

Zentrifugieren

Daniel Bomze W05

Paul Gauss W12

Paul Kautny W20

19.10.2009

Inhaltsverzeichnis

1. Aufgabenstellung	2
1.1. <i>Spezifizierung eines Zentrifugen-systems.....</i>	2
2. Theoretische Grundlagen	2
2.1. <i>Vereinfachende Annahmen.....</i>	2
2.2. <i>Beschreibung der Parameterberechnung.....</i>	2
3. Versuchsdurchführung.....	5
4. Auswertung.....	6
5. Diskussion der Ergebnisse & Fehlerabschätzung.....	12
5.1. <i>Ergebnisse</i>	12
5.2. <i>Mögliche Fehlerquellen bei der Messung.....</i>	12
5.3. <i>Sonstige mögliche Fehlerquellen</i>	13
6. Anhang	14
6.1. <i>Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen und Symbole inkl. Dimension</i>	14
6.2. <i>Formelverzeichnis.....</i>	15
6.3. <i>Abbildungsverzeichnis</i>	16
6.4. <i>Tabellenverzeichnis</i>	16
7. Referenzen.....	16

1. AUFGABENSTELLUNG

1.1. SPEZIFIZIERUNG EINES ZENTRIFUGEN-SYSTEMS

Es war die Klarflüssigkeitsmenge einer Zentrifuge bei 3 vorgeschriebenen Drehzahlen in Abhängigkeit der Zeit zu bestimmen. Mittels dieser Werte sollen die Stoffspezifischen Konstanten α_w (Filtrationswiderstand) sowie β (Filtermittelwiderstand) bestimmt werden. Weiters sollte mit den auf diese Weise ermittelten Widerständen die theoretische Filtrationszeit errechnet werden und mit den gemessenen Zeiten verglichen werden.

2. THEORETISCHE GRUNDLAGEN

2.1. VEREINFACHENDE ANNAHMEN

Um die Berechnung des Trennvorgangs zu Vereinfachen wurden folgende Annahmen getroffen:

- Die Strömung im Kuchen und im Filtermittel sei laminar
- Die Porosität des Kuchens sei über die ganze Dicke unveränderlich
- Die Winkelgeschwindigkeit des rotierenden Suspensionsrings über die ganze Dicke sei konstant
- Der Einfluss der radialen Geschwindigkeitsänderung der kontinuierlichen Phase auf die wirksame Druckdifferenz kann als bedeutungslos angesehen werden

2.2. BESCHREIBUNG DER PARAMETERBERECHNUNG

Um die Radien r_a und r_i zu berechnen werden folgende Parameter benötigt

$$r_a = \sqrt{r_T^2 - \frac{M_g}{\pi \times b \times (1 - \varepsilon) \times \rho_s}}$$

Formel 1

$$r_i = \sqrt{r_T^2 - \frac{(V_g - V_F)}{\pi \times b}}$$

Formel 2

$$M_g = \pi \times b \times \rho_s \times (1 - \varepsilon) \times (r_T^2 - r_a^2) = w \times V_F$$

Formel 3

$$w = \frac{M_S}{V_{F,End}}$$

Formel 4

Die so erhaltenen Werte werden über kurze Zeitspannen gemittelt und es kann der durch das Filtrat im Kuchen und Suspensionsring aufgebaute Druck berechnet werden

$$\Delta p = \left(\frac{\omega^2}{2}\right) \times [\rho_m \times (r_a^2 - r_i^2) + \rho_F \times (r_T^2 - r_a^2)]$$

Formel 5

$$\rho_m = \frac{(1 + X) \times \rho_S \times \rho_F}{\rho_S + X \times \rho_F}$$

Formel 6

$$X = \frac{M_S}{M_F}$$

Formel 7

$$w_F = \frac{\dot{V}_F}{2 \times \pi \times r \times b}$$

Formel 8

Der Druckverlust im Kuchen beträgt:

$$d(\Delta p) = \frac{\alpha_w \times \eta_F \times \dot{V}_F}{2 \times \pi \times b} \times \frac{dr}{r}$$

Formel 9

Der Druckverlust im Filtermittel beträgt:

$$\Delta p_M = \beta \times \eta_F \times \frac{\dot{V}_F}{A}$$

Formel 10

Da sich diese Druckverluste addieren lassen und sie weiters dem durch die Fliehkraft erzeugten Überdruck entsprechen müssen, lässt sich für \dot{V}_F folgender Zusammenhang formulieren:

$$\dot{V}_F = \frac{\pi \times b \times \omega^2 \times [\rho_m \times (r_a^2 - r_i^2) + \rho_F \times (r_T^2 - r_a^2)]}{\eta_F \left[\alpha_w \times \ln\left(\frac{r_T}{r_a}\right) + \left(\frac{\beta}{r_T}\right) \right]}$$

