

Versuchsauswertung Umweltverfahrenstechnik
PROZESSWASSERAUFBEREITUNG

Florian Enzenberger (*2033971*)
Daniel Ludwig (*2033774*)
David Perez (*-1*)
Sebastian Werner (*2033878*)

Versuchsbetreuer: Dr. J. Dück

Durchgeführt am 20.4.2005

Inhaltsverzeichnis

1	Versuchsbeschreibung	1
2	Messwerte	1
2.1	Versuchsbedingungen	1
2.2	Messwerte	2
3	Ergebnisse	3
3.1	Sedimentation	3
3.2	Filtration	5
4	Auswertung der Ergebnisse	5
4.1	Sedimentation	5
4.2	Filtration	6

1 Versuchsbeschreibung

Inhalt des Versuches ist die Prozesswasseraufbereitung, mit der man hochkontaminierten Feinschlamm entwässert, um das aufbereitete Wasser (Klarwasser) wieder in den Wasserkreislauf zurückzuführen. Das entstandene Festprodukt wird dann entweder verbrannt oder deponiert. Die Prozesswasseraufbereitung wird oftmals in die Verfahrensschritte Sedimentation und Filtration unterteilt. Für die Auslegung von größeren Anlagen werden deshalb diese Kernbereich mit Hilfe von Laborversuchen untersucht.

Dementsprechend sind die behandelten Bereiche im Praktikum die Flockung und Sedimentation einer Suspension und eine anschließende Filtration mit einer Kammerfilterpresse.

Bei der Flockung und Sedimentation soll aus mehreren Flockungsmitteln ein geeignetes Flockungsmittel ausgewählt werden, das eine geringe Resttrübung, eine hohe Eindickung und eine hohe Sedimentationsgeschwindigkeit der geflockten Teilchen zu Folge hat. Gleichzeitig wird durch Ermittlung der Höhe des Klarwasserstand in Abhängigkeit von der Sedimentationszeit die Klärfläche eines Rundeindickers und das Teilungsverhältnis Dickschlamm zu Klarwasser bestimmt. Im Versuch wird hierbei, in 4 verschiedenen Bechergläsern jeweils Kaolin in Wasser suspensiert. Die Flockungsmittel (2530, 2500, 650BC) werden zu drei Ansätzen der Kaolinsuspension hinzugegeben, der vierte Ansatz dient als Blindprobe (BW). Nach Umschütteln im Schüttelgerät lässt man sedimentieren und nimmt die Höhe der Grenzfläche in Abhängigkeit von der Zeit auf. Anschließend wird abdekantiert und das sedimentierte Festprodukt in der Kammerfilterpresse weiter entwässert. Zur Auslegung der Filtrationsstufe werden hierbei die Kuchenbildungszeit, Filterkuchenrestfeuchte und der Dickschlammvolumenstrom betrachtet.

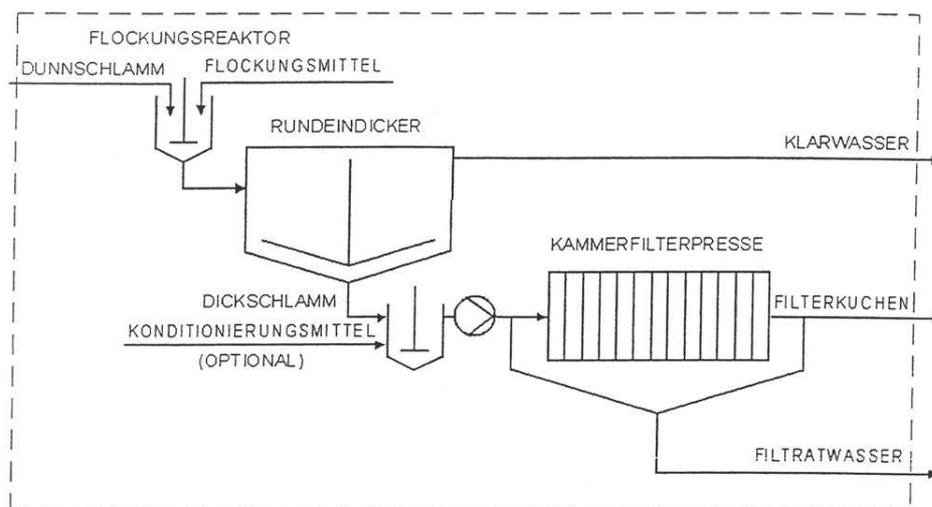


Abbildung 1: Schematischer Aufbau der Versuchsanlage

2 Messwerte

2.1 Versuchsbedingungen

2.1.1 Sedimentation

Analog der Versuchsanweisung wurden für die Auswahl des Flockungsmittels folgende Messungen vorgenommen:

