

Protokoll zur Laborübung Verfahrenstechnik

Übung: Filtration

Betreuer: Dr. Gerd Mauschitz

Durchgeführt von:

Marion Pucher	Mtk.Nr.:0125440	Kennzahl: S26
Matthias Steiger	Mtk.Nr.:0125435	Kennzahl: S29

Datum der Übung: 22.06.2004

Verzeichnisse

Inhaltsverzeichnis

1	<u>EINLEITUNG</u>	3
2	<u>VERSUCHSDURCHFÜHRUNG</u>	3
3	<u>VERSUCHSAUFBAU / FLIEßBILD</u>	4
4	<u>AUSWERTUNG</u>	5
4.1	DIAGRAMM: DRUCKVERLUST ÜBER DIE ZEIT	5
4.2	RECHENGANG	6
4.2.1	BERECHNUNG VON A UND B	6
4.2.2	BERECHNUNG VON T_s UND V_s	7
4.2.3	BERECHNUNG VON T_F	8
4.3	ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE	9
5	<u>DISKUSSION</u>	10
5.1	INTERPRETATION	10
5.2	FEHLERANALYSE	10
6	<u>ANHANG</u>	11

Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Fließbild der Apparatur	4
Abbildung 2: Zeitlicher Versuchsablauf	5
Tabelle 1: Ergebnisse	9

1 Einleitung

Anhand der mit einer Filterpresse bei der Filtration einer Suspension von Kieselgur Filter Cel E in Wasser erhaltenen Messwerte bei einerseits konstant gehaltenem Filtratvolumenstrom beziehungsweise andererseits konstantem Druckabfall sollen die charakteristischen Kennwerte – der spezifische Kuchenwiderstand α und der Filtermittelwiderstand β - ermittelt werden.

Außerdem waren die Gleichungen zur Berechnung der Gesamtfiltrationszeit t_f beziehungsweise der Zeit t_s bis zum Erreichen des maximalen Druckabfalles Δp_{\max} aus der Carman'schen Gleichung herzuleiten.

2 Versuchsdurchführung

Die Filtration wurde mit einer Filterpresse durchgeführt. In den Behälter wurden rund 450 L Wasser gefüllt und 1,445 kg Kieselgur Filter Cel E eingebracht.

Das Filtertuch, das mit Wasser befeuchtet worden war, die Sperrmatten und die Platten wurden in die Filterpresse eingesetzt und die Presse mit der Schraubspindel fest zugedreht. Nach dem Entlüften der Presse, des Filterpressenmanometers und der kapazitiven Druckmessdose wurde die Druckmessdose in Betrieb genommen.

Die Datenerfassung erfolgte automatisch mittels PC, der mit den Messstellen verbunden war. Im Anschluss wurde die Kolbenmembranpumpe eingeschaltet, deren Motordrehzahl kontinuierlich durch Drehen einer Potentiometerschraube geregelt werden konnte um den geforderten Filterdurchsatz von 400 L/h einzustellen.

Während der ersten Filtrationsphase wurde der Filtratstrom durch Regulierung mittels Potentiometerschraube der Volumenstrom solange konstant gehalten bis der maximale Filtrationsdruck von 2,5 bar erreicht wurde.

Im Anschluss wurde in der zweiten Filtrationsphase der Filtrationsdruck durch Regulierung mit der Potentiometerschraube konstant gehalten, wobei der Filtratvolumenstrom absank.

Als nur mehr rund 10 L Suspension im Behälter vorhanden war, wurde die Kolbenmembranpumpe abgeschaltet und die Messung beendet.

Die Filterpresse wurde entleert und nach dem Öffnen wurde der Filterkuchen entnommen. Alle Komponenten der Presse und der Vorratsbehälter wurden sorgfältig mit Wasser gereinigt. Nach dem Waschen wurden die Platten und Rahmen wieder in die Presse eingesetzt.