Formel 11

Δp und \dot{V}_F lassen sich folgender Maßen in Form einer Geradengleichung in Beziehung setzen:

$$\frac{\Delta p}{\dot{V}_F} = \frac{\eta_F}{2 \times \pi \times b} \times \left[\alpha_w \times \ln \left(\frac{r_T}{r_a} \right) + \frac{\beta}{r_T} \right]$$

Formel 12

Für diese Gerade gilt:

$$d = \frac{\eta_F \times \beta}{2 \times \pi \times b \times r_T}$$

Formel 13

$$k = \frac{\eta_F \times \alpha_w}{2 \times \pi \times b}$$

Formel 14

Für die theoretische Zentrifugierzeit gilt:

$$\Delta t = \frac{\Delta \dot{V}_F}{\dot{V}_F}$$

Formel 15

Und:

$$t = \sum_i \Delta t$$

Formel 16

3. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Es wurde laut Anlagenkennblatt eine Suspension von Kieselgur in Wasser hergestellt. Dazu wurden 200g Kieselgur in 1,8 Liter Wasser aufgeschlämmt. Diese Suspension wurde für jede der fünf Messungen neu und wie oben beschrieben hergestellt. Der Zentrifugen-Filter wurde in der Zentrifugen-Trommel befestigt und der Deckel der Zentrifuge geschlossen. Die Drehzahl wurde auf rund 1300 RPM (Soll: 1000 RPM) mittels der Motorsteuerung eingestellt. Ein Klarflüssigkeitssammelgefäß wurde auf einer Waage, unter den Zentrifugen-Auslass gestellt um die Klarflüssigkeit aufzufangen und die Klarflüssigkeitsmenge zu messen. Die Waage ist mit einem Mess-Computer verbunden, wo die Messwerte der Waage alle 2 Sekunden aufgezeichnet werden.



Abbildung 1 Die Zentrifuge

Nachdem die Messung gestartet wurde und die Zentrifuge auf die entsprechende Drehzahl (*Soll* + 300 RPM) gebracht worden war, wurde die Kieselgur-Suspension schnell in die Zentrifuge eingebracht.

Die Drehzahl nahm nach Einbringung der Suspension um rund 200 RPM ab. Um die Drehzahl noch weiter auf den Sollwert zu bringen wurde die Drehzahl mit der Bremse, soweit als möglich, auf den Sollwert eingestellt. Dabei schwankte die Drehzahl um ± 50 RPM um den Sollwert.

Nachdem die Klarflüssigkeit nur mehr tropfenweise austrat, wurde der Filterkuchen durch kurzzeitige Erhöhung der Drehzahl weiter entwässert, dies erleichterte die Reinigung des Filters massiv.

Der Filter wurde anschließend gereinigt und für eine neue Messung vorbereitet.

Der oben beschriebene Vorgang wurde noch für 3 Messungen bei 2000 RPM sowie einer Messung bei 3000 RPM durchgeführt.

4. AUSWERTUNG

Mit Hilfe der Formeln 1-12 wurden folgende Werte errechnet:

Drehzahl	Messung	d	k	α_w	β
1000	1	2,02E+08	1,48E+10	8,22E+12	1,12E+10
2000	1	3,56E+08	1,42E+10	7,86E+12	1,98E+10
2000	2	3,24E+08	2,04E+10	1,13E+13	1,80E+10
2000	3	5,27E+08	1,63E+10	9,03E+12	2,93E+10
3000	1	<i>nicht berechenbar - siehe Fehlerbetrachtung</i>			
Mittelwert				9,11E+12	1,96E+10
Standardabweichung				1,55E+12	7,46E+09
Standardabweichung in % vom Mittelwert				17,04%	38,10%

Tabelle 1 Zusammenfassung der berechneten α_w und β Werte bei den verschiedenen Messungen

Die Werte α_w und β wurden aus den d und k Werten (siehe Formel 13 und 14) der linearen Bereiche aus folgenden Kurven entnommen (siehe Abbildung 2-6)

