

Vorlesung

Wasserförderung

Siedlungswasserwirtschaft 2

Stand 2010

Fragen zur aktuellen Vorlesung (18.5.10) „Wasserförderung“
pguckelsberger@gmx.de

Download der aktuellen Vorlesung:

<http://www.paulguckelsberger.de/WasserProjekte.htm>

Fragen zu Script/Prüfungsvorbereitung Klausur P3/P6/SiWaWi2 an Prof. Eckhardt
(Vorlesung, Sprechstunde oder heinz.eckhardt@hs-rm.de)

GLIEDERUNG

4	Wasserförderung.....	3
4.1	Art und Lage von Wasserförder- und Speicheranlagen.....	4
4.1.1	Durchlaufspeicher	5
4.1.2	Gegenspeicher	7
4.1.3	Zentral- / Schwerpunktspeicher	9
4.2	Rohr- und Rohrnetzrechnung.....	11
4.3	Bernoullische Druck- u. EnergiehöhenGleichung.....	13
4.4	Örtliche Verlustbeiwerte (Rohrströmungen)	19
4.5	Aufgaben zu Örtliche und kontinuierliche DruckVerluste	26
4.5.1	1. Aufgabe: Druckverlust einer Wasserversorgungsleitung.....	26
4.5.2	Örtliche und kontinuierliche DruckVerluste.....	28
4.5.3	2. Aufgabe: Druckerhöhung für Neubaugebiet.....	28
4.6	Pumpen in der Wasserverteilung	32
4.6.1	Kolbenpumpen	32
4.6.2	Kreiselpumpen.....	37
4.6.3	Exzentrerschneckenpumpe	42
4.6.4	Förderschnecke.....	42
4.7	Verteilungsnetze	43
4.7.1	Bemessung Verästelungsnetz.....	43
4.8	Reihenschaltung.....	44
4.8.1	Reihenschaltung von Kreisel-Pumpen	44
4.8.2	Reihenschaltung von Rohrleitungen	44
4.9	Parallelschaltung.....	45
4.9.1	Parallelschaltung von Kreisel-Pumpen	45
4.9.2	Parallelschaltung von Rohrleitungen	45
4.10	Aufgaben zu Pumpen- und Rohrkenlinien.....	47
4.10.1	1. Aufgabe: Pumpen- und Rohrkenlinien.....	47
4.11	2. Aufgabe - WasserVers - P3 S 2005 - (15 min)	58
4.12	Übung zur SiWaWi 2.....	59

Beamer

4 WASSERFÖRDERUNG

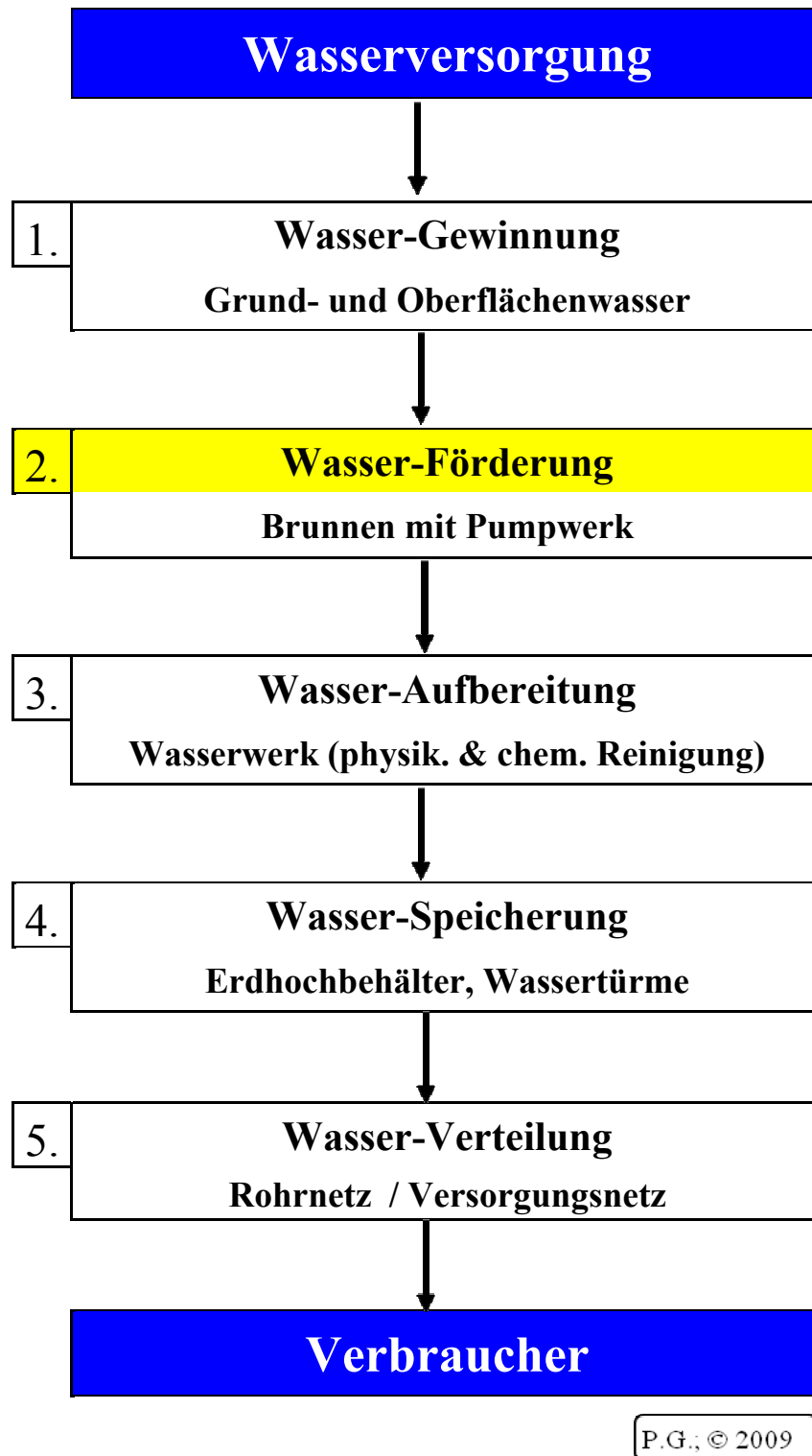


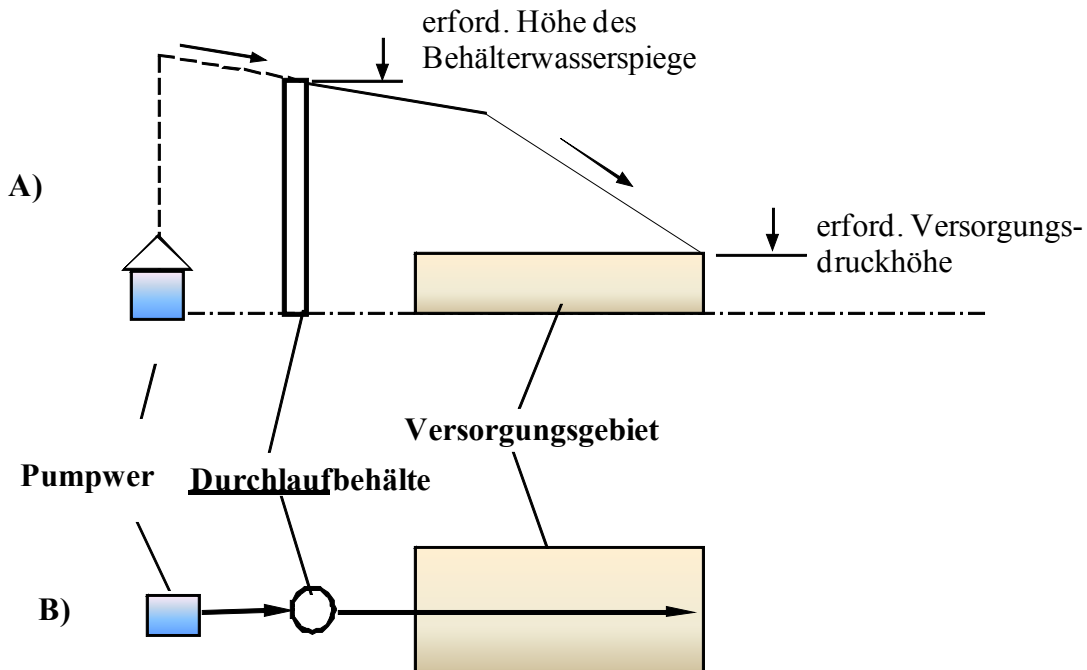
Abb. 4-1: Module der Wasserversorgung. Quelle: P. Guckelsberger, 2009: „Vom Wasserfass Zum Wasserturm“; Vortrag; www.PaulGuckelsberger.de/Wasserprojekte

4.1 Art und Lage von Wasserförder- und Speicheranlagen

Speicherunterscheidung nach ihrer Lage zum Versorgungsgebiet und Förderstelle:

- (1.) „Durchlauf-Speicher“,
- (2.) „Gegen-Speicher“
- (3.) „Zentral-Speicher“ (Schema s. Abb. unten).

4.1.1 Durchlaufspeicher



Der Durchlaufspeicher als Erd-Hochbehälter

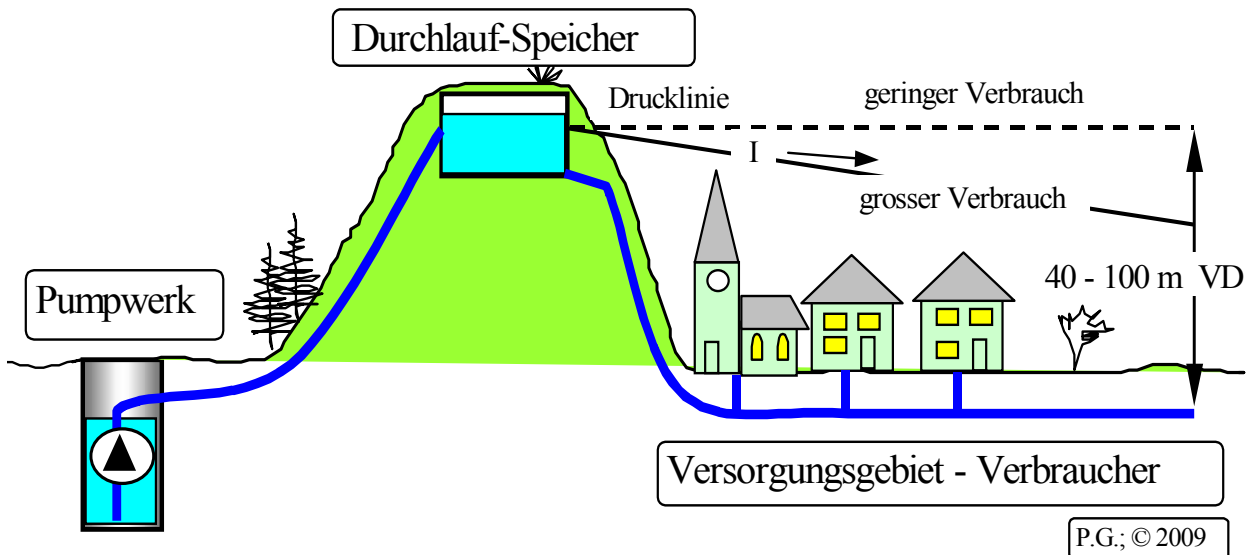


Abb. 4-2: Durchlaufspeicher (Hoch-/Erdbehälter) liegt zwischen Wassergewinnungsanlage (Pumpwerk) und Versorgungsnetz (Verbraucher). Das Pumpwerk füllt ihn energiesparend bei Nacht. Quelle: P. Guckelsberger, 2009: Vom Wasserfass Zum Wasserturm; www.PaulGuckelsberger.de/Wasserprojekte

Der Durchlaufspeicher als Wasserturm

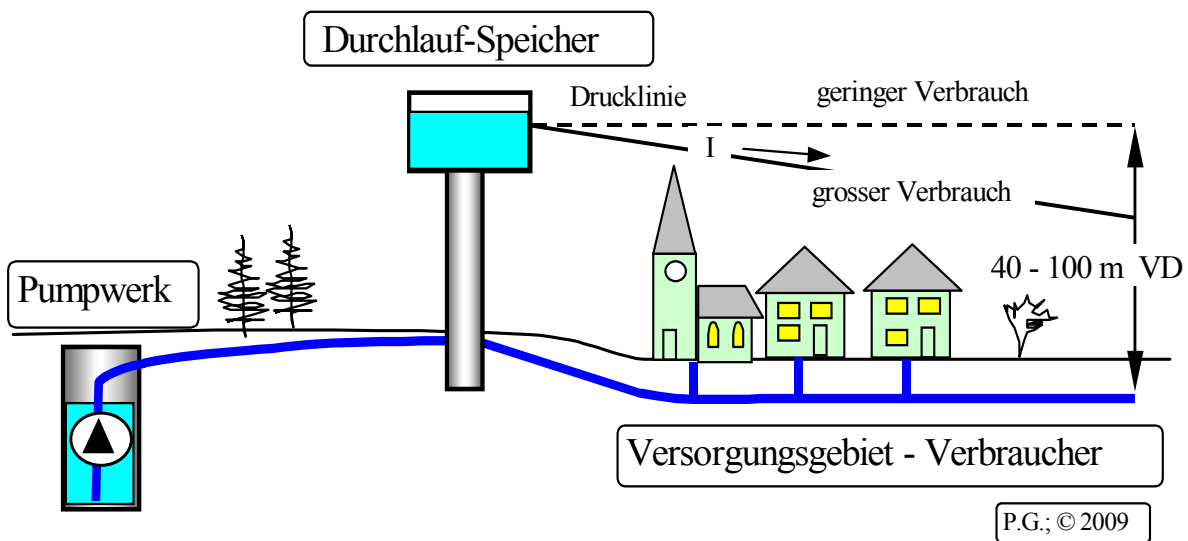


Abb. 4-3: Durchlaufspeicher (Wasserturm) liegt zwischen der Wassergewinnungsanlage (Pumpwerk) und dem Versorgungsnetz (Verbraucher). Quelle: P. Guckelsberger, Vortrag 2009: „Vom Wasserfass zum Wasserturm; www.PaulGuckelsberger.de/Wasserprojekte

Merkmale Durchlaufbehälter / -speicher:

- Wasserspeicher zwischen Wassergewinnung (Pumpwerk) und Versorgungsgebiet

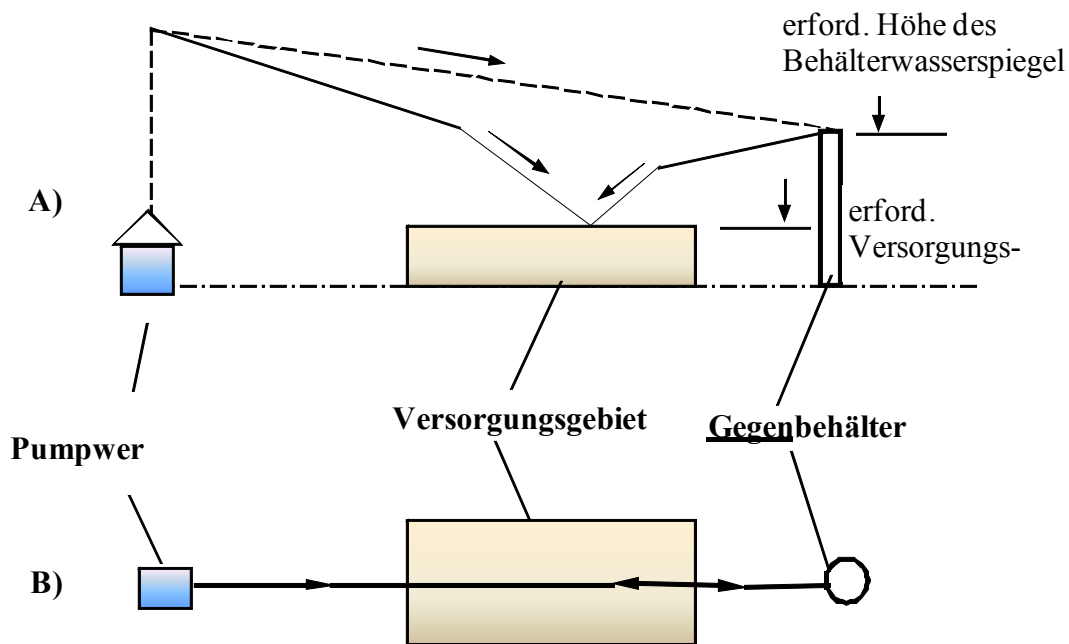
Vorteile des Durchlaufbehälter / -speicher:

- + Eindeutige, gleichmäßige Druckverhältnisse im Versorgungsgebiet.
- + Versorgungsnetz vor Druckschwankungen (Pumperwerksbetrieb)
- + Fluktuation = Wasser-Austausch im Speicher durch Anordnung zum Netz sichergestellt.

Nachteile des Durchlaufbehälter / -speicher

- Weniger Versorgungssicherheit als Gegenbehälter (Pumpwerk + Speicher speisen ein)
- stärkere Druckunterschiede im Versorgungsgebietes als bei Gegen- / Zentralbehälter

4.1.2 Gegenspeicher



- Wassertürme werden meistens als Gegenbehälter ausgelegt.

Der Gegenspeicher als Wasserturm

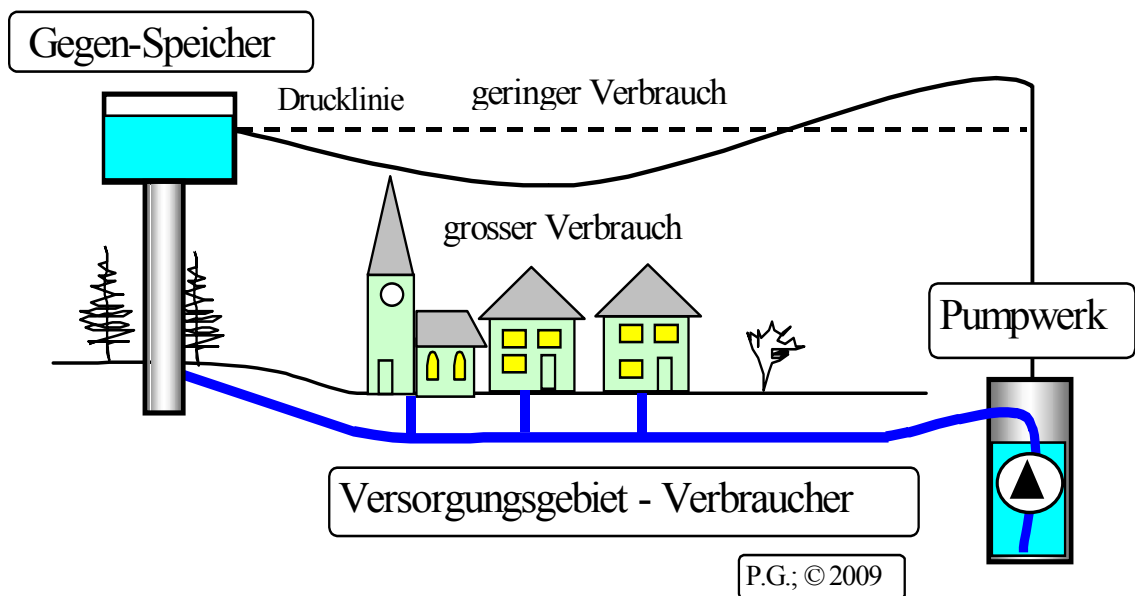


Abb. 4-4: Gegen-Speicher – Versorgungsgebiet zwischen Wassergewinnung und Speicher (Wasserturm).
 Quelle: P. Guckelsberger, Vortrag 2009: „Vom Wasserfass zum Wasserturm“;
www.PaulGuckelsberger.de/Wasserprojekte

Merkmale Gegenbehälter / -speicher:

- Versorgungsgebiet zwischen Wassergewinnung und dem Wasserspeicher
- Versorgungsgebiet im Gegensatz zum Durchlaufbehälter **drei Betriebszustände**, die jeweils für eigene Druckverhältnisse sorgen:
 1. **Speicherbehälter fast leer – Pumpwerk speist alleine Wasser ein**
 - Wasserwerk (Pumpwerk) versorgt das Gebiet alleine.
 - Wasserwerk baut Druck im Versorgungsgebiet alleine auf.
 - Dadurch größere Druckunterschiede im Versorgungsnetz
 2. **Speicherbehälter voll– Pumpwerk und Speicher speisen zusammen Wasser ein**
 - Speicher speist zusammen mit dem Wasserwerk (Pumpwerk) ins Versorgungsgebiet.
 - Niedriger Wasserdruck, wenn Punkte weit von Wasserwerk und Wasserspeicher entfernt.
 - Hoher Wasserdruck für Punkte, die nahe am Wasserwerk und Wasserspeicher liegen.
 - Druckunterschiede im Netz sind aber geringer, als in Betriebszustand 1 oder 3.
 3. **Speicherbehälter ist voll – Er speist alleine Wasser ein**
 - Druckverhältnisse im Versorgungsnetz, wie in Betriebszustand 1, sehr unterschiedlich.
 - Nahe dem Speicher hoher Druck in weiter entfernten Bereichen niedriger Druck
- **Druckschwankungen und Druckstöße beim Wechsel der Betriebszustände**
- **Diese müssen durch die Versorgungsleitungen aufgenommen werden**

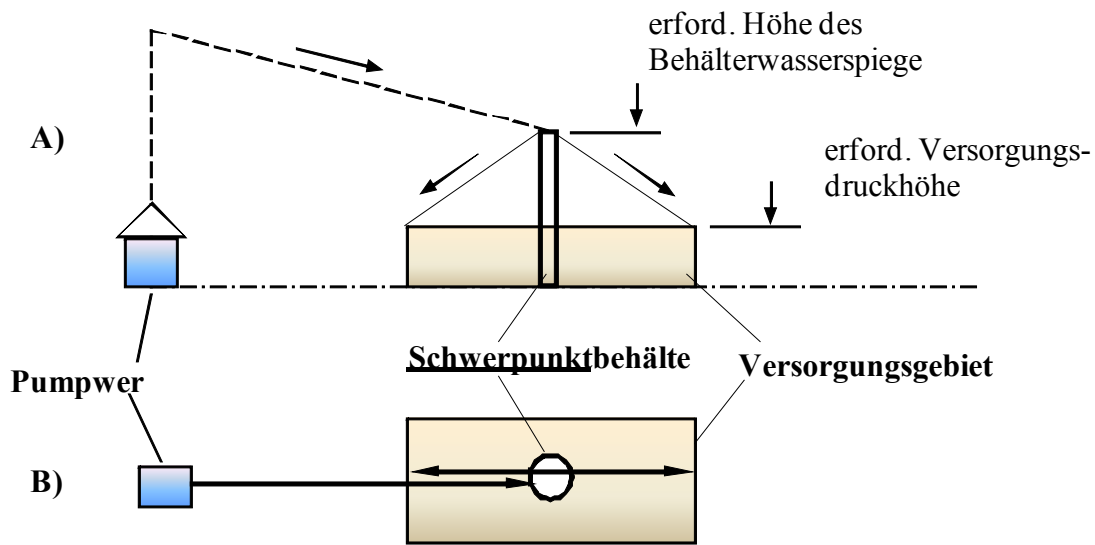
Vorteile des Gegenbehälter / -speicher:

- + Versorgungsgebiet wird von zwei Seiten versorgt.
- + Damit erhöhte Versorgungssicherheit.

