

**ANALYSE DER VERZUGSVORGÄNGE AUF HOCHLEIS-  
TUNGSSTRECKEN UND DEREN AUSWIRKUNGEN AUF DIE  
NACHFOLGENDEN TEXTILEN PROZESSSTUFEN**

Von der

**FAKULTÄT FÜR MASCHINENWESEN  
DER RHEINISCH-WESTFÄLISCHEN TECHNISCHEN  
HOCHSCHULE AACHEN  
ZUR ERLANGUNG DER VENIA LEGENDI FÜR DAS LEHRGEBIET  
„TEXTILE FERTIGUNGSVERFAHREN“**

genehmigte Habilitationsschrift

von

Doktor-Ingenieur Diplom-Wirtschaftsingenieur Chokri Cherif  
aus  
Bourouis (Tunesien)

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Burkhard Wulfhorst  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Thomas Gries  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Peter Offermann

Aachen, den 30.10.2001

## **Vorwort**

Die vorliegende Habilitationsschrift beruht auf den Ergebnissen meiner Arbeit am Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen (ITA) in den Jahren 1996 - 2001. Ich danke Herrn Professor Dr.-Ing. B. Wulfhorst, dem Direktor des Institutes, für die Betreuung meiner Arbeit sowie für die wertvollen Anregungen bei der Ausarbeitung der vorliegenden Habilitationsschrift.

Herr Professor Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Thomas Gries, Direktor des ITA seit dem 1.4.2001, hat die Arbeit durchgesehen und mir wertvolle Hinweise gegeben. Herrn Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Peter Offermann, Direktor des Institutes für Textil- und Bekleidungstechnik der TU Dresden, danke ich für die Übernahme des Referates und der Habilitationsprüfung. Hierfür spreche ich ihm meinen herzlichen Dank aus.

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des ITA, die mich bei der Durchführung dieser Arbeit unterstützt haben, sei für die sehr gute Zusammenarbeit gedankt. Weiterhin bedanke ich mich bei den Studentinnen und Studenten, die durch Studien- und Diplomarbeiten oder als studentische Hilfskräfte zu dieser Arbeit beigetragen haben, für ihren großen Einsatz.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und dem Arbeitskreis industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) sowie dem Forschungskuratorium Textil e.V. danke ich besonders für die finanzielle Förderung eines großen Teils der in dieser Habilitationsschrift dargestellten Arbeiten im Rahmen von öffentlich geförderten Forschungsvorhaben.

Gedankt sei auch allen Firmen und Forschungsinstituten für die umfangreiche Unterstützung in Form von Versuchsmaschinen, Maschinenkomponenten und Versuchsmaterialien sowie für die gute Zusammenarbeit. Mein besonderer Dank gilt der Firma M. May & Cie GmbH & Co. KG, Gangelt, der Firma Schoeller Textil GmbH & Co. KG, Niederzier, der Firma Rieter Ingolstadt Spinnereimaschinenbau AG, Ingolstadt, und der Firma Trützschler GmbH & Co. KG, Mönchengladbach.

Mein Dank gilt auch Frau Chr. Cremer und Herrn Dr. D. Veit, die meine Arbeit sorgfältig durchgelesen haben. Mein herzlicher Dank gilt vor allem meiner Frau, Sana Elj, die mit viel Verständnis und Rücksicht wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

