



HOCHSCHULE MERSEBURG & ALBERDINGK BOLEY LEUNA GMBH

*FACHBEREICH INGENIEUR- UND NATURWISSENSCHAFTEN*

## **Bachelorarbeit**

ZUR ERLANGUNG DES AKADEMISCHEN GRADES  
BACHELOR OF ENGINEERING (B. ENG.)

*Thema:*

---

**Förderung eines hochviskosen Verdickermittels**

---

**eingereicht von:**

Roman-Luca Zank

**Betreuer:** Prof. Dr. nat. techn. Ulf Schubert  
Stefan Münch, B.A.

**Kontakt:** romanzank@mail.de

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Zielsetzung und Abgrenzung der Aufgabenstellung</b>	<b>6</b>
2.1	Zielsetzung der Aufgabenstellung . . . . .	6
2.2	Abgrenzung der Aufgabenstellung . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>6</b>
3.1	Verdickungsmittel . . . . .	6
3.2	Charakterisierung des Dosierstroms . . . . .	8
3.3	Gebindeformen für Flüssigkeiten . . . . .	13
3.4	Dosierpumpen . . . . .	13
3.4.1	oszillierende Verdrängerpumpen . . . . .	13
3.4.2	rotierende Verdrängerpumpen . . . . .	13
3.5	Bestimmung des Dosierstroms . . . . .	13
<b>4</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>13</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Schlussfolgerungen</b>	<b>13</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>15</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>16</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>16</b>

## **Danksagung**

**Kurzfassung**

**Abstract**

## **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit versichere ich, die vorliegende Seminararbeit selbstständig und nur unter Verwendung der von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verfasst zu haben. Sowohl inhaltlich als auch wörtlich entnommene Inhalte wurden als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit hat in dieser oder vergleichbarer Form noch keinem anderem Prüfungsgremium vorgelegen.

Merseburg, den 01.02.2022

Unterschrift:\_\_\_\_\_

## **Sperrvermerk**

Die vorliegende Arbeit beinhaltet interne vertrauliche Informationen der ALBERDINGK BOLEY LEUNA GMBH. Die Weitergabe des Inhalts der Arbeit im Ganzen oder in Teilen sowie das Anfertigen von Kopien oder Abschriften – auch in digitaler Form - sind ab dem Abgabedatum der Arbeit untersagt. Ausnahmen bedürfen der schriftlichen Genehmigung der ALBERDINGK BOLEY LEUNA GMBH. Die Einsichtnahme ist nur dem Verfasser und dem Betreuer zu erlaubt.

Merseburg, den 01.02.2022

## **1 Einleitung**

In der produzierenden Chemie sind eine Reihe von Verfahrensschritten notwendig um das gewünschte Zielprodukt herzustellen. Für die Produktion von Polymerdispersionen der Farben-, Lack- und Beschichtungsindustrie ist das Fördern von Basischemikalien wie organischen und anorganischen Säuren und Basen, Lösemitteln, Initiatoren, Emulgatoren und Additiven elementar. Gerade Additive werden oft in geringen Mengen mit hoher Wirksamkeit eingesetzt, weshalb das Verfahren der Dosierung anzuwenden ist.

## **2 Zielsetzung und Abgrenzung der Aufgabenstellung**

### **2.1 Zielsetzung der Aufgabenstellung**

Für die Herstellung der Acrylat-Copolymerdispersion AC 548 ist die Zugabe eines assoziativen Verdickermittels für die Alberdingk Boley Leuna GmbH als Prozessschritt nötig. Dieses Verdickermittel wird zugegeben, um die Viskosität der hergestellten, wässrigen Polymerlösung zu erhöhen und damit die rheologischen Eigenschaften für die Verwendung in Buntsteinputzen, Lacken und Farben sicherzustellen. Das derzeit genutzte Verdickermittel macht es möglich, dass die Zugabe durch einen Abwiegeprozess und einem Fass als Dosierbehälter erfolgen kann. Diese Art der Dosierung erfordert jedoch eine gewisse Fließfähigkeit des zuzugebenden Mediums und die Akzeptanz einer kaum quantifizierten Dosierung. Weiterhin wird Personalzeit für Abwiege- und Transportprozesse benötigt.