Nachteile des Gegenbehälter / -speicher: Stagnationsgefahr

- nehmen i. d. R. nur Wasser auf, dass nicht im Versorgungsgebiet verbraucht wird.
- Wasser kann in verbrauchsarmen Zeiten länger als einen Tag im Speicher verbleiben (Stagnationsgefahr) und verkeimen – „schlecht werden“.
- **Durch techn. Maßnahmen gewährleisten, dass sich Speicherinhalt erneuert:**
 - **z.B. Füllen des Speichers in der Nacht – entleeren bei Tag.**
 - **Strömung durch Einbauten gezielt leiten.**

4.1.3 Zentral- / Schwerpunktspeicher



Der Zentral-/Schwerpunktspeicher als Wasserturm

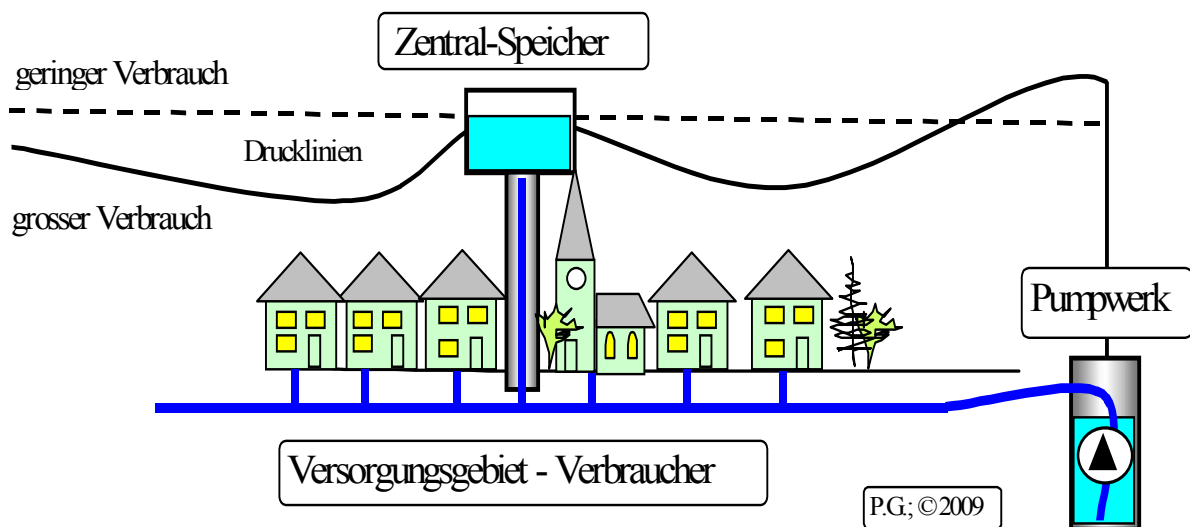


Abb. 4-5: Zentral-Speicher – Wasserturm im Zentrum des Versorgungsgebietes. Die Brunnen-Pumpe füllt ihn bei Nacht und bei Bedarf. Quelle: P. Guckelsberger, Vortrag 2009: „Vom Wasserfass zum Wasserturm“; www.PaulGuckelsberger.de/Wasserprojekte

Merkmale Zentralbehälter / -speicher:

- **Wasserspeicher liegt innerhalb des Versorgungsgebietes**
- **M6glichst im Gebietsschwerpunkt, meist als zentraler Wasserturm**
- **Ähnliche Vor-/Nachteile wie beim Gegenbehälter – siehe Gegenbehälter**

4.2 Rohr- und Rohrnetzrechnung

- **Rohrleitungen sind hydraulisch zu berechnen**
 - D.h. Druck- und EnergieLinienbetrachtungen

- **Rohrnetzrechnungen für Wasserversorgungsnetze**
 - Ermittlung der hydraul. Leistungsfähigkeit von Versorgungsnetzen.
 - Maßgebend sind die Mindest- und Maximaldrücke an jeder Entnahmestelle für den "normalen" Betriebsfall.
 - In eng besiedelten Gebieten ist der Löschwasserbedarf maßgebender Lastfall

- **Wasserversorgungsleitungen = Druckleitungen**
 - Rohrquerschnitt voll ausgefüllt
 - DruckLinie (DL) liegt über dem Rohrscheitel

- **Dagegen Freispiegelleitung und offene Gerinne:**
 - Rohrquerschnitt nur Teilvoll.
 - DruckLinie (DL) = WasserspiegelLinie

- Tafel / Anschrieb -

Richtwerte in der Wasserversorgung / Rohrberechnung

$v \approx 0,6$ bis $1,5$ m/s = wirtschaftliche Geschwindigkeit !

$v > 1,5$ m/s steigert Druckverluste => erhöht Pumpen-Betriebskosten

Verdopplung Fließgeschwindigkeit = Vervierfachung Reibungsverluste !!

bzw.

Doppelter Volumenstrom = vierfacher Druckverlust !!

$v_{\min} \approx 0,3$ m/s

Reibungsgefälle $I_E \approx 2 - 6$ [m/km] bzw. [‰]

Wirtschaftl. Versorgungsdruck $VD \approx 20$ bis 40 m Druckhöhe („Meter-WasserSäule“) bzw. $2 - 4$ bar

Rohrquerschnitte:

- **DN > 100:** WaVers-Fernleitungen bzw. Zuleitung zum Versorgungsgebiet und Versorgungsleitung im Gebiet
- **DN > 25:** Anschlussleitung von Versorgungsleitung zum Grundstück

4.3 Bernoullische Druck- u. Energiehöhen-Gleichung

- Zur Berechnung der Lage der Drucklinie in voll gefüllten Leitungen
- Alle Glieder haben die Dimension einer Höhe => somit zeichnerisch darstellbar
- Teilvolle Rohre und offene Gerinne: Drucklinie = Wasserspiegellinie

Die Bernoulligleichung besagt:

Bei stationärer (zeitlich sich nicht verändernden) Bewegung/Strömung, einer idealen (reibungsfreien) Flüssigkeit, die nur der Schwerkraft unterworfen ist, gilt für alle Punkte einer Stromlinie, dass die Summe aus

Geschwindigkeitshöhe $\frac{v^2}{2g}$

Und

Druckhöhe $\frac{p}{\rho g}$

und **geodätischer Höhe** $z = \text{konstant}$ ist

$$H = konst. = \frac{v_i^2}{2g} + h_{di} + z_i + \sum h_{vi}$$

In einer Stromröhre setzt sich die hydraulische Gesamtenergie H (h_E) über einem beliebig wählbaren Bezugshorizont damit zusammen aus:

Geodätischer Höhe „ z “ = Lage-Energie (Geländehöhen)

+ Druckhöhe $h_D = \frac{p_d}{(\rho \times g)}$ = Druck-Energie

+ Geschwindigkeitshöhe $h_K = v^2/2g$ = kinetischen Energie

Die einzelnen Energiehöhenanteile werden als Strecken in geeigneter Form vom Bezugshorizont aus nach oben abgetragen.

Beamer

$\frac{v_i^2}{2g}$ [m]	=	Geschwindigkeitshöhe (Kinetische Energiehöhe)	H [m]	=	Gesamtenergiehöhe
z_i [m]	=	Geodätische Höhe über beliebigem Horizont	h_{vi}	=	Gesamtverlusthöhe (Wandreibung + Ablösung)
h_{di} [kN/m ²]	=	$\frac{p_d}{(\rho \times g)}$ Druckhöhe (Energie der Druckkraft = p*V)	ρ [t/m ³]	=	Wasserdichte
p_d [kN/m ²]	=	Druck	G [m/s ²]	=	9,81 (Fallbeschleunigung)
V [m/s]	=	Fließgeschwindigkeit			

λ [-] Widerstandsbeiwert (Reibungszahl). Von der Art der Strömung – laminar oder turbulent – abhängig. Wird durch die einheitenlose Reynoldssche Zahl $Re = (v \cdot d) / \nu$ gekennzeichnet. Darin ist ν [m²/s] = kinematische Zähigkeit bzw. Viskosität (Stoffeigenschaft des Mediums)

$$H = \text{konst.} = \frac{v_i^2}{2g} + h_{di} + z_i + \sum h_{vi}$$

Einbauten
wie Krüm-
mer,
Schieber

örtliche Verluste

$$h_{v\delta} = \xi_{\delta} \times \frac{v_i^2}{2g}$$

kontinuierl. Verluste

$$h_{vR} = \xi_R \times \frac{v_i^2}{2g}$$

Rohrart- und Rohr-
materialspezifische
Reibung k_i [mm].

$$h_{vR} = \lambda \times \frac{L}{D} \times \frac{v_i^2}{2g}$$

Fallunterscheidung Strömungsart

laminare Strömung

turbulente Strömung

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = \frac{\sqrt{\lambda} \times Re}{64}$$

Hagen-Poiseuille

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{Re \times \sqrt{\lambda}} + \frac{k/D}{3,71} \right)$$

Prandtl-Colebrook

3 Bereiche

a) hydraul. Glatt

b) vollkommen rauh

c) Übergangsbereich

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{Re \times \sqrt{\lambda}} \right)$$

$$k/D \Rightarrow 0$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{k/D}{3,71} \right)$$

$$Re \Rightarrow 0$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{Re \times \sqrt{\lambda}} + \frac{k/D}{3,71} \right)$$

Fallunterscheidung der Strömungsart - laminar oder turbulent ?

λ [-] = Widerstandsbeiwert / Reibungszahl (Lamda)

- Von der Art der Strömung – laminar oder turbulent – abhängig.
- Wird durch die Reynoldsche Zahl $Re [-] = (v \cdot d) / \nu$ gekennzeichnet
- Mit „Ypsilon“ $\nu [m^2/s]$ = kinematische Zähigkeit bzw. Viskosität (Stoffeigenschaft des Mediums)
- v = Fließgeschw. [m/s]
- d = lichter Rohrdurchmesser DN [mm]
- $Re_{krit} = 2320$ = Umschlag vom laminaren in den turbulenten Bereich

Beachte: Die kritische Reynolds-Zahl Re_{krit} charakterisiert **nicht** exakt den Übergang laminarer zu turbulenter Strömung

Es ist in Experimenten gelungen, laminare Rohrströmungen mit $Re > 10000$ zu erzeugen, **ohne** dass die Strömung turbulent geworden ist.

Die kritische Reynolds-Zahl ist jedoch geeignet als Maß für den umgekehrten ($Re < 2300$ = laminar) Übergang:

Das heißt, wenn die Strömung im Rohr verlangsamt wird, kann man bei $Re < 2300$ von laminarer Strömung ausgehen.

Beispiel zur Fallunterscheidung der Strömungsart - laminar oder turbulent ?

Geg.: Wasser 10 °C, $v = 1 \text{ m/s}$, DN 100 mm (lichter Rohrdurchmesser)

Ges.: Reibungszahl λ und Strömungsart **laminar** oder **turbulent** ?

Tab.: Kinematische Viskosität ν von Wasser

Temperatur [C°]	Kinematische Viskosität (Zähigkeit) ν [m ² /s]
8	$1,375 * 10^{-6}$
10	$1,307 * 10^{-6}$
12	$1,227 * 10^{-6}$
14	$1,163 * 10^{-6}$
16	$1,106 * 10^{-6}$
18	$1,063 * 10^{-6}$
20	$1,004 * 10^{-6}$
22	$0,967 * 10^{-6}$

$$\text{Re} = \frac{v \text{ [m/s]} * d \text{ [m]}}{\nu \text{ [m}^2\text{/s]}} =$$

Berechnung

$$\text{Re} = \frac{v \text{ [m/s]} * d \text{ [m]}}{\nu \text{ [m}^2\text{/s]}} =$$

$$\text{Re} = \frac{1 \text{ m/s} * 0,10 \text{ m}}{1,31 * 10^{-6} \text{ m}^2\text{/s}} = 76336 > 2320, \text{ d.h. turbulent}$$

Örtliche Verluste und Geschwindigkeitshöhe $h_K = v^2/2g$

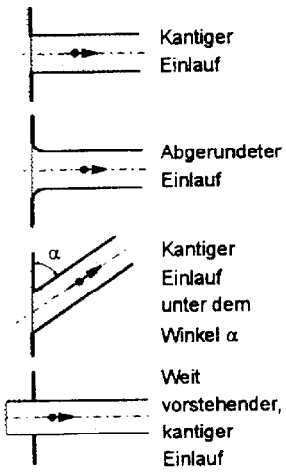
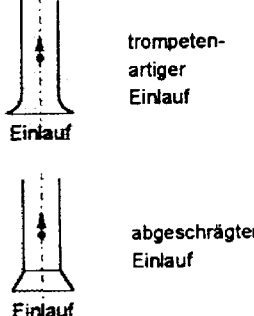
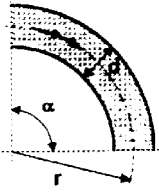
- Wassergeschwindigkeit in Versorgungsleit. meist $v < 1 \text{ m/s}$
 - Das Quadrat von v ist also noch kleiner !
 - Die Abfluss-/Verlustbeiwerte ζ_0 sind ebenfalls sehr klein !
 - Damit werden Verluste durch örtliche Einbauten „ ζ_0 “ und durch die Fließgeschwindigkeit „ v “ so **klein**, dass man sie pauschalisieren darf !
 - Pauschalisieren (vereinfachen der Rohrnetzrechnung) indem die Häufung von Einbauten (Ortsnetze) durch **Wahl einer größeren Rauheit** k_i [mm] (Prandtl-Colebrook) berücksichtigt wird (Script und Lit. Tab. für $k_i = 0,1; 0,4; 1,0$).

Bei kurzen Leitungen (Saug- u. Heberleitungen) wird dagegen i.d.R die Summe aller Verluste (Verlustbeiwerte aller Einbauten, Einläufe etc.) genau ermittelt

4.4 Örtliche Verlustbeiwerte (Rohrströmungen)

Die Verlusthöhenanteile aus örtlichen Verlusten [10] errechnen sich stets mit Gleichung (6.26), wobei im Regelfall die Geschwindigkeitshöhe nach der Störstelle einzusetzen ist:

$$h_{v,\delta} = \zeta_{\delta} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (6.26)$$

Art der Armatur oder des Formstücks	Örtliche Verlustbeiwerte ζ_{δ}																
 <p>Kantiger Einlauf</p> <p>Abgerundeter Einlauf</p> <p>Kantiger Einlauf unter dem Winkel α</p> <p>Weit vorstehender, kantiger Einlauf</p>	<p>Einlauf (auch Auslauf aus einem Behälter in eine Rohrleitung) Einlaufverluste $\zeta_{Ein} = \dots$</p> <p>Kantiger Einlauf: sehr scharf $\zeta = 0,5$ normal gebrochen $\zeta = 0,25$ starke Phase $\zeta = 0,2$</p> <p>Abgerundeter Einlauf: normal $\zeta = 0,05$ je nach Glätte $\zeta = 0,06$ bis $0,005$</p> <p>Kantiger Einlauf unter dem Winkel α: $\alpha = 45^\circ \Rightarrow \zeta = 0,8$ $\alpha = 60^\circ \Rightarrow \zeta = 0,7$ $\alpha = 75^\circ \Rightarrow \zeta = 0,6$</p> <p>Weit vorstehender, kantiger Einlauf: sehr scharf $\zeta = 1,3$ bis 3 normal gebrochen $\zeta = 0,6$</p>																
 <p>trompetenartiger Einlauf</p> <p>abgeschrägter Einlauf</p>	<p>Einlaufgehäuse von Pumpensaugleitungen</p> <p>Einlaufverluste $\zeta_{Ein} = \dots$</p> <p>trompetenförmiger Einlauf: $\zeta = 0,05$</p> <p>abgeschrägter Einlauf: $\zeta = 0,20$</p>																
 <p>Krümmen gebogen Oberfläche glatt</p>	<p>Krümmen gebogen mit glatter Oberfläche</p> <table border="1" data-bbox="710 1624 1268 1780"> <thead> <tr> <th>Umlenkwinkel α</th> <th>45 °</th> <th>60 °</th> <th>90 °</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\zeta_{Krü}$ für $r = d$</td> <td>0,14</td> <td>0,19</td> <td>0,21</td> </tr> <tr> <td>$\zeta_{Krü}$ für $r = 2 d$</td> <td>0,09</td> <td>0,12</td> <td>0,14</td> </tr> <tr> <td>$\zeta_{Krü}$ für $r \geq 5 d$</td> <td>0,08</td> <td>0,10</td> <td>0,10</td> </tr> </tbody> </table>	Umlenkwinkel α	45 °	60 °	90 °	$\zeta_{Krü}$ für $r = d$	0,14	0,19	0,21	$\zeta_{Krü}$ für $r = 2 d$	0,09	0,12	0,14	$\zeta_{Krü}$ für $r \geq 5 d$	0,08	0,10	0,10
Umlenkwinkel α	45 °	60 °	90 °														
$\zeta_{Krü}$ für $r = d$	0,14	0,19	0,21														
$\zeta_{Krü}$ für $r = 2 d$	0,09	0,12	0,14														
$\zeta_{Krü}$ für $r \geq 5 d$	0,08	0,10	0,10														

WasserleitungsBemessung - Rohrreibung „ k_i [mm]“

- Script RohrTab. 4.1 oder DVGW Arbeitsblatt W302 u. FachLiteratur

k_i = Wert = scheinbare integrale Rauheit einer Rohrinnenfläche

Bei den meisten Leitungsarten hat „ k_i “ **keinen Direktbezug** zur Rauheit der Rohrinnenfläche !

Sondern, es werden vielfältige Fließwiderstände wie Bögen, Armaturen, Abzweige usw., berücksichtigt, die in den unterschiedlichen Leitungsstrukturen (vermaschte Ortsnetze oder Fernleitungen) möglich sind.

Leistungsarten in der Wasserversorgung

- Jede Tabelle des DVGW Arbeitsblatt W 302 berücksichtigt dabei die **Art der Leitung** mit einer **spezifischen „Integralen Rauheit k_i “**:

In der Fachliteratur sind mitunter unterschiedliche Definitionen bezüglich der Leistungsarten und damit der anzusetzenden Rauigkeiten zu finden. Nachstehend habe ich daher, die aus der eigenen Projektpraxis wesentlichen Leistungscharakteristiken zusammengestellt:

Fernwasserleitungen: $k_i = 0,1 \text{ mm}$ (Script RohrTab 4-1)

Fernwasser-, Zubringer- und Verbindungsleitungen:

- Verbinden Pumpwerke mit Hochbehälter
- Verbinden Scheitelhochbehälter mit End-Hochbehälter
- Entlang der Leitung, keine Versorgungsleitungen angeschlossen
- Länge i.R. $> 25\text{km}$ und ab DN 500
⇒ wobei Berechnung als Fernltg. auch projektsp. Vorgabe sein kann.
- Reibung ist wegen großer Leitungslänge nicht vernachlässigbar

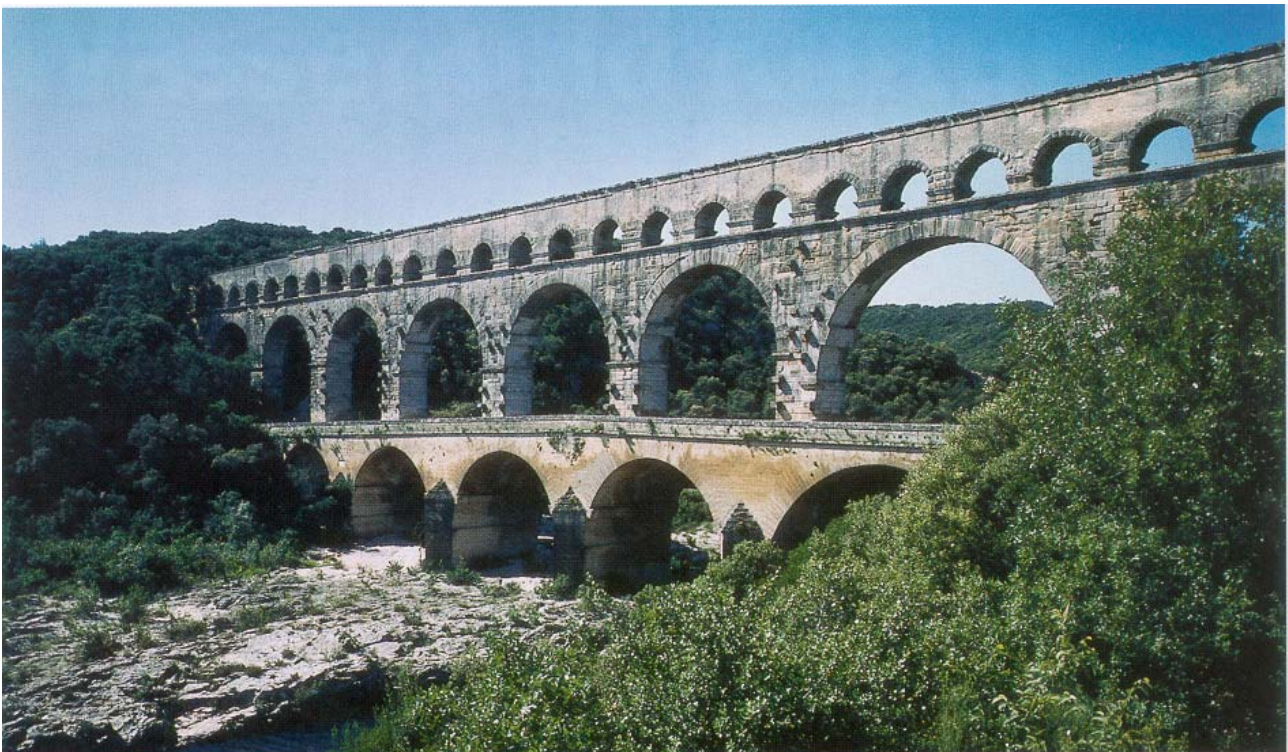


Abb. 6: Historische „Fernleitung“ Römisches Aquädukt bei Nîmes

Wasservers-Hauptleitungen: $k_i = 0,4 \text{ mm}$ (Script RohrTab 4-2)

Hauptleitungen:

- In den Orts-Straßen verlegt
- Abzweige von Hauptleitungen in den Straßen, führen zu den Versorgungs-/Verteilungsleitungen in den Gehwegen.
- Von diesen „Versorgungs-/Verteilungsleitungen“ in den Gehwegen, führen „Haus-Anschlussleitungen“ in die Häuser (Wasserzähler) zum Verbraucher

WasserVers-/Verteilungsleitungen: $k_i = 1,0 \text{ mm}$ (Script RohrTab 4-3)

Versorgungs-/Verteilungsleitungen

- Versorgungs-/Verteilungsleitungen“ liegen in den Gehwegen, und führen über „Haus-Anschlussleitungen“ in die Häuser (Wasserzähler) zum Verbraucher

ReibungsGefälle / Energielienengefälle I_E [m/km] (TabAblesung)

- **Reibungsgefälle I_E [m/km]** = Leitungsspezifischer „kontinuierlicher DruckVerlust“
- Über **I [m/km] = h_{VR} [m] / L [km]** lassen sich vielfältige Problemstellungen lösen.