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4
Flockungsmittel	<i>keines</i>	2530	2500	650BC
Zugabe FM in $\frac{g}{l}$	0	50	50	50
Zugabe FM in <i>ml</i>	0	2,5	2,5	2,5
Volumen Wasser <i>l</i>	0,5			
Einwaage Kaolin <i>g</i>	25			

Tabelle 1: Versuchsbedingungen

2.1.2 Filtration

In der Hochdruckfiltrationsanlage wurde vom Versuchsassistenten mit einem angelegten Überdruck von 3 bar der Filterkuchen entwässert.

2.2 Messwerte

2.2.1 Sedimentation

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4
0	29,5	29,5	29,5	29,5
15	29,5	19,0	29,3	29,3
30	29,5	11,5	29,0	29,1
45	29,5	10,5	28,5	29,0
60	29,5	10,1	28,0	29,0
75	29,4	9,8	27,5	28,9
90	29,4	8,9	26,5	28,7
105	29,4	8,5	24,5	28,5
120	29,3	8,1	22,9	27,9
135	29,3	8,0	21,0	27,0
150	29,2	7,8	20,8	26,5
165	29,2	7,7	20,2	26,0
180	29,1	7,7	19,5	25,5
195	29,1	7,5	18,5	24,8
210	29,0	7,5	18,0	24,3
225	28,9	7,4	17,5	23,5
240	28,8	7,4	16,8	23,0
255	28,7	7,3	16,5	22,5
270	28,6	7,3	16,4	21,9
285	28,5	7,2	15,5	21,4
300	28,4	7,2	15,2	21,0
330	28,2	7,1	15,0	20,3
360	28,0	7,0	14,5	19,3
390	27,7	7,0	14,0	18,5
420	27,5	7,0	13,8	17,9
450	27,3	6,9	13,5	17,5
480	27,1	6,9	13,2	17,0
510	26,7	6,8	12,8	16,5

Tabelle 2: Messwerte des Sedimentationsversuches

2.2.2 Filtration

In der Hochdruckfiltrationsanlage wurden folgende Werte für den abdekantierten *Sumpf* des mit 2530 als Flockungsmittel geflockten Kaolin ermittelt:

Höhe des Filterkuchens	4,2 mm
Kuchenbildungszeit	130 s
Filtrationsvordruck	3 bar

Tabelle 3: Messwerte der Filtration

3 Ergebnisse

3.1 Sedimentation

Nach Beginn der Sedimentation beobachtet man in den vier Ansätzen unterschiedliche Sedimentationsgeschwindigkeiten. Die Blindprobe zeigt sehr langsame, die drei Flockulationsmittel in der Reihenfolge 650BC, 2500 und 2530 steigende Sedimentationsgeschwindigkeit. Zudem ist deutlich zu sehen, dass mit steigender Sedimentationsgeschwindigkeit, auch die Reinheit der klaren Phase steigt. Trägt man die Höhe der fest-flüssig-Phasengrenze gegen die Zeit auf, erhält man folgende Sedimentationskurven.