Aachen, den 01.11.2001

Chokri Cherif

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Bedeutung der Verzugsvorgänge in der Fasergarnspinntechnik</b> .....	<b>5</b>
2.1	Eingliederung der Streckwerke in der Fasergarnspinntechnik.....	5
2.1.1	Prozesse der Fasergarnspinntechnik .....	5
2.1.2	Bedeutung der Verzugsvorgänge für die nachfolgenden Verarbeitungsstufen bis zur textilen Fläche .....	7
2.2	Aufbau und Aufgaben von Strecken .....	8
2.3	Regelungs- und Steuerungskonzepte zum Vergleichmäßigen von Faserbändern .....	10
<b>3</b>	<b>Stand der Forschung bezüglich der Verzugsvorgänge und Problemstellung</b> .....	<b>14</b>
3.1	Darstellung der Ungleichmäßigkeit eines Faserverbandes .....	14
3.1.1	Definition der Ungleichmäßigkeit .....	14
3.1.2	Die Faserlängenverteilung .....	16
3.2	Theoretische Ansätze zur Beschreibung der Faserbewegung im Verzugsfeld .....	17
3.2.1	Das Geschwindigkeitsprofil der Fasern im Verzugsfeld .....	17
3.2.2	Die Veränderung der Ungleichmäßigkeit durch den Verzug.....	21
3.2.2.1	Der ideale Verzug nach Grishin und König .....	22
3.2.2.2	Der zeitlich variable Verzug nach Foster .....	23
3.2.2.3	Der Verzug nach statistischen Gesetzen nach Grishin .....	24
3.2.2.4	Der Einfluss des Walzenschlags und des Walzenbelags auf die Garnungleichmäßigkeit .....	26
3.2.3	Verzugskräfte als Simulationsbasis des Verzugsprozesses.....	28
3.2.3.1	Der ideale Verzug nach Green und Ingham .....	28
3.2.3.2	Die unetstige Beschleunigung nach Taylor .....	29
3.2.3.3	Die Verzüge nach Medley, Stell und McCormick .....	30
3.3	Die Messung der Verzugskraft am Streckwerk .....	31
3.4	Ansätze zur Modellierung der Bandregulierung .....	32
3.5	Bisherige Messtechniken zur Erfassung der Faserbewegung .....	34
3.6	Aufgabenstellung .....	36

<b>4</b>	<b>Messtechnische Analyse der Verzugsvorgänge an Streckwerken für kurzstapelige Fasern .....</b>	<b>41</b>
4.1	Versuchsaufbau .....	41
4.1.1	Die Strecke RSB 951 .....	41
4.1.2	Versuchsmaterialien und -plan .....	43
4.1.3	Garnausspinnungen.....	45
4.1.4	Strickversuche und -simulation .....	45
4.1.5	Prüfplan.....	45
4.2	Messtechnische Analyse der Faserbewegungen im Streckwerk mit der LDA-Messtechnik .....	47
4.2.1	Aufbau und Prinzip der Laser-Doppler-Anemometrie .....	47
4.2.2	Versuchsrandbedingungen .....	51
4.2.3	LDA-Versuchsergebnisse .....	61
4.2.3.1	Einfluss der Liefergeschwindigkeit.....	61
4.2.3.2	Einfluss der Druckbelastung .....	63
4.2.3.3	Einfluss der Hauptverzugfeldweite.....	64
4.2.3.4	Einfluss der Vorverzugfeldweite.....	65
4.2.3.5	Einfluss der Vorverzugshöhe .....	65
4.2.3.6	Einfluss der Gesamtverzugshöhe.....	67
4.2.3.7	Einfluss des Walzendurchmessers und der -bezugshärte.....	68
4.2.3.8	Einfluss der Doublierung .....	68
4.2.3.9	Einfluss der Passagenzahl und der Regulierung .....	70
4.3	Visualisierung des Verzugsprozesses mit der Super-High-Speed-Video-Technik .....	71
4.4	Luftströmungsanalyse in den Verzugfeldern mit der Partikel-Image-Velocimetrie-Technik (PIV) .....	72
4.5	Messung der Druckverläufe und Druckbelastungen am Lieferwalzenpaar .....	80
4.6	Zusammenfassende Betrachtung .....	87
<b>5</b>	<b>Analyse der Band- und Garnqualität in Abhängigkeit von Rohstoffen und Streckwerksparametern .....</b>	<b>89</b>
5.1	Ergebnisse der Laborprüfungen von Faserbändern und OE-Rotorgarnen.....	89
5.1.1	Einfluss der Liefergeschwindigkeit.....	90
5.1.2	Einfluss der Druckbelastung .....	96
5.1.3	Einfluss der Hauptverzugfeldweite.....	97
5.1.4	Einfluss der Vorverzugfeldweite.....	100
5.1.5	Einfluss der Vorverzugshöhe .....	101
5.1.6	Einfluss der Gesamtverzugshöhe.....	105
5.1.7	Einfluss des Walzendurchmessers und der -bezugshärte.....	107
5.1.8	Einfluss der Doublierung.....	107
5.2	Ergebnisse der Laborprüfungen von Ringgarnen .....	109

