

**Analyse und Optimierung
des Verdichtungsspinnens im Hinblick
auf Wirtschaftlichkeit und Garnqualität**

Von der Fakultät
Maschinenbau
der Universität Stuttgart
zur Erlangung der Würde eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)
genehmigte Abhandlung

vorgelegt von
Jörg Morgner
aus Bergisch Gladbach

Hauptberichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Gerhard Egbers

Mitberichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Manfred Piesche

Tag der mündlichen Prüfung: 16. Oktober 2003

Institut für Textil- und Verfahrenstechnik
der Deutschen Institute für Textil- und Faserforschung Stuttgart
Wissenschaftliche Institute in Verbindung
mit der Universität Stuttgart
Denkendorf
2003

Mein besonderer Dank gilt
meiner Frau Silke,
meinen Kindern Louis und Jonas
und meinen Eltern.

Vorwort

Während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Textil- und Verfahrenstechnik habe ich die vorliegende Arbeit begonnen und parallel zu meiner Tätigkeit als technischer Leiter bei der Temafa Maschinenfabrik GmbH zum Abschluss gebracht. Für die Unterstützung zum Gelingen dieser Arbeit möchte ich mich bei allen Beteiligten bedanken.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr.-Ing. G. Egbers für die Möglichkeit zur Durchführung meiner Arbeit, seinem Weitblick sowie für die vielseitige und wertvolle Unterstützung bei der inhaltlichen Gestaltung.

Weiterhin danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. M. Piesche für die Übernahme des Koreferats und Herrn Dr.-Ing. S. Schütz für die Unterstützung bei strömungstechnischen Problemstellungen.

Bei Herrn Dr. -Ing. P. Artzt bedanke ich mich ganz herzlich für die sehr hilfreichen Diskussionen und guten Ratschläge, wodurch die erarbeiteten Ergebnisse stets für die Industrie interessant sind.

Nicht zu vergessen sind meine ehemaligen Kollegen aus dem Bereich Stapelfasertechnologie am Institut für Textil- und Verfahrenstechnik in Denkendorf, die immer bereit waren in schwierigen Situationen mit ihrer fachlichen Kompetenz verschiedene Lösungsvarianten zu diskutieren, insbesondere bei Frau A. Arnold und Herrn Dr.-Ing. B. Burkhardt. Vielen Dank für die schöne und lehrreiche Zeit.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Formelzeichen	V
Summary	1
Kurzfassung	3
1 Einleitung	6
2 Problemstellung	12
3 Ziel der Arbeit	14
4 Aufgabenstellung	15
5 Stand der Forschung	18
5.1 Streckwerk.....	18
5.2 Verfahren der Faserbündelung	20
5.2.1 Varianten der Verdichtungseinheiten.....	23
5.2.2 Variantenvergleich	26
5.3 Bereich der Drehungserteilung und der Fasereinbindung	28
6 Verzugsprozess	30
6.1 Beurteilungskriterien.....	33
6.2 Einfluss des Rohstoffs	34
6.3 Einfluss des Vorzugs auf die Vorzugskraft und die Garngleichmäßigkeit.....	35
6.4 Schleppestromung am Ausgangswalzenpaar	38
6.4.1 Schleppestromung eines rotierenden Unterzylinders.....	39
6.4.2 Schleppestromung um ein Walzenpaar	40
6.4.3 Luftströmung im vorderen und hinteren Bereich der Klemmlinie	40
6.4.4 Schlussfolgerung aus den PIV Messungen.....	46
7 Analyse der Vorgänge in der Verdichtungszone und bei der Drehungserteilung	48
7.1 Bündelung von Fasern mit Hilfe eines Luftstroms	49
7.1.1 Definition der Luftwiderstandskraft	49
7.1.2 Transport einer freien Faser	50
7.1.3 Bündelung eines geklemmten Faserverbands	51

7.1.4 Bündelung eines geklemmten Faserverbands, der auf einem Riemchen liegt.....	52
7.2 Einfluss des Anspannverzugs und der Fasereigenschaften auf die Faserbündelung.....	53
7.2.1 Einfluss des Anspannverzugs auf die Faserbündelung	53
7.2.2 Grenzen des Anspannverzugs.....	54
7.2.3 Definition des Widerstandsfaktors	55
7.2.4 Einfluss der Garnfeinheit auf den Widerstandsfaktor	56
7.2.5 Einfluss der mittleren Faserlänge auf den Widerstandsfaktor	57
7.2.6 Einfluss der Faserfeinheit auf den Widerstandsfaktor.....	58
7.2.7 Einfluss der Spinnengeschwindigkeit auf den Widerstandsfaktor	62
7.2.8 Einfluss des Rohstoffs auf den Widerstandsfaktor	62
7.3 Untersuchung des Einflusses strömungstechnischer Parameter auf die Faserbündelung	63
7.3.1 Erforderliche Mindest-Luftgeschwindigkeit für den Fasertransport zur Perforation.....	64
7.3.2 Möglichkeiten zur Steigerung der Changierbreite durch Veränderung der Luftführung	65
7.3.3 Versuchsstand zur Ermittlung der optimalen Luftströmung.....	68
7.3.4 Ermittlung der optimalen Lochquerschnittsgeometrie	68
7.3.5 Ermittlung der optimalen Perforationsbreite.....	70
7.3.6 Betrachtung der Volumenströme durch eine Perforation, bestehend aus kreisrunden Löchern und Langlöchern.....	72
7.3.7 Optimierung der Perforation.....	76
7.3.8 Einsatz eines Riemchens mit drei Lochreihen und T-förmiger Saugöffnung.....	78
7.3.9 Betrachtung der Luftströmung im Bereich der Perforation beim Einsatz eines Luftleitblechs	79
7.4 Untersuchung des Garnbildungsprozesses beim Ring- bzw. beim Verdichtungsspinnen.....	82
7.4.1 Bereich der Drehungserteilung	82
7.4.2 Drehungsstau an den Fadenleitorganen.....	84
7.4.3 Fadenzugkräfte	86
7.5 Zusammenfassende Analyse der Vorgänge in der Verdichtungszone und der Drehungserteilung	93

8 Vorteilhafte Eigenschaften von Verdichtungsgarnen in der Weberei im Vergleich zu Ringgarnen	95
8.1 Einfluss der Garnstruktur auf die Aufschiebefestigkeit von Verdichtungsgarnen.....	95
8.2 Möglichkeiten zur Reduzierung des Beschlichtungsgrads	96
8.3 Festigkeitsprüfung von Ring- und Verdichtungsgarnen mit dem Tensojet.....	98
8.4 Weben von Verdichtungsgarnen aus spröden Fasern, untersucht am Beispiel von hochfesten Polyamid-Garnen	100
9 Zusammenfassung	102
10 Literaturverzeichnis.....	107

Formelzeichen

Lateinische Buchstaben

Symbol	Erläuterung	Dimension
A	durchströmte Fläche	[m ²]
A _{st}	angeströmte Fläche	[m ²]
AV	Anspannverzug	[-]
b	Länge des Langloches	[m]
B _G	Beschlichtungsgrad	[%]
B _{SR}	Breite des Spinnendreiecks beim Ringspinnen	[m]
B _{SV}	Breite des Spinnendreiecks beim Verdichtungsspinnen	[m]
c _w	Luftwiderstandsbeiwert	-
CV	Garngleichmäßigkeit	[%]
d	Durchmesser	[m]
d _D	Durchmesser des Druckrollers	[m]
d _h	hydraulischer Durchmesser	[m]
d _{Faser}	Durchmesser der Faser	[m]
d _K	Klemmlinienabstand	[m]
Eu	Eulerzahl	[1]
F _F	Faserfeinheit	[tex]
F _{Fe}	Federkraft	[N]
F _{FF}	Faser/Faser-Reibkraft	[N]
F _{FR}	Faser/Riemchen-Reibkraft	[N]
F _G	Gewichtskraft einer Faser	[N]
F _{Garn}	Feinheitsfestigkeit	[N/tex]
F _K	Trennkraft je Faden	[N]
F _{Luft}	Luftwiderstandskraft	[N]
F _N	Normalkraft	[N]
F _{NAD}	Normalkraft zwischen Antriebsachse und Druckroller	[N]
F _{NDG}	Normalkraft zwischen Druckroller und Gitterriemchen	[N]
F _{NGS}	Normalkraft zwischen Gitterriemchen und Saugrohr	[N]
F _{NR}	Normalkraft zwischen Riemchen und Unterzylinder	[N]
F _{res}	resultierende Kraft	[N]
F _{RAD}	Reibkraft zwischen Antriebsachse und Druckroller	[N]

Symbol	Erläuterung	Dimension
F_{RDG}	Reibkraft zwischen Druckroller und Gitterriemchen	[N]
F_{RGS}	Reibkraft zwischen Gitterriemchen und Saugrohr	[N]
F_{RR}	Reibkraft zwischen Riemchen und Unterzylinder	[N]
F_V	Vorverzugskraft	[N]
F_{Wi}	Summe der Widerstandskräfte	[N]
F_z	Fadenzugkraft	[N]
H_s	Spalthöhe	[m]
l_{Faser}	Länge einer Faser	[m]
l_F	Abstand von der Perforationsmittellinie zur äußersten Faser	[m]
l_L	Abstand vom äußeren Lochrand zur äußersten Faser	[m]
L_{SR}	Länge des Spinddreiecks beim Ringspinnen	[m]
L_{SV}	Länge des Spinddreiecks beim Verdichtungsspinnen	[m]
L_V	Läuferverschleiß	[-]
m_L	Läufergewicht	[kg]
M_A	Antriebsmoment	[Nm]
ML	mittlere Faserlänge	[m]
n_{Faser}	Anzahl der Fasern im Garnquerschnitt	[-]
n_{spi}	Spindeldrehzahl	[min ⁻¹]
Δp	treibende Druckdifferenz	[Pa]
p_{dy}	dynamischer Druck	[Pa]
p_{ges}	Gesamtdruck	[Pa]
p_{st}	statischer Druck	[Pa]
P_V	Druckverhältnis von statischem und dynamischem Druck	[%]
Re	Reynoldszahl	[1]
S_3	Zweigle Haarigkeitswert (Anzahl der Faserenden $\geq 3mm$)	[-]
t_L	Laufzeit der Läufer	[h]
T	Anzahl der Drehungen pro Meter im Garn	[1/m]
T_s	Drehungsstau	[%]
T_t	Garnfeinheit	[tex]
T_V	Anzahl der Drehungen pro Meter im Vorgarn	[1/m]
v_m	mittlere Luftgeschwindigkeit durch die Langlöcher	[m/s]
v_{Lm}	mittlere Luftgeschwindigkeit im Auswertebereich	[m/s]
v_{Lmin}	Mindest-Luftgeschwindigkeit für einen Fasertransport	[m/s]
v_L	Luftgeschwindigkeit um den Unterzylinder	[m/s]

Symbol	Erläuterung	Dimension
v_{Luft}	Luftgeschwindigkeit	[m/s]
v_{R}	Relativgeschwindigkeit zwischen Faser und Luft	[m/s]
v_{Sp}	Spinningsgeschwindigkeit	[m/s]
v_x	Luftgeschwindigkeit in x-Richtung	[m/s]
v_{I}	Umfangsgeschwindigkeit des Unterzylinders I	[m/s]
v_{II}	Umfangsgeschwindigkeit des Unterzylinders II	[m/s]
v_{III}	Umfangsgeschwindigkeit des Unterzylinders III	[m/s]
v_{IV}	Umfangsgeschwindigkeit des Unterzylinders IV	[m/s]
\dot{V}	Gesamtvolumenstrom	[m ³ /s]
\dot{V}_{L}	Volumenstrom durch ein Kreisloch	[m ³ /s]
$\dot{V}_{\text{L+LL}}$	Gesamtvolumenstrom von Kreisloch und Langloch	[m ³ /s]
\dot{V}_{LL}	Volumenstrom durch ein Langloch	[m ³ /s]
V_{V}	Vorverzug	[%]
W	Widerstandsfaktor	[1]
W_{F}	berechneter Widerstandsfaktor einer einzelnen Faser	[1]
W_{BR}	berechneter Widerstandsfaktor bei konstanter Garnfeinheit	[1]
x_{D}	Koordinate im Auswertebereich des Druckroller	[m]
x_{U}	Koordinate im Auswertebereich des Unterzylinders	[m]
x_{z}	Koordinate im Auswertebereich des Zwickels	[m]

Griechische Buchstaben

Symbol	Erläuterung	Dimension
Δ	Differenz	[-]
μ_{D}	Reibungskoeffizient zwischen Druckroller und Gitterriemchen	[1]
μ_{S}	Reibungskoeffizient zwischen Saugrohr und Gitterriemchen	[1]
ρ	Dichte der Luft	[kg/m ³]
ν	kinematische Viskosität	[m ² /s]

Summary

Compact spinning is a modified ring spinning process with a pneumatic fibre bundling after the drafting process. Yarn hairiness is considerably reduced by this bundling. Furthermore, yarn tenacity is increased by about 15 % in comparison to ring spun yarn. The reduction of hairiness as well as the increase of tenacity depend on the quality of fibre bundling in the compacting zone. For this reason it is of great importance to create a bundling which is as efficient as possible. Therefore, the parameters which influence the process have to be known.

This dissertation deals with the analysis and optimisation of the compact spinning with the aim to analyse the process of compact spinning and enhance the efficiency of fibre bundling and so to improve the economic efficiency of the process. Moreover the influence and the characteristics of the raw material on regards the bundling process were examined.

The drafting process has to be adjusted optimally to produce high quality yarn. Within this thesis especially the effect of the twist of roving and on yarn quality had to be examined. Not only yarn evenness but also the preliminary draft force form an essential quality criteria.

Fibre bundling on the compacting apron is reached by air current. In this context the question of the impact of current around the pair of front rollers on the compacting apron surface had to be analysed. The tests were carried out by means of the 'Particle Image Velocimetry' method (PIV), by which not only the flow direction, but also the speed can be determined. The measurement revealed that there always is an air current at the front rollers which is directed against the material transport direction. However, the force of this air current is too low to disturb the bundling process.

The process of bundling is influenced by a number of parameters. These parameters can be divided into two categories: yarn specific parameters and current-technical parameters. The fibre characteristics are given by yarn construction but they vary in a wide range. The current-technical parameters the impact and optimal setting of which

had to be found out. To be able to come to a definite evaluation about the single parameters a resistance factor had to be developed which describes the resistance which the fibre exerts in the bundling process.

The process of bundling is done on a compact apron equipped with holes that are designed in the form of one line or multirow alignment. The experiments showed that the resistance factor grows according to fibre length, amount of fibres and spinning speed (fibre speed). Finer fibres are more easily moved by the air current than heavier one. This appears to be obvious but during the production of a certain yarn count the influence of the finer fibre is sometimes compensated by the influence of the sheer number of fibres. If the yarn count is constant the number of fibre increases in proportion to fibrefiness. Measurements and calculations have shown that the influence of a lower flexural strength of finer fibres is at least compensated during the spinning of yarns of equal yarn count by a higher number of fibres.

The examination of the current parameter has proved that a combination of circular holes and elongated hole in a quota of two to one is an ideal one for compact aprons. By means of a changed suction hole underneath the compact apron the efficiency of the bundling process could be increased considerably. Thus permitting the use of a compact apron with three rows of holes arranged in parallel direction. The increase in bundling – in comparison to the discussed solution from above – is not as high as to justify the additional technical expenditure. By using an air guide plate you increase the speed of the air current. This also means an increase in effect meaning the width in which the transport of fibre happens from this follows a higher changing width leading to a more economical compact spinning.

The resistance factor developed makes it possible to quantify the influence of changes on fibre bundling in the compacting zone. This enables the manufacturers of compact spinning machines to adjust the machines in a technical ideal margin. This also allows the operator to optimally adjust the selectable parameters to the respective type of row material. By analysing the current-technical parameters the further development of compact spinning has been given impulses which above lead to a significantly raised profitability.

Kurzfassung

Das Verdichtungsspinnen ist ein modifiziertes Ringspinnverfahren, bei dem eine pneumatische Faserbündelung nach dem Verzugsprozess stattfindet. Durch diese Faserbündelung reduziert sich die Garnhaarigkeit außerordentlich stark. Zudem nimmt die Garnfestigkeit im Vergleich zur Festigkeit des Ringspinnngarns um etwa 15 % zu. Die Reduzierung der Garnhaarigkeit sowie die Steigerung der Garnfestigkeit sind von der Güte der Faserbündelung in der Verdichtungszone abhängig. Es ist daher von großer Bedeutung, die Faserbündelung möglichst effizient zu gestalten. Dazu müssen die den Faserbündelungsvorgang beeinflussenden Parameter bekannt sein.

Die vorliegende Arbeit befasst sich daher mit der Analyse und der Optimierung des Verdichtungsspinnens mit dem Ziel, den Verdichtungsprozess im Detail zu untersuchen und die Effektivität der Faserbündelung und damit auch die Wirtschaftlichkeit des Spinnverfahrens zu verbessern. Des Weiteren wird untersucht, welchen Einfluss die Eigenschaften des Rohstoffs auf den Faserbündelungsvorgang haben.

Für die Herstellung eines Garns höchster Qualität muss der Verzugsprozess optimal eingestellt werden. Im Rahmen der Arbeit wird speziell untersucht, welche Auswirkungen die Höhe der Vorgarndrehung und der Vorverzug auf die Garnqualität haben. Als Qualitätskriterien dienen neben der Garnleichmäßigkeit auch die Vorverzugskraft.

Die Bündelung der Fasern auf dem Verdichtungsriemchen erfolgt mittels Luftströmung. In diesem Zusammenhang war die Frage zu klären, ob die Schleppströmung um das Ausgangswalzenpaar den Bündelungsvorgang auf der Riemchenoberfläche stört. Die Untersuchungen wurden mit Hilfe der Particle Image Velocimetry (PIV) durchgeführt, mit der nicht nur die Strömungsrichtung, sondern auch die Geschwindigkeit bestimmt wird. Die Messungen ergaben, dass sich am Ausgangswalzenpaar immer eine Luftströmung entgegen der Materialflussrichtung ausbildet. Die Stärke dieser Luftströmung ist allerdings zu gering, um den Faserbündelungsvorgang zu stören.

Die Faserbündelung erfolgt auf einem Riemchen, das am Umfang mit Löchern versehen ist, die einreihig oder mehrreihig angeordnet sein können. Der eigentliche Faserbündelungsvorgang wird von einer Vielzahl von Parametern beeinflusst. Die Parameter lassen sich in zwei Kategorien einteilen: faserspezifische und strömungstechnische Parameter. Die Fasereigenschaften sind durch die Garnkonstruktion vorgegeben. Allerdings variieren sie in einem weiten Bereich. Die strömungstechnischen Parameter sind diejenigen Größen, deren Einfluss es zu ermitteln und deren optimale Auslegung es zu bestimmen galt. Um die Bedeutung der einzelnen Parameter besser beurteilen zu können, wurde ein sogenannter Widerstandsfaktor entwickelt, der den Widerstand beschreibt, den die Fasern einer Faserbündelung entgegensetzen. Die Untersuchungen ergaben, dass der Widerstandsfaktor mit der Faserlänge, der Fasermasse und der Spinnengeschwindigkeit (Fasergeschwindigkeit) zunimmt. Feinere Fasern lassen sich leichter durch den Luftstrom bewegen als grobe Fasern. So offensichtlich der Einfluss der Faserfeinheit an sich auch ist, bei der Herstellung eines bestimmten Garns wird der Feinheitseinfluss manchmal durch den Faserzahleinfluss kompensiert. Ist die Garnfeinheit konstant, dann nimmt die Faserzahl proportional zur Faserfeinheit zu. Messungen und Berechnungen ergaben, dass der Einfluss der geringeren Biegesteifigkeit feinerer Fasern beim Spinnen von Garnen gleicher Feinheit zumindest teilweise durch die höhere Faserzahl kompensiert wird.

Die Untersuchung der strömungstechnischen Parameter zeigte, dass eine Kombination aus kreisrunden Löchern und Langlöchern im Verhältnis von zwei zu eins eine optimale Riemchenperforation ist. Durch eine veränderte Saugöffnung unterhalb des Riemchens konnte die Effektivität des Faserbündelungsvorgangs erheblich gesteigert werden. Das ermöglichte den Einsatz eines Riemchens mit drei nebeneinander angeordneten Lochreihen. Allerdings war der Zugewinn an Bündelungsintensität, verglichen mit der zuvor diskutierten Lösung, nicht so groß, dass sich der zusätzliche technische Aufwand lohnen würde. Wird die Luftströmung mittels eines Luftleitblechs im Faserbündelungsbereich geändert, dann erhöht sich die Luftgeschwindigkeit. Infolgedessen erhöht sich auch die Wirkungsbreite, d.h. die Breite, innerhalb der ein Fasertransport erfolgt. Hierdurch erhöht sich die Changierbreite und die Wirtschaftlichkeit des Verdichtungsspinnens.

Der entwickelte Widerstandsfaktor ermöglicht es, den Einfluss von Veränderungen in der Verdichtungszone auf die Faserbündelung zu quantifizieren. Hierdurch können Hersteller von Verdichtungsspinnmaschinen ihre Maschinen technisch optimal auslegen und gestatten es dem Betreiber, die wählbaren Parameter optimal an den Rohstoff anzupassen. Durch die Analyse der strömungstechnischen Parameter werden der Weiterentwicklung des Verdichtungsspinnens neue Impulse gegeben, die vor allem in Richtung einer verbesserten Wirtschaftlichkeit weisen.

1 Einleitung

Um ein Stapelfasergarn herzustellen, stehen eine Vielzahl von Spinntechnologien, z.B. das Ring-, OE-Rotor-, Luft-, Friktions-, oder Topfspinnen zur Verfügung. Trotz dieser Vielfalt haben nur das Ring-, das OE-Rotor- und das Luftspinnen einen nennenswerten Marktanteil erreicht, wobei das Luftspinnen mit weniger als 5 % Marktanteil zur Zeit nur eine geringe Rolle spielt, jedoch an Bedeutung gewinnt [1].

Der Zeitpunkt der einzelnen Erfindungen - Ringspinnen im Jahr 1844, OE-Rotorspinnen Ende 1960 und Luftspinnen Ende der achtziger Jahre - macht deutlich, wie lange das Ringspinnen dominierte. Noch heute werden 80 % aller Stapelfasergarne auf Ringspinnmaschinen gesponnen [2, 3]. Noch erstaunlicher ist diese Tatsache, wenn die Produktivität dieser drei Verfahren verglichen wird. So beträgt die Produktion einer Ringspindel nur ein Zehntel der Produktion einer OE-Rotorspinnstelle und sogar nur ein Zwanzigstel der Produktion einer Luftspinnstelle. Daher stellt sich die Frage, warum das Ringspinnen nach wie vor diese Marktstellung behaupten kann?

Die Antwort liegt in der großen Flexibilität des Ringspinnens und in der Qualität der Ringgarne, die nach wie vor den Qualitätsstandard für alle Garne vorgeben [4]. An diesem Qualitätsstandard werden die durch andere Spinntechnologien hergestellten Garne gemessen [5-15]. Die Spinntechnologie bestimmt die Garnstruktur und diese wiederum die Garnqualität.

In den achtziger Jahren wurde der Entwicklungsschwerpunkt beim Ringspinnen auf Automation und auf Verbund mit vor- und nachgelagerten Prozessen gelegt [16-22]. Die Garnqualität wurde durch die Entwicklung neuer Streckwerke und Druckrollerbezüge verbessert. Somit wurden und werden auch weiterhin im Ringspinnen kontinuierliche Verbesserungen erreicht; es wurden aber keine weiteren Entwicklungssprünge mehr erwartet.

Bei der Entwicklung eines neuen Spinnverfahrens, das am Markt erfolgreich sein soll, müssen mehrere Anforderungen erfüllt werden. Diese Anforderungen können als Säulen gedacht werden, die das Spinnverfahren tragen. Die drei Säulen sind Flexibilität, Garnqualität und Produktivität. Die Säulen dürfen unterschiedliche Höhen

aufweisen, aber nie eine Mindesthöhe unterschreiten. Ein Spinnverfahren mit einer Produktion von 400 m/min (MVS – Luftspinnen der Fa. Murata), einer Garnqualität gleich der des Ringgarns und der Flexibilität des Ringspinnens würde sicherlich alle derzeit etablierten Spinnverfahren verdrängen. Dem Friktionsspinnen wurde ein solches Potenzial zugetraut; jedoch scheiterte dieses hochproduktive Verfahren an der schlechten Garnstruktur, sowie an der ungenügenden Prozessstabilität.

Keines der neuen Spinnverfahren konnte bislang das Ringspinnen vom Markt verdrängen, wenngleich das Rotorspinnen im Bereich grober bis mittelfeiner Garne in den Industrieländern das dominierende Verfahren wurde. Gewichtsmäßig wird etwa die Hälfte der Garnproduktion nach dem Rotorspinnverfahren erzeugt. Das Ringspinnen wird erst dann ersetzt werden, wenn ein neues Spinnverfahren die Garnqualität der heutigen Ringgarne erreicht und zugleich wirtschaftlicher ist.

Unabhängig von den Bestrebungen, neue Spinnverfahren zu entwickeln, hat es nicht an Bemühungen gefehlt, auch das Ringspinnverfahren zu verbessern. Ein Ergebnis dieser Entwicklungsanstrengungen ist das Verdichtungsspinnen, das - wie noch gezeigt werden wird - weniger ein modifiziertes Ringspinnverfahren ist, sondern sich zu einem eigenständigen Spinnverfahren entwickelt, allerdings auf der Basis der Ringspinnmaschine. Beim Verdichtungsspinnen wird das Ziel verfolgt, ein Garn mit einer neuen Struktur zu entwickeln, dessen Qualität (glattere Oberfläche, höhere Festigkeit) über der des klassischen Ringgarns liegt.

Hierdurch wird der Weg geöffnet, klassische Ringgarne zu substituieren. Möglich wurde diese Qualitätssteigerung dadurch, dass dem Streckwerksbereich eine Verdichtungszone nachgeschaltet wird. Bis zur Verdichtungszone kann somit das Ringspinn Know how genutzt werden. Es ist jedoch unumgänglich, dieses Know how zu erweitern, da die beim Ringspinnen geltenden Grenzen nicht zwangsläufig auch für das Verdichtungsspinnen gültig sein müssen. Als Beispiel sei das Verspinnen von kurzstapligen Rohstoffen erwähnt, die nur nach dem Verdichtungsspinnverfahren ausgesponnen werden können.

Um den Unterschied zwischen Ringspinnen und Verdichtungsspinnen zu verdeutlichen, werden zunächst das Ringspinnen und anschließend das Verdichtungsspinnen beschrieben.

Funktionsweise des Ringspinnens (siehe Bild 1)

Der Ringspinnmaschine wird ein Vorgarn (11) vorgelegt, das auf dem Streckwerk (1) bis zur gewünschten Garnfeinheit verzogen wird. Bis zum Streckwerksausgang liegen die Fasern parallel; sie haben nur eine geringe Haftung untereinander. Um dem parallelen Faserverband eine Festigkeit zu verleihen, muss dieser verdreht werden. Dies entspricht der eigentlichen Garnbildung und findet im Bereich des Spinddreiecks (10) statt, das unterhalb des Ausgangszylinderpaares liegt. Für die außenliegenden Fasern ist der Weg zum Einbindepunkt E länger als für mittigliegende. Infolgedessen werden die Fasern mit unterschiedlicher Spannung in den Garnkörper eingebunden. Die Drehung wird über den Läufer (3), der auf dem Ring (4) umläuft, in das Garn eingebracht. Angetrieben wird der Läufer über einen Kops (7), der auf einer rotierenden Spindel (5) sitzt. Durch die hohe Umfangsgeschwindigkeit bildet sich ein Fadenballon (2) aus. Um diesen aus Stabilitätsgründen zu begrenzen, wird ein Balloneinengungsring (8) eingesetzt. Der Fadenführer (9) stabilisiert den Faden zusätzlich. Der Kopsaufbau erfolgt über die Hubbewegung der Ringbank (6).

Funktionsweise des Verdichtungsspinnens (siehe Bild 2)

Beim Verdichtungsspinnen ist dem Streckwerk (1) die Verdichtungszone (Vz) nachgeschaltet. In der Verdichtungszone (Vz) werden die aus dem Streckwerk (1) austretenden Fasern auf einem perforierten Riemchen (1b) gebündelt; das Spinddreieck wird somit eliminiert. Erreicht wird diese Bündelung mit Hilfe eines Luftstroms, der durch das perforierte Riemchen (1b) in das Verdichtungselement (1a) gesaugt wird. Nach Verlassen der Verdichtungszone (Vz) entspricht der Spinnprozess wieder dem des Ringspinnens mit dem Unterschied, dass eine neue Garnstruktur vorliegt, die den Bereich zwischen Faseraustritt und Fadenaufwindung beeinflusst.

Zum Beispiel führt die glattere Oberflächenstruktur der Verdichtungsgarne zu einer besseren Drehungsfortpflanzung an den fadenführenden Elementen (8) und (9), wodurch der Spinnprozess stabiler ist. Im Ring/Läuferbereich (3) und (4) führt die glattere Oberflächenstruktur der Verdichtungsgarne zu einem erhöhten Läuferverschleiß, da weniger abstehende Haare für die Schmierung des Läufers (3) zur Verfügung stehen.

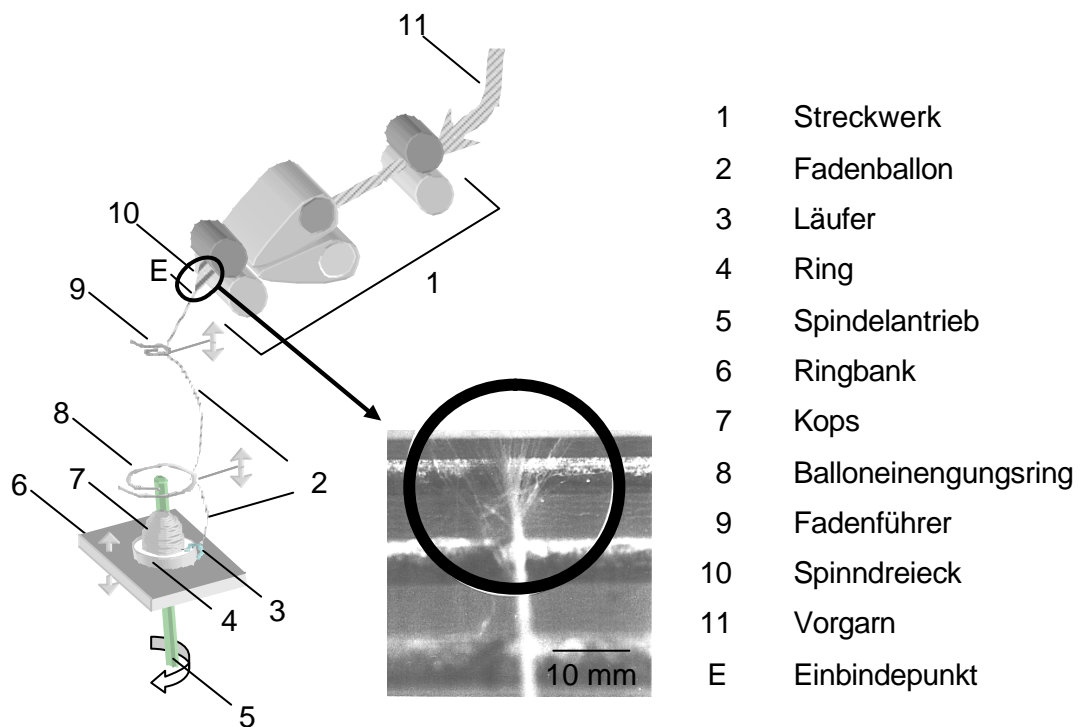


Bild 1: Prinzip des Ringspinnens.

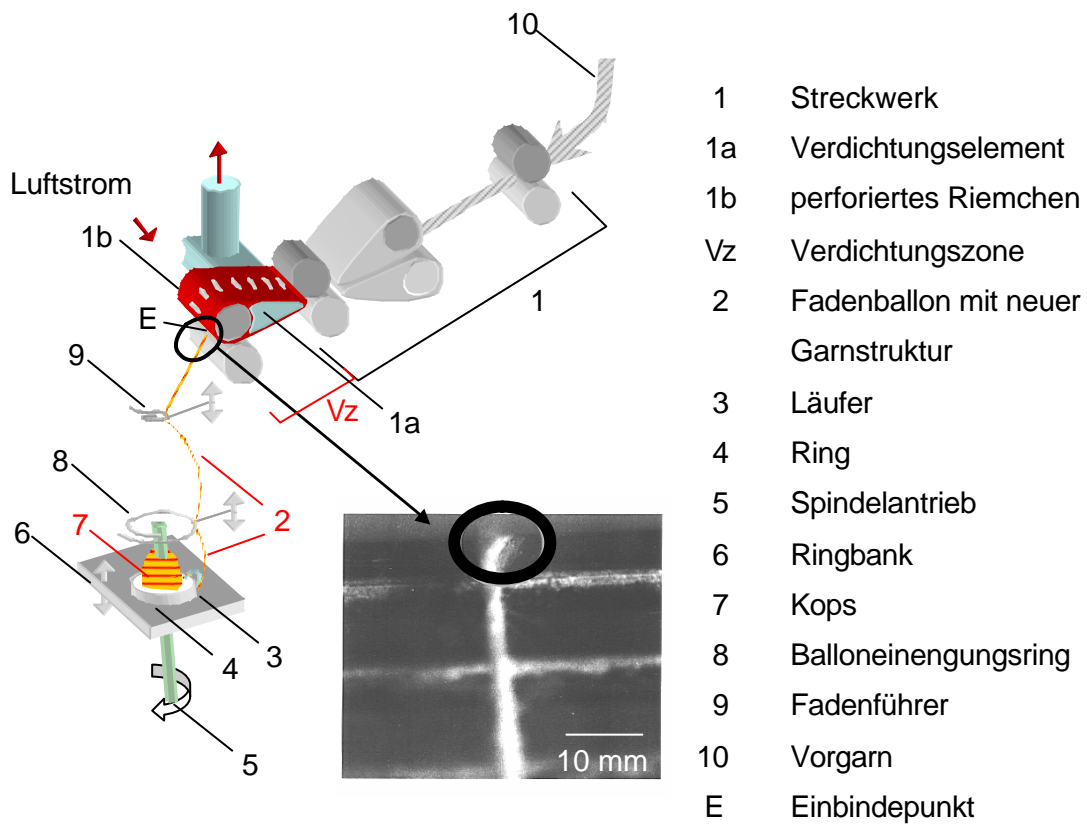


Bild 2: Prinzip des Verdichtungsspinnens.

Der Unterschied in der Struktur von Ring- und Verdichtungsgarnen wird am deutlichsten, wenn beide Garne unter dem Makroskop betrachtet werden (vgl. Bild 3). Es ist offensichtlich, dass sich das Verdichtungsgarn durch eine glattere Oberfläche, weniger abstehende Fasern und eine bessere Einbindung der Fasern auszeichnet.

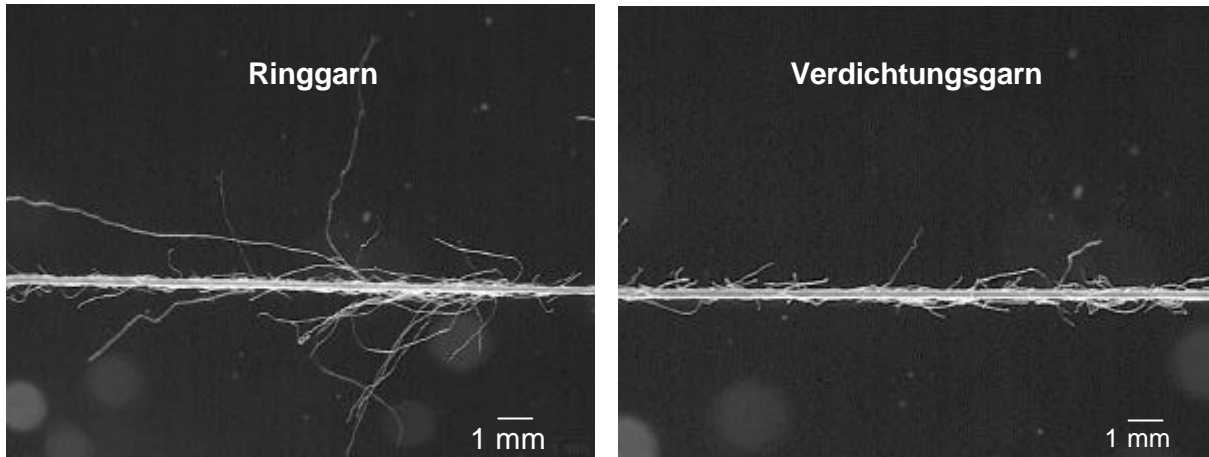


Bild 3: Makroskopische Aufnahmen vom Ring- und Verdichtungsgarn.

Das Verdichtungsspinnen ähnelt zwar dem Ringspinnen, es handelt sich aber um ein eigenständiges und neues Spinnverfahren [23]. Dieses Spinnverfahren zeichnet sich durch eine Bündelung der Fasern in der Verdichtungszone aus; das Spinnendreieck – die Schwachstelle des Ringspinnverfahrens – entfällt. Das führt zu einem Garn mit neuer Struktur, was sich in den Folgeprozessen (Webereivorbereitung, Weberei, Strickerei, Veredlung) positiv bemerkbar macht. Über die Vorgänge beim Verdichtungsspinnen liegen bislang nur lückenhafte Erkenntnisse vor. Diese Lücken zu schließen ist Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

2 Problemstellung

Wie erwähnt, wird zitiert, dass das Ringsspinnen auch in naher Zukunft das dominierende Spinnverfahren bleiben wird [1, 2]. Als diese Meinung geäußert wurde, waren das Verdichtungsspinnen und seine Vorteile noch nicht bekannt. Das Verdichtungsspinnen ist ein Spinnverfahren, mit dem qualitativ bessere Garne als Ringgarne hergestellt werden können. Diese neue Garnstruktur zeichnet sich im Vergleich zum Ringgarn durch eine geringere Garnhaarigkeit, eine höhere Festigkeit und eine höhere Dehnung aus [24]. Hierdurch bietet sich für den Spinner eine Vielzahl neuer, interessanter Einsatzmöglichkeiten. Eine der wirtschaftlich interessantesten Anwendungen des Verdichtungsspinnens besteht in der Möglichkeit, trotz Einsatzes eines Rohstoffs geringerer Qualität die gleiche Garnqualität zu erzielen wie beim klassischen Ringspinnverfahren. Die Tragweite dieser Möglichkeit wird deutlich, wenn bedacht wird, dass der Rohstoff ca. 50 bis 60 % der Herstellkosten eines Garns ausmacht [25]. Ein weiteres Potenzial des Verdichtungsspinnens liegt in der Möglichkeit, neuartige Garne zu spinnen, aus denen nicht kopierbare Produkte entwickelt werden können. So zeigen Gewebe aus Verdichtungsgarn ein klareres Warenbild und einen höheren Glanz als Gewebe aus Ringgarn. Im Bereich der Weiterverarbeitung zeichnen sich Verdichtungsgarne durch reduzierte Fadenbrüche in der Webereivorbereitung und auf der Webmaschine aus. Auch kann durch die geringere Haarigkeit der Schlichtemittelauftrag um etwa 40 % reduziert werden [26]. Dieser Aspekt ist nicht nur wirtschaftlich interessant, sondern auch unter ökologischen Gesichtspunkten.

Ein weiteres interessantes Einsatzgebiet für das Verdichtungsspinnen ist das Verspinnen von Rohstoffen, deren Kurzfaseranteil so hoch ist, dass ein Verspinnen nach dem Ringspinnverfahren nicht mehr möglich ist. Die Bandbreite der zu verspinnenden Rohstoffe ist also beim Verdichtungsspinnen größer als beim Ringspinnen.

Nachteilig am Verdichtungsspinnen ist der höhere Energieaufwand, der für die Erzeugung der Luftströmung benötigt wird. Da der Luftvolumenstrom, den ein Verdichter erzeugen kann, begrenzt ist, limitiert diese Tatsache auch die Anzahl der Verdichtungsspinnstellen pro Maschine. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit ist es

daher erforderlich, den Luftbedarf pro Spinnstelle zu reduzieren, um ähnlich lange Spinnmaschinen bauen zu können wie bisher. Die Luftströmung muss also optimiert werden.

Ein weiteres Problem des Verdichtungsspinnens besteht im größeren Spinnmittelverschleiß. So müssen beispielsweise die Druckroller öfter geschliffen werden als beim Ringspinnen, weil die Changierung¹ eingeschränkt ist. Während das Vorgarn beim Ringspinnen 10 bis $12 \cdot 10^{-3}$ m changiert werden kann, beträgt die Changierbreite beim Verdichtungsspinnen nur $4 \cdot 10^{-3}$ m. Dies hängt mit dem begrenzten Wirkungsbereich der Luftströmung zusammen. Wird eine Changierbreite von $4 \cdot 10^{-3}$ m überschritten, reicht die Luftströmung nicht mehr aus, die Fasern im Bereich der Perforation zu bündeln. Aus diesem Grund ist es notwendig, die Luftführung effektiver zu gestalten, um eine größere Changierbreite zu ermöglichen.

Die neue Garnstruktur bereitet darüber hinaus Probleme im Ring/Läuferbereich. Durch die geringe Haarigkeit der Verdichtungsgarne stehen weniger Fasern für die Schmierung des Läufers zur Verfügung. Die Folge ist ein erhöhter Läuferverschleiß und eine erhöhte Fadenspannung.

Es gibt also eine Reihe von Problemen, die beim Verdichtungsspinnen zu lösen sind. Dazu ist ein besseres Verständnis der Vorgänge beim Verdichtungsspinnen erforderlich. Um den Verdichtungsprozess besser zu verstehen, ist es notwendig, die Vorgänge in der Verdichtungszone und den Einfluss der neuen Garnstruktur auf den Bereich der Drehungserteilung zu analysieren und zu optimieren.

¹ Hubbewegung des Vorgarns.

3 Ziel der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist es, die Vorgänge in der Verdichtungszone und den Einfluss der neuen Garnstruktur auf den Bereich der Drehungserteilung zu analysieren, um bestehende Probleme, wie beispielsweise die geringe Changierbreite, zu beseitigen und die Wirtschaftlichkeit des Verdichtungsspinnens weiter zu erhöhen. Zur Lösung der damit verbundenen Aufgaben werden neue Messverfahren entwickelt. Die Vorteile der neuen Garne bei der Weiterverarbeitung sollen untersucht werden.

Zu den Zielrichtungen zählen:

- Ermitteln der Grenzen bezüglich des Fasereinsatzes.
- Entwickeln von Methoden zur effektiveren Nutzung des Luftstroms in der Verdichtungszone.
- Minimieren des Luftvolumenstroms, um die Spinnstellenanzahl erhöhen zu können.
- Analyse der Verdichtungswirkung in Abhängigkeit von der Garnfeinheit.
- Erhöhen der Changierbreite, um den Spinnmittelverschleiß zu reduzieren.
- Verbesserung der Ring/Läuferstandzeit.

