

Aus dem Zentrum für Kinderheilkunde und Jugendmedizin  
des Klinikums der Johann Wolfgang Goethe-Universität  
Frankfurt am Main  
Abteilung für Allgemeine Pädiatrie II  
(Leitung : Prof. Dr. med. D. Hofmann)

## **Automatisierte Lungenfunktionsdiagnose bei spontanatmenden Säuglingen**

INAUGURAL - DISSERTATION  
zur Erlangung des  
Doktorgrades der Medizin des  
Fachbereichs Humanmedizin  
der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main

vorgelegt von  
**Steffen Leonhardt**  
aus Frankfurt am Main



Frankfurt am Main, 1999

Dekan : Prof. Dr. med. G. v. Jagow  
Referent : Prof. Dr. med. D. Hofmann  
Korreferent : Prof. Dr. med. T.O.F. Wagner

Tag der mündlichen Prüfung : 14. Juli 2000

Berichte aus der Medizintechnik

**Steffen Leonhardt**

**Automatisierte Lungenfunktionsdiagnose  
bei spontanatmenden Säuglingen**

Shaker Verlag  
Aachen 2000

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

*Leonhardt, Steffen:*

Automatisierte Lungenfunktionsdiagnose bei spontanatmenden Säuglingen/  
Steffen Leonhardt.

Aachen : Shaker, 2000

(Berichte aus der Medizintechnik)

Zugl.: Frankfurt am Main, Univ., Diss., 2000

ISBN 3-8265-7850-3

Copyright Shaker Verlag 2000

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 3-8265-7850-3

ISSN 1431-1836

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen

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

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

**Zwei Seelen wohnen, ach! in meiner Brust, ...**

J.W. von Goethe, "Faust",  
erster Akt, vor dem Tor



## Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand an der Kinderklinik der Johann Wolfgang Goethe - Universität Frankfurt und basiert auf Untersuchungen, die in den Jahren 1993 - 1996 erhoben wurden.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Direktor Prof. Dr. med. D. Hofmann und Herrn Oberarzt Dr. med. P. Ahrens für die Anregung zu dieser Arbeit und für ihre Unterstützung und stetige Förderung bei der Durchführung.

Herrn Prof. Dr. med. T.O.F. Wagner, Zentrum der Inneren Medizin, danke ich für das der Arbeit entgegengebrachte Interesse und für die Übernahme des Korreferats.

Für die kollegiale Zusammenarbeit möchte ich mich bei Frau Katrin Plinke, Frau Vigdis Wunram, Herrn cand. med. Stefan Wichartz, Frau Dr. med. Sabine Erb und Frau Dr. med. Ulrike Schleich herzlich bedanken. Auch Herrn Dr. Frans de Jongh (Technische Universität Delft) und Herrn Dr. Griffioen vom akademischen Kinderkrankenhaus der Universität von Amsterdam schulde ich Dank für wertvolle Diskussionen und die Bereitstellung einiger anonymisierter Datensätze.

Vom Institut für Automatisierungstechnik der Technischen Universität Darmstadt erhielt ich an verschiedenen Stellen technische Unterstützung, für die ich mich ebenfalls herzlich bedanken möchte. Dem Leiter des Fachgebietes Regelungstechnik und Prozeßautomatisierung, Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. R. Isermann, danke ich für wertvolle Diskussionen und den großen Gestaltungsspielraum bei der Durchführung dieses Projektes. Im Rahmen seiner Diplomarbeit programmierte Herr Dipl.-Ing. Oliver Schmitt eine MATLAB™-Software zur Datenvisualisierung, die die Grundlage der von mir durchgeführten Programmierungen und Auswertungen bildete. Herr Dipl.-Ing. Alejandro Vukotich und Herr Dipl.-Wirtsch.-Ing. Peter Kloke entwickelten gemeinsam mit mir den tragbaren "low cost"-Lungenfunktionsmeßplatz.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden von mir verschiedene "Software-Tools" benutzt. MATLAB™ ist ein eingetragenes Warenzeichen der Fa. *The Mathworks, Inc.*, Nattick, MA, USA. Zur Programmierung der Datenvisualisierung und -auswertung wurde MATLAB™ Vs. 4.2 eingesetzt. Das Software-Paket SPSS™ ist Eigentum der Fa. *SPSS GmbH Software*, München. Zur Durchführung der Diskriminanzanalyse in Kap. 4.4 wurde Vs. 6.0 benutzt. DELPHI™ ist ein eingetragenes Warenzeichen der Fa. *Borland Inc.*, USA. Die Echtzeit-Programmierung des "low cost"-Lungenfunktionsmeßplatz (Kap. 5) erfolgte unter Vs. 2.

