

## **Herstellung und Verarbeitung von 3D-Rundgestriicken**

---

Christoph Gregor Peiner

**„Herstellung und Verarbeitung  
von 3D-Rundgestricken“**

**„Production and Processing  
of 3D Circular Knitted Fabrics“**

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

vorgelegt von

Christoph Gregor Peiner

Berichter: Univ.-Prof. Prof. h. c. (MGU) Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Thomas Gries  
apl. Prof. Dr.-Ing. Peter Urban

Tag der mündlichen Prüfung: 29.08.2022

„Diese Dissertation ist auf den Internetseiten der Universitätsbibliothek online  
verfügbar.“



Textiltechnik/Textile Technology

herausgegeben von

Univ. Prof. Professor h. c. (MGU) Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Thomas Gries

**Christoph Gregor Peiner**

**Herstellung und Verarbeitung  
von 3D-Rundgestricken**

Shaker Verlag  
Düren 2022

**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, 2022)

Copyright Shaker Verlag 2022

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8832-8

ISSN 1618-8152

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

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

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

Wesentliche Teile des Inhalts dieser Arbeit entstanden in Zusammenarbeit mit der AUNDE Achter und Ebels GmbH, Mönchengladbach. Teile dieser Arbeit basieren zudem auf den Ergebnissen der von mir betreuten studentischen Arbeiten. Eine bibliographische Auflistung befindet sich am Ende des Literaturverzeichnisses.

## **Danksagung**

Diese Dissertation entstand im Rahmen meiner Arbeit als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Textiltechnik (ITA) der RWTH Aachen University und teilweise in Zusammenarbeit mit der AUNDE Achter und Ebels GmbH, Mönchengladbach. Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen bedanken, die mich vor und während dieser Zeit unterstützt und zu meiner Arbeit beigetragen haben:

Ich danke meinem Doktorvater Univ.-Prof. Prof. h. c. (MGU) Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Thomas Gries und meinem Zweitbetreuer apl. Prof. Dr. Peter Urban für die Betreuung meiner Dissertation und für die hilfreichen Hinweise und Anmerkungen. Darüber hinaus danke ich der AUNDE Achter und Ebels GmbH, Mönchengladbach, für die gute Zusammenarbeit, die Unterstützung und das entgegengebrachte Vertrauen. Prof. Thomas Gries, Dr. Dieter Veit und Dr. Christoph Greb danke ich für die am ITA gebotenen Möglichkeiten und die Unterstützung während meiner Arbeit. Ich danke meinen Kolleginnen und Kollegen am ITA, insbesondere in meinem Bereich „Fabric Production“, für die gemeisterten Herausforderungen und für die gemeinsamen Feste und Fahrten. Ein großer Dank geht auch an Frau Cremer, die die Arbeit korrigiert und immer wieder mit guten und ehrlichen Worten meine Motivation hochgehalten und mich angespornt hat. Den Kolleginnen und Kollegen in der IT, im Technikum, in der Budgetabteilung und in der ITA Technologietransfer GmbH, Aachen, danke ich für die freundliche und offene Zusammenarbeit – ich wünsche euch weiterhin ein offenes Ohr und viel Geduld mit den kommenden Generationen von Wissenschaftlichen Mitarbeitern.

Ganz besonders möchte ich Henning Löcken und Leon Reinsch sowie meinen Studies und Hiwis für die Hilfe, die intensiven Diskussionen und die gemeinsamen Stunden an den Strickmaschinen des ITA während schier unendlicher Versuchsreihen (oder bei der Produktion von Weihnachtspullovern) danken. Dazu danke ich Carolin Schwager, Rahel Krause, Melina Sachtleben, Hannah Kelbel, Gesine Köppe, Stefan Hesseler und besonders Lukas Lauchthaler für die Hilfe verschiedenster Art zu jeder Zeit, die guten Gespräche und das regelmäßige „Dampfablassen“ an der Kaffeemaschine.