Tab. 4-1: **Fernwasserleitungen** - Integrale Rauheit $k_i = 0,1 \text{ mm}$; DN = Nennweite; $I_E = h_{vT}/l$

Q l/s	DN 50		DN 65		DN 80		DN 100		DN 125		DN 150	
	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰
1	0,51	7,900	0,30	2,171	0,20	0,790	0,13	0,269	0,08	0,092	0,06	0,039
1,5	0,76	16,752	0,45	4,544	0,30	1,638	0,19	0,553	0,12	0,188	0,08	0,079
2	1,02	28,749	0,60	7,726	0,40	2,766	0,25	0,927	0,16	0,314	0,11	0,130
3	1,53	62,101	0,90	16,474	0,60	5,838	0,38	1,938	0,24	0,650	0,17	0,269
4	2,04	107,883	1,21	28,374	0,80	9,982	0,51	3,289	0,33	1,096	0,23	0,450
5	2,55	166,068	1,51	43,408	0,99	15,189	0,64	4,974	0,41	1,649	0,28	0,675
6	3,06	236,645	1,81	61,568	1,19	21,452	0,76	6,992	0,49	2,307	0,34	0,941
7			2,11	82,850	1,39	28,769	0,89	9,340	0,57	3,070	0,40	1,248
8			2,41	107,251	1,59	37,137	1,02	12,016	0,65	3,936	0,45	1,595
9			2,71	134,769	1,79	46,554	1,15	15,020	0,73	4,905	0,51	1,983
10			3,01	165,403	1,99	57,021	1,27	18,350	0,81	5,977	0,57	2,411
15					2,98	125,066	1,91	39,893	1,22	12,865	0,85	5,148
20							2,55	69,566	1,63	22,291	1,13	8,869
30									2,44	48,723	1,70	19,242
Q l/s	DN 200		DN 250		DN 300		DN 400		DN 500		DN 600	
	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰
10	0,32	0,585	0,20	0,197	0,14	0,082	0,08	0,021				
15	0,48	1,233	0,31	0,412	0,21	0,169	0,12	0,043				
20	0,64	2,105	0,41	0,698	0,28	0,286	0,16	0,072	0,10	0,025		
30	0,95	4,509	0,61	1,482	0,42	0,602	0,24	0,149	0,15	0,051	0,11	0,021
40	1,27	7,787	0,81	2,543	0,57	1,027	0,32	0,250	0,20	0,085	0,14	0,036
50	1,59	11,933	1,02	3,876	0,71	1,559	0,40	0,377	0,25	0,127	0,18	0,052
60	1,91	16,945	1,22	5,481	0,85	2,198	0,48	0,529	0,31	0,177	0,21	0,074
70	2,23	22,821	1,43	7,358	0,99	2,941	0,56	0,703	0,36	0,235	0,25	0,096
80	2,55	29,561	1,63	9,504	1,13	3,790	0,64	0,902	0,41	0,301	0,28	0,124
90	2,86	37,164	1,83	11,921	1,27	4,744	0,72	1,126	0,46	0,374	0,32	0,154
100	3,18	45,630	2,04	14,607	1,41	5,802	0,80	1,372	0,51	0,454	0,35	0,186
150			3,06	32,080	2,12	12,658	1,19	2,958	0,76	0,969	0,53	0,393
200					2,83	22,117	1,59	5,130	1,02	1,671	0,71	0,674
300							2,39	11,219	1,53	3,622	1,06	1,449
400							3,18	19,633	2,04	6,304	1,41	2,510
500									2,55	9,714	1,77	3,852
600									3,06	13,850	2,12	5,479
700									3,56	18,714	2,48	7,386
800											2,83	9,576
Q l/s	DN 700		DN 800		DN 900		DN 1000		DN 1100		DN 1200	
	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰
80	0,21	0,059	0,16	0,031	0,13	0,018	0,10	0,012				
90	0,23	0,072	0,18	0,038	0,14	0,021	0,11	0,013				
100	0,26	0,088	0,20	0,046	0,16	0,026	0,13	0,017	0,11	0,010		
150	0,39	0,185	0,30	0,096	0,24	0,054	0,19	0,033	0,16	0,021	0,13	0,015
200	0,52	0,315	0,40	0,163	0,31	0,092	0,25	0,056	0,21	0,034	0,18	0,023
300	0,78	0,672	0,60	0,346	0,47	0,194	0,38	0,116	0,32	0,074	0,27	0,048
400	1,04	1,159	0,80	0,596	0,63	0,331	0,51	0,198	0,42	0,124	0,35	0,082
500	1,30	1,772	0,99	0,907	0,79	0,504	0,64	0,301	0,53	0,188	0,44	0,123
600	1,56	2,518	1,19	1,284	0,94	0,713	0,76	0,423	0,63	0,263	0,53	0,172
700	1,82	3,381	1,39	1,725	1,10	0,956	0,89	0,565	0,74	0,351	0,62	0,229
800	2,08	4,376	1,59	2,229	1,26	1,232	1,02	0,728	0,84	0,452	0,71	0,294
900	2,34	5,497	1,79	2,795	1,41	1,544	1,15	0,911	0,95	0,566	0,80	0,367
1000	2,60	6,745	1,99	3,427	1,57	1,890	1,27	1,113	1,05	0,690	0,88	0,447
1500	3,90	14,877	2,98	7,527	2,36	4,136	1,91	2,426	1,58	1,500	1,33	0,969
2000					3,14	7,238	2,55	4,236	2,10	2,612	1,77	1,684
3000							3,82	9,341	3,16	5,747	2,65	3,692

Tab. 4-2: **Wasservers-Hauptleitungen** - Integrale Rauheit $k_i = 0,4 \text{ mm}$; $I_E = h_{vT}/l$

Q l/s	DN 50		DN 65		DN 80		DN 100		DN 125		DN 150	
	v m/s	I _E ‰	v m/s	I _E ‰	v m/s	I _E ‰	v m/s	I _E ‰	v m/s	I _E ‰	v m/s	I _E ‰
1	0,51	10,155	0,30	2,638	0,20	0,921	0,13	0,302	0,08	0,101	0,06	0,041
1,5	0,76	22,250	0,45	5,711	0,30	1,972	0,19	0,638	0,12	0,210	0,08	0,085
2	1,02	38,997	0,60	9,938	0,40	3,408	0,25	1,094	0,16	0,356	0,11	0,144
3	1,53	86,441	0,90	21,851	0,60	7,431	0,38	2,359	0,24	0,759	0,17	0,304
4	2,04	52,482	1,21	38,371	0,80	12,986	0,51	4,095	0,33	1,307	0,23	0,520
5	2,55	237,120	1,51	59,500	0,99	20,072	0,64	6,301	0,41	2,001	0,28	0,791
6	3,06	340,353	1,81	85,234	1,19	28,688	0,76	8,977	0,49	2,839	0,34	1,118
7			2,11	115,575	1,39	38,835	0,89	12,123	0,57	3,821	0,40	1,501
8			2,41	150,423	1,59	50,513	1,02	15,738	0,65	4,948	0,45	1,938
9			2,71	190,077	1,79	63,721	1,15	19,822	0,73	6,219	0,51	2,431
10			3,01	234,237	1,99	78,459	1,27	24,375	0,81	7,635	0,57	2,979
15					2,98	175,102	1,91	54,182	1,22	16,876	0,85	6,546
20							2,55	95,719	1,63	29,723	1,13	11,490
30									2,44	66,229	1,70	25,509
Q l/s	DN 200		DN 250		DN 300		DN 400		DN 500		DN 600	
	v m/s	I _E ‰	v m/s	I _E ‰	v m/s	I _E ‰	v m/s	I _E ‰	v m/s	I _E ‰	v m/s	I _E ‰
10	0,32	0,686	0,20	0,223	0,14	0,090	0,08	0,023				
15	0,48	1,489	0,31	0,479	0,21	0,191	0,12	0,046				
20	0,64	2,595	0,41	0,828	0,28	0,329	0,16	0,079	0,10	0,026		
30	0,95	5,715	0,61	1,809	0,42	0,712	0,24	0,167	0,15	0,058	0,11	0,023
40	1,27	10,044	0,81	3,164	0,57	1,240	0,32	0,287	0,20	0,095	0,14	0,039
50	1,59	15,582	1,02	4,892	0,71	1,910	0,40	0,441	0,25	0,144	0,18	0,057
60	1,91	22,328	1,22	6,994	0,85	2,725	0,48	0,624	0,31	0,203	0,21	0,082
70	2,23	30,283	1,43	9,470	0,99	3,682	0,56	0,841	0,36	0,271	0,25	0,108
80	2,55	39,447	1,63	12,320	1,13	4,783	0,64	1,088	0,41	0,349	0,28	0,139
90	2,86	49,819	1,83	15,543	1,27	6,028	0,72	1,367	0,46	0,438	0,32	0,175
100	3,18	61,400	2,04	19,139	1,41	7,416	0,80	1,679	0,51	0,535	0,35	0,212
150			3,06	42,726	2,12	16,504	1,19	3,709	0,76	1,175	0,53	0,464
200					2,83	29,175	1,59	6,531	1,02	2,061	0,71	0,808
300							2,39	14,552	1,53	4,570	1,06	1,782
400							3,18	25,740	2,04	8,063	1,41	3,136
500									2,55	12,539	1,77	4,869
600									3,06	18,000	2,12	6,987
700									3,56	24,442	2,48	9,468
800											2,83	12,336
Q l/s	DN 700		DN 800		DN 900		DN 1000		DN 1100		DN 1200	
	v m/s	I _E ‰	v m/s	I _E ‰	v m/s	I _E ‰	v m/s	I _E ‰	v m/s	I _E ‰	v m/s	I _E ‰
80	0,21	0,065	0,16	0,034	0,13	0,020	0,10	0,012				
90	0,23	0,080	0,18	0,043	0,14	0,023	0,11	0,015				
100	0,26	0,098	0,20	0,051	0,16	0,028	0,13	0,018	0,11	0,012		
150	0,39	0,212	0,30	0,108	0,24	0,061	0,19	0,036	0,16	0,023	0,13	0,015
200	0,52	0,369	0,40	0,188	0,31	0,103	0,25	0,062	0,21	0,038	0,18	0,025
300	0,78	0,808	0,60	0,408	0,47	0,225	0,38	0,132	0,32	0,082	0,27	0,054
400	1,04	1,417	0,80	0,713	0,63	0,392	0,51	0,229	0,42	0,142	0,35	0,092
500	1,30	2,195	0,99	1,103	0,79	0,604	0,64	0,353	0,53	0,217	0,44	0,141
600	1,56	3,141	1,19	1,578	0,94	0,862	0,76	0,503	0,63	0,309	0,53	0,199
700	1,82	4,259	1,39	2,136	1,10	1,165	0,89	0,677	0,74	0,416	0,62	0,268
800	2,08	5,542	1,59	2,777	1,26	1,513	1,02	0,880	0,84	0,540	0,71	0,346
900	2,34	6,998	1,79	3,505	1,41	1,907	1,15	1,108	0,95	0,681	0,80	0,436
1000	2,60	8,621	1,99	4,314	1,57	2,346	1,27	1,364	1,05	0,835	0,88	0,535
1500	3,90	19,277	2,98	9,630	2,36	5,228	1,91	3,030	1,58	1,852	1,33	1,183
2000							2,55	5,355	2,10	3,270	1,77	2,085
3000							3,82	11,971	3,16	7,300	2,65	4,650

Tab. 4-3: Wasservers-Verteilerleitungen - Integrale Rauheit $k_i = 1,0 \text{ mm}$; DN; $I_E = h_{vT}/l$

Q l/s	DN 50		DN 65		DN 80		DN 100		DN 125		DN 150	
	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰
1	0.51	13,355	0.30	3,341	0.20	1,129	0.13	0,357	0.08	0,115	0.06	0,046
1,5	0.76	29,677	0.45	7,371	0.30	2,472	0.19	0,773	0.12	0,245	0.08	0,097
2	1.02	52,423	0.60	12,969	0.40	4,331	0.25	1,346	0.16	0,424	0.11	0,167
3	1.53	117,183	0.90	28,872	0.60	9,595	0.38	2,962	0.24	0,924	0.17	0,360
4	2.04	207,636	1.21	51,048	0.80	16,922	0.51	5,203	0.33	1,615	0.23	0,626
5	2.55	323,781	1.51	79,498	0.99	26,311	0.64	8,071	0.41	2,496	0.28	0,964
6	3.06	465,617	1.81	114,221	1.19	37,763	0.76	11,564	0.49	3,568	0.34	1,374
7			2.11	155,218	1.39	51,277	0.89	15,683	0.57	4,830	0.40	1,856
8			2.41	202,489	1.59	66,854	1.02	20,428	0.65	6,282	0.45	2,411
9			2.71	256,033	1.79	84,492	1.15	25,799	0.73	7,926	0.51	3,038
10			3.01	315,850	1.99	104,193	1.27	31,795	0.81	9,759	0.57	3,737
15					2.98	233,634	1.91	71,164	1.22	21,783	0.85	8,315
20							2.55	126,177	1.63	38,567	1.13	14,697
30									2.44	86,417	1.70	32,877
Q l/s	DN 200		DN 250		DN 300		DN 400		DN 500		DN 600	
	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰
10	0.32	0,831	0.20	0,262	0.14	0,103	0.08	0,025				
15	0.48	1,836	0.31	0,575	0.21	0,224	0.12	0,052				
20	0.64	3,233	0.41	1,007	0.28	0,391	0.16	0,090	0.10	0,030		
30	0.95	7,202	0.61	2,233	0.42	0,863	0.24	0,196	0.15	0,064	0.11	0,026
40	1.27	12,738	0.81	3,939	0.57	1,517	0.32	0,341	0.20	0,110	0.14	0,044
50	1.59	19,840	1.02	6,126	0.71	2,355	0.40	0,527	0.25	0,167	0.18	0,065
60	1.91	28,510	1.22	8,793	0.85	3,376	0.48	0,752	0.31	0,237	0.21	0,093
70	2.23	38,748	1.43	11,941	0.99	4,580	0.56	1,018	0.36	0,320	0.25	0,126
80	2.55	50,549	1.63	15,569	1.13	5,968	0.64	1,325	0.41	0,416	0.28	0,163
90	2.86	63,919	1.83	19,678	1.27	7,538	0.72	1,617	0.46	0,524	0.32	0,204
100	3.18	78,856	2.04	24,267	1.41	9,292	0.80	2,058	0.51	0,643	0.35	0,251
150			3.06	54,418	2.12	20,808	1.19	4,591	0.76	1,429	0.53	0,555
200					2.83	36,904	1.59	8,127	1.02	2,526	0.71	0,976
300							2.39	18,207	1.53	5,645	1.06	2,175
400							3.18	32,298	2.04	10,002	1.41	3,849
500									2.55	15,596	1.77	5,996
600									3.06	22,429	2.12	8,618
700									3.56	30,499	2.48	11,713
800											2.83	15,283
Q l/s	DN 700		DN 800		DN 900		DN 1000		DN 1100		DN 1200	
	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰	v m/s	I_E ‰
80	0.21	0,074	0.16	0,038	0.13	0,021	0.10	0,013				
90	0.23	0,093	0.18	0,048	0.14	0,026	0.11	0,017				
100	0.26	0,115	0.20	0,057	0.16	0,033	0.13	0,020	0.11	0,012		
150	0.39	0,250	0.30	0,126	0.24	0,069	0.19	0,041	0.16	0,026	0.13	0,017
200	0.52	0,439	0.40	0,220	0.31	0,121	0.25	0,070	0.21	0,044	0.18	0,028
300	0.78	0,974	0.60	0,486	0.47	0,264	0.38	0,154	0.32	0,095	0.27	0,061
400	1.04	1,720	0.80	0,858	0.63	0,465	0.51	0,217	0.42	0,165	0.35	0,106
500	1.30	2,677	0.99	1,335	0.79	0,723	0.64	0,419	0.53	0,256	0.44	0,163
600	1.56	3,846	1.19	1,916	0.94	1,036	0.76	0,601	0.63	0,366	0.53	0,234
700	1.82	5,224	1.39	2,601	1.10	1,406	0.89	0,813	0.74	0,496	0.62	0,317
800	2.08	6,815	1.59	3,391	1.26	1,834	1.02	1,059	0.84	0,646	0.71	0,411
900	2.34	8,615	1.79	4,285	1.41	2,315	1.15	1,338	0.95	0,814	0.80	0,519
1000	2.60	10,626	1.99	5,283	1.57	2,855	1.27	1,648	1.05	1,004	0.88	0,638
1500	3.90	23,845	2.98	11,845	2.36	6,396	1.91	3,688	1.58	2,244	1.33	1,426
2000					3.14	11,344	2.55	6,540	2.10	3,975	1.77	2,524
3000							3.82	14,671	3.16	8,913	2.65	5,657

Blatt austeilten !

4.5 Aufgaben zu Örtliche und kontinuierliche Druckverluste

4.5.1 1. Aufgabe: Druckverlust einer Wasserversorgungsleitung

Ges.: Druckverlusthöhe h_v

Geg.: Die Leitung mit $L = 2600\text{m}$ soll (obwohl $L < 25\text{km}$) als **Fern-** Wasserleitung berechnet werden ; DN 200; $Q = 30\text{ l/s}$

- 1 Eintrittsverlust: $\zeta_e = 0,50$
- 10 Krümmer $22,5^\circ$: $\zeta_k = 0,045$
- 6 Schieber mit: $\zeta_s = 0,25$

Berechnung – Dieses Blatt in der Vorlesung austeilten !

Örtl. Verluste: $h_{v\ddot{o}} = \zeta_{\ddot{o}} * (v^2/2g)$	Kontin. Verluste: $h_{v_R} = \zeta_R * (v^2/2g)$
--	---

(1) **Geschwindigkeitshöhe ($v^2/2g$) berechnen, dazu v [m/s] aus RohrTab abl.:**

Tab. für Fernwasserltg: $k_i = \dots\dots$ (Script Tab. 4.1)

Eingang mit $Q = 30\text{ l/s}$; DN 200

Ablesung: $v = \dots\dots\dots\text{m/s}$; $I_E = \dots\dots\dots\text{‰}$ bzw. m/km

(2) Damit ergibt sich die **Geschwindigkeitshöhe $h_K = v^2/2g = \dots\dots\dots$**

Damit kann Summe der örtl. Verluste (Einbauteile) berechnet werden

1 Eintritt: $1 * \zeta_e * v^2/2g = 1 * \dots * \dots = \dots$

10 Krümmer: $10 * \zeta_k * v^2/2g = 10 * \dots * \dots = \dots$

6 Schieber: $6 * \zeta_s * v^2/2g = 6 * \dots * \dots = \dots$

Summe $h_{v\ddot{o}}$ = $\dots\dots\dots$

Summe der kontinuierl. Verluste (Reibung)

Reibungsverlust: $I_E = h_{v_R} / L$

$h_{v_R} = I_E * L$ mit I_E aus RohrTab $k_i = 0,1$

$h_{v_R} = \dots\dots\dots\text{ m/km} * \dots\dots\dots\text{ km} = \dots\dots\dots\text{ m}$

$\Sigma h_v = h_{v\ddot{o}} + h_{v_R} = \dots\dots\dots + \dots\dots\dots = \text{rd. } \dots\dots\dots\text{ m}$

- Tafel -

Berechnung/Lösungsschritte an Tafel/Vorlesung

$$\Sigma h_v = \text{rd. } \mathbf{11,84 \text{ m}}$$

Beamer !

4.5.2 Örtliche und kontinuierliche Druckverluste

4.5.3 **2. Aufgabe:** Druckerhöhung für Neubaugebiet

Problemstellung

Eine Gemeinde plant ein Neubaugebiet. Es ist zu prüfen ob die bestehende Wasserversorgungsleitung den neuen Anforderungen genügt.

Datenerhebung

Vom bestehenden HB A fließen derzeit 150 l/s über eine Leitung DN 400 zum 6,2 km entfernten HB B, der die Gemeinde versorgt. Es wurde festgestellt, dass der Durchfluss infolge der Erweiterung des Versorgungsgebietes auf 200 l/s gesteigert werden muss.

