



Technische
Universität
Braunschweig

Institut für Füge- und
Schweißtechnik



Bernward Schönteich

Entwicklung und Untersuchung eines Verfahrens zur Durchflussmessung nach dem Prinzip der Kalorimetrie für hochviskose Klebstoffe

Forschungsberichte des Instituts für
Füge- und Schweißtechnik

Band 48

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Klaus Dilger

„Entwicklung und Untersuchung eines Verfahrens zur Durchflussmessung nach dem
Prinzip der Kalorimetrie für hochviskose Klebstoffe“

Von der Fakultät für Maschinenbau
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig

Zur Erlangung der Würde

eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

von: Bernward Schönteich
aus: Gifhorn

eingereicht am: 1.5.2018
mündliche Prüfung: 3.9.2018

Gutachter:
Prof. Dr.-Ing. K. Dilger
Prof. Dr. rer. nat. Bernd Mayer

Forschungsberichte des Instituts für Füge- und Schweißtechnik

Band 48

Bernward Schönteich

**Entwicklung und Untersuchung eines Verfahrens
zur Durchflussmessung nach dem Prinzip
der Kalorimetrie für hochviskose Klebstoffe**

Shaker Verlag
Aachen 2018

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2018

Copyright Shaker Verlag 2018

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-6223-6

ISSN 1614-4783

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort

Die vorliegende Dissertation ist während meiner Arbeit am Institut für Füge- und Schweißtechnik an der Technischen Universität Braunschweig entstanden. Die in der Arbeit gezeigten Ergebnisse sind primär in öffentlich geförderten Projekten entstanden und wurden durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie getragen.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Klaus Dilger gilt mein besonderer Dank für die Betreuung der Arbeit und die Möglichkeiten, die er als Institutsleiter zur Verfügung gestellt hat sowie die stets vertrauensvolle Zusammenarbeit. Herrn Prof. Dr. rer. nat. Bernd Mayer danke ich für die Prüfung der Arbeit und die Übernahme der Zweitbegutachtung. Frau Prof. Dr.-Ing. Sabine Langer danke ich für die Leitung der Prüfungskommission.

Für die stets kollegiale und konstruktive Stimmung am Institut danke ich allen Kolleginnen und Kollegen. Besonders bedanken möchte ich mich bei Manuel Schiel für die vielen fruchtbaren Diskussionen im gemeinsamen Büro. Außerdem bedanke ich mich besonders bei Elisabeth Stammen für ihre Unterstützung als Abteilungsleiterin der Abteilung Klebtechnik. Für die umfangreiche Hilfe bei der Durchführung rheologischer und thermophysikalischer Untersuchungen sowie der Optimierung der Messabläufe danke ich besonders Ulrike Hahme. Bei Klaus Weineck möchte ich mich für die vielfach unkomplizierte und schnelle Hilfe bei der Herstellung mechanischer Bauteile bedanken. Ebenso gilt mein Dank Benjamin Beckmann, der mich als wissenschaftliche Hilfskraft im Applikationslabor bei Versuchen und der Anlagenpflege unterstützt hat.

Schlussendlich bedanke ich mich bei meiner Frau Garnet für die inhaltlichen Tipps und ihre moralische Unterstützung sowie meinen Eltern, dass sie mir ein Studium nach meinen Vorstellungen und Interessen ermöglicht haben.

I. Inhalt

1	Einleitung.....	1
2	Stand der Technik.....	3
2.1	Hochviskose Klebstoffe	3
2.2	Fließverhalten hochviskoser Klebstoffe	4
2.3	Rohrströmung hochviskoser Klebstoffe mit strukturviskosen Fließeigenschaften ..	7
2.4	Aufbau von Dosieranlagen zur Dosierung hochviskoser Klebstoffe	9
2.5	Verfahren zur Durchflussmessung von hochviskosen Klebstoffen.....	14
2.6	Verfahren zur kalorimetrischen Massestrommessung	17
2.7	Wärmebilanz kalorimetrischer Sensoren.....	24
3	Ziel der Arbeit	29
4	Aufbau der Messzellen zur kalorimetrischen Messung.....	32
4.1	Konzept der Messzelle	32
4.2	Messfühler	33
4.3	Aufbau der elektrischen Schaltung	38
4.4	Aufbau der Regelung.....	51
4.5	Aufbau der Messdüsen	54
5	Untersuchte Klebstoffe	61
6	Charakterisierung des Messprinzips an unterschiedlichen Klebstoffen.....	70
6.1	Aufbau der 1K-Versuchsanlage für die Messzellencharakterisierung.....	70
6.2	Charakterisierung grundlegender Eigenschaften des Messprinzips.....	72
6.3	Massestrommessungen in 1K Epoxidharzklebstoffen	78
6.4	Massestrommessung in 1K EP-Klebstoffen.....	87
6.5	Massestrommessung in Schmelzklebstoffen.....	90
6.6	Überprüfung des Funktionsprinzips an einem 2K-Klebstoff	96
6.7	Ergebnis	99
7	Numerische Simulation der Messzelle	100
7.1	Modell der Messdüse mit Sensor.....	101
7.2	Geschwindigkeitsverteilung in der Düse.....	103

7.3	Temperaturveränderung des Klebstoffs	103
7.4	Bestimmung der (Stör-)Einflüsse auf die Messzelle	105
7.5	Ergebnis der Simulation	107
7.6	Zusammenfassung der Simulationsergebnisse	117
8	Einsatz der Messzelle zum Aufbau einfacher Dosieranlagen	118
8.1	Aufbau der Dosiervorrichtung.....	118
8.2	Referenzversuch ohne Berücksichtigung des Sensorsignals	120
8.3	Applikation unter Berücksichtigung des kalorimetrischen Signals.....	122
8.4	Zusammenfassung der Applikationsversuche	123
9	Überlegungen zur Einbindung in weitere technische Prozesse.....	124
9.1	Automatisches Ausschleusen von Luftblasen	124
9.2	Protokollierung und Kontrolle der Dosierströme	125
9.3	Verbesserte 2K-Applikation	127
9.4	Einfache Dosiersysteme mit geregelten Proportionalventilen.....	128
10	Zusammenfassung und Ausblick	131
11	Literatur	135