5.3	Analyse des Erscheinungsbildes von textilen Flächengebilden.....	111
5.3.1	Strickversuche .....	111
5.3.2	Simulation des Erscheinungsbildes von Gestrickten, Geweben und Garntafeln.....	112
5.4	Zusammenfassende Betrachtung .....	115
<b>6</b>	<b>Analyse der Haft-Gleit-Eigenschaften von Faserbändern beim Verzug auf Hochleistungsstrecken .....</b>	<b>117</b>
6.1	Bedeutung der Haft-Gleit-Mechanismen für die Analyse der Verzugsvorgänge .....	117
6.2	Ansätze zur Beschreibung des Faser-Reibverhaltens .....	119
6.3	Analyse der Reibungsmechanismen an Faserbändern .....	120
6.4	Analyse der dynamischen Haft-Gleitkräfte an Faserbändern .....	124
6.4.1	Entwicklung eines Prüfgerätes zur Bestimmung der dynamischen Verzugskräfte.....	124
6.4.2	Erfassung der Verzugskräfte auf Basis des Motor- drehmoments .....	126
6.4.3	Versuchsdurchführung und -auswertung .....	128
6.5	Erfassung der Verzugskräfte auf Basis der DMS-Technik.....	133
6.6	Mathematische Beschreibung des dynamischen Haft-Gleit- Verhaltens .....	140
<b>7</b>	<b>Entwicklung eines mathematischen Modells zur Beschreibung der Verzugsvorgänge an Kurzstapelstreckwerken .....</b>	<b>142</b>
7.1	Randbedingungen des Verzugsmodells .....	142
7.2	Entwicklung eines neuen Modells zur Beschreibung der Faserbewegung unter realen Produktionsbedingungen .....	143
7.2.1	Verzugsgeometrie .....	143
7.2.2	Mathematische Beschreibung der Faserverteilung im Streckfeld .....	147
7.3	Kinetik im diskreten Modell .....	151
7.3.1	Faserkinematik.....	151
7.3.2	Dynamik der Faser.....	153
7.4	Dynamische Modellierung der Faserbewegung .....	158
7.5	Entwicklung einer Computersimulation und Simulationsergebnisse...	159
7.5.1	Aufbau des Simulationsprogrammes .....	159
7.5.2	Simulationsergebnisse und Überprüfung des erstellten Verzugsmodells .....	161
<b>8</b>	<b>Analyse der Bandführung am Streckenausgang .....</b>	<b>166</b>
8.1	Analyse der Faserbandführung innerhalb des Drehtellerrohrs .....	167

8.1.1	Analyse der Bandführung mit der High-Speed-Videokamera ...	167
8.1.2	Analyse der Bandführung mit der LDA-Technik .....	172
8.2	Entwicklung einer neuen Messtechnik zur Quantifizierung des Drehtellerrohreinflusses auf die Bandgleichmäßigkeit .....	178
8.2.1	Auswahl und Erprobung der Sensoren .....	178
8.2.2	Aufbau und Erprobung der Messtechnik zur Online- messung der Bandungleichmäßigkeit an der rotierenden Drehtellereinheit .....	182
8.2.3	Festlegung der Versuchsrandbedingungen .....	187
8.2.4	Versuchsergebnisse .....	190
8.3	Analyse des Bandführungsverhaltens an einem chrom- beschichteten Drehtellerrohr .....	192
8.4	Analyse der Bandführung mit der FFT-Technik .....	194
8.5	Entwicklung eines mathematischen Ansatzes zur Beschreibung der Faserbewegungen im Drehtellerrohr .....	197
8.6	Verbesserungsvorschläge zur Optimierung der Bandführung .....	205
<b>9</b>	<b>Besonderheiten der Streckwerke für langstapelige Fasern .....</b>	<b>208</b>
9.1	Messtechnische Prozessanalyse .....	208
9.2	Analyse der Bandungleichmäßigkeit .....	216
9.3	Digitale Bildverarbeitung zur Noppendetektion .....	220
9.4	Entwicklung eines mathematischen Ansatzes zur Beschreibung der Faserbewegungen im Streckwerk der Kettenstrecke .....	226
<b>10</b>	<b>Vorschläge zur Verbesserung des Verzugs .....</b>	<b>230</b>
10.1	Einführung .....	230
10.2	Optimale Einstellung des Streckwerks .....	230
10.3	Verzugsoptimale Modifikation der Faser-Reibeigenschaften .....	232
10.4	Umgestaltung des Druckstabes .....	233
10.5	Integration der Verzugssimulation in die Maschinensteuerung .....	235
10.6	Grundsätzliche Bedeutung der Ergebnisse für Verzüge .....	237
<b>11</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>239</b>
<b>12</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>245</b>
<b>13</b>	<b>Abkürzungen, Symbole und Konstanten .....</b>	<b>263</b>
13.1	Abkürzungen .....	263
13.2	Symbole und Konstanten .....	263