

# **Gleitrohr - Rheometer**

**Ein Verfahren zur Bestimmung der Fließeigenschaften  
von Dickstoffen in Rohrleitungen**

## **Sliding Pipe Rheometer**

**A method to establish the flow properties  
of high viscous media in pipelines**

### **Kurzfassung und Thesen**

#### **Abstract and thesis**

zur an der Fakultät Bauingenieurwesen der TU Dresden eingereichten

Dissertation

von

Dipl.-Ing. Knut Jens Kasten  
geboren am 16.3.1968 in Goslar

Verteidigt am 27.11.2009

Gutachter

Prof. Dr.-Ing. Peter Jehle  
Prof. Dr.-Ing. Viktor Mechtcherine

## Kurzfassung

Hochviskose Medien, auch Dickstoffe genannt, erhalten durch Modifikation der Zusammensetzung veränderte Eigenschaften bei der Förderung durch Rohrleitungen. Diese führen zu unterschiedlichem Druck- und Leistungsbedarf, welcher Auswirkungen auf die Auslegung von Pumpenanlagen hat. Um die Fließeigenschaften im Vorfeld zu bestimmen, bedarf es bisher spezieller Erfahrung und Messverfahren. Die bekannten Messverfahren liefern jedoch auf Grund der immer komplexer werdenden Zusammensetzungen der Dickstoffe keine verlässlichen Aussagen bzw. sind nicht praktikabel zur breiten Anwendung. Daher wird weltweit verstärkt Aufwand in Kauf genommen, um mit Hilfe von Pumpversuchen verlässliche Prognosen abgeben zu können.

Diese Probleme wurden durch die Entwicklung eines neuen Verfahrens gelöst, so dass nun durch vergleichsweise einfache Messungen im Labor die Bestimmung der Eigenschaften von Dickstoffen möglich ist.

Hierzu wurde zunächst ein Lastenheft erstellt, welches die zu erfüllenden Randbedingungen enthält. Materialtechnische Grundlagen und theoretische Modelle zur Rheologie mit Bezug auf den Dickstoff Beton zeigen den aktuellen Stand der Theorie. Zur Verbreiterung des Themas folgen zusätzliche Betrachtungen zum Medium Klärschlamm. Die Beschreibung üblicher Messverfahren stellt den Stand der Technik dar, welcher im Hinblick auf die Aufgabenstellung bewertet wird. Die Schlussfolgerung, dass ein entsprechendes System fehlt, mündet in der Entwicklung und Erprobung eines neuen Verfahrens. Die mathematischen Zusammenhänge werden dazu mit Bezug auf Bingham- Eigenschaften hergeleitet.

Kern des Verfahrens ist ein im Rahmen der Arbeit entwickeltes Messgerät. Das Messgerät ist aufgebaut aus einem stehenden Kolben, über den ein Rohr vertikal nach unten gleitet. Dabei übt der im Rohr befindliche Dickstoff einen dynamischen Druck auf den Sensor im Kolben aus. Auf Grund des Bewegungsablaufes – des abwärts gleitenden Rohres - entstand der Name Gleitrohr - Rheometer. Durch die Verwendung verschiedener Massen wird die Gleitgeschwindigkeit variiert. Mittels Druck- und Wegmessung wird beim Gleitrohr - Rheometer die Abhängigkeit zwischen Förderdruck und Fördermenge in mehreren Punkten bestimmt und ist somit für alle nicht thixotropen Dickstoffe anwendbar. Mit Hilfe der entwickelten Gleichungen werden aus den Messwerten Beiwerte als Äquivalente für die Fließgrenze und die plastische Viskosität von Bingham- Medien ermittelt. Die Beiwerte ermöglichen über die Gleichungen eine Prognose des Druckbedarfes und somit auch der erforderlichen Leistung einer Pumpenanlage zur Förderung von Dickstoffen in Rohren.

Validiert wurde das Verfahren für Dickstoffe an den Beispielen Beton und Klärschlamm. Umfangreiche Versuche im Labor und in der Praxis bestätigten die Plausibilität des Verfahrens.

Mit dem Verfahren des Gleitrohr - Rheometer ist es nun erstmalig möglich, die Fließeigenschaften von Dickstoffen in Rohrleitungen bereits im Labor mit wenig Aufwand zu bestimmen. Das System ist so konzipiert, dass es als Basis für eine Standardisierung und Normung auf diesem Gebiet geeignet und verwendbar ist.