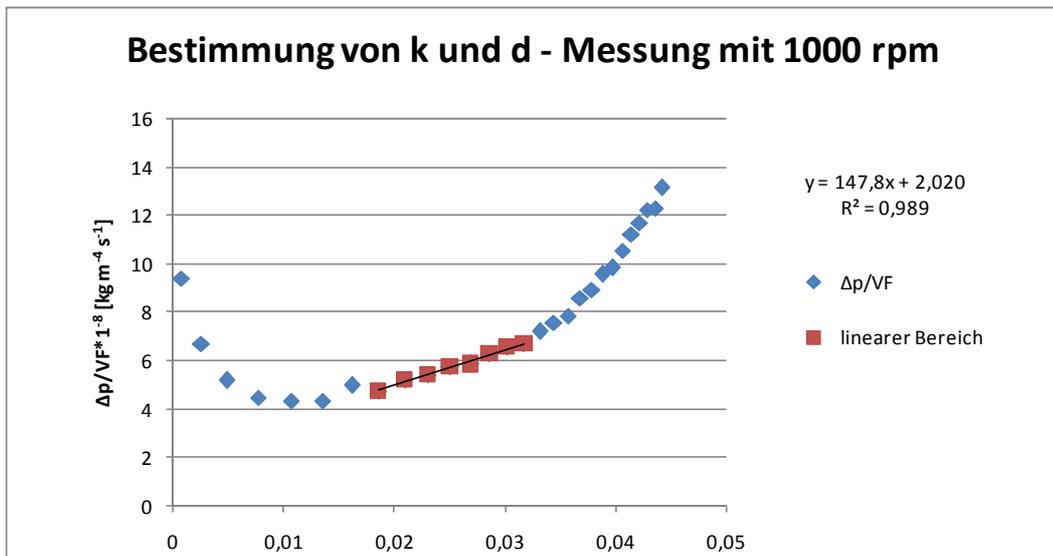


Abbildung 2 Bestimmung von k und d bei der Messung mit 1000 RPM

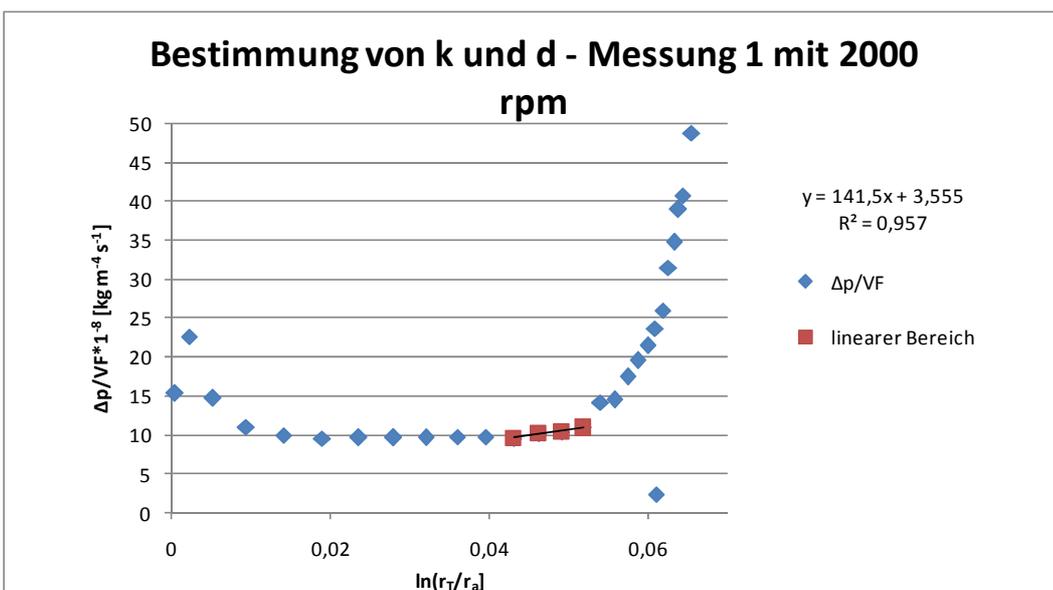


Abbildung 3 Bestimmung von k und d bei der Messung mit 2000 RPM (1. Messung)