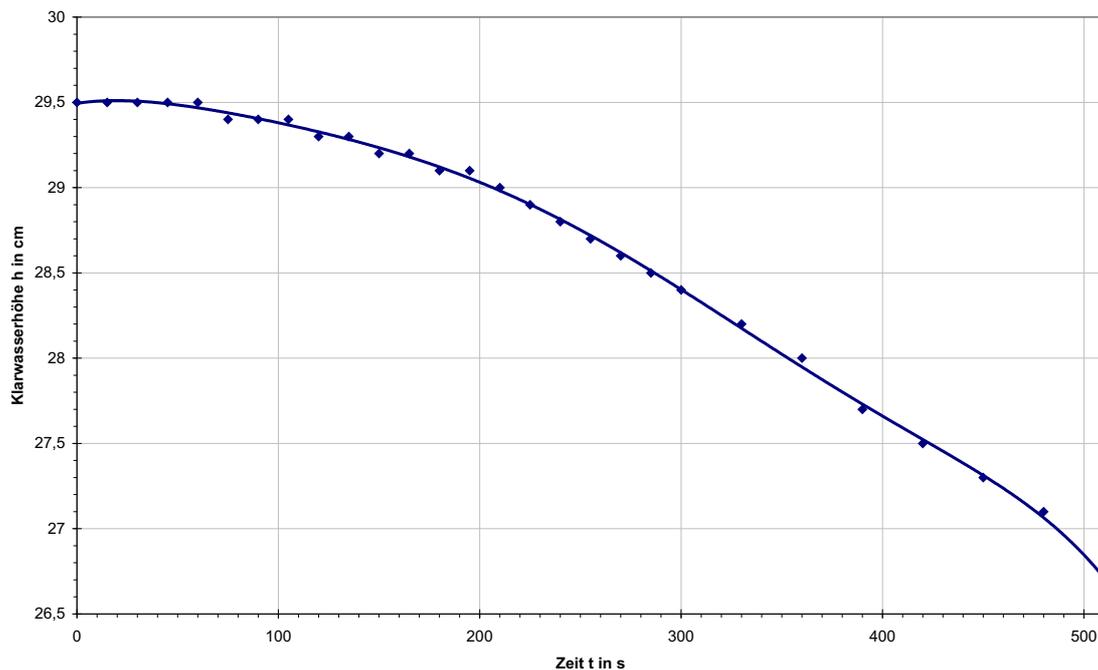


Abbildung 2: Sedimentationskurve Blindprobe

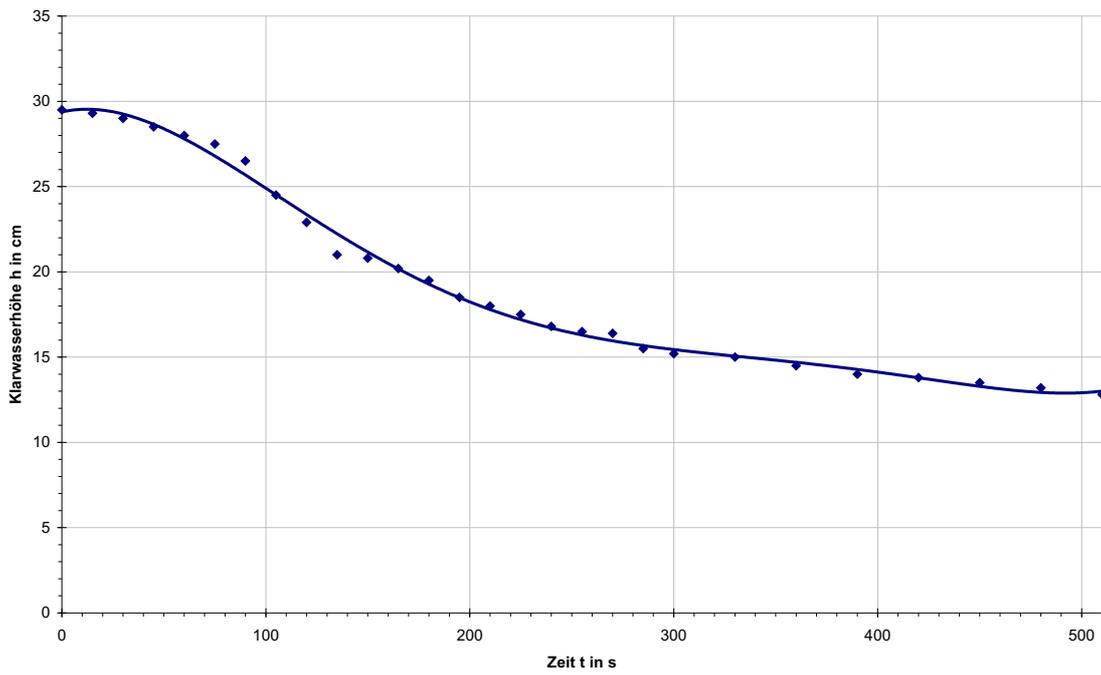


Abbildung 3: Sedimentationskurve 2500

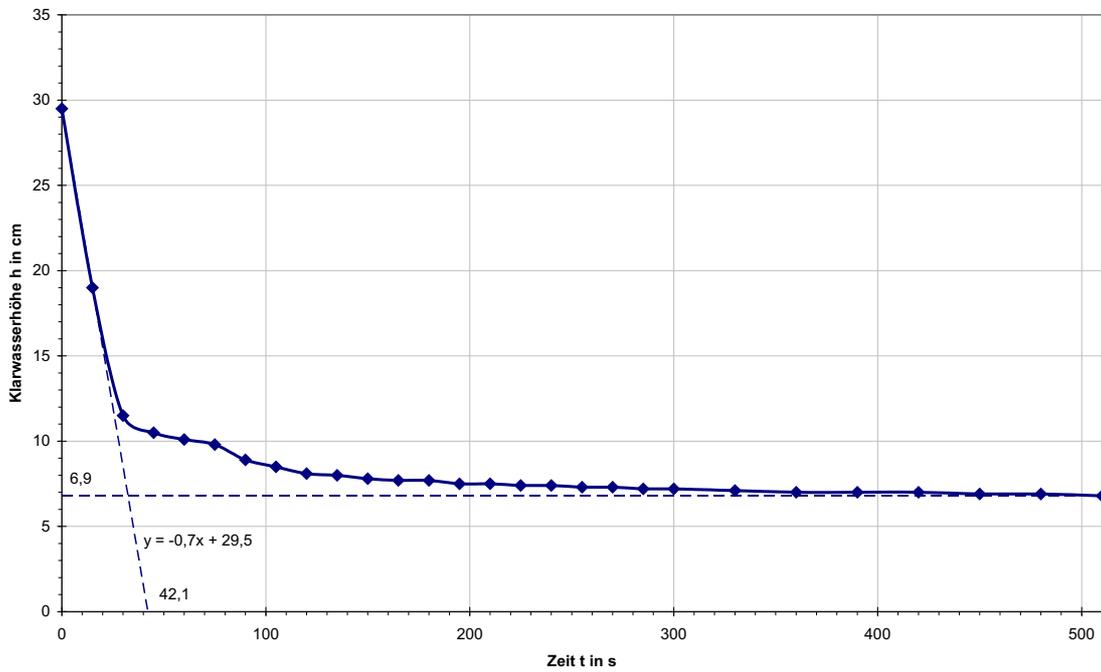


Abbildung 4: Sedimentationskurve 2530

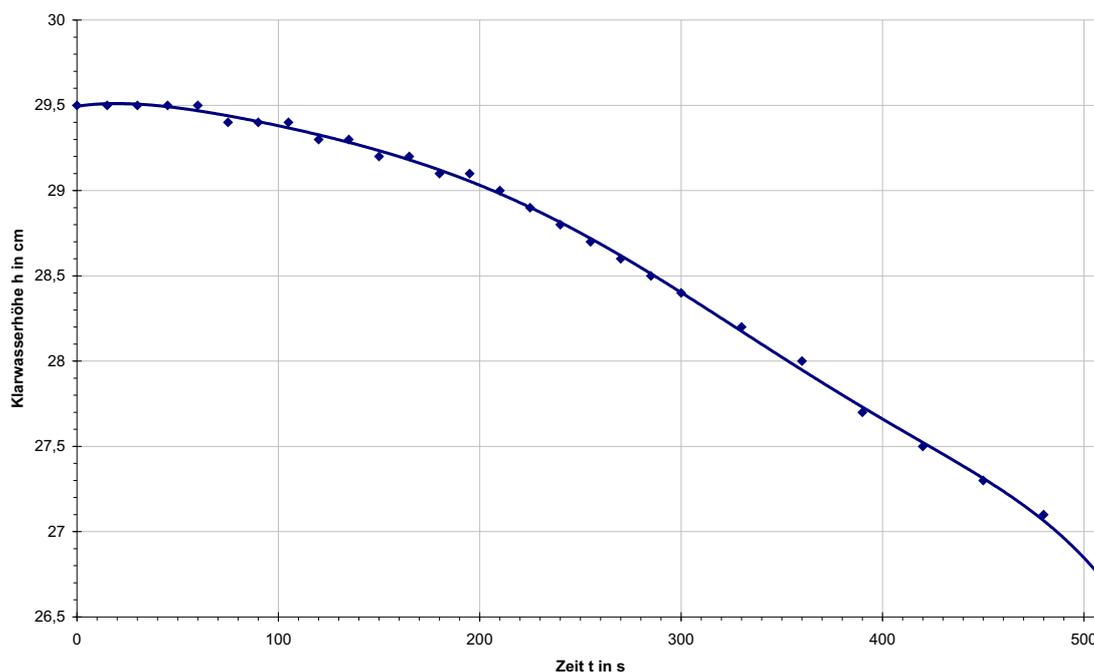


Abbildung 5: Sedimentationskurve 650BC

Wie deutlich zu erkennen ist, ist bei Verwendung des Flockungsmittels 2530 in kürzester Zeit ein deutliches aufklaren der Suspension durch schnelle Sedimentation erreicht worden. Es war schon wenige Sekunden nach der Zugabe des Flockungsmittels eine starke Flockenbildung zu beobachten. Somit wurde im weiteren der Bodensatz von 2530 verwendet.

3.2 Filtration

Der Bodensatz des Versuches mit Flockungsmittel 2530 wird nun in die Druckfilterpresse gefüllt. Nach kurzer Vorlaufzeit wird der Überdruck auf 3 bar eingestellt. Hans Maulwurf. Mit fortschreitendem Stempelvorschub beobachtet man ein stetiges Ausfließen von Wasser. Bei Aufsetzen des Stempels auf die Feststoffschicht ist der Filtrationsvorgang beendet. Aus den am Rechner aufgezeichneten