Prom. Nr. 1837

Über die Fadenbruchzahl und Spinngrenze in der Kammgarnspinnerei

Von der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
IN ZÜRICH

Zur Erlangung der Würde eines Doktors der
technischen Wissenschaften genehmigte

PROMOTIONSARBEIT

vorgelegt von
WALTER H. SCHNEIDER
Dipl. Ing. ETH von Winterthur

Referent: Herr Prof. Dr. E. Honegger
Korreferent: Herr Prof. Dr. W. Saxer

St.Gallen 1951, Zollikofer & Co., Buchdruckerei

MEINEM VATER

Es liegt mir am Herzen, zu sagen, daß die Durchführung der vorliegenden Arbeit in dieser Form nicht möglich gewesen wäre ohne das Entgegenkommen von Herrn Prof. Dr. Ing. E. HONEGGER von der ETH, der Herren H. ALIOTH und V. VON DER MÜHLL von der Industriegesellschaft für Schappe, meinem Arbeitgeber, und der Herren Dr. BISSIG und Ingenieur H. LOCHER von der Firma ZELLWEGER AG, Uster, die ihre Garngleichmäßigkeitsprüfapparate zur Verfügung stellten. Ihnen allen sei an dieser Stelle bestens gedankt.

Die vorliegende Arbeit sucht mit den Methoden der mathematischen Statistik und mit praktisch vorgenommenen Messungen Aufschluß zu erhalten darüber, wieweit eine Faser gegebener Feinheit ausgesponnen werden kann und mit wieviel Fadenbrüchen dabei zu rechnen ist.

In der Industrie sind empirische Werte schon lange bekannt. Durch sie fühlt man sich beengt, und es werden gegenwärtig die größten Anstrengungen unternommen, die Grenzen zu weiten. Hier kann die Mathematik helfen und zeigen, was möglich sein sollte und was nicht.

Wenn ich hier untersuche, um welchen Betrag eine Kammgarnspinnerei noch vervollkommnet werden kann, so bin ich mir darüber klar, daß eine Verbesserung um so schwieriger und kostspieliger ist, je besser die Fabrik bereits arbeitet. Das letzte Wort spricht die Wirtschaftlichkeit.

Es kann aber als Resultat hier schon vorweggenommen werden, daß mit Ausnahme weniger Fabriken bedeutende Verbesserungen möglich sind, wobei die Ausgaben für die zu treffenden Maßnahmen gegenüber der Einsparung an Fabrikationskosten durch die Verminderung der Störungen und der Fehler weit zurücktreten.

Leer - Vide - Empty

INHALTSVERZEICHNIS

I. Einleitung 7
II. Warum und wieviel doublieren? 8
III. Die Faseranordnung durch Zufall 10
IV. Die theoretische Ungleichmäßigkeit als Funktion der mittleren Faserzahl im Querschnitt 12
V. Die Berechnung der Frequenz der Fadenbrüche 16
VI. Gleichmäßigkeitsmessungen mit dem «Uster»-Apparat und die Bestimmung des «Ungleichmäßigkeitsfaktors» 17
VII. Reißfestigkeit und Fadenbrüche bei Merinokammgarn Nm. 58 . . . 20
A. Abhängigkeit der Festigkeit vom Zeitfaktor 20
B. Abhängigkeit der Festigkeit von der Substanz im dünnsten Querschnitt innerhalb der Einspannlänge 21
C. Abhängigkeit der Festigkeit von der Einspannlänge 24
VIII. Fadenbruchaufnahmen und Spannungsmessungen an der Ringspinnmaschine für Merinokammgarn (Nm. 58, 48 und 40) 26
IX. Vergleich der Meßresultate mit den Berechnungen 27
X. Rückblick und Schlußwort 28

ABKÜRZUNGEN

x = effektive Faserzahl im Querschnitt an einer Stelle
λ = mittlere Faserzahl im Querschnitt
φ = relative Häufigkeit
P = Wahrscheinlichkeit
μ = Durchschnitt
σ = mittlere quadratische Abweichung (standard deviation)
V = Variationskoeffizient
u = «Ungleichmäßigkeitsfaktor»

Leer - Vide - Empty

I. Einleitung

Ein relativ großer Teil der Kosten in einer Spinnerei wird durch die Folgen der Ungleichmäßigkeit der Gespinste verursacht. Die ganz dünnen Stellen im Garn führen zu Brüchen, die repariert werden müssen. Dies geschieht durch Ansetzer, die von der Spinnerin ausgeführt werden, oder durch Knoten in der Spulerei. Aber auch beim Zetteln und Weben gibt es Fadenbrüche, zumal die Einspannlänge auf der Zettelmaschine relativ groß ist und das Anschlagen der Lade mit dem Blatt eine hohe Beanspruchung der Kettfäden zur Folge hat[9]. Das letztere ist vor allem der Fall, wenn Spannungsunterschiede von Faden zu Faden auf dem Kettbaum auftreten. Es ist aber nicht nur die Flickarbeit, die hohe Kosten verursacht und sich auf den Qualitätsstandard ungünstig auswirkt, sondern auch die Maschinenkosten hängen ab von der Zahl der Fadenbrüche je Produktionseinheit. Es ist naheliegend, daß bei einer relativ niedrigen Fadenbruchzahl die Geschwindigkeit der Maschine bis zu einer gewissen Grenze erhöht werden kann. Die Grenze kann entweder durch die Maschine bedingt sein (Läufergeschwindigkeit, allenfalls Spindeldrehzahl) oder durch das Überwachungspersonal. Manchmal wird die Grenze auch durch Qualitätsanforderungen, wie weiche Drehung oder glattes Garn im Gegensatz zu rauhem (haarigem) Garn, festgesetzt. Ein Weber weiß, daß der Wirkungsgrad seiner Maschinen stark fällt, wenn er plötzlich ungleichmäßiges Garn mit schwachen Stellen zu verarbeiten hat. Trotz dem Bestreben, in der Spulerei die schwachen Stellen des Garnes zu entfernen, trotz tadellosem Zetteln und dem besten Schlichten bringt es einen beträchtlichen Produktionsverlust, zum mindesten bei einem dichtgeschlagenen Gewebe.