Im Rahmen der Produktion soll diese Form der Dosierung technisch umgesetzt werden, um somit Personalzeit zu sparen, den Verbrauch an Verdickermittel gering zu halten und das Handling zu erleichtern. Aufgrund der Einstellung der Produktion für das derzeit verwendete Verdickermittel Rheobyk-H 3300 VF der BYK-CHEMIE GMBH wird dieses in Zukunft durch TAFIGEL PUR 85 der MÜNZING CHEMIE GMBH ersetzt. Dabei unterscheiden sich beide Verdickermittel grundlegend in ihrer Verarbeitbarkeit. Gerade das neu einzuführende Verdickermittel stellt durch seine hochviskosen Eigenschaften eine Herausforderung für den Dosierprozess dar.

Ziel dieser Arbeit ist es durch Charaktersistierung des neuen Verdickermittels verschiedene Möglichkeiten der Dosierung zu recherchieren und zu diskutieren. Infolgedessen soll ein Konzept der Dosierung technisch geplant werden, welches den Forderungen des Unternehmens entspricht. Ausgewählte Aspekte sind beispielsweise die Dosiergenauigkeit und das Handling durch die Produktion.

### **2.2 Abgrenzung der Aufgabenstellung**

In Abgrenzung zur Aufgabenstellung wird in dieser Arbeit kein Bezug zur realen Umsetzung des vorgestellten Konzeptes genommen. Es werden lediglich Betrachtungen und Möglichkeiten der Dosierung zusammengestellt und diskutiert. Diese Arbeit soll dabei ein gesamtheitliches Bild der Problematik zeichnen und mögliche Lösungen hierfür aufzeigen. Die Entscheidung ob das näherbeschriebene Konzept tatsächlich umgesetzt wird, bleibt an dieser Stelle dem betreuenden Unternehmen überlassen. Somit finden Aspekte der Inbetriebnahme oder Testreihen einer umgesetzten Dosierstation für diese Arbeit keine Bedeutung.

## **3 Theoretische Grundlagen**

### **3.1 Verdickungsmittel**

In der Farben- und Putzindustrie werden Verdickungsmittel als rheologische Additive bezeichnet. Sie erhöhen die Viskosität von Flüssigkeiten und ändern somit ihre rheologischen Eigenschaften, welche die Auftragungs-, Fließ- und Verlaufseigenschaften von Farben und Putzen bestimmen. Verdickungsmittel kommen jedoch auch in der Lebensmittelchemie oder Pharmazie zum Einsatz.

Je nach dem welche Anforderungen an das Verdickermittel gestellt werden, unterscheiden sich diese in ihrer Zusammensetzung (siehe Abb. 1). [BRRS09]

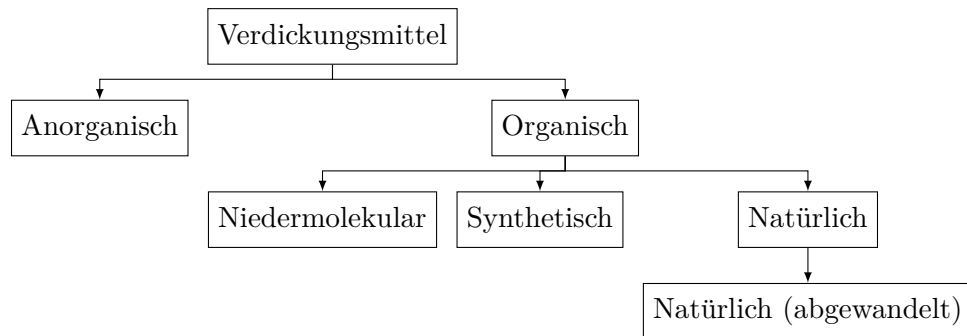


Abb. 1: Einteilung von Verdickungsmitteln nach Zusammensetzung [BRRS09]

Je nach Verdickungsmittel können verschiedene Effekte wie Gelbildung, Solvation, Ausbildung von Netzstrukturen, Coulomb-Kräfte, Quellung und Wasserstoff-Brückenbindungen, sowie deren gegenseitige Einflussnahme die Erhöhung der Zähflüssigkeit bewirken. [BRRS09]

Betrachtet man speziell die sogenannten assoziativen Verdickungsmittel lassen sich diese den Gruppen der abgewandelten, natürlichen Verdicker und den synthetischen Verdickern zuordnen. Sie spezifizieren sich gegenüber anderen Verdickertypen darin, dass sie neben hydrophilen Gruppen auch hydrophobe End- und Seitengruppen enthalten, welche dem Verdickungsmittel einen Tensidcharakter verleihen. Deshalb bestehen assoziative Verdicker unter anderem aus hydrophob modifizierten Polymerstrukturen (siehe Abb. 2).