Datensätzen werden die Kuchenbildungszeit t_{Fil} und die Filterkuchenhöhe h_k ermittelt. Nach der Filtration weist der Filterkuchen eine tonartige Konsistenz auf.

4 Auswertung der Ergebnisse

4.1 Sedimentation

Die Steigung der in Abbildung 4 auf der vorherigen Seite eingezeichneten Tangente entspricht der Sedimentationsgeschwindigkeit v_s und beträgt $0,007 \text{ m/s}$. Die Konzentration der feststoffreichen Phase nach der Sedimentation errechnet sich zu

$$C_{s,2} = \frac{C_s \cdot h_{ges}}{h_{s,2}} \quad (1)$$

und beträgt mit $h_{ges} = 29,5 \text{ cm}$ $213,8 \text{ kg/m}^3$. Der Massenstrom \dot{m}_S errechnet sich aus der vorgegebenen Konzentration und dem Dünnschlamm-Volumenstrom und beträgt:

$$\dot{m}_S = C_S \cdot \dot{V}_A = 50 \text{ g/l} \cdot 100 \text{ m}^3/\text{h} = 1,39 \text{ kg/s} \quad (2)$$

Nun kann die mit der Gleichung nach COE und CLEVENGER die Klärfläche eines Rundeindickers ausgelegt werden.

$$A_k = \dot{m} \frac{1}{v_s} \left[\frac{1}{C_s} - \frac{1}{C_{s,2}} \right] \quad (3)$$