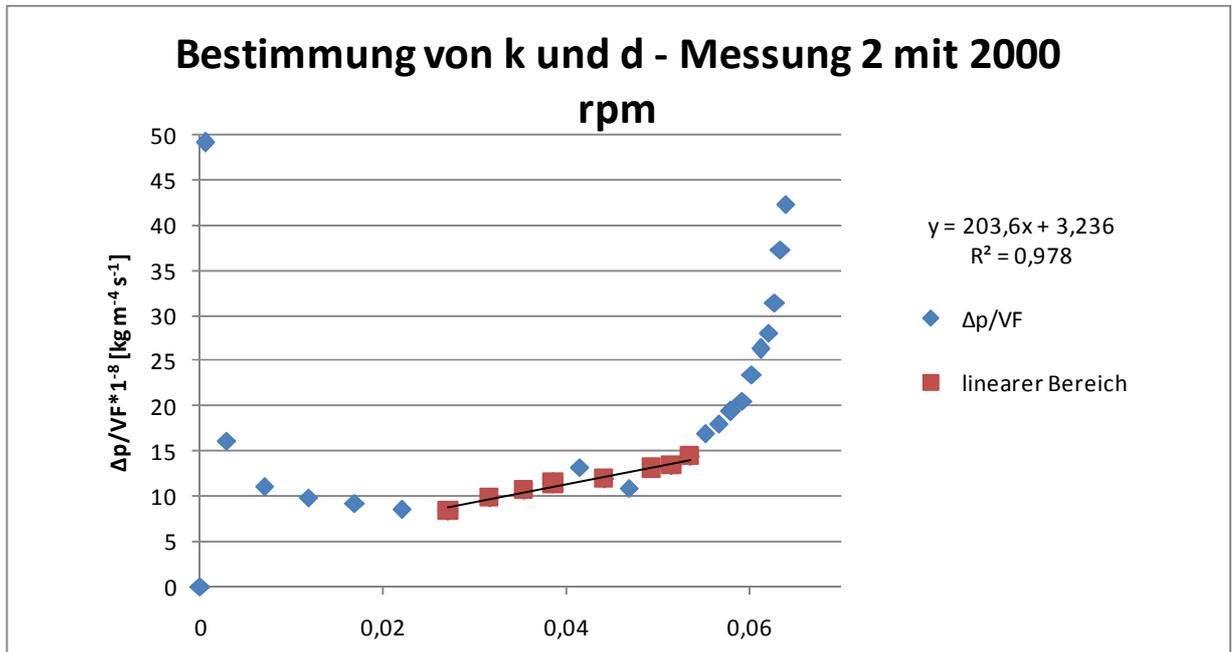


Abbildung 4 Bestimmung von k und d bei der Messung mit 2000 RPM (2. Messung)

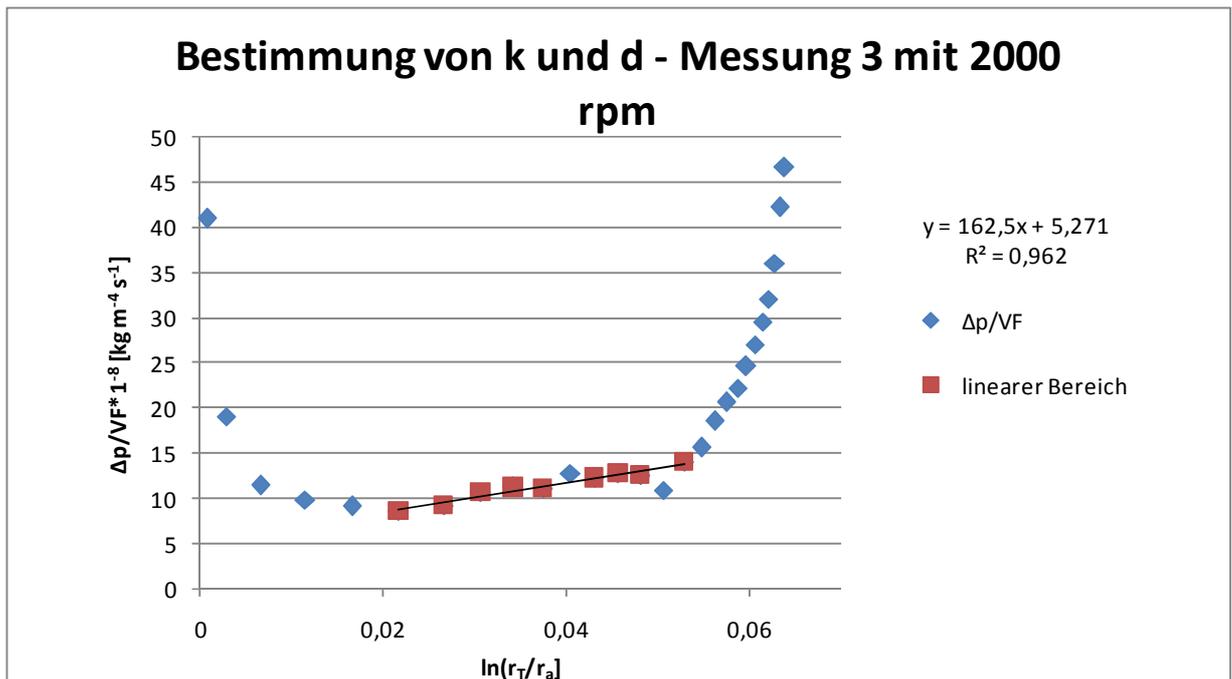


Abbildung 5 Bestimmung von k und d bei der Messung mit 2000 RPM (3. Messung)