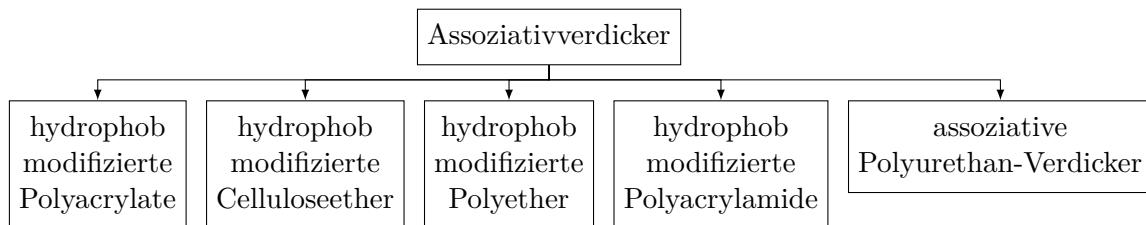


Abb. 2: Einteilung von Assoziativ-Verdickern nach chemischer Struktur [BRRS09]

Diese strukturelle Eigenschaft der Assoziativ-Verdicker macht die Bildung von Micellen möglich und es treten neben der Quellung in der Wasserphase sogenannte „Micellbrücken“ zwischen Latex-Teilchen der Bindemitteldisperion auf, welche eine zusätzlich Viskositätserhöhung bewirken. [BRRS09]

In Abbildung 3 ist eine schematische Struktur eines solchen assoziativen Polyurethan-Verdickers aufgeführt. Diese beispielhafte Struktur zeigt hydrophile, höher molekulare Polyethersegmente, welche über Urethan-Gruppen verbunden sind und durch hydrophobe Molekülgruppen verknüpft werden. [BRRS09]



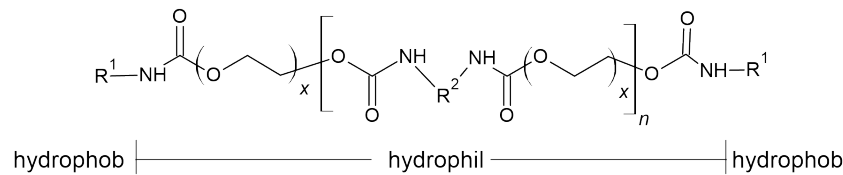


Abb. 3: schematische Struktur eines assoziativen Polyurethan-Verdickers, erstellt nach [BRRS09]

Durch diesen Mix der hydrophoben und hydrophilen Strukturen wird der Tensidcharakter des Verdickungsmittels bestimmt und es ergeben sich Netzstrukturen mit assoziierten „Micellbrücken“, wie in Abbildung 4 dargestellt. Zusätzlich ist zu erkennen, dass auch Wechselwirkungen mit bereits vorhandenen Tensidmolekülen in der Dispersion auftreten können und die Struktur somit weiter stabilisieren. [Mez16]

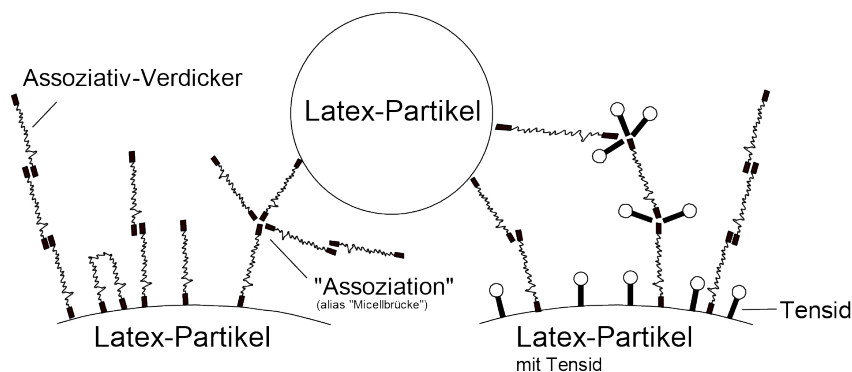


Abb. 4: Netzstruktur durch Verdickermittel in Latex-Dispersion (mit und ohne Tensid), erstellt nach [Mez16]

Aufgrund dieser ausgeprägten Netzstrukturen innerhalb des Verdickungsmittels ist es jedoch auch möglich, dass das Verdickungsmittel selbst eine hohe Viskosität aufweist. Dieser Punkt kann erheblichen Einfluss auf die großtechnische Verarbeitbarkeit des Additives haben und wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit näher betrachtet.

