

Konzeption, Entwicklung und Validierung einer miniaturisierten extrakorporalen Rotationsblutpumpe

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

vorgelegt von
Diplom-Ingenieur Christof Stefan Göbel
aus Linnich

Berichter: Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Günter Rau
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hubertus Murrenhoff

Tag der mündlichen Prüfung: 04. November 2002

Christof Göbel

**Konzeption, Entwicklung und Validierung
einer miniaturisierten extrakorporalen
Rotationsblutpumpe**



Helmholtz-Institut
für Biomedizinische Technik
an der RWTH Aachen

Shaker Verlag
D 82 (Diss. RWTH Aachen)

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Göbel, Christof:

Konzeption, Entwicklung und Validierung einer miniaturisierten
extrakorporalen Rotationsblutpumpe / Christof Göbel.

Aachen : Shaker, 2003

(Berichte aus der Biomedizinischen Technik ; Bd. 14)

Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2002

ISBN 3-8322-1484-4

Copyright Shaker Verlag 2003

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

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-1484-4

ISSN 1430-7316

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

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

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

VORWORT

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Helmholtz-Institut für Biomedizinische Technik an der RWTH Aachen.

Herr Univ.-Prof. Dr. rer. nat. G. Rau, Direktor des Instituts, hat die hervorragenden Rahmenbedingungen geschaffen, die die Durchführung einer solchen Arbeit ermöglichen. Ihm gilt mein besonderer Dank für seine vertrauensvolle Unterstützung und Förderung sowie für die Übernahme des Referates. Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. H. Murrenhoff, Direktor des Institutes für fluidtechnische Antriebe und Steuerungen, danke ich sehr für die freundliche Übernahme des Korreferates und die eingehende Durchsicht meiner Arbeit.

Herr Prof.-Dr.-Ing. H. Reul stand mir als Leiter der Arbeitsgruppe kardiovaskuläre Technik während der gesamten Projektzeit beratend zur Seite. Für seine freundschaftliche Unterstützung danke ich ihm ebenso sehr wie für die kreative und kollegiale Arbeitsatmosphäre, die er in seiner Gruppe geschaffen hat.

Eine wesentliche Voraussetzung zum Gelingen dieser Arbeit war die Drittmittelfinanzierung durch die Firma Medos Medizintechnik AG in Stolberg über mehrere Jahre. Herr Dr.-Ing. R. Eilers stand mir in diesem Zusammenhang für viele fruchtbare Diskussionen zur Verfügung, wofür ich ihm herzlich danke. Ohne die wesentlichen Impulse durch Herrn Dr.-Ing. T. Sieß in einer frühen Phase wäre das Projekt in dieser Form nicht zustande gekommen. Auch ihm gilt mein besonderer Dank.

Mit ihrem großen Engagement haben auch Diplom- und Studienarbeiter sowie studentische Hilfskräfte, die ich hier nicht im einzelnen nennen kann, zum Gelingen des Projektes beigetragen. Auch ihnen danke ich herzlich für ihren Anteil an dieser Arbeit.

Bei der Herstellung der zahlreichen Pumpenlabormuster und Prüfstände haben die Mitarbeiter der mechanischen Werkstatt des Institutes unter der Leitung von Herrn G. Rosenbauer und Herrn D. Faßbänder vieles geleistet. Ohne ihre akribische Umsetzung der Konstruktionen in anspruchsvolle und oft sehr kleine Bauteile wäre die Durchführung dieser Arbeit nicht möglich gewesen. Weiterhin standen mir Herr E. Waber und Herr Dipl.-Des. W. Korr mit der Erstellung fotografischer und grafischer Materialien für Publikationen und die Präsentation von Ergebnissen zur Seite. Ihnen allen danke ich für ihre freundliche und kooperative Unterstützung.