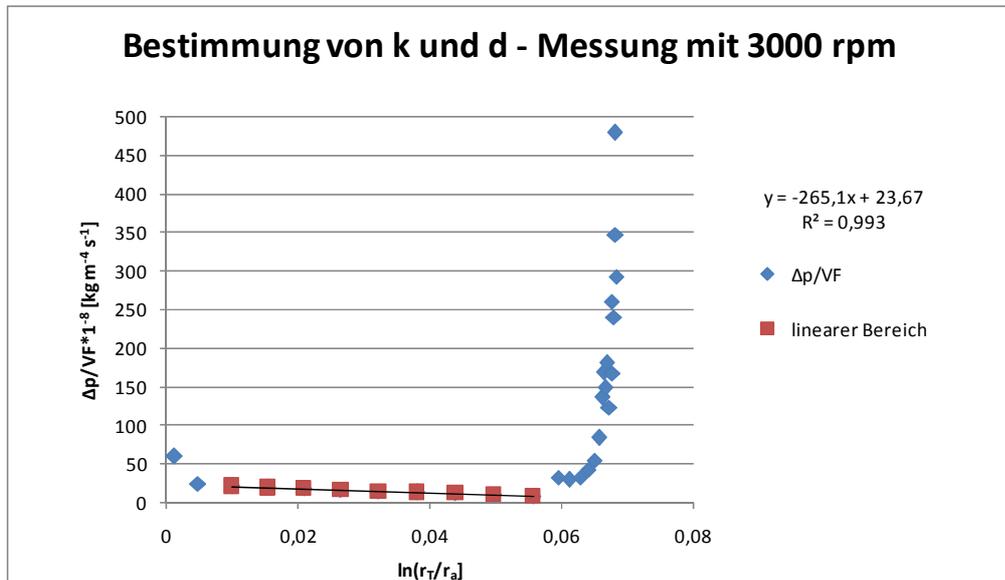


Abbildung 6 Bestimmung von k und d bei der Messung mit 3000 RPM

Mit Hilfe der errechneten Werte von α_w und β wurde die theoretische Filtrationsdauer berechnet (siehe Formel 15 u. 16) und den gemessenen Werten gegenübergestellt:

Berechnete Werte 2000 rpm		Gemessene Werte 2000 rpm			t [s]
t [s]	V [l]	Messung 1 V [l]	Messung 2 V [l]	Messung 3 V [l]	
0,0	0	0,000	0,000	0,000	0
0,4	0,1	0,020	0,000	0,029	2
0,9	0,2	0,071	0,000	0,090	4
1,5	0,3	0,147	0,025	0,185	6
2,3	0,4	0,243	0,096	0,289	8
3,2	0,5	0,343	0,194	0,394	10
4,3	0,6	0,439	0,297	0,497	12
5,6	0,7	0,529	0,401	0,587	14
7,2	0,8	0,613	0,504	0,660	16
9,1	0,9	0,692	0,602	0,726	18
11,4	1	0,765	0,680	0,789	20
14,3	1,1	0,834	0,749	0,840	22
18,0	1,2	0,899	0,809	0,892	24
22,7	1,3	0,957	0,858	0,939	26

Zentrifugieren

29,0	1,4	1,010	0,910	0,984	28
38,3	1,5	1,058	0,964	1,033	30
53,9	1,6	1,093	1,006	1,070	32
94,8	1,7	1,126	1,046	1,102	34

Tabelle 2 Gegenüberstellung der Werte der Zentrifugierzeit bei 2000 RPM

Die Werte werden graphisch in Abbildung 7 dargestellt.

