

Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. med. Steffen Leonhardt

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Radermacher

Univ.-Prof. Dr. med. Dipl.-Ing. Thomas Schmitz-Rode

**Torsten Linde**

---

**Experimentelle und numerische Evaluierung  
thrombosegefährdeter Bereiche in  
Herzklappenprothesen**

Ein Beitrag aus dem Institut für Angewandte Medizintechnik der RWTH Aachen, Lehr- und Forschungsgebiet Kardiovaskuläre Technik (Leitung: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ulrich Steinseifer).

---

**RWTHAACHEN**  
**UNIVERSITY**

---

Shaker Verlag  
Aachen 2016

**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.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2016)

Copyright Shaker Verlag 2016

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-4910-7

ISSN 1866-5349

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

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

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## **Kurzbeschreibung**

Die Thrombosierung von medizinischen Implantaten, insbesondere von Herzklappenprothesen, stellt trotz medikamentöser Therapie die häufigste auf das Implantat zurückzuführende Komplikation dar. Speziell die Ursachen strömungsinduzierter Thrombose sind immer noch nicht gut verstanden, sodass keine effektiven Methoden zur Beurteilung zur Verfügung stehen. Eine Möglichkeit kann die gezielte experimentelle und numerische Evaluierung der lokalen, strömungsinduzierten Thromboseneigung von Herzklappenprothesen und deren Korrelation bieten.

Da für die experimentelle Evaluierung keine adäquate Methode zur Verfügung steht, wurde ein geeigneter Kreislaufsimulator für Herzklappen (THIA3) und eine Methodik für die In-vitro-Untersuchung initialer Thrombosierung entwickelt und validiert. Die Methodik erlaubte eine reproduzierbare Thrombosierung der getesteten Prothesen nach vier Stunden. Die Validität konnte über den Vergleich mit Tierversuchen und Literaturdaten gezeigt werden.

Für die Korrelation thrombogener Strömungen wurden numerische Simulationen an zwei Herzklappenprothesen, die Triflo Dreiflügelprothese und die St. Jude Medical Zweiflügelprothese, in Aortenposition unter Berücksichtigung dynamischer Randbedingungen in Fluent (ANSYS) durchgeführt und mittels Particle Image Velocimetry (PIV) validiert. Die hydrodynamischen Randbedingungen und die Klappenbewegung wurden aus Experimenten im THIA3 abgeleitet. Hinsichtlich der Thrombogenität konnte für beide Klappen eine gute Korrelation für zwei Strömungsformen hergestellt werden.

Die Untersuchungen zeigten, dass die Methode eine gute Möglichkeit der Evaluierung der lokalen Thromboseneigung in Herzklappen ist und wichtige Informationen für das Design neuentwickelter Klappenprothesen liefert.

## Abstract

Despite medical therapies thrombogenic complications are one of the most common reasons for implant failure, especially for heart valve prostheses. Reasons for thrombogenicity are not very well understood, especially if flow induced. There are no reliable and effective methods available to evaluate different design variations towards their thrombogenic effect. Good option would be the combination of numerical and experimental methods and their correlation to directly evaluate the effect of local flow distribution towards their thrombogenicity.

Since there is no applicable method available for the experimental evaluation a special mock circulation loop for heart valves (the THIA3) was designed and validated comparing the results with literature and animal trials. All relevant physiological and pathological conditions could be simulated in the tester. Reproducible results for local thrombogenicity were possible within four hours test duration.

Computational fluid dynamic (CFD) simulations were carried out in Fluent 13 (ANSYS) for two heart valve prostheses in aortic position – the Triflo trileaflet (Triflo Inc.) and the St. Jude Medical bileaflet valve – under consideration of the dynamic boundary conditions. Hydrodynamic conditions and valve motion were gathered from the experimental set up. The simulations were validated using Particle Image Velocimetry (PIV) in the THIA3.

Comparison of flow field distribution inside the valves and initial clot formation at the valves showed good correlation for two flow patterns for both of the valves.

This method showed the ability to evaluate thrombogenic performance of heart valve prostheses and to gather important information for necessary design changes in newly developed valves.