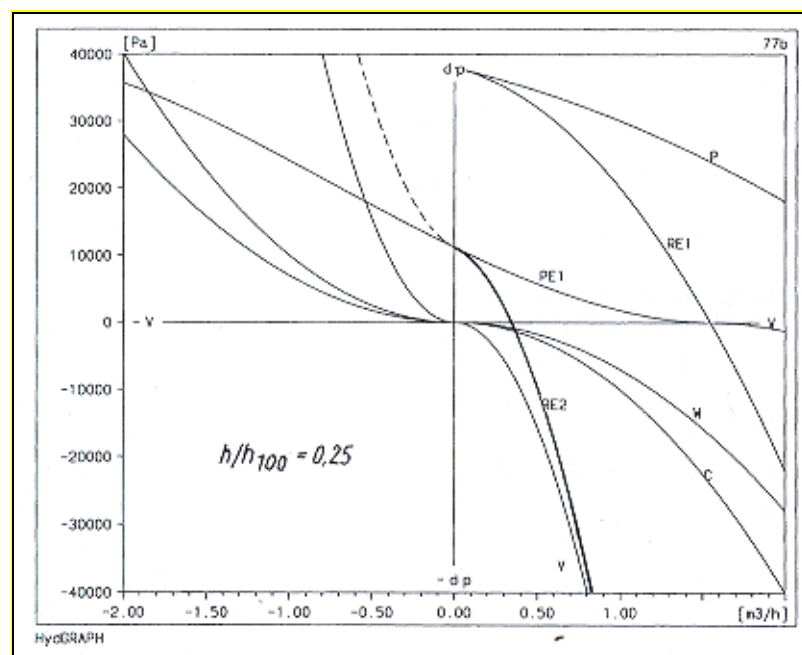
ELEMENT	Element-Art		
P	Pumpe (Wertepaare)	dp1: 38000 dp2: 30000 dp3: 18000	V1: 0 V2: 1 V3: 2 in HSR
C	C-Wert Fix	n: 2.0	C: 10000.00
RE1	ERSATZ (Reihe)		
PE1	ERSATZ (Parallel)		
V	Dreiwege-RT	Kv: 5 SV: 500	Hub: 100 KL: linear C: 3932.800
W	Dreiwege-BT	Kv: 5 KL: lin./kmpl.	Hub: 0.000800 C: 98320000
RE2	ERSATZ (Reihe)		

HydGRAPH

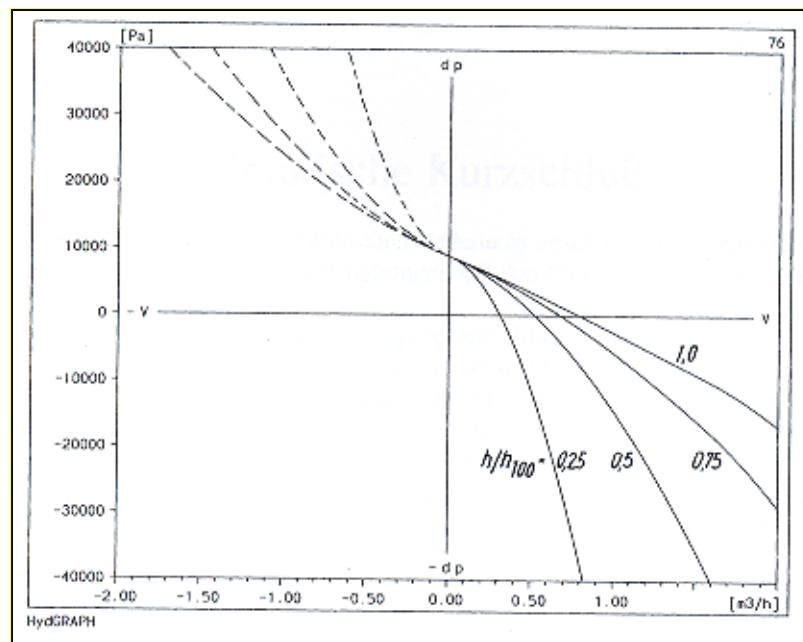
- $\Delta p, \dot{V}$ -Diagramm für die Verschaltung mit 100 % offenem RV (offenes Tor A):



