

Philipp C. Weishaar

***Dominating Factors of Electrostatic
Charging in a Hydraulic Context***

Dominating Factors of Electrostatic Charging in a Hydraulic Context

Dominierende Faktoren der elektrostatischen Aufladung in einem hydraulischen Kontext

Von der Fakultät für Maschinenwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften genehmigte Dissertation

von

Philipp Cedric Weishaar

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hubertus Murrenhoff
Univ.-Prof. Dr. Ing. Katharina Schmitz

Tag der mündlichen Prüfung: 08.04.2021

Diese Dissertation ist auf der Internetseite der Universitätsbibliothek online verfügbar.

Reihe Fluidtechnik

D / Band 110

Philipp C. Weishaar

**Dominating Factors of Electrostatic Charging
in a Hydraulic Context**

Shaker Verlag
Düren 2022

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

Zugl.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2021)

Copyright Shaker Verlag 2022

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8503-7

ISSN 1437-8434

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Phone: 0049/2421/99011-0 • Telefax: 0049/2421/99011-9

Internet: www.shaker.de • e-mail: info@shaker.de

If my doctor told me I had only six minutes to live, I wouldn't brood. I'd type a little faster.

— ISAAC ASIMOV

VORWORT UND DANKSAGUNG

Diese Dissertation ist das Endprodukt einer nun mehr elf jährigen Reise durch die verschiedenen Stationen eines Studenten am Institut für fluidtechnische Antriebe und Steuerungen der RWTH Aachen. Angefangen hat es für mich im Januar 2009 mit einer Stelle als studentische Hilfskraft und nun sitze ich hier als scheidender Assistent und schaue mit einem lachenden und einem weinenden Auge auf die Zeit zurück. Der Zusammenhalt und die Hilfsbereitschaft des gesamten Kollegiums am Institut ist wahrlich einmalig und sind der Grund für das weinende Auge. Ich werde euch alle vermissen.

Das lachende Auge ist den vielen lustigen und denkwürdigen Ereignissen geschuldet aber auch der Gewissheit, dass die Zukunft neue Herausforderungen und Abenteuer bereithält. Herausforderungen denen ich mich gewachsen fühle, nicht zuletzt wegen dem Rüstzeug das mir geliebte Menschen und das Institut mit auf den Weg gegeben haben.

Vielen Dank für eure Unterstützung und Vertrauen über all die Jahre.

Kingston, Oktober 2020

Philipp C. Weishaar

ABSTRACT

The topic of investigation is the phenomenon of electrostatic charging in a hydraulic system. To this end an already existing system test rig as well as a newly developed fast screening test are setup and used in a series of investigations. The system test rig is fitted with a customised measurement system, which allows for an evaluation of the charge density of the hydraulic fluid in the mainstream under realistic operating conditions. The object of this investigation is the impact of a temperature, flow rate and pressure variation with fibreglass filter fleeces in two variations in different configurations as instigators of electrostatic charge generation. Using the system test rig, it was possible to show the significant influence of the temperature and flow rate on the electrostatic charging density. The fleece has a significant impact. However, it does not interfere with the impact of the operating conditions. The fast-screening test is a model test, which allows for a resource efficient investigation of hydraulic fluids. Three fluids of the HLP group are investigated at three levels of relative humidity. The model test demonstrates that an increase in relative humidity coincides with an increase in electrostatic charging.

ZUSAMMENFASSUNG

Das Thema dieser Arbeit ist das Phänomen der elektrostatischen Aufladung in einem hydraulischen System. Zu diesem Zweck wird ein bestehender Systemprüfstand und ein neu entwickelter Schnelltest für eine Reihe von Untersuchungen genutzt. Der Systemprüfstand ist mit einem angepassten Messsystem ausgestattet, welches die Bestimmung der elektrostatischen Aufladung der Hydraulikflüssigkeit im Hauptvolumenstrom unter realistischen Betriebsbedingungen ermöglicht. Der Gegenstand der Untersuchungen ist der Einfluss der Temperatur, des Volumenstroms und des Systemdrucks in Kombination mit zwei Glasfaservliesen in unterschiedlichen Konfigurationen auf die elektrostatische Aufladung. Mittels des Systemprüfstands kann gezeigt werden, dass die Temperatur und der Volumenstrom maßgeblich die elektrostatische Aufladung beeinflussen. Das Vliesmaterial hat ebenfalls einen bemerkenswerten Einfluss, welcher allerdings nicht die Beobachtungen bezüglich der Betriebsbedingungen beeinträchtigt. Der Schnelltest ist ein Modellversuch mit dem ressourcenschonend drei Hydraulikflüssigkeiten der Gruppe HLP untersucht werden. Die drei Hydraulikflüssigkeiten werden mit drei unterschiedlichen Feuchten betrachtet. Der Schnelltest zeigt dabei auf, dass zunehmende relative Feuchte zu einer Zunahme der elektrostatischen Aufladung führt.

TABLE OF CONTENTS

NOMENCLATURE & ABBREVIATIONS	III
1 INTRODUCTION	1
2 FUNDAMENTALS	3
2.1 Fundamentals of electrostatic charging	3
2.1.1 Solids.....	4
2.1.2 Fluids.....	7
2.1.3 Synopsis of electrostatic charging.....	10
2.2 Effects of electrostatic discharges in hydraulic systems	11
2.2.1 Effects on the hydraulic fluid.....	13
2.2.2 Effects on filters	15
2.3 Methods of determining the charge density	17
2.3.1 Faraday Cup	18
2.3.2 Mini-Static Tester (MST).....	20
2.3.3 Absolute charge sensor (ACS)	22
2.3.4 Tandem-chamber charge density monitor (TCCDM).....	23
3 INTRODUCTION OF A FULLY INTEGRATED CHARGE DENSITY MEASURING SYSTEM	25
3.1 Design of the measurement assembly	25
3.1.1 Definition of electric fields	26
3.1.2 Maxwell's equations	27
3.1.3 Considerations for a pipe capacitor.....	30
3.1.4 Measurement system.....	33
3.1.5 Integration of the measurement system.....	40
3.2 Improvements to the measuring system	42
4 SYSTEM TEST RIG FOR ELECTROSTATIC CHARGING.....	51
4.1 Introduction of the system test rig.....	51
4.1.1 Integration of the measuring system	52
4.1.2 Parameters under investigation	57
4.2 Measurements using the system test rig.....	61
4.2.1 Exploratory measurements.....	61

Table of Contents

4.2.2 Systematic investigation	72
5 SMALL-SCALE TEST BENCH FOR ELECTROSTATIC CHARGING	81
5.1 Design of a fast-screening test.....	81
5.1.1 Experimental setup.....	81
5.1.2 The measuring system of the small-scale test	83
5.2 Measurements using the small-scale test bench	90
5.2.1 Commissioning and qualification of the small-scale test bench	90
5.2.2 Results of the experiments	102
6 CONTEMPLATION OF THE EXPERIMENTAL RESULTS.....	107
6.1 Temperature	107
6.2 Flow rate and fleece topology	111
6.3 Scaling of the filter	115
6.4 Fleece arrangement	117
6.5 Experiments with fast screening test	119
7 SUMMARY & OUTLOOK.....	121
8 BIBLIOGRAPHY	123
9 FIGURES.....	132
10 TABLES	137
11 CURRICULUM VITAE.....	139