Die Anzahl der Einbauten (Schieber, Krümmer etc.) innerhalb der Leitung ist so klein, dass die daraus resultierenden örtl. Verluste unberücksichtigt bleiben können.

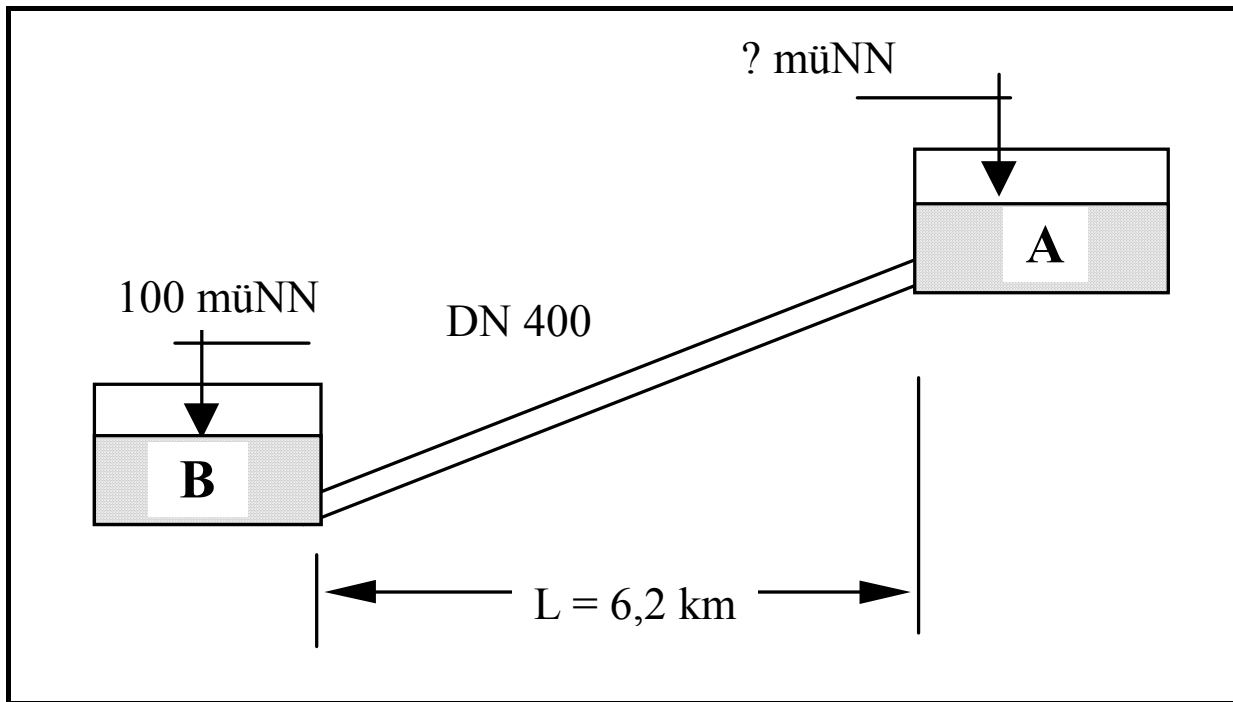
Die Leitung soll als Fernleitung berechnet werden.

Aufgabe

Es ist zu prüfen auf welcher Mindesthöhe der Wassersiegel derzeit (Fördermenge 150 l/s) im HB A liegen muss.

Im HB A ist zur Steigerung des Durchflusses eine Druckerhöhungsanlage (DEA) anzulegen. Es ist festzustellen, auf welche Höhe die DEA, die Drucklinie nach der Erweiterung (erf. Fördermenge 200 l/s) anheben muss ?

Der Verlauf der Drucklinie DL ist zu zeichnen.



Berechnung zu 2. Aufgabe: Druckerhöhung für Neubaugebiet

Die Aufgabe/Lösungsschritte wurde in der Vorlesung an der Tafel gerechnet. Nachstehend nur die Ergebnisse + Formeln für die, die die Vorlesung nicht besucht haben:

a) Anzusetzende Rohrrauheit k_i [mm]

k_i ist vorgegeben, s. Aufgabenstellung

b) Mindestwasserspiegel im HB A vor der Erweiterung (150 l/s nach B)

$$H_1 = H_{\text{geo}} + (v^2/2g) + h_{\text{VR}} + h_{\text{VÖ}}$$

$$H_1 \text{ rd. } \underline{118,40 \text{ müNN}}$$

c) Erforderliche Druckhöhe in HB A nach der Erweiterung (200 l/s nach B)

Gleicher Rechengang wie vor:

$$H_2 = H_{\text{geo}} + (v^2/2g) + h_{\text{VR}} + h_{\text{VÖ}}$$

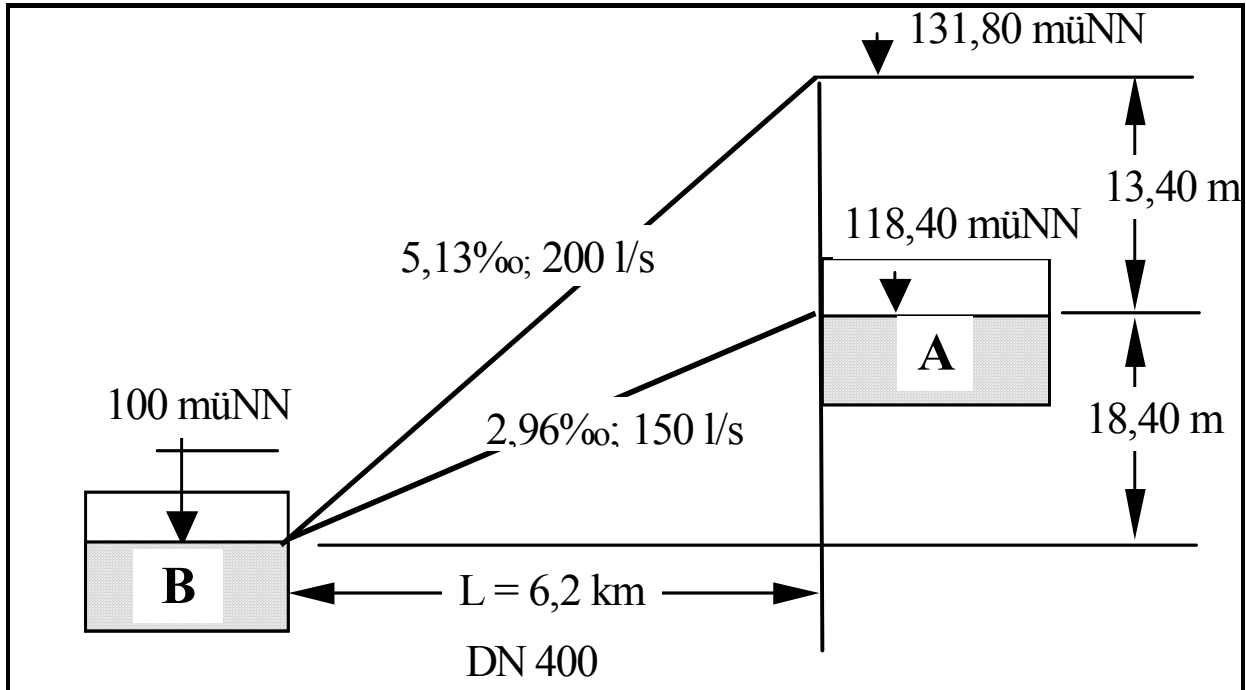
$$H_2 \text{ rd. } \underline{131,80 \text{ müNN}}$$

d) Durch DEA zusätzlich aufzubauender Druck um von 150 auf 200 l/s zu steigern:

$$H_{\text{DEA}} = \underline{13,40 \text{ m}}$$

Aus Berechnung: Verlauf der Drucklinie

- Beamer -



Hydrostatische Drucklinie

$$P_w \text{ [KN/m}^2\text{]} = g * \rho * h$$

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$; Dichte Wasser $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$; Tiefe $h \text{ [m]}$

Der Druck nimmt mit der WasserTiefe linear zu.

Hydraulische Drucklinie

Über Berechnung der Druckhöhenverluste

Energielinie:

Liegt um das Maß der Geschwindigkeitshöhe (Kinetische Energiehöhe)

$$h_K = v^2/2g \quad \textbf{über} \text{ der } \textbf{Drucklinie}$$

4.6 Pumpen in der Wasserverteilung

4.6.1 Kolbenpumpen

Kolbenpumpe zur Förderung von Flüssigkeiten oder Gasen

Gase können dabei auch verdichtet werden

Funktionsprinzip

Ein Kolben läuft in einem Zylinder:

1. Takt: FörderMedium wird durch ein Einlassventil angesaugt.
2. Takt: FörderMedium wird durch ein Auslassventil ausgestoßen.

Prinzip wird auch als Verdrängerpumpe bezeichnet

Vorteile

- + Hohe Drücke beim Fördern von Flüssigkeiten erreichbar
- + geförderte Flüssigkeitsvolumen genau bestimmbar (Dosierpumpe)

Bild rechts: KolbenDosierpumpe (Labor für Siedlungswasserwirtschaft HSRM)



Nachteil

- prinzipbedingte Förderstrompulsation
- => kann im Leitungssystem zu intensiven Druckschwingungen (Druckpulsationen) oder mechanischen Schwingungen führen.

Bei größeren Förderströmen werden daher mehrere – versetzt arbeitende – Zylinder vorgesehen.

Alternativ: Flüssigkeitsgefüllte Pulsationsdämpfer eingesetzt

Antrieb

- Hand-Antrieb (Schwengelpumpe)
- Elektromagnet-Antrieb
- Motoren-Antrieb

Bedeutung des Einsatzes

- Mit Einführung der Kreiselpumpe, seit dem 19. Jahrhundert, ging der Einsatz der Kolbenpumpe bei der Förderung großer Volumen oder verschmutzter Flüssigkeiten (Abwasser) zurück.
- **Heute**: In erster Linie Einsatz als Dosierpumpen in handbetriebenen Förderanlagen und zur Herstellung großer Drücke eingesetzt.

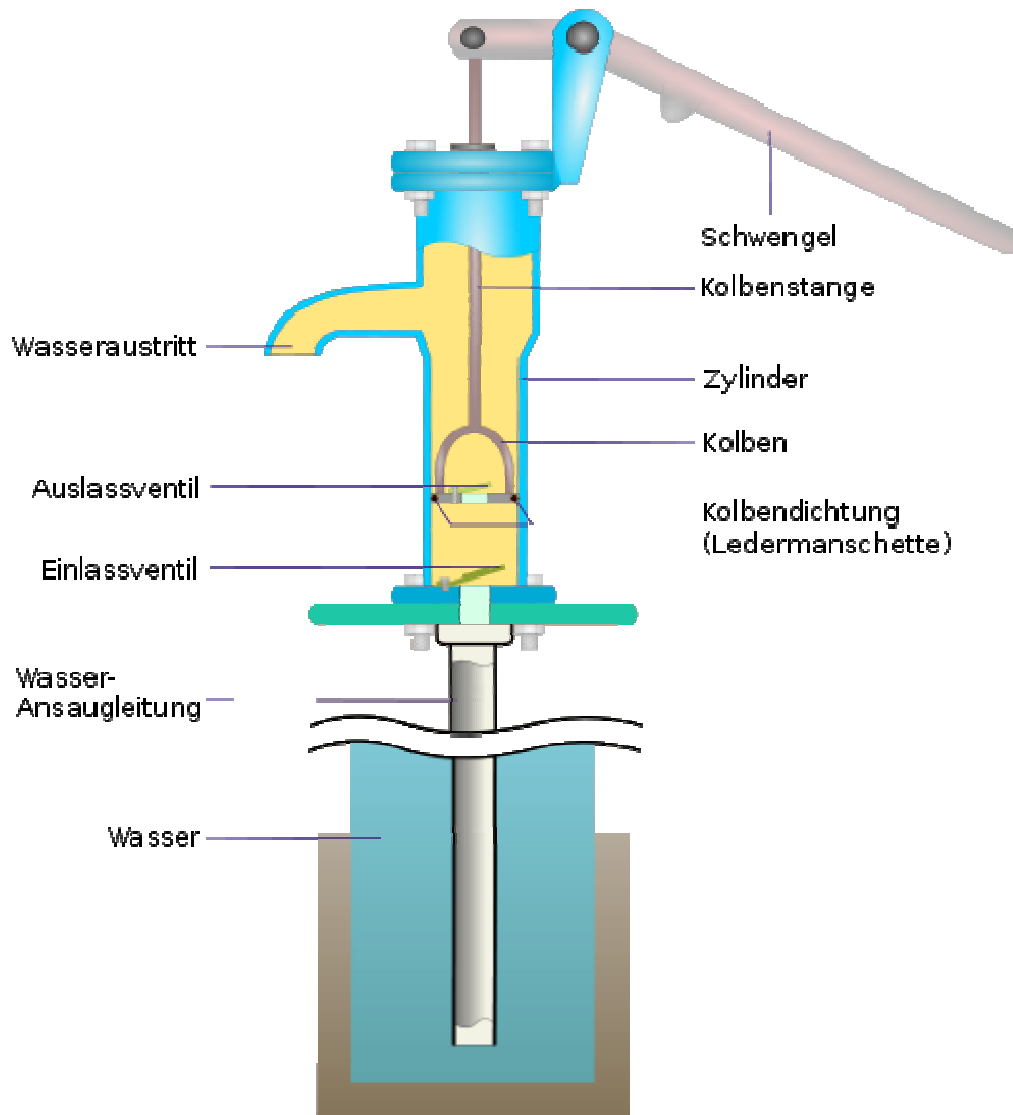




Abb. 7: Historische Kolbenpumpe; © Fasolt 2006

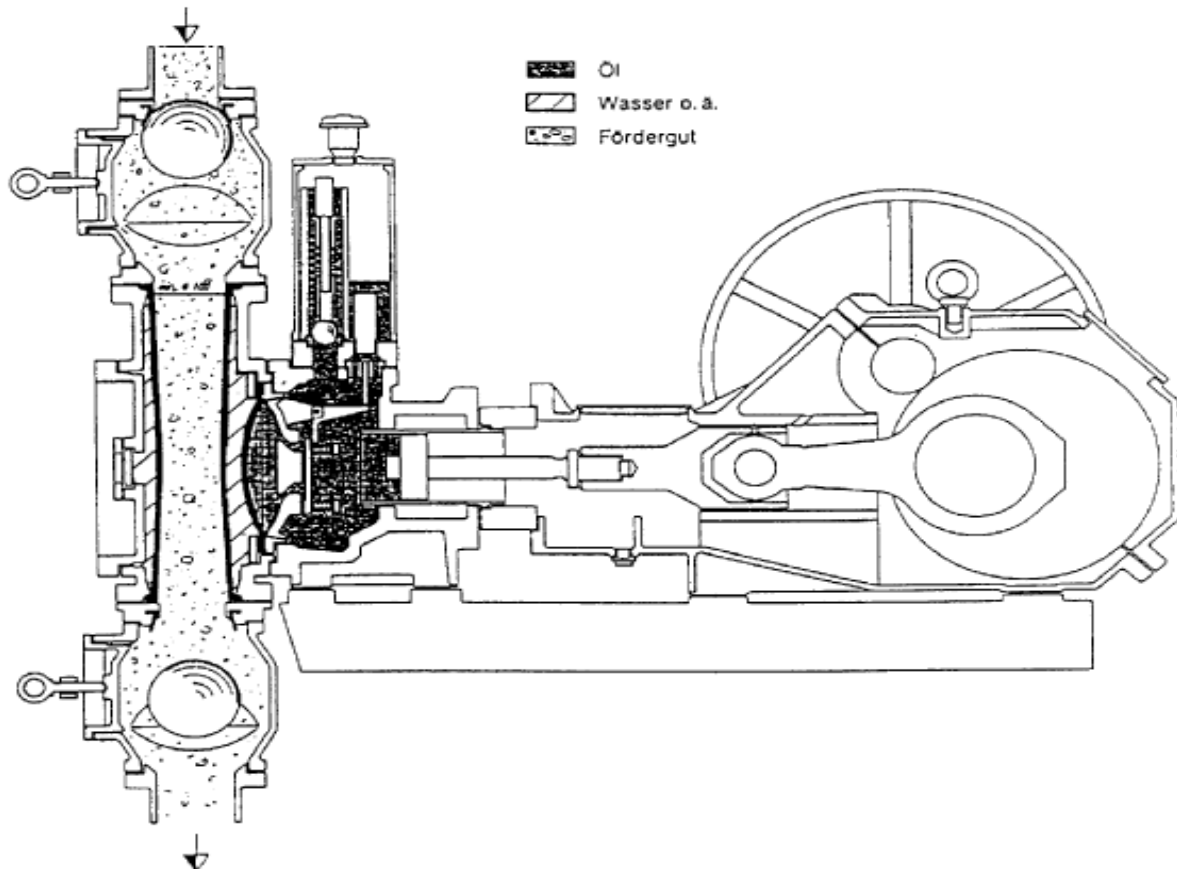


Abb. 4-8: Schlauchmembrankolbenpumpe [Fa. Feluwa]

4.6.2 Kreiselpumpen

Kreiselpumpe = Strömungsmaschine, die mittels eines rotierenden Laufrads die Zentrifugalkraft zur Förderung von Flüssigkeiten nutzt.

Flüssigkeit, die über das Saugrohr in die Kreiselpumpe eintritt, wird:

- (1) vom rotierenden PumpenLaufrad mitgerissen, beschleunigt und so
- (2) auf einer Kreisbahn radial nach außen gezwungen.
- (3) Die dabei aufgenommene Geschwindigkeits-/Bewegungsenergie der Flüssigkeit erhöht den Druck innerhalb der Pumpe und
- (4) presst die Flüssigkeit (mit Druckenergie) in das Druckrohr.

Funktionsprinzip am Beispiel „Rühren im Wasserglas“:

- Rührt man mit einem Löffel in einem mit Wasser gefüllten Glas, so sinkt der Druck im Zentrum, zugleich steigt die Flüssigkeit am Rand des Glases durch den dort herrschenden höheren Druck (siehe Zentrifugalkraft) nach oben.
- Hätte das Glas eine seitliche Bohrung oder einen Überlauf oberhalb des ursprünglichen Pegels, würde dort Wasser mit Druck ausfließen.
- Löffel in diesem Beispiel = Laufrad

➤ Flüssigkeit kann quer zur Achse des Antriebs (radiale Strömung),
oder
➤ in Richtung der Achse (axiale Strömung - Propellerp.) bewegt werden

- Feststoffhaltige Flüssigkeiten (Abwasser) können, bei entsprechender Laufrad- und Gehäusegestaltung, gefördert werden.

Die wesentlichen Kreiselpumpen Typen:

- Radialpumpen
- Axialpumpen (Propellerpumpen)

Radialpumpe

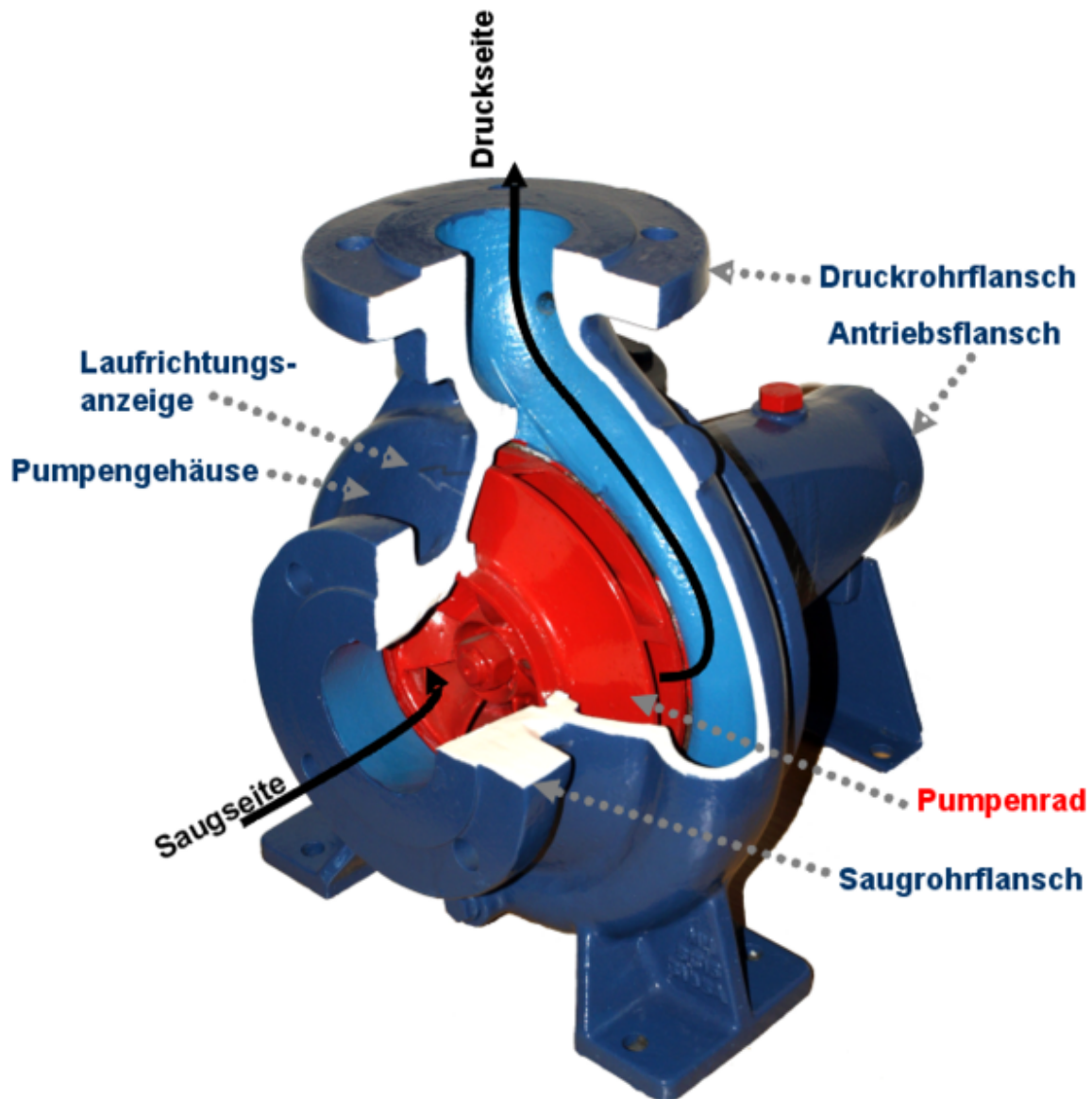


Abb. 9: Kreiselpumpe mit radialem Austritt (Radialpumpe)