## Thesen

- Der Druckbedarf hochviskoser Medien in Rohrleitungen ist mit bisher bekannten Methoden nur mit großem Aufwand ermittelbar.
- Das neu entwickelte Verfahren inklusive Rheometer ermöglicht die Ermittlung der Pumpfähigkeit hochviskoser Medien und die Darstellung der Abhängigkeiten zwischen Fördermenge und Förderdruck bereits durch vergleichbar einfache Laborversuche
- Die erstellten Gleichungen ermöglichen die Berechnung von Beiwerten als Äquivalente für die Fließgrenze und die plastische Viskosität bei Bingham-Medien
- Mit dem Verfahren sind grundsätzliche Aussagen zur Pumpfähigkeit auch von hochviskosen Medien bzw. Dickstoffen möglich, die kein Bingham-Verhalten zeigen
- Mit dem Rheometer wird durch Miniaturisierung der Rohrförderung ein sehr ähnliches Fließverhalten erzeugt wie in Förderrohren von Pumpanlagen
- Das Rheometer ist vergleichsweise einfach aufgebaut, sehr robust in der Anwendung und von einer Person bedienbar
- Das Verfahren kann im Labor und auf der Baustelle bzw. an einer Pumpanlage angewendet werden
- Das Verfahren wird weltweit zum Einsatz kommen und wird unnötigen Aufwand vermeiden helfen
- Das Verfahren wird zur Auslegung von Pumpanlagen verwendet werden
- Das Verfahren wird zur Rezepturenentwicklung vor allem für Beton herangezogen werden, um die Pumpfähigkeit zu beurteilen
- Das Verfahren wird zur Qualitätssicherung von Rezepturen hochviskoser Medien bzw. Dickstoffen verwendet werden
- Das Verfahren ist geeignet zur Standardisierung bzw. Normung. Für Beton und andere Medien existiert bisher kein Standard zur Beurteilung der Pumpfähigkeit.
- Das Rheometer ist erweiterbar, um auch Aussagen über das Fließverhalten in anderen Formstücken wie Bögen oder Reduzierungen zu erhalten
- Das Verfahren wird durch die Erstellung von Fließkurven für die Validierung von Computersimulationen zur Darstellung des Strömungsverhaltens von hochviskosen Medien bzw. Dickstoffen dienen

## Abstract

High viscous media receive by means of modification of their composition modified characteristics while being transported through pipes. This leads to the need of different pressures and power requirements having effects on the construction of pumping stations. In order to ascertain flow properties special experiences and measuring methods are necessary up to now. However, the best-known measuring systems do not assure reliable statements i.e. they are not ready for an extensive application as the composition of high viscous media are getting more and more complex. So all over the world people accept efforts in order to be able to make some reliable forecasts with the help of pumping tests.

These problems have been solved by developing a new method so that comparatively simple measurements have made it possible to establish the characteristics of high viscous media in laboratories today.

For this specifications were provided containing the boundary conditions which have to be fulfilled. The basics of materials and technologies and theoretical models of rheology concerning concrete show up the actual state of theory. To enlarge the topic it follows some additional considerations of sludge media. The descriptions of the measurements which are commonly used constitute the state of technology which will be valued with regard to the topic. The conclusion that an appropriate system is still missing leads to the development and testing of a new method. The mathematical relations will be deduced referring to the Bingham characteristics.

The kernel of the procedure is a measurement instrument which has been developed while working on the subject. The measurement instrument is made of a standing piston on which a pipe is vertically gliding down. Within this process the material inside of the pipe exercises a dynamic pressure on the sensor inside of the piston. Due to this movement – the downward gliding pipe – the name of Sliding Pipe Rheometer came into being. By using different masses the speed of gliding varies. By measuring the pressure and the distance the interdependence between discharge pressure and output of the Sliding Pipe Rheometer is specified in several points and thus it is applicable for all non thixotrope high viscous media. With the help of the developed equations the coefficients equivalent to the yield value and the plastic viscosity are detected from the measured data of Bingham media. The coefficients allow some predictions of the need of pressure and consequently also the necessary power of a pumping station for the transport of high viscous media in pipes.

This technique for high viscous media had been validated with the examples of concrete and sludge. Extensive experiments in laboratories and real usage have confirmed the plausibility of the method.

With the method of the Sliding Pipe Rheometer it has now become possible for the first time to establish the flow properties of high viscous media within pipes. This can be done at low costs in laboratories. The system has been designed in a way that it can serve as a basis for a standardisation in this field.

## Thesis

- To know the need of pressure for high viscous media in pipes has only been possible with methods demanding great efforts up to now.
- The lately developed method including the rheometer makes it possible to evaluate the pumpability of high viscous media and to describe the interdependence between the output and the discharge pressure by comparably simple experiments in laboratories.
- The presented equations allow the calculation of coefficients equivalent to the yield value and the plastic viscosity of Bingham media.
- This method also allows general statements concerning the pumpability even of high viscous media which do not show a Bingham behaviour.
- By means of miniaturisation of the pipelines the rheometer produces a flowing behaviour comparable to that of pumping stations.
- The construction of the rheometer is comparably simple, robust in its application and it can be run by only one person.
- The method can be applied in a laboratory or on a construction site, respectively on a pumping station.
- The method will be used worldwide and it will help to avoid unnecessary costs.
- The method will be used for the defining of pumps to be used.
- The method will be taken as a basis to develop mix design, especially for concrete, in order to judge its pumpability.
- The method will be used to safeguard the quality of mix design for high viscous media.
- The method is suitable for standardisation. Up to now, no standard to judge the pumpability of concrete and other media has been developed.
- The rheometer is expandable in order to achieve statements about the flowing behaviour in other mouldings like elbows or reducers.
- By building flow curves the method will help to validate computer simulations showing the flow behaviour of high viscous media.