3 Versuchsaufbau / Fließbild

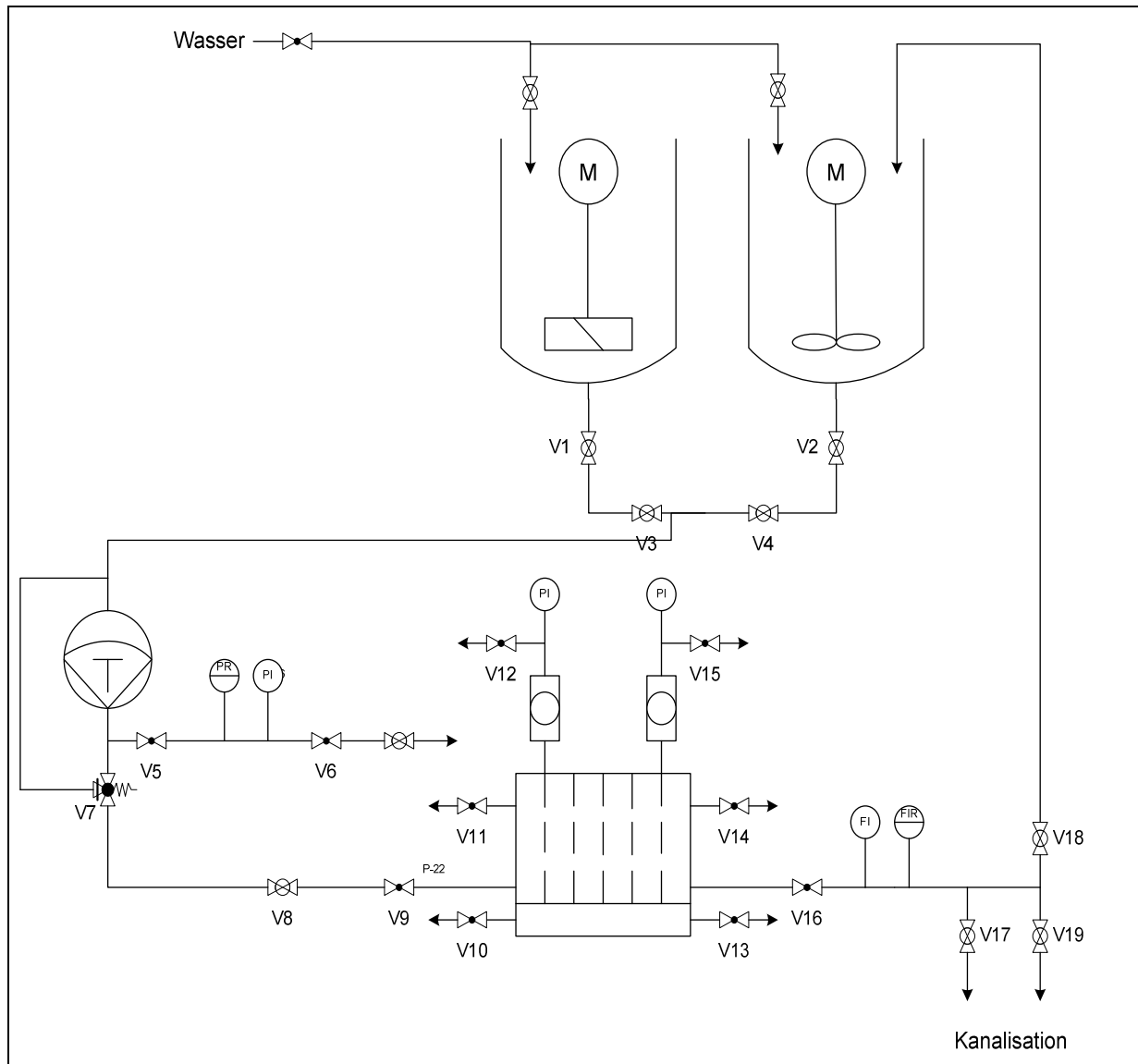


Abbildung 1: Fließbild der Apparatur

Zu beachten ist, dass die Verbindung zum Behälter mit Propellerrührer tatsächlich nicht vorhanden war, der Vollständigkeit halber jedoch eingezeichnet werden soll.

