

# Filtration mit kompressiblen Filterkuchen – Modellierung und experimentelle Untersuchung

## Teil 4: Auswertung und Ergebnisse von Filtrationsversuchen

J. Barth\*

Bei der statischen Oberflächenfiltration verhalten sich viele praxisrelevante Stoffsysteme kompressibel, insbesondere sehr feine, geflockte und deformierbare Partikel sorgen für ein kompressibles Verhalten. Für die Auslegung sind deshalb geeignete Modelle zur Beschreibung des Durchströmungsverhaltens und des Filtrationsvorgangs auch bei kompressiblem Verhalten erforderlich. Die Bestimmung der Modellparameter erfolgt in Kompressibilitäts-Permeabilitäts-Versuchen (C/P-Versuchen) oder Filtrationsversuchen.

In den ersten drei Teilen des Beitrags wurden die Beschreibung des Durchströmungsverhaltens in C/P- und Filtrationsversuchen, der Aufbau einer verbesserten C/P-Zelle zur experimentellen Untersuchung sowie Auswertung und Ergebnisse der Versuche zum Verformungs- und Durchströmungsverhalten in dieser C/P-Zelle behandelt. Im folgenden letzten Teil werden Auswertung und Ergebnisse von Filtrationsversuchen mit kompressiblen Materialien in einer Filternutsche beschrieben.

### 1. Einleitung

Filtrationsverfahren sind neben Sedimentationsverfahren die wichtigsten zur Fest-Flüssig-Trennung. Der Feststoff wird unter der Wirkung einer treibenden Druckdifferenz durch ein poröses Filtermedium aus der Flüssigkeit abgetrennt. Bei der statischen Oberflächenfiltration sind die Partikel in der Suspension größer als die Poren des Filtermediums und lagern sich an der Oberfläche des Filtermediums ab. Die abgetrennte Flüssigkeit strömt vollständig durch das Filtermedium.

Viele praxisrelevante Stoffsysteme verhalten sich bei der statischen Oberflächenfiltration kompressibel, das heißt, ihre Filtrationseigenschaften ändern sich mit dem Filtrationsdruck. Mögliche Ursachen und Mechanismen für kompressibles Verhalten sowie geeignete Modelle zu seiner Beschreibung sind im ersten Teil dieses Beitrags [1] behandelt worden. Für die Beschreibung des Verformungsverhaltens sowie des Durchströmungsverhaltens bei inkompressiblem und bei kompressiblem Verhalten sind explizite Näherungsgleichungen dargestellt worden.

Die Bestimmung der materialabhängigen Modellparameter erfolgt in Kompressibilitäts-Permeabilitäts-Versuchen (C/P-Versuchen) oder Filtrationsversuchen. Während bei C/P-Versuchen möglichst homogene und stationäre Bedin-

gungen im Filterkuchen vorliegen, treten bei Filtrationsversuchen lokale und zeitliche Änderungen der Filtrationsbedingungen auf.

C/P-Versuche in einer verbesserten C/P-Zelle sind im dritten Teil dieses Beitrags [2] behandelt worden. Zusätzlich wurden im Rahmen des AiF-Projekts „Berechnung der Kuchenfiltration in Fließschema-simulationen mit numerischen Verfahren“ (IGF-Nr. 17994 N) am Lehrstuhl für Mechanische Verfahrenstechnik der TU Kaiserslautern Filtrationsversuche in einer Filternutsche durchgeführt. Es wurden dieselben Partikelsysteme wie in den C/P-Versuchen verwendet. Die Partikelsysteme wurden so ausgewählt, dass möglichst unterschiedliche Ursachen und Mechanismen für das kompressible Verhalten vorliegen.

Im Folgenden werden die Versuchsdurchführung und -auswertung sowie die Ergebnisse der Filtrationsversuche bei unterschiedlichen Filtrationsdrücken dargestellt. Die Versuchsergebnisse werden durch die Näherungsgleichungen beschrieben und so die Modellparameter zur Beschreibung des Filtrationsvorgangs bestimmt. Die so bestimmten Modellparameter werden mit den Ergebnissen der C/P-Versuche im dritten Teil dieses Beitrags [2] sowie mit bekannten Ergebnissen und Näherungsgleichungen zur Abschätzung aus der Literatur verglichen.

### 2. Versuchsaufbau

Als Testfilter für die statischen Oberflächenfiltrationsversuche wird eine in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2762

Blatt 2 [3] selbst konstruierte und gefertigte Filternutsche verwendet. Sie besteht aus einem Vorlagebehälter mit einem Volumen von  $V_B = 500$  mL und einer Aufnahme für das Filtermedium mit Filtratsammler und -ablauf. Die Aufnahme für das Filtermedium hat zur Abstützung des als Filtermedium verwendeten Gewebes eine Platte aus porösem Sintermetall. Die Filterfläche ist  $A = 25,3$  cm<sup>2</sup>.

Die zu filtrierende Suspension kann durch einen Stutzen mit Schnellverschluss in den Vorlagebehälter gefüllt werden. Zur Aufprägung des Filtrationsdrucks wird der Vorlagebehälter mit Druckluft aus dem Druckluftnetz beaufschlagt. Der Druck wird mit einem Druckminderer eingestellt und mit einem mechanischen Manometer gemessen.

Die Versuche werden bei Raumtemperatur  $\theta = 22$  °C durchgeführt. Die Proben vor dem Versuch und der Testfilter selbst werden nicht thermostatisiert. Die Temperatur der Probe wird deshalb unmittelbar vor jedem Versuch mit einem elektronischen Thermometer *Voltcraft K101* der *Conrad Electronic AG* überprüft.