- $\Delta p, \dot{V}$ -Diagramm für die Verschaltung mit 25 % offenem RV (Tor A 25 % offen, Tor B 75 % offen):

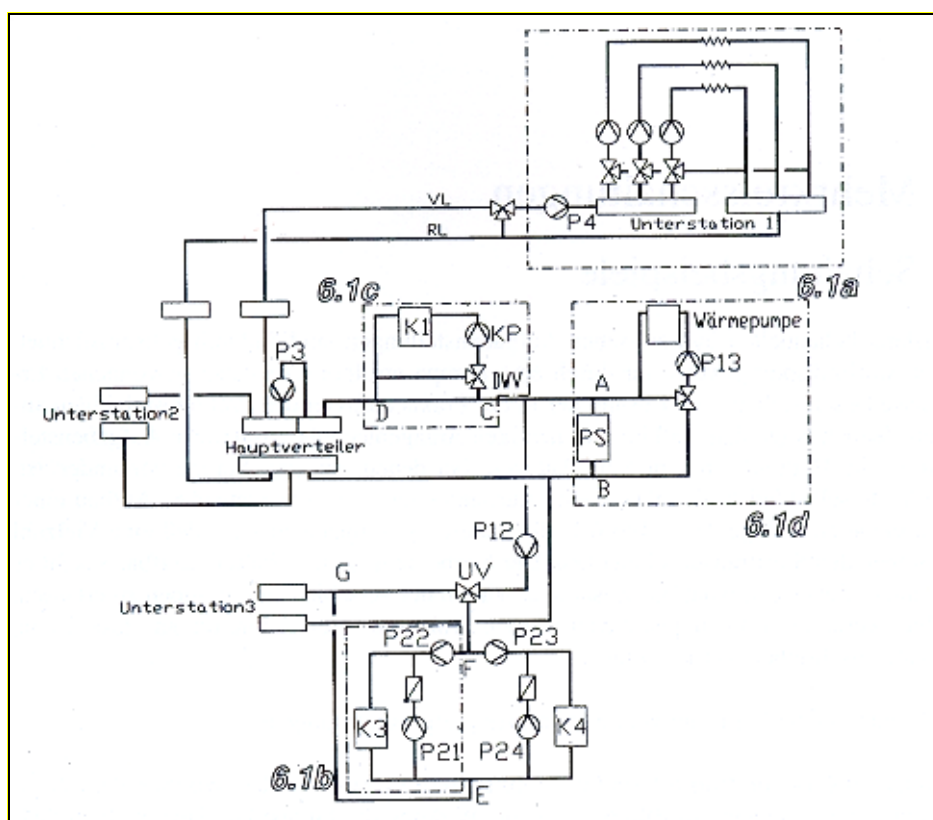


- Gesamtkennlinien RE2 bei verschiedenen Hubstellungen:



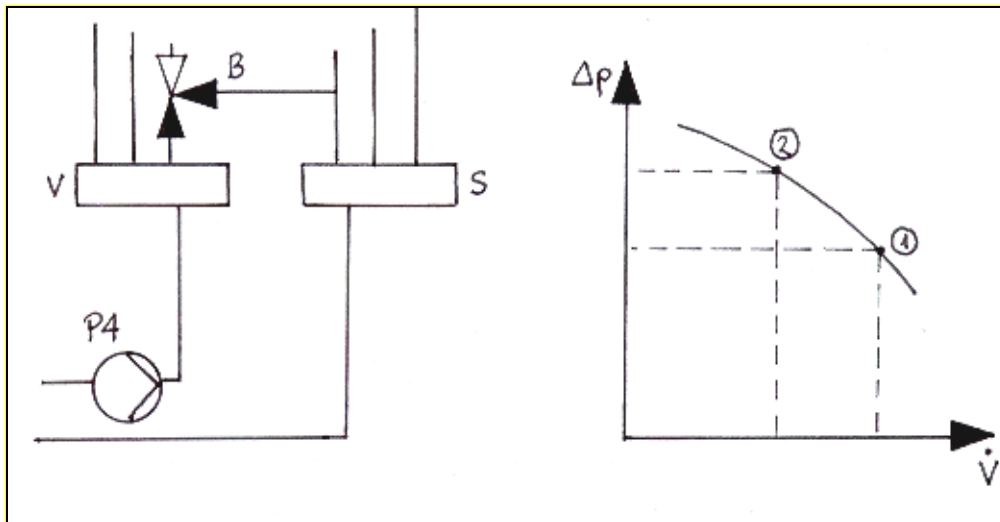
5. Mehrkesselschaltung

- gegeben ist das folgende Netz mit verschiedenen Untersystemen:



Unterstation 1 (6.1.a)

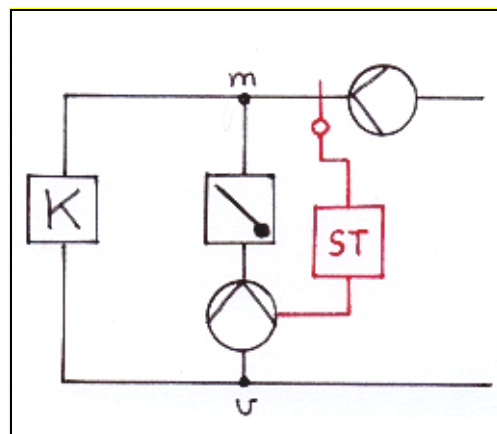
- wenn P4 arbeitet, ist $p_{\text{verteiler}} > p_{\text{sammler}}$
- schwankender Differenzdruck zwischen Verteiler und Sammler; mit sinkendem Volumenstrom durch die Verbraucher (Tore A) steigt der Differenzdruck zwischen Sammler und Verteiler (1 -> 2)



- Alternative: P4 fehlt und anstelle dessen ist ein Widerstand eingebaut; bei abnehmendem Volumenstrom durch Verbraucher sinkt die Druckdifferenz zwischen Verbraucher und Sammler; dann ist $p_{\text{verteiler}} < p_{\text{sammler}}$

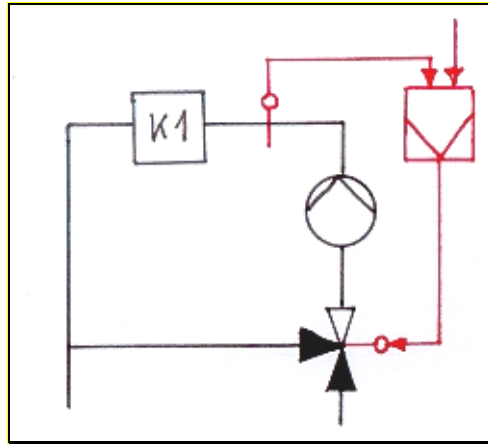
Kessel 3 und 4 (6.1.b)

- zwischen E und F parallel geschaltet
- Durchströmung der Kessel von oben nach unten
- P21 und P22 sind weder parallel noch in Reihe geschaltet
- P21 und P22 sind Beimischpumpen zur Anhebung der Rücklauftemperatur
- Steuerung der Bypasspumpe, keine Regelung; AN-Signal bei Unterschreitung einer Grenztemperatur:



Kessel 1 (6.1.c)

- differenzdruckarmer Anschluss zwischen C und D
- $\dot{V}$ konstant im Kessel 1
- Dreiwegeventil zur Rücklaufftemperaturanhebung



- hydraulische Entkopplung des Kessels 1 von der restlichen Anlage

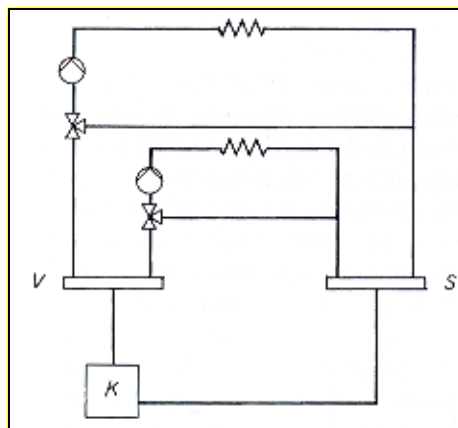
Wärmepumpe (6.1.d)

- Wärmepumpe arbeitet auf den Pufferspeicher PS
- Laden: Durchströmung von A nach B
- Entladen: umgekehrt
- Normalfall: $p_A > p_D$