Frankfurt, im Januar 1999  
Steffen Leonhardt



# Inhaltsverzeichnis

|            |  |    |
|------------|--|----|
| <b>1</b>   | <b>Einleitung</b>                                  | 1  |
| <b>2</b>   | <b>Grundlagen</b>                                  | 5  |
| <b>2.1</b> | <b>Physiologische Grundlagen</b>                   | 5  |
| 2.1.1      | Ventilation  | 6  |
| 2.1.2      | Gasaustausch und Perfusion                         | 11 |
| 2.1.3      | Mechanisches Modell der Lunge                      | 12 |
| 2.1.4      | Pathophysiologische Grundlagen                     | 13 |
| <b>2.2</b> | <b>Meßtechnische Grundlagen</b>                    | 16 |
| 2.2.1      | Spirometrie  | 16 |
| 2.2.2      | Funktionelle Residualkapazität                     | 24 |
| 2.2.3      | Resistance und Compliance                          | 27 |
| <b>2.3</b> | <b>Statistische Grundlagen</b>                     | 35 |
| 2.3.1      | Statistische Maße                                  | 35 |
| 2.3.2      | Normalverteilung und Diskriminanzanalyse           | 36 |
| <b>2.4</b> | <b>Zusammenfassung</b>                             | 41 |
| <b>3</b>   | <b>Methodik</b>                                    | 43 |
| <b>3.1</b> | <b>Patientenkollektiv</b>                          | 43 |
| 3.1.1      | Normalkollektiv                                    | 43 |
| 3.1.2      | Obstruktive Erkrankungen                           | 43 |
| 3.1.3      | Malazien   | 44 |
| 3.1.4      | Stenosen   | 44 |
| <b>3.2</b> | <b>Auswertung von Ruheatmungsspirometrie-Daten</b> | 45 |
| 3.2.1      | Klassische Merkmale                                | 45 |
| 3.2.2      | Neue Merkmale                                      | 48 |
| <b>3.3</b> | <b>Zusammenfassung</b>                             | 58 |

---

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| <b>4</b>   | <b>Ergebnisse</b>                        | 59  |
| <b>4.1</b> | <b>Normalkollektiv</b>                   | 59  |
| 4.1.1      | Normalwerte für die klassischen Merkmale | 59  |
| 4.1.2      | Normalwerte für die neuen Merkmale       | 63  |
| <b>4.2</b> | <b>Pathologische Befunde</b>             | 65  |
| 4.2.1      | Obstruktive Erkrankungen                 | 65  |
| 4.2.2      | Malazien                                 | 69  |
| 4.2.3      | Stenosen                                 | 72  |
| <b>4.3</b> | <b>Trenngüte einzelner Merkmale</b>      | 75  |
| 4.3.1      | Obstruktive Erkrankungen                 | 75  |
| 4.3.2      | Malazien                                 | 83  |
| 4.3.3      | Stenosen                                 | 91  |
| <b>4.4</b> | <b>Multivariate Diskriminanzanalyse</b>  | 97  |
| 4.4.1      | Obstruktive Erkrankungen                 | 97  |
| 4.4.2      | Malazien                                 | 102 |
| 4.4.3      | Stenosen                                 | 106 |
| <b>4.5</b> | <b>Zusammenfassung</b>                   | 110 |
| <b>5</b>   | <b>Zukunftsperspektiven</b>              | 113 |
| 5.1        | Hardware-Neuentwicklung                  | 113 |
| 5.2        | Gestaltung der Software                  | 115 |
| 5.3        | Automatisierte Diagnose-Unterstützung    | 118 |
| 5.4        | Zusammenfassung                          | 120 |
| <b>6</b>   | <b>Diskussion und Ausblick</b>           | 121 |
| <b>7</b>   | <b>Literatur</b>                         | 123 |



|           |   |        |                            |
|-----------|---|--------|----------------------------|
| TE        | Expirationszeit                                   | m      | Laufindex                  |
| TEF50     | exp. Fluß bei 50% Volumen                         | max    | maximal                    |
| TEF25     | exp. Fluß bei 25% Volumen                         | Mund   | den Mund betreffend        |
| Teto_PTEF | Zeit bis zum Erreichen von<br>PTEF bezogen auf TE | Muskel | die Muskulatur betreffend  |
| TI        | Inspirationszeit                                  | n      | Laufindex                  |
| TIF50     | insp. Fluß bei 50% Volumen                        | ösoph  | Ösophagus (Speiseröhre)    |
| TIF25     | insp. Fluß bei 25% Volumen                        | os     | Oszillation                |
| Tito_PTIF | Zeit bis zum Erreichen von<br>PTIF bezogen auf TI | p      | peripher                   |
| TM        | Tracheomalazie                                    | perf   | Perfusion (Durchblutung)   |
| TS        | Trachealstenose                                   | Pleura | den Pleuraspalt betreffend |
| VE        | Expirationsvolumen                                | ref    | Referenz                   |
| VI        | Inspirationsvolumen                               | rs     | <i>respiratory system</i>  |

### Indizes

|        |                           |        |  |
|--------|---------------------------|--------|--|
| A      | richtig positiv           | Thorax | den Brustkorb betreffend                 |
| alv    | Alveolus                  | TM     | Tracheomalazie                           |
| Atem   | Atemstrom                 | TS     | Trachealstenose                          |
| atm    | Atmosphäre                | z      | zentral                                  |
| B      | falsch positiv            | ^      | geschätzt                                |
| bronch | Bronchiolen               | ~      | tilde, für hochfrequenter Wechselstrom   |
| C      | falsch negativ            | 0      | Anfang (zeitlich),<br>Umgebung (örtlich) |
| D      | richtig negativ           |        |  |
| diff   | Diffusion                 |        |  |
| dyn    | dynamisch                 |        |  |
| exp    | expiratorisch             |        |  |
| Fehler | Fehlerrate                |        |  |
| geschl | geschlossen               |        |  |
| GÖR    | gastroösophagealer Reflux |        |  |
| HBS    | Hauptbronchusstenose      |        |  |
| i      | Laufindex                 |        |  |
| insp   | inspiratorisch            |        |  |
| j      | Laufindex                 |        |  |
| k      | Laufindex                 |        |  |
| k      | Kammer                    |        |  |
| LM     | Laryngomalazie            |        |  |
| LS     | Laryngealstenose          |        |  |
| Lunge  | die Lunge betreffend      |        |  |