4 Auswertung

4.1 Diagramm: Druckverlust über die Zeit

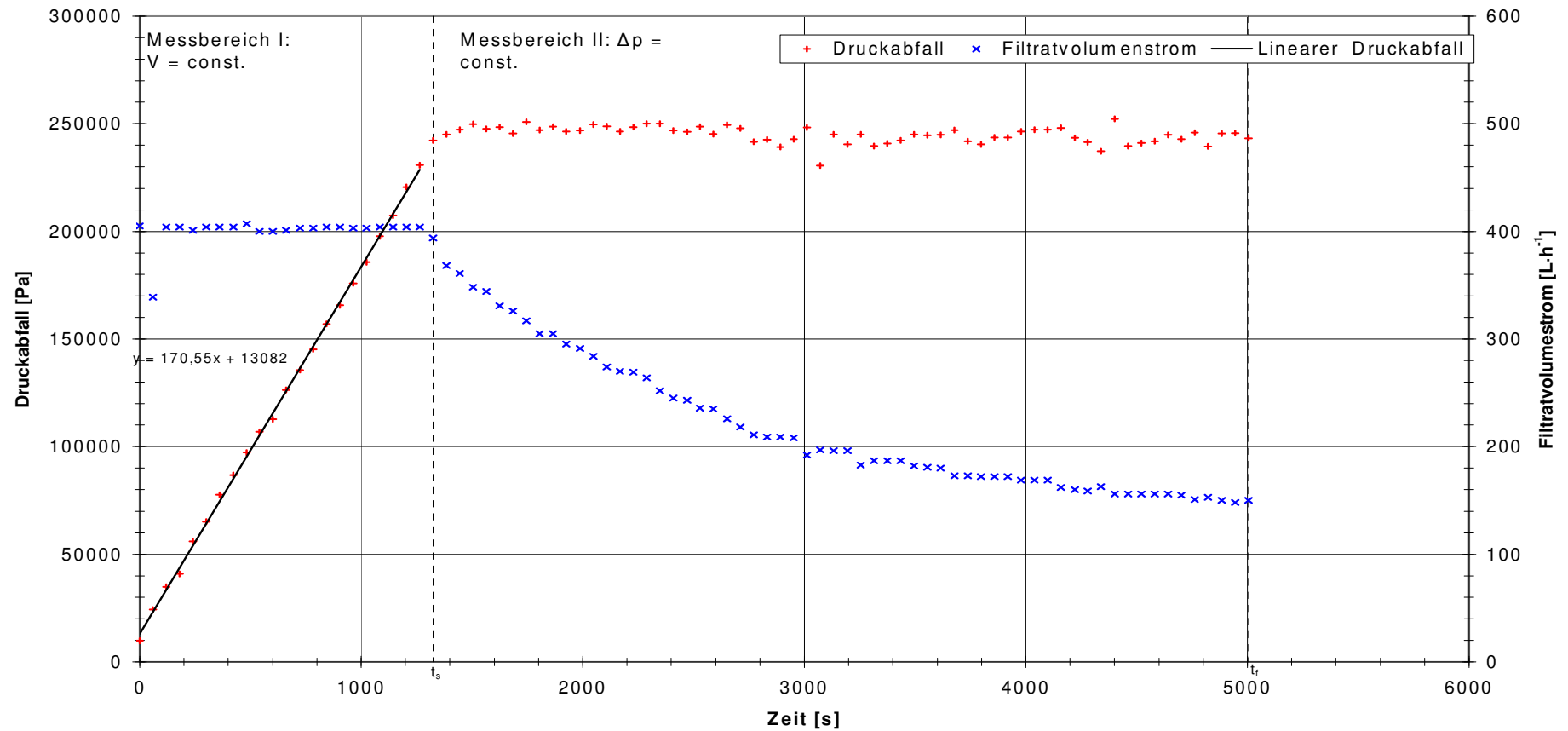


Abbildung 2: Zeitlicher Versuchsablauf

4.2 Rechengang

4.2.1 Berechnung von α und β

Zur Berechnung des mittleren, spezifischen Kuchenwiderstands α und des Filtermittelwiderstands β wurde die Carmansche Gleichung verwendet:

$$\dot{V} = \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta p(t) \cdot A}{\alpha \cdot \mu \cdot w \cdot \left(\frac{V(t)}{A} \right) + \mu \cdot \beta}$$

Um diese Werte berechnen zu können, wurde als Nebenbedingung der Volumensstrom des Filtrats konstant gehalten. Somit gilt:

$$\dot{V} = \frac{dV}{dt} = \text{const. und somit } V = \dot{V} \cdot t$$

Eingesetzt in die Carman'sche Filtergleichung erhält man:

$$\dot{V} = \frac{\Delta p(t) \cdot A}{\alpha \cdot \mu \cdot w \cdot \left(\frac{\dot{V} \cdot t}{A} \right) + \mu \cdot \beta}$$