Können diese Aufgaben wirtschaftlich sinnvoll gelöst werden, dann ist zu erwarten, dass Ringgarne durch Verdichtungsgarne ersetzt werden. Allerdings wird das viele Jahre dauern, weil die konventionellen Ringspinnmaschinen nicht auf den Verdichtungsprozess umgerüstet werden können, sondern durch Verdichtungsspinnmaschinen ersetzt werden müssen.

4 Aufgabenstellung

Aus Bild 4 gehen die wesentlichen Einflussfaktoren auf den Bündelungsvorgang und auf die Garnbildung hervor. Diese Einflüsse sollen untersucht werden. Nachfolgend werden die sich ergebenden Fragestellungen und die sich daraus ableitenden Aufgabenstellungen für die beiden Prozessschritte Verdichtung und Drehungserteilung aufgelistet.

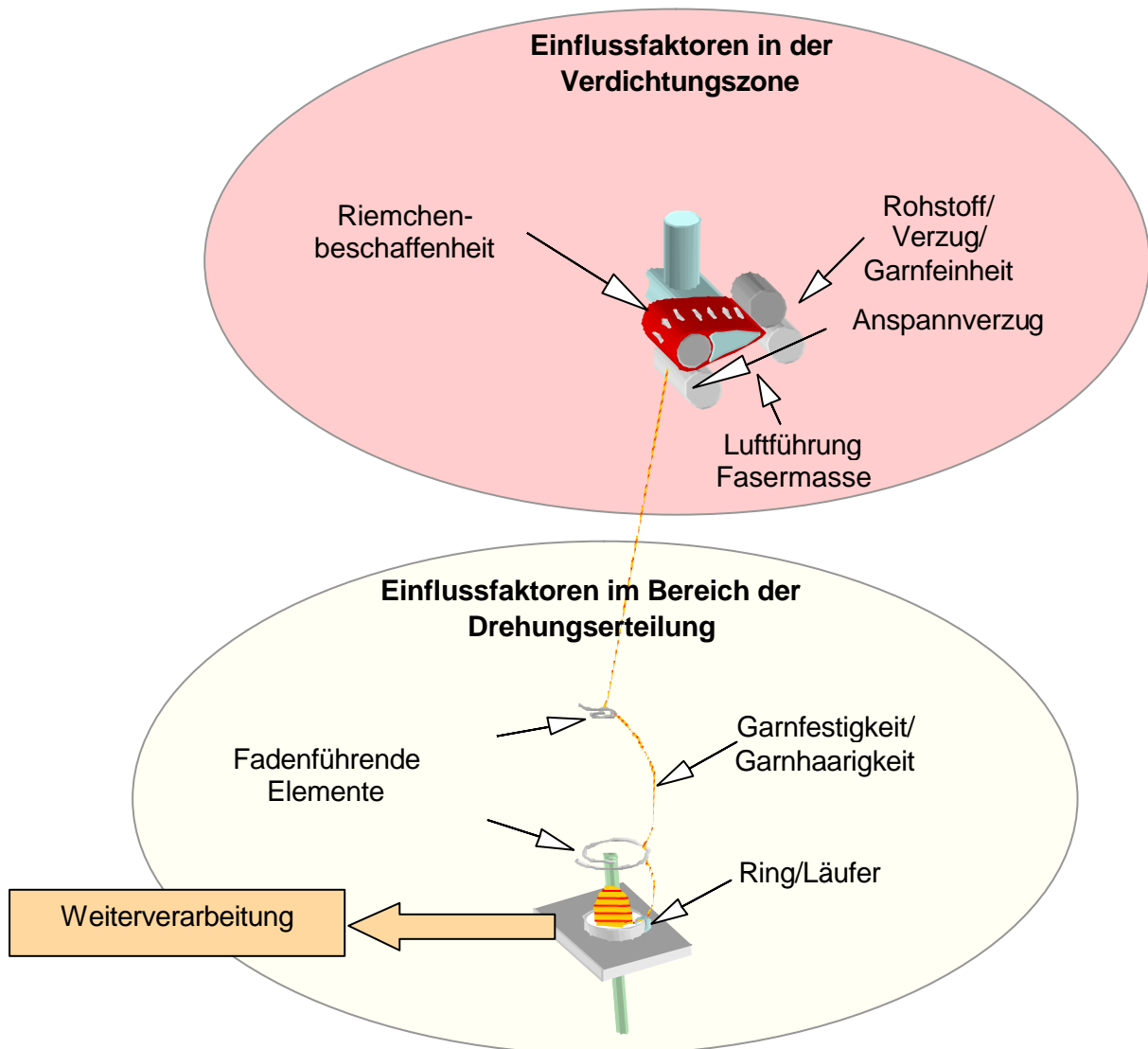


Bild 4: Einflussfaktoren in der Verdichtungszone auf den Bündelungsvorgang und im Bereich der Drehungserteilung auf die Prozessstabilität.

Verdichtungszone

Kern des Verfahrens ist das Bündeln der Fasern im Bereich der Perforation. Alle relevanten Parameter (vgl. Bild 4), die diesen Vorgang beeinflussen, wurden analysiert, variiert und optimiert. Im einzelnen wurden untersucht:

Rohstoff/Anspannverzug/Garnfeinheit

Faserlänge, Faserfeinheit, Faserlängenverteilung, Biegesteifigkeit der Faser und Rohstoff beeinflussen den Transport der Fasern durch den Luftstrom und die Bündelung auf der Perforation. So wird sich beispielsweise eine stärker gedehnte Faser nach Verlassen des Streckwerks wieder verkürzen. Um ihr dies zu ermöglichen, muss das perforierte Riemchen langsamer laufen als das Ausgangswalzenpaar des Streckwerks. Der Einfluss des Anspannverzugs² auf die Garnqualität und die Faserbündelung ist für verschiedene Rohstoffe zu untersuchen. Die Auswirkung der Fasermasse (Garnfeinheit) auf die Bündelungswirkung ist zu ermitteln.

Luftführung

Die Luft bewirkt den Fasertransport zur Perforation. Um beispielsweise die Changierbreite erhöhen zu können, muss die Luftgeschwindigkeit bei konstanter Druckdifferenz erhöht werden, wodurch sich der Fasertransport verbessert. Dazu wird die Luftströmung zunächst analysiert und es werden Möglichkeiten entwickelt die Luftgeschwindigkeit zu erhöhen.

Perforationsart

Über die Wahl der Perforation ist es möglich, die Garnqualität zu beeinflussen, u.a. die Garnhaarigkeit. Da 1 bis $2 \cdot 10^{-3}$ m kurze, abstehende Faserenden wichtig für die Deckkraft eines Gewebes sind, sollten nur die störenden langen Fasern (länger als 3 mm) eliminiert werden. Für Anwendungsfälle, die ein extrem glattes Garn erfordern, beispielsweise um die Pillingneigung zu reduzieren, sollen Garne ohne abstehende Fasern entwickelt werden. Es sind also Perforationen zu entwickeln, die es erlauben, eine definierte Garnhaarigkeit einzustellen.

² Anspannverzug = Geschwindigkeitsverhältnis zwischen perforiertem Riemchen und Ausgangswalzenpaar des Hauptverzugfelds.

Bereich der Drehungserteilung

Der Einfluss der Garnstruktur auf Drehungsstau, Ring/Läuferverschleiß und Feinheitsfestigkeit wird untersucht.

Fadenführende Elemente

Die glattere Oberfläche der Verdichtungsgarne hat eine bessere Drehungsfortpflanzung vom Läufer in Richtung Verdichtungsunterzylinder zur Folge. Die bessere Drehungsfortpflanzung als auch die andersartige Fasereinbindung machen es möglich, Garne mit einer Drehung zu spinnen, die nach dem Ringspinnverfahren nicht gesponnen werden können. Sowohl die Auswirkung der neuen Garnstruktur auf Ring und Läufer als auch die Weiterverarbeitung der Garne soll untersucht werden.

Ring/Läufer

Aufgrund der geringeren Haarigkeit der Verdichtungsgarne fehlen im Bereich von Ring und Läufer Fasern, die zerrieben werden und deren staubförmige Bruchstücke zur Bildung eines Schmierfilms beiträgt. Hierdurch steigt die Fadenzugkraft. Es soll geklärt werden, inwieweit die Fadenzugkraft durch Reduzieren des Läufergewichts verringert werden kann, ohne Spinnstabilität und Garnqualität negativ zu beeinflussen. Zudem werden neue Läuferbeschichtungen getestet, die zu einer Erhöhung der Läuferstandzeit führen könnten.

Weiterverarbeitung

Die neue Garnstruktur bedingt ein anderes Verhalten bei der Weiterverarbeitung, beispielsweise beim Weben. Die Auswirkung auf diesen Prozess sowie die Vor- und Nachteile gegenüber dem Ringgarn sollen ermittelt werden.

Entsprechend dieser Einflussanalyse wurde die vorliegende Arbeit in drei Abschnitte gegliedert. Im ersten Abschnitt wird das Verstrecken des Vorgarns im Streckwerk und dessen Einfluss auf die Garnqualität behandelt. Der zweite Abschnitt betrifft die Analyse der Vorgänge in der Verdichtungszone und deren Optimierung bezüglich Effektivität und Garnqualität. Im letzten Abschnitt werden Wege zur Kostenreduzierung beim Verdichtungsspinnen und mögliche Kosteneinsparungen bei der Weiterverarbeitung der Verdichtungsgarne aufgrund der besseren Garneigenschaften diskutiert.

5 Stand der Forschung

Beim Verdichtungsspinnen handelt es sich um ein neues Spinnverfahren, das sich aus einer Verdichtungseinheit und aus Komponenten des Ringspinnens zusammensetzt. Der Verstreckungsprozess entspricht dem des Ringspinnens. Aus diesem Grund wird zunächst der Stand der Forschung aus diesen Bereich (Kapitel 5.1) dargestellt. Anschließend werden die bislang publizierten Erkenntnisse über Verdichtungssysteme (Kapitel 5.2) vorgestellt. Zur Zeit gibt es drei Varianten des Verdichtungsspinnens, die sich wesentlich in der Gestaltung der Verdichtungszone unterscheiden. Zum Schluss werden Drehungserteilung und Fasereinbindung beschrieben (Kapitel 5.3). Dieser Prozessabschnitt ist für beide Spinnverfahren äquivalent.

5.1 Streckwerk

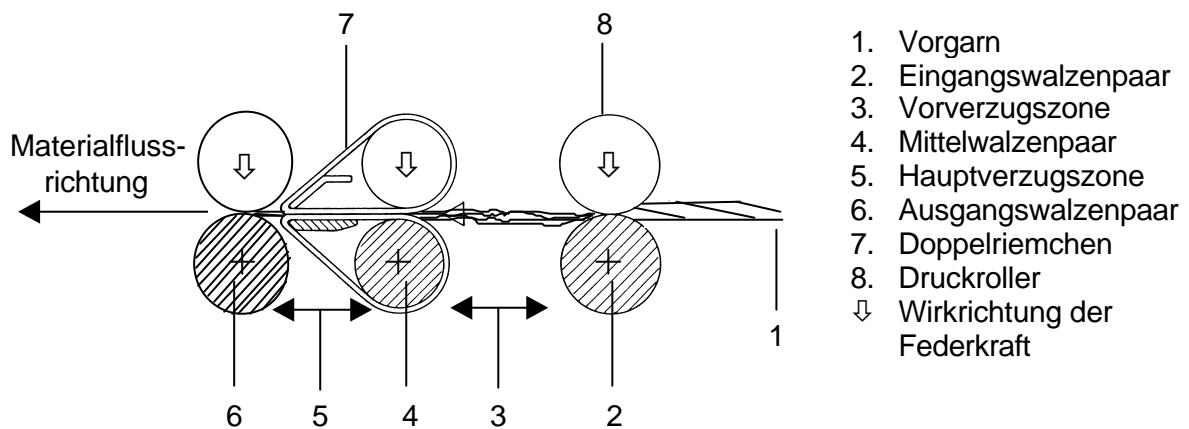


Bild 5: Elemente eines Streckwerks.

Die Aufgabe eines Streckwerks besteht in der Verfeinerung des vorgelegten Vorgarns (1). Realisiert wurde diese Aufgabe bei den ersten Streckwerken mittels Holzrollen, deren Umfangsgeschwindigkeit in Materialflussrichtung anstiegen. Durch deren Eigengewicht oder zusätzliches Aufbringen von Gewichten stellte sich die notwendige Klemmung für den Verzug ein. Später wurde erkannt, dass zusätzlich zur Verfeinerung des Vorlagematerials die Faserführung eine entscheidende Rolle für die Garnqualität spielt [27]. Casablanca und Le-Blanc-Roth [28] waren die ersten, die

Riemchen zur Faserführung im Streckwerk empfohlen. Somit ebneten beide den Weg für die heutigen, als Stand der Technik geltenden Doppelriemchenstreckwerke.

Ein wichtiger Einflussfaktor auf den Verzugprozess in Streckwerken ist der Druck, mit dem die Oberwalzen (Druckroller) belastet werden [29-32]. Gerade bei kritischen Fasertypen mit hoher Faser/Faserhaftung, die hohe Verzugkräfte zur Folge haben, sind hohe Belastungsdrücke unabdingbar [33]. Belastungsgewichte oder gar das Eigengewicht der Druckroller ergaben völlig unzureichende Klemmdrücke. Somit mussten bessere Belastungssysteme gefunden werden. Vorgeschlagen wurde u.a., den Belastungsdruck durch Magnetkräfte aufzubringen. Heute sind, vor allem in den USA, noch Millionen von Spinnstellen in Betrieb, bei denen dieses Belastungsprinzip genutzt wird. Streckwerke mit Magnetkraftbelastungen kamen aber schnell an ihre Leistungsgrenzen als Chemiefasern aufkamen. Aber auch beim Durchlaufen einer Dickstelle nimmt die Belastung degressiv ab. Wird die Belastung mittels Federkraft oder pneumatisch aufgebracht, so steigt die Kraft dagegen beim Durchlaufen einer Dickstelle durch die Klemmlinie an. Diese Art der Belastung ist an modernen Ringspinnmaschinen Stand der Technik. Wichtig ist bei beiden Systemen, dass der Belastungsdruck an die Verarbeitungseigenschaften des Fasermaterials angepasst werden kann [34].

Neben der Höhe des Belastungsdrucks spielt auch die Art der Faserklemmung im Hinblick auf die Garnqualität eine wichtige Rolle [35]. Durch den Einsatz weicher Druckrollerbezüge vergrößert sich die Klemmfläche zwischen Druckrollerbezug und Unterzylinder. Die Faserklemmung wird verbessert und der Schlupf zwischen den Walzen verringert. Auch verbessert sich die Faserführung durch den Einsatz weicher Druckrollerbezüge. Während harte Druckroller das Faserbändchen eher verbreitern, umhüllen weiche Druckrollerbezüge die Fasern, was zu einer kontrollierteren Faserführung und zu einer besseren Einbindung der Fasern im Spinnendreieck führt [36, 37].

Der Abstand des Ausgangswalzenpaars zum Doppelriemchen hat einen entscheidenden Einfluss auf die Kontrolle der Kurzfasern. Der Anteil nicht kontrollierbarer Kurzfasern ist um so höher, je weiter der Verzugspunkt vom Doppelriemchen entfernt ist [38]. Daher haben sich Doppelriemchen durchgesetzt, deren "Maul" bis in den

Zwickel des Abzugwalzenpaars hineinreicht. Durch den Einsatz von Hauptfeldverdichtern, die die Fasern im Verzugsunkt zusammenführen, wird ein Breitlaufen der Fasern verhindert. Infolgedessen reduzieren sich die Garnhaarigkeit und der Faserflug. Die Garnhaarigkeit hängt somit unmittelbar mit der Fasereinbindung im Spinddreieck zusammen [39]. Die Reibung der Fasern an der Hauptfeldverdichterswand wirkt sich nachteilig aus, was wiederum die Garngleichmäßigkeit verschlechtert und einen Anstieg der IPf-Werte³ zur Folge hat [40]. Solche Systeme sind sehr stör anfällig. Für ein Spinnverfahren, das Garne geringer Haarigkeit gewährleisten soll, ist es von Vorteil, wenn der Verzugsprozess von der Verdichtung (Bündelung) getrennt wird. Beim Verdichtungsspinnen wird genau dieser Forderung nachgekommen, wobei die Verdichtung pneumatisch durchgeführt wird. Hierdurch entfällt die bei mechanischen Verdichtern störende Reibung der Fasern an der Verdichterswand.

5.2 Verfahren der Faserbündelung

Ein Ansatz zum Verdichtungsspinnen kann aus einem Patent von Fehrer [41] abgeleitet werden. Ziel der Entwicklung war es nicht, die Garnqualität zu verbessern, sondern den Ringspinnprozess wirtschaftlicher zu gestalten [42]. Dazu waren nach Ansicht von Fehrer zwei Dinge notwendig. Erstens sollten mit einem Druckroller zwei Spinnstellen betrieben werden, um im Bereich des Streckwerks Kosten einzusparen. Zweitens sollte der Flyerprozess eliminiert werden, wodurch nicht nur die Transportkosten der Flyerspulen zur Ringspinnmaschine eingespart werden, sondern auch Platz-, Lohn- und Energiekosten. Die Summe dieser Einsparungen sollten das Ringspinnverfahren auch für die Zukunft interessant machen.

³ Imperfections: Anzahl der Dünn- und Dickstellen in einem Garn

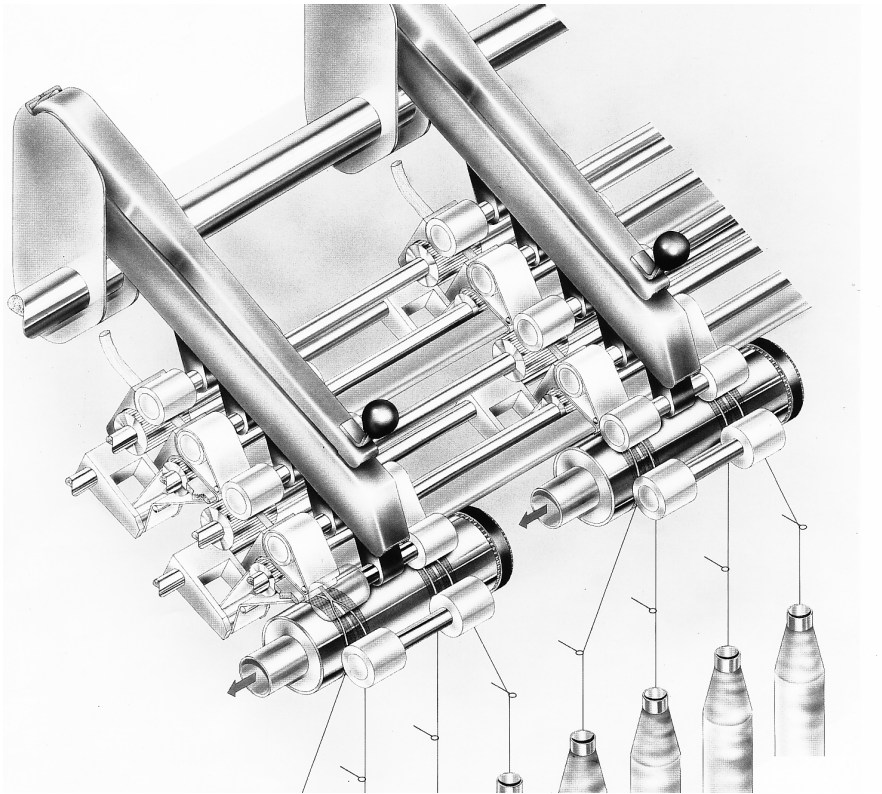


Bild 6: DREF-Spinnverfahren mit Bandvorlage und pneumatischer Verdichtung.

Auf der ATME 1989 wurde diese Ringspinmaschine als DREF-Spinnester vorgestellt (Bild 6). Dem Spinnester wurden Streckenbänder vorgelegt, die zunächst verzogen, danach im Hauptverzugsfeld pneumatisch zu zwei Bändchen aufgeteilt und anschließend durch Saugen und Blasen verdichtet wurden. Das Verdichten erfolgt auf dem perforierten Vorderzylinder, auf dem zwei Druckroller angeordnet sind. Der erste Druckroller bildet die Klemmlinie des Hauptverzugsfelds, der zweite verhindert die Drehungsfortpflanzung.

Nach diesem Verfahren wurden Garne hergestellt, die mit Ring-, Rotor- und Luftspinn Garnen verglichen wurden. Vergleiche ergaben Vorteile bezüglich der Feinheitsfestigkeit [43]. Hiernach ergaben sich bei gekämmten Garnen, je nach Garndrehung, Garnfestigkeitssteigerungen von 0,01 bis 0,02 N/tex. Beispielsweise betrug die Feinheitsfestigkeit eines gekämmten Ringgarns (15 tex, 960 T/m) beim konventionellen Ringspinnverfahren 0,187 N/tex, beim DREF-Verfahren 0,197 N/tex. Auch die Haarigkeit der DREF-Ringgarne war geringer als die der konventionellen Ringgarne, wodurch sich das Laufverhalten in der Webereivorbereitung und in der

Weberei [44] verbessert. Die Verflugung⁴ von Maschinen reduziert sich. Die Eigenschaften der DREF-Garne waren nach diesen Untersuchungen deutlich besser als die der konventionellen Ringgarne [45-47].

Da die DREF-Ringgarne eine höhere Festigkeit aufwiesen als herkömmliche Ringgarne, wurde vorgeschlagen, die Drehung so weit zu reduzieren, bis die Festigkeit der DREF-Garne derjenigen herkömmlicher Ringgarne entsprach. Diese Drehungsreduzierung kommt einer Produktionssteigerung der Ringspinnmaschine gleich. Aus diesem Grund schrieb Fehrer in der Offenlegungsschrift: „Die Spinnleistung ist innerhalb der gegebenen Grenzen für den Spulenantrieb zu steigern, ohne einen Festigkeitsverlust befürchten zu müssen“ [48]. Da die Teilung der Streckenbänder nicht gleichmäßig genug gelang, wird in dieser Offenlegungsschrift vorgeschlagen, der Spinnmaschine keine Streckenbänder, sondern Flyerlunten vorzulegen. Die Entwicklungen der Fa. Fehrer wurden von der Fa. Rieter übernommen. Die Fa. Rieter erkannte das im Verdichten liegende Potenzial und brachte als erste Firma eine serienreife Verdichtungsringspinnmaschine auf den Markt. Darauf wird später eingegangen.

1991 meldete die Firma SKF Textilmaschinen-Komponenten GmbH ein Streckwerk zum Patent an, mit dem folgendes bewirkt werden sollte „...Nachteile bekannter Doppelriemchenstreckwerke zu verringern, wie zum Beispiel die Garnhaarigkeit, die Faserverluste und die Fadenbrüche zu reduzieren und die Spinnqualität, vor allem bei hohen Drehzahlen, zu verbessern...“ [49]. Bild 7 enthält eine Skizze dieses Streckwerks. Die Fasern werden durch das Doppelriemchen in der Faserbündelungszone zum perforierten Druckroller transportiert. Der Druckroller ist hohl und wird von innen besaugt. Fasern, die in den Wirkungsbereich der Luftströmung kommen, werden auf der Perforation gebündelt, wodurch das Spinn dreieck unterdrückt werden soll. Neu an diesem Verfahren ist, dass die Fasern nicht mehr mittels Saugen und Blasen gebündelt werden, sondern nur durch Saugen.

⁴ Störende Ablagerungen von kurzen Fasern und Faserfragmenten auf der Maschine.

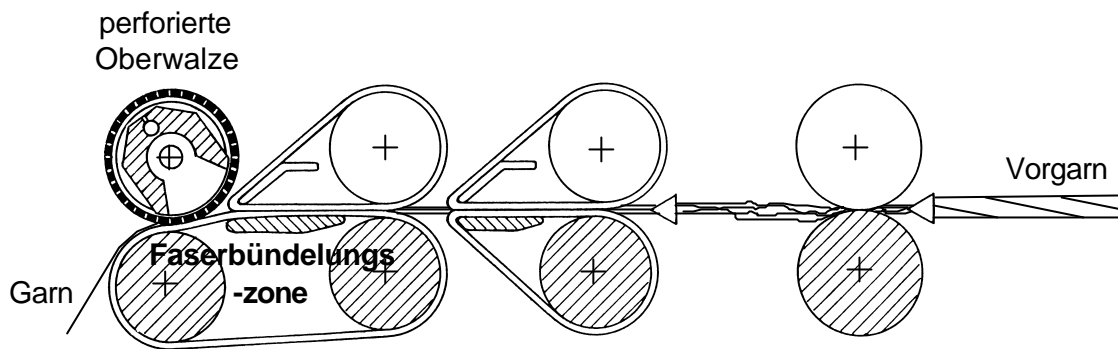


Bild 7: Skizze des SKF-Streckwerks zur Faserbündelung [49].

Das Streckwerk nach SKF weist allerdings einige Nachteile auf. Da ein Riemchen über die Ausgangsunterwalzen läuft, muss ein hoher Druck aufgebracht werden, um einen einwandfreien Verzug in der Klemmlinie zu erreichen [50]. Der hohe Druck und die für ein Streckwerksriemchen vergleichsweise hohe Geschwindigkeit führen zu einem hohen Riemchenverschleiß. Auch findet das Bündeln der Fasern erst unmittelbar vor dem Lieferwalzenpaar statt, was die Faserbündelung erschwert. Weiterhin ist es nicht möglich, einen Verzug zwischen Ausgangswalzenpaar und Lieferwalzenpaar zu realisieren, da die Walzenpaare über ein Unterriemchen miteinander verbunden sind. All diese Nachteile waren gewichtig genug, die Entwicklung nicht weiter zu verfolgen.

Das Institut für Textil- und Verfahrenstechnik Denkendorf (ITV) meldete 1993 ein Patent an, das die zuvor aufgeführten Nachteile verhindert [50]. Ausführung und Funktionsweise dieser Entwicklung werden weiter unten ausführlich beschrieben.

5.2.1 Varianten der Verdichtungseinheiten

Auf der ITMA in Paris 1999 stellten vier Firmen - MAL (ITV-Patent), Rieter (Fehler-Patent), Suessen und Zinser (ITV-Patent) - Verdichtungsspinnmaschinen vor. Bei allen Maschinen wird das Spinddreieck durch eine pneumatische Verdichtung eliminiert. Auch wird bei allen Verfahren mit einer Trennung von Verzug und Verdichtung gearbeitet. Der Verzug erfolgt über ein Drei-Zylinder-Doppelriemchen-Streckwerk, wobei der Ausgangsunterzylinder des Rieter-Streckwerks aus einer

perforierten Walze besteht. Ausschlaggebend für die verbesserte Garnqualität ist in erster Linie das Eliminieren des Spinddreiecks. Dies wird bei allen drei Verfahren erreicht. Hinsichtlich der Ausführung der pneumatischen Verdichtung unterscheiden sich die drei Verfahren (Bild 8). Beim ITV-Verfahren (Fa. Zinser) werden die aus dem Ausgangswalzenpaar austretenden Fasern auf einem perforierten Riemchen gebündelt [50]. Die Fa. Rieter verwendet zur Bündelung der Fasern eine perforierte Walze mit innenliegender Saugdüse [51]. Beim Streckwerk der Fa. Suessen werden die Fasern mit Hilfe eines Saugrohrs, über das ein feines Gitterriemchen geführt wird, verdichtet [52].

Die Ausführung der Verdichtungseinheiten und deren Antrieb sind wichtig für das Laufverhalten der Maschine und die Konstanz der Verdichtung über eine lange Maschine. Aus diesem Grund werden die drei Verdichtungssysteme nachfolgend ausführlich beschrieben. Bild 8 zeigt die drei Verdichtungseinheiten und die Kraftübertragung auf die Verdichtungselemente.

Fa. Rieter

Die Verdichtungseinheit der Fa. Rieter besteht aus einer perforierten Walze, die nach dem Doppelriemchen angeordnet ist und die gleichzeitig als Ausgangsunterwalze des Streckwerks dient. Auf der perforierten Walze befinden sich zwei Druckroller. In Materialflussrichtung betrachtet, dient der erste Druckroller als Klemmlinie für das Hauptverzugsfeld und der zweite als Drallstop, damit die Garndrehung nicht in die Verdichtungszone hineinläuft. Innerhalb der perforierten Walze, und zwar im Bereich zwischen den Druckrollern, befindet sich die Absaugeinheit. In diesem Bereich werden die Fasern gebündelt.

Fa. Suessen

Das Verdichtungssystem der Fa. Suessen besteht aus einem Saugrohr, über das ein Gitterriemchen läuft, und einem Druckroller, der über ein Zahnrad vom Ausgangsdruckroller angetrieben wird. Das Saugrohr besitzt einen schrägen Schlitz, über den das sehr feine Gitterriemchen läuft. Die Luft strömt durch das Gitterriemchen in den schrägen Schlitz und bündelt die Fasern an der Schlitzkante. Das Gitterriemchen wird vom Druckroller angetrieben.

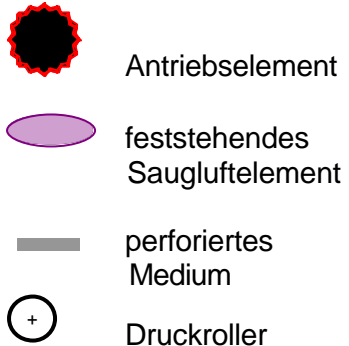
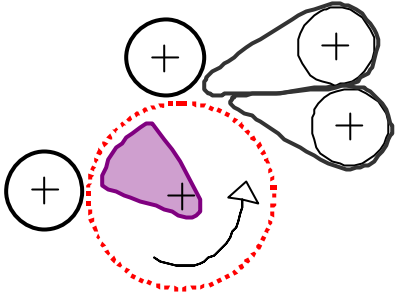
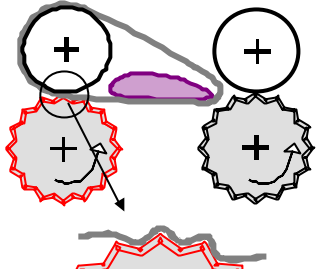
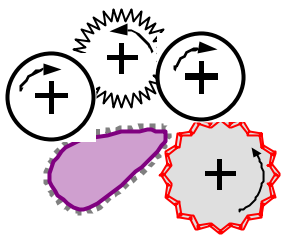
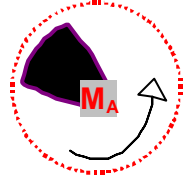
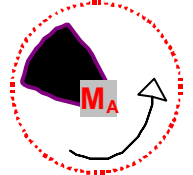
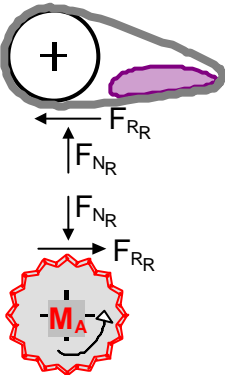
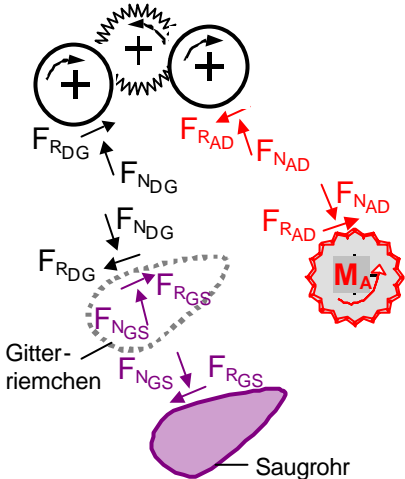
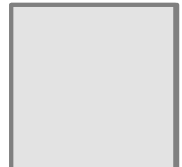
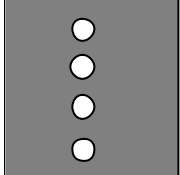

Hersteller (Erfinder) 	Rieter (Patent Fehrer) 	Zinser (Patent ITV-Denkendorf) 	Suessen 
Kräfte zur Übertragung des Antriebmoments M_A 			
Luft durchströmtes Faserführungselement	Perforierte Walze 	Perforiertes Riemchen 	Gitterriemchen 

Bild 8: Übersicht über die unterschiedlichen Verdichtungssysteme.

mit	M_A	Antriebsmoment,
	F_{NR}	Normalkraft zwischen Riemchen und Unterzylinder,
	F_{RR}	Reibkraft Riemchen,
	F_{NAD}	Normalkraft zwischen Antrieb und Druckroller,
	F_{RAD}	Reibkraft zwischen Druckroller und Antrieb,
	F_{NDG}	Normalkraft zwischen Druckroller und Gitterriemchen,
	F_{RDG}	Reibkraft zwischen Druckroller und Gitterriemchen,
	F_{NGS}	Normalkraft zwischen Gitterriemchen und Saugrohr,
	F_{RGS}	Reibkraft zwischen Gitterriemchen und Saugrohr.

Fa. Zinser

Die Verdichtungseinheit der Fa. Zinser ist dadurch gekennzeichnet, dass dem Streckwerk ein weiteres Walzenpaar nachgeschaltet ist. Über den Ausgangsdruckroller läuft ein perforiertes Riemchen, das durch einen Saugschuh geführt wird. Im Bereich des Saugschuhs strömt Luft durch die Perforation des Riemchens, wodurch die Fasern auf der Perforation gebündelt werden. Zwischen der Ausgangswalze des Streckwerks und der Verdichtungseinheit kann ein Verzug eingestellt werden. Druckroller, Streckwerksriemchen und Unterzylinder sind Elemente, die sich in der Spinnerei seit Jahrzehnten bewährt haben.

5.2.2 Variantenvergleich

Ein Vergleich der drei Systeme ergibt, dass beim Verdichtungssystem der Fa. Rieter ein Gleichlauf aller Verdichtungseinheiten gewährleistet ist. Aus technischen Gründen muss mit einer vergleichsweise großen perforierten Ausgangsunterwalze gearbeitet werden. Beim Verdichtungssystem der Fa. Zinser wird die Kraftübertragung über einen Teilformschluss und einen Kraftschluss erreicht. Teilformschluss deswegen, weil, wie anhand Bild 8 zu erkennen ist, die elastische Oberfläche des Riemchens sich in die Riffelung des Unterzylinders eindrückt. Durch die Art der Kraftübertragung ist ein Gleichlauf der Verdichtungseinheiten auch bei langen Maschinen gewährleistet. Das perforierte Gitterriemchen der Verdichtungseinheit der Fa. Suessen wird über eine feststehende Fläche gezogen, wobei, ähnlich wie beim Riemchen der Fa. Zinser, stärkere Reibkräfte überwunden werden müssen. Die Verdichtungseinheit ist zwar einfach aufgebaut, der Antrieb des Gitterriemchens aber

eher komplex. Werden die angreifenden Kräfte (Bild 8) betrachtet, so wird deutlich, dass der Antrieb des Gitterriemchens nur möglich ist, wenn die Reibung zwischen Gitterriemchen und feststehendem Saugrohr viel kleiner ist als die Reibung zwischen Druckroller und Gitterriemchen. Für die wirkenden Kräfte erhält man:

$$F_{R_{DG}} = \mu_D * F_{N_{DG}} \quad (1)$$

mit μ_D Reibungskoeffizient zwischen Druckroller und Gitterriemchen [-],
 F_R Reibkraft [N],
 F_N Normalkraft [N],
Indizes D Druckroller,
 G Gitterriemchen,
 S Saugrohr.

$$F_{R_{GS}} = \mu_S * F_{N_{GS}} \quad (2)$$

mit μ_S als Reibungskoeffizient zwischen Saugrohr und Gitterriemchen.

Für die Normalkräfte gilt: $F_{N_{DG}} = F_{N_{GS}}$;

Damit gilt für die Reibkraft:

$$F_{R_{DG}} = \frac{\mu_D}{\mu_S} * F_{R_{GS}} \quad (3)$$

Da die Normalkraft F_N mit zunehmendem Belastungsdruck ansteigt, kann der Belastungsdruck nicht sehr hoch gewählt werden, um die Reibkraft $F_{R_{GS}}$ zwischen Saugrohr und Gitterriemchen in Grenzen zu halten. Sonst steigt zwangsläufig der Verschleiß der Verdichtungselemente.

Werden die Verdichtungsspinnmaschinen bezüglich ihrer Flexibilität betrachtet, so bestehen zwischen den einzelnen Lösungen Unterschiede. Während die Fa. Rieter ihre Maschinen bevorzugt für die Verspinnung gekämmter Baumwollen und zur Herstellung feiner Garne empfiehlt, nennt die Fa. Zinser eine solche Begrenzung nicht. Bei dem Streckwerk der Fa. Zinser handelt es sich um ein Standard Hochverzugsstreckwerk, auf dem alle üblichen Kurzfasern versponnen werden können. Als weiteres kann das Geschwindigkeitsverhältnis zwischen Ausgangswalzenpaar und Streckwerk variiert werden. Dieses Geschwindigkeitsverhältnis wird als Anspannverzug bezeichnet. Er wird in dieser Arbeit ausführlich untersucht, da die Einstellmöglichkeiten eine Voraussetzung dafür sind, verschiedene Rohstoffe verspinnen zu können.

Die Fa. Rieter ist mit der derzeitigen Verdichtungseinheit nicht in der Lage, einen Anspannverzug einzustellen. Bei der Verdichtungseinheit der Fa. Suessen kann ein Anspannverzug durch die Wahl von Druckrollern mit unterschiedlichem Durchmesser erreicht werden. In der Praxis ist dies jedoch nicht praktikabel, da ein häufiger Wechsel von den Druckrollern zu aufwendig ist.

Für einige Anwendungsfälle ist es wünschenswert, die Haarigkeit des Garns gezielt einzustellen, da Gewebe aus Verdichtungsgarn "magerer" ausfallen können als solche aus Ringgarn. Bei der Verdichtungseinheit der Fa. Zinser besteht die Möglichkeit die Garnhaarigkeit durch entsprechende Wahl der Riemchenperforation und des Anspannverzugs gezielt einzustellen.

5.3 Bereich der Drehungserteilung und der Fasereinbindung

Beim Ringspinnen ist die Reißfestigkeit des Garns im Bereich des Spinnendreiecks sowohl von der Breite des austretenden Faserbändchens als auch von der Länge des Spinnendreiecks abhängig [53]. Die ungedrehten, parallelen Fasern führen in diesem Bereich zu einer Festigkeit, die etwa 50 % der Feinheitsfestigkeit beträgt [54,55]. Andere Untersuchungen haben ergeben, dass bei einer Baumwolle mit einer mittleren Faserlänge von 28 mm nur 65 % der Fasern zur Festigkeit beitragen [56]. Die restlichen 35 % der Fasern sind mit einem Ende im Bereich des Spinnendreiecks nicht geklemmt. Somit stellt das Spinnendreieck das schwächste Glied beim Ringspinnen dar, weshalb der überwiegende Teil der Fadenbrüche im Spinnendreieck auftritt. Durch die pneumatische Verdichtung ist das Spinnendreieck beim Verdichtungsspinnen weitgehend eliminiert. Damit ist die Schwachstelle, welche durch das Spinnendreieck hervorgerufen wird, beseitigt.

Die glattere Oberflächenstruktur der Verdichtungsgarne hat positive, wie auch negative Auswirkungen. Die glattere Oberfläche führt zu einem geringeren Drehungsstau an den fadenführenden Elementen, weshalb sich die Drehung besser vom Kops in Richtung des Verdichtungszyllinders fortpflanzt [57]. Aus diesem Grund können Verdichtungsgarne mit einer geringeren Anzahl an Drehungen im Garn ausgesponnen werden, als dies bei Ringgarnen der Fall ist. Negativ wirkt sich

hingegen die glattere Oberflächenstruktur der Verdichtungsgarne im Bereich des Ring/Läufers aus. Für die Schmierung müssen Fasern in den Zwickel zwischen Ring und Läufer eingezogen und zerquetscht werden. Beim Verdichtungsgarn sind sehr wenig lange Fasern vorhanden, die aus dem Garnkörper herausstehen. Hieraus resultiert ein schwächerer Schmierfilm. Daraus folgen eine erhöhte Fadenzugkraft und ein erhöhter Läuferverschleiß [55]. Die genaueren Ursachen des Ring- und Läuferverschleißes werden in [58-66] dargelegt.

6 Verzugsprozess

Nachfolgend wird die Nummerierung der Unterzylinder U festgelegt (Bild 9). Wird in den nachfolgenden Kapiteln vom Eingangswalzenpaar gesprochen, so ist der Unterzylinder U_I mit dem entsprechenden Druckroller gemeint. Das Ausgangswalzenpaar besteht aus dem Unterzylinder U_{III} und dem entsprechenden Druckroller.

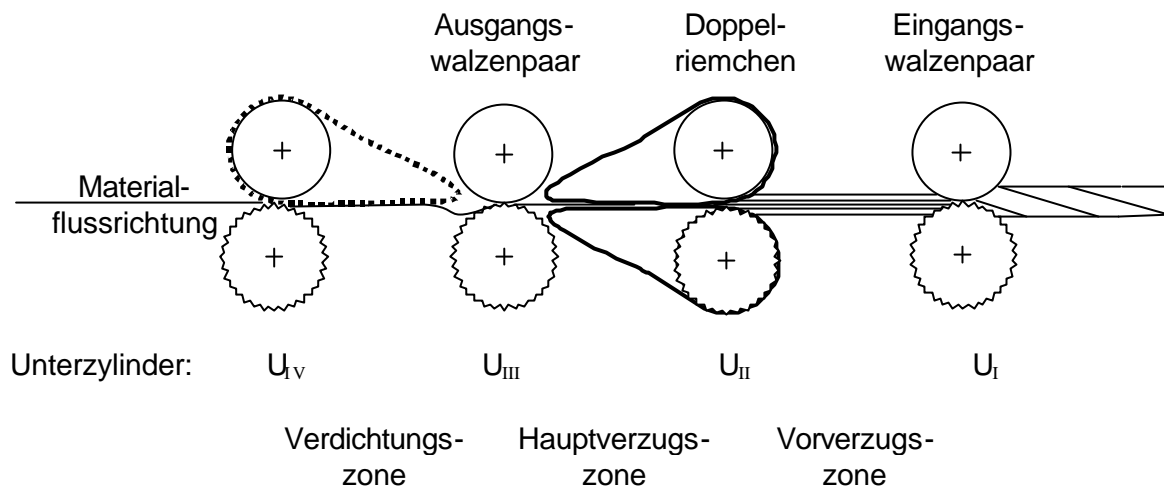


Bild 9: Nummerierung der Unterzylinder U im Streckwerk.