## 3.2 Charakterisierung des Dosierstroms

### Rheologie von Fluiden

Die Wissenschaft der Rheologie beschäftigt sich unter anderem mit dem Fließ- und Deformationsverhalten von Flüssigkeiten und teilt diese zunächst in NEWTONSCHE und NICHTNEWTONSCHE Fluide ein. Grundlage dieser Einteilung sind Untersuchungen von ISAAC NEWTON, welcher sich bei konstanter Temperatur mit der Schergeschwindigkeit  $D$  in Abhängigkeit von der Schubspannung  $\tau$  beschäftigte. Das Ergebnis dieser Arbeit ist das NEWTONSCHE FLIESSGESETZ unter Gleichung (1), welche den Fließwiderstand  $\eta$  einer Flüssigkeit bei gegebener Temperatur als Stoffkonstante benennt. Dieser Fließwiderstand  $\eta$  ist heute unter der Bezeichnung der dynamischen Viskosität bekannt.

$$\tau = \eta \cdot D \quad (1)$$

$D$  ... Schergeschwindigkeit  
 $\tau$  ... Schubspannung  
 $\eta$  ... Dynamische Viskosität

Demnach gelten alle Fluide, welche diese Linearität zwischen Schergeschwindigkeit und Schubspannung ohne Fließgrenze aufweisen als NEWTONSCHE Fluide und diejenigen, die ein nicht-lineares Verhalten und/oder ein Verhalten mit Fließgrenze aufweisen als NICHTNEWTONSCHE Fluide. Veranschaulicht wird dies in Abbildung 5 mit einer Auswahl an verschiedenen Rheologieprofilen.

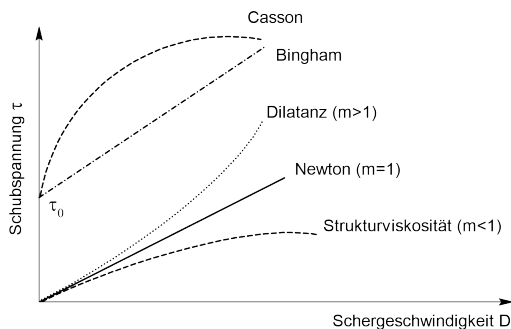


Abb. 5: Fließkurven für verschiedene Fluide, erstellt nach [Hol10]

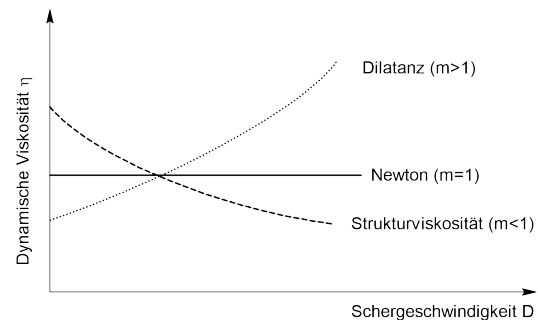


Abb. 6: Viskositätskurven für verschiedene Fluide, erstellt nach [Mun18]

### Bestimmung der dynamischen Viskosität nach DIN EN ISO 2555

Eine Möglichkeit die dynamische Viskosität einer Dispersion zu bestimmen, ist die Messung mit einem Rotationsviskosimeter nach DIN EN ISO 2555. Da in dieser Norm hauptsächlich ein Rotationsviskosimeter mit Einzelzylinder beschrieben ist, wird an dieser Stelle auf die DIN ISO 3219 verwiesen. In dieser Norm werden zusätzlich Rotationsviskosimeter mit koaxialem Zylinder und Kegel-Platte-Viskosimeter näher beschrieben. [DIN13, DIN18]

Allgemein beschreiben Rotationsviskosimeter einen Viskosimetertypen, bei dem die zu messende Flüssigkeit zwischen spezifisch geformten Körpern gebracht wird, von denen einer rotiert. Dabei tritt eine Scherung der Flüssigkeit auf und das aufgewendete Drehmoment am Viskosimeter wird gemessen. Neben Rotationsviskosimetern sind auch weitere Viskosimetertypen wie Kapillarviskosimeter und Fallkörperviskosimeter bekannt. Diese unterscheiden sich gegenüber dem Rotationsviskosimeter beispielsweise darin, dass sie im Regelfall die Viskosität von NICHTNEWTONSCHEN Fluiden nicht ausreichend untersucht werden kann. [RRM08] Das bei ALBERDINGK BOLEY LEUNA GMBH verwendete Verfahren zur Viskositätsbestimmung ist angelehnt an die DIN EN ISO 2555 unter Nutzung eines digitalen BROOKFIELD-Rotationsviskosimeters, benannt nach dem Hersteller AMETEK® BROOKFIELD. Diese Viskosimeter haben den Vorteil preisgünstig zu sein und erlauben ein Messen der Viskosität direkt im Probengefäß. Da jedoch durch das direkte Eintauchen in ein theoretisch beliebiges Probengefäß nur eingeschränkte Übertragbarkeiten und Reproduzierbarkeiten möglich sind, können diese Geräte hauptsächlich für Vergleichsmessungen genutzt werden. Der Hersteller gibt hierfür an ein 600 mL Becherglas als Probengefäß zu nutzen, jedoch wird in der DIN EN ISO 2555 darauf hingewiesen, dass die Becherglasgröße freigewählt werden