Mit den aus dem Sedimentationsversuch gewonnenen Werten ergibt sich eine Klärfläche von $3,04 \text{ m}^2$, was einem Durchmesser von $1,97 \text{ m}$ entspricht.

4.2 Filtration

4.2.1 Bestimmung des Dickschlammvolumenstroms und der Feststoffkonzentration

Aus dem Anteil des Dickschlammes von

$$\frac{V_D}{V_{ges}} = \frac{h_D}{h_{ges}} = \frac{6,9 \text{ cm}}{29,5 \text{ cm}} = 0,23 \quad (4)$$

lässt sich nun der Dickschlammvolumenstrom zu

$$\dot{V}_D = \dot{V}_A \cdot \frac{V_D}{V_{ges}} = 23,4 \text{ m}^3/\text{h} \quad (5)$$

ermitteln. Die Feststoffkonzentration im Dickschlamm wird nach Gleichung 1 ermittelt und beträgt $213,8 \text{ kg/m}^3$.

4.2.2 Bestimmung der Kuchenbildungszeit

Aus der Aufzeichnung am Rechner gehen die Kuchenbildungszeit zu $t_{Fil} = 130 \text{ s}$ und die Filterkuchenhöhe zu $h_k = 4,2 \text{ mm}$ hervor. Mit der vereinfachten Gleichung

$$h_k^2 = K t_{Fil} \quad (6)$$

kann man die Konstante $K = 1,36 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ bestimmen. Mit diesem Wert kann nun, wie in Kapitel 4.2.4 gezeigt, der Scale-Up auf eine größere Anlage durchgeführt werden.