Ein Garn hoher Qualität zeichnet sich unter anderem durch eine hohe Garngleichmäßigkeit aus. Die bestmögliche Garngleichmäßigkeit würde vorliegen, wenn in jedem Garnquerschnitt die Faseranzahl gleich wäre. Aufgrund der Längenunterschiede von Naturfasern und des Verzugsvorgangs ist das nicht zu erreichen. Somit wird jeder Verzugsprozess zu einer Erhöhung der Ungleichmäßigkeit führen [68], sofern nicht, wie an der Strecke, vor dem Verzugsprozess eine Doublierung⁵ durchgeführt wird.

Der Verzugsprozess beim Ringspinnen wird mittels eines Streckwerks durchgeführt (Bild 10), dessen Aufgabe in der Verfeinerung des Vorlagematerials bis zur gewünschten Garnfeinheit besteht. Realisiert wird dies durch Walzenpaare, deren Umfangsgeschwindigkeit in Materialflussrichtung sukzessive ansteigt. Im Haupt-

⁵ Vorlage mehrer Faserbänder statt nur eines Faserbandes.

verzugsfeld wird die Faserführung durch ein Doppelriemchen unterstützt. Die Faseranzahl wird von ca. 3000 Fasern auf beispielsweise 150 Fasern im Garnquerschnitt reduziert.

Um die Fasern relativ zueinander bewegen zu können, muss die Faser/Faser-Reibung überwunden werden. Diese ist neben einer Vielzahl von weiteren Parametern vom Rohstoff abhängig. Die Einstellung der Streckwerksparameter muss also an den jeweiligen Rohstoff angepasst werden.

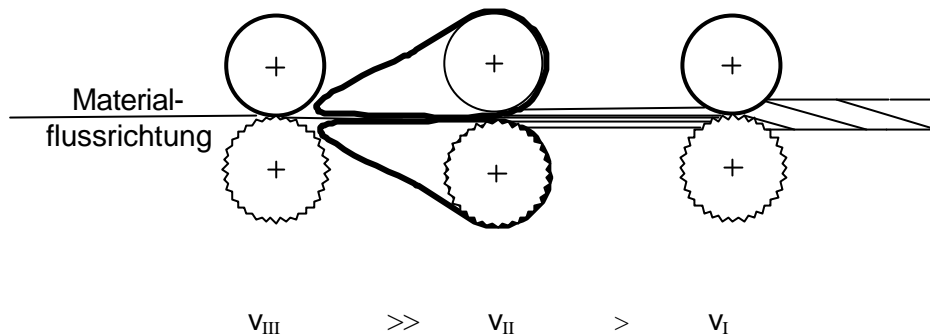


Bild 10: Umfangsgeschwindigkeiten v der Unterzylinder im Streckwerk.

Im Hinblick auf das Verziehen einer Faser im Streckwerk kommt der Faserlänge l_{Faser} in Relation zum Klemmlinienabstand d_K eine große Rolle zu. Die Faserlänge l_{Faser} kann ihrer Länge nach in 3 Klassen eingeteilt werden (vgl. Bild 11):

$$l_{\text{Faser}} < d_K \text{ (Fall A)}$$

$$l_{\text{Faser}} = d_K \text{ (Fall B)}$$

$$l_{\text{Faser}} > d_K \text{ (Fall C)}$$

mit l_{Faser} Faserlänge [m]
 d_K Klemmlinienabstand [m]

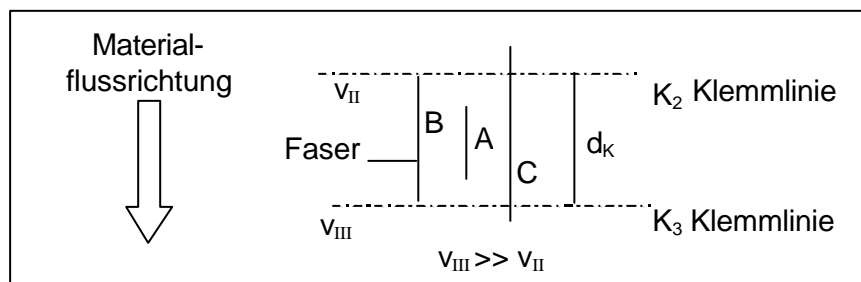


Bild 11: Drei unterschiedlich lange Fasern zwischen den Klemmlinien.

Die Faser B ist für das Verziehen ideal, da sie an der Klemmlinie K_3 erfasst und beschleunigt wird, sobald das Faserende an der Klemmlinie K_2 freigegeben wird. Anders sieht es bei der Faser A aus. Die Faser A ist deutlich kürzer als der Klemmlinienabstand d_K . Da sie nur von den umgebenden Fasern gehalten wird, spricht man von einer "schwimmenden" Faser. Die Geschwindigkeit der Faser kann jeden Wert zwischen v_{II} und v_{III} annehmen. Mit welcher Geschwindigkeit sich die schwimmende Faser zwischen den Klemmlinien bewegt, hängt davon ab, von welchen Fasern die größere Reibkraft ausgeübt wird. Überlange Fasern wie die Faser C werden zwischen den Klemmlinien gerissen, was Verzugsstörungen zur Folge hat. Eine detaillierte Beschreibung des Verzugsvorgangs und entsprechende theoretische Betrachtungen finden sich bei Wegener [70].

Wie bereits in Kapitel 5 beschrieben, ist der Verzugsprozess vor der pneumatischen Bündelung identisch mit dem Verzugsprozess beim Ringspinnen. Aus diesem Grund sind die Einflussgrößen auf den Verzugsprozess vom Ring- und Verdichtungsspinnen gleich. Ein für das Ringspinnen optimal eingestellter Verzugsprozess ist auch beim Verdichtungsspinnen optimal.

Zu den Einflussgrößen, die sich auf den Verzugsprozess auswirken, gehören der Rohstoff, die Vorgarndrehung, der Vorverzug, die Faser/Faser-Reibung, die Druckaufteilung und die Härte des Ausgangsdruckrollers. Sie können in zwei Gruppen eingeteilt werden: Rohstoffparameter, die bei gegebener Rohstoffqualität unveränderlich sind und technologisch einstellbare Parameter (Bild 12).

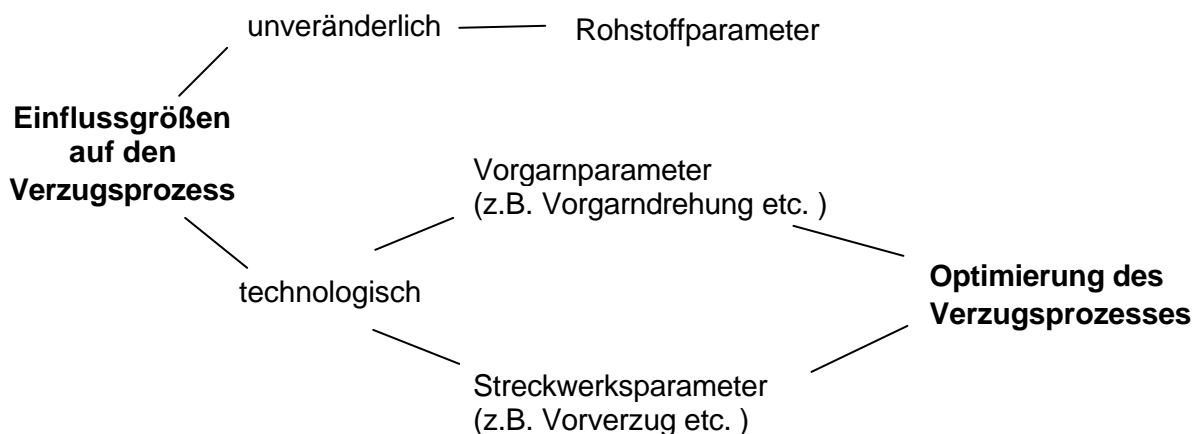


Bild 12: Einflussgrößen auf den Verzugsprozess.

Der Rohstoff ist vorgeschrieben. Er wird anhand von Garnqualitäts- und Kostengesichtspunkten ausgewählt. Um einen optimalen Verzugsprozess zu gewährleisten, muss zunächst das Vorgarn optimal hergestellt werden, das heißt Vorgarndrehung und -feinheit müssen an den Rohstoff und an die Garnfeinheit angepasst werden (Bild 12). Zum anderen ist das Streckwerk so einzustellen, dass ein optimaler Verzugsprozess gewährleistet ist. Nur wenn das Streckwerk auf die Rohstoff- und auf die Verzugsparameter abgestimmt ist, kann eine gute Garngleichmäßigkeit erzielt werden.

6.1 Beurteilungskriterien

Wichtigstes Kriterium zur Beurteilung des Verzugsprozesses ist die Garngleichmäßigkeit. Sie wird mit dem Garngleichmäßigkeitsprüfgerät UT3 der Fa. Uster ermittelt. Je geringer die Faseranzahl im Garnquerschnitt ist, desto schlechter ist die Garngleichmäßigkeit.

Eine weitere wichtige Messgröße stellt die Vorverzugskraft F_V dar, welche vom Rohstoff, der Vorgarndrehung, der Höhe des Vorverzugs V_V und der zu verziehenden Fasermasse abhängt. Die Vorverzugskraft F_V wird mit einem vom ITV Denkendorf entwickelten Messgerät bestimmt, dessen Eingangswalzenpaar gelenkig gelagert ist. Aufgrund der Vorverzugskraft F_V wird das Walzenpaar ausgelenkt und gegen einen Kraftsensor gedrückt. Das erzeugte Spannungssignal ist proportional zur Vorverzugskraft F_V (Bild 13).

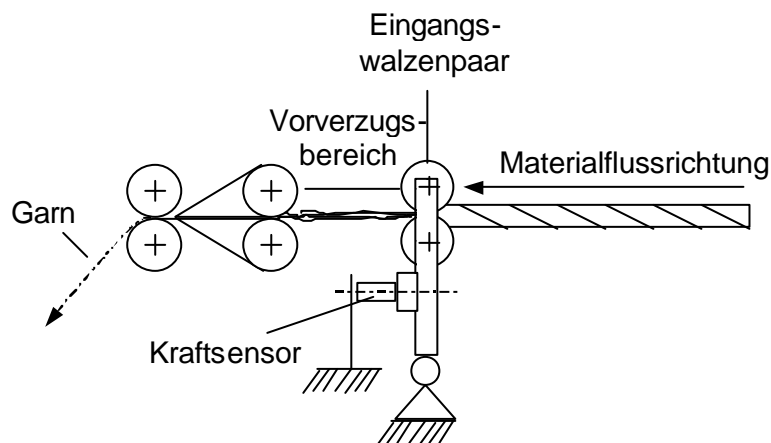


Bild 13: Prinzip der Vorverzugskraftmessung.

Die zwei Messgrößen Garngleichmäßigkeit CV und Vorverzugskraft F_V ermöglichen es, Veränderungen im Verzugsprozess zu erfassen. Während die Garngleichmäßigkeit CV am fertigen Garn im Labor bestimmt wird, wird die Vorverzugskraft F_V während des Verzugsprozesses aufgenommen.

6.2 Einfluss des Rohstoffs

Um einen Verzug im Streckwerk durchführen zu können, muss die Faser/Faser-Reibung überwunden werden. Diese hängt von der Oberflächenstruktur der Faser (Rohstoff), der Faserlängenverteilung, der Faserfeinheit F_F , der Faseranzahl n_{Faser} im Querschnitt, dem Kräuselungsgrad und der Biegesteifigkeit der Faser ab. Die Gleichmäßigkeit des Verzugs hängt - bei gleicher Garnfeinheit - vornehmlich von der Faserfeinheit F_F und der Faserlängenverteilung ab [71-74]. Je feiner die Fasern, desto gleichmäßiger ist das Garn [75]. Dieser Zusammenhang gilt allerdings nur dann, wenn eine bestimmte Faseranzahl n_{Faser} im Garnquerschnitt unterschritten wird (weniger als 120 Fasern). Das ist vermutlich auch der Grund dafür, dass Balasubramanian und Iyengar [76] bei der Verspinnung von Baumwolle keinen direkten Zusammenhang zwischen Faserfeinheit F_F und Garngleichmäßigkeit CV feststellen konnten. Wegener und Meister [77] untersuchten den Einfluss der Chemiefaserfeinheit auf die Garngleichmäßigkeit CV. Sie stellten fest, dass Garne aus Fasern mit gestaffeltem Titer und gestaffelter Schnittlänge wie auch Garne mit konstantem Titer und konstanter Schnittlänge ungleichmäßiger ausfallen als Garne mit konstantem Titer und gestaffelter Schnittlänge. Wie auch immer die beste Kombination der Fasereigenschaften aussieht, der Verzugsprozess muss an den jeweiligen Rohstoff angepasst werden.

Einen besonders negativen Einfluss auf den Verzugsprozess und damit auf die Garngleichmäßigkeit CV haben Kurzfasern mit weniger als $12,5 \cdot 10^{-3}$ m Länge. Diese "schwimmenden" Fasern stören die Bewegung der "normal" langen, kontrolliert verzogenen Fasern. Das ist vor allem dann der Fall, wenn sich das Faserbändchen im Hauptverzugsfeld spreizt. Dann können sich kurze Fasern sogar querlegen, was zu einer geringeren Festigkeit des Spindreiecks führt. Beim Verdichtungsspinnen kann die Bewegung der einzelnen Fasern – auch die der kurzen – nach dem

Hauptverzug deutlich besser kontrolliert werden, was dazu führt, dass Rohstoffe mit einem hohen Kurzfaserteil nach dem Verdichtungsspinnverfahren versponnen werden können, was mit dem üblichen Ringspinnen aufgrund zu hoher Fadenbrüche nicht möglich ist. So konnten Garne nach dem Verdichtungsspinnprinzip mit einem Kurzfaserteil (Faserlänge $l_{\text{Faser}} < 12,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$) von 48,7 % im Streckenband versponnen werden. Im Vergleich hierzu liegt der Kurzfaserteil bei einer kardierten Baumwolle mit Standardqualität im Streckenband zwischen 13 % und 20 %.

6.3 Einfluss des Vorverzugs auf die Vorverzugskraft und die Garngleichmäßigkeit

Neben der Vorgarndrehung T_V beeinflusst auch die Höhe des Vorverzugs V_V die Garnqualität. Nachfolgend wird daher der Einfluss des Vorverzugs V_V auf die Vorverzugskraft F_V und die Garngleichmäßigkeit CV betrachtet. Die Aufgabe des Vorverzugs besteht darin, das Vorgarn quasi für den Hauptverzug "vorzubereiten", um optimale Hauptverzugsbedingungen zu haben. Während der Vorverzug V_V im Bereich von etwa 1,09 bis 1,80fach gewählt wird, liegt der Hauptverzug in der Größenordnung von 20 bis 60fach. Der Vorverzug V_V ist also im Vergleich zum Hauptverzug gering, aber von großer Bedeutung für die Garnqualität, wie nachfolgend dargelegt wird.

Durch den Vorverzug V_V wird eine Vorverzugskraft F_V erzeugt, die aus der Faser/Faser-Reibung resultiert. Je nach Höhe des Vorverzugs V_V kann eine unterschiedliche Reibungsart vorliegen, die von der Höhe der Relativgeschwindigkeit zwischen den Fasern abhängt:

- Haftreibung (Bereich A),
- Haft- Gleitreibungswechsel (Bereich B),
- Gleitreibung (Bereich C).

Wie sich die Vorverzugskraft F_V ändert, wenn der Vorverzug V_V erhöht wird, macht Bild 14 deutlich.

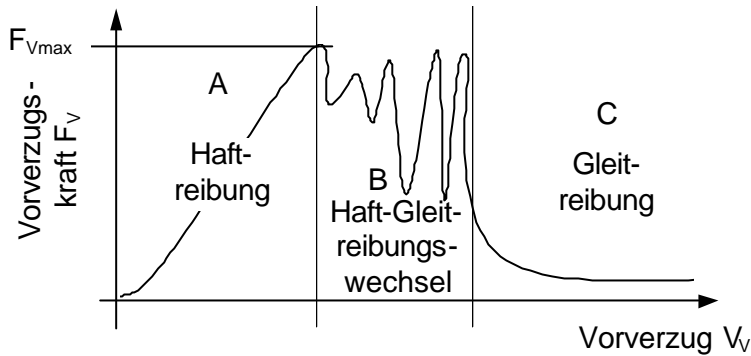


Bild 14: Prinzipieller Verlauf der Vorverzugskraft F_V in Abhängigkeit vom Vorverzug V_V .

Zunächst ergibt sich eine Haftreibung bis zur maximalen Vorverzugskraft F_{Vmax} (Bereich A). Wird der Vorverzug V_V weiter erhöht, so finden Haft- Gleitreibungswechsel zwischen den Fasern statt (Bereich B), die zu einer starken Schwankung der Vorverzugskraft F_V und zu einem sehr ungleichmäßigen Verzug, mit fatalen Folgen im Hinblick auf Dünn- und Dickstellen im Garn führen. Bei weiterer Erhöhung des Vorverzugs V_V geht die Faser/Faser-Reibung in Gleitreibung über (Bereich C), was die Faserführung stark verschlechtert.

Die unterschiedlichen Bereiche der Faserreibung machen sich nicht nur in der Vorverzugskraft F_V sondern auch in der Garngleichmäßigkeit CV bemerkbar. So ist in den Bildern 15 a und 15 b deutlich zu erkennen, dass sich die geringste Garngleichmäßigkeit CV für einen Vorverzug V_V von etwa 25 % einstellt. Die Vorverzugskraft F_V ist dann am größten. Unter diesen Bedingungen verrichtet das Streckwerk die meiste Arbeit. Die Fasern stützen sich gegenseitig und werden gut geführt. Bis zu diesem Vorverzug V_V , der auch als "kritischer Vorverzug" bezeichnet wird, ergeben sich geringe Auswirkungen auf die Garngleichmäßigkeit CV.

Liegt der Vorverzug V_V über dem kritischen Bereich, dann treten Haft-Gleitreibungswechsel ein; die Faserführung im Vorverzugsfeld ist ungenügend; infolgedessen verschlechtert sich die Garngleichmäßigkeit CV. Der optimale Vorverzug V_V hängt nicht von der Faserlänge l_{Faser} ab. Er ist für eine gekämmte bzw. eine kardierte Baumwolle gleich.

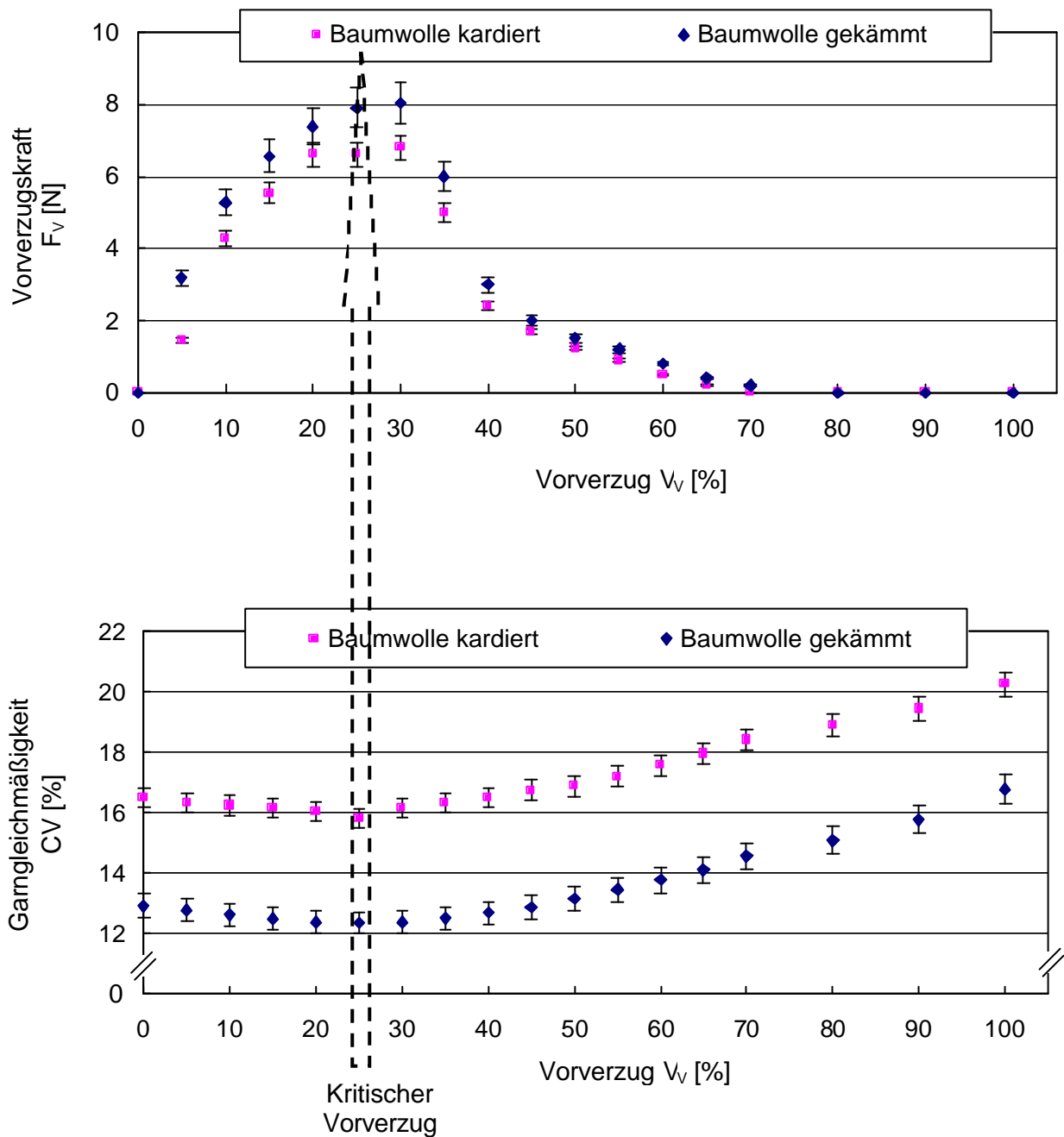


Bild 15 a bis b: Vorverzugskraft F_v und Garngleichmäßigkeit CV in Abhängigkeit vom Vorverzug V_v (100 % Baumwolle, Garnfeinheit $T_t = 20$ tex).

In einer weiteren Untersuchung wurde ermittelt, bei welchem Vorverzug V_v sich für eine bestimmte Vorgardrehung T_v die beste Garngleichmäßigkeit CV ergibt (Bild 16).

Dazu wurden Vorgarne gleicher Feinheit mit fünf verschiedenen Vorgarndrehungen T_V ausgesponnen; der Vorverzug V_V wurde jeweils im Bereich von 5 % bis 100 % geändert. Bild 16 gibt für jede Vorgarndrehung T_V den Vorverzug V_V wieder, der zur besten Garngleichmäßigkeit CV führt.

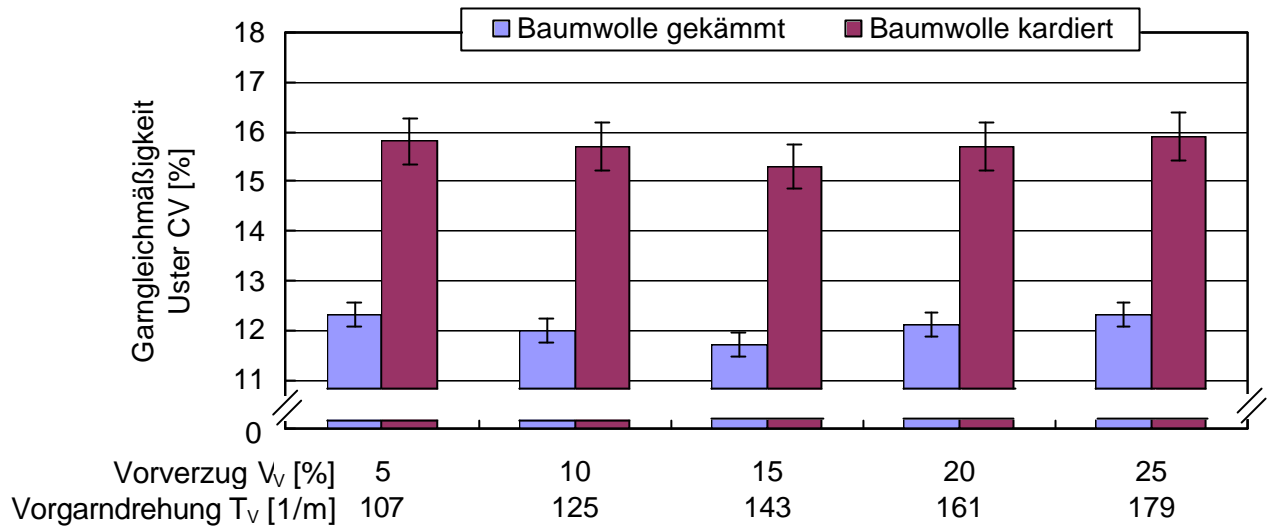


Bild 16: Vorverzug V_V , der die höchsten Garngleichmäßigkeit CV je Garndrehung T ergibt (100 % Baumwolle, Garnfeinheit $T_t = 20$ tex).

Es wird deutlich, dass ein Zusammenhang zwischen optimalem Vorverzug V_V und optimaler Garndrehung besteht. Nur eine bestimmte Kombination von Vorverzug V_V und Vorgarndrehung T_V liefert das beste Garn. Für die vorliegende Baumwolle wird die beste Garngleichmäßigkeit CV bei einer Vorgarndrehung $T_V = 143$ 1/m und einem Vorverzug $V_V = 15$ % erzielt.

6.4 Schleppströmung am Ausgangswalzenpaar

Beim Verdichtungsspinnen folgt auf den Verzugsprozess die "Verdichtung", d.h. die Faserbündelung mittels Luft. Die Luftströmung, die sich an den Walzen (Druckroller bzw. Unterzylinder) ausbildet, wird als "Schleppströmung" bezeichnet. Die Luftschicht unmittelbar an den Walzen wird von der Walzenoberfläche mitgerissen. Infolge der geringen Reibung zwischen den einzelnen Luftschichten breitet sich die Schleppströmung nur langsam senkrecht zur Walzenoberfläche aus. Nachfolgend soll geklärt werden, wie sich die Schleppströmung um einen Unterzylinder bzw. um

das Ausgangswalzenpaar ausbildet und ob die Schlepplströmung um das Ausgangswalzenpaar den Bündelungsvorgang beeinflussen oder gar stören kann.

Die Luftströmung um die Walzen wurde mit Hilfe eines **Particle-Image-Velocimetry** Messsystems (PIV) gemessen und analysiert.

6.4.1 Schlepplströmung eines rotierenden Unterzylinders

Um zu klären, wie sich das Strömungsprofil um einen geriffelten Unterzylinder ausbildet, wird das Luftgeschwindigkeitsprofil für verschiedene Umfangsgeschwindigkeiten v_{II} ermittelt. Messort, Bildausschnitt und Vektorbild der Luftströmung sind in Bild 17 wiedergegeben.

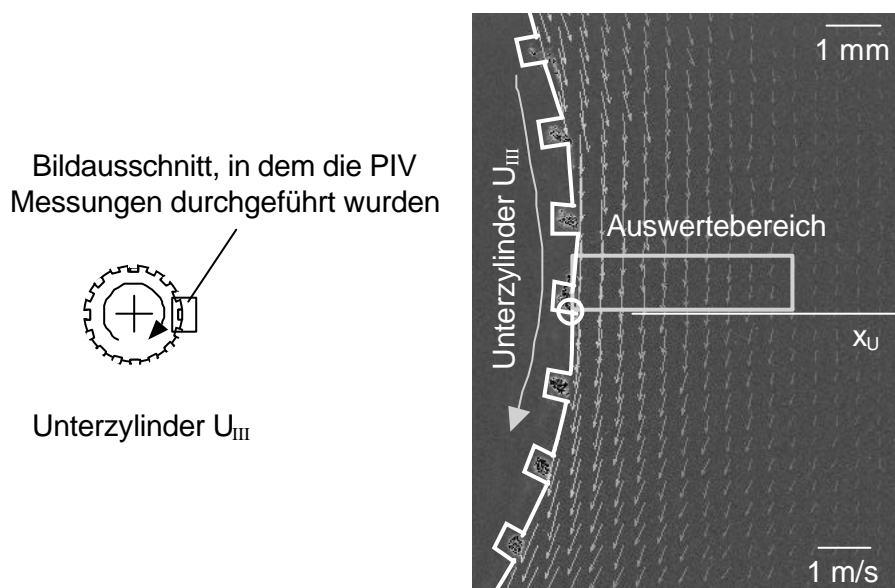


Bild 17: Luftströmungsuntersuchung am rotierenden Unterzylinders U_{III} .

Bild 17 macht deutlich, dass die Luft mit dem Unterzylinder U_{II} rotiert. Wie sich die Luftgeschwindigkeit im Auswertebereich mit zunehmendem Abstand x_U verändert, ist Bild 18 zu entnehmen.

Die erste auswertbare Geschwindigkeitsmessung konnte im Abstand von $x_U = 0,4 \cdot 10^{-3}$ m vorgenommen werden. In diesem Abstand hat die Luftgeschwindigkeit bereits auf ca. 83 % der Umfangsgeschwindigkeit des Unterzylinders abgenommen.

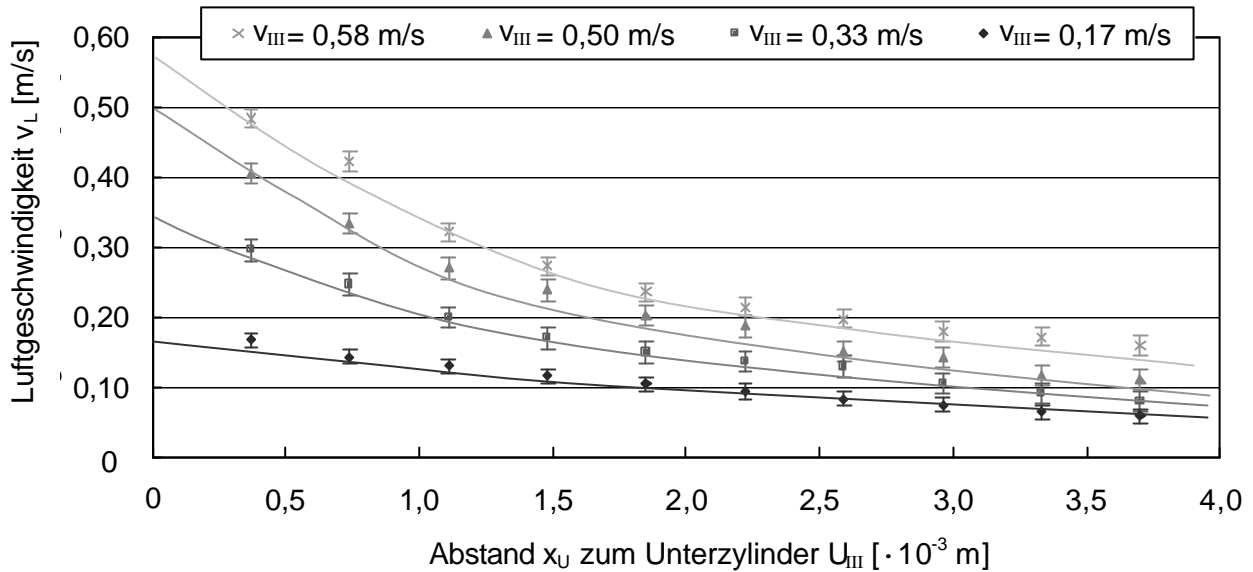


Bild 18: Luftgeschwindigkeit v_L in Abhängigkeit vom Abstand x_U zum Unterzylinder U_{III} für vier verschiedene Umfangsgeschwindigkeit v_{III} des Unterzylinders U_{III} .

Aus der Strömungsmechanik ist bekannt, dass die Oberflächenstruktur keinen Einfluss auf die Grenzschicht nimmt, sofern eine laminare Strömung vorliegt und die Oberflächenstruktur merklich kleiner ist als die Grenzschicht [78]. Wird der Durchmesser des Druckrollers mit $d_D = 27 \cdot 10^{-3}$ m als charakteristische Größe zur Berechnung der Reynoldszahl Re eingesetzt und eine maximale Umfangsgeschwindigkeit von $v_{III} = 0,67$ m/s angenommen, ergibt sich eine Reynoldszahl von $Re = 1005$. Das heißt bei den Versuchen liegt eine laminare Strömung vor, so dass die Struktur des Unterzylinders keinen Einfluss auf die Luftströmung nimmt. Messungen an glattem als auch geriffelten Unterzylindern haben dies bestätigt. Für einen glatten Unterzylinder bildet sich die gleiche Grenzschicht wie für einen geriffelten.

6.4.2 Schleppströmung um ein Walzenpaar

Im folgenden wird die Schleppströmung um ein Walzenpaar, bestehend aus Unterzylinder und Druckroller, betrachtet. Der Druckroller wird vom Unterzylinder U_{III} reibschlüssig angetrieben. Dadurch wird der Aufbau der Grenzschicht immer wieder in der Klemmlinie gestört und baut sich erneut auf. Messort, Bildausschnitt und Vektorbild der Luftströmung sind in Bild 19 wiedergegeben.

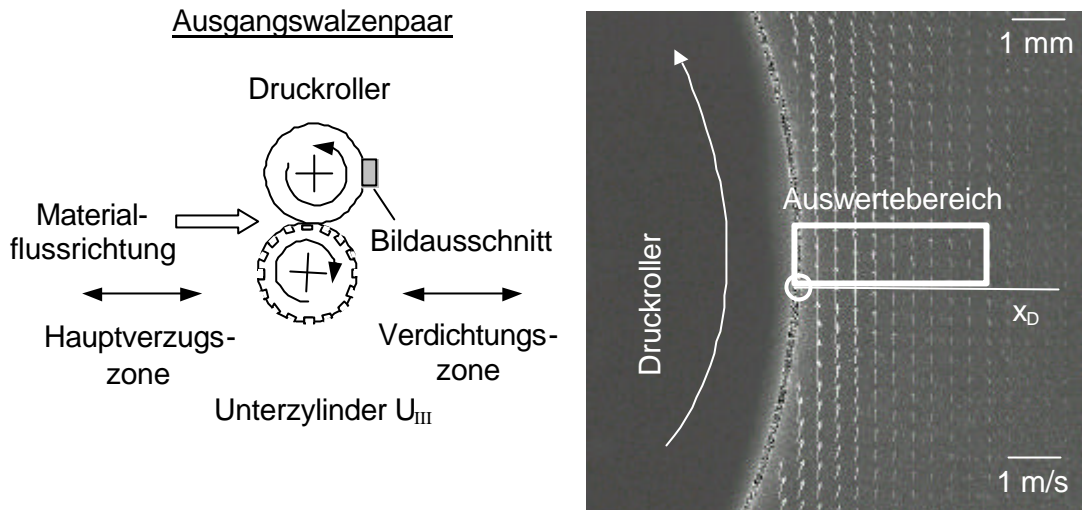


Bild 19: Luftströmungsuntersuchung am Ausgangswalzenpaar des Streckwerks.

Wie zu erwarten war, ähnelt das Strömungsbild des Druckrollers dem des Unterzylinders U_{III} (Bild 20). Allerdings nimmt die Luftgeschwindigkeit v_L , unabhängig von der Umfangsgeschwindigkeit v_{III} des Unterzylinders U_{III} , deutlich rascher ab als bei dem rotierenden Unterzylinder U_{III} ohne Druckroller. Der Grund ist in der ständigen Unterbrechung der Grenzschicht zu suchen. Der Aufbau der Grenzschicht beginnt immer wieder aufs Neue. Die äußeren Luftschichten werden bei den durchgeführten Versuchen nur bis zu einem Abstand von ca. $x_D = 2,5 \cdot 10^{-3}$ m mitgerissen. Im Gegensatz hierzu stellt sich beim allein rotierenden Unterzylinder U_{III} eine größere Grenzschicht ein.

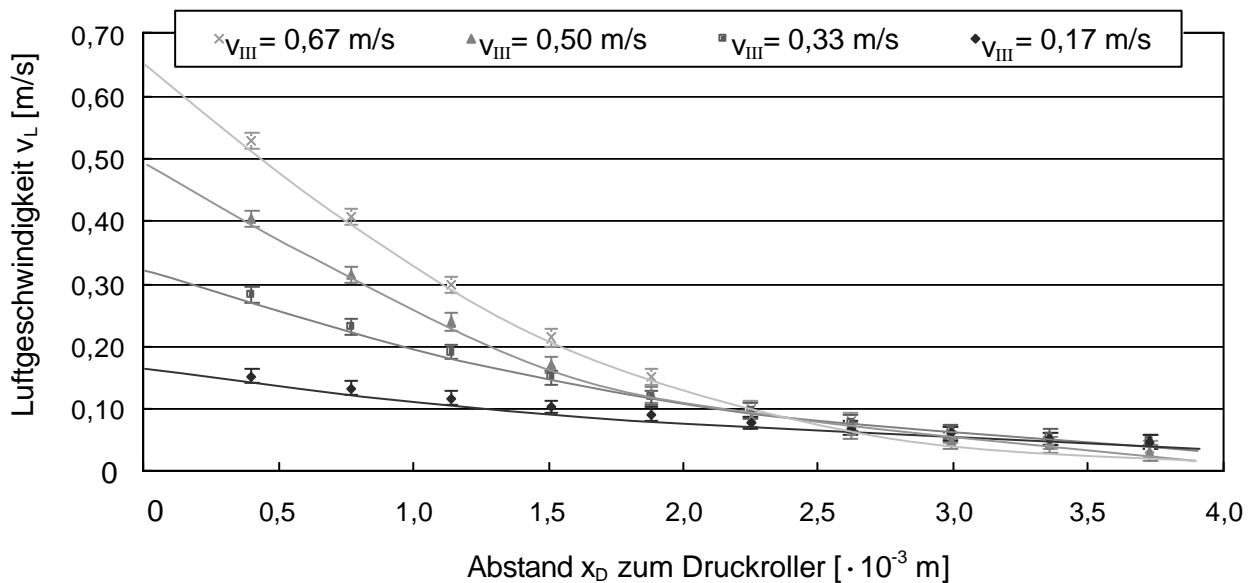


Bild 20: Luftgeschwindigkeit v_L in Abhängigkeit vom Abstand x_D zum Druckroller für vier verschiedene Umfangsgeschwindigkeit v_{III} des Unterzylinders U_{III} , der den Druckroller reibschlüssig antreibt.

6.4.3 Luftströmung im vorderen und hinteren Bereich der Klemmlinie

Im Rahmen der Überlegungen zum Verzugsprozess interessiert vor allem, wie sich die Luftströmung im Eintrittswinkel (Bildausschnitt 1, Bild 21) bzw. im Austrittswinkel (Bildausschnitt 2, Bild 21) auf die Faserbewegung auswirkt. Daher wurde die Luftströmung mit Hilfe des PIV in diesen Bereichen bestimmt, wobei aus messtechnischen Gründen auf das eigentliche Verziehen des Fasebändchens verzichtet werden muss.

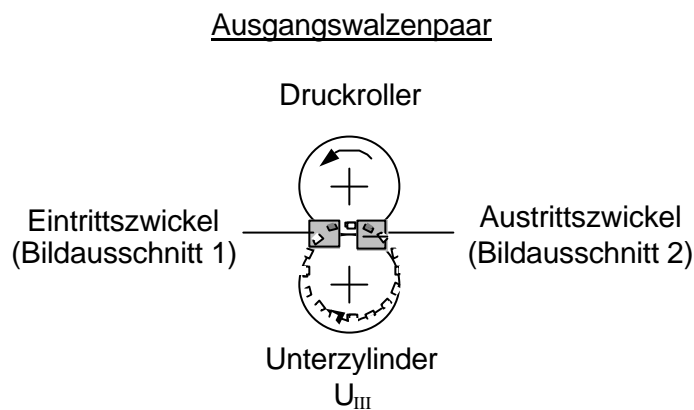


Bild 21: Bildausschnitte, in denen PIV Messungen durchgeführt und ausgewertet wurden.

Bild 22 zeigt, dass vom Druckroller als auch vom Unterzylinder U_{III} die Luft gleichermaßen mitgenommen wird. Im Winkel selbst staut sich die Luft und strömt in Richtung der Hauptverzugszone.

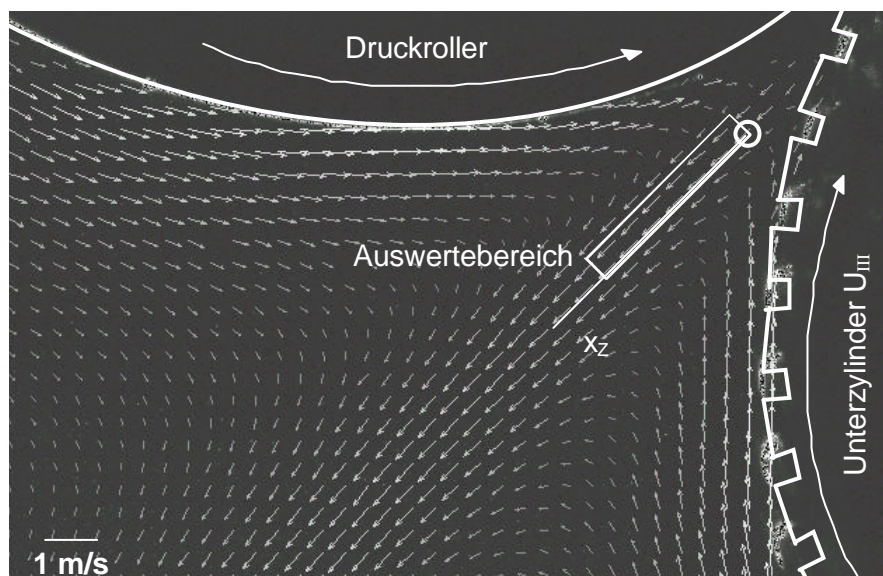


Bild 22: Geschwindigkeitsvektoren einer Luftströmung im Bereich des Eintrittswinkels (Bildausschnitt 1).

Wird das Strömungsprofil bei unterschiedlichen Umfangsgeschwindigkeiten v_{III} des Unterzylinders U_{III} betrachtet, so ist festzuhalten, dass sich dieses nicht prinzipiell ändert, sondern dass lediglich die Luftgeschwindigkeit entsprechend zunimmt (Bild 23 a und Bild 23 b).