durch Umstellen ergibt sich die lineare Beziehung

$$\Delta p(t) = \frac{\dot{V}^2 \cdot \alpha \cdot \mu \cdot w}{A^2} t + \frac{\mu \cdot \beta \cdot \dot{V}}{A}$$

abgekürzt geschrieben:

$$\Delta p(t) = k \cdot t + d$$

Somit können aus der ermittelten Geradengleichung die Konstanten k und d und somit auch α und β berechnet werden. Es gilt:

$$k = \frac{\dot{V}^2 \cdot \alpha \cdot \mu \cdot w}{A^2} \rightarrow \alpha = \frac{k \cdot A^2}{\dot{V}^2 \cdot \mu \cdot w}$$

$$d = \frac{\mu \cdot \beta \cdot \dot{V}}{A} \rightarrow \beta = \frac{A \cdot d}{\mu \cdot \dot{V}}$$

Im Messbereich I ($\dot{V} = \text{const.}$) wurde nun beschriebene lineare Beziehung vorgefunden und durch legen einer Regressionsgerade die Konstanten k und d ermittelt. (Siehe Diagramm)

$$k = 170,55 \text{ [Pa} \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$d = 13,082 \text{ [Pa]}$$

Aufgrund von leichten Abweichungen des Filtratvolumenstroms von den vorgegebenen 400 L/h wurde, zwecks genaueren Ergebnisses, auch noch der mittlere Filtratvolumenstrom berechnet:

$$\dot{V} = 400,4 \text{ [L}\cdot\text{h}^{-1}] = 1,11 \cdot 10^{-4} \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$$

Der Feststoffgehalt der Suspension w wurde ebenfalls benötigt und wie folgt berechnet:

$$w = \frac{1,445 \text{ [kg]}}{450 \text{ [L]}} = 0,00321 \text{ [kg}\cdot\text{L}^{-1}] = 3,21 \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}]$$

450 L bezeichnen dabei das anfänglich eingelassene Flüssigkeitsvolumen, sowie 1,445 kg die eingesetzte Feststoffmenge der Suspension sind. Die dynamische Viskosität der Suspension war gegeben mit $\mu = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ [Pa}\cdot\text{s}]$ und somit waren alle Parameter für die Berechnung von α und β bekannt.

$$\alpha = 8,45 \cdot 10^{10} \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-1}]$$

$$\beta = 1,45 \cdot 10^{10} \text{ [m}^{-1}]$$

Um die Dimensionen zu veranschaulichen wurde eine Dimensionsbetrachtung durchgeführt:

$$\alpha = \left[\frac{\text{m}}{\text{kg}} \right] = \frac{\left[\frac{\text{Pa}}{\text{s}} \right] \cdot \left[\text{m}^2 \right]^2}{\left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]^2 \cdot \left[\text{Pa}\cdot\text{s} \right] \cdot \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]} \quad \text{und} \quad \beta = \left[\frac{1}{\text{m}} \right] = \frac{\left[\text{m}^2 \right] \cdot \left[\text{Pa} \right]}{\left[\text{Pa}\cdot\text{s} \right] \cdot \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]}$$

4.2.2 Berechnung von t_s und V_s

Aus der linearisierten Carman'schen Gleichung lässt sich durch umformen leicht die Filtrationszeit t_s bis zum Erreichen des maximalen Druckabfalls Δp_{\max} ermitteln.

Mit der Vorgabe, dass $\Delta p(t_s) = \Delta p_{\max}$ ergibt sich

$$t_s = \frac{\Delta p_{\max} \cdot A^2}{\dot{V}^2 \cdot \alpha \cdot \mu \cdot w} - \frac{\beta \cdot A}{\dot{V} \cdot \alpha \cdot w}$$

Somit konnte mit dem maximalen Druckabfall $\Delta p_{\max} = 244950 \text{ [Pa]}$, welcher durch Mittelung aller Messwerte während der Phase des konstanten Druckabfalls berechnet wurde, und den anderen bekannten Parametern t_s berechnet werden.

$$t_s = 1360 \text{ [s]}$$

Aus der Dimensionsanalyse folgt:

$$t_s = [s] = \frac{[\text{Pa}] \cdot [\text{m}^2]^2}{\left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right]^2 \cdot \left[\frac{\text{m}}{\text{kg}}\right] \cdot [\text{Pa} \cdot \text{s}] \cdot \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]} - \frac{\left[\frac{1}{\text{m}}\right] \cdot [\text{m}^2]}{\left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right] \cdot \left[\frac{\text{m}}{\text{kg}}\right] \cdot \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]}$$