- Pumpengehäuse so ausgeführt, dass es unmittelbar hinter dem Druckrohr eng am Pumpenrad anliegt
- Fördermedium tritt radial, also senkrecht zur Pumpenwelle, aus dem Laufrad aus.
- Im Gegensatz zu Axialpumpen werden durch die Strömungsumlenkung im Laufrad höhere Zentrifugalkräfte realisiert, die zu höheren Förderdrücken, allerdings bei kleineren Volumenströmen, führen

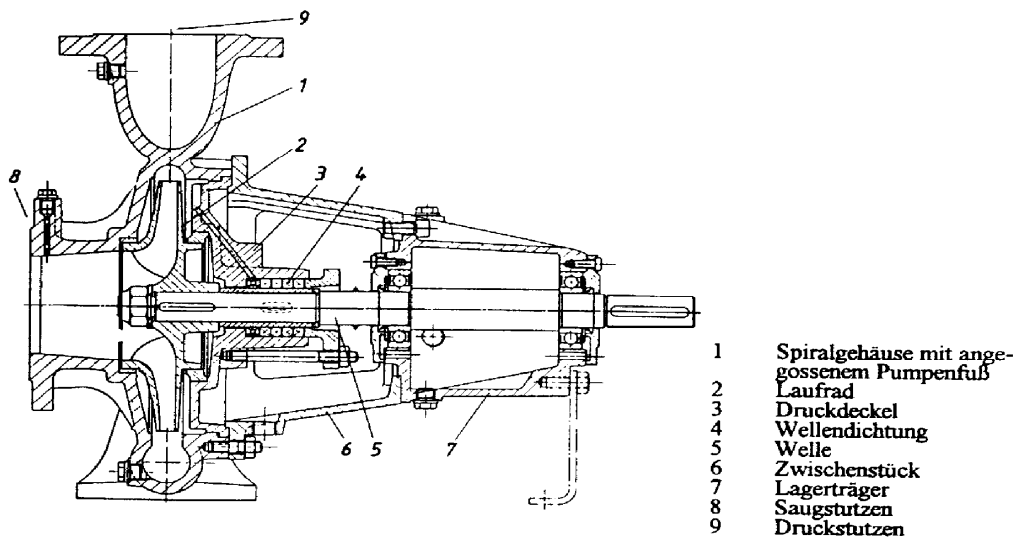


Abb. 4-10: Kreiselpumpe mit Einkanalrad [D31]

Vorteile Kreiselpumpe	Nachteile der Krieselpumpe
<ul style="list-style-type: none"> • geringer Raumbedarf • preisgünstig • wartungsarm • weitgehend erschütterungs bzw. pulsierfreier Lauf 	<ul style="list-style-type: none"> • kein Selbstansaugvermögen (außer Sonderanfertigungen) – muss im Fördermedium stehen oder gefüllt werden – Lufteintritt lässt Förderstrom abreisen. • Verstopfungsgefahr bei kleinen Laufradquerschnitten • keine Sperrwirkung bei ausgeschalteter Pumpe

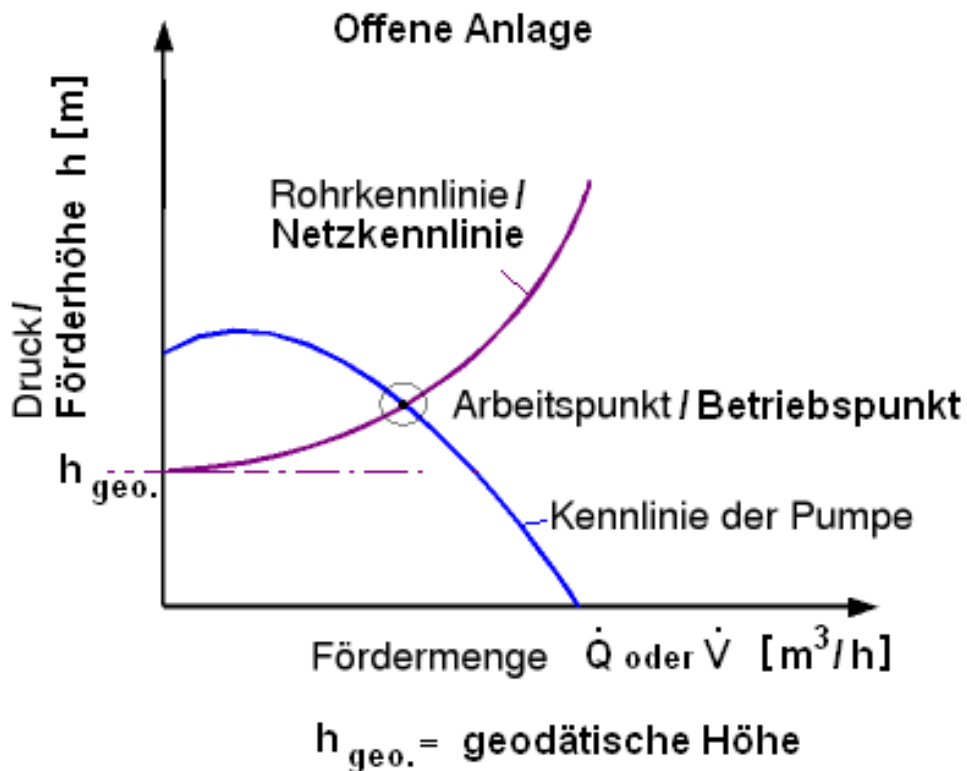
- Liefert im Gegensatz zur Verdrängerpumpe (Kolbenpumpe) bei konstanter Drehzahl ($n = \text{konst.}$) einen mit abnehmender Förderhöhe H [m] zunehmenden Förderstrom Q [l/s].
- Sie besitzt also die Fähigkeit zur Selbstregelung.

Vom **Förderstrom Q** sind weiterhin abhängig:

- der Leistungsbedarf P ,
- der Wirkungsgrad η ,
- der **NPSH-Wert** (Net Positive Suction Head = Begriff zur Beurteilung des Saugverhaltens einer Kreiselpumpe).

Diese Werte, sind vom Hersteller:

- auf Prüfständen ermittelt und
- dargestellt in Kennlinien,
- charakterisieren das Betriebsverhalten einer Kreiselpumpe.



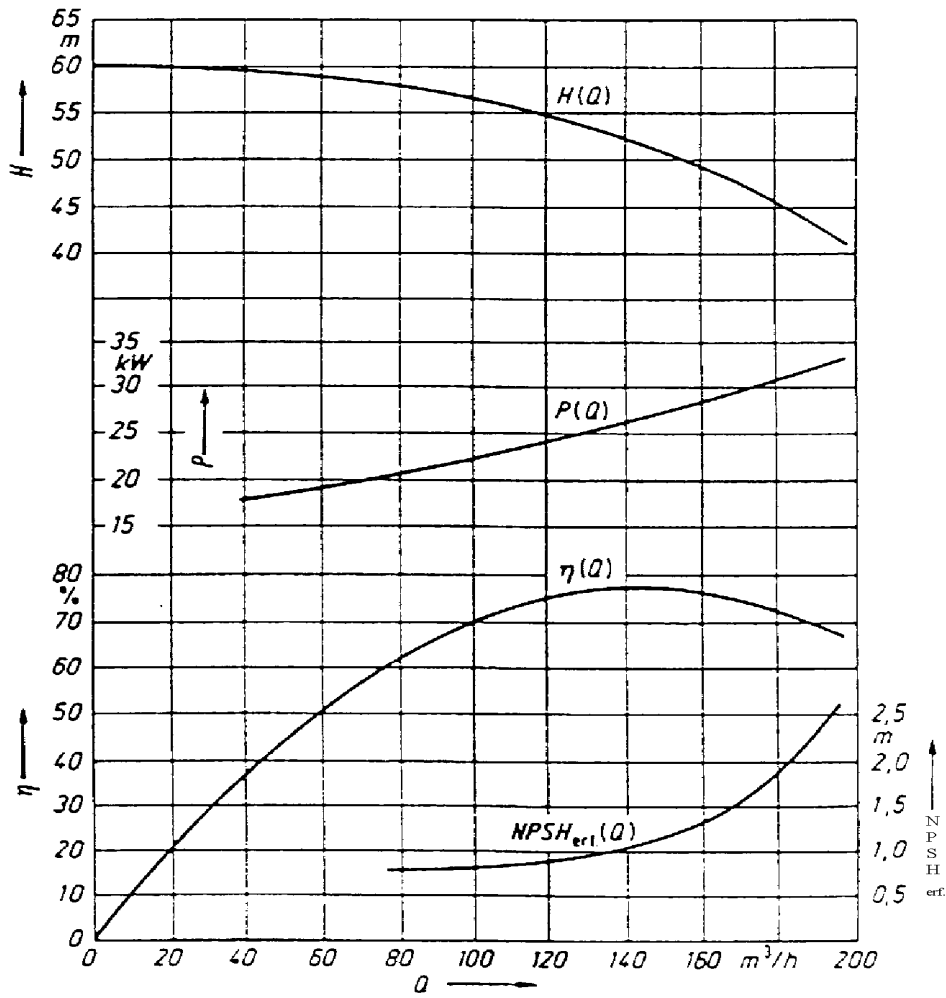


Abb. 4-11: Kennlinien einer einstufigen Kreiselpumpe bei der Drehzahl $n = 1.450 \text{ min}^{-1}$

4.6.3 Exzentrerschneckenpumpe

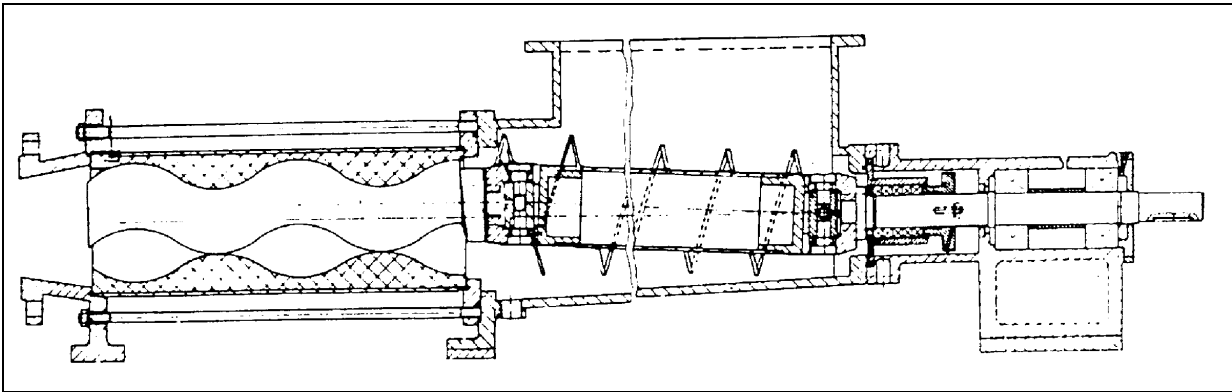


Abb. 4-12: Exzentrerschneckenpumpe

4.6.4 Förderschnecke

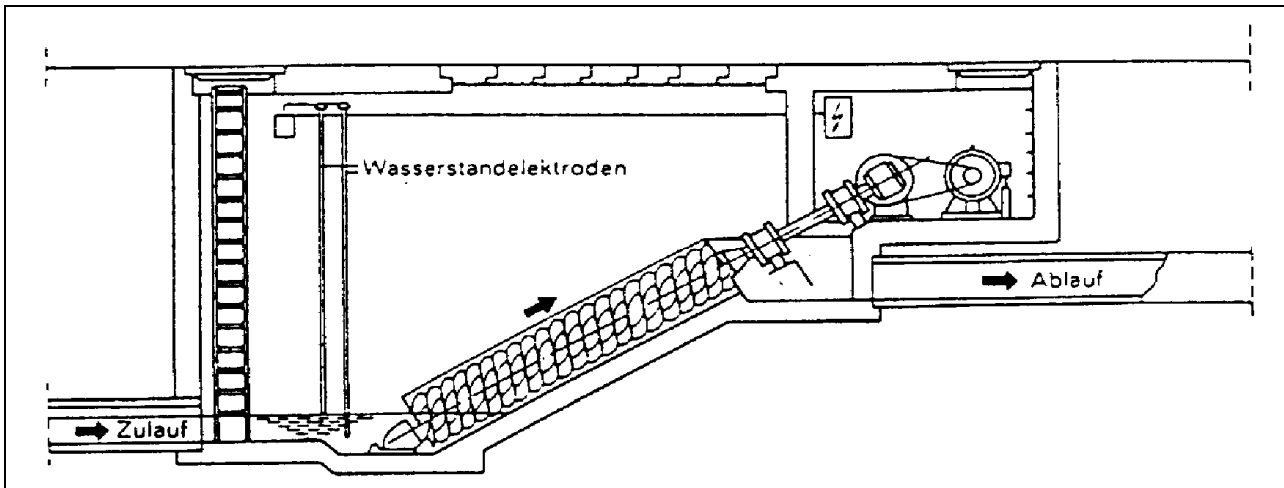


Abb. 4-13: Förderschnecke mit flachem Pumpensumpf

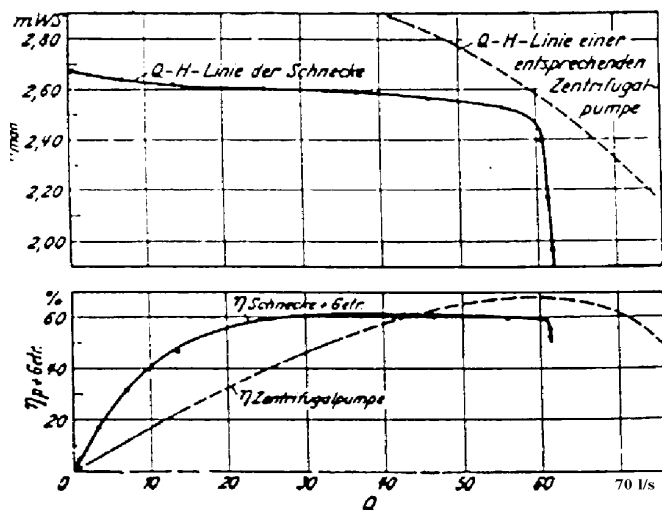
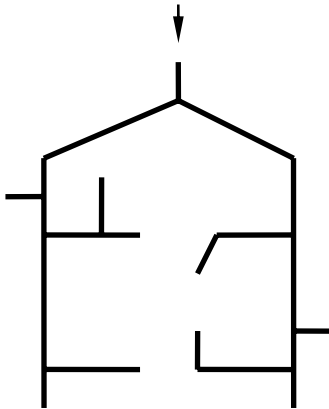


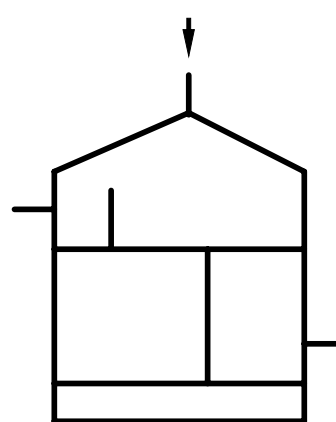
Abb. 4-14: Kennlinie u. Wirkungsgrad einer Förderschnecke im Vergleich mit einer Kreiselpumpe

4.7 Verteilungsnetze

Verästelungsnetz



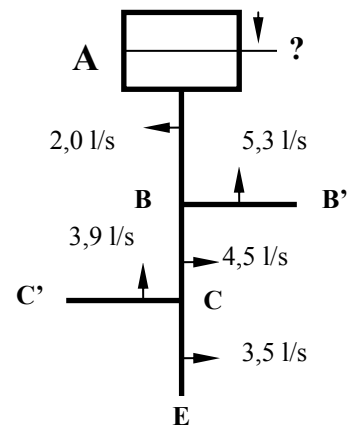
Ringnetz



4.7.1 Bemessung Verästelungsnetz

$$Q_{\text{ber}} = Q_{\text{durch}} + 0,55 \times Q_{\text{entnahme}}$$

Geg: VD = 40 mWS **Ges.:** Wasserspiegel in A ?
 k_i = 0,4 mm Rohrdurchm. DN [mm]
 $H_{\text{geo, E}}$ = 20,5 müNN ?

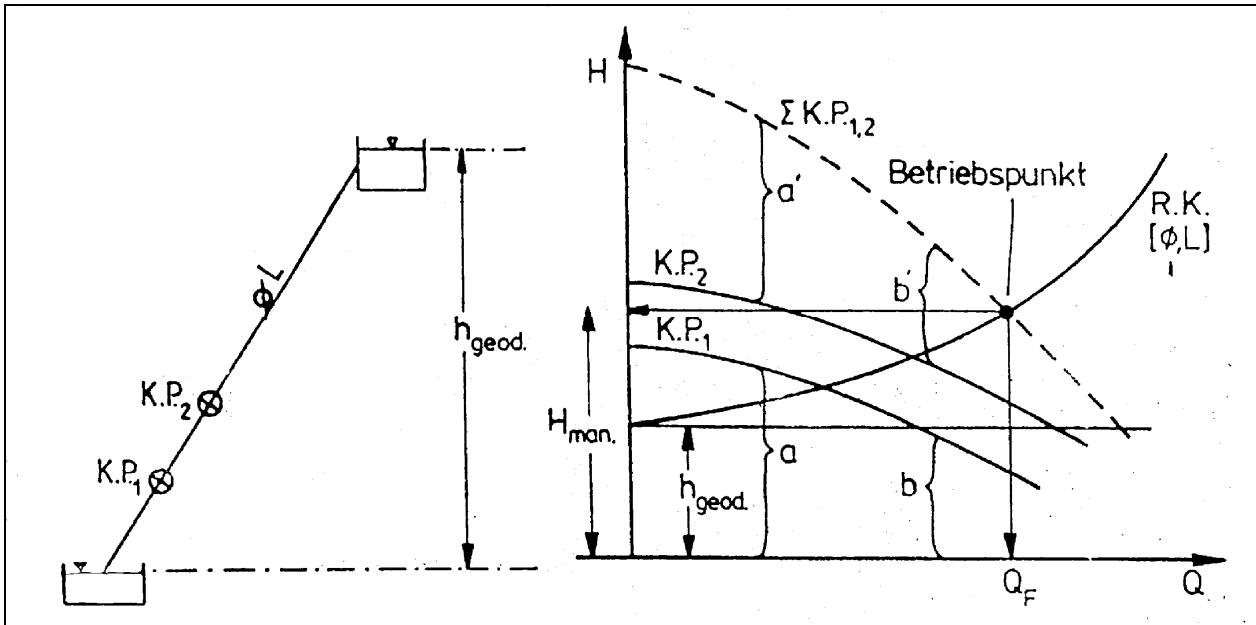


Strang	Länge [m]	Entnahme [l/s]	$Q_{\text{berech.}}$ [l/s]	DN [mm]	I_E [m/km]	h_v [m]	Σh_v [m]
E-C	680	3,5					
C-B	900	4,5					
B-A	370	2,0					
C'-C	520	3,9					
B'-B	410	5,3					

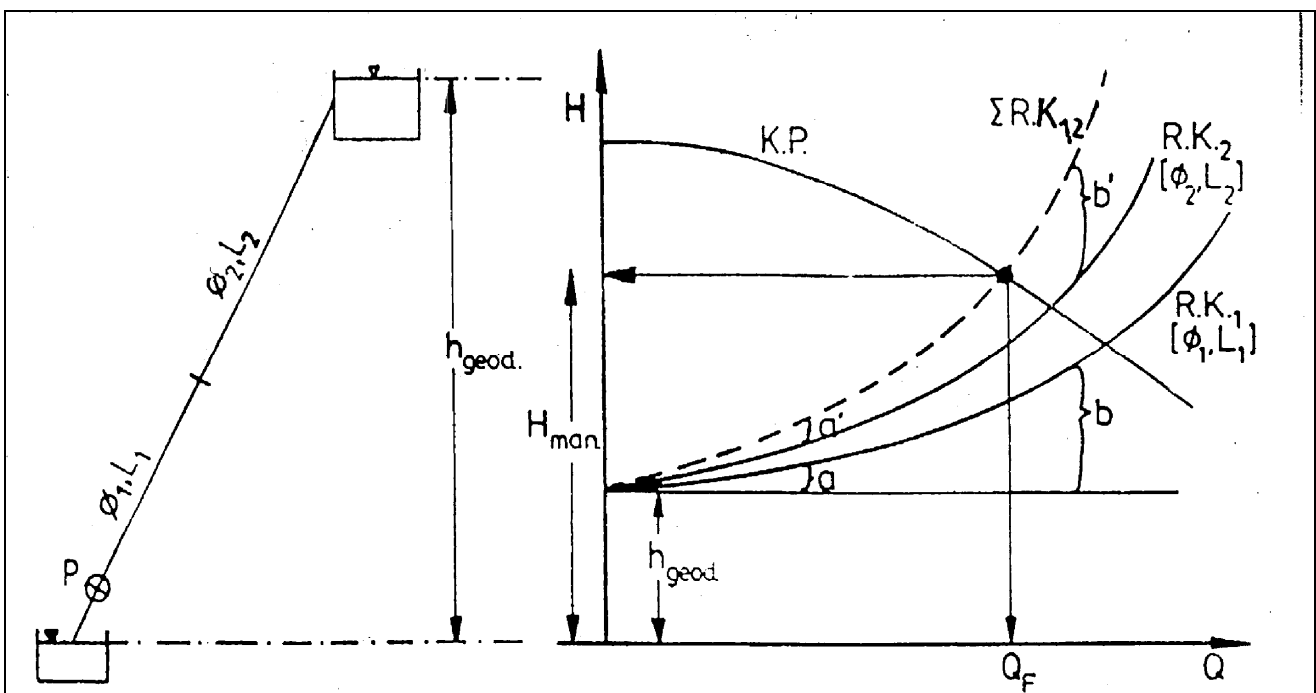
$$H_A = H_{\text{geo, E}} + VD + \Sigma h_v$$