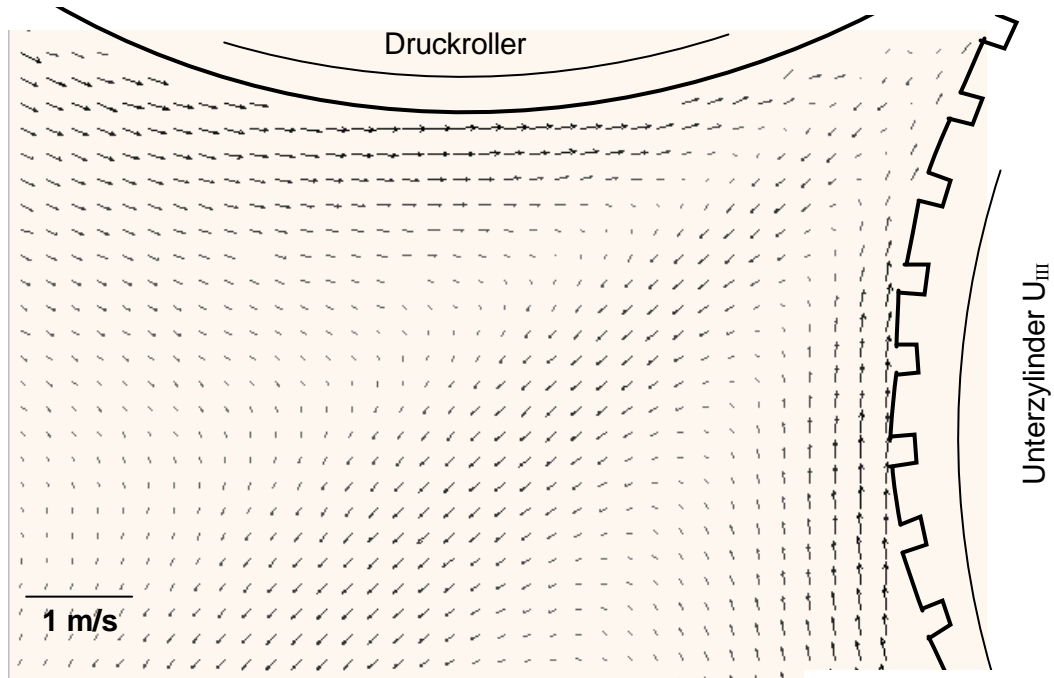


Bild 23 a: Geschwindigkeitsvektoren einer Luftströmung im Bereich des Eintrittswickels bei schwindigkeit von $v_{III} = 0,17$ m/s des Unter

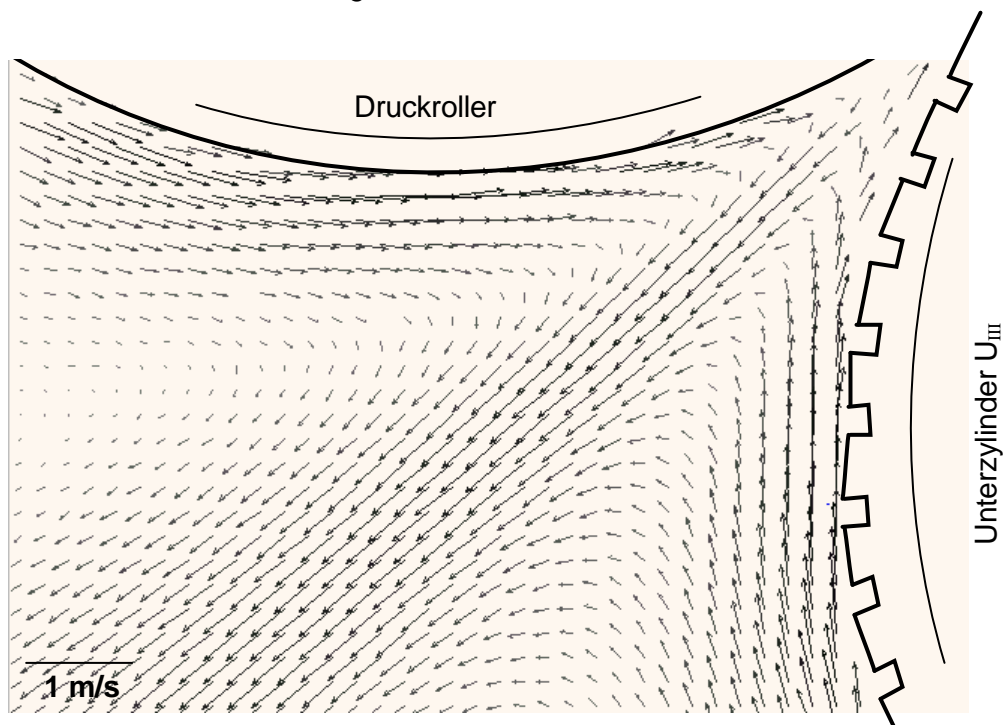


Bild 23 b: Geschwindigkeitsvektoren einer Luftströmung im Bereich des Eintrittswickels bei einer Umfangsgeschwindigkeit von $v_{III} = 0,50$ m/s des Unterzylinders U_{III} .

Festzuhalten bleibt, dass die Luftgeschwindigkeit nur durch die Umfangsgeschwindigkeit v_{III} des Unterzylinders U_{III} beeinflusst wird.

In Bild 24 ist die Luftströmung im Austrittszwickel (Bildausschnitt 2) zu erkennen. Vom Strömungsprofil her gleichen sich die Bilder am Eintritts- und Austrittszwickel, jedoch mit jeweils umgekehrter Strömungsrichtung. Der Grund hierfür liegt darin, dass auf Grund der Haftbedingung an Oberflächen Luft vom Druckroller und dem Unterzylinder U_{II} aus dem Zwickel heraus transportiert wird, wodurch im Zwickel ein Unterdruck entsteht. Da keine Luft durch den Zwickel transportiert werden kann, strömt die Luft in den Zwickel hinein.

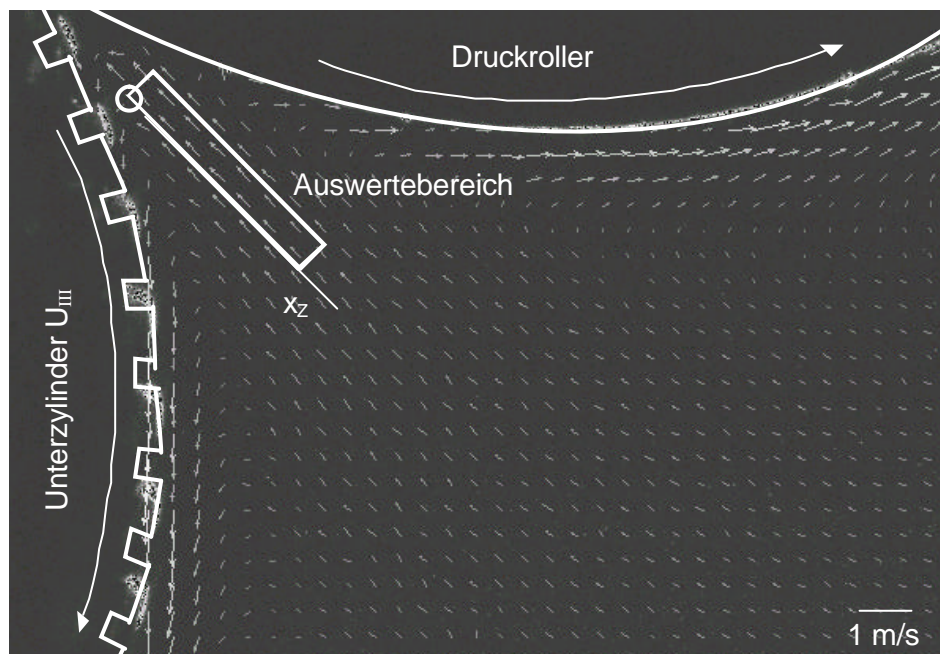


Bild 24: Geschwindigkeitsvektoren einer Luftströmung im Bereich des Austrittszwickels (Bildausschnitt 2).

Ein Vergleich der mittleren Luftgeschwindigkeit v_{Lm} in Bildausschnitt 1 mit der mittleren Luftgeschwindigkeit v_{Lm} in Bildausschnitt 2 macht deutlich, dass die Luftgeschwindigkeit im Auswertebereich des Eintrittszwickels höher ist als im Auswertebereich des Austrittszwickel (Bild 25).

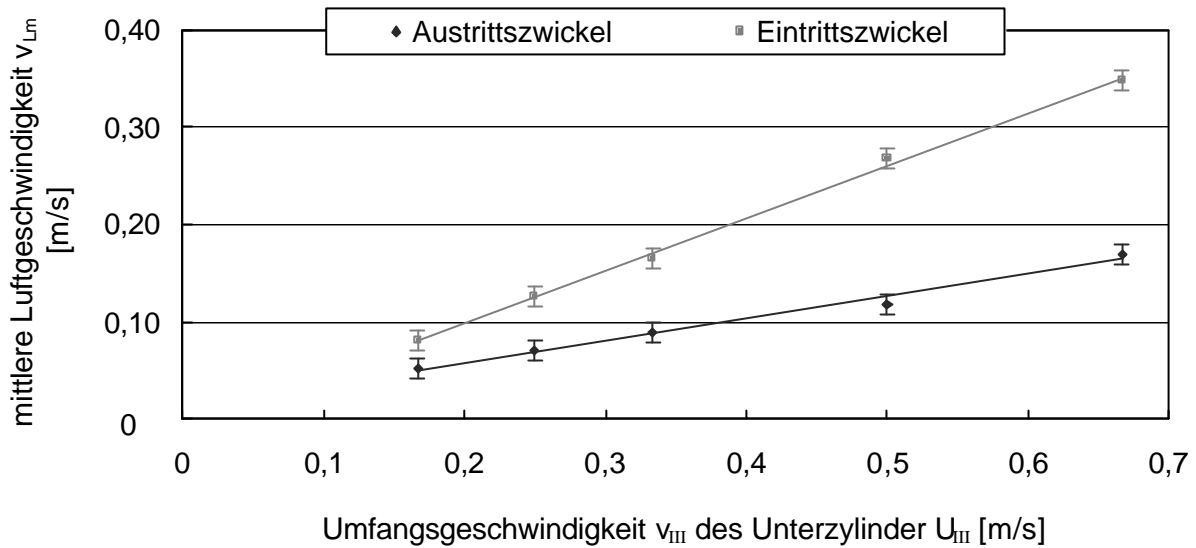

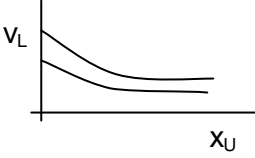
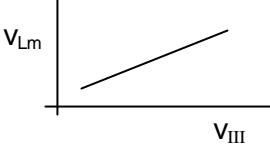
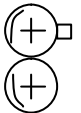
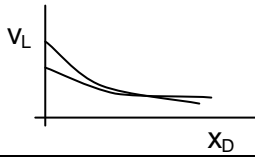
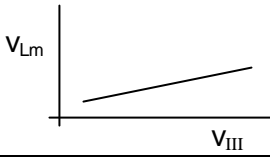
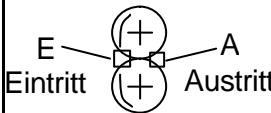
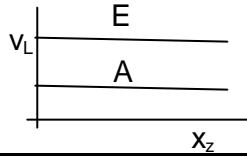
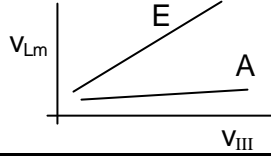


Bild 25: Mittlere Luftgeschwindigkeit v_{Lm} im Auswertebereich des Eintrittszwickels (Bildausschnitt 1) und des Austrittszwickels (Bildausschnitt 2) in Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit v_{III} des Unterzylinders U_{III} .

Der Quotient aus den beiden mittleren Luftgeschwindigkeiten beträgt etwa 2. Das bedeutet, dass im Eintrittszwickel doppelt soviel Luft herausgedrückt wird, als im Austrittszwickel angesaugt wird.

In der Tabelle 1 ist zusammenfassend schematisch dargestellt, an welchen Messstellen PIV-Messungen durchgeführt und welche qualitativen Messergebnisse erhalten wurden. Aus dieser Übersicht und den vorangegangenen Untersuchungen kann abgeleitet werden, wie sich die Luftströmung um einen Unterzylinder U oder ein Walzenpaar ausbildet (Bild 26).

Tabelle 1: Übersicht über die Ergebnisse der durchgeführten Messungen und über den qualitativen Verlauf der Luftgeschwindigkeit v_L bzw. v_{Lm} in Abhängigkeit vom Walzenabstand x_U , x_D , x_Z bzw. in Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit v_{III} .

Messaufbau	Ergebnisse aus den Messungen	Mittlere Luftgeschwindigkeit v_{Lm} in Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit v_{III} des Unterzylinders.
 Messbereich		
		
		

6.4.4 Schlussfolgerung aus den PIV Messungen

Wird das Ergebnis der PIV-Messungen zusammengefasst, dann lässt sich die Luftströmung um einen Unterzylinder bzw. um ein Walzenpaar wie in Bild 26 darstellen. Während die Grenzschicht des Unterzylinders über den Umfang gleich ist, nimmt die Grenzschicht bei einem Walzenpaar in Drehrichtung zu.

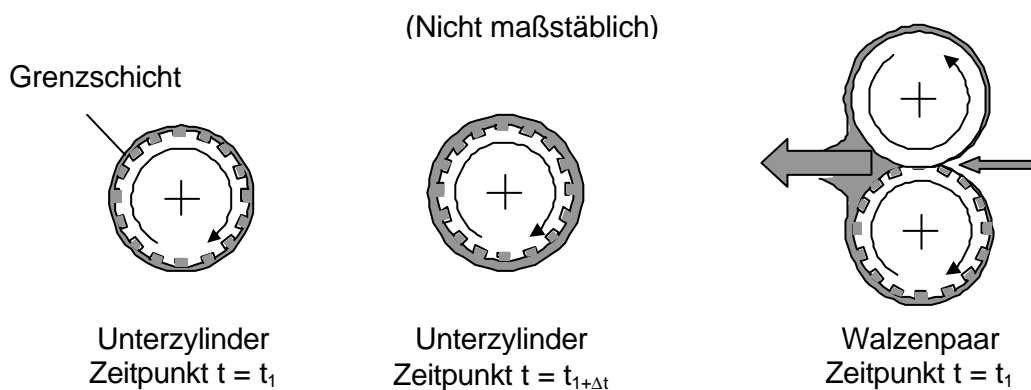


Bild 26: Zeitabhängiger Aufbau der Grenzschicht bei einem freilaufenden Unterzylinder und Aufbau der Grenzschicht bei einem angetriebenen Walzenpaar.

Die vorangegangenen Untersuchungen bedeuten für den Verzugsprozess, dass die Luftströmung im Bereich des Eintritts- und des Austrittszwickels immer gegen die Fasertransportrichtung gerichtet ist. In dem relevanten Geschwindigkeitsbereich beträgt die mittlere Luftgeschwindigkeit v_{Lm} im Austrittszwickel max. $v_{Lm} = 0,15$ m/s, wenn die Fasern mit einer Spinnengeschwindigkeit von $v_{sp} = 0,67$ m/s aus dem Streckwerk austreten. Somit ergibt sich eine Relativgeschwindigkeit v_R zwischen der Faser und der mittleren Luftgeschwindigkeit v_{Lm} von $v_R = 0,82$ m/s. Wie spätere Untersuchungen zeigen werden (Kapitel 7.3.1), ist eine Mindest-Luftgeschwindigkeit von $v_{Lmin} = 1,00$ m/s notwendig, um einen Fasertransport auf dem Riemchen durchführen zu können. Somit kann ausgeschlossen werden, dass die Luftströmung am Ausgangswalzenpaar in der Lage ist den Faserbündelungsvorgang in der Verdichtungszone zu beeinflussen.

Auf Grund der Untersuchungen lässt sich leicht ermitteln, dass ab einer Spinnengeschwindigkeit von $v_{sp} = 0,88$ m/s die Relativgeschwindigkeit von Faser und Luft $v_R = 1,00$ m/s beträgt, so dass die zuströmende Luft in den Austrittszwickel den Faserbündelungsvorgang beeinflussen könnte.

7 Analyse der Vorgänge in der Verdichtungszone und bei der Drehungserteilung

Die Analyse des Verdichtungsspinnens betrifft zwei Bereiche: die Verdichtungszone selbst und den Bereich der Drehungserteilung. Die Analyse der Vorgänge in der Verdichtungszone wird unter zwei Aspekten vorgenommen, zum einen wird der Einfluss der Fasereigenschaften, zum anderen der Einfluss der Luftströmung auf die Bündelung der Fasern untersucht (Bild 27). Üblicherweise wird der Faserstoff einer Spinnerei vorgegeben, so dass das Hauptaugenmerk dem Einfluss der Luftströmung auf die Faserbündelung gilt.

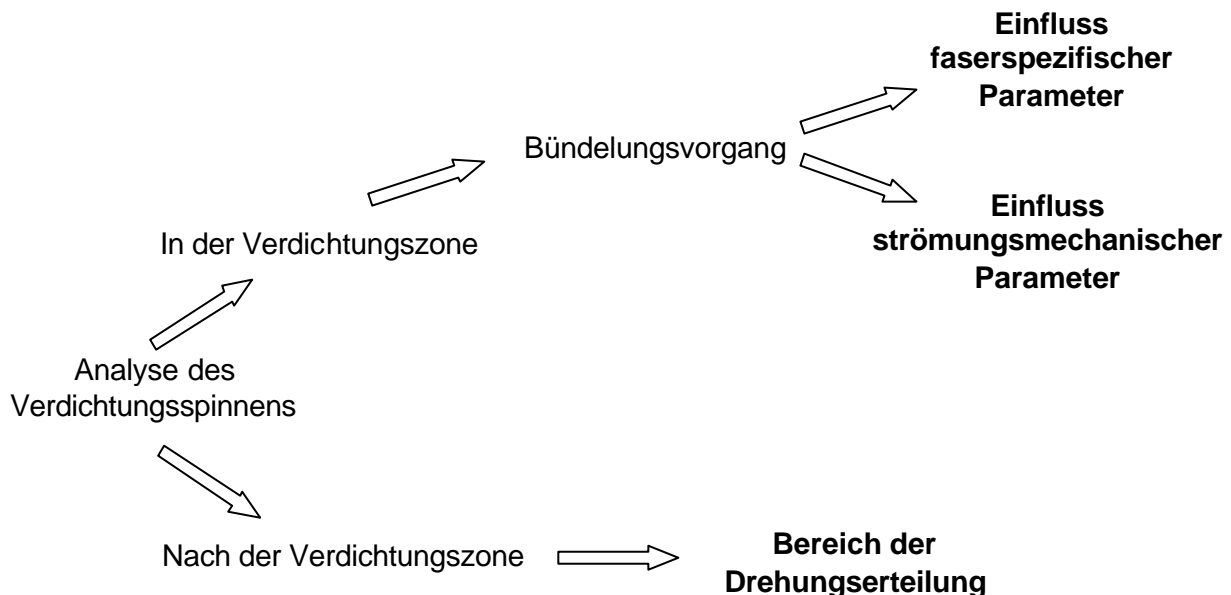


Bild 27: Gliederung der Analyse des Verdichtungsspinnens.

Zunächst werden die Voraussetzungen für den Fasertransport durch den Luftstrom beschrieben. Anschließend wird der Einfluss der Garnfeinheit T_t , der Faserlänge l_{Faser} , der Faserfeinheit F_F und des Rohstoffes auf den Bündelungsvorgang beleuchtet. Danach werden die Strömungsvorgänge bei der Bündelung untersucht und es werden Möglichkeiten aufgezeigt, die Luftgeschwindigkeit zu steigern, um die Changierbreite zu erhöhen.

Die neue Garnstruktur hat Auswirkungen auf die Drehungserteilung. Unterschiede zum konventionellen Ringspinnen werden diskutiert.

7.1 Bündelung von Fasern mit Hilfe eines Luftstroms

Beim Verdichtungsspinnen werden die Fasern pneumatisch gebündelt. Dabei müssen Kräfte überwunden werden, die der Bündelung entgegenwirken. Wie hoch diese Kräfte sind, hängt von den jeweiligen Randbedingungen ab. Nachfolgend werden drei Fälle betrachtet:

- Der Transport einer freien Faser durch einen Luftstrom;
- Bündelung eines geklemmten Faserverbands durch einen Luftstrom;
- Bündelung eines geklemmten Faserverbands, der auf einem Riemchen geführt wird, durch einen Luftstrom.

7.1.1 Definition der Luftwiderstandskraft

Die Kraft, die von einem Luftstrom auf eine Faser ausgeübt wird, entspricht der Luftwiderstandskraft F_{Luft} :

$$F_{\text{Luft}} = c_w \frac{\rho}{2} v_{\text{Luft}}^2 A_{\text{st}} \quad (4)$$

mit c_w Luftwiderstandsbeiwert [-],
 ρ Dichte der Luft [kg/m^3],
 v_{Luft} Luftgeschwindigkeit [m/s],
 A_{st} angeströmte Querschnittsfläche [m^2].

Wird die Faser vereinfacht als Zylinder betrachtet und eine schleichende Strömung um einen Zylinder ohne Ablösung vorausgesetzt, so gilt für eine Reynoldszahl $Re < 4$, dass der Luftwiderstandsbeiwert c_w annähernd umgekehrt proportional zur Reynoldszahl Re ist [79]. Somit ist die Luftwiderstandskraft F_{Luft} proportional zur Luftgeschwindigkeit v_{Luft} .

Um zu klären ob dies für den vorliegenden Fall zutrifft wird die Reynoldszahl Re abgeschätzt. Ausgehend von einer Baumwollfaser mit einem Durchmesser von $d_{\text{Faser}} = 21 \cdot 10^{-6}$ m und einer Luftgeschwindigkeit von $v_{\text{Luft}} = 1$ m/s ergibt sich eine Reynoldszahl von $Re = 1,2$. Somit ist die auf die Faser wirkende Luftwiderstandskraft F_{Luft} direkt proportional zur Geschwindigkeit v_{Luft} .

Wird von einer konstanten Luftgeschwindigkeit v_{Luft} und Dichte ρ der Luft ausgegangen, so hängt die Luftwiderstandskraft F_{Luft} nur von der angeströmten Fläche A_{st} und von dem Luftwiderstandsbeiwert c_W ab. Damit die Fasern gebündelt werden, muss die Luftwiderstandskraft F_{Luft} größer sein als die ihr entgegengerichteten Kräfte F_{w_i} :

$$F_{\text{Luft}} > \sum F_{w_i} \quad (5)$$

Die Größe der Kräfte F_{w_i} hängt von den jeweiligen Randbedingungen ab. Nachfolgend werden diese typischen Situationen diskutiert.

7.1.2 Transport einer freien Faser

Der Transport einer Faser in einer Luftströmung erfolgt über Kräfte, welche an der Faseroberfläche angreifen. Diese Oberflächenkräfte sind der Luftgeschwindigkeit v_{Luft} proportional. Da bei einer freien Faser dem Transport keine Kräfte entgegengesetzt werden, ist dies die effektivste Art des Fasertransportes.

Bei üblichen Fasertransportvorgängen ist die Luftwiderstandskraft F_{Luft} deutlich größer als die Gewichtskraft F_G . Bezogen auf den Faserschwerpunkt ergeben sich schematisch die in Bild 28 dargestellten Kräfte und die daraus resultierende Bewegungsrichtung.

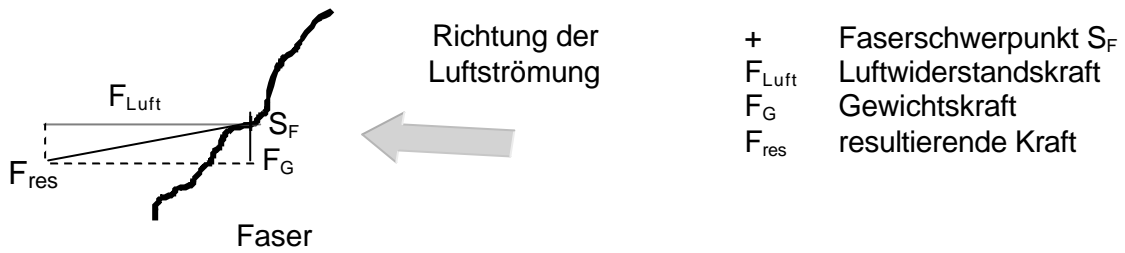


Bild 28: Transport einer freien Faser im Luftstrom.

7.1.3 Bündelung eines geklemmten Faserverbands

Wirkt der Luftstrom auf einem Faserverband, der zwischen zwei Walzenpaaren geklemmt ist, dann muss, um eine Faser in Luftströmungsrichtung zu bewegen, noch die Faser/Faser-Reibung überwunden werden (Bild 29). Die Faser/Faser-Reibung hängt zum einen vom Faserrohstoff (Länge, Feinheit, Biegesteifigkeit, Avivage, Oberflächenstruktur) und der Fasermenge, zum anderen von der Höhe der Verzugskraft, die die Fasern aneinander presst, ab. Die Klemmkraft in den Walzenpaaren hat nahezu keinen Einfluss auf den Fasertransport, da die Klemmlinie zu weit vom Fasertransport entfernt liegt.

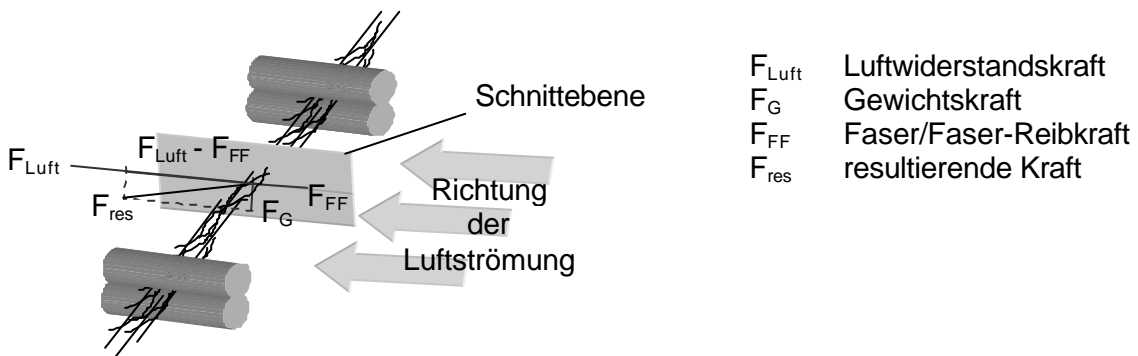


Bild 29: Kräfte, die bei der Bündelung eines geklemmten Faserverbands durch einen Luftstrom wirken.

7.1.4 Bündelung eines geklemmten Faserverbands, der auf einem Riemchen liegt

Die in Kapitel 7.1.3 diskutierte Situation wird um ein Riemchen, auf dem die Fasern liegen, erweitert. Damit ein Luftstrom diesen Faserverband bewegt, muss zusätzlich zu den zuvor aufgezählten Kräften noch die Faser/Riemchen-Reibung überwunden werden (Bild 30). Die Faser/Riemchen-Reibung hängt von der Normalkraft und von dem Reibungskoeffizienten zwischen Riemchen und Faser ab. Die Normalkraft wird von der Verzugskraft, von der Umlenkung des Faserbändchens am Riemchen und vom Reibwert Faser/Riemchen bestimmt. Da die Fasern auf dem Riemchen liegen, wirkt sich die Gewichtskraft F_G nicht richtungsändernd aus.

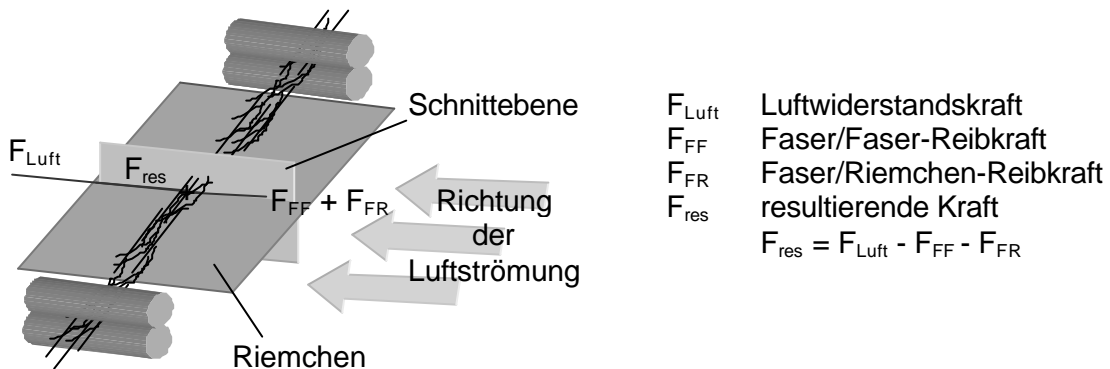


Bild 30: Kräfte, die bei der Bündelung eines auf einem Riemchen liegenden Faserverbands durch einen Luftstrom wirken.

Anhand der diskutierten Fälle wird deutlich, dass die effektivste Lufteinwirkung dann vorliegt, wenn die Fasern im freien Raum transportiert werden. Technisch wäre die Bündelung eines geklemmten Faserverbands, welcher die nächstbeste Faserbündelung ermöglichen würde, zwar zu realisieren, allerdings nur dann mit Erfolg, wenn der Klemmlinienabstand d_k größer ist als die maximale Faserlänge. Dann ist jedoch eine sichere Faserführung nicht mehr gewährleistet, weshalb ein Riemchen zur Stützung des Faserverbandes eingesetzt wird. Da die Luft durch die Löcher im Riemchen angesaugt wird, hat dies darüber hinaus den Vorteil, dass die Luft von beiden Seiten auf das Faserbändchen einwirkt und so die Bündelung verstärkt.

7.2 Einfluss des Anspannverzugs und der Fasereigenschaften auf die Faserbündelung

Der Anspannverzug mit der sich einstellenden Verzugskraft verhindert in einem gewissen Umfang, dass die Fasern "auseinanderlaufen". Daher wird zunächst der Einfluss des Anspannverzugs auf die Ablage der Fasern auf das Riemchen betrachtet. Anschließend wird der Widerstandsfaktor eingeführt und der Einfluss der faserspezifischen Parameter auf die Bündelung untersucht.

7.2.1 Einfluss des Anspannverzugs auf die Faserbündelung

Der Anspannverzug AV wird als Geschwindigkeitsverhältnis vom vierten Unterzylinder (U_{IV}) zum dritten Unterzylinder (U_{III}) verstanden. Er ist wie folgt definiert:

$$AV = 1 + \frac{v_{IV} - v_{III}}{v_{IV}} = 1 + \frac{\Delta v}{v_{IV}} \quad (6)$$

mit AV Anspannverzug [-],
 v_{III} Umfangsgeschwindigkeit des Unterzylinders U_{III} [m/s],
 v_{IV} Umfangsgeschwindigkeit des Unterzylinders U_{IV} [m/s].

Der Anspannverzug AV kann sowohl größer, auch kleiner als 1 sein. Welcher Anspannverzug gewählt wird, hängt von den Fasereigenschaften ab, wie noch gezeigt wird. Ist der Anspannverzug AV kleiner als 1, spricht man von Überliefern. Die Fasern werden schneller in die Verdichtungszone transportiert, als sie aus der Verdichtungszone abgezogen werden. Infolgedessen findet eine Entspannung bzw. eine Stauchung der Fasern statt, die im Extremfall zu einer wellenförmigen Faserablage auf der Riemchenoberfläche führt (Bild 31 a und Bild 31 b). Ist der Anspannverzug AV größer als 1, spricht man vom Anspannen. Die Fasern werden langsamer in die Verdichtungszone transportiert, als sie abgezogen werden.

Hierdurch werden die Fasern gespannt und gegen die Riemchenoberfläche gedrückt (Bild 31 c und Bild 31 d). Im Extremfall bildet sich ein breites, flaches Bändchen (Bild 31 e).

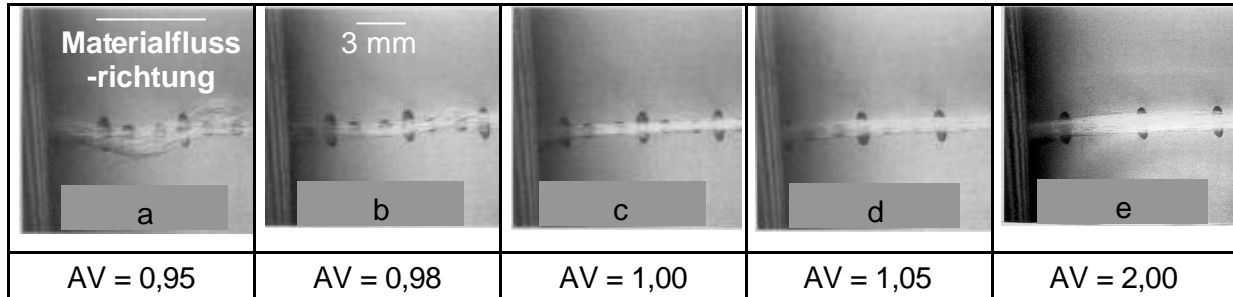


Bild 31: Faserbündelung auf der Riemchenoberfläche bei unterschiedlichen Anspanverzügen AV und zentrischer Zuführung des Faserverbands (100 % Baumwolle gekämmt, Garnfeinheit $T_1 = 25 \text{ tex}$).

7.2.2 Grenzen des Anspanverzugs

Der Anspanverzug AV wird nur innerhalb gewisser Grenzen variiert; zum einen, weil die Wirkung sich im Hinblick auf die Faserbündelung negativ auswirkt, zum anderen, weil ein ungünstiger Anspanverzug die Garngleichmäßigkeit CV negativ beeinflusst. Der Anspanverzug AV beeinflusst jedoch auch die Position der Fasern zur Perforation. Bei zentrischer Zuführung des Faserverbands laufen die Fasern, unabhängig vom Anspanverzug AV immer auf der Perforation. Wird der Faserverband durch das Changieren des Vorgarns außerhalb der Perforationsmittellinie zugeführt, dann werden die Fasern bei hohem Anspanverzug AV von der Perforation weggezogen (Bild 32). Dem Luftstrom wird somit eine vom Anspanverzug AV abhängige Widerstandskraft entgegengesetzt, die die Bündelungswirkung stark beeinflussen kann. Unter dem Gesichtspunkt der Faserbündelung gibt es somit für den Anspanverzug AV zwei Grenzen, eine untere, bei der die Fasern wellig auf der Perforation liegen, und eine obere, bei der die Fasern von der Perforation weggezogen werden (Bild 33).

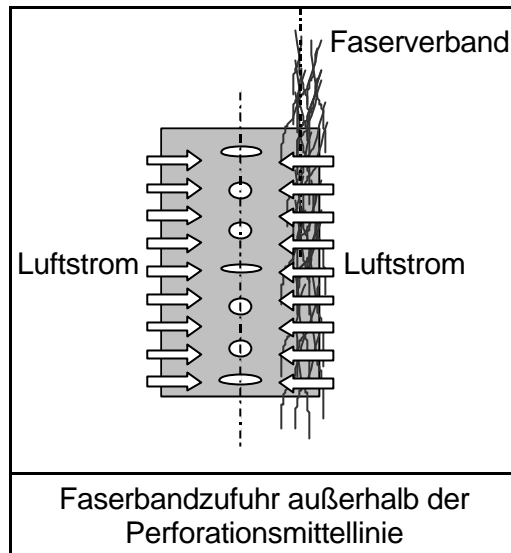


Bild 32: Verlauf des Faserbändchens bei einer Faserzufuhr außerhalb der Perforationsmittellinie und hohem Anspannverzug von $AV = 1,50$.

<p>untere Grenze Faserbändchen wellig</p> <p>Anspannverzug $AV = 0,95$</p>	<p>optimal</p> <p>Anspannverzug $AV = 1,05$</p>	<p>obere Grenze Faserbändchen wird von der Perforation weggezogen</p> <p>Anspannverzug $AV = 1,15$</p>

Bild 33: Grenzen des Anspannverzugs AV.

7.2.3 Definition des Widerstandsfaktors

Es gibt also eine Reihe von Parametern, teils fix, teils variabel, die den Bündelungsvorgang in der Verdichtungszone positiv oder negativ beeinflussen können (Bild 34).

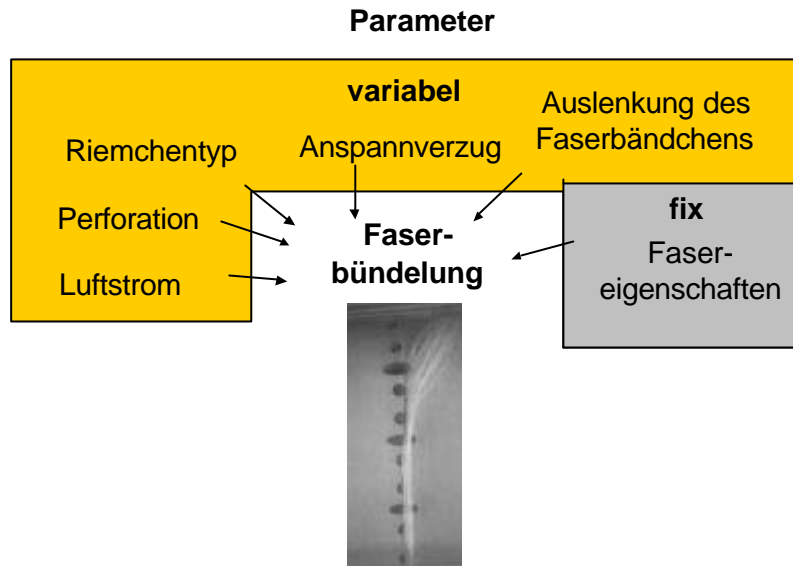


Bild 34: Parameter, die den Bündelungsvorgang beeinflussen.

Die bisherigen Versuche haben gezeigt, dass ein leicht zu bündelndes Faserbändchen wenig empfindlich auf den Anspannverzug AV reagiert. Das führte zu der Überlegung, einen Widerstandsfaktor W zu definieren, der auf der Empfindlichkeit gegenüber dem Anspannverzug AV basiert. Je kleiner der Widerstandsfaktor ist, desto leichter ist es die Fasern zu bündeln. Hierbei berechnet sich der Widerstandsfaktor aus dem reziproken Wert der Differenz aus dem maximalen und minimalen Anspannverzug ΔAV (Gleichung 7).

$$W = \frac{1}{\Delta AV} \quad (7)$$

7.2.4 Einfluss der Garnfeinheit auf den Widerstandsfaktor

Je gröber das Garn ist, desto höher ist die Fasermasse in der Verdichtungszone und desto größer ist der Wert der Garnfeinheit T_t . Mit zunehmender Garnfeinheit T_t steigen sowohl die Faseranzahl als auch die Anzahl der Berührungspunkte zwischen den Fasern und die Anzahl der Berührungspunkte zwischen den Fasern und der Riemchenoberfläche. Die Faserbündelung wird also schwieriger. Die Ermittlung des Widerstandsfaktors W in Abhängigkeit von der Garnfeinheit T_t bestätigen dies (Bild 35).

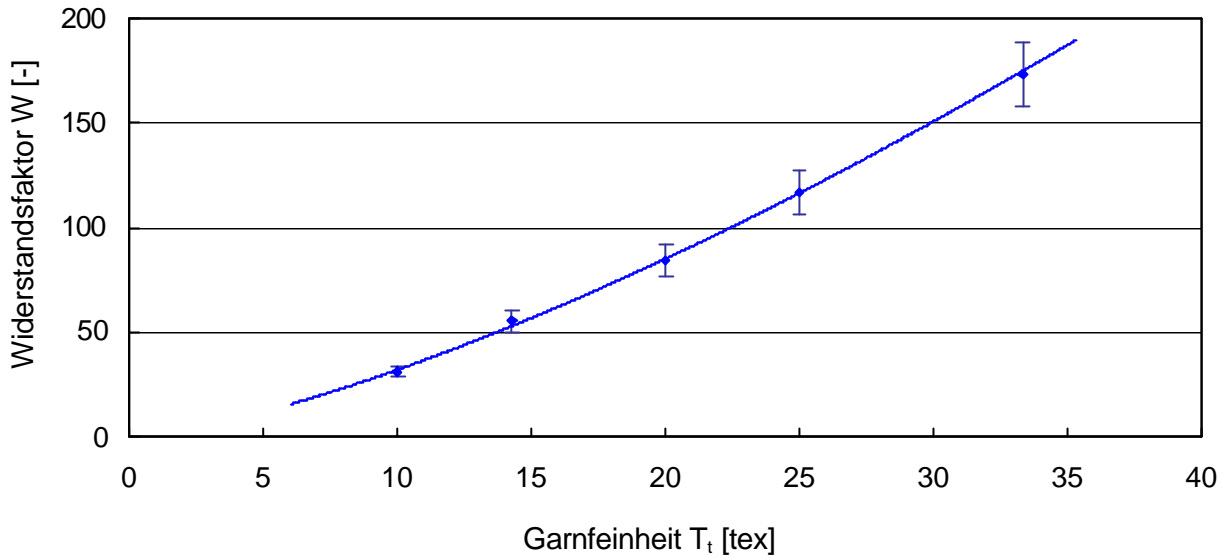


Bild 35: Widerstandsfaktor W in Abhängigkeit von der Garnfeinheit T_t (100 % Baumwolle, mittlere Faserlänge $ML = 24 \cdot 10^{-3}$ m).

7.2.5 Einfluss der mittleren Faserlänge auf den Widerstandsfaktor

Der Einfluss der mittleren Faserlänge ML auf den Bündelungsvorgang soll zunächst theoretisch betrachtet werden. Dazu werden zwei Faserbändchen herangezogen, deren mittlere Faserlänge ML um den Faktor 2 unterschiedlich ist:

$$ML_1 = 2 ML_2 \quad (8)$$

In Bild 36 ist dargestellt, wie sich diese Fasern in der Verdichtungszone verhalten. Den größten Widerstand gegen die Faserbündelung stellen die Fasern dar, die in der Klemmlinie geklemmt sind und gleichzeitig auf der Riemchenoberfläche liegen (Klemmbereich). Je größer die mittlere Faserlänge ML ist, desto größer ist der Klemmbereich auf dem Riemchen und um so größer ist der Widerstand gegen die Bündelung durch den Luftstrom.

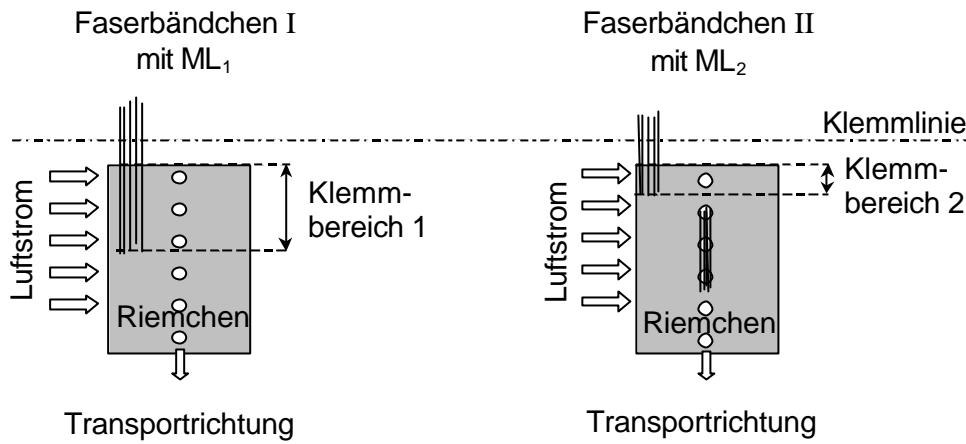


Bild 36: Bündelung von Faserbündchen mit zwei unterschiedlichen mittleren Faserlängen ML_1 und ML_2 .