Mit dem so ermittelte t_s lässt sich über folgende Beziehung leicht V_s berechnen:

$$V_s = V(t_s) = \dot{V} \cdot t_s \quad \left(= \frac{\Delta p_{\max} \cdot A^2}{\dot{V} \cdot \alpha \cdot \mu \cdot w} - \frac{\beta \cdot A}{\alpha \cdot w} \right)$$

$$V_s = 0,151 \text{ [m}^3\text{]}$$

4.2.3 Berechnung von t_f

Um t_f zu erhalten, muss man ausgehend von der Carmanschen Gleichung das Volumen für konstanten Druckabfall von Δp_{\max} von t_s bis t_f integrieren.

Aus der Carmanschen Gleichung erhält man mit konstantem Druckabfall Δp_{\max} :

$$\dot{V} = \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta p_{\max} \cdot A^2}{\alpha \cdot \mu \cdot w \cdot V + \mu \cdot \beta \cdot A}$$

Durch Trennen der Variablen und Umformung erhält man folgende Gleichung

$$dt = \left(\frac{\alpha \cdot \mu \cdot w}{\Delta p_{\max} \cdot A^2} \cdot V + \frac{\beta \cdot \mu}{\Delta p_{\max} \cdot A} \right) dV$$

welche noch von t_s bis t_f integriert werden muss

$$\int_{t_s}^{t_f} dt = \int_{V_s}^{V_f} \left(\frac{\alpha \cdot \mu \cdot w}{\Delta p_{\max} \cdot A^2} \cdot V + \frac{\beta \cdot \mu}{\Delta p_{\max} \cdot A} \right) dV$$

$$t \Big|_{t_s}^{t_f} = \left(\frac{\alpha \cdot \mu \cdot w}{\Delta p_{\max} \cdot A^2} \cdot \frac{V^2}{2} + \frac{\beta \cdot \mu}{\Delta p_{\max} \cdot A} \cdot V \right) \Big|_{V_s}^{V_f}$$

Somit erhält man

$$t_f - t_s = \frac{\alpha \cdot \mu \cdot w}{2 \cdot \Delta p_{\max} \cdot A^2} \cdot (V_f^2 - V_s^2) + \frac{\beta \cdot \mu}{\Delta p_{\max} \cdot A} \cdot (V_f - V_s)$$

woraus man durch Umformung die endgültige Gleichung der Form

$$t_f = t_s + \frac{\alpha \cdot \mu \cdot w}{2 \cdot \Delta p_{\max} \cdot A^2} \cdot (V_f^2 - V_s^2) + \frac{\beta \cdot \mu}{\Delta p_{\max} \cdot A} \cdot (V_f - V_s)$$

erhält.

Bei der oben durchgeführten Integration ist davon ausgegangen worden, dass alle Parameter bis auf das Volumen konstant sind (zeitlich unabhängig sind). Beim Versuch war Δp_{\max} zwar nicht konstant, aber es gab nur zufällige Schwankungen und keine wirkliche Zeitabhängigkeit. Inwiefern α und β konstant sind, kann nicht quantifiziert werden, jedoch kann davon ausgegangen werden, dass sie über den Versuchszeitraum annähernd konstant bleiben. w , μ , t_s , V_f und V_s können als Konstante betrachtet werden.

Mit den vorher ermittelten Werten für die einzelnen Parameter konnte nun t_f berechnet werden, wobei für das gesamte Filtrationsvolumen $V_f = 450 \text{ [L]} = 0,450 \text{ [m}^3\text{]}$ angenommen wurde.

$$t_f = 6558 \text{ [s]}$$

Die Dimensionsanalyse ergibt:

$$t_f = [\text{s}] = [\text{s}] + \frac{\left[\frac{\text{m}}{\text{kg}}\right] \cdot [\text{Pa} \cdot \text{s}] \cdot \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]}{[\text{Pa}] \cdot [\text{m}^2]^2} \cdot \left([\text{m}^3]^2 - [\text{m}^3]^2\right) + \frac{\left[\frac{1}{\text{m}}\right] \cdot [\text{Pa} \cdot \text{s}]}{[\text{Pa}] \cdot [\text{m}^2]} \cdot \left([\text{m}^3] - [\text{m}^3]\right)$$