Zum Abschluss möchte ich meinen Geschwistern und Eltern sowie meinem besten Freund Christian danken: Ihr habt mich mein Leben lang begleitet, ihr seid und wart immer mein Halt und mein zweiter Boden. Aber ohne dich, liebe Laura, wäre diese Arbeit und ihr erfolgreicher Abschluss nicht möglich gewesen: Du hast mich unermüdlich angetrieben und mir den Rücken gestärkt, du hast mich getröstet und mir Mut gemacht. Du bist und bleibst mein Antrieb und Anker in der Welt. Dank dir kann ich sagen:

Mann, war das wieder einfach.

Aachen, August 2022

Christoph Peiner





Für meine Frau Laura



## Inhaltsverzeichnis

|       |                                                             |    |
|-------|-------------------------------------------------------------|----|
| 1     | Einleitung                                                  | 1  |
| 1.1   | Ausgangssituation und Motivation der Arbeit                 | 1  |
| 1.2   | Zentrale Defizite und daraus abgeleitete Ziele der Arbeit   | 6  |
| 1.3   | Ansatz und Vorgehen zur Erreichung der Ziele                | 7  |
| 2     | Stand der Technik                                           | 10 |
| 2.1   | Textile Flächengebilde                                      | 10 |
| 2.2   | Gestricke                                                   | 11 |
| 2.2.1 | Maschinenelemente zur Maschenbildung                        | 13 |
| 2.2.2 | Maschenbildung                                              | 14 |
| 2.2.3 | Weitere Bindungselemente                                    | 15 |
| 2.2.4 | Technische Erzeugung und Beschreibung von Bindungselementen | 16 |
| 2.2.5 | Kombination von Bindungselementen                           | 17 |
| 2.2.6 | Bindungsauswahl durch Einzelnadelsteuerung                  | 19 |
| 2.2.7 | Fehler und Fehlervermeidung                                 | 20 |
| 2.3   | Strickmaschinen                                             | 22 |
| 2.3.1 | Flachstrickmaschinen                                        | 22 |
| 2.3.2 | Rundstrickmaschinen                                         | 23 |
| 2.4   | Industrielle Verarbeitung von Textilien                     | 24 |
| 2.5   | Herstellung und Montage von Automobilsitzbezügen            | 27 |
| 2.6   | 3D-Textilien                                                | 28 |
| 2.6.1 | Unterscheidung von 2D- und 3D-Textilien                     | 28 |
| 2.6.2 | 3D-Gestricke                                                | 30 |
| 2.7   | Reife von Technologien                                      | 32 |
| 2.7.1 | Reifegradmodelle                                            | 32 |
| 2.7.2 | Entwicklung von Reifegradmodellen                           | 33 |
| 2.8   | Zusammenfassung                                             | 35 |
| 3     | Entwicklung von 3D-rundgestrickten Sitzbezugsstoffen        | 36 |
| 3.1   | Entwicklungsabläufe in der Automobilindustrie               | 36 |
| 3.1.1 | Stage-Gate-Prozess                                          | 37 |
| 3.1.2 | Produktentstehungsprozess (PEP)                             | 38 |
| 3.1.3 | VDA-Leitfaden zum Produktentstehungsprozess                 | 39 |