4.8 Reihenschaltung

4.8.1 Reihenschaltung von Kreiselpumpen

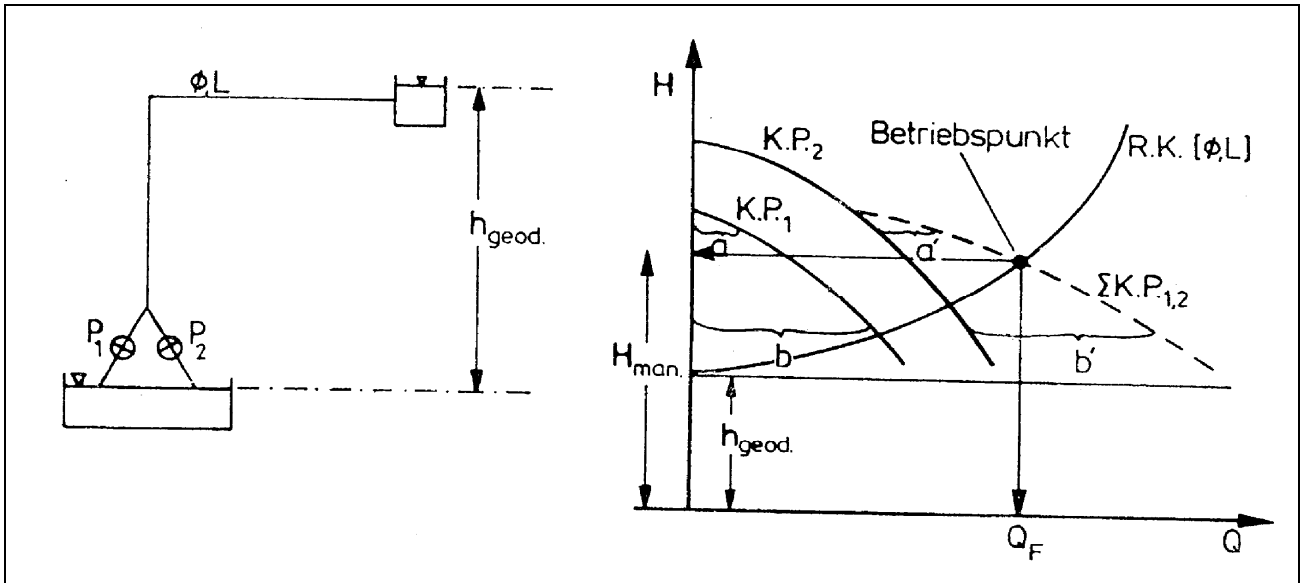


4.8.2 Reihenschaltung von Rohrleitungen

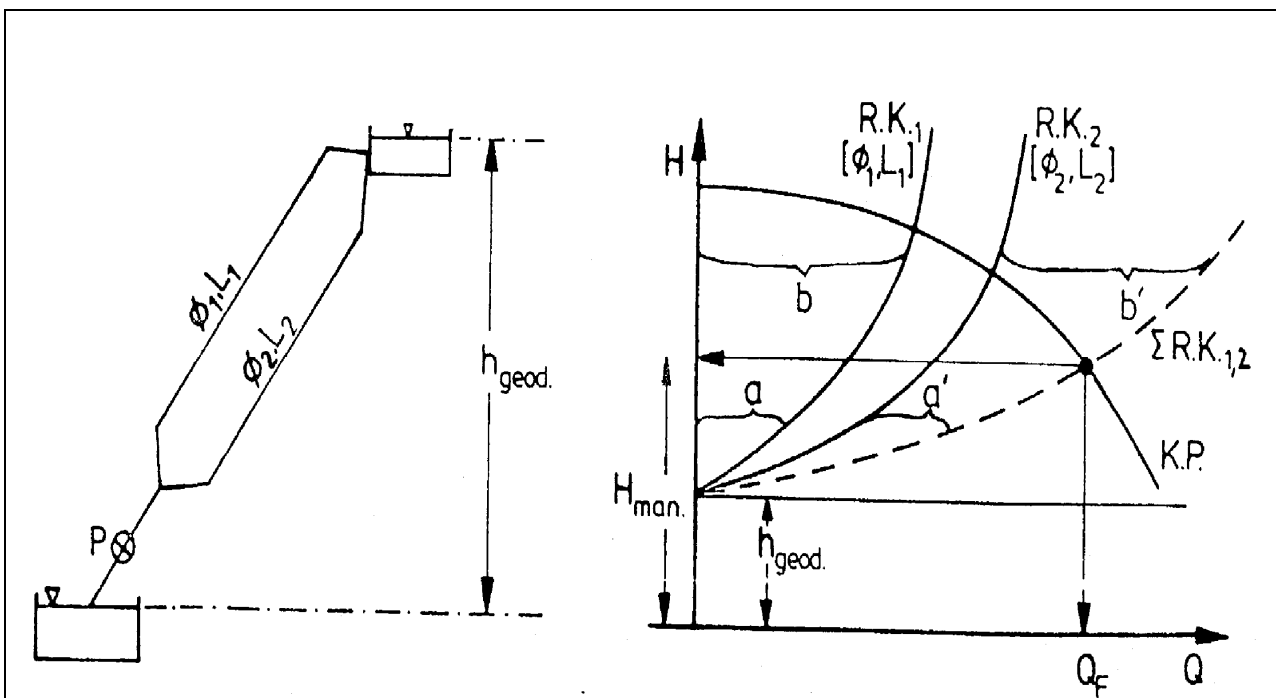


4.9 Parallelschaltung

4.9.1 Parallelschaltung von Kreiselpumpen



4.9.2 Parallelschaltung von Rohrleitungen



Parallelschaltung von Pumpen

Fall 1: 2 Pumpen 1+2 gleicher Leistung/Bauart fördern in eine gemeinsame Druckleitung.

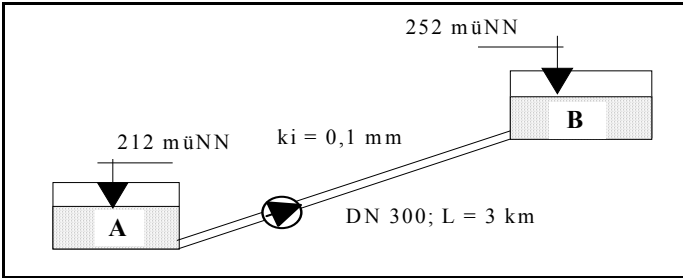
Gesamtleistung der Pumpen 1+2 ermitteln:

- PumpenKennlinien (PuKL) 1+2 werden grafisch addiert
- Dazu, horizontale Hilfslinien in das H-Q-Diagramm einzeichnen

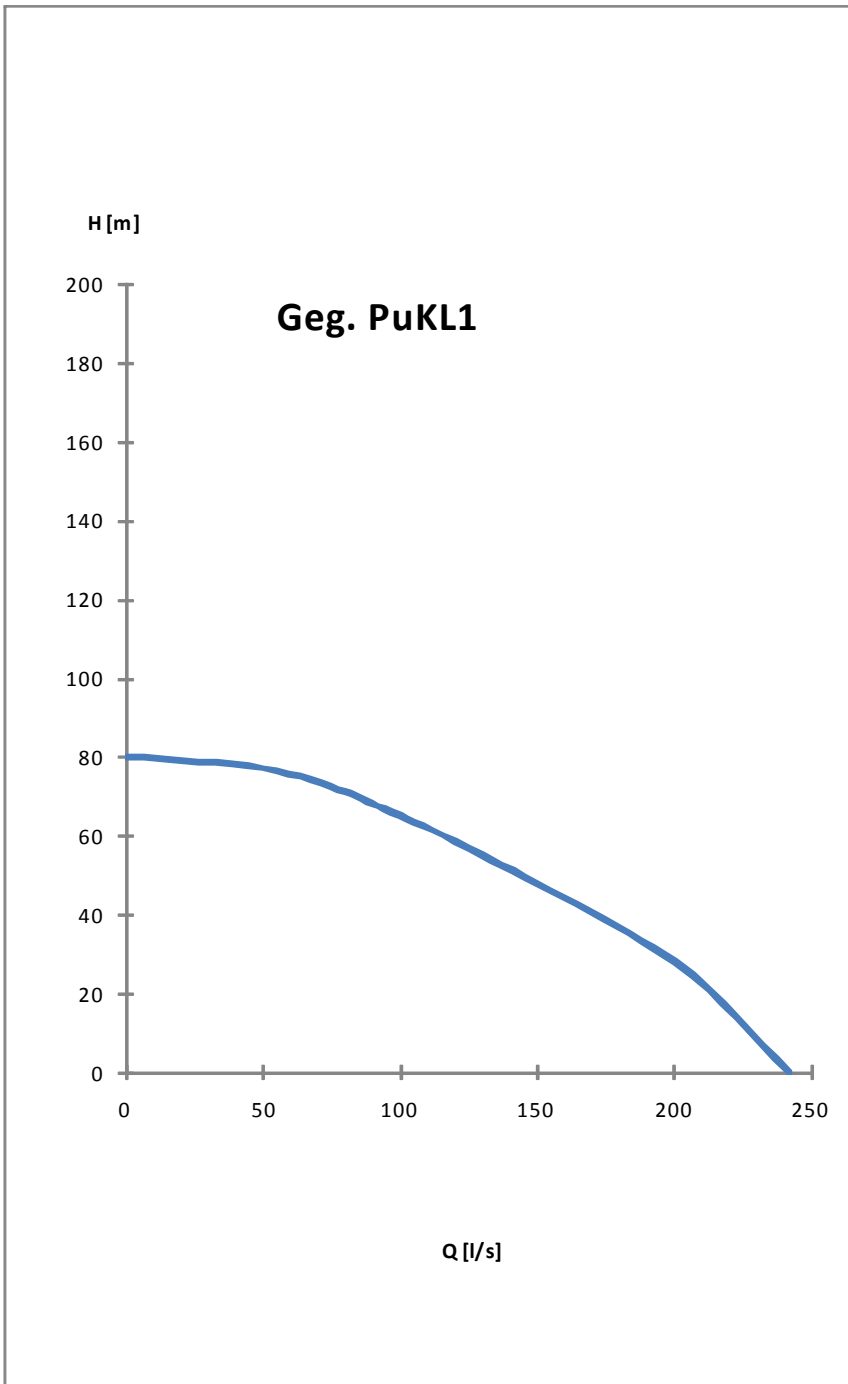
Weiter s. Notizblätter „Tafelanschrieb“ S. 6 !

4.10 Aufgaben zu Pumpen- und Rohrkenlinien

4.10.1 1. Aufgabe: Pumpen- und Rohrkenlinien



Die Wasserspeicher A und B sind durch eine Leitung DN 300, L = 3 km, miteinander verbunden. Die Leitung soll als Fernleitung berechnet werden.



Q	H
l/s	m
Geg PuKL	
0	80
50	77
80	71
90	68
100	65
130	55
200	28
242	0

- a) Welche Wassermenge [l/s] kann eine Pumpe von Behälter A nach B fördern ?
- b) Welche max. Wassermenge [l/s] ist von zwei auf die vorhandene Rohrleitung parallel arbeitenden Pumpen von A nach B förderbar ?
- c) Auf welche geodätische Höhe könnten zwei hintereinandergeschaltete Pumpen die unter a) ermittelte Wassermenge fördern ?

Tab austeilen und Beamer/TafelAnschrieb -

Berechnung zur 1. Aufgabe

1. Rohrkenlinie ermitteln

1.1 Tabelle für gegebene und zu ermittelnde Werte erstellen

h_{geo}	L	k_i	DN	Q	I_E	h_{wR}	h_{wman}
m	km	mm	mm	l/s	m/km	m	m
berechnet aus Vorgabe	Vorgabe	gew. da Fertlg	Vorgabe	gew. im Bereich	RTab-Ablesung	berechnet	berechnet
HBB-HBA		RohrTabScript		der gg PuKL	Eingang mit Q	$I \times L$	$h_{wR} + h_{geo}$
25m-212müNN				10 bis >200/s	und DN		

1.2 Q-Werte aus dem Bereich der geg. PuKL wählen und eintragen

h_{geo}	L	k_i	DN	Q	I_E	h_{VR}	h_{Vman}
m	km	mm	mm	l/s	m/km	m	m
berechnet aus Vorgabe	Vorgabe	gew. da Fernltg	Vorgabe	gew. im Bereich	RTab-Ablesung	berechnet	berechnet
HBB-HBA		RohrTab Script		der geg. PuKL	Eingang mit Q	$I \times L$	$h_{VR} + h_{geo}$
252m-212müNN				10 bis >200 l/s	und DN		
				10			
				50			
				100			
				200			
				250			

1.3 h_{geo} [m] berechnen: HB-B – HB-A

1.4 Rauheit k_i [mm] der Leitung nach Art der Leitung (hier FernWaVersLtg) festlegen und entsprechende RohrTab wählen

1.5 Sonstige geg. Werte (L, k_i , DN) in Tab eintragen

h_{geo}	L	k_i	DN	Q	I_E	h_{VR}	h_{Vman}
m	km	mm	mm	l/s	m/km	m	m
berechnet aus Vorgabe	Vorgabe	gew. da Fernltg	Vorgabe	gew. im Bereich	RTab-Ablesung	berechnet	berechnet
HBB-HBA		RohrTab Script		der geg. PuKL	Eingang mit Q	$I \times L$	$h_{VR} + h_{geo}$
252m-212müNN				10 bis >200 l/s	und DN		
40	3	0,1	300	10			
40	3	0,1	300	50			
40	3	0,1	300	100			
40	3	0,1	300	200			
				250			

1.6 Werte für I_E [m/km] aus RTab ablesen, h_{VR} , h_{Vman} berechnen und in Tab eintragen

h_{geo}	L	k_i	DN	Q	I_E	h_{vR}	$h_{v_{man}}$
m	km	mm	mm	l/s	m/km	m	m
berechnet aus Vorgabe	Vorgabe	gew. da Fertigtg	Vorgabe	gew. im Bereich	RTab-Ablesung	berechnet	berechnet
HB-B- HB-A		RohrTab Script		der geg PuKL	Eingang mit Q	$I \times L$	$h_{vR} + h_{geo}$
252m- 212müNN				10 bis >200 l/s	und DN		
40	3	0,1	300	10	0,082	0,25	40,246
40	3	0,1	300	50	1,559	4,68	44,677
40	3	0,1	300	100	5,802	17,41	57,406
40	3	0,1	300	200	22,117	66,35	106,351
				250			

Für $Q > 200$ l/s bei DN300, wäre ein v [m/s] so groß, dass die Reibungsverluste zum unwirtschaftl. Anlagenbetrieb führen => DN400 wählen.