darf. Für den Vergleich von Messungen rät die Norm dennoch jeweils die gleiche Größe des Becherglases zu nutzen. [RRM08, bro, DIN18]

Die Messung mittels digitalem BROOKFIELD-Viskosimeter ist vergleichsweise einfach. Benötigt werden hierfür das Viskosimeter in einer Halterung, ein Becherglas, ein Temperaturmessgerät und eine herstellerspezifische Spindel. Soll die Viskosität bei bestimmten Temperaturen, abweichend der Labortemperatur bestimmt werden, ist zusätzlich ein thermostatisches Flüssigkeitsbad nötig (vgl. Abb. 7). Die Messung lässt sich nach dem Aufbau über das Bedienfeld starten in dem Spindel und Drehzahl eingegeben werden. Sobald die Messung startet beginnt sich die Spindel zu drehen.

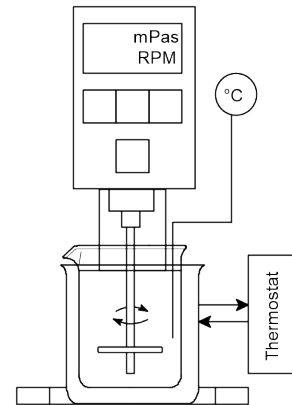


Abb. 7: Viskositätsmessung mit digitalem BROOKFIELD-Rotationsviskosimeter

Das Messprinzip eines solchen BROOKFIELD-Viskosimeters basiert auf der Messung der Winkelabweichung, auch Torsion genannt, zwischen der im Viskosimeter verbauten Welle und einer zweiten darunter angeordneten Spindel-Welle mit fest definierten geometrischen Körper. Beide Wellen drehen sich dabei mit der selben Drehzahl und sind über eine Federeinheit verbunden. Bei Digital-Viskosimetern wird der Messwert der sich dann durch die Winkelabweichung ergibt direkt über ein Display angezeigt.

Entscheidend für die Messung der Viskosität ist bei dieser Messmethode die Auswahl des bereits erwähnten Becherglases, sowie der Spindel und der Drehzahl. Spindel und Drehzahl werden dabei unter Einbezug des Viskositätsbereiches der Probe nach der gewünschten Präzision und dem Geschwindigkeitsgefälle ausgewählt. [DIN18] Durch Tabellen des Herstellers, welche sowohl Spindel als auch Viskositätsbereich in Abhängigkeit von Drehzahl und Gerätekonstanten berechnen lassen, werden diese Entscheidungen vereinfacht. [bro]

### Bestimmung der Strömungsform

Um den Dosierstrom des Verdickermittels entsprechend seiner Strömungseigenschaften charakterisieren zu können, wird zunächst mit der sogenannten REYNOLDSZAHL die Strömungsform bestimmt. Sie ist eine dimensionslose Kennzahl und beschreibt das Verhältnis zwischen Tragheitskräften zu Reibungskräften in strömenden Flüssigkeiten und ist für durchströmte Rohrleitungen unter Gleichung (2) definiert. [Fot14]

$$Re = \frac{d_H \cdot \rho \cdot \bar{u}}{\eta} \quad (2)$$

$Re$  ... REYNOLDSZAHL

$\eta$  ... dynamische Viskosität des Fluids

$\rho$  ... Dichte des Fluids

$d_H$  ... hydraulischer Rohrdurchmesser

$\bar{u}$  ... mittlere Strömungsgeschwindigkeit

Anhand der Reynoldszahl lässt sich nun mithilfe der Tabelle 1, die jeweilige Strömungsform zuordnen. Diese Zuordnung ist wichtig, da sich je nach