Diese Überlegungen werden durch die Ergebnisse von Experimenten, die in Bild 37 dargestellt sind, bestätigt. Sowohl mit zunehmender mittlerer Faserlänge ML als auch mit einer gröberen Garnfeinheit T_t nimmt der Widerstandsfaktor W zu.

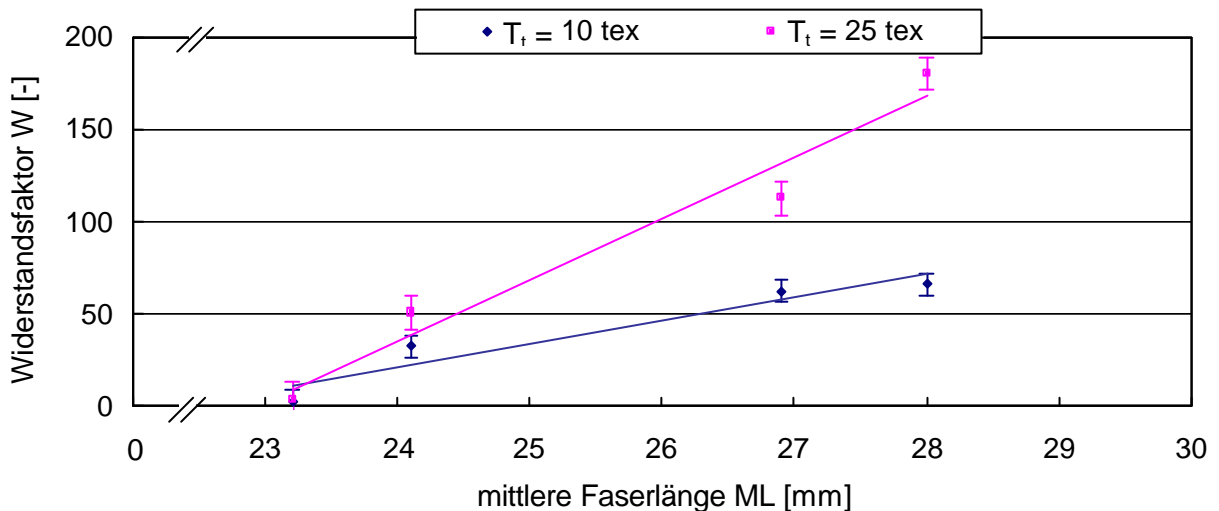


Bild 37: Widerstandsfaktor W in Abhängigkeit von der mittleren Faserlänge ML für zwei unterschiedlichen Garnfeinheiten T_t (100 % Baumwolle).

7.2.6 Einfluss der Faserfeinheit auf den Widerstandsfaktor

Je gröber eine Faser ist, desto größer wird die Biegesteifigkeit, was sich wiederum auf den Widerstandsfaktor W auswirken wird. Um die Größe des Einflusses der Faserfeinheit F_F auf den Widerstandsfaktor W zu untersuchen, werden daher

unterschiedliche Faserfeinheiten F_F eingesetzt. Da sich bei Naturfasern mit der Faserfeinheit F_F auch die Faserlänge l_{Faser} ändert, wurden für diese Untersuchungen Viskosefasern der Firma Lenzing mit unterschiedlichen Faserfeinheiten von $F_F = 0,10, 0,13$ und $0,17$ tex eingesetzt. Bei den Versuchen musste berücksichtigt werden, dass bei konstanter Garnfeinheit T_t die Faseranzahl n_{Faser} mit zunehmender Faserfeinheit F_F ansteigt (Tabelle 2):

$$n_{Faser} = \frac{T_t}{F_F} \quad (9)$$

mit T_t Garnfeinheit [tex]
 F_F Faserfeinheit [tex]

Tabelle 2: Zusammenhang zwischen Faserfeinheit F_F , Faseranzahl n_{Faser} und Garnfeinheit T_t .

Faserfeinheit F_F [tex]	Faseranzahl n_{Faser} bei konstanter Garnfeinheit $T_t = 25$ tex	Garnfeinheit T_t bei $n_{Faser} = 147$ [tex]
0,10	250	14,7
0,13	192	19,1
0,17	147	25,0

Wird die Faserfeinheit F_F bei konstanter Garnfeinheit T_t verändert, so ändert sich nicht nur die Biegesteifigkeit, sondern auch die gesamte Faserberührfläche und die Faser/Faser-Reibung. Um trotzdem den Einfluss der Biegesteifigkeit auf die Faserbündelung herausarbeiten zu können, wurde bei den Versuchen zunächst die Faseranzahl n_{Faser} bei unterschiedlicher Faserfeinheit F_F konstant gehalten.

7.2.6.1 Zusammenhang zwischen der Faserfeinheit und dem Widerstandsfaktor bei konstanter Faseranzahl

Die Versuche wurden mit konstanter Faseranzahl n_{Faser} im Garnquerschnitt durchgeführt, d.h. dass mit zunehmender Faserfeinheit F_F ein gröberes Garn ausgesponnen wurde. Die Versuche mit den Viskosefasern unterschiedlicher Faserfeinheit F_F ergaben, dass zwischen dem Widerstandsfaktor W und der

Faserfeinheit F_F ein exponentieller Zusammenhang besteht (Bild 38). Somit gilt: Je gröber die Faser, desto mehr Widerstand wird der Bündelung entgegengesetzt.

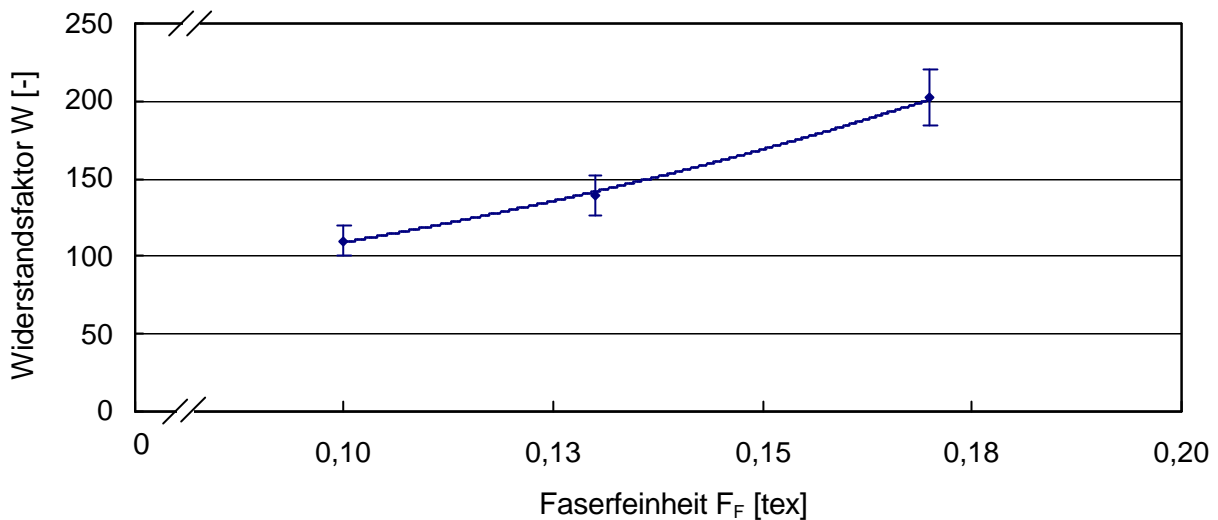


Bild 38: Zusammenhang zwischen dem Widerstandsfaktor W und der Faserfeinheit F_F (100 % Viskose, mittlere Faserlänge $ML = 39 \cdot 10^{-3}$ m, Faseranzahl $n_{\text{Faser}} = 147$).

7.2.6.2 Zusammenhang zwischen der Faserfeinheit F_F und dem Widerstandsfaktor W bei konstanter Garnfeinheit T_t

Wird die Garnfeinheit T_t konstant gehalten und die Faseranzahl n_{Faser} in Abhängigkeit von der Faserfeinheit F_F variiert, dann wird der komplexe Einfluss von Faser/Faser-Reibung, Haftung der Fasern am Riemchen und gegenseitige Faserabdeckung deutlich. Es ist keine eindeutige Abhängigkeit des Widerstandsfaktors W von der Faserfeinheit F_F zu erkennen (Bild 39). Der geringste Widerstandsfaktor W wurde für eine Faserfeinheit von $F_F = 0,13$ tex ermittelt. Offensichtlich wird bei sehr feinen Fasern der Einfluss der Biegesteifigkeit durch andere Effekte kompensiert. Hier spielen insbesondere die Faser/Faser-Reibung, die Faser/Riemchen-Reibung und die gegenseitige Faserabdeckung eine wichtige Rolle.

Nimmt man den Widerstandsfaktor W aus Bild 38 für die jeweilige Faserfeinheit F_F und dividiert diese Werte durch die Faseranzahl $n_{\text{Faser}} = 147$, so erhält man einen rechnerischen Widerstandsfaktor W_F für eine einzelne Faser bei der entsprechenden Faserfeinheit F_F . Dieser Wert kann bei konstanter Garnfeinheit T_t mit der jeweiligen

Faseranzahl n_{Faser} multipliziert werden (vgl. Tabelle 2), was zu einem berechneten Widerstandsfaktor W_{Br} bei konstanter Garnfeinheit T_t , aber unterschiedlicher Faserfeinheit F_F führt (Bild 40). Es ergeben sich zwischen den Versuchen (Bild 39) und den Berechnungen (Bild 40) qualitativ ähnliche Zusammenhänge.

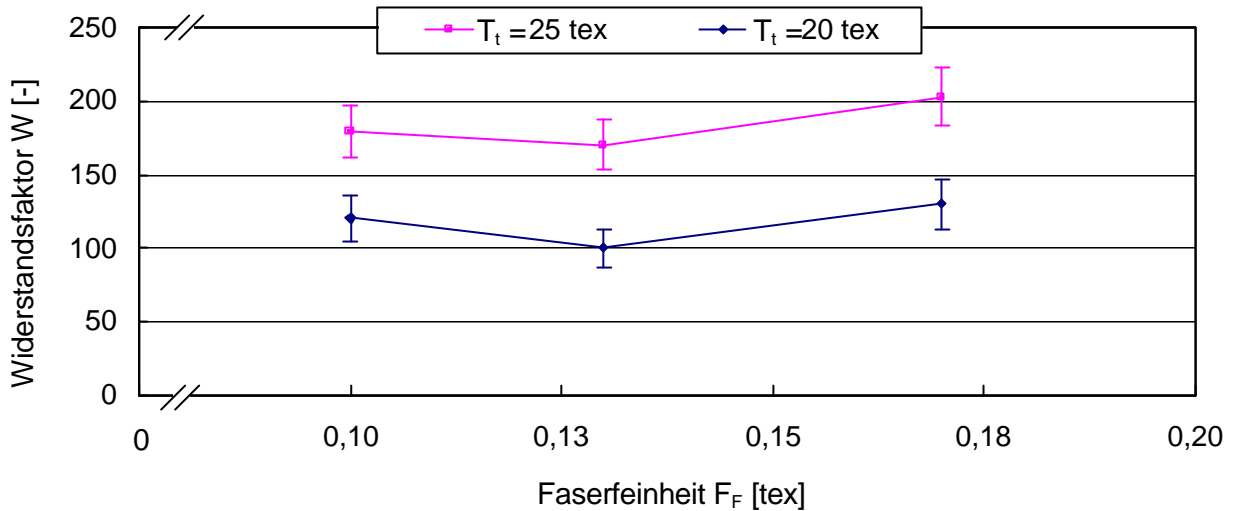


Bild 39: Widerstandsfaktor W in Abhängigkeit von der Faserfeinheit F_F bei zwei unterschiedlichen Garnfeinheiten T_t (100 % Viskosefasern, mittlere Faserlänge $ML = 39 \cdot 10^{-3}$ m).

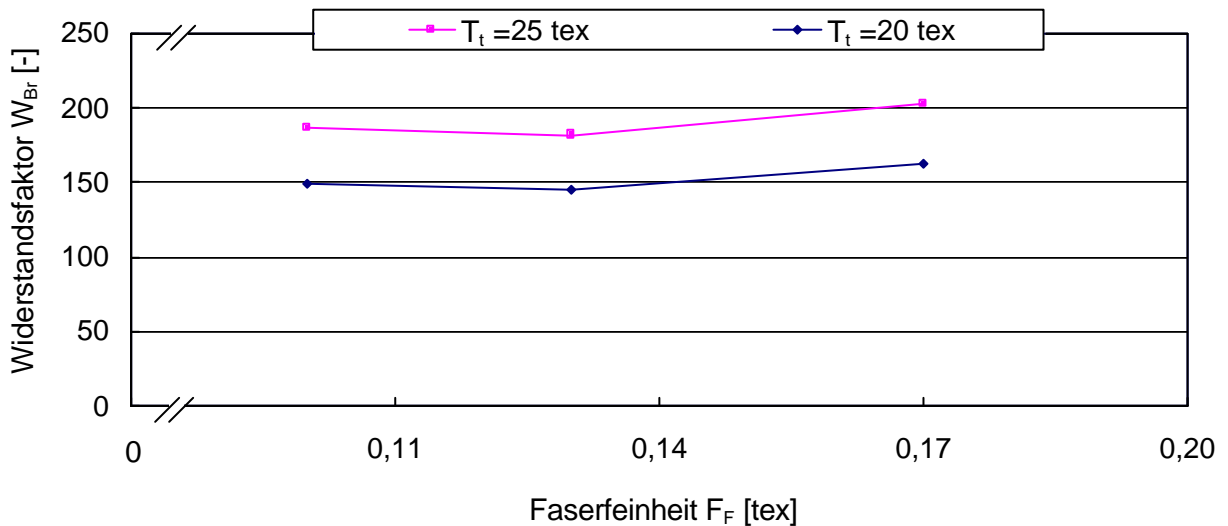


Bild 40: Berechneter Widerstandsfaktor W_{Br} in Abhängigkeit von der Faserfeinheit F_F für unterschiedliche Garnfeinheiten T_t (100 % Viskose, mittlere Faserlänge $ML = 39 \cdot 10^{-3}$ m).

7.2.7 Einfluss der Spinnengeschwindigkeit auf den Widerstandsfaktor

Mit zunehmender Spinnengeschwindigkeit v_{sp} steigt auch die Geschwindigkeit, mit der die Fasern durch die Verdichtungszone geführt werden, an; die Verweilzeit der Fasern in der Verdichtungszone und somit die Zeit für den Bündelungsvorgang nimmt ab. Wie sich dies auf den Widerstandsfaktor W für zwei Baumwollen unterschiedlicher mittlerer Länge ML auswirkt, ist Bild 41 zu entnehmen. Es wird deutlich, dass in der für das Ringspinnen relevanten Spinnengeschwindigkeit von $v_{sp} = 0,25$ bis $0,42$ m/s die mittlere Faserlänge ML einen größeren Einfluss auf die Faserbündelung hat, als die Spinnengeschwindigkeit v_{sp} . Wenn vergleichsweise lange Baumwollen versponnen werden, ist der Einfluss der Spinnengeschwindigkeit v_{sp} nicht zu vernachlässigen.

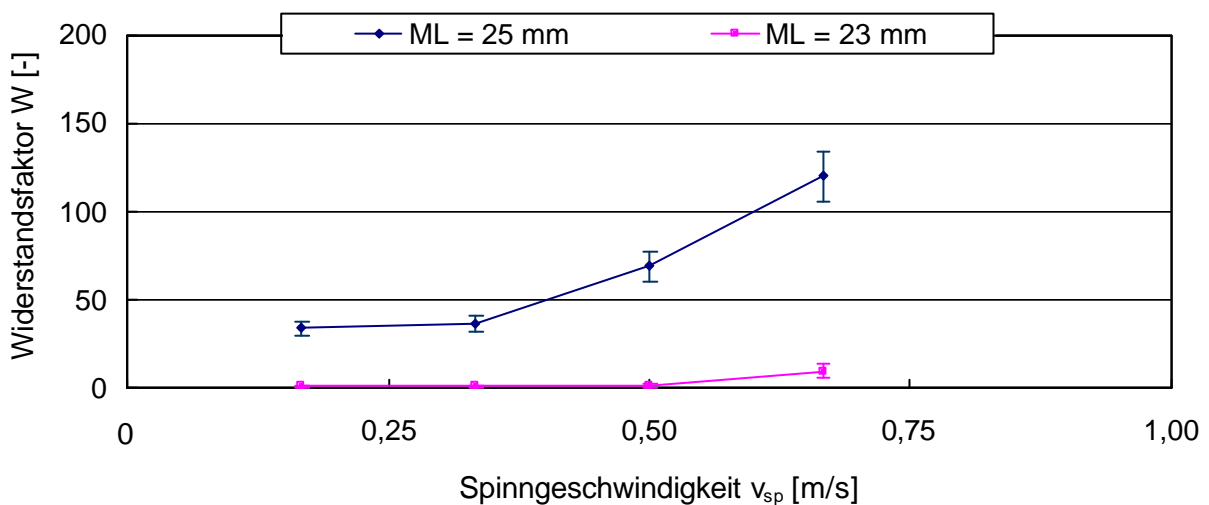


Bild 41: Widerstandsfaktor W in Abhängigkeit von der Spinnengeschwindigkeit v_{sp} für zwei unterschiedliche mittlere Faserlängen ML (100 % Baumwolle, Garnfeinheit $T_t = 10$ tex).

7.2.8 Einfluss des Rohstoffs auf den Widerstandsfaktor

Der Widerstand, den eine Faser der Bündelung entgegensetzt, hängt auch von der Oberflächenstruktur der Faser, der Faserquerschnittsform und der Faseravivage ab.

Bild 42 zeigt exemplarisch den Widerstandsfaktor W für unterschiedliche Fasern. Es wird deutlich, dass eine Faser um so schwieriger zu bündeln ist, je länger sie ist. Dieser Trend ist vor allem bei den mittelfeinen Garnen der Garnfeinheit $T_t = 25 \text{ tex}$ stark ausgeprägt.

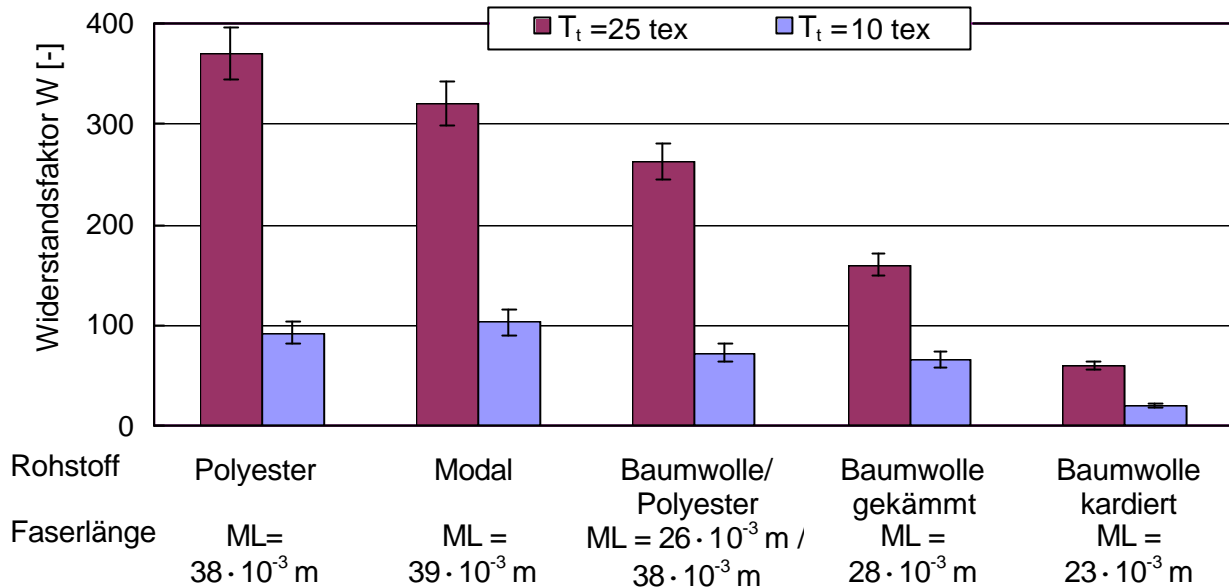


Bild 42: Widerstandsfaktor W in Abhängigkeit vom Rohstoff für zwei unterschiedliche Garnfeinheiten T_t .

Für den Spinnprozess ist es wesentlich zu wissen, welche Mindest-Luftgeschwindigkeit notwendig ist, um die Fasern zu bündeln, und welche Mindest-Luftgeschwindigkeit bei unterschiedlichem Anspannverzug AV benötigt wird. Diese Fragen werden nachfolgend geklärt.

7.3 Untersuchung des Einflusses strömungstechnischer Parameter auf die Faserbündelung

Im Hinblick auf den Fasertransport zur Perforation ist die Höhe der Luftgeschwindigkeit quer zur Fasertransportrichtung von Bedeutung, da - lässt man die Reibungseinflüsse außer acht - die von der Luft auf die Fasern ausgeübte Kraft von der Luftgeschwindigkeit abhängt. Für einen besseren Fasertransport zur Perforation gilt es also, die Luftgeschwindigkeit quer zur Transportrichtung zu erhöhen. Gelänge das, dann wäre es auch denkbar, die Changierung des zugeführten Vorgarns zu verbreitern, wodurch sich der Verschleiß an den

Druckrollern verringern und sich die Wirtschaftlichkeit des Verdichtungsspinnens verbessert.

Um einen Fasertransport zur Perforation zu erreichen, ist eine Mindest-Luftgeschwindigkeit notwendig, welche nachfolgend bestimmt wird. Danach werden Möglichkeiten zu deren Erhöhung aufgezeigt.

7.3.1 Erforderliche Mindest-Luftgeschwindigkeit für den Fasertransport zur Perforation

Die zur Verfügung stehenden Strömungsmessgeräte erlauben keine Messung der Luftströmung, wenn sich Fasern im Messbereich befinden. Aus diesem Grund wurde zunächst der Unterdruck bestimmt, ab dem ein aus der Perforationsmitte ausgeleiteter Faserverband zur Perforationsmitte gezogen wird. Anschließend wurde die Luftgeschwindigkeit im Bereich der Faserbandzuführung mit Hilfe eines Laser Doppler Anemometers (LDA) bestimmt.

Die für einen Fasertransport notwendige Mindest-Luftgeschwindigkeit v_{Lmin} ist in Bild 43 in Abhängigkeit vom Anspannverzug AV, von der mittleren Faserlänge ML und von der Garnfeinheit T_t dargestellt.

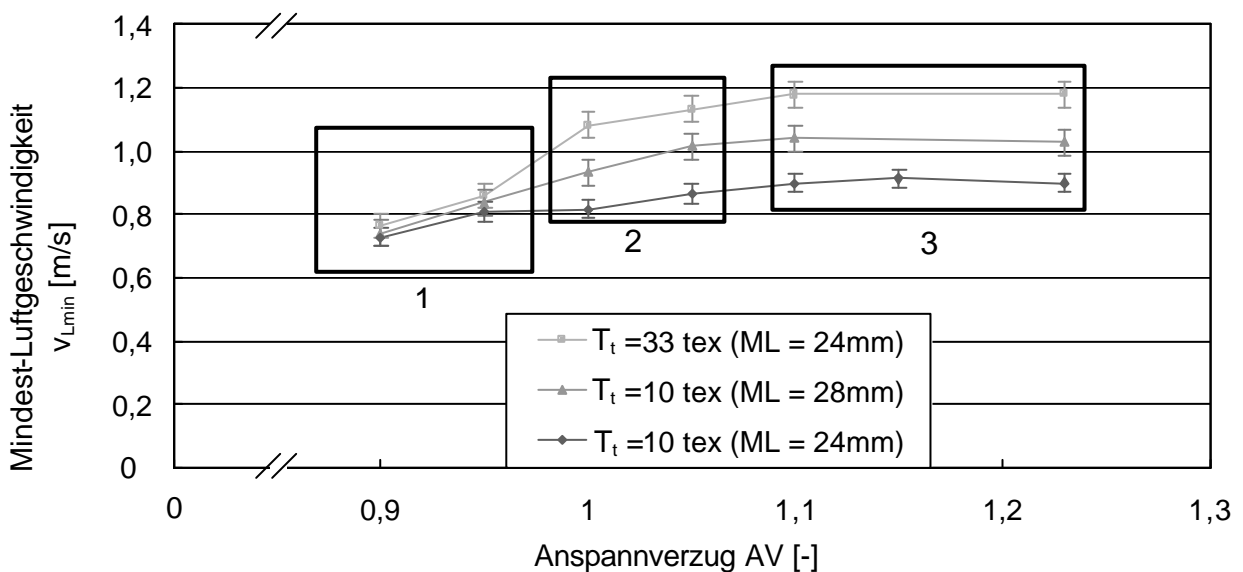


Bild 43: Einfluss des Anspannverzugs AV, der Garnfeinheit T_t und der mittleren Faserlänge ML auf die für einen Fasertransport notwendige Mindest-Luftgeschwindigkeit v_{Lmin} (100 % Baumwolle).

Der Kurvenverlauf in Bild 43 lässt sich in 3 Bereiche einteilen. In Bereich 1 wurde das Fasermaterial so stark überliefert ($AV = 0,9$), dass die Fasern beim Übergang vom Ausgangswalzenpaar auf das Riemchen leicht von der Riemchenoberfläche abheben und somit kann die Faser/Riemchen-Reibkraft vernachlässigt werden. Unter diesen Bedingungen ist die Faserbündelung unabhängig von der Garnfeinheit T_t oder der mittleren Faserlänge ML . Für eine Garnfeinheit von $T_t = 10 \text{ tex}$ ist die gleiche Mindest-Luftgeschwindigkeit ($v_{Lmin} = 0,8 \text{ m/s}$) erforderlich wie für eine Garnfeinheit von $T_t = 33 \text{ tex}$. Wird der Anspannverzug AV gesteigert, dann legen sich die Fasern immer stärker an die Riemchenoberfläche an. Die Faser/Riemchen-Reibkraft wird wirksam (Bereich 2). Die Mindest-Luftgeschwindigkeit v_{Lmin} muss für den gewünschten Fasertransport gesteigert werden.

Wird der Anspannverzug auf $AV > 1,1$ erhöht, dann stellen sich konstante Reibkraftverhältnisse zwischen Riemchenoberfläche und Fasern ein (Bereich 3). Es herrscht ein deutlicher Einfluss der mittleren Faserlänge ML und der Garnfeinheit T_t auf die für die Faserbündelung erforderliche Mindest-Luftgeschwindigkeit v_{Lmin} .

Die wichtigste Erkenntnis aus den Versuchen ist, dass eine Mindest-Luftgeschwindigkeit von $v_{Lmin} = 1 \text{ m/s}$ für die Faserbündelung von Baumwolle fast immer ausreicht. Ist dies nicht der Fall, muss der Anspannverzug AV reduziert werden.

7.3.2 Möglichkeiten zur Steigerung der Changierbreite durch Veränderung der Luftführung

Zunächst wird eine Übersicht über die Möglichkeiten zur Steigerung der Changierbreite und der Luftgeschwindigkeit gegeben. Die Ergebnisse der einzelnen Maßnahmen werden unten beschrieben. In Bild 44 sind die Bezeichnungen dargestellt, welche nachfolgend verwendet werden.

Die Luftgeschwindigkeit v_x und somit auch die Energie für einen Fasertransport nehmen mit zunehmenden Abstand L vom Lochrand ab (Bild 45). Wird für einen Fasertransport eine Luftgeschwindigkeit von $v_x = 1 \text{ m/s}$ vorausgesetzt, so werden nach Bild 45 noch Baumwollfasern zur Perforation transportiert, die etwa 2,5 mm

vom Lochrand entfernt sind. Sollen die Fasern aus einer größeren Entfernung transportiert werden, könnte man die Löcher länglich formen und damit der Abstand l_F bei konstantem Abstand l_L vergrößert werden (Tabelle 3, Lösungsvariante 1).

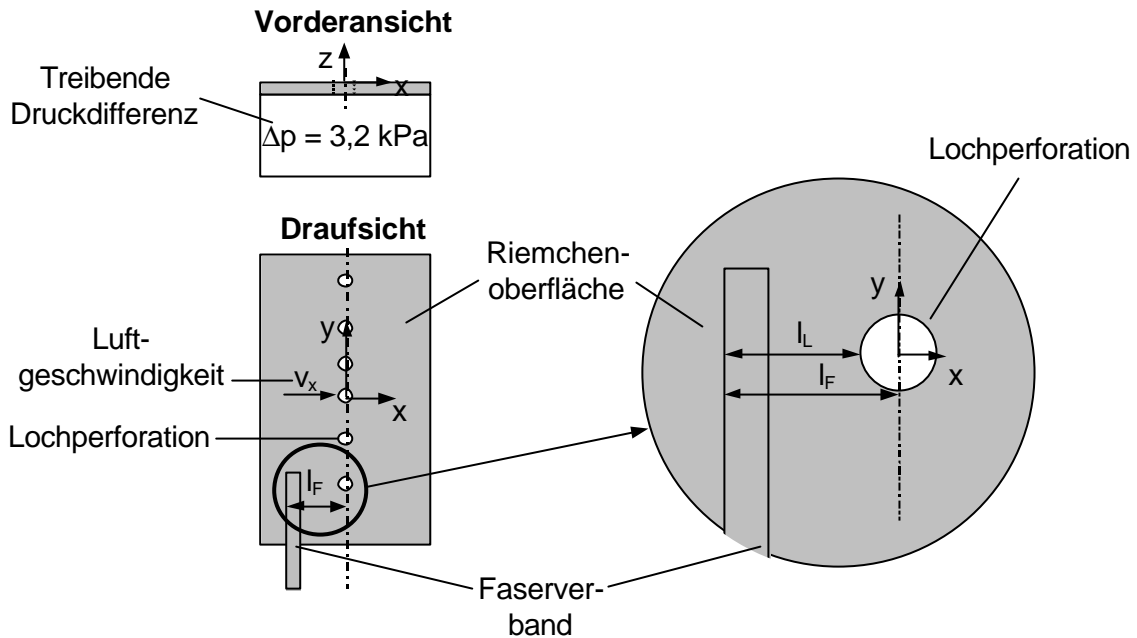


Bild 44: Ausgangssituation vor dem Bündelungsvorgang.

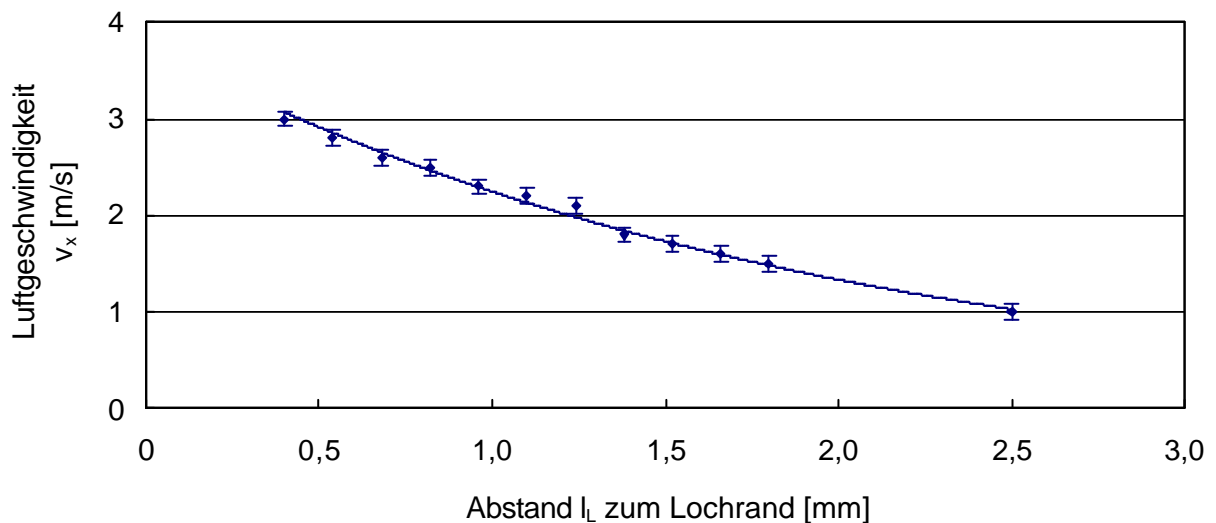


Bild 45: Luftgeschwindigkeit v_x in Abhängigkeit vom Abstand l_L zum Lochrand.

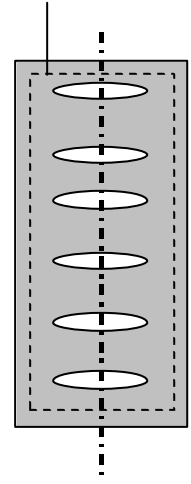
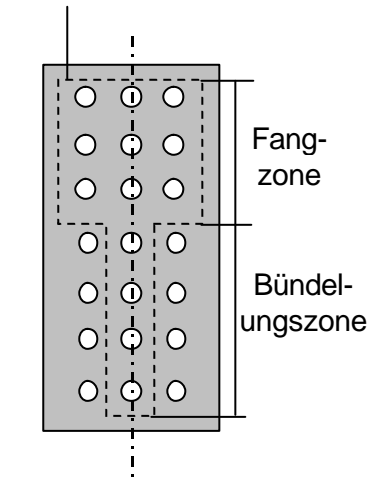
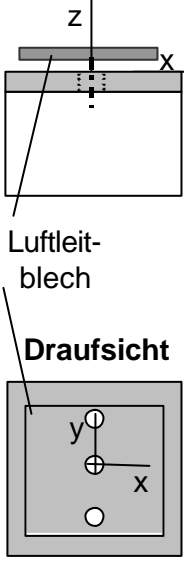
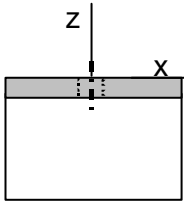
Eine weitere Möglichkeit, die Changierbreite zu erhöhen, besteht in der Änderung der Luftführung. Hierzu werden im Abstand von $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ zur Mittellinie links und

rechts weitere Löcher angebracht. Außerdem wird der Saugluftschlitz unter dem Riemchen verändert. Der Anfangsbereich ist dreimal so breit wie der eigentliche Bündelungsbereich. Dadurch werden die Fasern zunächst von den äußeren Luftströmen erfasst und dann auf die mittlere Lochreihe gezogen (Tabelle 3, Lösungsvariante 2).

Eine Erhöhung der Luftgeschwindigkeit v_x kann auch durch ein Luftleitblech erreicht werden, das oberhalb des Riemchens angebracht wird. Dies reduziert die Luftströmung in z-Richtung; es entsteht ein Spalt (Tabelle 3, Lösungsvariante 3).

Der einfachste Weg, die Luftgeschwindigkeit v_x zu erhöhen, besteht in der Erhöhung der treibenden Druckdifferenz (Tabelle 3, Lösungsvariante 4). Allerdings ist das die teuerste Lösung; sowohl technisch als auch bezüglich der variablen Kosten.

Tabelle 3: Möglichkeiten zur Erhöhung der Changierbreite durch Veränderung der Luftführung.

Lösungs-variante	1	2	3	4
Kurzbeschreibung	Verbreitern der Perforation	Ändern der Luftführung	Ändern der Luftführung mittels Luftleitblech	Erhöhen der treibenden Druckdifferenz
Skizze	<p>Saugöffnung</p> 	<p>Saugöffnung</p> 		

Nachfolgend werden die einzelnen Lösungsvarianten auf ihre Effektivität hin untersucht. Welche Lösung zur industriellen Realisierung empfohlen werden sollte, wird anhand der Garnqualität entschieden.

7.3.3 Versuchsstand zur Ermittlung der optimalen Luftströmung

Die Luftströmung, die sich durch Riemchen mit unterschiedlichen Perforationen ergibt, wurde mit Hilfe des Particle-Image-Velocimetry Messsystems (PIV) untersucht. Solche Untersuchungen können nicht direkt an der Verdichtungszone der Spinnmaschine durchgeführt werden; sie wurden auf einem speziellen Versuchsstand vorgenommen (Bild 46). Da die Abmessungen der verschiedenen Perforationslöcher eines Riemchens herstellungsbedingt etwas schwanken, wurden anstelle der Gummieriemchen Stahlplatinen verwendet, in denen der gewünschte Lochquerschnitt mittels Laser präzise eingebracht wurde. Alle Grundlagen-Messungen erfolgten also im stationären Zustand und nicht am bewegten Riemchen.

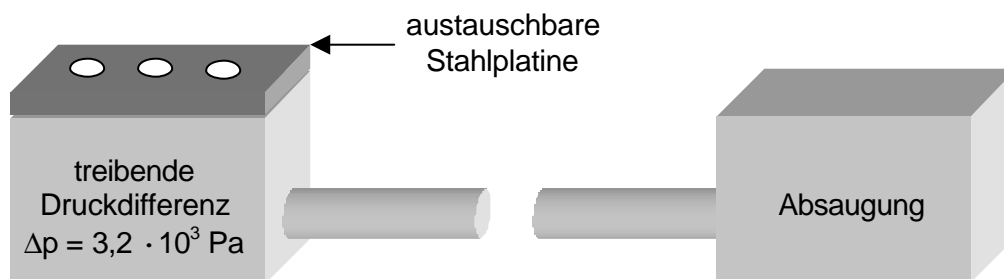


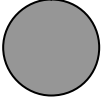
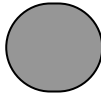



Bild 46: Versuchsstand zur Bestimmung der Luftgeschwindigkeit im Bereich der Perforationslöcher.

7.3.4 Ermittlung der optimalen Lochquerschnittsgeometrie

Zunächst wurde geklärt, wie hoch der Energieverlust bei verschiedenen Lochquerschnittsgeometrien bei gleicher Fläche ist. Es wurde untersucht, ob sich die Lochquerschnittsgeometrie bei den ausgewählten Perforationen auf den Volumenstrom auswirkt. Ob Riemchen mit solchen Löchern auch die beste Garnqualität

liefern, wird an dieser Stelle noch nicht diskutiert. Untersucht wurden die in Tabelle 4 aufgeführten Querschnittsgeometrien.

Tabelle 4: Lochquerschnittsgeometrien der verschiedenen Perforationslöcher bei unterschiedlichen hydraulischen Durchmessern d_h , (Fläche konstant mit $A = 4,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$, Umfang variabel).

Form der untersuchten Geometrien					
hydraulischer Durchmesser d_h	2,35	2,00	1,82	1,60	1,38

Die Ergebnisse dieser Versuche sind Bild 47 zu entnehmen. Es zeigt sich, dass die Lochquerschnittsgeometrie keinen signifikanten Einfluss auf den Volumenstrom hat. Somit ist ein möglicher Einfluss der Querschnittsgeometrie zu gering und liegt im Rahmen der Messgenauigkeit.

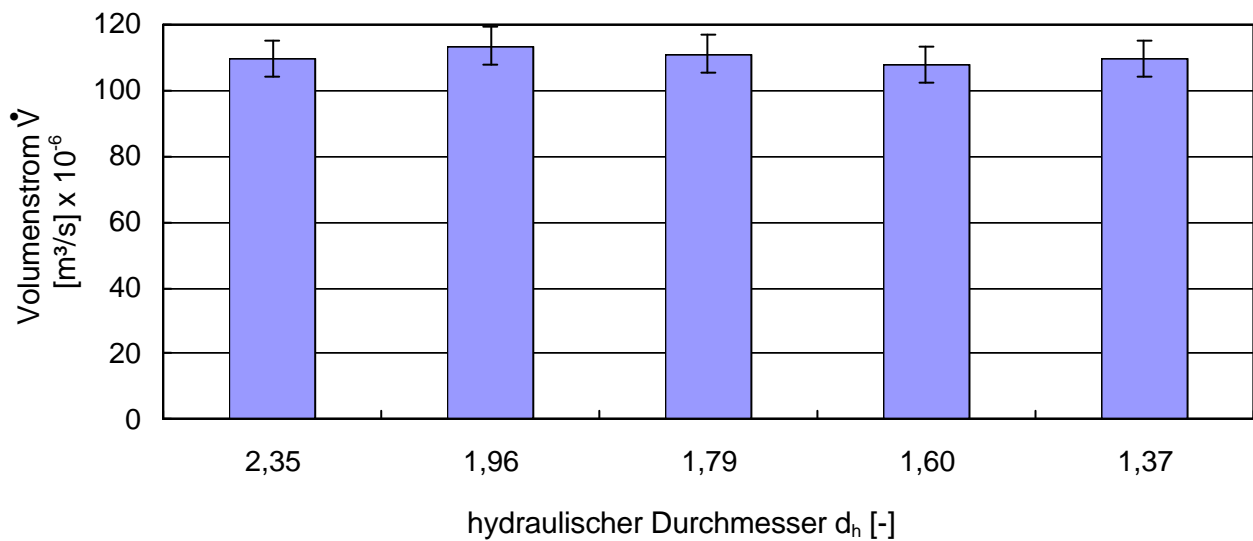


Bild 47: Volumenstrom \dot{V} in Abhängigkeit vom hydraulischen Durchmesser d_h (Fläche $A = 4,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$, treibende Druckdifferenz $\Delta p = 3,2 \cdot 10^3 \text{ Pa}$).

Somit kann für die Perforation der Riemchen jede der untersuchten Lochquerschnittsgeometrien verwendet werden.

7.3.5 Ermittlung der optimalen Perforationsbreite

In einer weiteren Versuchsserie wurden die Lochquerschnittsgeometrien der Perforationslöcher in drei Stufen verändert. Die Luftströmung wurde mit dem PIV-System in der x-z-Ebene gemessen (Bild 48). Betrachtet man die Luftgeschwindigkeiten in x- und z-Richtung im Randbereich, so ist festzustellen, dass die Luftgeschwindigkeit v_x mit der Länge des Langlochs in diesem Bereich zunimmt (Bild 48).