|       |                                                               |     |
|-------|---------------------------------------------------------------|-----|
| 3.1.4 | Entwicklung von Automobilsitzbezügen                          | 40  |
| 3.1.5 | VDI-Richtlinie VDI 2221                                       | 41  |
| 3.2   | Auswahl einer Entwicklungs- und Bewertungsmethode             | 43  |
| 3.3   | Wirtschaftlich-technische Anforderungen                       | 43  |
| 3.3.1 | Technische Anforderungen                                      | 44  |
| 3.3.2 | Wirtschaftliche Anforderungen                                 | 48  |
| 3.4   | Zusammenfassung                                               | 51  |
| 4     | 3D-Rundstricktechnik                                          | 52  |
| 4.1   | Begriffsdefinition                                            | 53  |
| 4.2   | Programmierung der Strickmaschine                             | 60  |
| 4.3   | Digitale Schnittbilderstellung                                | 61  |
| 4.4   | Optische Gestaltung von 3D-Rundgestricken                     | 64  |
| 4.5   | Abnäher als Befestigungselemente und Futterstoff              | 71  |
| 4.6   | Zusammenfassung                                               | 74  |
| 5     | Fehlervermeidung in der 3D-Rundstricktechnik                  | 76  |
| 5.1   | Technische Grundlagen und Vorgehen                            | 76  |
| 5.2   | Technische Analyse und FMEA                                   | 78  |
| 5.3   | Fehler-Ursachen-Analyse                                       | 80  |
| 5.3.1 | Laufmaschen und Risse im Gestrick                             | 81  |
| 5.3.2 | Falsch abgebundene Maschen und Streifen                       | 89  |
| 5.3.3 | Geöffnete Abnäher und Abnäheraufwurf                          | 107 |
| 5.3.4 | Zusammenfassung der Fehler-Ursachen Analyse                   | 115 |
| 5.4   | Validierung der Fehlervermeidung und Zusammenfassung          | 117 |
| 6     | Verarbeitung von 3D-Rundgestricken                            | 120 |
| 6.1   | Anforderungen aus dem industriellen Verarbeitungsprozess      | 121 |
| 6.2   | Prozessvarianten                                              | 123 |
| 6.2.1 | Spannrahmen                                                   | 124 |
| 6.2.2 | Formwäsche und -Fixierung                                     | 126 |
| 6.2.3 | Freiwäsche und -Fixierung                                     | 130 |
| 6.3   | Versuchsaufbau im Technikumsmaßstab                           | 131 |
| 6.3.1 | Notwendige Prozessschritte                                    | 131 |
| 6.3.2 | Auswahl von Maschinen und Hilfsmitteln für den Versuchsaufbau | 133 |

|                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.3.3 Zusammenfassung und Fazit                                         | 140 |
| 6.4 Konzept zur Übertragung auf industriellen Maßstab                   | 142 |
| 6.4.1 Durchsatzschätzung                                                | 146 |
| 6.4.2 Fabriklayout                                                      | 147 |
| 6.5 Zusammenfassung                                                     | 149 |
| 7 Bewertung 3D-rundgestrickter Automobilsitzbezüge                      | 150 |
| 7.1 Mechanische Prüfung                                                 | 151 |
| 7.2 Kostenrechnung 3D-Großrundstricktechnologie                         | 152 |
| 7.2.1 Materialkosten                                                    | 153 |
| 7.2.2 Prozesskosten                                                     | 157 |
| 7.2.3 Overhead und Profit                                               | 158 |
| 7.2.4 Verpackung und Versand                                            | 158 |
| 7.3 Zusammenfassung                                                     | 161 |
| 8 Zukünftige Entwicklung von 3D-rundgestrickten<br>Automobilsitzbezügen | 162 |
| 8.1 Entwicklung von Textilien für den Automobilinnenraum                | 162 |
| 8.2 Weiterentwicklung 3D-rundgestrickter Automobilsitzbezüge            | 166 |
| 8.3 Unterstützungstool für die 3D-Rundstricktechnik                     | 167 |
| 8.3.1 Planung von Technologieketten nach [Sch15]                        | 168 |
| 8.3.2 Umfeldanalyse nach PESTEL-Kriterien                               | 170 |
| 8.3.3 Value Proposition Canvas                                          | 172 |
| 8.4 Auswertung und Zusammenfassung                                      | 173 |
| 9 Zusammenfassung                                                       | 176 |
| 10 Ausblick                                                             | 181 |
| 10.1 Stricktechnik                                                      | 181 |
| 10.2 Produkte                                                           | 183 |
| 10.3 Textile Prozesskette                                               | 183 |
| 10.4 Businessmodelle                                                    | 184 |
| 11 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis                                  | 187 |
| 11.1 Abbildungen                                                        | 187 |
| 11.2 Tabellen                                                           | 193 |

|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| 12 Literatur                               | 195 |
| 13 Anhang A: Ergebnisse der Versuchsreihen | 214 |
| 14 Anhang B: Prüfergebnisse                | 220 |
| 15 Abkürzungsverzeichnis                   | 222 |