6. Differenzdruckregler und Überströmventil

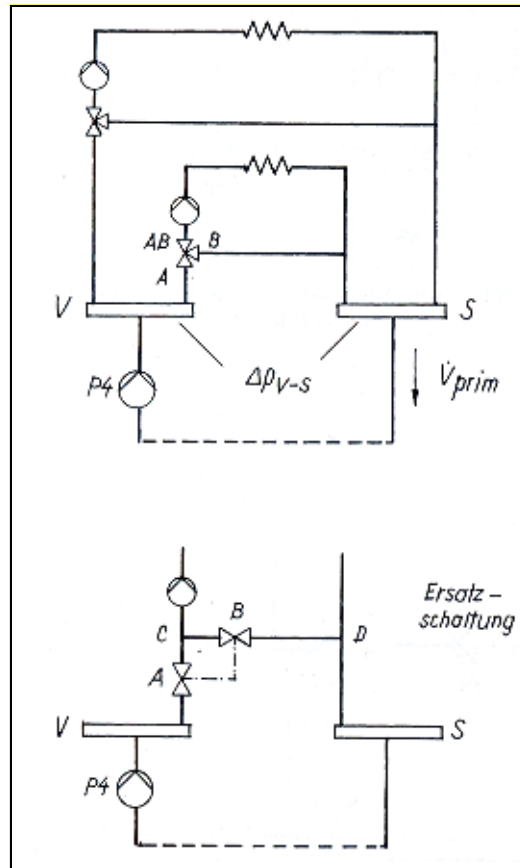
- gegeben ist die Schaltgruppe 6.1.a des letzten Kapitels
- Betrachtung verschiedener Zustände

Fall 1 – keine Primärpumpe eingebaut



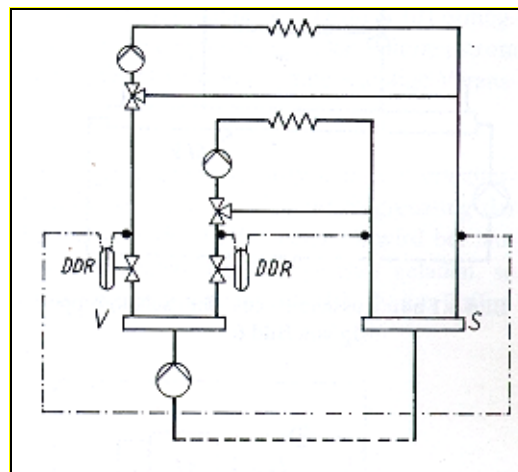
- $p_s > p_v$
- Schaltung nur anwendbar bei kleinem Kesselwiderstand c_K (z.B. Naturumlaufkessel)

Fall 2 – nur Primärpumpe eingebaut

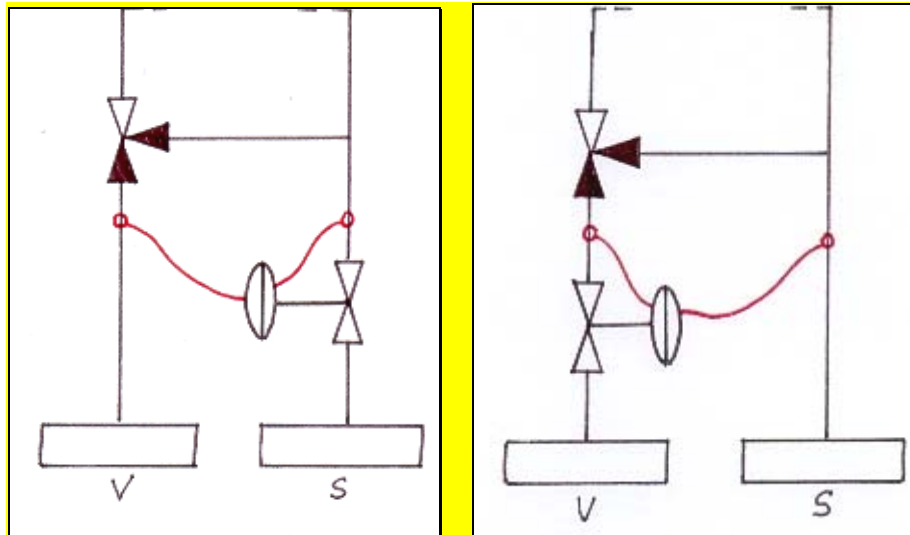


- es kann Fehlströmung auftreten von C nach D durch zu hohe Drücke der Primärpumpe P_4