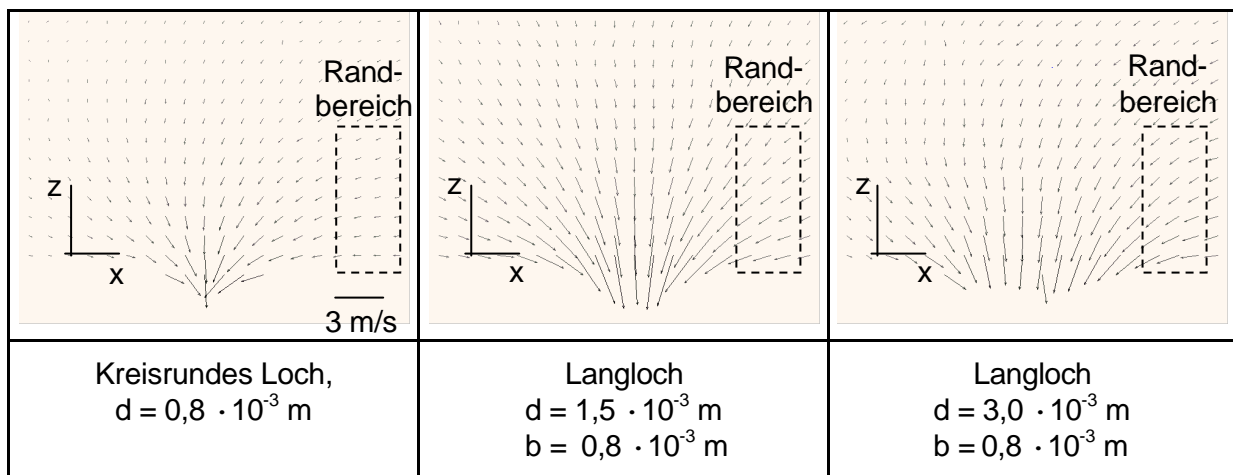


Bild 48: Geschwindigkeitsvektoren einer Luftströmung von kreisrunden Löchern und Langlöchern (treibende Druckdifferenz $\Delta p = 3,2 \cdot 10^3 \text{ Pa}$).

Die Zunahme der Luftgeschwindigkeit in z-Richtung führt dazu, dass die Fasern stärker gegen die Riemchenoberfläche gedrückt und damit weniger stark verdichtet werden. Was das für die Garnqualität bedeutet, wird nachfolgend beschrieben.

Einfluss von Lochquerschnittsform und Lochgröße auf die Garnqualität

Wird anstelle eines Riemchens mit kreisrunden Löchern ein Riemchen mit Langlöchern eingesetzt, dann verändert sich die Garnqualität in der in Tabelle 5 dargestellten Weise, wobei die Garnqualität des Garns, das mit dem Riemchen mit Kreislochperforation hergestellt wurde, als Referenz verwendet wurde.

Tabelle 5: Einfluss der Lochquerschnittsgeometrie auf die Garnqualität (100 % Baumwolle, Garnfeinheit $T_t = 20 \text{ tex}$).

Perforation: Abmessungen:	kreisrundes Loch $d = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$	Langloch $d = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ $b = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$	Langloch $d = 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ $b = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
Garngleichmäßigkeit	Vergleichsmaßstab	0	-
Garnimperfektion		0	-
Garnhaarigkeit nach UT3		-	--
Garnhaarigkeit nach Zweigle, S3-Wert		-	--

- mit 0 keine Veränderung,
 - geringfügige Verschlechterung,
 -- mittelstarke Verschlechterung.

Die Versuchsergebnisse zeigen, dass sich die Garngleichmäßigkeit CV und Garnhaarigkeit mit zunehmender Länge des Langlochs verschlechtern. Der Grund hierfür wird anhand der Fotos von den Fasern auf der Riemchenoberfläche deutlich (Bild 49). Zwar werden die Fasern auch auf einem Riemchen mit Langlochperforation gebündelt; sie legen sich aber breiter ab, als dies bei einer Kreislochperforation der Fall ist. Infolgedessen kommt es zu einem breiteren Spinddreieck, wodurch sich insbesondere die Garnhaarigkeit erhöht. Riemchen mit ausschließlich Langlöchern sind somit spinn technologisch nicht geeignet.

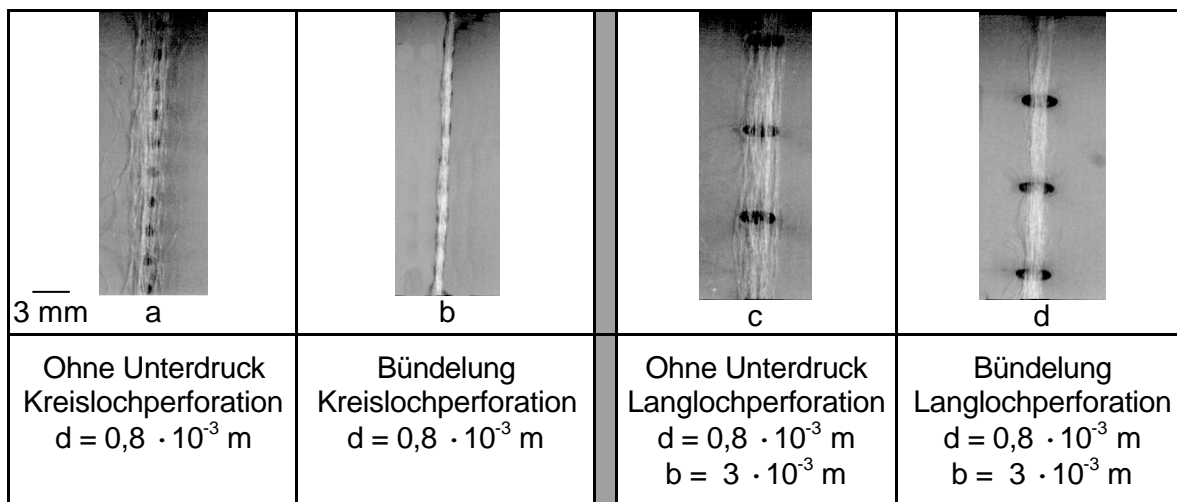


Bild 49: Faserbündelung auf der Riemchenoberfläche bei unterschiedlicher Perforation.

7.3.6 Betrachtung der Volumenströme durch eine Perforation, bestehend aus kreisrunden Löchern und Langlöchern

Die bisher beschriebenen Untersuchungen machten deutlich, dass die Fasern zwar von Riemchen mit Langlöchern aus einer größeren Entfernung besser transportiert werden, dass dies aber mit einer Verringerung an Garnqualität erkauft wird. Daher wurde untersucht, wie sich eine Kombination aus kreisrunden Löchern und Langlöchern auf den Faserbündelungsprozess auswirkt. Zunächst wurde dazu auf dem Luftströmungsprüfstand ermittelt, welche Einzelvolumenströme sich bei den verschiedenen Löchern ergeben und zu welchem Gesamtvolumenstrom ein Riemchen, das sowohl kreisrunde Löcher als auch Langlöcher aufweist, führt (Bild 50).

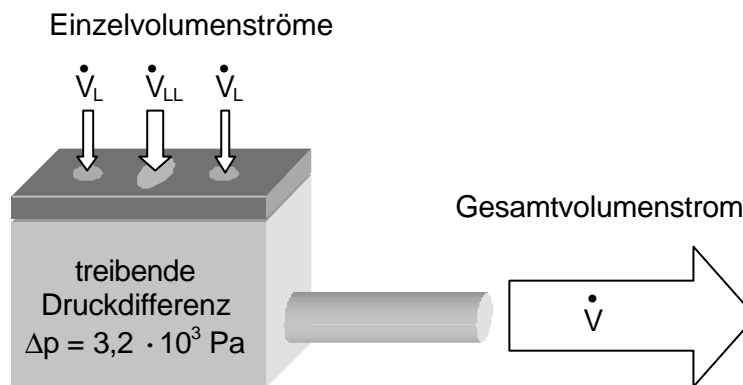


Bild 50: Volumenströme beim Einsatz einer Platine mit kreisrunden Löchern und Langlöchern.

Untersuchung der Volumenströme

Welche Volumenströme sich bei einem kreisrunden Loch (\dot{V}_L), einem Langloch (\dot{V}_{LL}) und einer Kombination von beiden Löchern (\dot{V}_{L+LL}) ergeben, ist der Tabelle 6 zu entnehmen.

Tabelle 6: Gesamtvolumenströme \dot{V} durch Löcher unterschiedlicher Querschnitte, (treibende Druckdifferenz $\Delta p = 3,2 \cdot 10^3 \text{ Pa}$).

Abmessungen der Lochquerschnitte	Kreisloch $d = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$	Langloch $d = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ $b = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$	Kreisloch & Langloch
Gesamtvolumenstrom \dot{V} [m ³ /s]	$20 \cdot 10^{-6}$	$91 \cdot 10^{-6}$	$102 \cdot 10^{-6}$

Wie zu erwarten, strömt deutlich mehr Luft durch das Langloch als durch das kleinere kreisrunde Loch. Nicht selbstverständlich ist jedoch, dass dann, wenn beide Löcher offen sind, weniger Luft strömt als es der Summe der Einzelvolumenströme entspricht. Es wurde daher untersucht, welchen Einfluss die durchströmte Fläche A auf den Gesamtvolumenstrom \dot{V} der austretenden Luft hat (Bild 51). Untersucht wurde dies sowohl für die kreisrunden Löcher als auch für das Langloch. Wie dem Bild 51 zu entnehmen ist, strebt der Gesamtvolumenstrom \dot{V} mit zunehmender Fläche A einem Grenzwert zu, der sich aus der treibenden Druckdifferenz Δp ergibt. Der Gesamtvolumenstrom \dot{V} für eine bestimmte Fläche A ist unabhängig von der Lochgeometrie.

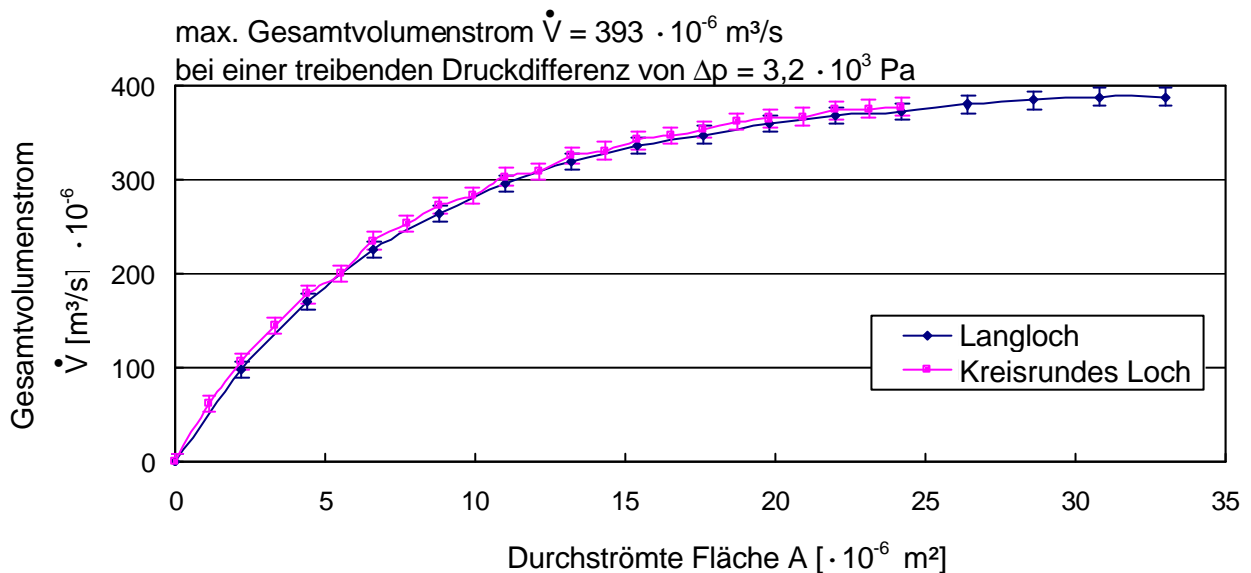


Bild 51: Abhängigkeit des Gesamtvolumenstroms \dot{V} von der Größe der durchströmten Fläche A (treibende Druckdifferenz $\Delta p = 3,2 \cdot 10^3 \text{ Pa}$).

Der statische Druck p_{st} nimmt ab, wenn die durchströmte Fläche A zunimmt. Je größer die durchströmte Fläche A wird, desto stärker nimmt die für einen höheren Volumenstrom zur Verfügung stehende Energie der Luftströmung ab (Bild 52). Dies hat zur Folge, dass bei zunehmender durchströmter Fläche A die mittlere Luftgeschwindigkeit v_m abnimmt (Bild 53), bei gleichzeitiger Zunahme des Gesamtvolumenstroms \dot{V} .

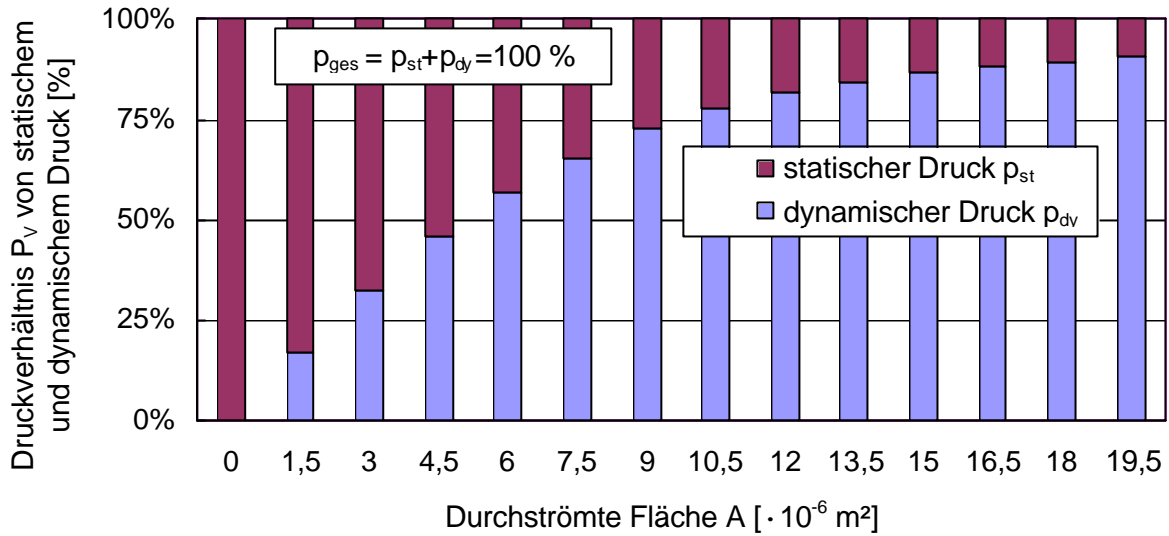


Bild 52: Druckverhältnis P_v von statischem und dynamischem Druck (potentieller und kinetischer Energie) in Abhängigkeit von der durchströmten Fläche A bei konstanter treibender Druckdifferenz Δp .

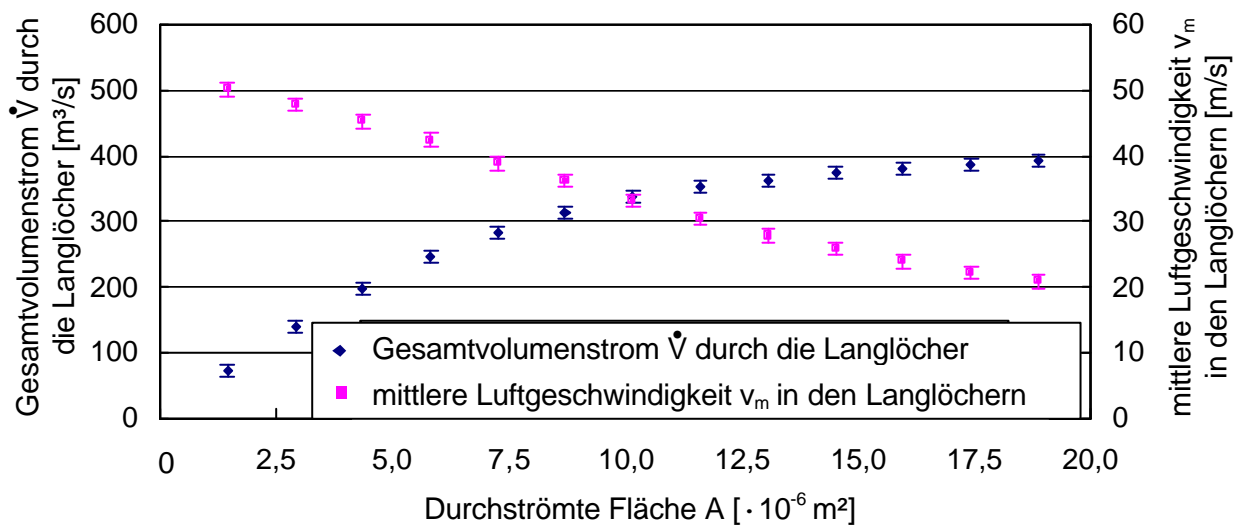


Bild 53: Mittlere Luftgeschwindigkeit v_m in den Langlöchern in Abhängigkeit von der durchströmten Fläche A .

Wird anstelle einer Perforation bestehend aus kreisrunden Löchern eine Kombinationsperforation bestehend aus kreisrunden- und Langlöchern eingesetzt, erhöht sich der Gesamtvolumenstrom \dot{V} . Das bedeutet, dass mehr Energie zur Faserbündelung zur Verfügung steht. Für die verschiedenen Perforationsvarianten wurde die Luftströmung parallel zur Riemchenoberfläche (x - y Ebene) in einer Höhe

von $z = 0,5 \text{ mm}$ mit Hilfe des PIV (Bild 54) gemessen. Um den Wirkungsbereich⁶ der Luft im Bereich der Perforation deutlich zu machen, ist in den Vektorbildern der Bilder 54 a bis c eine Grenzlinie eingezeichnet, ab der sich ein Fasertransport zur Perforation einstellt.

Die Bilder 54 a bis c machen deutlich, dass sich durch den Einsatz der Langlöcher der Wirkungsbereich vergrößert, sich jedoch die Luftgeschwindigkeit um die kreisrunden Löcher verringert. Wird die Langlochfläche zu groß gewählt (Bild 54 c), ist die Entfernung der Fasern zu den kreisrunden Löchern zu groß, so dass die Fasern nur von den Langlöchern gefangen werden und somit die Faserbündelung auf den kreisrunden Löchern ausbleibt.

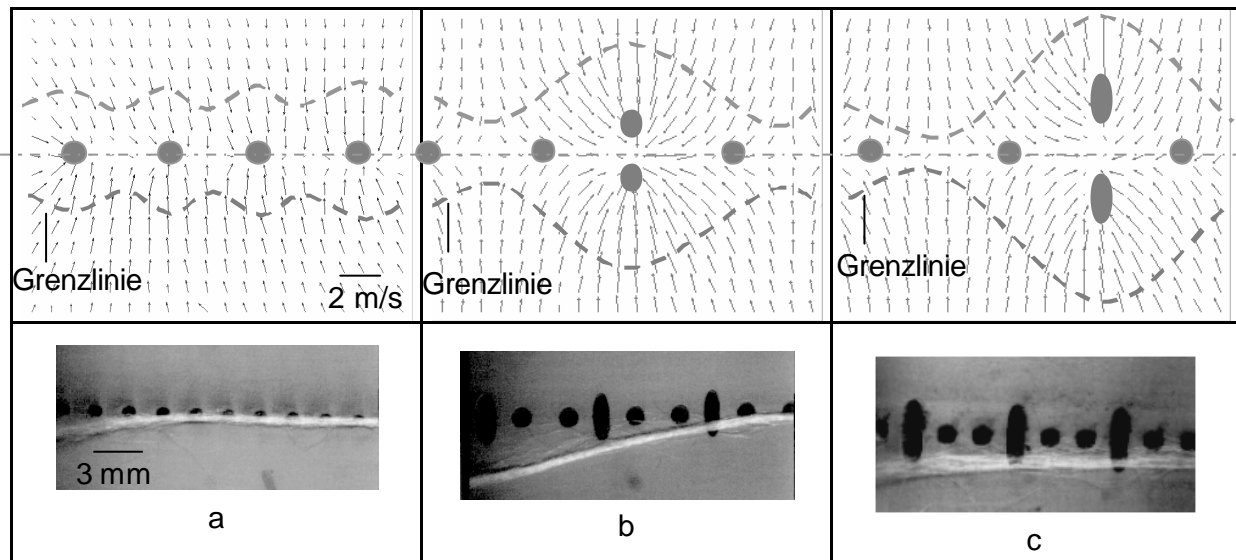


Bild 54: Geschwindigkeitsvektoren einer Luftströmung von verschiedenen Perforationen bzw. Bilder der Faserablage auf dem Riemchen bei nicht zentrischer Faserzuführung.

Einfluss der Perforationsgeometrie auf die Garnqualität

Entspricht die Perforation derjenigen von Bild 54 b, dann kann kein signifikanter Unterschied zu der Qualität der Garne, die auf einem Riemchen mit kreisrunden Löchern gesponnen wurden, festgestellt werden (Tabelle 7). Lediglich die Garnhaarigkeit ist etwas höher. Entspricht die Perforation dem Bild 54 c, dann verschlechtern sich sowohl das Laufverhalten als auch die Garnhaarigkeit drastisch.

⁶ Bereich, in dem ein Fasertransport stattfindet.

Tabelle 7: Einfluss der Perforationsgeometrie auf die Garnhaarigkeit und die Anzahl der Fadenbrüche beim Spinnen, (100 % Baumwolle, Garnfeinheit $T_t = 15 \text{ tex}$).

Perforationsgeometrie	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○
Garnhaarigkeit nach Zweigle, S3-Wert [Anzahl Faserenden/50 m]	148	162	268
Garnhaarigkeit nach UT3 [-]	4,18	4,20	4,60
Laufverhalten der Spinnmaschine [Fbr/1000 Sph ⁷]	14	13	49

7.3.7 Optimierung der Perforation

Wird ein Riemchen eingesetzt, dessen Perforation aus einer Folge von jeweils zwei kreisrunden Löchern und einem Langloch besteht, dann ergibt sich die in Bild 55 dargestellte Luftströmung mit den jeweiligen Geschwindigkeitsvektoren. Es wird deutlich, wie stark die Langlöcher die Gesamtluftströmung beeinflussen. Diese Tatsache führte zu der Überlegung, die zwei kreisrunden Löcher durch Langlöcher, die um 90 Grad gedreht sind, zu ersetzen (Bild 56). Hierdurch haben alle Löcher auf dem Riemchen die gleiche Fläche, so dass durch alle Löcher der gleiche Volumenstrom strömt und sich eine gleichmäßige Faserbündelung einstellt. Allerdings ergaben die Versuche, dass einzelne Faserenden in die Perforation eingesaugt werden. Das führte zu einem nicht mehr tolerierbaren Anstieg der Fadenbrüche (von 13 Fbr/1000 Sph auf 57 Fbr/1000 Sph). Die Garnqualität verschlechterte sich gleichfalls stark (Tabelle 8).

⁷ Die Anzahl der Fadenbrüche (Fbr) werden je 1000 Spindelstunden (Sph) angegeben.

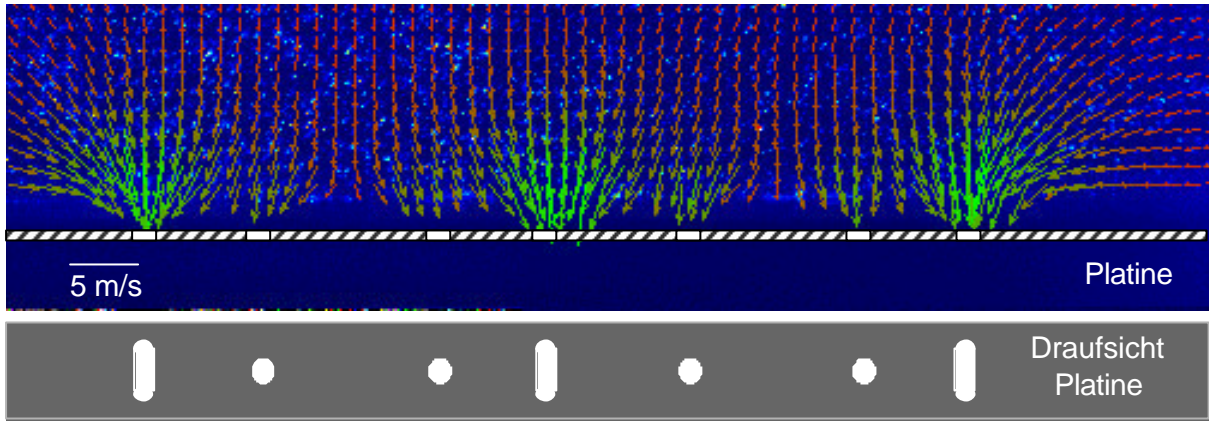


Bild 55: Geschwindigkeitsvektoren einer Luftströmung durch eine Platine mit kreisrunden Löchern und Langlöchern.

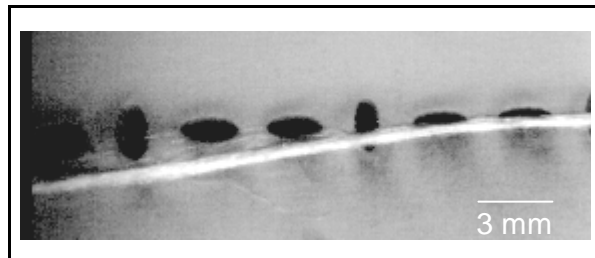


Bild 56: Faserbündelung auf einem Riemchen mit einer Folge von gleich großen, jedoch im Verhältnis 2:1 um 90° gedrehten Langlöchern.

Tabelle 8: Einfluss der Perforationsgeometrie auf die Garnhaarigkeit und die Anzahl Fadenbrüche beim Spinnen, (100 % Baumwolle, Garnfeinheit $T_t = 15$ tex).

Perforation	○○○○○○○	○○○○○○○
Garngleichmäßigkeit [%]	16,93	18,10
Garnhaarigkeit nach UT3 [-]	4,20	4,60
Laufverhalten [Fbr/1000 Sph]	13	57

Schlussfolgerung:

Die vorstehend beschriebenen Untersuchungen haben ergeben, dass ein Riemchen mit einer Perforation aus kreisrunden Löchern und Langlöchern den besten Kompromiss zwischen Changierung und Garnqualität darstellt. Dies gilt besonders dann, wenn berücksichtigt wird, dass das Vorgarn nicht immer mit der erforderlichen Exaktheit (wegen der benötigten Changierung) auf die Perforation geführt werden

kann. Die beste Garnqualität wird allerdings mit einem Riemchen mit ausschließlich kreisrunden Löchern erreicht.

7.3.8 Einsatz eines Riemchens mit drei Lochreihen und T-förmiger Saugöffnung

Geht man davon aus, dass mit der für die Faserbündelung erforderliche Mindest-Luftgeschwindigkeit von $v_{Lmin} = 1 \text{ m/s}$, mit kreisrunden Löchern mit einem Durchmesser von $d = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ und mit einer treibenden Druckdifferenz von $\Delta p = 3,2 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ gearbeitet wird, dann werden noch Fasern angesaugt, die 2,5 mm vom Lochmittelpunkt entfernt sind. Das schließt eine Changierung des Vorgarns praktisch aus. Eine Lösung, mit Changierung arbeiten zu können, könnte darin bestehen, zwei weitere Lochreihen im Abstand von $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ links und rechts zur Mittellinie anzubringen. Die beiden äußeren Lochreihen würden dabei nur dem Ansaugen der Fasern dienen. Die eigentliche Verdichtung würde dann auf der mittleren Lochreihe stattfinden. Diese Lösung bedingt eine spezielle, T-förmige Saugöffnung unterhalb des Riemchens. Die beiden Bereiche der Saugöffnung könnte man auch als "Fangzone" bzw. "Bündelungszone" bezeichnen. Eine solche Lösung wurde im Rahmen der Arbeit entwickelt und erprobt. Bild 57 a zeigt die Saugöffnung, Bild 57 b die mit dieser Lösung erreichte Faserbündelung bei einer Auslenkung des Vorgarns um etwa $4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$. Die mit einer solchen Anordnung erzielten Garnkennwerte sind in Tabelle 9 wiedergegeben. Das Garn unterscheidet sich nicht signifikant von den zuvor diskutierten, optimierten Garnen.

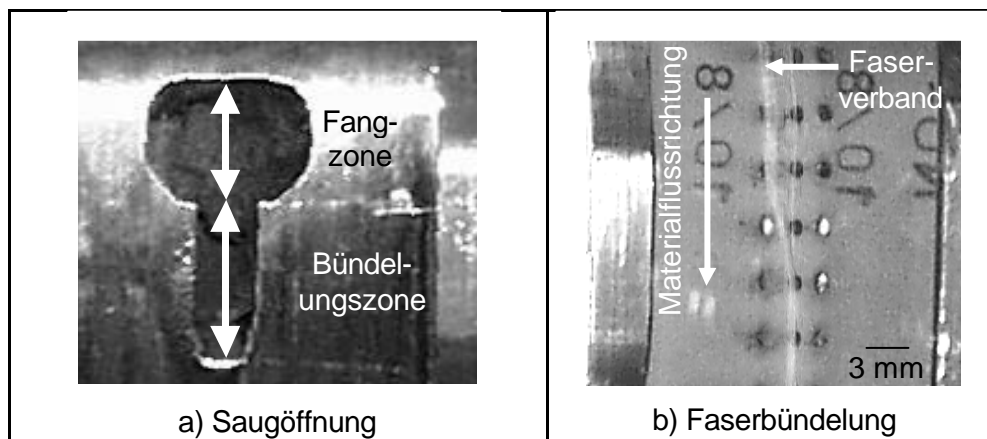


Bild 57: Faserbündelung auf einem Riemchen mit 3 Lochreihen und T-förmiger Saugöffnung (a: Saugöffnung, b: Riemchen über der Saugöffnung).

Tabelle 9: Vergleich der Garnwerte, die mit dem Riemchen mit drei Lochreihen (T-förmige Saugöffnung) bzw. mit abwechselnd zwei kreisrunden Löchern und einem Langloch erzielt werden, (100 % Baumwolle gekämmt, Garnfeinheit $T_t = 20 \text{ tex}$).

Riemchen	3 Lochreihen und T-förmiger Saugöffnung	1 Lochreihe mit 2 kreisrunden Löchern und 1 Langloch
Garnhaarigkeit nach Zweigle, S3-Wert [Anzahl Faserenden/50 m]	235	273
Garnhaarigkeit nach UT3 [-]	3,80	3,85
Garngleichmäßigkeit [%]	11,50	11,56

7.3.9 Betrachtung der Luftströmung im Bereich der Perforation beim Einsatz eines Luftleitblechs

Bislang wurden die Luftströmungsverhältnisse betrachtet, wenn die Luft ungehindert angesaugt werden kann (Bild 58). Nachfolgend wird untersucht, wie sich die Luftströmung ändert, wenn ein Luftleitblech eingesetzt wird (Bild 59). Mit Hilfe eines Luftleitblechs wird die Luftströmung parallel zur Riemchenoberfläche ausgerichtet. Je geringer die Spalthöhe H_S ist, desto höher sind die Luftgeschwindigkeiten v_x und v_y . Die minimale Spalthöhe H_S wird durch die Höhe der gebündelten Fasern auf der Perforation vorgegeben. Bild 59 zeigt, wie die Luftgeschwindigkeit v_x im Randbereich des Spalts deutlich gegenüber einer freien Luftströmung zunimmt (Bild 58).

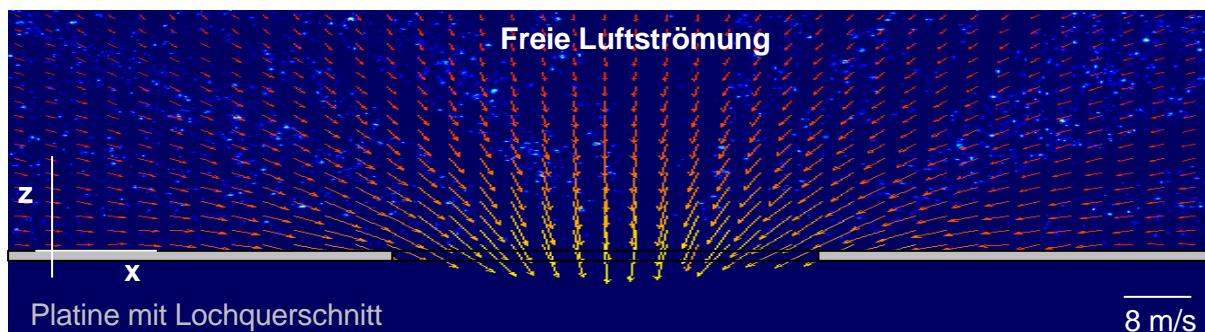


Bild 58: Geschwindigkeitsvektoren einer Luftströmung durch eine Platine mit einem Langloch (treibende Druckdifferenz $\Delta p = 3,2 \cdot 10^3 \text{ Pa}$).

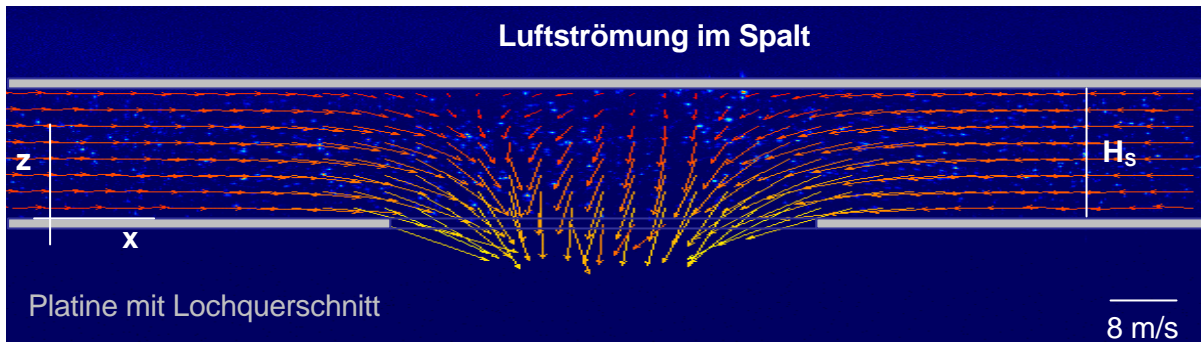


Bild 59: Geschwindigkeitsvektoren einer Luftströmung im Spalt durch eine Platine mit einem Langloch (Spalthöhe $H_s = 2,0 \cdot 10^{-3}$ m, treibende Druckdifferenz $\Delta p = 3,2 \cdot 10^3$ Pa).

Um zu verdeutlichen, wie sich die Strömung im Spalt gegenüber einer freien Strömung verändert, wurde die Luftgeschwindigkeit v_x quantitativ aus den PIV-Messungen in einem Abstand von $2 \cdot 10^{-3}$ m zur Mittellinie der Perforation betragsmäßig ausgewertet. Aus diesen Messungen wird die Eulerzahl Eu für eine freie Strömung, als auch für eine Strömung bei unterschiedlichen Spalthöhen H_s berechnet und über den reziproken Wert der Spalthöhe H_s aufgetragen (Bild 60). In Bild 60 ist die treibende Druckdifferenz konstant, sodass die Eulerzahl Eu proportional zum reziproken Wert des Quadrats der Luftgeschwindigkeit v_x ist. Je kleiner die Eulerzahl ist, desto höher ist die Luftgeschwindigkeit v_x .

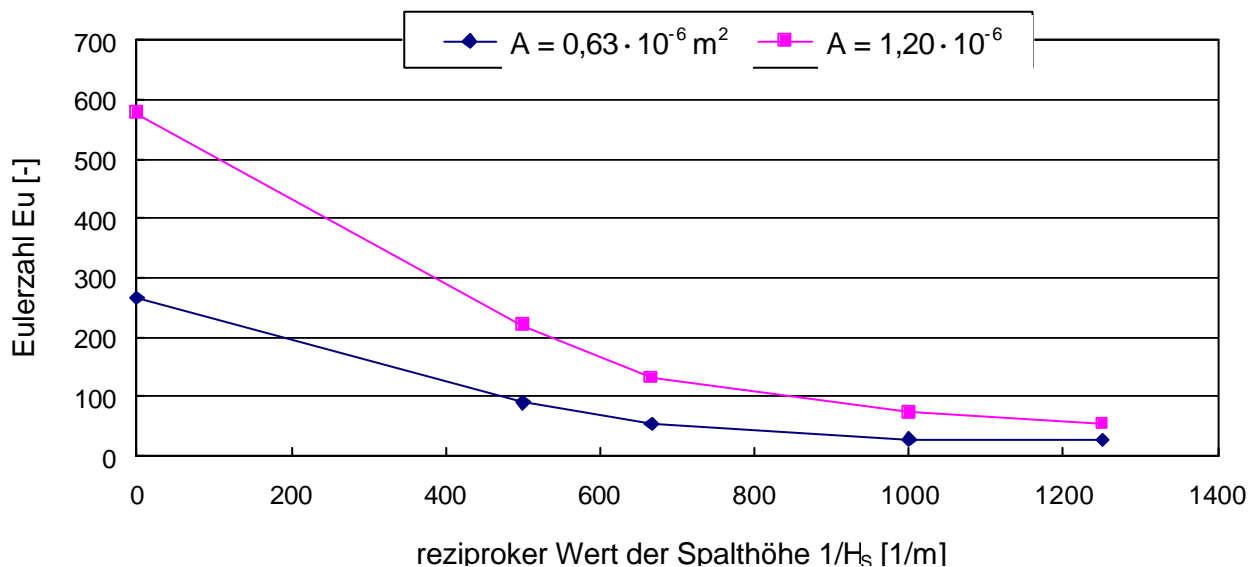


Bild 60: Eulerzahl in Abhängigkeit von dem reziproken Wert der Spalthöhe H_s für zwei unterschiedlich durchströmte Flächen A (treibende Druckdifferenz $\Delta p = 1000$ Pa, $Re = 500$).

Wird eine unendliche Spalthöhe angenommen, so entspricht dies der freien Strömung und der reziproke Wert der Spalthöhe geht gegen Null. Wird die Luftgeschwindigkeit über die treibende Druckdifferenz verändert, so bleibt im untersuchten Bereich die Eulerzahl Eu konstant. Somit ist die Luftgeschwindigkeit proportional zur Wurzel aus der treibenden Druckdifferenz Δp . Um beispielsweise eine Verdoppelung der Luftgeschwindigkeit v_x zu erreichen, muss die treibende Druckdifferenz Δp vervierfacht werden, was einem hohen energetischen Aufwand gleichkommt.

Aus Bild 60 wird weiterhin deutlich, dass durch den Einsatz eines Luftleitblechs die Eulerzahl von $Eu = 266$ auf $Eu = 27$ abnimmt, was einer Verdreifachung der Luftgeschwindigkeit v_x entspricht und dies bei konstanter treibender Druckdifferenz Δp . Hieraus wird deutlich, dass der Einsatz eines Luftleitblechs unumgänglich ist, um das Verdichtungsspinnen wirtschaftlich zu betreiben.

Nachfolgend wird überprüft, ob das Luftleitblech selbst bzw. die Spalthöhe H_S die Garnqualität beeinflusst.

Einfluss des Luftleitblechs auf die Garnqualität

Um den Einfluss der Spalthöhe H_S auf die Garnqualität zu untersuchen, wurden Spinnversuche auf einem Spinntester durchgeführt, bei dem die Spalthöhe H_S im Bereich von 0,8 bis $2 \cdot 10^{-3}$ m einstellbar war. Wie Tabelle 10 zu entnehmen ist, war – im Vergleich zu der schon zuvor optimierten Perforation (vgl. Tabelle 8) – durch den Einsatz des Luftleitblechs keine weitere Verbesserung der Garnqualität zu erzielen.

Aus technologischen Gründen kann die Spalthöhe H_S nicht beliebig reduziert werden. Die Versuche haben ergeben, dass bei geringeren Spalthöhen von $H_S = 0,8 \cdot 10^{-3}$ m Fasern an dem Luftleitblech hängen bleiben. Um solche Effekte zu vermeiden, wird vorgeschlagen, mit einer Spalthöhe von $H_S = 1,0 \cdot 10^{-3}$ zu arbeiten.

Tabelle 10: Garnqualität in Abhängigkeit von der Spalthöhe H_S (100 % Baumwolle, Garnfeinheit $T_t = 10 \text{ tex}$).

	Ohne Luftleitblech	Mit Luftleitblech Spalthöhe $H_S = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$	Mit Luftleitblech Spalthöhe $H_S = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
Garnhaarigkeit nach Zweigle, S3-Wert [Anzahl Faserenden/50 m]	146	144	150
Garnhaarigkeit nach UT3 [-]	3,2	3,2	3,2
Garngleichmäßigkeit [%]	13,8	13,9	13,7

7.4 Untersuchung des Garnbildungsprozesses beim Ring- bzw. beim Verdichtungsspinnen

7.4.1 Bereich der Drehungserteilung

Die Fasern treten aus dem Ausgangswalzenpaar des eigentlichen Streckwerks in einer Breite von etwa 3 bis $7 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ aus. Diese Breite ist um ein Vielfaches größer als der Garndurchmesser, der bei Garnen im Feinheitsbereich von 10 tex bis 100 tex bei $0,1$ bis $0,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ liegt. Durch eine Faserbündelung in der Verdichtungszone wird die Einbindung vor allem der Randfasern im Spinnendreieck verbessert. Hierdurch reduziert sich neben der Garnhaarigkeit auch die Reibung des Garns an den fadenführenden Elementen. Nachfolgend wird untersucht, welchen Einfluss die neue Garnstruktur des Verdichtungsgarns im Vergleich zum Ringgarn auf die Fasereinbindung, den Drehungsstau an den fadenführenden Elementen und auf die Fadenzugkraft hat.

Vergleicht man die Fasereinbindung beim Ring- und beim Verdichtungsspinnen, dann stellt man fest, dass das Spinnendreieck beim Verdichtungsspinnen praktisch eliminiert ist. In Bild 61 ist das schematisch dargestellt. Beim Ringspinnen werden die äußeren Fasern unter einer höheren Spannung eingebunden als die mittig liegenden, was im Prinzip durchaus positiv ist, denn das ist die Basis der Fasermigration: die

Fasern, die unter hoher Zugkraft stehen, verdrängen die weniger belasteten Fasern und legen sich in die Garnmitte. Dieser Wechsel einer Faser vom Garnmantel in den Garnkern und zurück ist der festigkeitsbildende Mechanismus beim Spinnen. Dieser als Fasermigration bezeichnete Vorgang findet aber auch dann statt, wenn ein Faserbändchen nur eine Breite von 1 bis $1,5 \cdot 10^{-3}$ m hat, wie das beim Verdichtungsspinnen der Fall ist.

Höhe und Breite des Spindreiecks sind für die Garnhaarigkeit von Bedeutung. Beim Ringspinnen mit dem breiten Spindreieck ragen Fasern seitlich aus dem Spindreieck heraus (Bild 61). Beim Verdichtungsspinnen ist das nicht der Fall. Die Fasern werden nahezu "perfekt" ins Garn eingebunden. Die Verdichtungsgarne sind deshalb deutlich weniger haarig als die Ringgarne, weshalb sich die Drehungsfortpflanzung im Bereich der Drehungserteilung vom Ring/Läufer-System bis zum Ausgangswalzenpaar des Streckwerks ändert. In welchem Ausmaß das der Fall ist, wird nachfolgend untersucht. Der Literatur folgend [80] wird die Behinderung der Drehungsfortpflanzung als Drehungsstau bezeichnet.