1.7 Mit **Q** und $h_{v_{man}}$ RohrKennLinie zeichnen !

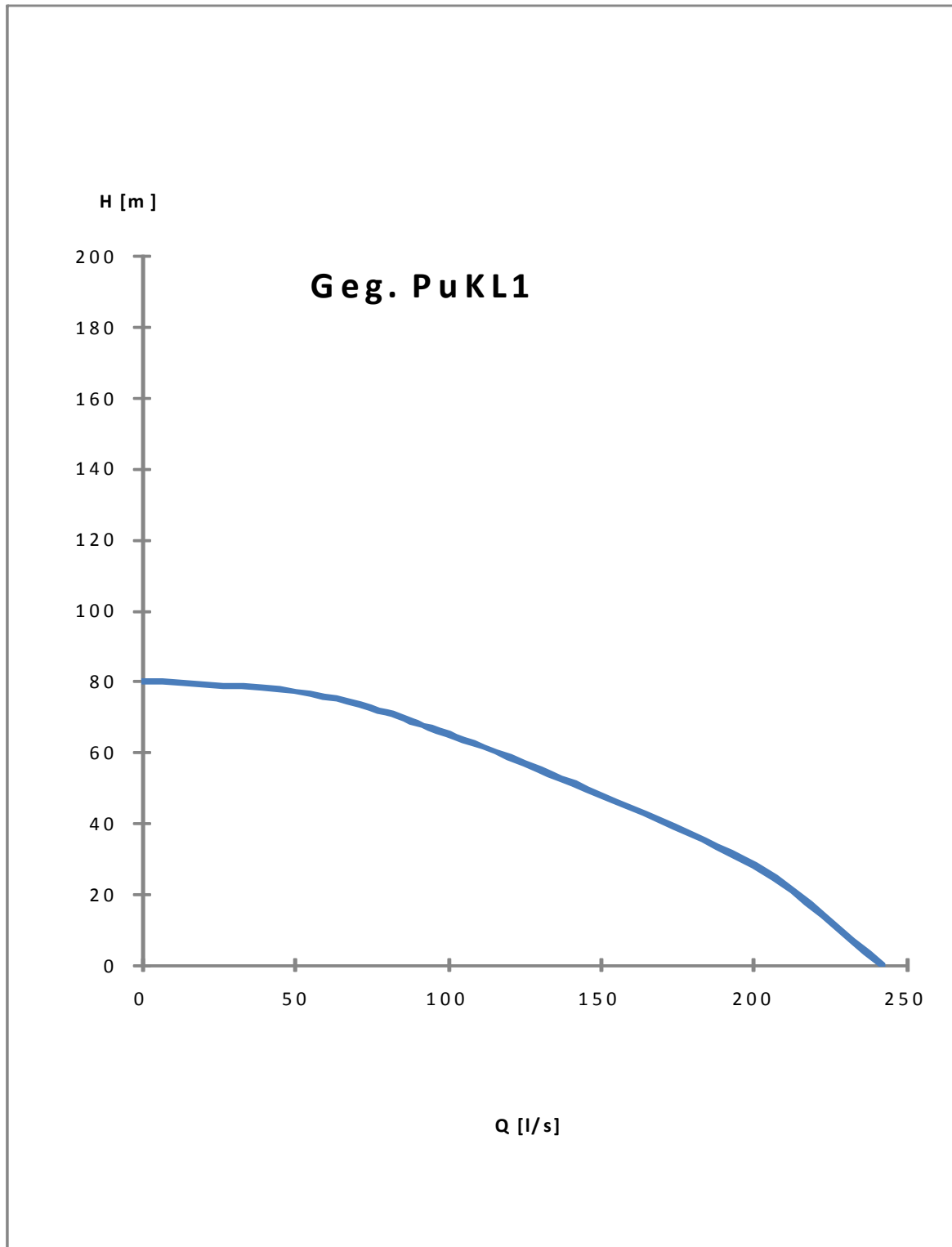


Abb. 15: Vom Hersteller vorgegebene PumpenKennlinie PuKL1

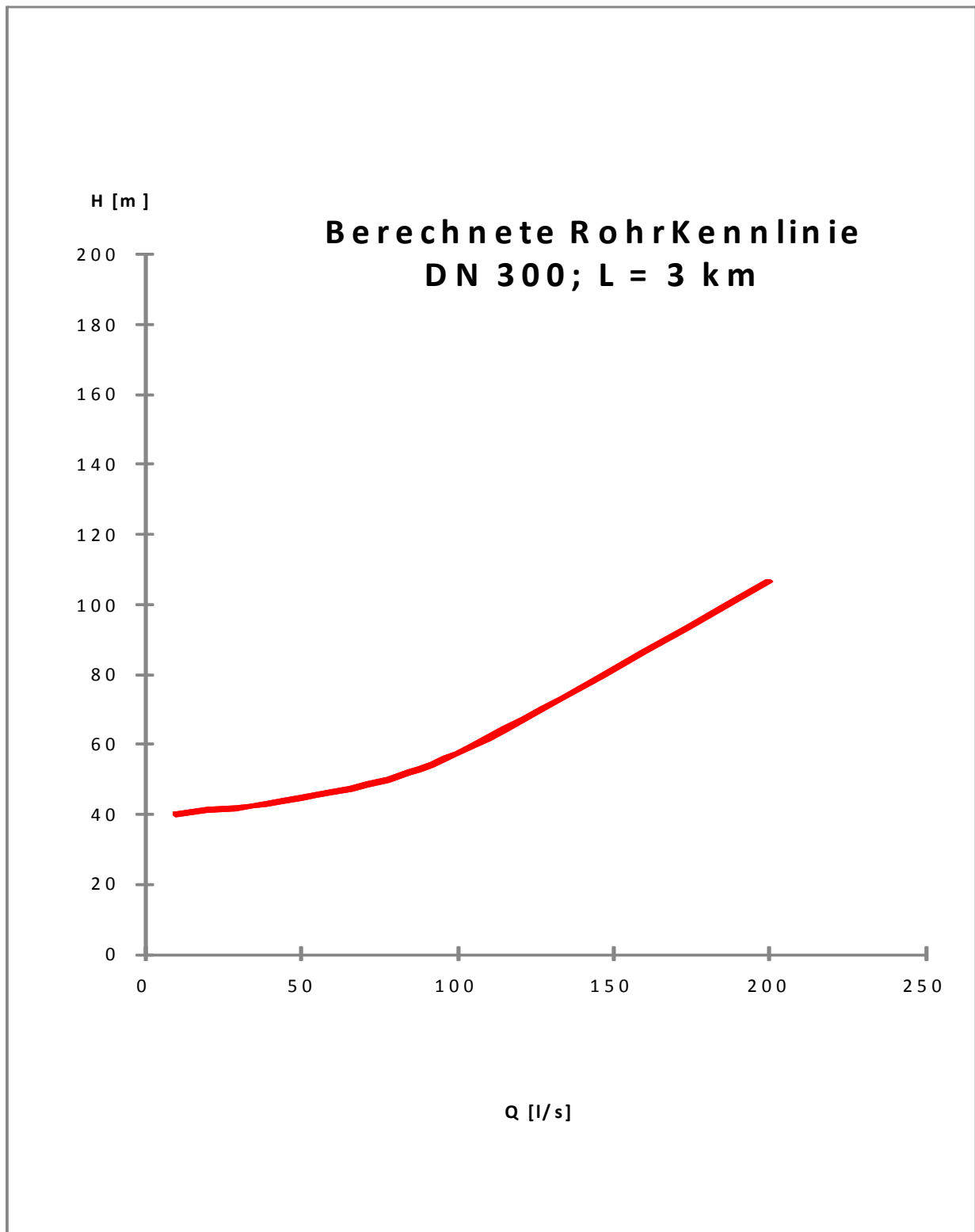


Abb. 16: RohrKennLinie RKL1 ermittelt

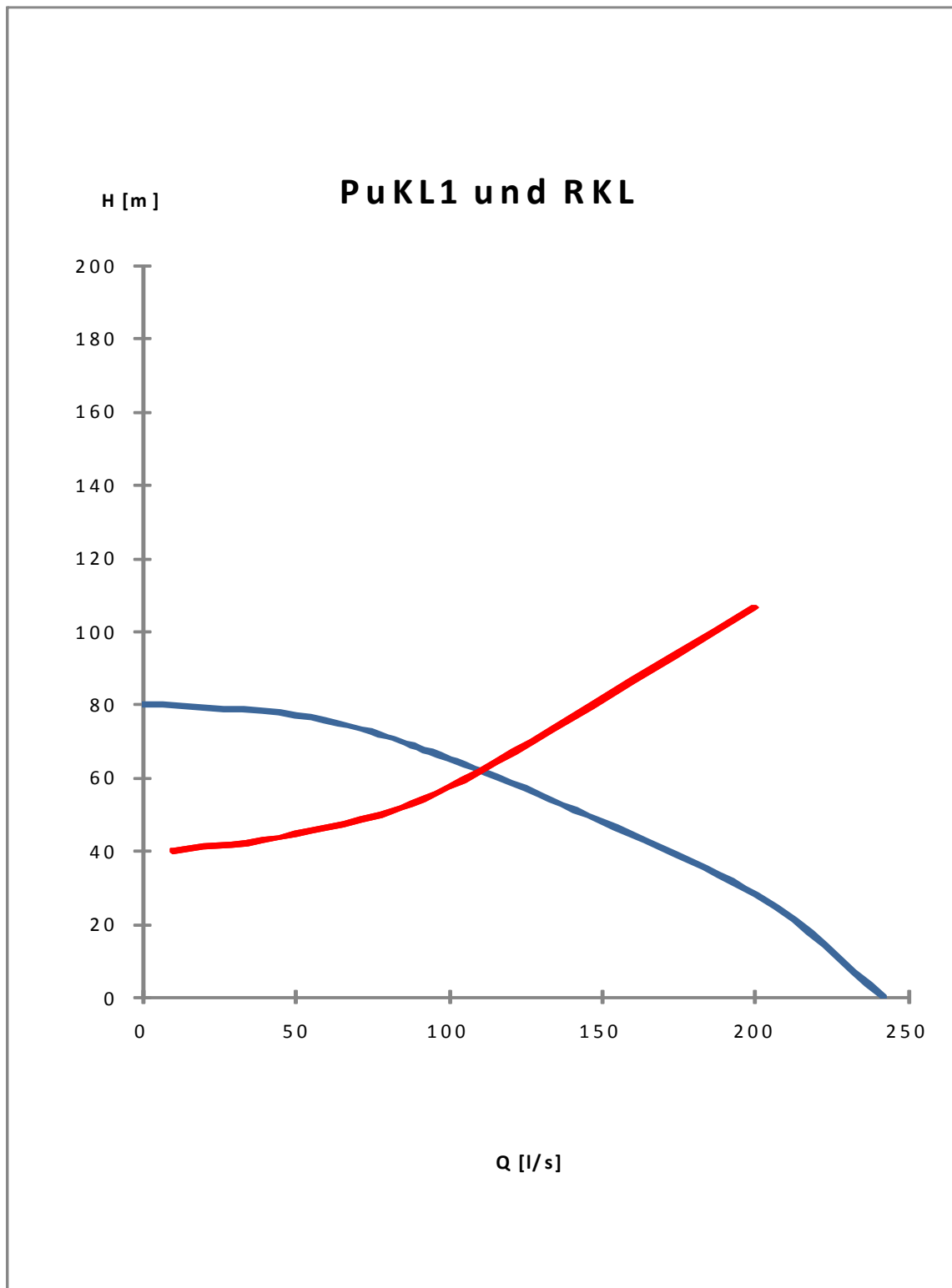
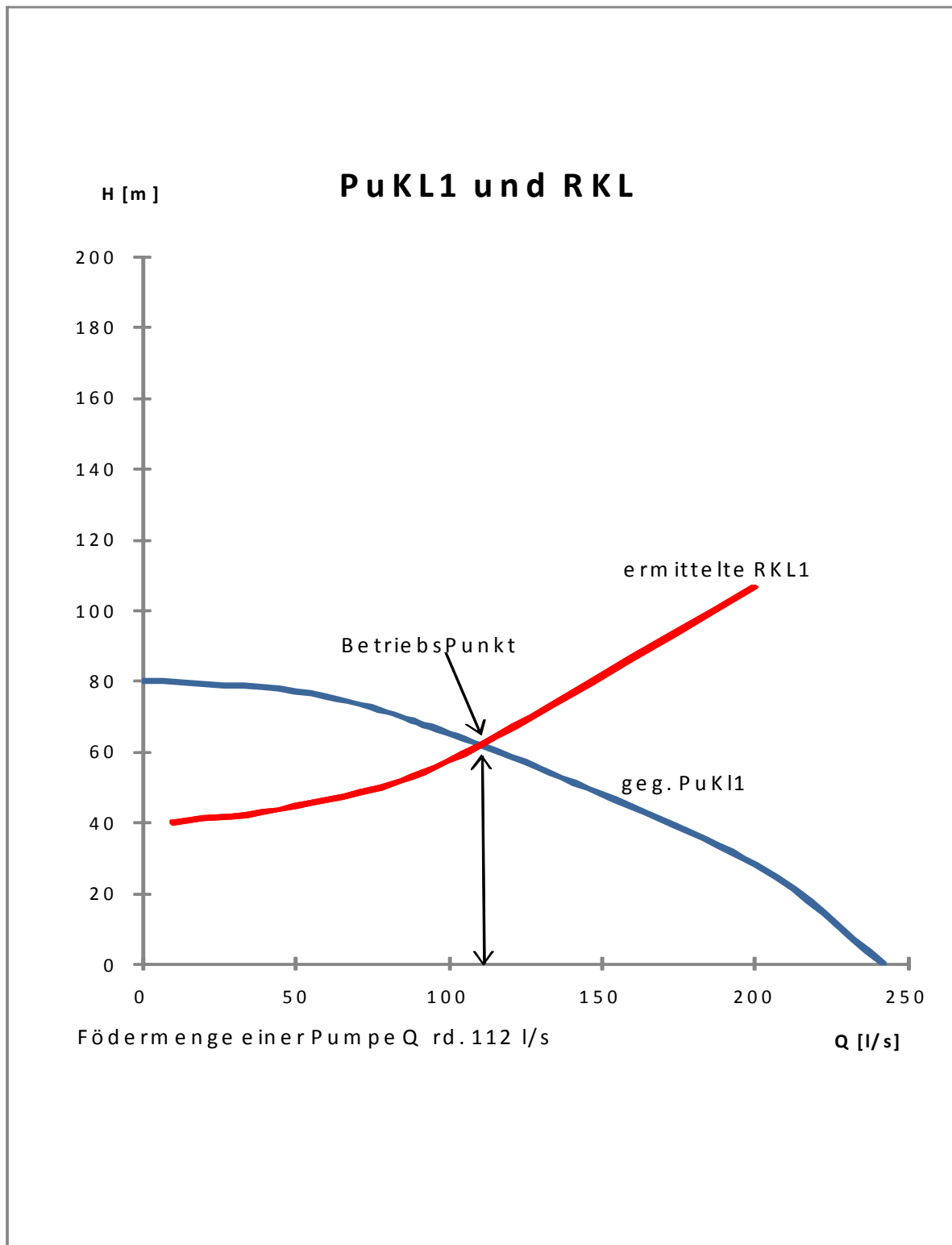
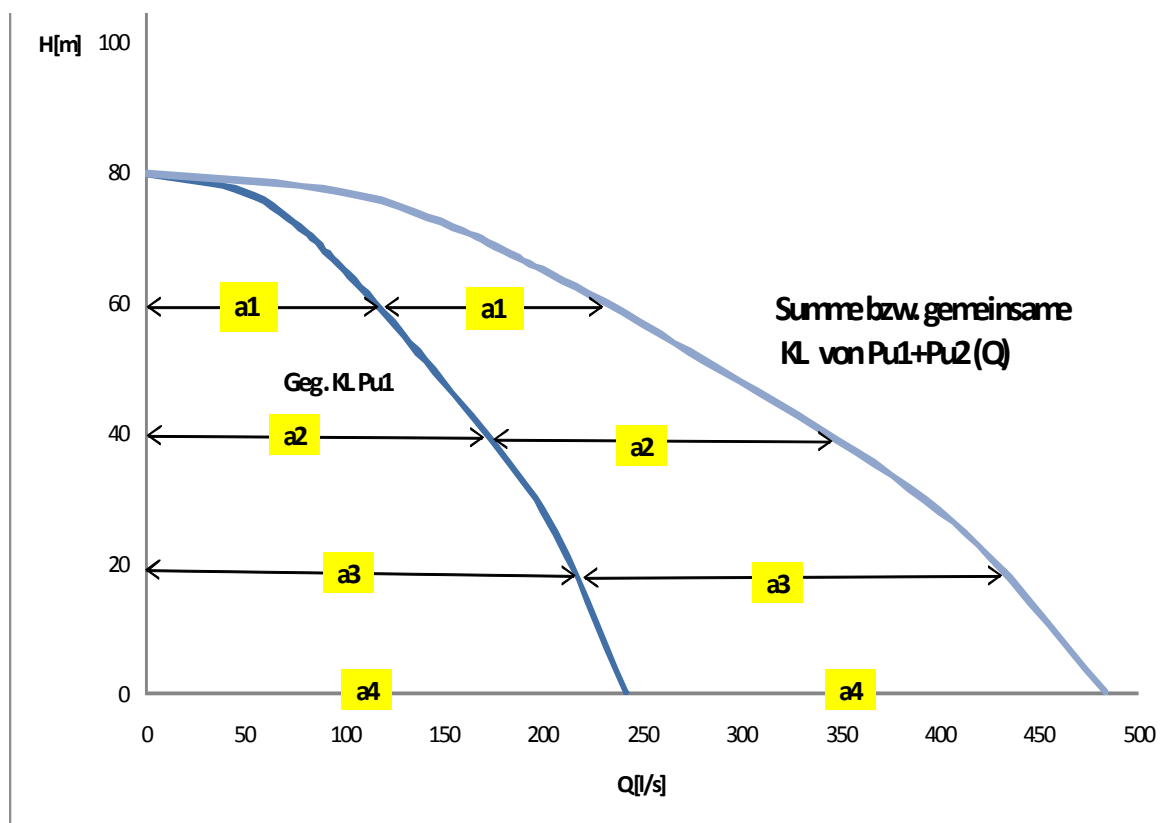


Abb. 17: Ermittelte RohrKennLinie RKL1 (rot) und vorgegebene PumpenKennLinie PuKL1

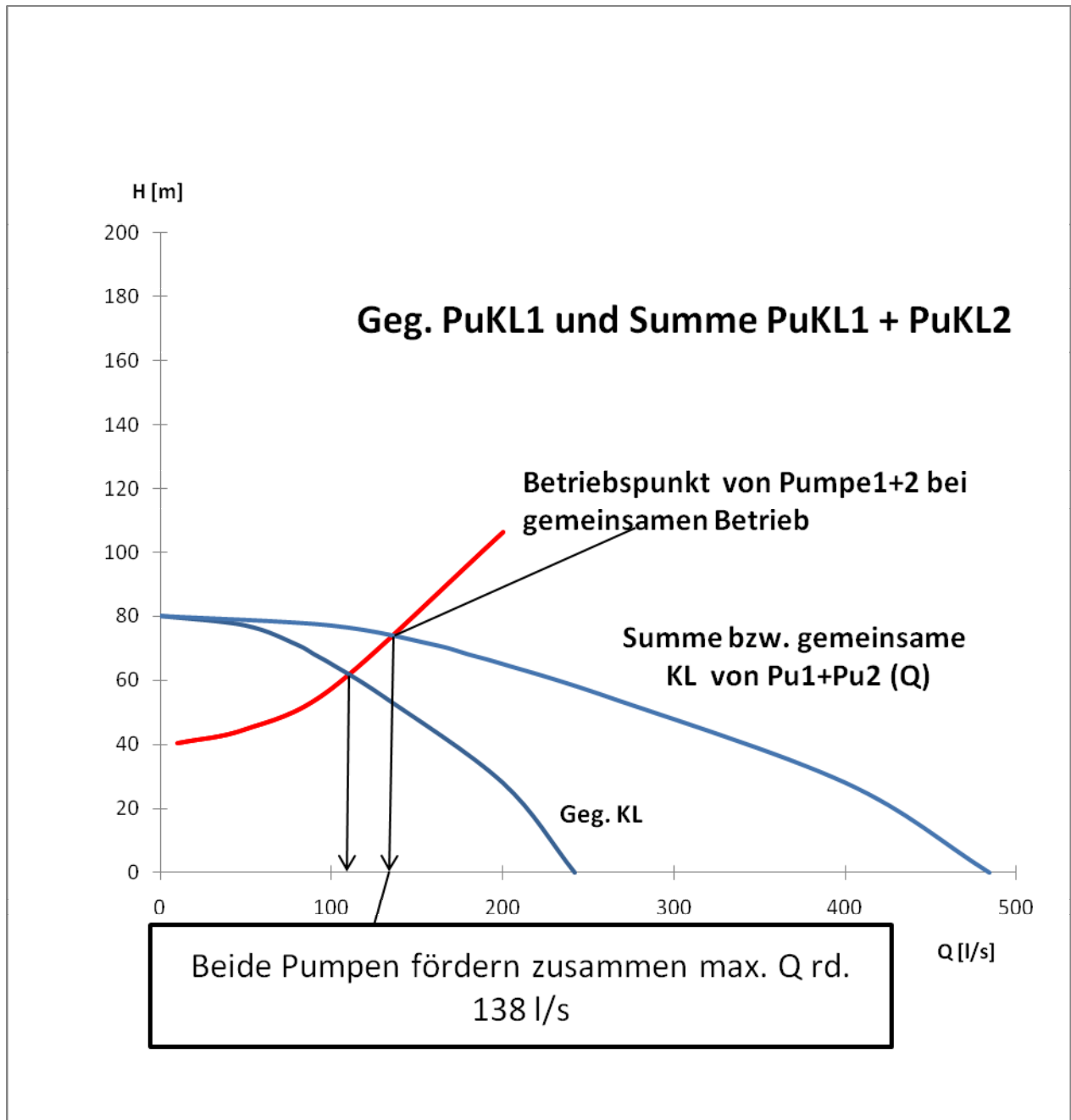


Gemeinsame Pumpenkennlinie als Summe PuKL1+2

- aus Addition der Fördermengen für bestimmte Förderhöhen (HorizontalLinien) ermitteln bzw. zeichnerisch abtragen (Millimeterpapier)
- Dazu Q-Betrag „ a_{1-n} “ von der Vertikal-H-Achse nach rechts bis zur PuKL1 abgreifen und nach rechts übertragen, ergibt einen Punkt der gemeinsamen Pumpenkennlinie von Pumpe 1 und Pumpe 2: PuKL1+2
- Verbindung aller neuen Punkte rechts, ergibt die Pumpenkennlinie die sich einstellt, wenn beide Pumpen (gleicher Bauart) gemeinsam in eine Leitung pumpen.



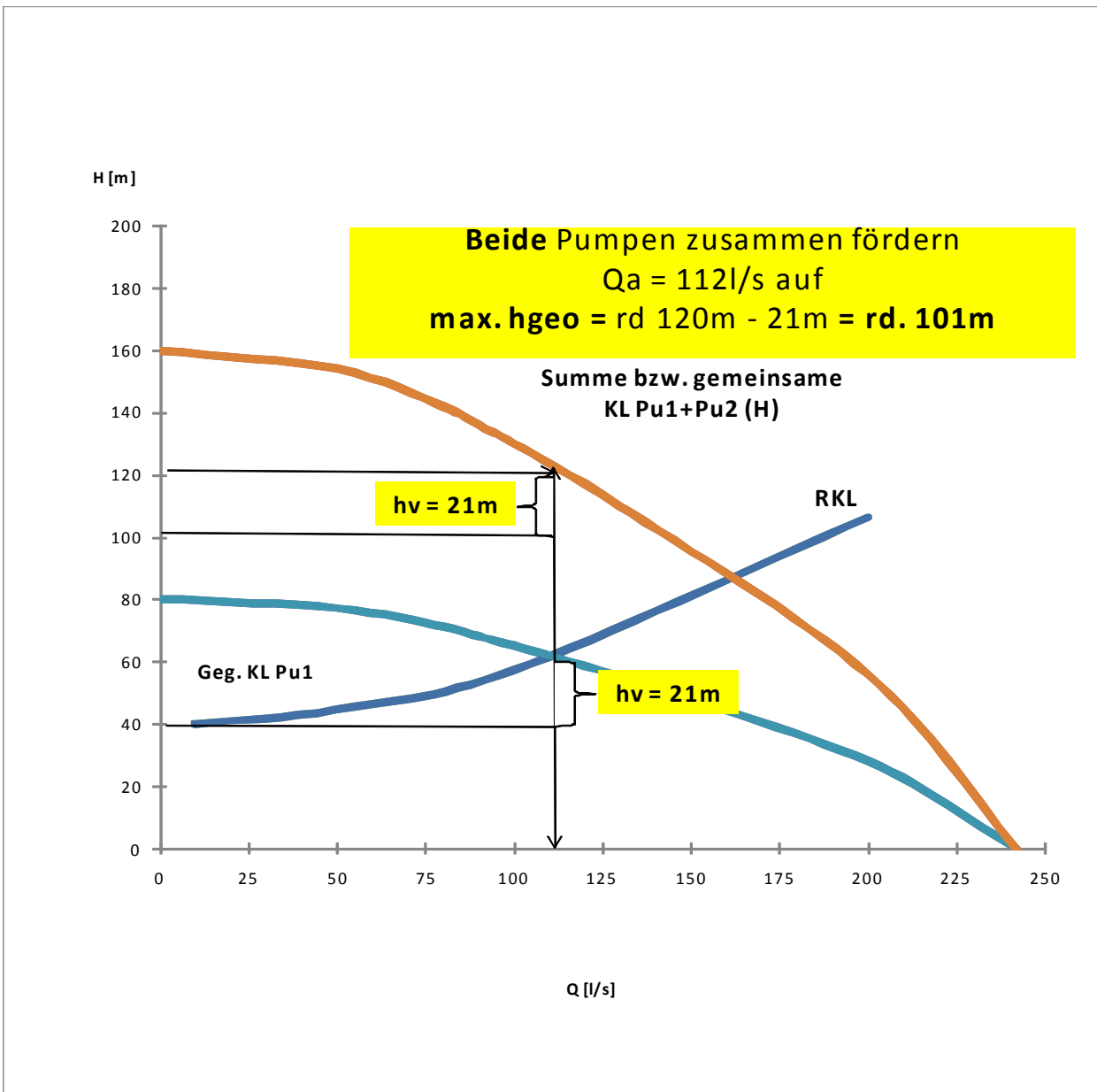
- Schnittpunkt der PuKL1+2 mit der geg. Rohrkenlinie ergibt den Betriebspunkt/Fördermenge des gemeinsamen Pumpenbetriebes



C) Auf welche geodätische Höhe könnten zwei hintereinandergeschaltete Pumpen die unter a) ermittelte Wassermenge von Q rd. 112 l/s fördern ?

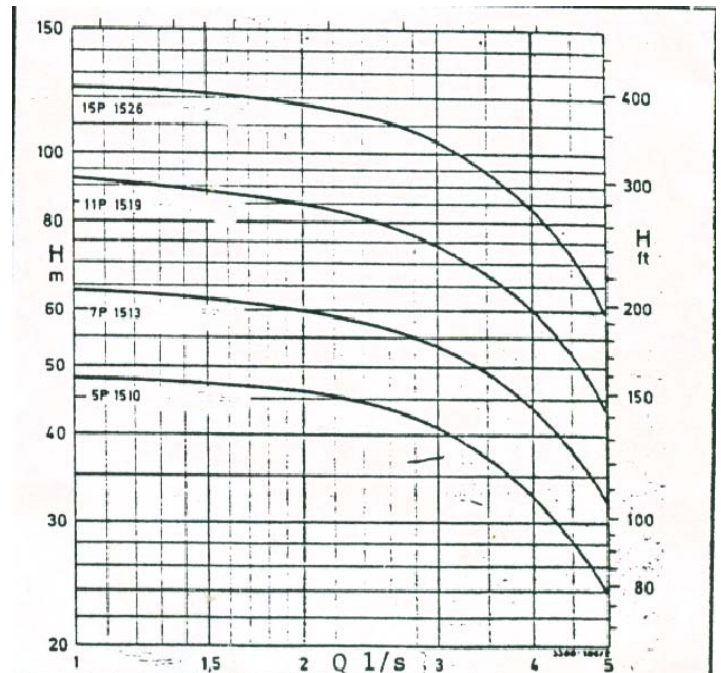
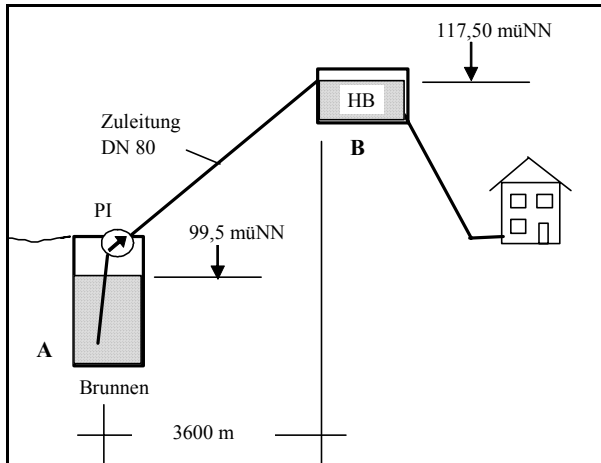
Lösungsweg:

1. PumpenAddition bezogen auf Förderhöhe = Addition der Förderhöhen zu einer gemeinsamen PuKL1+2 ($h_{max} = 2 \times 80 = 160m$).
2. Unter a) gefundene Fördermenge $Q = 112$ l/s lotrecht nach oben bis auf die gemeinsam H-PuKL1+2 abtragen
3. Von dieser „hgeo“ noch „hv“ aus a) abziehen, ergibt max Förderhöhe für $Q_a = 112$ l/s durch beide Pumpen:
4. Hgeo_{max} für Q_a (112l/s) = 122m – 21m = rd 101m



4.11 2. Aufgabe - WasserVers - P3 S 2005 - (15 min)

Der Brunnen A fördert Wasser zum Hochbehälter B. Hierzu soll eine Kreiselpumpe mit Hilfe der 4 Kennlinien des Pumpenherstellers ausgesucht werden.