Ich danke an dieser Stelle auch den Kollegen, mit denen ich gemeinsam das Diagonal- und Mikrodiagonalpumpenprojekt voranbringen konnte. Insbesondere Herr Dipl.-Ing. A. Arvand war im Rahmen der von ihm durchgeführten numerischen Strömungssimulationen immer ein wertvoller Ansprechpartner. Ebenso danke ich auch den übrigen Kollegen und Mitarbeitern des Institutes für die sehr angenehme und kollegiale Atmosphäre, in der das Arbeiten viel Freude gemacht hat.

Besonders danke ich auch meinen Eltern, die mir diesen Weg ermöglicht und mich in jeder denkbaren Hinsicht unterstützt haben.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	1
2	Rotationsblutpumpen in der Kreislaufunterstützung	3
2.1	Rotationsblutpumpen: Heutige Systeme und Stand der Technik	3
2.2	Blut und Auswirkungen mechanisch assistierter Blutförderung	11
2.3	Klinische Anwendungen und Limitationen	18
3	Designanforderungen und Randbedingungen	27
3.1	Pflichtenheft für eine miniaturisierte Rotationsblutpumpe	27
3.2	Diskussion des Pflichtenheftes und resultierendes Entwicklungskonzept	31
4	Prinzipsynthese	33
4.1	Antriebe	34
4.2	Baugruppenanordnung und Energieübertragung	38
4.3	Analyse und Festlegung	41
5	Gestaltsynthese I: Auslegung der Komponenten	44
5.1	Laufradgestaltung	44
5.1.1	Auslegung und Berechnung	44
5.1.2	Design-Variationen	56
5.2	Abdichtung rotierender Pumpenwellen	62
5.2.1	Grundlagen zur Abdichtung rotierender Maschinenteile	62
5.2.2	Dichtungsauswahl	67
6	Gestaltsynthese II: Konzeption und Ausführung der Labormuster	71
6.1	Grundgedanken zur Gestaltung	71
6.2	Labormusterkonstruktion und Iteration	72
6.2.1	Labormuster I	72
6.2.2	Labormuster II	75
6.2.3	Labormuster III	78
6.3	Strömungsführung der Labormuster	81
6.4	Theoretische Betrachtungen zum Wärmetransport	83

7 EXPERIMENTELLE CHARAKTERISIERUNG VON TECHNISCHEN EIGENSCHAFTEN DER KONZIPIERTEN BLUTPUMPE	87
7.1 Untersuchung der hydrodynamischen Laufradeigenschaften	87
7.1.1 Methodik	87
7.1.2 Kennfelder und Leistungsanalyse	90
7.1.3 Sichtbarmachung von innerer Leckage im Radseitenraum	100
7.1.4 Pulsatile Förderung unter hydraulischen Bedingungen der Herzunterstützung	102
7.1.5 Strömungsschub	103
7.2 Dichtungen	104
7.2.1 Entwicklung eines Dichtungsdauertesters	105
7.2.2 Parameter und Methodik der Untersuchung	107
7.2.3 Ergebnisse	110
7.3 Untersuchungen zum Wärmetransport	120
7.4 Diskussion	123
8 EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN ZUR BLUTTRAUMATISIERUNG UND BIOKOMPATIBILITÄT	126
8.1 In vitro-Studien zur Charakterisierung der Bluttraumatisierung	126
8.1.1 Methodik und Prüfprotokoll	126
8.1.2 Untersuchungen zur pumpeninduzierten Blutschädigung	130
8.1.3 Untersuchungen zur dichtungsinduzierten Blutschädigung	136
8.1.4 Diskussion und Designfestlegung	139
8.2 In vivo-Studien und Design-Validierung der konzipierten Blutpumpe	141
8.2.1 Tiermodell und Methodik	141
8.2.2 Ergebnisse	143
8.2.3 Diskussion	146
9 DISKUSSION	147
10 ZUSAMMENFASSUNG	152
11 LITERATURVERZEICHNIS	155