Strömungsform unterschiedliche Einflussgrößen auf den Druckverlust ergeben. Beispielsweise hat für eine laminare Strömung die Wandrauigkeit der Leitung keinen Einfluss mehr, wohin gegen sie in turbulenten Strömungen maßgebliche Druckverluste hervorrufen kann. In laminaren Strömungen überwiegt hierbei der glättende Einfluss der Viskosität gegenüber den Rohronebenheiten, während in turbulenten Strömungen weitere Wirbel erzeugt werden. [Bsc18]

Tab. 1: Strömungsformen und ihre Reynoldszahlen [Fot14]

Strömungsform	Laminar	instabiler Bereich	Turbulent
Reynoldszahl	< 2300	2300 bis 4000	> 4000

### Bestimmung des Druckverlustes

Nach der Bestimmung der Reynoldszahl lässt sich nun mit Hilfe des NIKURADSE-COLEBROOK-MOODY-Diagramms, nachfolgend MOODY-Diagramm genannt, der Rohrreibungsbeiwert  $\lambda$  bestimmen (siehe Abb. 8). Dieser Wert wiederum kann in Gleichung (3) eingesetzt werden um den Druckverlustbeiwert  $\zeta_R$  für gerade Rohrleitungen zu bestimmen und lässt auf Basis der erweiterten BERNOULLI-Gleichung (4) den durch Reibung verursachten Druckverlust  $\Delta p$  berechnen. [Bsc18]

$$\zeta_R = \lambda \cdot \frac{L}{d} \quad (3)$$

$$\Delta p = \frac{1}{2} \cdot \zeta_R \cdot \rho \cdot \bar{u}^2 \quad (4)$$

$\zeta_R$  ... Druckverlustbeiwert für gerade Rohrstrecken

$L$  ... Rohrleitungslänge

$d$  ... Rohrdurchmesser

$\Delta p$  ... Druckverlust

$\rho$  ... Dichte des Fluids

$\bar{u}$  ... mittlere Strömungsgeschwindigkeit

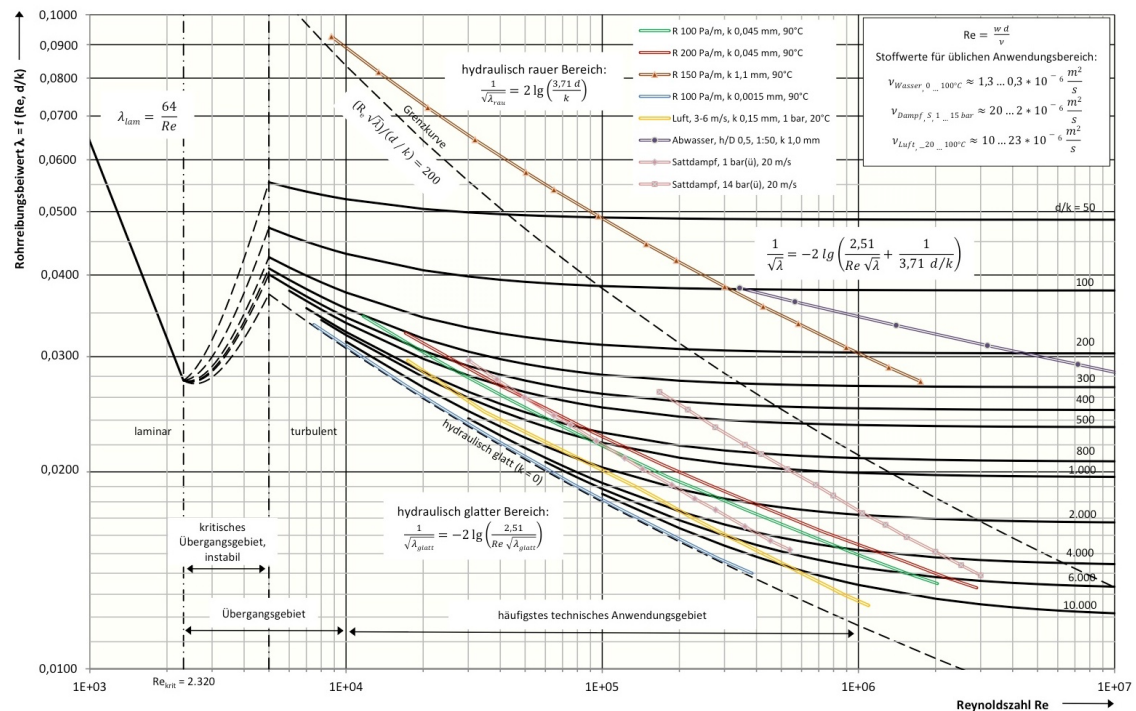


Abb. 8: NIKURADSE-COLEBROOK-MOODY-Diagramm [Msi17, ]