- 2.1 Welches k_i ist zu wählen ?
- 2.2 Erstellen Sie die Rohrkenlinie und zeichnen Sie diese ins gegebene Leistungsdiagramm des Herstellers.
- 2.3 Wählen Sie die Pumpe wenn eine Fördermenge von ca. 3,5 l/s der Zielwert ist. Wie groß ist der zugehörige Reibungsverlust $h_{v,R}$?

PGLös s. Exceldat „Skizzen c“ u. Vorlesungsunterlagen und P3-Ordner !

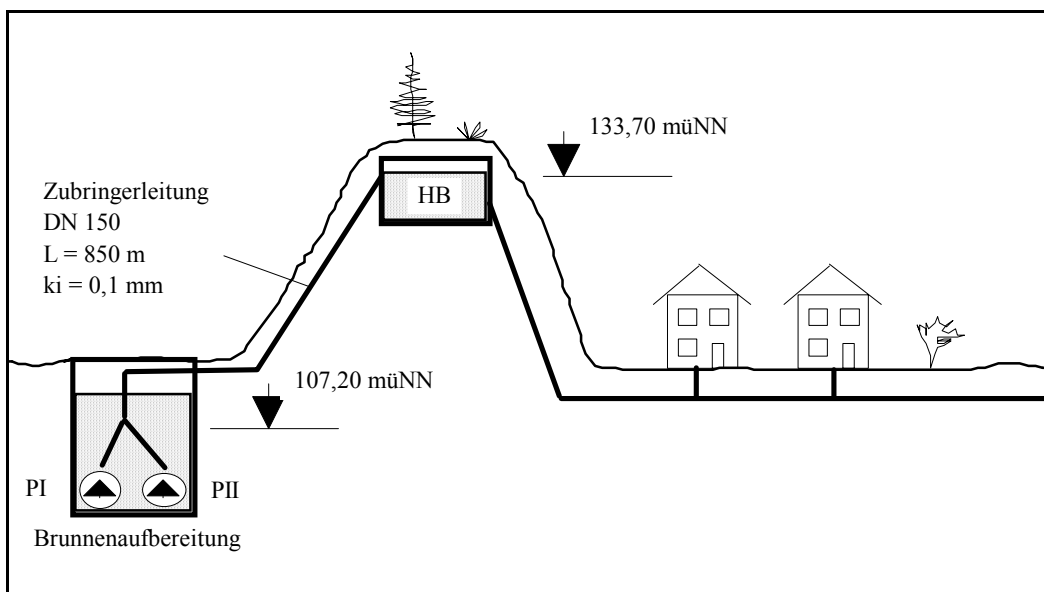
4.12 Übung zur SiWaWi 2

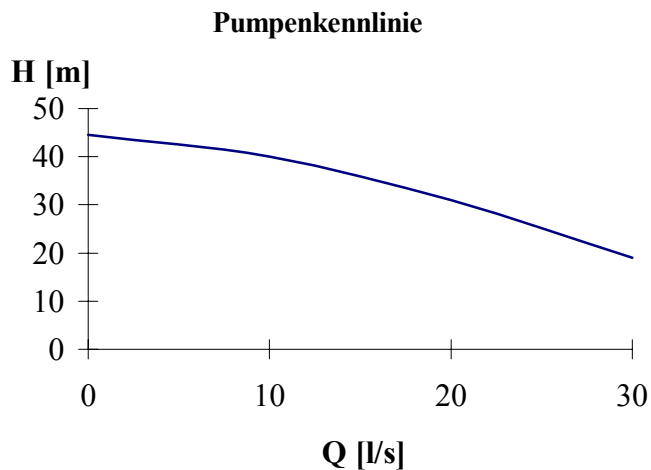
Geg:

- Einwohner: 5.000 EW
- Wasserbedarf incl. Verluste: 170 l/Exd
- Maximaler Wasserbedarf: $q_{\max} = 1,8 \times q_{\text{mitt.}}$
- Maximaler Industriebesbedarf: $Q_{\max,i} = 3.418 \text{ m}^3/\text{d}$
- Gelände OK am Brunnen: 110 müNN
- Höhe des Grundwasserspiegels: 106 müNN
- OK der undurchlässigen Schicht: 92 müNN
- Durchlässigkeitsbeiwert: $k_f = 0,003 \text{ m/s}$
- Durchm. des Filterrohres: $d_{\text{filter}} = 30 \text{ cm}$
- Pumpzeit: $t_p = 18 \text{ h}$
- Grundwasserneubildung: $i_s = 100 \text{ mm/a}$
- Wirkungsgrad der Pumpe: $\eta = 0,6$

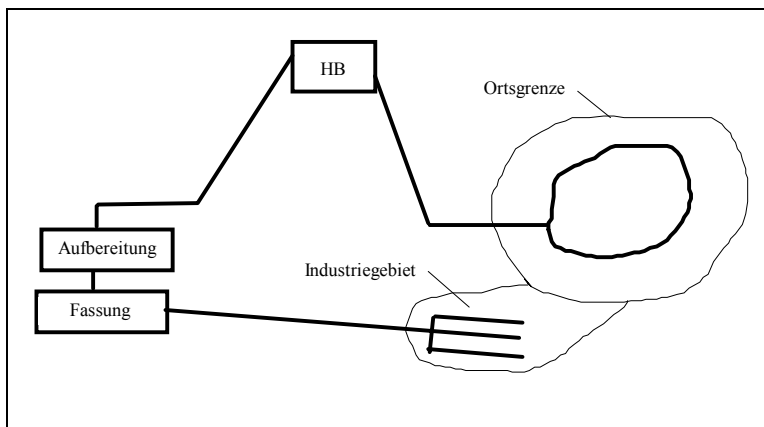
Ges:

- a) erforderliche Brunnenleistung Q_{erf}
- b) erforderlicher Brunnendurchmesser (mit Kiesfilter) u. zugehöriger Absenkung (ohne Sicherheit)
- c) Ermittl. des Betriebspunktes, wenn das Wasser von der Aufbereitungsanlage mit zwei gleichen Pumpen zum **Hochbehälter** gefördert wird (Parallelschaltung)
- d) Bestimmung des Kraftbedarfes der Pumpe





Q [l/s]	H [m]
0	44,5
10	40
20	31
30	19



- Das Industriegebiet wird mit Rohwasser (nicht aufbereitetes GW) versorgt, das dort in einer besonderen Anlage aufbereitet wird.

Lösungsweg

Erforderliche Brunnenlesitung Q_{erf}

Leistung pro Tag mit 18-stündigem Pumpenbetrieb:

$$Q_{\text{erf}} \text{ [m}^3/\text{h]} = \frac{Q_{\text{max}}}{t_p}$$

$$t_p = 18 \text{ h}$$

$$Q_{\text{max}} = Q_{\text{max(EW)}} + Q_{\text{max(i)}} = 1,8 \times q_{\text{mitt}} \times \frac{\text{EW}}{1.000} + Q_{\text{max(i)}}$$

$$Q_{\text{max}} = 1,8 \times 170 \times \frac{5.000}{1.000} + 3.418$$

$$Q_{\text{max}} = 4.948 \text{ m}^3$$

$$Q_{\text{erf}} \text{ [m}^3/\text{h]} = \frac{4.948}{18} = 274,9 \text{ m}^3/\text{h} = \underline{\underline{76,4 \text{ l/s}}}$$

Brunnendurchmesser und Absenkung s

Die Ermittlung erfolgt über die Ergiebigkeit q_E und das Fassungsvermögen q_F mit Hilfe einer Iteration.

Brunnen-Ergiebigkeit:

$$Q_E \text{ [m}^3/\text{s]} = \frac{\pi \times k_f \times (H^2 - h^2)}{\ln(R/r_m) - 0,5}$$

- 0,5, da mit i_s Grundwasserneubildung

Brunnen-Fassungsvermögen:

$$Q_F \text{ [m}^3/\text{s]} = \frac{2}{15} \times \pi \times r \times h \times \sqrt{kf}$$

mit $kf = 0,003 \text{ m/s}$ ergibt sich

$$Q_F = r \times h \times 0,0229 \text{ m}^3/\text{s} = f_{(r)}$$

Reichweite der Absenkung:

Zur Ermittlung der Reichweite R [m] gilt - wegen des Bezugs auf i_s (GW-Neubildung) -:

$$R \text{ [m]} = \sqrt{\frac{Q}{\pi \times i_s}} = \sqrt{\frac{Q_{erf}}{\pi \times i_s}}$$

mit $i_s = 100 \text{ mm/a}$

$$R \text{ [m]} = \sqrt{\frac{76,4 \text{ l/s}}{\pi \times 100\text{mm/a}}} = 2.770 \text{ m}$$

Gewählt: s bzw. h und r

$$s \text{ [m]} = H - h \quad \text{mit} \quad H = \text{const.} = 106 - 92 = 14 \text{ m}$$

So lassen sich die Ergiebigkeit $Q_{E(i)}$ und die Fassungsvermögen $Q_{F(i)}$ in Abhängigkeit von den Variablen **h** und **r** bestimmen.

s	kf	R	H	h	H ² -h ²	Q _F = f _(r)	Ergiebigkeit Q _E [l/s]					
							r _m [m]	r _m [m]	r _m [m]	r _m [m]	r _m [m]	r _m [m]
[m]	[m/s]	[m]	s+h	H-s	[m ²]	[m ³ /s]	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
1	0,0030	2770	14	13	27	0,298 x r	26,16	28,16	29,48	30,50	31,34	32,06
2	0,0030	2770	14	12	52	0,275 x r	50,37	54,24	56,79	58,74	60,36	61,74
3	0,0030	2770	14	11	75	0,252 x r	72,65	78,23	81,90	84,73	87,05	89,05
4	0,0030	2770	14	10	96	0,229 x r	93,00	100,13	104,83	108,45	111,43	113,99
5	0,0030	2770	14	9	115	0,206 x r	111,40	119,95	125,58	129,91	133,48	136,55

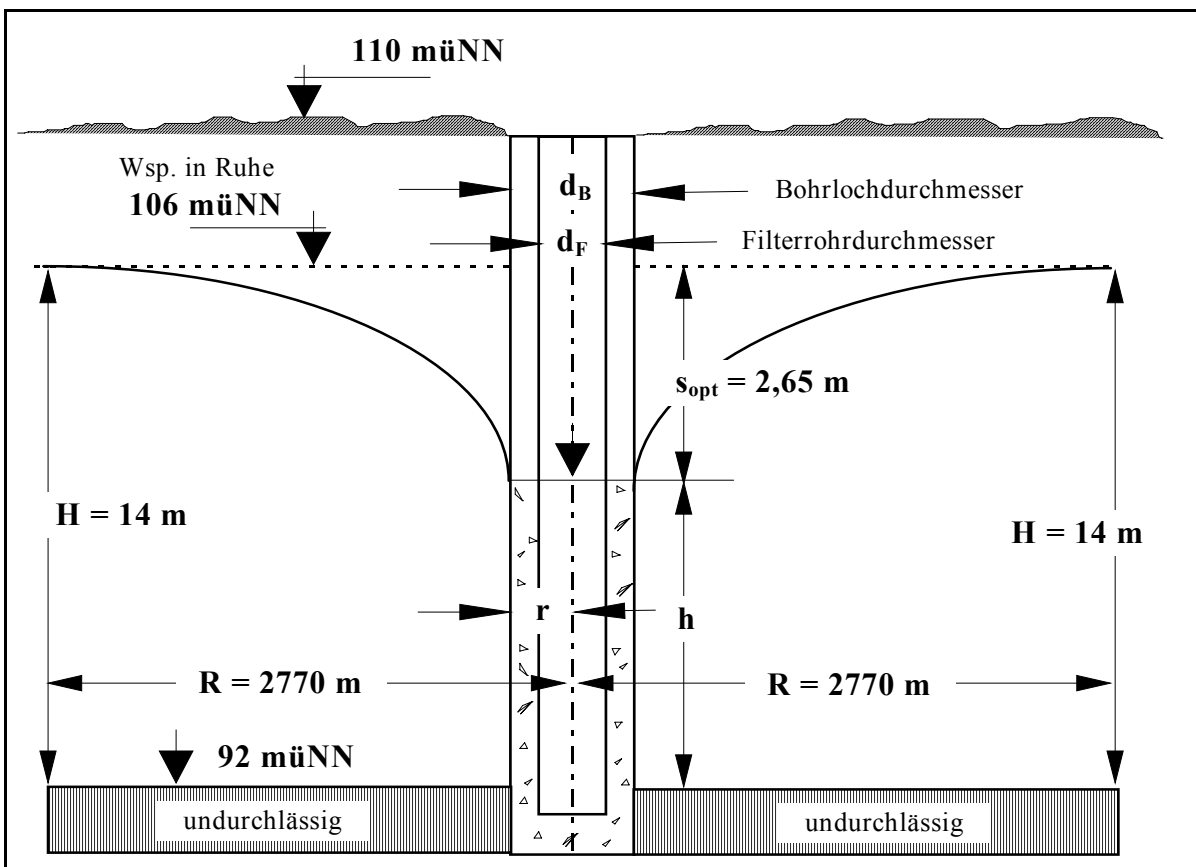
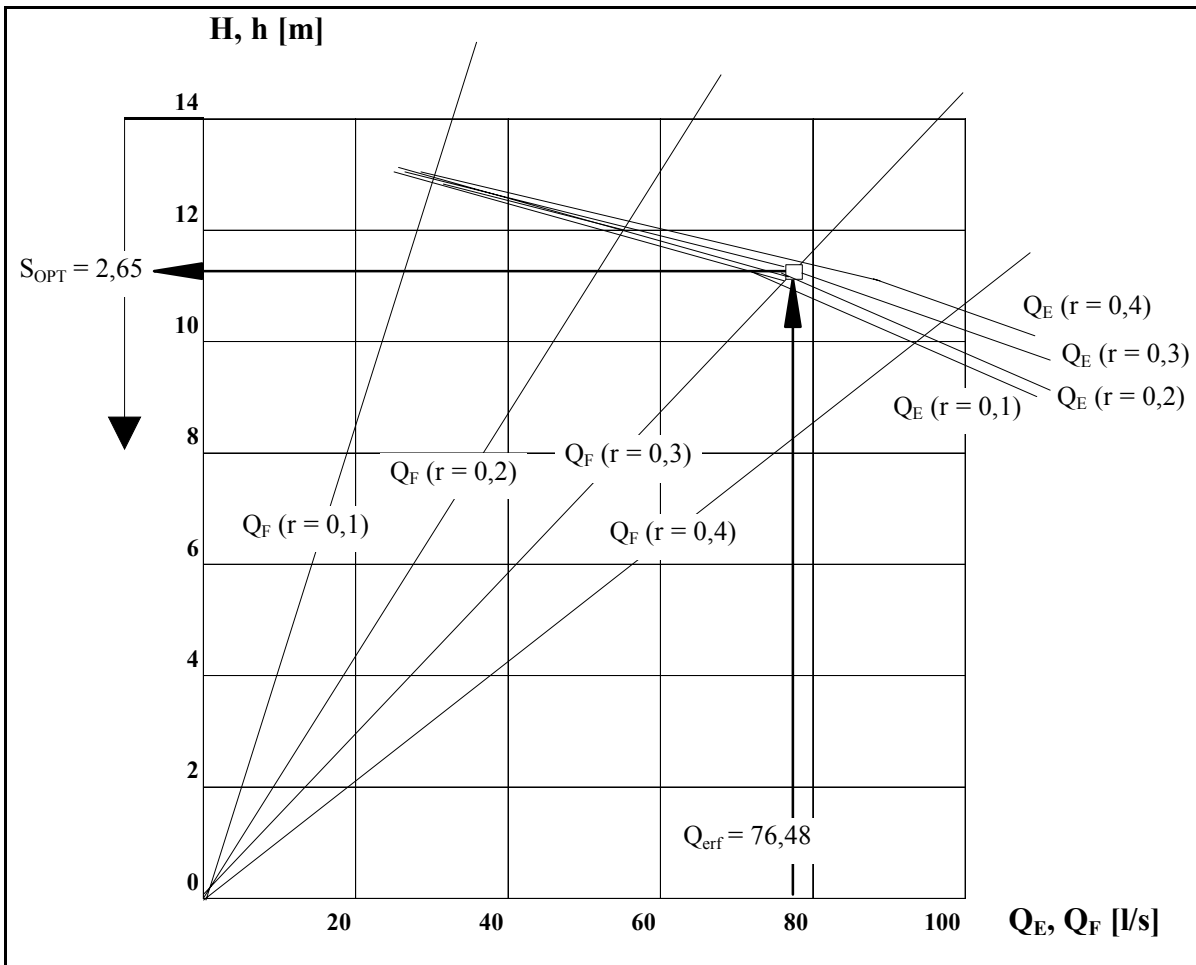
Die Ergebnisse von Q_E und Q_F werden nun graphisch aufgetragen, so daß die optimale Absenkung S_{opt} bestimmt werden kann (hier ohne Faktor zw. Optimal und Betrieb).

Aus Diagramm: $S_{OPT} = 2,65 \text{ m}$ $r_{erf} = 0,29\text{m}$

$$r_{erf} = \frac{r_i + r_a}{2} = \frac{r_{Filter} + r_{Bohr}}{2} \quad \rightarrow \quad r_{Bohr} = 2r_{erf} - r_{Filter}$$

$$d_{filter} = 0,30 \text{ m}; r_{filter} = 0,15 \text{ m}; \quad \rightarrow \quad r_{Bohr} = 2 \times 0,29 - 0,15 = 0,43 \text{ m}$$

$$d_{Bohr} = 2 \times r_{Bohr} = 2 \times 0,43 = 0,86 \quad \rightarrow \quad \text{gewählt: } d_{Bohr} = 0,9 \text{ m}$$



Ermittlung des Betriebspunktes

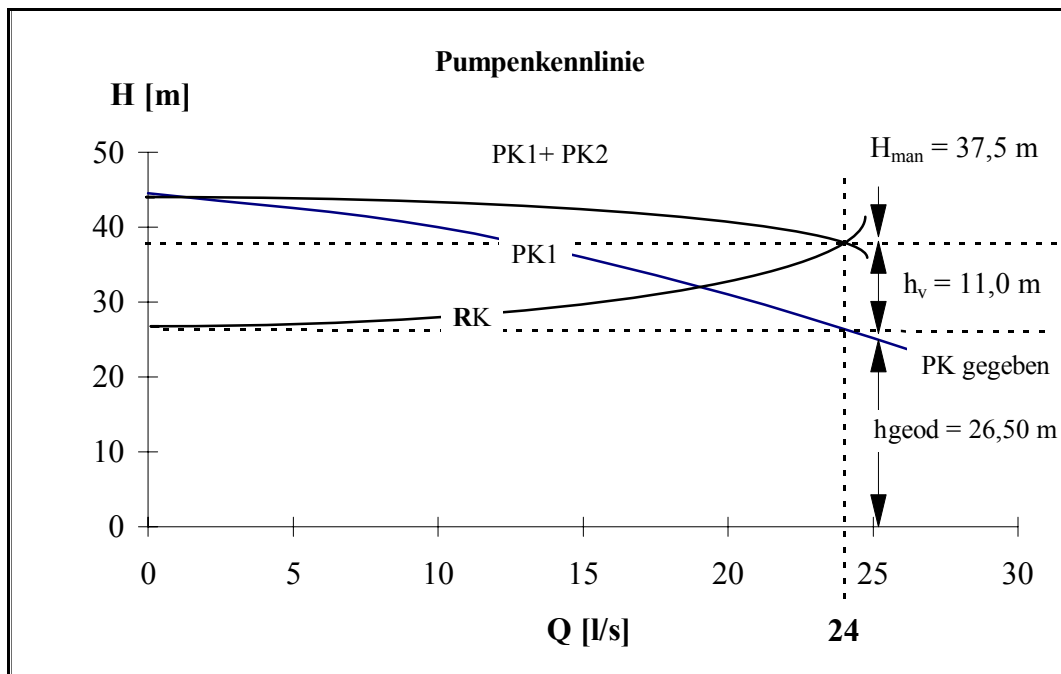
Wasserförderung über zwei Pumpen zum Hochbehälter

Geg: DN = 150; L = 850 m; $k_i = 0,1$ mm

- Aus Druckverlusttafeln können für verschiedene Durchflüsse Q die Verlusthöhen h_v bestimmt werden:

Q [l/s]	5	10	15	20	30	40
I [m/km]	0,675	2,410	5,148	8,869	19,242	33,509
h_v [m]	0,574	2,05	4,38	7,54	16,36	28,48

- Tabellenwerte in Diagramm eintragen und Pumpenkennlinie für Parallelschaltung einzeichnen.



$$h_{geod} = 133,7 - 107,2 = \underline{\underline{26,5 \text{ m}}}$$

$$Q = Q_p / 2 \text{ (2er Pumpe)}$$

$$Q = \frac{Q_{max}}{tp \times 2} = \frac{1,8 \times 170 \times 5000}{18 \times 2 \times 3600} = \underline{\underline{11,8 \text{ l/s}}} \text{ je Pumpe}$$

$$H_{man} = h_{geod} + h_v = 26,5 \text{ m} + 11 \text{ m} = \underline{\underline{37,5 \text{ m}}}$$

$$\text{Kraftbedarf Pumpe: } P_g = \frac{\rho \times H_{man}}{102 \times \eta} = P_g = \frac{11,8 \times 37,5}{102 \times 0,6} = \underline{\underline{7,23 \text{ kW}}} \text{ je Pumpe}$$