Fall 3 – Primärpumpe und Differenzdruckregler eingebaut

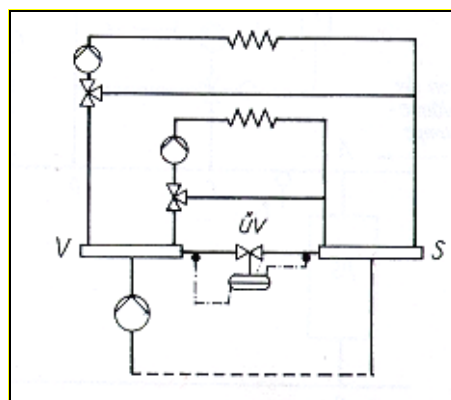


- DDR in Reihe in jedem Verbraucherstrang
- wenn DDR im Sekundärvorlauf, dann ein Anschluss in Fließrichtung hinter dem DDR im Vorlauf, der andere im Rücklauf vor dem Sammler
- wenn DDR im Sekundärrücklauf, dann ein Anschluss in Fließrichtung vor dem DDR im Rücklauf, der andere im Vorlauf nach dem Verteiler



- die Primärpumpe hat allein die Aufgabe den Widerstand von Primärleitungen, Sammler und Verteiler sowie des DDR zu überwinden;
- die Sekundärpumpen sollen den Widerstand von Dreiwegeventil und Verbraucher, sowie der Sekundärleitungen (ab dem DDR) überwinden
- Verbraucher werden abgeschaltet oder laufen in Teillast (andere oder der betrachtete Kreis), der Volumenstrom durch die Primärpumpe sinkt, die Druckerhöhung der Primärpumpe steigt (ungeregelte Pumpe)
- Differenzdruck zwischen Verteiler und Sammler steigt
- damit die Fließrichtung durch den Bypass (Tor B) für den entsprechenden Verbraucher dieselbe bleibt und die Reichweite der Sekundärpumpe wie oben beschrieben erhalten bleibt, muss mit Hilfe des DDR Druck weggedrosselt werden, es muss schließen
- das DDR selber befindet sich selber jeweils außerhalb des konstant gehaltenen Bereiches des Sekundärkreises

Fall 4 – Primärpumpe und Überströmventil eingebaut



- Überströmventil zwischen Verteiler und Sammler eingebaut (Druckanschlüsse falsch herum eingezeichnet!)
- die Primärpumpe hat allein die Aufgabe den Widerstand von Primärleitungen, Sammler und Verteiler zu überwinden; im Auslegungsfall soll über dem ÜV nichts strömen, also zwischen V und S kein Differenzdruck herrschen
- die Sekundärpumpen sollen den Widerstand von Dreiwegeventil und Verbraucher, sowie der Sekundärleitungen überwinden
- geplante Durchströmung des ÜV vom Verteiler zum Sammler
- Verbraucher werden abgeschaltet oder laufen in Teillast (andere oder der betrachtete Kreis), der Volumenstrom durch die Primärpumpe sinkt, die Druckerhöhung dieser Pumpe steigt
- Differenzdruck zwischen Verteiler und Sammler steigt, wobei $p_v > p_s$ ist
- Überströmventil muss öffnen, um Volumenstrom von V nach S durchzulassen, damit es nicht zu Fehlströmungen durch die Bypässe der Verbraucherkreise (Tore B) kommt
- wenn der Einfluss der Primärpumpe nämlich zu groß würde, d.h. bis über das Dreiwegeventil hinausreicht, dann würde das Tor B eventuell falsch herum durchströmt oder wenn Tor B geschlossen ist, der Einsatz der Sekundärpumpe gestört
- Druckfühler falsch gezeichnet, denn dieses ÜV schließt bei höherem Differenzdruck!

Quelle: Skript zur Vorlesung "Neue Heiz- und Energietechnologien"
an der Fachhochschule Braunschweig Wolfenbüttel;
erarbeitet von Prof. Dr.-Ing. D. Wolff und erstellt
von Dipl.-Ing. (FH) K. Jagnow; Wolfenbüttel; 2000