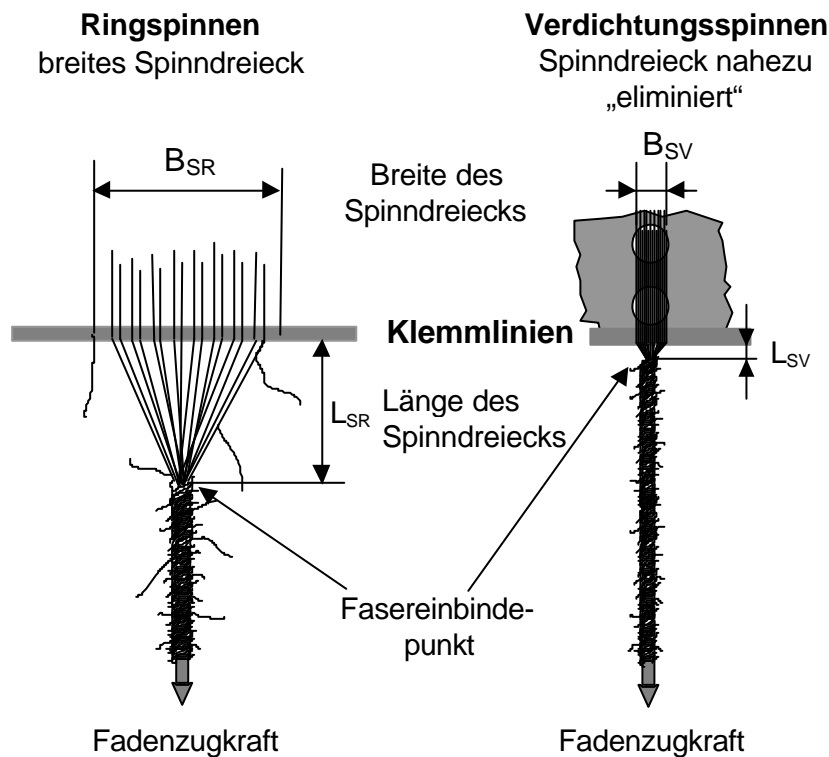


Bild 61: Schematische Darstellung des Garnbildungsprozesses beim Ring- bzw. beim Verdichtungsspinnen.

7.4.2 Drehungsstau an den Fadenleitorganen

Die Spindel erteilt dem Garn die Drehung. Diese pflanzt sich über Ring und Läufer nach oben zum Ausgangswalzenpaar hin fort. Auf diesem Weg wird der Faden vom Balloneinengungsring (BE-Ring) eingeschnürt, um den Fadenballon nicht zu groß werden zu lassen. Ein Fadenführer positioniert das Garn zentrisch zur Spindel. Jedes fadenführende Element stellt einen Reibungspunkt dar, den die Garndrehungen nicht ungehindert passieren können; es kommt an dieser Stelle zu einem Drehungsstau T_s . Um die Größe des Drehungsstaus T_s sichtbar zu machen, wurden Versuche durchgeführt, bei denen gleichzeitig ein schwarzes und ein weißes Vorgarn versponnen wurde. Hierdurch lässt sich die Garndrehung einfach auszählen. Mit dieser Methode fand Trommer [80] heraus, dass Parameter wie Garnfeinheit, Durchmesser des Fadenführerdrahts, Fadeneinlaufwinkel, Fadenzugkraft oder Reibungskoeffizient den Drehungsstau T_s beeinflussen. Das gleiche Verfahren wurde im Rahmen dieser Arbeit verwendet, um Unterschiede im Drehungsstau T_s zwischen Verdichtungsspinnen und Ringspinnen bestimmen zu können. Bild 62 zeigt den Drehungsstau T_s an zwei verschiedenen fadenführenden Elementen exemplarisch für das Ringspinnen.

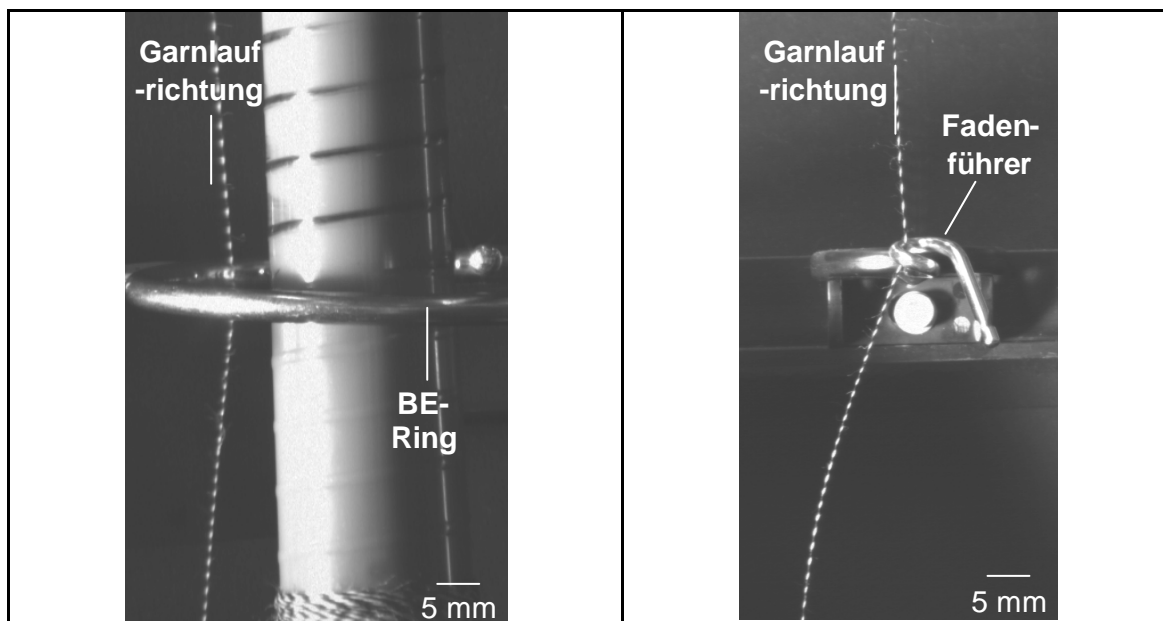


Bild 62: Drehungsstau T_s am BE-Ring und am Fadenführer beim Ringspinnen.

Versuche zeigten, dass je nach Rauigkeit des BE-Rings der Drehungsstau T_s zwischen 4 % und 12 % variieren kann, während unter gleichen Bedingungen der Drehungsstau T_s am Fadenführer zwischen 8 % und 12 % variiert. Der Drehungsstau T_s am BE-Ring reagiert somit stärker auf äußere Einflüsse. Daher wurde der Vergleich für die beiden Spinnverfahren bezüglich Drehungsstau T_s am BE-Ring durchgeführt. Tabelle 11 zeigt die erzielten Versuchsergebnisse. Der Drehungsstau T_s am BE-Ring ist beim Verdichtungsspinnen deutlich geringer als beim Ringspinnen; die Anzahl der Drehungen nach dem BE-Ring entspricht beim Verdichtungsspinnen deutlich besser der vorgegebenen, maschinell eingestellten Anzahl der Drehungen als beim Ringspinnen, d.h. die Drehung setzt sich besser bis zum Ausgangswalzenpaar fort.

Tabelle 11: Untersuchung des Drehungsstaus T_s vor und nach dem BE-Ring
(100 % Baumwolle, Garnfeinheit $T_t = 50$ tex).

	Drehungen vor dem BE-Ring [1/m]	Drehungen nach dem BE-Ring [1/m]	Drehungsstau T_s [%]
Ringspinnen	614	562	8
Verdichtungsspinnen	532	510	4

Eine höhere Drehung ist gleichbedeutend mit einer höheren Feinheitsfestigkeit F_{Garn} . Daher besitzt das Verdichtungsgarn im kritischen Bereich zwischen Ausgangswalzenpaar und Fadenführer eine höhere Festigkeit als das Ringgarn. Das war ein wesentlicher Grund zu untersuchen, ob die Garndrehung nicht reduziert werden kann, ohne eine Einbuße hinsichtlich der Feinheitsfestigkeit F_{Garn} hinnehmen zu müssen. Bild 63 zeigt die Ergebnisse der Versuche. Man erhält bei einer Garndrehung von $T = 836$ 1/m noch Verdichtungsgarne mit einer Feinheitsfestigkeit F_{Garn} , die bei Ringgarnen nur mit einer Garndrehung von $T = 1171$ 1/m erzielt werden. Zudem treten bei einer Garndrehung von $T = 836$ 1/m beim Ringspinnen extrem viel Fadenbrüche auf (40 Fbr/1000 Sph).

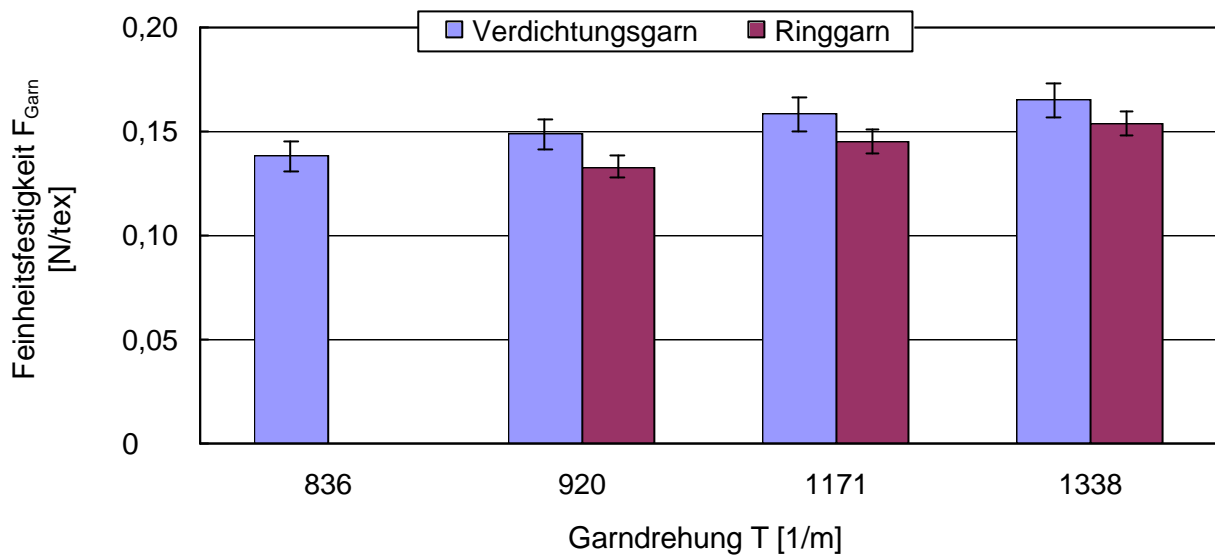


Bild 63: Feinheitsfestigkeit F_{Garn} in Abhängigkeit von der Garndrehung T (100 % Baumwolle, Garnfeinheit $T_t = 14,3 \text{ tex}$).

7.4.3 Fadenzugkräfte

Die dynamischen Belastungen des Ring/Läufer/Garn-Systems sind von E. Sonntag [81] ausführlich untersucht worden. Seine Untersuchungen ergaben, dass sich auf der Gleitfläche des Spinnrings ein Schmierfilm bilden muss, um den Verschleiß von Ring und Läufer gering zu halten. Dieser Schmierfilm zwischen der Kontaktfläche Ring/Läufer besteht aus zerquetschten Fasern, die in diesen Spalt geraten. Die Menge an Fasern, die für die Schmierfilmbildung zur Verfügung steht, hängt von der Garnhaarigkeit ab. Sinkt die Garnhaarigkeit, d.h. nimmt die Anzahl der zerquetschbaren Fasern ab, dann steigt der Läuferverschleiß. Verdichtungsgarne sind extrem glatt. Daher gab es vor allem in der Anfangsphase der Entwicklung des Verdichtungsspinnens extreme Probleme mit dem Läuferverschleiß. Statt der üblichen sechs Wochen hielt der Läufer maximal acht Stunden der Beanspruchung stand.

Das Ergebnis intensiver Entwicklungsbemühungen der Ring- und Läuferhersteller ist beachtlich; inzwischen werden Läuferstandzeiten von etwa 2 Wochen erreicht. Die Spinnversuche im Rahmen dieser Arbeit wurden mit diesem optimierten Ring/Läufersystem durchgeführt. Von Interesse war jedoch weiter, ob die glattere

Garnstruktur der Verdichtungsgarne mit entsprechend geringerem Luftwiderstand auch zu einer geringeren Fadenzugkraft führen oder ob die schlechtere Schmierfilmbildung tatsächlich eine insgesamt höhere Fadenzugkraft ergeben würde. Wäre ersteres der Fall, würde sich die Fadenbeanspruchung beim Spinnen reduzieren, und es wären weniger Fadenbrüche zu erwarten. Das Ergebnis entsprechender Versuche wird nachfolgend beschrieben.

7.4.3.1 Vergleich der Fadenzugkräfte beim Ring- und beim Verdichtungsspinnen

Die Fadenzugkraft F_z wird von einer Reihe an Parametern beeinflusst, u.a. von der Spinngeometrie, dem Einlaufwinkel des Garns in die fadenführenden Elemente, dem Abstand des BE-Rings vom Fadenführer oder dem Raumklima. Um beim Ring- und Verdichtungsspinnen die gleichen Spinnbedingungen zu haben, wurden die Spinnversuche und die Fadenzugkraftmessungen auf einer Ringspinnmaschine durchgeführt, deren eine Seite für das Verdichtungsspinnen umgebaut wurde. Zwei parallel eingesetzte Fadenzugkraftsensoren ermöglichten eine zeitgleiche Messung der Fadenzugkraft auf der Ring- wie auch auf der Verdichtungsseite. Die Ergebnisse sind in Bild 64 a für eine Garnfeinheit von $T_t = 15,6 \text{ tex}$ und Bild 64 b für eine Garnfeinheit von $T_t = 10,0 \text{ tex}$ zu entnehmen.

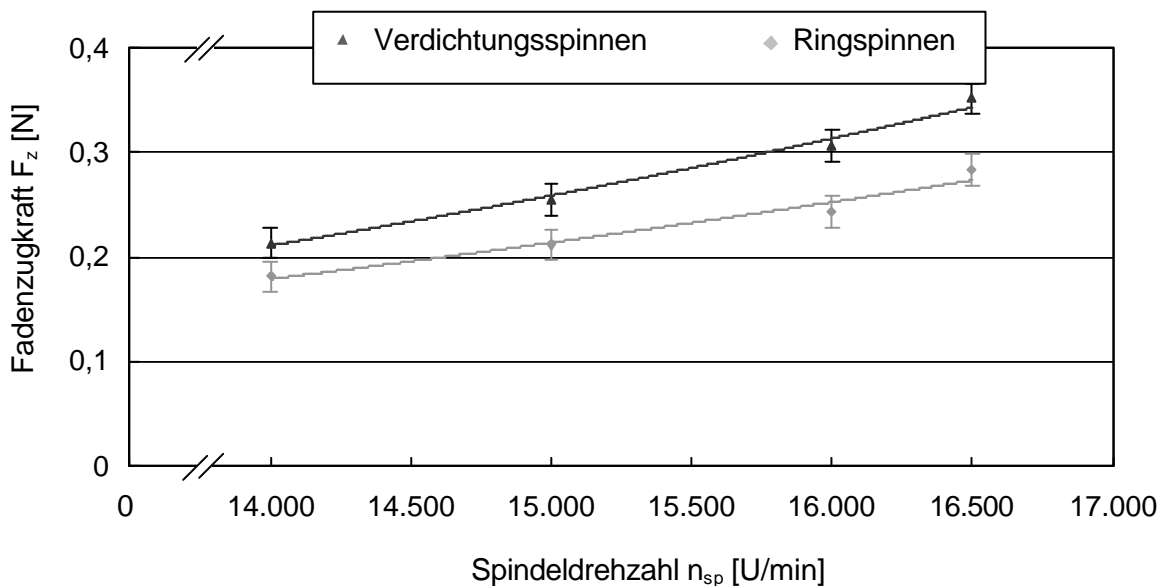


Bild 64 a: Fadenzugkraft F_z beim Ringspinnen bzw. beim Verdichtungsspinnen in Abhängigkeit von der Spindeldrehzahl n_{spi} (100 % Baumwolle, Garndrehung $T = 960 \text{ 1/m}$, Garnfeinheit $T_t = 15,6 \text{ tex}$, Ring: Flansch1 DD, Läufer: El 1 hd 6/0 DD).

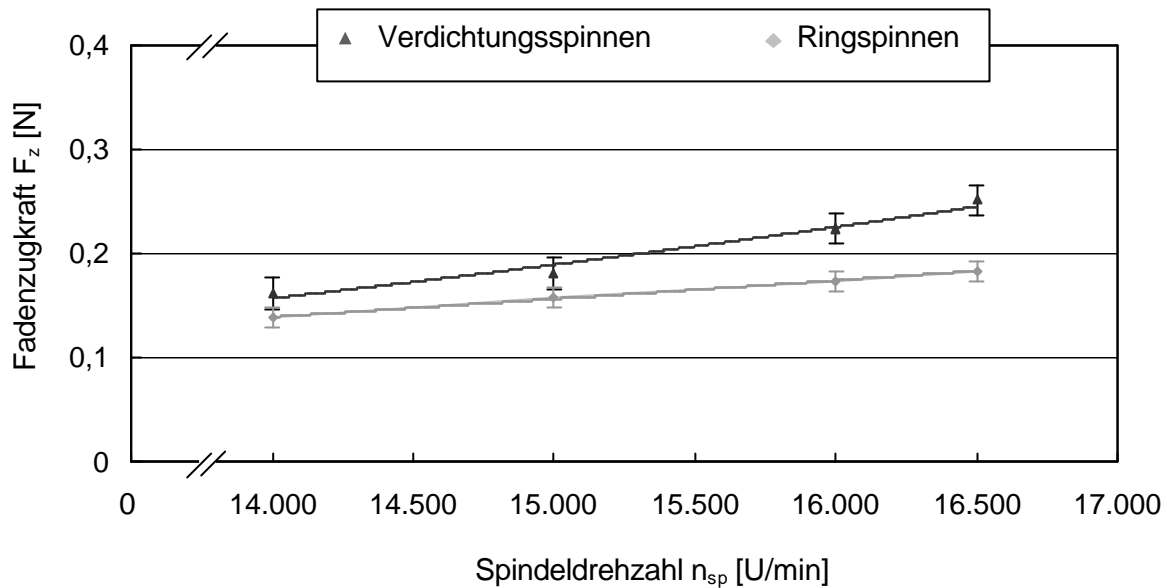


Bild 64 b: Fadenzugkraft F_z beim Ringspinnen bzw. beim Verdichtungsspinnen in Abhängigkeit von der Spindeldrehzahl n_{spi} (Baumwolle, Garndrehung $T = 1200$ 1/m, Garnfeinheit $T_t = 10$ tex, Ring: Flansch1 DD, Läufer: EI 1 hd 10/0 DD).

Es zeigt sich, dass die Fadenzugkraft F_z beim Verdichtungsspinnen je nach Spindeldrehzahl n_{sp} und Garnfeinheit T_t zwischen 10 und 30 Prozent über der des Ringspinnens liegt. Infolgedessen ist beim Verdichtungsspinnen mit geringeren Läuferstandzeiten als beim Ringspinnen zu rechnen.

7.4.3.2 Möglichkeiten zur Reduzierung der Fadenzugkraft beim Verdichtungsspinnen

Zur Reduzierung der erhöhten Fadenzugkraft sind folgenden Lösungen denkbar:

1. Einsatz geschmierter Ringe,
2. Aufbringen von gut gleitenden Beschichtungen auf Ring und/oder Läufer,
3. Reduzieren des Läufergewichts.

Die Probleme bei der Realisierung der einzelnen Möglichkeiten werden nachfolgend kurz diskutiert.

Einsatz geschmierter Ringe

Geschmierte Ringe werden in der Langfaserverspinnung eingesetzt. Obwohl damit die Verschleißprobleme eliminiert werden könnten, werden geschmierte Ringe von

Baumwolle verarbeitenden Betrieben abgelehnt, da der Wartungsaufwand hoch ist und zudem die Garne beim Fadenbruch mit Schmiermittel und Stahltrieb verschmutzt werden. Vor allem der Stahltrieb führt in der Veredelung zu großen Problemen.

Aufbringen von gut gleitenden Beschichtungen

Versuche, Ringe oder auch Läufer mit gut gleitenden Beschichtungen zu versehen, beispielsweise mit Teflon, ergaben nur kurzzeitig eine Reduzierung der Fadenzugkraft. Aufgrund der hohen Belastung werden Beschichtungen dieser Art sehr schnell zerstört.

Reduzierung des Läufergewichts

Die einfachste Möglichkeit, die Fadenzugkraft zu reduzieren, besteht in der Verringerung des Läufergewichts. Um den Einfluss des Läufergewichts unabhängig vom Ringbankhub untersuchen zu können, wurden diese Versuche auf einem Spinntester durchgeführt, bei dem sich die Spindel auf und ab bewegt; damit ist stets ein Ballon konstanter Größe vorhanden. Für die Versuche wurden auch Läufer mit zu geringem Gewicht eingesetzt, um den Zusammenhang zwischen Läufergewicht m_L und Fadenzugkraft besser zeigen zu können (Bild 65). Die Spindeldrehzahl n_{sp} wurde gleichfalls variiert.

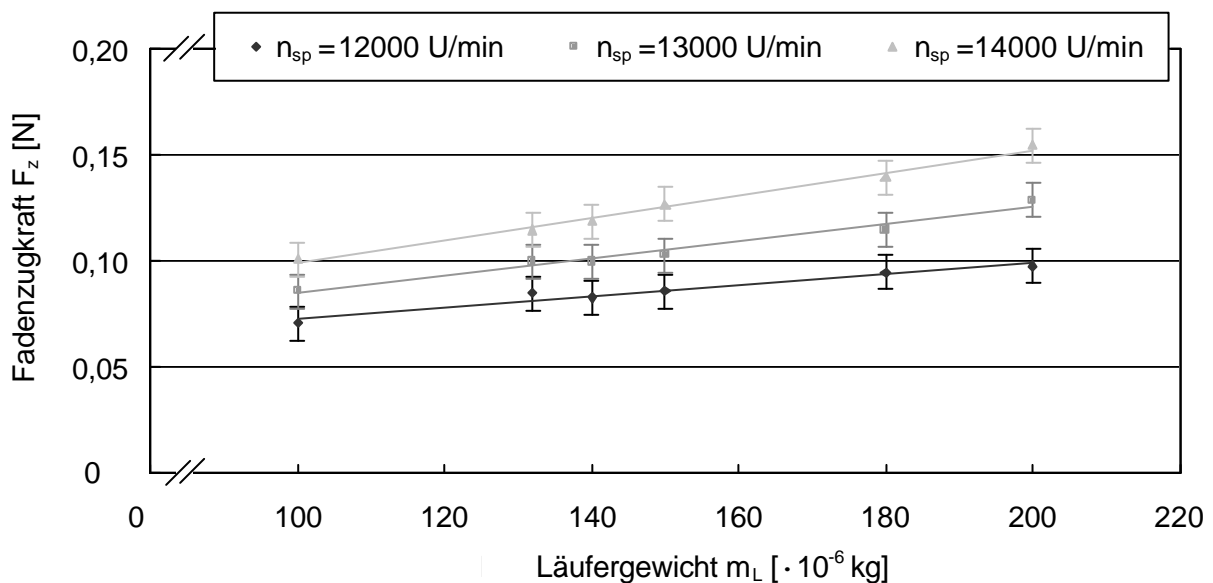


Bild 65: Fadenzugkraft F_z in Abhängigkeit vom Läufergewicht m_L und der Spindeldrehzahl n_{sp} (100 % Baumwolle gekämmt, Garnfeinheit $T_t = 10$ tex, Läufer: El 1 hd, Fa. Reiners und Fürst, Ring: El 1, Fa. Reiners und Fürst).

Die Versuche ergeben, dass die Fadenzugkraft F_z mit abnehmendem Läufergewicht m_L linear abnimmt. Bei gleichem Läufergewicht m_L besteht für den untersuchten Spindeldrehzahlenbereich auch ein etwa linearer Zusammenhang zwischen Fadenzugkraft F_z und Spindeldrehzahl n_{sp} .

Nicht nur der Läuferverschleiß hängt von der Fadenzugkraft F_z ab, sondern auch die Fadenbruchrate. So kann die Anzahl der Fadenbrüche durch den Einsatz eines leichteren Läufers reduziert werden (Tabelle 12). Allerdings kann das Läufergewicht m_L nur wenig variiert werden, da zu leichte Läufer zum Kollabieren des Fadenballons führen. Für Baumwollgarne der Feinheit $T_t = 10$ tex und für eine Spindeldrehzahl von $n_{sp} = 17.000$ U/min empfiehlt der Läuferhersteller für das Ringspinnen den Einsatz eines Läufers (Type EI 1 hd) mit einem Läufergewicht von $m_L = 200 \cdot 10^{-6}$ kg. Die Versuche ergaben für das Verdichtungsspinnen, dass mit einem Läufergewicht von $m_L = 180 \cdot 10^{-6}$ kg bessere Fadenbruchwerte erzielt werden. Es ist also sinnvoll, beim Verdichtungsspinnen mit leichteren Läufern zu arbeiten als vom Läuferhersteller für das Ringspinnen empfohlen wird.

Tabelle 12: Fadenbrüche pro 1000 Spindelstunden beim Einsatz von Läufern mit unterschiedlichem Läufergewicht m_L (Garnfeinheit $T_t = 10$ tex, Spindeldrehzahl $n_{sp} = 17.000$ U/min).

Läufergewicht m_L [10^{-6} kg]	200	180	165
Laufverhalten [Fbr/1000 Sph]	17	11	12

7.4.3.3 Möglichkeiten zur Reduzierung des Läuferverschleißes beim Verdichtungsspinnen

Wie erwähnt, werden beim Spinnen von Ringgarnen, wie sie auch im Rahmen dieser Arbeit hergestellt wurden, Läuferstandzeiten von etwa sechs Wochen erzielt. Geringere Läuferstandzeiten beeinflussen die Wirtschaftlichkeit des Spinnverfahrens, denn ein Läuferwechsel kostet etwa 1500 € pro Spinnmaschine. Verschlissene

Läufer erhöhen die Garnhaarigkeit und führen zu nissenartigen Faseraufschiebern. Es wurde daher nach Maßnahmen gesucht, die Läuferstandzeit zu verlängern. Der Läuferverschleiß wurde nach einem von E. Sonntag [81] vorgeschlagenen Verfahren beurteilt, wobei die Läufer je nach Verschleiß in 6 Klassen eingeteilt werden. Eine Einteilung in die Klasse 1 bedeutet einen geringen Verschleiß, in Klasse 6 einen hohen.

Im ersten Ansatz wurde versucht, für den Läufer sehr harte, verschleißfeste Materialien einzusetzen. Diese Läufer waren zu spröde und brachen beim Aufbringen auf den Ring. Daher wurde versucht, die Läufergeometrie zu verändern bzw. den Läufer zu beschichten.

Einfluss von Geometrie und Beschichtung auf den Läuferverschleiß

Läufer für Spinnringe gibt es in einer Vielzahl von Varianten bezüglich Läuferquerschnitt und Bogenform (weit über 200). Im Rahmen dieser Arbeit wurden nur Läufer für hohe Geschwindigkeiten (EI-Läufer; UR-Läufer), was eine niedrige Bogenform bedingt, eingesetzt. In Tabelle 13 sind die für die Läuferverschleißversuche eingesetzten Läuferarten aufgelistet.

Tabelle 13: In den Versuchen verwendete Läuferarten der Fa. Reiners und Fürst

Läuferbezeichnung	Beschreibung
UR 1 ET	UR = Läuferquerschnitt: Ultra Rapid 1 = Flanschgröße ET = Läuferform: Eng, Tief
UR ½ hr TT	UR = Läuferquerschnitt: Ultra Rapid ½ = Flanschgröße hr = Drahtprofil des Läufers (halbrund) TT = Läuferform: Tief, Tief
EI 1 hd W	EI = Läuferquerschnitt: Elliptikprofil 1 = Flanschgröße hd = Drahtprofil des Läufers: halbrund breit W = Läuferform: Weit
EI ½ hd W	EI = Läuferquerschnitt: Elliptikprofil ½ = Flanschgröße hd = Drahtprofil des Läufers: halbrund breit

Bild 66 enthält die Ergebnisse der Versuche. Es ist zu erkennen, dass der Verschleißgrad stark von der Läuferform und - bei gleicher Läuferform - von der Härte der Beschichtung abhängt. Der Einfluss der Läufergeometrie überwiegt. Der Läufer UR ½ hr TT weist zwar den geringsten Verschleiß auf, aber die Garnhaarigkeit ist zu hoch (Bild 67). Mit dem Läufer EI 1 hd W wurden die glattesten Garne gesponnen und zwar unabhängig von der Härte der Beschichtung.

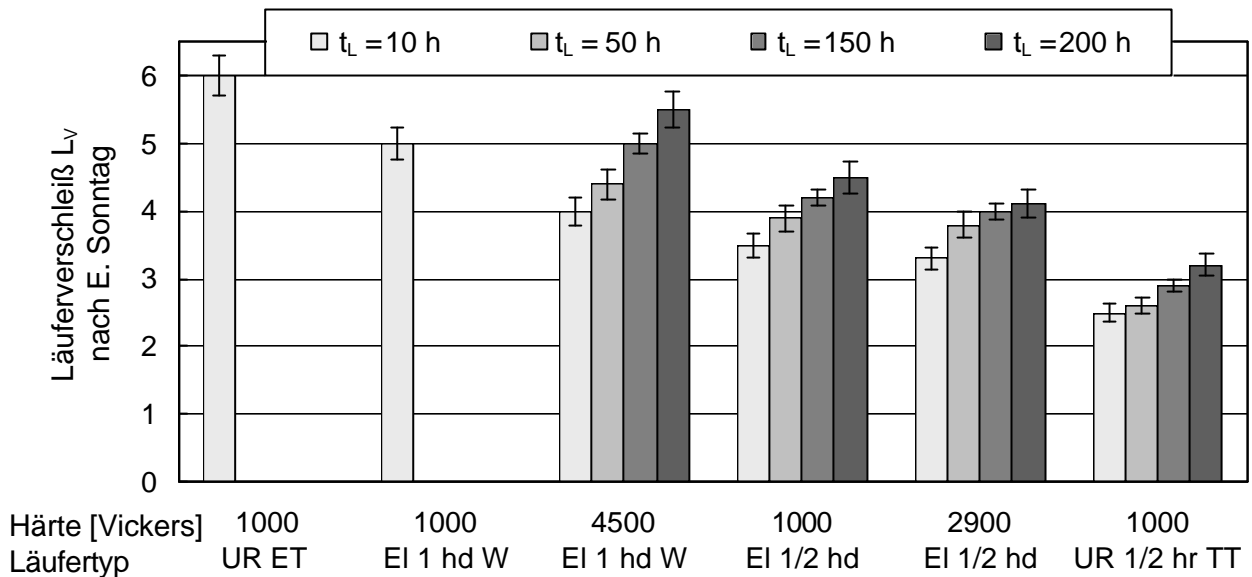


Bild 66: Läuferverschleißgrad L_V in Abhängigkeit von der Laufzeit t_L für unterschiedliche Läuferarten. Einstufung der Läufer nach Sonntag [81]. Läufer der Fa. Reiners und Fürst, Läufergewicht $m_L = 280 \cdot 10^{-6}$ kg (100 % Baumwolle, Garnfeinheit $T_t = 16$ tex, Spindeldrehzahl $n_{sp} = 1900$ U/min).

Das insgesamt beste Ergebnis wurde mit dem Läufer EI ½ hd erzielt. Die Garnhaarigkeit ist ähnlich gut wie beim Läufer EI 1 hd W, bei einem wesentlich geringeren Verschleiß. Wird das Läuferprofil betrachtet so zeigt der Läufer EI 1 hd W eine weitere Bogenform als der Läufer EI ½ hd. Hierdurch kann sich der Läufer EI ½ hd nicht so stark verkanten wie der Läufer EI 1 hd W. Die am Ring anliegende Kontaktfläche wird gleichmäßiger belastet. Zudem führt der enge Garndurchlauf dazu, dass auch kürzere Fasern erfasst und für die Schmierfilmbildung genutzt werden. Bislang ist es jedoch nicht gelungen den Spinnprozess für alle Läufergewichte stabil zu halten, so dass mit diesem Läufer nicht alle Garnfeinheiten gesponnen werden können.

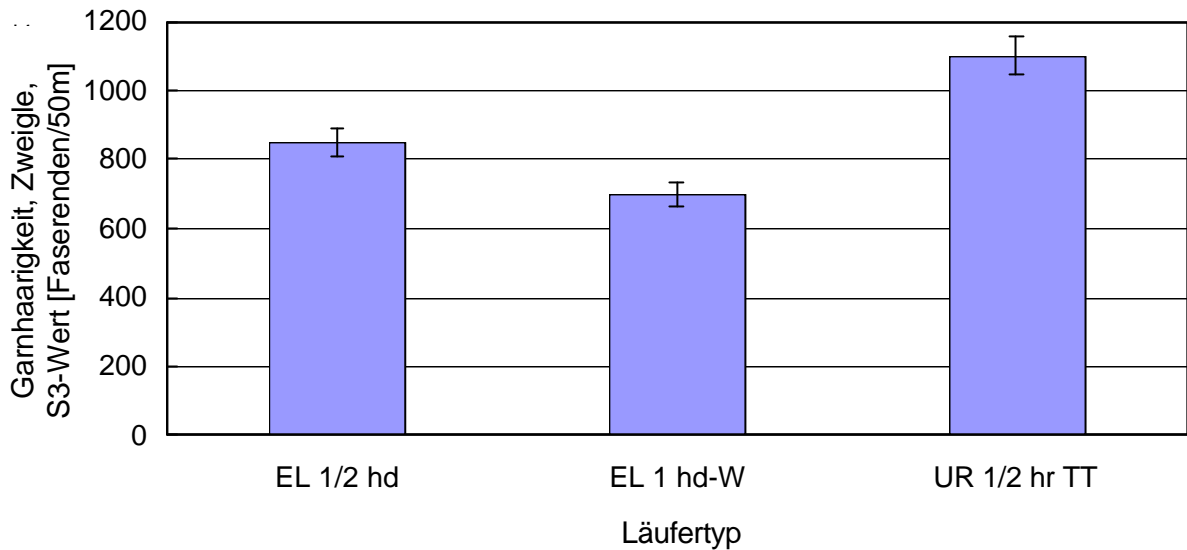


Bild 67: Garnhaarigkeit nach Zweigle (S3-Wert) in Abhängigkeit von der Läuferart (100 % Baumwolle, Garnfeinheit $T_t = 14,7 \text{ tex}$).

Schlussfolgerung:

Der Läuferverschleiß ist über die Läufergeometrie stärker zu beeinflussen als über eine Beschichtung. Auf Grund der geringeren Schmierung der Ring/Läufer beim Verdichtungsspinnen wird der Läuferverschleiß L_V immer höher sein als beim Ringspinnen.

7.5 Zusammenfassende Analyse der Vorgänge in der Verdichtungszone und der Drehungserteilung

Die Versuche haben eine Fülle von Erkenntnissen erbracht, die es ermöglichen, konkrete Vorschläge zur Auslegung bzw. zur Optimierung des Verdichtungsspinnprozesses zu machen. So muss die Luftgeschwindigkeit $v_{\text{Luft}} = 1 \text{ m/s}$ betragen, damit die Fasern zur Perforation transportiert und gebündelt werden. Als optimale Perforation hat sich eine Kombination von kreisrunden Löchern ($d = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$) und Langlöchern ($d = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, $b = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$) im Verhältnis von 2:1 erwiesen (Bild 54 b). Mit Hilfe der Langlöcher werden auch $4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ von der Perforationsachse entfernt liegende Fasern sicher zur Perforation transportiert, was eine Changierung

des Vorgarns ermöglicht. Die eigentliche Faserbündelung erfolgt im Bereich der kreisrunden Löcher. Wird oberhalb der Perforation ein Luftleitblech im Abstand von $H_S = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ angebracht, dann erhöht sich die Luftgeschwindigkeit der seitlich zuströmenden Luft und damit auch die Effektivität des Faserbündelungsprozesses.

Die Läuferstandzeit, ein Problem beim Verdichtungsspinnen, kann durch den Einsatz beschichteter, flachbogiger Läufer (z.B. El ½ hd der Fa. Reiners & Fürst) auf übliche Werte – eine Woche bei einer Spindeldrehzahl von $n_{sp} = 19.000 \text{ U/min}$, sechs Wochen bei einer Spindeldrehzahl von $n_{sp} = 14.000 \text{ U/min}$ – gebracht werden.

Durch die starke Verkleinerung des Spinnendreiecks beim Verdichtungsspinnen ist die Schwachstelle des Ringspinnprozesses eliminiert. Die höhere Fadenzugkraft beim Verdichtungsspinnen hebt diesen Vorteil jedoch zum größten Teil wieder auf.

Die Struktur und Eigenschaften der Verdichtungsgarne lassen beachtliche Vorteile bei der Weiterverarbeitung erwarten, worauf im abschließenden Kapitel eingegangen wird.

8 Vorteilhafte Eigenschaften von Verdichtungsgarnen in der Weberei im Vergleich zu Ringgarnen

Üblicherweise wird ein Garnhersteller, der Verdichtungsspinnmaschinen installiert, auf diesen Maschinen zunächst Garne aus dem gleichen Rohstoff wie beim Ringspinnen herstellen. Dabei wird er feststellen, dass das Garn, im Vergleich zum Ringgarn,

- gleichmäßiger und glatter ist,
- eine erhöhte Festigkeit hat und
- zu besseren Laufeigenschaften in den nachfolgenden Prozessen führt.

Nachfolgend wird diskutiert, wie sich Verdichtungs- und Ringgarne bezüglich des Weiterverarbeitungsverhaltens in der Weberei unterscheiden. Das betrifft vor allem die Anfälligkeit gegenüber Aufrauhungen.

8.1 Einfluss der Garnstruktur auf die Aufschiebefestigkeit von Verdichtungsgarnen

Die Widerstandsfähigkeit eines Garns gegenüber den Beanspruchungen bei der Weiterverarbeitung, speziell beim Weben, - auch als Aufschiebe- oder Kettfestigkeit bezeichnet - ist ein wichtiges Qualitätsmerkmal. Sie entscheidet darüber, ob z. B. ein Kettgarn geschlichtet werden muss, und wenn ja, mit welchem Beschlichtungsgrad. Die wirtschaftliche Auswirkung kann sehr groß sein. Es war daher von Interesse zu ermitteln, inwieweit sich die neue Garnstruktur der Verdichtungsgarne auf die Aufschiebefestigkeit auswirkt. Die Versuche wurden auf einem Reutlinger Webtester durchgeführt. Er simuliert den Fachwechsel an der Webmaschine. Der Reutlinger Webtester wurde eingesetzt, um die Aufschiebefestigkeit von Verdichtungs- und Ringgarnen zu ermitteln. Geprüft wurden ungeschlichtete Garne. Das Ergebnis einer solchen Vergleichsprüfung von Ring- und Verdichtungsgarnen ist dem Bild 68 zu entnehmen. Die deutlich bessere Aufschiebefestigkeit der Verdichtungsgarne wird durch die bessere Einbindung der Fasern in den Garnkern erzielt. Einzelne Fasern werden nicht so schnell aus dem Garn herausgezogen und zu Aufschiebern zusammengesoben.

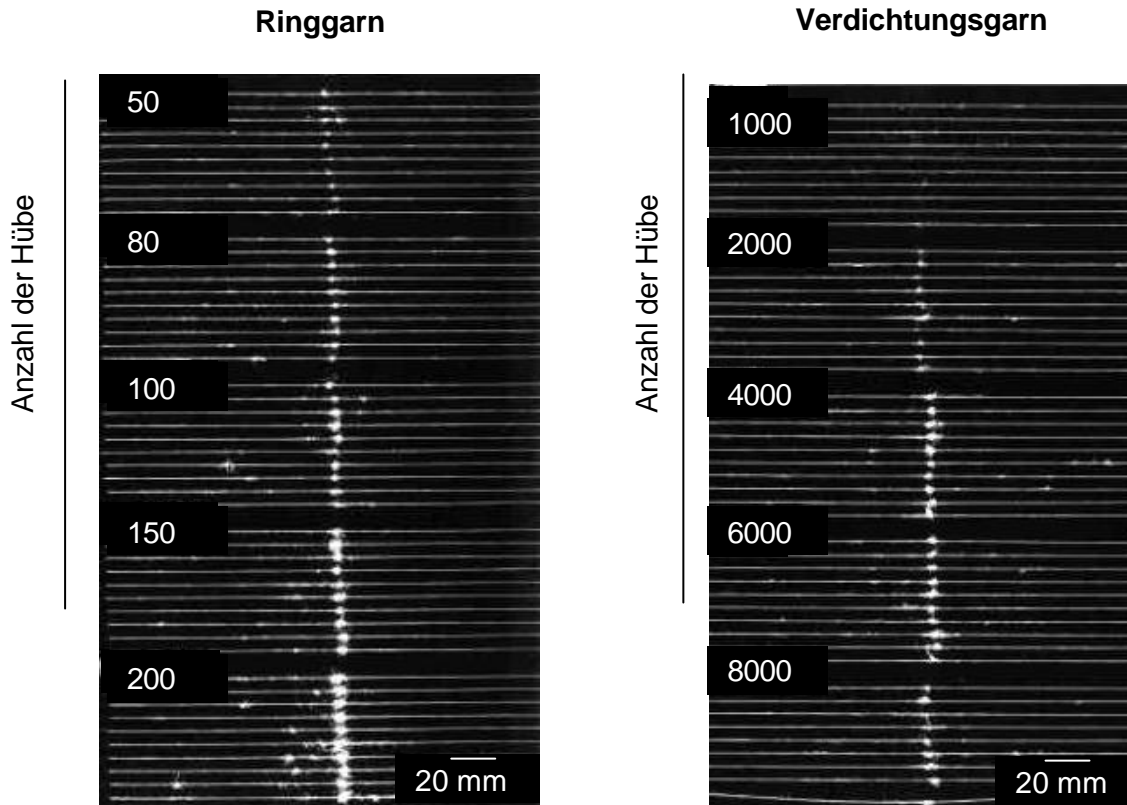


Bild 68: Erscheinungsbild eines Ring- (links) und Verdichtungsgarns (rechts) nach der Prüfung mit dem Reutlinger Webtester nach unterschiedlicher Anzahl von Hüben.

Dieses Ergebnis lässt eine Reduzierung des Beschlichtungsgrads B_G und ein besseres Laufverhalten des Verdichtungsgarns auf der Webmaschine erwarten. Die nachfolgend beschriebenen Versuche bestätigen diese Erwartung.