## Gesetz von Hagen-Poiseuille

Liegt für eine nicht-kompressible Flüssigkeit eine laminare Strömung vor, so ist es möglich die zuvor beschriebene Vorgehensweise zu vereinfachen und den auftretenden Druckverlust in einer geraden Rohrleitung direkt mit dem Gesetz von HAGEN-POISEUILLE zu bestimmen. Der Druckverlust wird hierbei in Abhängigkeit vom Volumenstrom, der Rohrleitungslänge, des Rohrdurchmessers und der Viskosität berechnet. Die Definition des Gesetzes, aufgelöst nach dem Druckverlust, findet sich unter Gleichung (5). [Fot05]

$$\Delta p = \frac{8 \cdot \eta \cdot L \cdot \dot{V}}{r^4 \cdot \pi} \quad (5)$$

$\Delta p$  ... Druckverlust

$\eta$  ... dynamische Viskosität des Fluids

$\dot{V}$  ... Volumenstrom des Fluids

$r$  ... innerer Radius der Rohrleitung

$L$  ... Rohrleitungslänge

Da das Gesetz von HAGEN-POISEUILLE bereits im MOODY-Diagramm enthalten ist, können beide Vorgehensweisen genutzt werden um die jeweils andere Rechnung zu überprüfen. Sollen Rohrleitungseinbauten wie Armaturen, Ventile oder Bogenstücke einberechnet werden, vereinfacht jedoch aufgrund von tabellierten Druckverlustbeiwerten möglicher Einbauten die erweiterte BERNOULLI-Gleichung die Berechnung des gesamten reibungsbedingten Druckverlustes.

### **3.3 Gebindeformen für Flüssigkeiten**

Um ein Edukt neu in die Produktion einzubinden sind, nicht nur die chemisch-physikalischen Eigenschaften relevant. Auch der Aspekt der Gebindeform ist maßgeblich für die Einfügung des Eduktes in den Produktionsablauf. Für flüssige Edukte sind im Tagesgeschäft der ALBERDINGK BOLEY LEUNA GMBH hauptsächlich IBCs (Intermediate Bulk Container) und zum Teil Kunststoff-Deckelfässer im Einsatz. Es sei jedoch erwähnt, dass auch weitere Gebinde auf dem Verpackungsmarkt verfügbar sind, wie beispielsweise Kanister, Hobbocks oder Metallfässer.

Den IBC als Gebinde gibt ca. seit den 1960er Jahren und hat sich über eine Richtlinie des VDI aus den frühen 70er-Jahren zu einem Standard der großen Einzelverpackungen entwickelt. Zuvor waren lediglich 200 L-Fässer im Einsatz, welche sich neben der geometrischen Form auch maßgeblich im Handling unterscheiden. [neu22]

### **3.4 Dosierpumpen**

#### **3.4.1 oszillierende Verdrängerpumpen**

#### **3.4.2 rotierende Verdrängerpumpen**

### **3.5 Bestimmung des Dosierstroms**

**Radarfüllstandsmessung**

**Coriolis-Massendurchflussmesser**

**Volumetrischer Verdränger**

**Waage mit Wägezellen**

**Durchflusskurve der Pumpe**

## **4 Material und Methoden**

In der geplanten Dosierung soll auf das Verdickungsmittel TAFIGEL PUR 85 der MÜNZING CHEMIE GMBH zurückgegriffen werden. Laut Hersteller handelt es sich hierbei um einen assoziativen Polyurethan-Verdicker, welcher durch Gerüstbildung zwischen Verdickermolekülen, Bindemittel und Pigmentpartikeln die gewünschte Viskosität hervorruft und stabilisiert. Diese Beschreibung deckt sich mit den vorangegangenen Beschreibung der Assoziativverdicker.[Mun14]