4.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Tabelle 1: Ergebnisse

	$\alpha \text{ [m} \cdot \text{kg}^{-1}\text{]}$	$8,45 \cdot 10^{10}$
	$\beta \text{ [m}^{-1}\text{]}$	$1,45 \cdot 10^{10}$
$t_s \text{ [s]}$	Gemessen	1324
	berechnet	1360
$t_f \text{ [s]}$	gemessen	5004
	berechnet	6558

5 Diskussion

5.1 Interpretation

Die Modellannahme, dass bei konstantem Volumenstrom ein linearer Zusammenhang zwischen Druckabfall und Zeit besteht, konnte in diesem Versuch veranschaulicht werden und daher auch die Werte α und β bestimmt werden.

Die erhaltenen Werte für α und β machen durchaus Sinn, da sich aus diesen Werten abgeleitete Größen, wie die berechneten Werte für t_s und t_f , im Bereich der gemessenen Werte liegen. Auf den ersten Blick scheint zwar der Wert für t_f entscheidend abzuweichen, jedoch muss die zurückgehaltene Filtratmenge berücksichtigt werden, die sich noch teils im Vorratsbehälter und teils in den Leitungen vor dem Filter befand. (siehe auch Fehlerbetrachtung)

5.2 Fehleranalyse

Wie bereits früher erwähnt, kam es bei der Regelung des Filtratvolumenstroms zu Schwankungen, insbesondere bei der zweiten Versuchsphase (konstanter Druckabfall). Da aber über alle erhaltenen Druckabfallswerte gemittelt wurde, dürften sich die Schwankungen nur in einem nicht allzu großen zufälligen Fehler ausdrücken. Die Schwankungsbreite um den Mittelwert beträgt rund 5%.

In der Phase des konstanten Volumenstroms kam es zu wesentlich geringeren Schwankungen, was sich in einem hohen Bestimmtheitsmaß der Regression ($R = 0,9992$) und einer geringen Schwankungsbreite der Messwerte um den mittleren Filtratvolumenstrom ($\sim 1,5\%$) ausdrückt.

Fehler durch Parameter, welche als konstant angenommen wurden, es aber nicht waren, können nicht abgeschätzt werden. Daher wird davon ausgegangen, dass α und β tatsächlich konstant blieben. Das heißt, Veränderungen z.B. der Porosität des Kuchens mit fortlaufender Filtrationszeit oder eine zunehmende Verstopfung des Filtermittels werden ausgeschlossen. Solche Veränderungen sollten auch in einer Abweichung vom linearen Zusammenhang von Δp und t erkennbar sein.

Der Fehler, welcher durch ein Zurückhalten von Suspension im Vorratsbehälter entstand, damit die Apparatur nicht trockenläuft und Schaden nimmt, wirkt sich primär auf die Berechnung von t_f aus, da diese Größe direkt in diese Formel eingeht. Würde man daher annehmen, dass 60L der Suspension zurückgehalten wurden. ($\rightarrow V = 390L$) würde sich der Wert auf 5111 [s] ändern und somit sich dem tatsächlichen Ende annähern.

6 Anhang

Symbolverzeichnis

α	mittlerer, spezifischer Kuchenwiderstand	$[\text{m kg}^{-1}]$
β	Filtermittelwiderstand	$[\text{m}^{-1}]$
w	Feststoffgehalt der Suspension	$[\text{kg}\cdot\text{m}^3]$
μ	dynamische Viskosität d. Suspension	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}]$
A	Filterfläche	$[\text{m}^2]$
Δp	Druckabfall	$[\text{Pa}]$
Δp_{max}	maximaler Druckabfall	$[\text{Pa}]$
t	Filtrationszeit	$[\text{s}]$
t_s	Filtrationszeit bis zum Erreichen des max. Druckabfalls	$[\text{s}]$
t_f	gesamte Filtrationszeit	$[\text{s}]$
V_f	Gesamtfiltrationsvolumen	$[\text{m}^3]$
V_s	Filtratvolumen bis zum Erreichen des max. Druckabfalls	$[\text{m}^3]$
V	Filtratvolumen	$[\text{m}^3]$
\dot{V}	Filtratvolumenstrom	$[\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$
d	Ordinatenabschnitt im $(\Delta p, t)$ -Diagramm	$[\text{Pa}]$
k	Geradenanstieg im $(\Delta p, t)$ -Diagramm	$[\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}]$