8.2 Möglichkeiten zur Reduzierung des Beschlichtungsgrads

Kettgarne müssen, sofern es sich nicht um Zwirne handelt, geschlichtet werden. Das Schlichtemittel verfestigt das Garn und klebt abstehende Haare an den Garnkörper an. Wie effektiv das Schlichten ist, kann anhand von zwei Prüfverfahren beurteilt werden: Prüfung auf dem Reutlinger Webtester oder anhand von Webversuchen auf einer Bandwebmaschine, einer etwas praxisnäheren Prüfung, die im Rahmen dieser Arbeit vorgenommen wurde. Bei Versuchen auf der Bandwebmaschine werden die Garne ohne Schusseintrag "gewebt". Dabei werden die Garne aufgeraut. Diese Aufrauung führt zu einem Klammern der Garne, d.h. dass vom Garn abstehende Fasern sich miteinander verwirren.

Wird die Kraft gemessen, die auf einen Kamm wirkt, der durch die klammernde Fadenschar geführt wird, dann ist die Höhe dieser Kraft, die Trennkraft F_K , ein Maß für die Wirksamkeit der Beschlichtung. Bild 69 gibt die Ergebnisse dieser Versuche wieder.

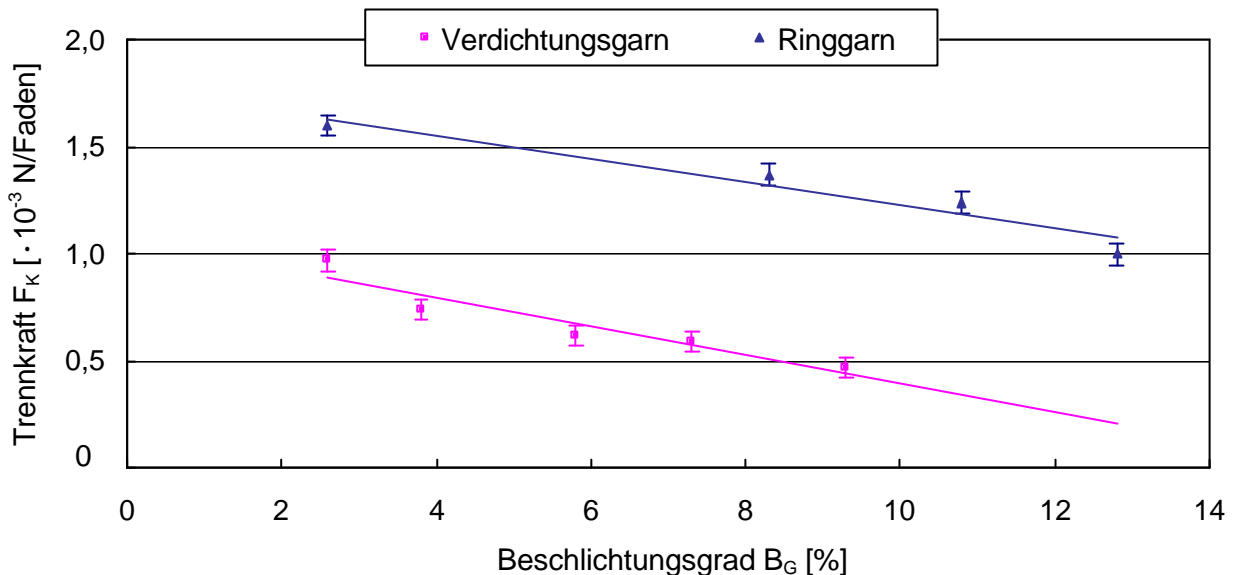


Bild 69: Trennkraft F_K von Ring- und Verdichtungsgarnen in Abhängigkeit vom Beschlichtungsgrad B_G (100 % Baumwolle, Garnfeinheit $T_t = 20$ tex).

Es ist offensichtlich, dass der Beschlichtungsgrad B_G erheblich reduziert werden kann, wenn statt der Ringgarne Verdichtungsgarne eingesetzt werden. Geht man von einem Beschlichtungsgrad von $B_G = 13$ % für das Ringgarn aus, so könnte der Beschlichtungsgrad auf etwa $B_G \cong 3$ % reduziert werden, wenn die Trennkraftwerte F_K linear mit dem erforderlichen Beschlichtungsgrad B_G korrelieren würden. Das ist nicht ganz der Fall. Erste Praxisversuche [82] haben jedoch ergeben, dass eine Beschlichtungsgradreduktion von etwa 40 % ohne weiteres möglich ist. Dadurch werden nicht nur in der Schlichterei erhebliche Kosten eingespart, sondern auch in der Vorbehandlung der Färberei, in der die Schlichte wieder ausgewaschen werden muss. Zudem wird die Umwelt entsprechend geringer belastet.

8.3 Festigkeitsprüfung von Ring- und Verdichtungsgarnen mit dem Tensojet

Auf Hochleistungswebmaschinen wird das Schussgarn stärker beansprucht als das Kettgarn. Der Schusseintrag erfolgt mit einer Geschwindigkeit von etwa 70 m/s, häufig verbunden mit einer schlagartigen Beanspruchung. Die höhere Feinheitsfestigkeit F_{Garn} und die bessere Fasereinbindung der Verdichtungsgarne müssten eigentlich zu einer besseren Verwebbarkeit der Verdichtungsgarne, verglichen mit Ringgarn, führen. Webversuche haben das bestätigt [83]. Aber auch bei der Kettbaumherstellung, dem Zetteln, ergab sich ein besseres Laufverhalten. Die Fadenbrüche nahmen um etwa 30 % ab [83]. Die Erfahrung lehrt, dass eine Kette um so besser abwebt, je weniger Störungen bei der Ketherstellung (Zetteln und Schlichten) auftreten. Insofern entspricht das bessere Laufverhalten der Verdichtungsgarne in der Weberei den Erwartungen (Nutzeffektsteigerung um etwa 2 % absolut).

Seit einigen Jahren ist ein Prüfverfahren auf dem Markt (Tensojet der Fa. USTER), mit dem die Garnfestigkeit bei schlagartiger Belastung geprüft wird [84]. Pro Stunde werden etwa 36.000 Reißungen am laufenden Faden durchgeführt. Auf diese Weise können ganze Garnspulen geprüft und vor allem Garnschwachstellen ermittelt werden. Üblicherweise werden 80.000 Reißungen pro Garnvariante durchgeführt. Das Prüfergebnis wird nicht nur als Prüfprotokoll ausgegeben, sondern auch in Form eines Diagramms, in dem jeder Prüfwert durch einen Punkt dargestellt wird.

Bild 70 gibt die Prüfdiagramme von einem Ringgarn bzw. von einem Verdichtungsgarn gleicher Feinheit und gleichem Rohstoff wieder. Zwei Dinge sind bemerkenswert: Zum einen ist, wie erwartet, die Punktwolke des Verdichtungsgarns zu höheren Werten hin verschoben. Zum anderen sind die Schwachstellen (Messpunkte im eingezeichneten Kasten) beim Verdichtungsgarn deutlich reduziert. Gerade diese Garnschwachstellen sind es, die zu den Laufproblemen in der Webereivorbereitung und in der Weberei führen.

Die Webereipraxis lehrt weiter, dass bestimmte Ringgarne nicht auf Luftdüsenwebmaschinen, sondern nur auf einer Greiferwebmaschine verarbeitet werden können, weil sie sonst "verblasen" werden können. Stellt man die gleichen Garne auf

Verdichtungsspinnmaschinen her, so lassen sich die Verdichtungsgarne ohne Probleme auch auf Luftdüsenwebmaschinen verweben. Da Luftdüsenwebmaschinen deutlich produktiver sind als Greiferwebmaschinen, steigt die Wirtschaftlichkeit beim Verweben dieser Garne [84].

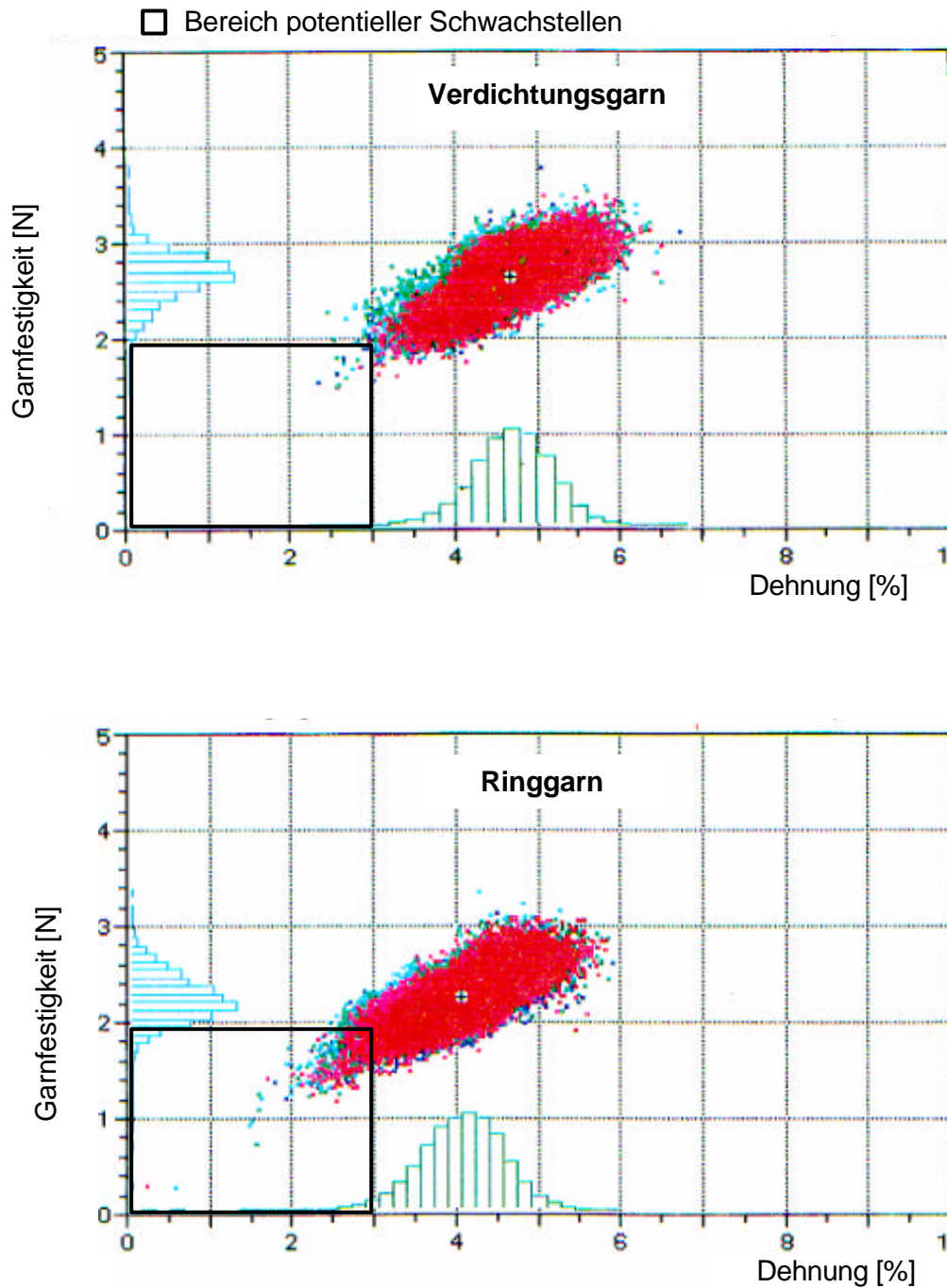


Bild 70: Ergebnis der Tensojetprüfung eines Verdichtungs- bzw. eines Ringgarns (80.000 Reißungen, 100 % Baumwolle, Garnfeinheit $T_t = 11,8 \text{ tex}$).

8.4 Weben von Verdichtungsgarnen aus spröden Fasern, untersucht am Beispiel von hochfesten Polyamid-Garnen

Aromatische Polyamid-Garne mit Parastruktur und hoher Orientierung zeichnen sich durch eine extrem hohe Festigkeit aus. Fasern aus solch einem Rohstoff haben eine Festigkeit von 1,70 bis 2,70 N/tex. Im Vergleich hierzu besitzen Baumwollfasern eine Faserfestigkeit von etwa 0,25 N/tex. Aufgrund der hohen Faserfestigkeit werden solche Polyamid-Garne für Schutzbekleidung, z. B. schusssichere Westen oder schnittfeste Handschuhe und für Hochleistungswerkstoffe eingesetzt. Die Fasern sind hochfest, aber auch spröde. Garne aus hochfesten Polyamid sind haarig, und haarige Garne neigen, wie erwähnt, beim Weben zum Klammern (Bild 71). Während beim Verweben von Baumwollgarnen die meisten klammernden Fasern beim Fachwechsel zerrissen werden, ist das bei den hochfesten Polyamidfasern nicht der Fall. Es bildet sich ein sogenanntes "unreines" Fach aus, d. h. die klammernden Fäden geraten in die Flugbahn des Greiferschützen oder Greifers und werden "abgeschossen". Im Extremfall muss eine solche Kette abgeschnitten und verworfen werden, was bei einem Faserpreis von 24 €/kg ein großer Verlust ist. Es lag deshalb nahe zu versuchen, ob auch die Haarigkeit eines Garnes aus sehr spröden Fasern durch das Verdichtungsspinnen reduziert werden kann. Über diesen Versuch wird nachfolgend berichtet.

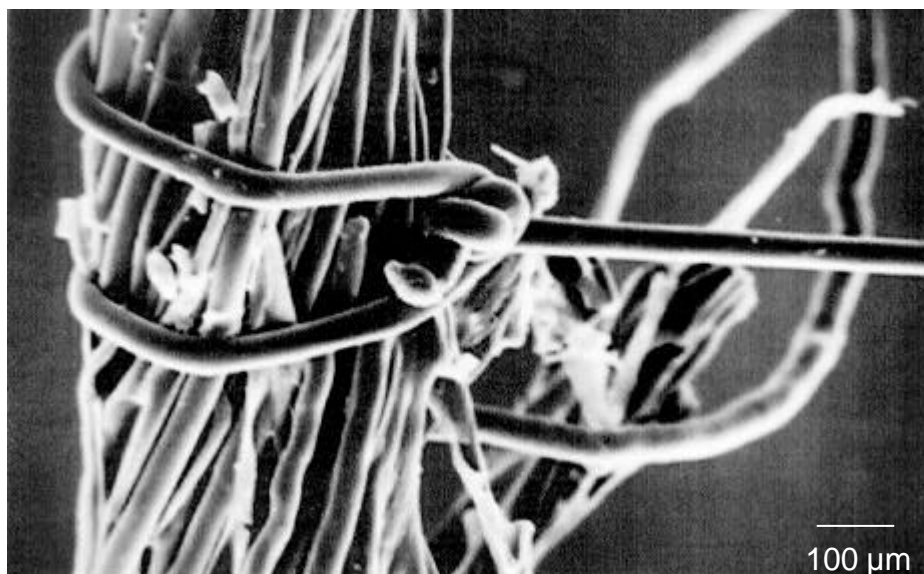


Bild 71: REM-Aufnahme von klammernden Fasern eines hochfesten Polyamidgarns.

Bild 72 verdeutlicht anhand der Garnhaarigkeitswerte (S3-Wert nach Zweigle), wie stark die Garnhaarigkeit durch den Verdichtungsprozess abnimmt. Bei diesen Versuchen war bis zu einer Garndrehung von $T = 609 \text{ 1/m}$ ein eindeutiger Einfluss der Drehungshöhe auf die Garnhaarigkeit erkennbar (bei beiden Spinnverfahren), darüber hinaus nicht mehr. Es wird daher empfohlen, mit einer etwas höheren Garndrehung als sonst üblich zu arbeiten ($T = 609 \text{ 1/m}$ statt $T = 487 \text{ 1/m}$).

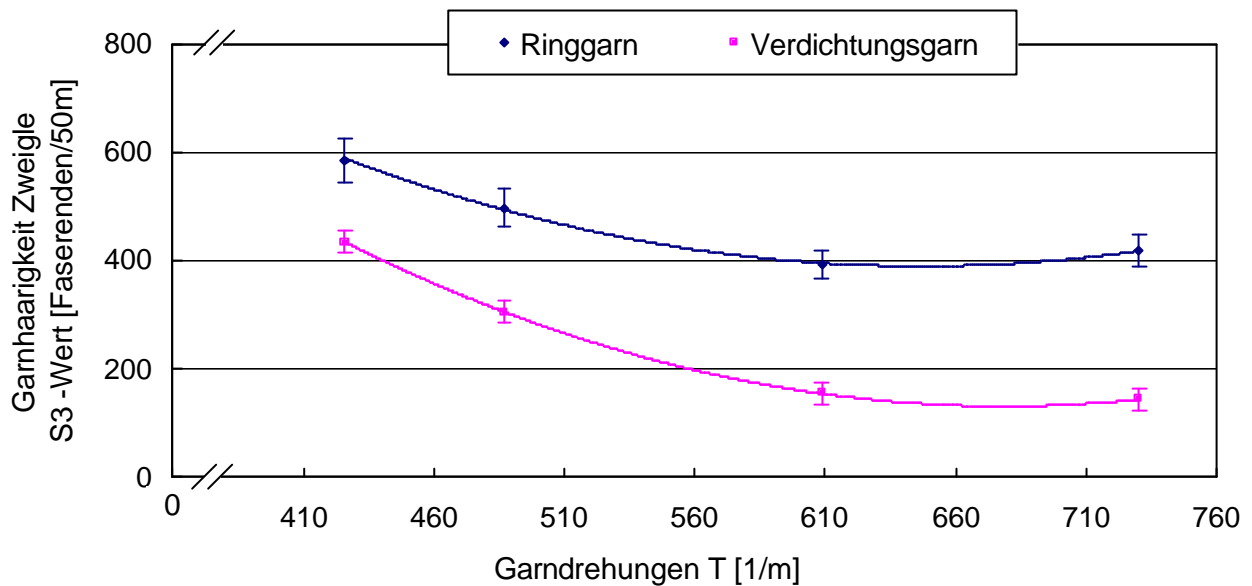


Bild 72: Einfluss der Garndrehung T auf die Garnhaarigkeit (S3-Wert) von Garnen aus hochfestem Polyamid (Garnfeinheit $T_t = 27 \text{ tex}$).

Durch den Einsatz von Verdichtungsgarn konnte die Weiterverarbeitung drastisch verbessert werden. Die Warenoberfläche war glatter und wirkte dadurch "eleganter" als beim Einsatz von Ringgarnen. Das Verdichtungsspinnen bietet sich also auch besonders für die Herstellung von Garnen aus spröden Fasern an, da solche Garne üblicherweise zu haarig und sehr empfindlich bei der Weiterverarbeitung sind.

9 Zusammenfassung

Beim Verdichtungsspinnen handelt es sich um ein neues Spinnverfahren auf der Basis des Ringspinnens, bei dem nach der eigentlichen Verzugszone eine sogenannte Verdichtungszone nachgeschaltet wird. In dieser Verdichtungszone werden die aus der Verzugszone breit auslaufenden Fasern pneumatisch gebündelt, was zu einer stark verbesserten Fasereinbindung bei der Drehungserteilung führt. Als Folge davon sind Verdichtungsgarne wesentlich glatter als übliche Ringgarne und zumeist auch reißfester. Da es sich beim Verdichtungsspinnen um ein noch sehr junges Spinnverfahren handelt, sind viele technologische Details noch ungeklärt, vor allem was die Auswirkung auf die Garneigenschaften und auf die Prozesssicherheit anbetrifft. Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist es daher, das Verständnis über die Vorgänge beim Verdichtungsspinnen zu verbessern und die Auswirkungen von Prozessvarianten auf die Garnqualität zu untersuchen. Daraus ergaben sich folgende Aufgabenstellungen:

- Bestimmen der optimalen Streckwerkseinstellungen, um Garne höchster Qualität zu spinnen.
- Analyse der Luftströmung um das Ausgangswalzenpaar, um zu klären, ob der pneumatische Bündelungsvorgang hierdurch gestört wird.
- Analysieren und Optimieren des Bündelungsvorgangs in der Verdichtungszone.
- Analyse des Bündelungsvorgangs bezüglich rohstoffspezifischer Einflüsse.
- Herausarbeiten von unterschiedlichen Prozessvarianten, die den Bündelungsvorgang effektiver und somit auch wirtschaftlicher machen.
- Untersuchung der Läuferstandzeit.

Im Rahmen des ersten Versuchsabschnitts wurde untersucht, wie sich der Verzugsprozess selbst optimal gestalten lässt, vor allem welche Auswirkungen die Höhe der Vorgardrehung T_V und der Vorverzug V_V auf die Garnqualität haben. Als Qualitätskriterien dienten neben der Garnleichmäßigkeit CV selbst auch die Vorverzugskraft F_V . Die wichtigsten Erkenntnisse aus dieser Versuchsserie lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die beste Garnleichmäßigkeit CV wird dann erzielt wenn die Vorverzugskraft F_V sehr hoch ist.

- Um die bestmögliche Garnqualität zu erreichen, muss der Vorverzug V_V an die Vorgarndrehung T_V angepasst werden.
- Die optimale Vorgarndrehung T_V und der optimale Vorverzug V_V sind unabhängig von der mittleren Faserlänge ML .

Im zweiten Versuchsabschnitt wurde die Luftströmung im Bereich des Ausgangswalzenpaars untersucht. Da die Bündelung der Fasern auf dem Verdichtungsriemchen mittels Luftströmung erfolgt, war die Frage zu klären, ob die Schleppströmung um das Ausgangswalzenpaar den Bündelungsvorgang auf der Riemchenoberfläche stört. Die Luftströmungsuntersuchungen wurden mit Hilfe eines PIV-Systems durchgeführt, mit dem nicht nur die Luftströmungsrichtung, sondern auch die Luftströmungsgeschwindigkeit bestimmt werden kann. Die bei den Luftströmungsmessungen gewonnenen Erkenntnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Im untersuchten Geschwindigkeitsbereich ist die Schleppströmung am Druckroller und am geriffelten Unterzylinder gleich. Beim Spinnen hat also die Oberflächenstruktur der Walzen keinen nennenswerten Einfluss auf die Ausbildung der Schleppströmung.
- Am Ausgangswalzenpaar bildet sich immer eine Luftströmung entgegen der Materialflussrichtung aus. Die Stärke dieser Luftströmung ist allerdings zu gering, um den Faserbündelungsvorgang zu stören.

Kernstück der Arbeit sind die Untersuchungen zur Faserbündelung in der Verdichtungszone. Die aus dem Streckwerk austretenden Fasern werden in der Verdichtungszone auf einem perforierten Riemchen mittels eines Saugluftstroms gebündelt. Dieser Faserbündelungsvorgang, das eigentlich Neue des Verdichtungsspinnens, wird von einer Vielzahl von Parametern beeinflusst. Die Parameter lassen sich in zwei Kategorien einteilen: faserspezifische und strömungstechnische Parameter. Die Fasereigenschaften sind durch die Garnkonstruktion vorgegeben. Allerdings variieren sie in einem weiten Bereich. Die strömungstechnischen Parameter sind diejenigen Größen, deren Einfluss es zu ermitteln und dessen optimale Auslegung es zu bestimmen galt. Um die Bedeutung der einzelnen Parameter besser beurteilen zu können, wurde ein sogenannter

Widerstandsfaktor definiert, der den Widerstand, den die Fasern einer Faserbündelung entgegensetzen, beschreibt.

Für den Einfluss der Fasereigenschaften und der Garnfeinheit T_t auf den Widerstandsfaktor W ergaben sich folgende Zusammenhänge:

- Je feiner die Fasern sind, desto leichter lassen sich die Fasern bündeln.
- Je länger eine Faser bei gleicher Feinheit ist, desto schwieriger sind die Fasern zu bündeln.
- Der Widerstand gegen den Bündelungsvorgang steigt mit zunehmender Garnfeinheit T_t an.
- So offensichtlich der Einfluss der Faserfeinheit an sich auch ist, bei der Herstellung einer bestimmten Garnfeinheit T_t wird der Feinheitseinfluss der Fasern manchmal durch den Faseranzahl einfluss kompensiert. Ist die Garnfeinheit T_t konstant, dann nimmt die Faseranzahl n_{Faser} proportional zur Faserfeinheit zu. Messungen und Berechnungen ergaben, dass der Einfluss der geringeren Biegesteifigkeit feinerer Fasern zumindest teilweise durch die höhere Faseranzahl n_{Faser} kompensiert wird.
- Der Einfluss der Spinnengeschwindigkeit v_{sp} auf den Faserbündelungsvorgang hängt vor allem von der mittleren Faserlänge ML ab. Während sich die Spinnengeschwindigkeit v_{sp} bei langstapligen Baumwollen stark auf den Widerstandsfaktor W auswirkt, ist der Einfluss bei kardierten, kurzen Baumwollen unerheblich.

Ein wichtiges Ziel dieser Arbeit bestand darin, die Wirtschaftlichkeit des Verdichtungsspinnens weiter zu erhöhen. Das ist vor allem dadurch möglich, dass der Bündelungsvorgang noch effektiver gestaltet wird. Wichtige, technisch relevante Einflussgrößen auf die Faserbündelung sind die Mindest-Luftgeschwindigkeit v_{min} und der Anspannverzug AV . Die Untersuchungen ergaben:

- Eine Luftgeschwindigkeit von $v_{\text{Luft}} = 1 \text{ m/s}$ reicht in den meisten Fällen aus, um bei Baumwolle eine gute Faserbündelung zu erreichen.
- Wird der Anspannverzug AV verringert, reduziert sich auch die Mindest-Luftgeschwindigkeit v_{min} , um eine Faserbündelung zu erreichen.

Geht man davon aus, dass eine Mindest-Luftgeschwindigkeit von $v_{Lmin} = 1$ m/s für die Faserbündelung erforderlich ist, dann kann man für jede geometrische Form einer Perforation eine "Wirkungsbreite" bestimmen, innerhalb der die Fasern vom Saugluftstrom erfasst und gebündelt werden. Die Größe dieser Wirkungsbreite geht nicht unbedingt einher mit der Garnhaarigkeit. Die wichtigsten Erkenntnisse aus den Untersuchungen über den Fasertransport lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Längsschlitze quer zur Transportrichtung erhöhen zwar die Wirkungsbreite, aber auch die Garnhaarigkeit.
- Eine Kombination aus kreisrunden Löchern und Langlöchern im Verhältnis von zwei zu eins hat sich als optimal herausgestellt, um die maximale Changierbreite zu erreichen, ohne gleichzeitige Verschlechterung der Garnqualität.
- Wird die Luftströmung im Faserbündelungsbereich mit einem Luftleitblech geändert, dann erhöht sich die Luftgeschwindigkeit. Infolgedessen erhöht sich auch die Changierbreite, was sich positiv auf den gesamten Verdichtungs-spinprozess auswirkt.

Durch die Faserbündelung in der Verdichtungszone sind Verdichtungsgarne deutlich glatter als Ringgarne. Hierdurch verändert sich das Laufverhalten im Bereich der Drehungserteilung. Die Untersuchungen ergaben:

- Durch die glattere Struktur der Verdichtungsgarne verschlechtert sich die Schmierung von Ring und Läufer, wodurch sich die Fadenzugkraft und der Läuferverschleiß drastisch erhöhen.
- Bei Versuchen den Läuferverschleiß zu reduzieren ergab sich, dass die Läufergeometrie den Läuferverschleiß stärker reduzieren kann als eine verschleißfeste Beschichtung.

Nicht nur im Spinnprozess selber, sondern auch in der Weiterverarbeitung können Unterschiede zum Ringgarn festgestellt werden. So konnten folgende Erkenntnisse in der Weberei gewonnen werden:

- Der Beschlichtungsgrad B_G kann bei Verdichtungsgarnen um 40 % gegenüber Ringgarnen reduziert werden.

- Beim Verweben von spröden Garnen zeigen Verdichtungsgarne ein besseres Laufverhalten auf der Webmaschine. Dies ist auf die Reduzierung der Garnhaarigkeit bei den Verdichtungsgarnen zurückzuführen ist.

Die vorgegebenen Ziele der Arbeit - erweitern des Prozessverständnisses und verbessern der Wirtschaftlichkeit des Verdichtungsspinnens - wurden erreicht. Die Ergebnisse der Untersuchungen versetzen den Hersteller von Verdichtungsspinnmaschinen in die Lage, seine Maschinen technisch optimal auszulegen, und gestatten es dem Betreiber, die wählbaren Parameter optimal an den Rohstoff anzupassen. Der Weiterentwicklung des Verdichtungsspinnens werden Impulse gegeben, die vor allem in Richtung einer verbesserten Wirtschaftlichkeit weisen.

10 Literaturverzeichnis

- [1] Egbers, G.: Haben neue Spinnverfahren eine Chance, Melliand Textilberichte 78 (1997), 445.
- [2] ITMF-Studie 1990, Aktuelle Weltmarktrends für Spinn- und Webmaschinen, Chemiefasern/ Textilindustrie 34/86, 9 (1984), 956.
- [3] Marzoli, P.: Spinnring Trends, Japan Textile News (1993), 64.
- [4] Stalder, H.: Neues Spinnverfahren ComforSpin, Melliand Textilberichte 81 (2000), 133.
- [5] Klein, W., Stalder, H.: Neue Spinnverfahren – hat die Zukunft bereits begonnen? Textil-Praxis International 38 (1983), 205.
- [6] Stalder, H.: Vergleich der verschiedenen Hochleistungsspinnverfahren hinsichtlich der Reinausspinnung von PES-Fasern, 29. Int. Chemiefasertagung Dornbirn, 19.-21.9. (1990).
- [7] Strolz, H.: Eine aktuelle Lagebeurteilung der Textilindustrie, Aktualisierter Sonderdruck, Rieter Link Nr. 9, (1992).
- [8] Mc Allister, I.: Manufacturing: Pace of Change is Breathtaking, Textile World 10 (1990), 21.
- [9] Kappeler, H.: Otemas '89, Aktueller Stand der Baumwollspinnerei, Chemiefasern/Textilindustrie 39/91, 12 (1989), 1341.
- [10] Wolf, B.: Baumwollspinnerei – Technologie und Maschinen, Springer-Verlag, Berlin (1966).
- [11] Krause, H.-W.: Spinnereitechnik an der Schwelle zum Jahr 2000, Mittex 96,10 (1989), 389.
- [12] Hartmann, U.: Wird die Ringspinnmaschine ersetzt – wann? Melliand Textilberichte 65, 5 (1984), 300.
- [13] What's New in Spinning? Plus Top 10 Forecasts, Textile World 8 (1989), 39.
- [14] Schoeller, L.: Die Renaissance der Ringspinnerei – warum? 4. Reutlinger Ringspinn-Kolloquium des ITV, 24./25.10.(1989), Eningen.
- [15] Parker, A.: Importance yarn surface appearance, Textile Month Heft 9 (1991), 107.
- [16] Trends of Japanese Textile Machine Technology, Japanese Textile Machines Organization, ITMA 1987, Paris.
- [17] Battelle Institut: Spinning 2000 – Die Spinnerei-Industrie im Jahr 2000, Melliand Textilberichte 69,11 (1988), 784.
- [18] Eurocotton, Dringlichkeit spinntechnischer Entwicklungen, Melliand Textilberichte 60,10 (1979), 829.
- [19] Zinser, Novum 8, Technologie in Garn, (1988).

- [20] Dinkelmann, F.: Automatisierung und Leistungssteigerung in der Ringspinnerei,
3. Reutlinger Ringspinn-Kolloquium, 2/3. Dez. (1986), Eningen.
- [21] Meyer, U.: Automatisierung und hohe Leistung – die Ringspinnerei im Aufwind,
4. Reutlinger Ringspinn-Kolloquium, 24/25. Okt. (1989), Eningen.
- [22] Fürst, S.: Leistungsgrenzen von Ringen und Ringläufern,
Textil-Praxis International 44,7 (1989), 656.
- [23] Artzt, P.: Verdichtungsspinnen – Innovation in der Stapelfaserspinnerei,
International Textile Bulletin 44, 5 (1998), 26.
- [24] Artzt, P., Betz, D., Schneider, J., Sonntag, E.: Innovationen in der Ringspinnerei – Neue Impulse für ein altes Spinnverfahren,
Melliand Textilberichte 76 (1995), 1061.
- [25] Artzt, P., Auschejks, L., Betz, D., Zoudlik, H.: Besondere Struktur der Verdichtungsgarne – Vorteile in der Weiterverarbeitung,
11. Reutlinger Spinnereikolloquium, Mai (1997), Eningen.
- [26] Binternagel, T.: Komfort durch COM4–Garn – Neue Möglichkeiten der Weiterverarbeitung, Mittex 108,1 (2001), 4.
- [27] Wegener, W.: Die Streckwerke der Spinnereimaschinen,
Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, (1965).
- [28] Wolf, B.: Streckwerke an Baumwollringspinnmaschinen,
ITS Spinnerei 1 (1971), 27.
- [29] Krauer, H., Bornhauser, P.: Die Rolle des Verzugsriemchens in modernen Hochverzugs-Streckwerken für die Kurzstapelspinnerei,
Asian Textile Journal 7, 6 (1998), 81.
- [30] Bay, E., Bayer, F.: Anforderungen an moderne Streckwerkssysteme in der Ringspinnerei,
Melliand Textilberichte 79 (1998), 601.
- [31] Cole, W. D.: Examination of effects of drafting rates on yarn quality,
Pakistan Textile Journal 47 (1998), 39.
- [32] Krauer, H., Bornhauser, P.: Das Faserführriemchen in modernen Kurzstapel-Hochverzugsstreckwerken,
Mittex 105 (1998), 8.
- [33] Kirschner, E.: Einfluß der Oberwalzenbelastung und der Riemchenbeschaffenheit auf die Laufverhältnisse an der Ringspinnmaschine und die Garneigenschaften,
Textil-Praxis International 16 (1961), 468.
- [34] Binz, H.: Pneumatischer Anpressarm für Streckwerke an Ringspinnmaschinen,
Design Engineering, Heft Okt. (1997), 53.
- [35] Holzer, C., Hegnauer, H.: Der Einfluss der Qualität des Oberwalzenbezuges auf die Wirtschaftlichkeit beim Ringspinnen,
Unitex, Heft 6 (1999), 23.

- [36] Artzt, P., Ausheyks, L.: Einfluss von Belastungsdruck und Rauigkeit von Druckrollern auf den Verzug, Melliland Textilberichte 82 (2001), 577.
- [37] Heinrich, G., Weide, W.: Experimenteller Nachweis des Einflusses ausgewählter Parameter der Ausgangsoberwalze des Streckwerkes der Baumwollringspinnmaschine auf die Garnungleichmäßigkeit, Textiltechnik 28 (1978), 158.
- [38] Gangli, L.A.B.: Betrachtungen über die Technologie der Baumwoll-Streckwerke, Textil-Praxis International 14 (1959), 651.
- [39] Manour, M.M.: Pilosité des Fils de Coton, Bulletin de l'Institut Textile de France 9 (1962).
- [40] Artzt, P., Klein, T., Preininger, H.: Analyse und Optimierung von Hochverzugsstreckwerken, Vortrag 3, 3. Reutlinger Ringspinn-Kolloquium, 2/3. Dez. (1986), Eningen.
- [41] Patentschrift: Ernst Fehrer DE 39 27 936 C2, Anmeldetag 24.08.1989.
- [42] Fehrer, E.: Die DREF Ringspinnmaschine, ein neuer Weg zur Herstellung von Garnen, Textil-Praxis International 43,12 (1988), 1313.
- [43] Aktueller Stand des DREF-Ringspinnverfahrens, Chemiefasern-Textilindustrie 42/94, 4 (1992), 283.
- [44] Scholze, U., Trauter, J.: Auswirkungen der Haarigkeit von Rohgarnen und der Fasereigenschaften auf das Webverhalten geschichteter Kettgarne, Textil-Praxis International 48, 10 (1993), 773.
- [45] Artzt, P.: Verdichtungsspinnen – Innovation in der Stapelfaserspinnerei, International Textile Bulletin 44 (1998), 4.
- [46] Lucca, A.: ComforSpin: Ein neues Spinnverfahren tritt vor den Vorhang, Rieter Link 10 (1998), 8.
- [47] Stalder, H.: Compactspinnen – eine neue Generation von Ringspinnengarnen, Melliland-Textilberichte 76 (1995), 119.
- [48] Offenlegungsschrift E. Fehrer DE 3927936 A1, Offenlegungstag 05.04.1990.
- [49] Offenlegungsschrift SKF Textilkomponenten DE 41 39 067 A1, Offenlegungstag 09.06.1993.
- [50] Patentschrift Institut für Textil und Verfahrenstechnik Denkendorf DE 43 23 472, Anmeldetag 14.07.93.
- [51] Offenlegungsschrift Rieter DE 195 00 036 A1, Offenlegungstag 04.07.1996.
- [52] Offenlegungsschrift Spindelfabrik Suessen Schurr, Stahlecker & Grill DE 199 21 966 A1, Offenlegungstag 16.11.2000.
- [53] Krause, H. W., Soliman, H., Tian, J. L.: Untersuchungen zur Festigkeit des Spinddreiecks beim Ringspinnen, Melliland Textilberichte 72, 7 (1991), 499.

- [54] Centre de Recherches des Industries Textiles de Rouen: Der Einfluss Spannungen auf der Ringspinnmaschine auf die Dehnungscharakterisierung der Baumwollgarne, Bulletin de Institut Textile de France, Nr. 80, (1959), 33.
- [55] Soliman, H.A.: Fadenwiderstand, Fadenbelastung und Fadenbruchwahrscheinlichkeit beim Hochleistungsspinnen, Habilitation ETH Zürich, (1991).
- [56] Schönung, B., Bay, E.: Erste Ergebnisse mit einzelmotorisch angetriebenen Ringspindeln, Vortrag Reutlinger Ringspinn-Kolloquium am 25.10.(1989) Eningen.
- [57] Trommer, G.: Drehungsstau bei Garnen, Deutsche Forschung und Textiltechnik 18 (1967), 115.
- [58] Kohn, W., Krischner, E.: Untersuchungen über die Schmierschichtbildung an Spinnringen mit Hilfe radioaktiver Markierung der Fasersubstanz, Textilindustrie 4 (1966), 226.
- [59] Axson, M.: An Instrument for the Measurement of Traveller-Ring Friction, J. Text. Inst. 52 (1961), T26.
- [60] Abd El Aziz Eid, M.: An Investigation of the Influence of Ring Spinning Variables on the Traveller Friction, Dissertation ETH Zürich, (1968).
- [61] Lünenschloß, J., Pfeifle, D., Rottmayr, H.: Berührungslose Temperaturmessung des Spinnläufers mit Hilfe eines Infrarot-Mikroskops, Melliand Textilberichte 52, 10 (1971), 117.
- [62] Agrawal, A.K.: Performance and Design Aspects of Ring/Traveller Combination: Some New Insights, Atira Tech. Dig. 23 (3) (1989).
- [63] König, O.: Über den Einfluss des Durchmessers der Spinn- und Zwirnringe auf die Läufergeschwindigkeit, Textil-Praxis International 17, 11 (1962), 1123.
- [64] Przybyl, K.: Wspolpraca biegacza z obraczka na przedzarce obraczkowej, Przegląd Włokienniczy 42 (1988), 18.
- [65] Przybyl, K.: Materiały do wyrobu biegaczy, Przegląd Włokienniczy 42 (1988), 20.
- [66] Walz, F., Fetzner, H.: Spinnen mit erhöhter Läufergeschwindigkeit, Textil-Praxis International 12, 2 (1957), 1.
- [67] Grosberg, P., Molgaard, J.: Gehe Dry Wear of Steel, in Relation to Spinning Traveller Wear, J. Text. Inst. 59 (1968), 89.
- [68] Klein, W.: The Technology of Shortstaple Spinning, The Textile Institutes Manchester, Band 1 (1987), 33.
- [69] Peyer, B.: Untersuchung periodischer Streckwerksfehler, Mitteilungen aus dem Institut für Textilmaschinenbau und Textilindustrie an der ETH Zürich, Nr. 7.

- [70] Wegener, W.: Die Streckwerke der Spinnereimaschinen, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York (1965), 17.
- [71] Von Berten, W., Wakelin, J. H.: Properties of Apparel, Wools. Test. Res. J. 22 (1952), 124.
- [72] McLean, H.: Wool Rec. 90 (1956), 316.
- [73] Geus L. H. D.: Merino Breeder J. 14 (1952), No. 1, 22.
- [74] Grover, E. B., Hamby, D. S.: Test. Ind. J. 117, 1953 o. 8, 114.
- [75] Stanbury, Byerley: Wool Research 6, 225.
- [76] Balasubramanian, N., u. R. L. N. Iyengar: A Study of the Relationship of Yarn Irregularity with Fibre Properties and its Effect on yarn strength, Indian Text (1961), 561.
- [77] Wegener, W., Meister, H.: Einfluss des Stapels auf die Ungleichmäßigkeit und dynamometrischen Eigenschaften werksavivierter und nachbehandelter Streckenbänder und Garne aus Chemiefasern. Reyon, Zellwolle und andere Chemiefasern 7 (1957), 700-772.
- [78] Becker, E.: Technische Strömungslehre, B.G. Teubner Stuttgart, (1993), 114.
- [79] Piesche, M.: Strömungsmechanik, Vorlesungsskript SS 2000, Institut für Mechanische Verfahrenstechnik Universität Stuttgart, (2000), 7.26.
- [80] Trommer, G.: Das Problem der Drehungsverteilung im Garn beim Ringspinnprozess, Deutsche Textiltechnik 10 (1967), 620.
- [81] Sonntag, E.: Tribologische Grundlagenuntersuchungen am Ring/Läufer/Garn-System der Ringspinnmaschine, VDI Verlag Nr. 252, (1995).
- [82] Planck, H., Artzt, P.: Innovative Garne für innovative Flächengebilde (Teilprojekt B), Schlussbericht für das Verbundvorhaben des Landes Baden-Württemberg Nr. 4-4332.62-DITF/16 (2000).
- [83] Fräßle, H.: Erfahrungen bei der Herstellung von Verdichtungsgarnen, Diskussionsbeitrag, 12. Denkendorfer Ringspinn-Kolloquium, 8./9. Nov. 2001, Denkendorf.
- [84] Betriebsanleitung Tensojet 273 654-01010, Zellweger Uster, 1996.

Beruflicher Hintergrund	
seit Mai 2001	Temafa Maschinenfabrik GmbH, Bergisch Gladbach Entwicklung Verkauf Leiter Technik
1996 – 2001	Institut für Textil- und Verfahrenstechnik, Denkendorf Wissenschaftlicher Mitarbeiter
1992 – 1994	Institut für Textiltechnik RWTH Aachen, Aachen Wissenschaftliche Hilfskraft
Hochschulausbildung	
1996 – 2001	Institut für Textil- und Verfahrenstechnik, Denkendorf
1995 – 1996	Diplomarbeit am CSIRO, Australien
1992 – 1996	Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen Abschluss: Diplom
1989 – 1992	Ruhr-Universität Bochum Abschluss: Vordiplom
Wehrdienst	
1988 – 1989	Instandhaltung, Lüneburg
Schule	
1978 – 1988	Gymnasium, Herkenrath Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