Das durchgesetzte Filtrat wird gravimetrisch mit einer elektronischen Waage *KB 10000-1N* der *Kern & Sohn GmbH* gemessen. Der Verlauf der Filtratmasse über der Zeit wird mit der Datenerfassungssoftware *Labview* der Firma *National Instruments* aufgezeichnet. Das verwendete Messintervall ist  $\Delta t = 0,2$  s in den Versuchen mit den Zellulosematerialien und wegen der wesentlich geringeren Filtrationsgeschwindigkeit  $\Delta t = 2$  s in den Versuchen mit Kaolin.

\* Dr.-Ing. Jakob Barth  
Backnang  
Jakob.Barth@outlook.com



### 3. Versuchsdurchführung

#### 3.1 Leerwiderstand des Filtermediums

Vor der Durchführung der Filtrationsversuche mit kompressiblen Filterkuchen muss der Leerwiderstand des Filtermediums in Durchströmungsversuchen mit reiner Flüssigkeit experimentell bestimmt werden. Dafür wird das als Filtermedium verwendete hydrophobe Gewebe in die Filternutsche eingespannt und mit Ethanol benetzt. Die Temperatur  $\theta$  des als Flüssigkeit verwendeten destillierten Wassers wird überprüft. Ein Volumen von mindestens  $V_F \geq 200$  mL wird in den Vorlagebehälter gefüllt und der Einfüllstutzen verschlossen.

Anschließend wird der Durchströmungsdruck von  $\Delta p_F = 600$  mbar aufgebracht. Das Filtermedium wird bei konstantem Druck durchströmt. Das durchgesetzte Filtrat  $m_F(t_{\text{mess.}})$  wird über der Messzeit gravimetrisch bestimmt. Nach dem Durchströmen der gesamten Flüssigkeit tritt aus dem Filtratablauf Gas aus. Dann werden der Durchströmungsdruck entspannt und das Filtermedium entnommen. Für jeden Versuch wird ein neues Filtermedium verwendet.

#### 3.2 Spezifischer Filterkuchenwiderstand und effektiver Filtermediumwiderstand

Der spezifische Filterkuchenwiderstand und der effektive Filtermediumwiderstand der kompressiblen Haufwerke werden in statischen Oberflächenfiltrationsversuchen in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2762 Blatt 2 [3] experimentell bestimmt. Für einen Filtrationsversuch wird ein Suspensionsvolumen von mindestens  $V_{\text{Sus}} \geq 200$  mL eingesetzt. Dafür wird die für einen Filtrationsversuch erforderliche Feststoffmasse mit einer Analysewaage *JL-180* der *Chyo Balance Corporation* abgewogen. Die zusätzlich erforderliche Masse an destilliertem Wasser für eine Suspension mit der Volumenkonzentration  $c_{V,\text{Sus}} = 2$  Vol.-% wird mit einer elektronischen Waage *KB 10000-1N* der *Kern & Sohn GmbH* abgewogen. Die Suspension wird mit einem Magnetrührer *VMS-C7* der *VWR International GmbH* für etwa  $t \approx 5$  min durchmischt.

Das als Filtermedium verwendete hydrophobe Gewebe wird in die Filternutsche eingespannt und mit Ethanol benetzt. Die Temperatur der Suspension  $\theta$  wird überprüft. Die durchmischte Suspension wird

in den Vorlagebehälter gefüllt und der Einfüllstutzen verschlossen.

Anschließend wird der Filtrationsdruck  $\Delta p_F$  aufgebracht. Der Filtrationsversuch wird bei konstantem Druck durchgeführt. Das durchgesetzte Filtrat  $m_F(t_{\text{mess.}})$  wird über der Zeit gravimetrisch bestimmt. Nach der vollständigen Filtration der Probe tritt aus dem Filtratablauf Gas aus. Dann werden der Durchströmungsdruck entspannt und das Filtermedium mit dem Filterkuchen entnommen. Für jeden Versuch wird ein neues Filtermedium verwendet, um eine irreversible Verschmutzung und Verstopfung der Filtermedien durch eindringende Feststoffpartikel auszuschließen. Der Filterapparat wird nach jedem Versuch gereinigt.

#### 3.3 Kompressibilität

Der Einfluss des Filtrationsdrucks auf den spezifischen Filterkuchenwiderstand (Kompressibilität) und den effektiven Filtermediumwiderstand wird betrachtet. Dazu werden statische Oberflächenfiltrationsversuche bei unterschiedlichen Filtrationsdrücken durchgeführt. In den Versuchen werden Filtrationsdrücke im Bereich von  $\Delta p_F = 0,4-4,0$  bar gewählt.



# SMARTE SEPARATIONS-LÖSUNGEN FÜR DIE ABWASSERBEHANDLUNG

TECHNOLOGIE – AUTOMATISIERUNG – SERVICE

Was heute funktioniert, tut es morgen vielleicht nicht mehr. Gemeinden und Versorgungsunternehmen sind mit vielen Herausforderungen konfrontiert: steigende Energiekosten, alternde Infrastruktur und Anlagen, Bedenken hinsichtlich der Cybersicherheit, strengere Vorschriften und die Notwendigkeit,

trotz Pandemie Leistung zu erbringen. Um auf künftige Herausforderungen vorbereitet zu sein, braucht es einen Partner wie ANDRITZ mit bewährten Lösungen für die zentralen Prozesse in der Abwasserbehandlung: Siebung, Eindickung, Entwässerung und Trocknung – alles gestützt durch

kundenorientierten Service. Darüber hinaus bietet Metris addIQ – unsere innovative Automatisierungslösung, maßgeschneidert für die Industrie – viele greifbare Vorteile der Digitalisierung: Risikominimierung, Hilfe bei der Cybersicherheit, höhere Effizienz und Remote-Betrieb – alles aus einer Hand!