4.2.3 Bestimmung der Restfeuchte

Es gilt:

$$\varepsilon = \frac{V_{ges} - V_s}{V_{ges}} = \frac{h_k A - \frac{m_s}{\rho_s}}{h_k A} = 1 - \frac{m_s}{h_k A \rho_s} \quad (7)$$

Bekannt ist der Durchmesser der Laborfiltrationszelle $d_{Filter} = 80 \text{ mm}$, die Feststoffdichte von Kaolin $\rho_s = 2605 \text{ kg/m}^3$ und die eingewogene Feststoffmasse $m_s = 25 \text{ g}$. Aus dem durchgeführten Versuch geht desweiteren die Filterkuchenhöhe $h = 4,2 \text{ mm}$ mit ein. Mit diesen Werten ergibt sich eine Porosität von $\varepsilon = 0,5454$. Mit einer angenommenen Sättigung von $S = 1$ ergibt Gleichung 7 nach dem Volumen der Flüssigkeit V_l aufgelöst:

$$V_l = V_{ges} - V_s = \varepsilon \cdot V_{ges} = \varepsilon \cdot h_k \cdot A \quad (8)$$

Somit ergibt sich ein Flüssigkeitsvolumen von $V_l = 11,5 \text{ ml}$, das einer Flüssigkeitsmasse von $m_l = V_l \cdot \rho_l = 11,5 \text{ g}$ entspricht. Die Restfeuchte errechnet sich zu

$$w_k = \frac{m_l}{m_{ges}} \quad (9)$$

Mit $m_{ges} = m_s + m_l = 25 \text{ g} + 11,5 \text{ g} = 36,5 \text{ g}$ folgt für die Restfeuchte $w_k = 31,5 \%$.

4.2.4 Bestimmung des erforderlichen Kammervolumens und Filterpressenauswahl

Aus einer Massenbilanz um die Kammerfilterpresse, mit der Annahme eines vernachlässigbaren Feststoffdurchschlages ergibt sich das Gesamtkammervolumen V_p .

$$V_p = \frac{\dot{V}_k}{n_z} = \frac{\dot{m}_A f_A}{\rho_k (1 - w_k) n_z} \quad (10)$$

Der Massenanteil Feststoff in der eingedickten Suspension

$$f_A = \frac{m_s}{m_s + m_D} \quad (11)$$

mit der Flüssigkeitsmasse der eingedickten Suspension

$$m_D = \rho_l \left(V_D - \frac{m_s}{\rho_{Kaolin}} \right) = 107 \text{ g} \quad (12)$$

entspricht $f_A = 18,9\%$. Der Suspensionsmassenstrom

$$\dot{m}_A = \dot{V}_A \frac{h_D}{h_{ges}} \cdot \rho_D \quad (13)$$

mit der Dichte des Dickschlammes

$$\rho_D = \frac{m_s + m_l}{V_D} = 1131,7 \text{ kg/m}^3 \quad (14)$$

ergibt sich zu $\dot{m}_A = 7,35 \text{ kg/s}$, was einem Massenstrom von $\dot{m}_A = 211763,6 \text{ kg/8 h}$ entspricht. Die Schüttdichte des Filterkuchens ρ_k entspricht

$$\rho_k = \frac{m_s + m_l}{V_{ges}} = 1728,9 \text{ kg/m}^3 \quad (15)$$

Nach Gleichung 6 ergibt sich mit der halben Kuchenhöhe der Filterpresse $h_k = 15 \text{ mm}$

$$t_{Fil} = \frac{k_k^2}{K} = 1658 \text{ s} \quad (16)$$

Die Anzahl der Zyklen n_z pro Arbeitstag errechnet sich aus der Betriebszeit $t_{Betrieb} = 8 \text{ h}$ und der Dauer eines Zyklusses.

$$n_z = \frac{t_{Betrieb}}{t_{Fuell} + t_{Fil} + t_{Leer}} = \frac{28800 \text{ s}}{300 \text{ s} + 1658 \text{ s} + 420 \text{ s}} = 12,1 \quad (17)$$

Abgerundet ergeben sich somit 12 Zyklen pro Tag. Nun kann man nach Gleichung 10 das Kammervolumen zu $V_p = 2815 \text{ l}$. Hieraus folgt, dass der Kammerfilterpressentyp *1200-100* mit einem Gesamtkammervolumen von 3280 l am geeignetsten ist, da etwaige Schwankungen im Massenstrom ausgeglichen werden können.