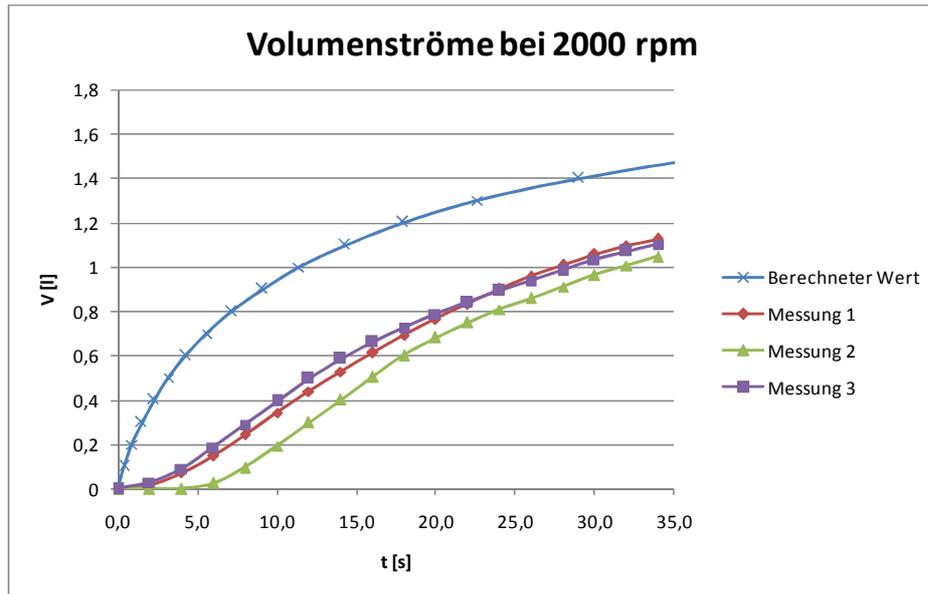


Abbildung 7 Die Volumenströme bei 2000 RPM

Berechnete Werte			Gemessene Werte		
	1000 rpm	3000 rpm	1000 rpm	3000 rpm	
V [l]	t [s]	t [s]	V [l]	V [l]	t [s]
0	0	0	0,000	0,000	0
0,1	1,4	0,2	0,032	0,001	2
0,2	3,4	0,4	0,075	0,004	4
0,3	5,9	0,7	0,130	0,048	6
0,4	8,9	1,0	0,191	0,153	8
0,5	12,5	1,4	0,251	0,263	10
0,6	16,9	1,9	0,309	0,375	12
0,7	22,2	2,5	0,359	0,487	14
0,8	28,5	3,2	0,408	0,596	16
0,9	36,2	4,0	0,453	0,713	18
1,0	45,6	5,1	0,494	0,826	20
1,1	57,1	6,4	0,532	0,937	22
1,2	71,7	8,0	0,568	1,048	24
1,3	90,5	10,1	0,600	1,164	26

Zentrifugieren

1,4	116,0	12,9	0,631	1,193	28
1,5	153,0	17,0	0,660	1,225	30
1,6	215,5	24,0	0,687	1,252	32
1,7	379,2	42,2	0,711	1,272	34

Tabelle 3 Gegenüberstellung der Werte der Zentrifugierzeit bei 1000 RPM und 3000 RPM

Die Werte werden graphisch in Abbildung 8 dargestellt.