## **5 Ergebnisse**

## **6 Diskussion**

## **7 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

## Literatur

- [bro] BROOKFIELD ENGINEERING LABORATORIES, INC. (Hrsg.): *BROOKFIELD DV-I PRIME Operating Instructions BROOKFIELD DV-I PRIME Digital Viscometer*. <https://www.brookfieldengineering.com/-/media/ametekbrookfield/manuals/obsolete%20manuals/dv-i%20prime%20m07-022-d0613.pdf?la=en>, Abruf: 31.01.2022
- [BRRS09] BROCK, Thomas ; RÖMPP-REDAKTION ; SEIBEL, Jürgen: *Verdickungsmittel*. Thieme Gruppe, 2009 <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-22-00381>
- [Bsc18] BSCHORER, Sabine: *Technische Strömungslehre: Lehr- und Übungsbuch*. 11., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden and Heidelberg : Springer Vieweg, 2018 (Lehrbuch). – ISBN 978-3-658-20037-4
- [DIN13] DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V.: *Kautschuk-Latex – Bestimmung der Viskosität nach dem Brookfield-Verfahren (DIN ISO 1652:2011)*. Berlin, Februar 2013
- [DIN18] DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V.: *Kunststoffe – Harze im flüssigen Zustand, als Emulsionen oder Dispersionen – Bestimmung der scheinbaren Viskosität mit einem Rotationsviskosimeter mit Einzelzylinder (DIN EN ISO 2555:2018)*. Berlin, September 2018
- [Fot05] FOTH, Hans-Jochen: *Hagen-Poiseuillesches Gesetz*. Thieme Gruppe, 2005 <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-08-00189>
- [Fot14] FOTH, Hans-Jochen: *Reynolds-Zahl*. Thieme Gruppe, 2014 <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-18-01140>
- [Hol10] HOLZE, Rudolf: *Nichtnewtonsche Flüssigkeiten*. Thieme Gruppe, 2010 <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-14-01075>
- [Mez16] MEZGER, Thomas (Hrsg.): *Das Rheologie Handbuch: Für Anwender von Rotations- und Oszillations-Rheometern*. 5., vollständig überarbeitete Auflage. Hannover : Vincentz Network, 2016. <http://dx.doi.org/10.1515/9783748600121>. <http://dx.doi.org/10.1515/9783748600121>. – ISBN 9783748600121
- [Msi17] MSIMCA: *Reynoldszahl-Diagramm für gerade Rohrleitungen nach Prandtl-Colebrook*. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f3/R\\_Rohrreibungsbeiwert.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f3/R_Rohrreibungsbeiwert.jpg). Version: 14.05.2017, Abruf: 27.01.2022. – CC-BY-SA-4.0
- [Mun14] MÜNZING CHEMIE GMBH (Hrsg.): *Technisches Datenblatt - TAFIGEL PUR 85*. [https://www.munzing.com/static/06f130839b44f324b19e0c2d6e8ace93/td\\_TAFIGEL\\_PUR\\_85\\_DE\\_f12e7b1de6.pdf](https://www.munzing.com/static/06f130839b44f324b19e0c2d6e8ace93/td_TAFIGEL_PUR_85_DE_f12e7b1de6.pdf). Version: März 2014, Abruf: 28.01.2022
- [Mun18] MÜNZING CHEMIE GMBH (Hrsg.): *TAFIGEL® RHEOLOGIMODIFIZIERER: Technische Nachrichten Nr. 04*. <https://docplayer.org/storage/69/60353187/1643642820/>

Qj1vDFp1hoXznndlj8RBog/60353187.pdf.  
31.01.2022

Version: 2018, Abruf:

- [neu22] NEUE VERPACKUNG: *Die Entwicklung des Edelstahl-IBC und seine Einsatzgebiete.* <https://www.neue-verpackung.de/markt/die-entwicklung-des-edelstahl-ibc-und-seine-einsatzgebiete-11.html>.  
Version: 01.02.2022, Abruf: 01.02.2022
- [RRM08] RÖMPP-REDAKTION ; MILLOW, Sieghard: *Viskosimeter.* Thieme Gruppe, 2008 <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-22-00922>



## Abbildungsverzeichnis

1	Einteilung von Verdickungsmitteln nach Zusammensetzung [BRRS09]	7
2	Einteilung von Assoziativ-Verdickern nach chemischer Struktur [BRRS09] . . . . .	7
3	schematische Struktur eines assoziativen Polyurethan-Verdickers, erstellt nach [BRRS09] . . . . .	8
4	Netzstruktur durch Verdickermittel in Latex-Dispersion (mit und ohne Tensid), erstellt nach [Mez16] . . . . .	8
5	Fließkurven für verschiedene Fluide, erstellt nach [Hol10] . . . . .	9
6	Viskositätskurven für verschiedene Fluide, erstellt nach [Mun18] . . . .	9
7	Viskositätsmessung mit digitalem BROOKFIELD-Rotationsviskosimeter . . . . .	10
8	NIKURADSE-COLEBROOK-MOODY-Diagramm [Msi17, © ⓘ ⓘ] . . . . .	12

## Tabellenverzeichnis

1	Strömungsformen und ihre Reynoldszahlen [Fot14] . . . . .	11
---	---	----

## Anhang

## **Abkürzungsverzeichnis**