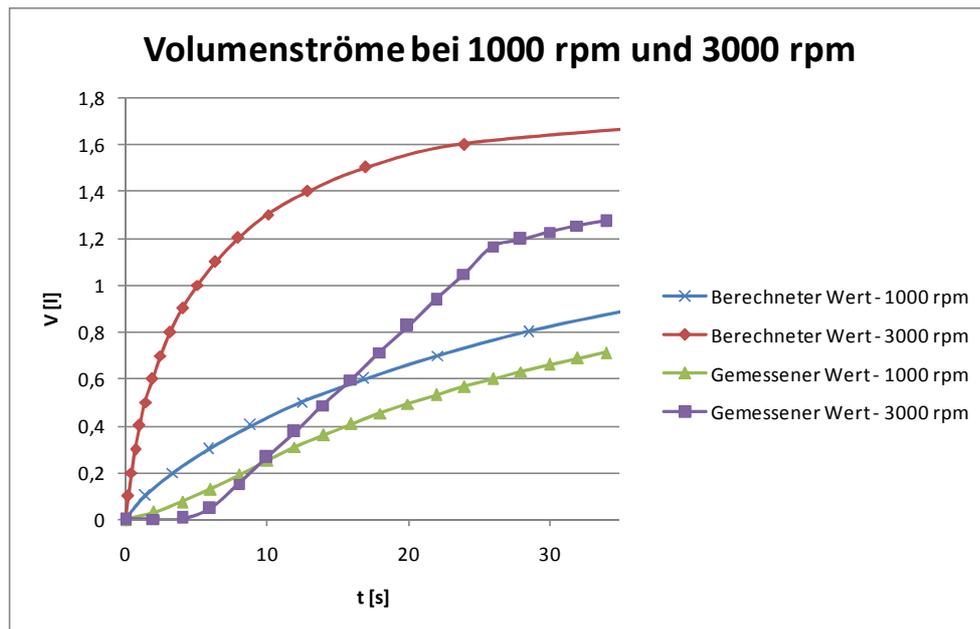


Abbildung 8 Gegenüberstellung der Volumenströme bei 1000 und 3000 RPM

5. DISKUSSION DER ERGEBNISSE & FEHLERABSCHÄTZUNG

5.1. ERGEBNISSE

Die Berechnung der Widerstandskonstanten war nur möglich in dem der zur Berechnung herangezogene Messbereich auf einen möglichst linearen Bereich eingeschränkt wurde. Dabei mussten jedoch starke Abstriche bezüglich der Anzahl der Messwerte gemacht werden.

Da die verwendeten Konstanten für die Berechnung der theoretischen Werte auf gemessenen Werten beruhen, muss die Qualität, der berechneten Volumenströme, stark angezweifelt werden.

Im Falle der Messung mit 3000 rpm konnte in der Funktion, die $\Delta p/\Delta V$ in Abhängigkeit von $\ln(r_a/r_T)$ setzt, kein sinnvoller linearer Bereich gefunden werden, da der einzige Bereich, in den eine Gerade eingepasst werden kann, zu einer Geraden mit negativer Steigung führt, was nicht möglich ist. Dies wird möglicherweise, dadurch bedingt, dass die Suspension über einen längeren Zeitraum zugegeben wird. Sie muss danach erst beschleunigt werden, und es muss sich weiter ein Suspensionsring bilden. Während dies stattfindet, wird jedoch bereits Wasser ausgetragen. Bei 3000 rpm wird das Wasser schneller abzentrifugiert, als bei den restlichen Messungen. Dies verfälscht die Werte massiv. Erst nachdem sich konstante Bedingungen eingestellt haben, kann man davon ausgehen, dass der lineare Zusammenhang, der angenommen wird, erfüllt wird. Bei allen Messungen kann beobachtet werden, dass die Funktion am Beginn einen abnehmenden Verlauf besitzt.

Weiters schwankte die Drehzahl am Anfang besonders stark, was darauf zurückzuführen ist, dass die Suspension beschleunigt werden muss, wofür Kraft benötigt wird.

Mit zunehmender Dauer der Zentrifugation, nimmt die oben besprochene Funktion immer mehr eine exponentielle Form da, was daran liegt, dass das Modell mit seinen Vereinfachungen (siehe 2.1) nicht der Realität entspricht. Dieser Bereich kann ebenfalls nicht für die Auswertung verwendet werden.

5.2. MÖGLICHE FEHLERQUELLEN BEI DER MESSUNG

- **Ungenauigkeit des Messbechers (Abmessung auf 100ml genau möglich)**
Daher konnte das Flüssigkeitsvolumen zwischen den einzelnen Messungen massiv schwanken.
- **Ungenauigkeit der Waage ($\pm 0,2g$)**
Die Mess-Ungenauigkeit kann auf Grund der anderen Fehlerquellen vernachlässigt werden.
- **Bewegungsartefakte bei der Wägung**
Da die Waage nicht erschütterungsfrei gelagert wurde und teilweise bei Messungen berührt wurde, sind deutliche Fehler bei den Messwerten aufgetreten.

- **Drehzahl konnte nicht exakt eingestellt werden → Drehzahländerung während der Messung**

Da die Drehzahl nur über eine sehr grobe mechanische Steuerung sowie eine Bremse geregelt werden konnte, war die Einstellung der Soll-Drehzahl sehr schwierig. Besonders am Beginn der Messungen schwankte die Drehzahl stark. Danach, konnten die Drehzahlvorgaben in etwa (± 50 rpm) eingehalten werden

- **Trübe konnte nicht vollständig in Zentrifuge überführt werden**

Geringe, nicht zu spezifizierende Mengen der Trübe blieben sowohl im Trichter als auch im Messbecher, in dem die Suspension angerührt wurde, zurück. Diese Fehler wirken sich sowohl auf die Gesamtkuchenmasse M_g als auch die Klarflüssigkeitsmenge $V_{F, End}$ aus. Da jedoch die zurückbleibende Menge vergleichsweise gering zur Gesamtmasse bzw. zum Gesamtvolumen ist, wird dieser Fehler das Gesamtergebnis nur vernachlässigbar beeinflussen.

5.3. SONSTIGE MÖGLICHE FEHLERQUELLEN

Generell kann man jedoch davon ausgehen, dass Fehler und Ungenauigkeiten, die durch die Messung entstanden sind, in Anbetracht des Modells und die Fehler, die daraus entstehen, bzw. dadurch, dass die Modellbedingungen nicht eingehalten werden können (Trübe muss erst beschleunigt werden), vernachlässigt werden können.

Tendenziell stimmen die berechneten Werte für die Widerstände jedoch überein, wenn auch mit großer Standardabweichung

6. ANHANG

6.1. VERZEICHNIS DER VERWENDETEN FORMELZEICHEN UND SYMBOLE INKL.

DIMENSION

M_S ... Masse des dispersen Anteils in der Suspension [kg]

M_F ... Masse des reinen Fluids der Suspension [kg]

Δp ... Druckverlust über die Filterschicht [$\text{kg m}^{-1}\text{s}^{-2}$]

ω ... Winkelgeschwindigkeit [s^{-1}]

r_a ... Kuchenschichtinnenradius [m]

r_i ... Suspensionsringinnenradius [m]

r_T ... Trommelinnenradius [m]

ρ_m ... mittlere Dichte des Suspensionsringes [kg m^{-3}]

ρ_S ... Dichte des festen, dispersen Anteils [kg m^{-3}]

ρ_F ... Dichte des reinen Fluids [kg m^{-3}]

X ... Massenbelastung []

r ... Abstand von der Zentrifugendrehachse [m]

b ... Höhe der Zentrifugentrommel [m]

w_F ... Fluidgeschwindigkeit [m s^{-1}]

\dot{V}_F ... Klarflüssigkeitsvolumenstrom [m^3s^{-1}]

α_w ... Filtrationswiderstand [m^{-2}]

η_F ... dynamische Viskosität des Filtrats [$\text{kg m}^{-1}\text{s}^{-1}$]

Δp_M ... Druckverlust im Filtermittel [$\text{kg m}^{-1}\text{s}^{-2}$]

w ... Feststoffgehalt [kg m^{-3}]

V_F ... Klarflüssigkeitsvolumen [m^3]

ε ... Kuchenporosität []

$V_{F,End}$... Am Ende des Zentrifugierens tatsächlich erreichtes Klarflüssigkeitsvolumen [m^3]

V_g ... Gesamtvolumen der in die Zentrifuge eingebrachten Suspension [m^3]

β ... Filtermittelwiderstand [m^{-1}]

6.2.FORMELVERZEICHNIS

Formel 1.....	2
Formel 2.....	2
Formel 3.....	2
Formel 4.....	3
Formel 5.....	3
Formel 6.....	3
Formel 7.....	3
Formel 8.....	3
Formel 9.....	3
Formel 10.....	3
Formel 11.....	3
Formel 12.....	4
Formel 13.....	4
Formel 14.....	4
Formel 15.....	4
Formel 16.....	4

6.3. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1 Die Zentrifuge	5
Abbildung 2 Bestimmung von k und d bei der Messung mit 1000 RPM	7
Abbildung 3 Bestimmung von k und d bei der Messung mit 2000 RPM (1. Messung).....	7
Abbildung 4 Bestimmung von k und d bei der Messung mit 2000 RPM (2. Messung)	8
Abbildung 5 Bestimmung von k und d bei der Messung mit 2000 RPM (3. Messung)	8
Abbildung 6 Bestimmung von k und d bei der Messung mit 3000 RPM	9
Abbildung 7 Die Volumenströme bei 2000 RPM.....	10
Abbildung 8 Gegenüberstellung der Volumenströme bei 1000 und 3000 RPM.....	11

6.4. TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1 Zusammenfassung der berechneten α_w und β Werte bei den verschiedenen Messungen ...	6
Tabelle 2 Gegenüberstellung der Werte der Zentrifugierzeit bei 2000 RPM	10
Tabelle 3 Gegenüberstellung der Werte der Zentrifugierzeit bei 1000 RPM und 3000 RPM.....	11

7. REFERENZEN

1. Höflinger Wilhelm: Mechanische Verfahrenstechnik I, Manuskript zur gleichnamigen Vorlesung LVA-Nr: 159.478 (Hochschülerschaft der TU Wien)
2. Höflinger et al.: Skriptum zu Verfahrenstechnik Laborübungen für Chemiker LVA-Nr: 166.209 ; Version 8.0; WS 09