Wenn es uns gelänge, ein Garn von absoluter Gleichmäßigkeit zu spinnen, so würden wahrscheinlich noch viel mehr einfache Garne an Stelle von Zwirnen verwendet. Die Dopplung zweier Garne bewirkt zwar eine höhere Gleichmäßigkeit als die des einfachen Garnes vor dem Zwirnen und eine höhere Festigkeit als die doppelte des einfachen Garnes. Jedoch muß auch gesagt werden, daß ein einfaches Garn der halben Feinheit ebenfalls gleichmäßiger und mehr als doppelt so stark hergestellt werden kann gegenüber dem für den Zwirn verwendeten. Die Zwirnerei ist die teuerste Doublierung, weil sie durch das Spinnen zweier Garne doppelter Feinheit und ihr Zusammendrehen ungefähr den vierfachen Aufwand an Drehungen benötigt, verglichen mit dem einfachen Garn von der Gesamtnummer des Zwirnes. Trotzdem ist das Zwirnen sehr verbreitet, speziell in der Nähfadenfabrikation. Es bringt an Gleichmäßigkeit auch mehr ein als irgendeine andere Doublierung. Die zweitteuerste Doublierung, aber auch die nächstbeste, ist die zweier Vorgarne auf der Spinnmaschine. Sie ist kostspielig, weil die Herstellung doppelt feinen Vorgarnes bedeutend mehr Vorgarnspindeln erfordert als beim Spinnen mit einfachem Vorgarn. Auch auf den Vorbereitungsmaschinen ist deutlich spürbar, daß die Doublierungen feinerer Bänder (zum Beispiel beim Frotteur) mehr verbessern als die grober Bänder (auf Strecken). Einwandfreie Streckenprozesse und gute Feinstreckenbänder vorausgesetzt, sollte es möglich sein, die teure und teuerste Doublierung durch billigere Doublierungen zu ersetzen. Wenn dem nicht so ist, so ist das ein Beweis dafür, daß unsere Streckprozesse und Vorgarn-Aufwindesysteme zu wünschen übriglassen.

Der Mehrpreis für die feineren Sorten eines natürlichen Spinngutes wird immer die Tendenz des Feinausspinnens begünstigen. Wir sehen zum Beispiel die großen Anstrengungen in den USA, die zum Ziele haben, Inlandwolle an Stelle von Merinos für verschiedene Artikel zu verwenden. Nur bei den künstlichen Fasern, wo die Preisdifferenz für verschiedene Feinheiten minim oder Null ist, wird in der Regel weniger fein ausgesponnen (USA-Zellwollgarne mit mindestens 70 bis 80 Fasern im Querschnitt). Wenn trotz dem gleichen Preis für Viskosefasern verschiedener Titer nicht alle Garnnummern aus der feinsten Faser hergestellt werden,

so hat dies zwei Hauptgründe. Ein Grund liegt darin, daß die groben Zellwollgarne bis ungefähr 10 Meter je Gramm auf Maschinen hergestellt werden, die für grobe Naturfasern entwickelt worden sind (Flügelspinnmaschinen mit mechanischem Spulenwechsel). Der andere Grund liegt in der Tatsache, daß grobe Zellwollfasern weniger quellen und widerstandsfähiger gegen das Scheuern sind als die feinen. Aus den späteren Kapiteln werden wir sehen, wie lohnend es sein kann, einer Wolle 10 % oder 15 % Zellwolle feineren Titers zur Erhöhung der Spinngrenze beizumischen.

II. Warum und wieviel doublieren?

Die Antwort auf das Warum ist in der Spinnerei schon längst bekannt. Würden wir nämlich ein relativ gutes Karden- oder Peigneusenband ohne jede Doublierung ausspinnen, so hätten wir ein Garn mit so starken Nummerschwankungen, daß es für ein klassisches Gewebe unbrauchbar wäre. Nummerschwankungen kommen besonders stark zum Vorschein in Geweben, die mit nur einem Schützen gewoben werden. Ein Karden- oder Peigneusenband ist nie so gleichmäßig von Millimeter zu Millimeter, von Zentimeter zu Zentimeter, von Meter zu Meter usw., daß man ein Quantum Garn erhalten könnte ohne größere Gewichtsschwankungen von Meter zu Meter, von 100 zu 100 Meter usw., wenn nicht doubliert würde. Das wäre auch dann noch der Fall, wenn wir ein unbedingt vollkommenes Arbeiten sämtlicher Streckwerke annähmen. Sicher wurde in den letzten Jahrzehnten die Gleichmäßigkeit der Kardenbänder bedeutend verbessert. Ohne diese Verbesserung wäre es nicht möglich gewesen, Doublierungen abzustreichen, wie zum Beispiel bei den Spinnplänen mit Zwillingsstrecken oder mit Doppelverzugflyern. Bei den letzteren meine ich solche mit Verzügen von insgesamt etwa 24 und mehr und nicht solche mit Vorverzügen zwischen 1,2 und 1,6. Wer sich mit der Karderie beschäftigt, der kennt auch die Gründe, weshalb kleine Schwankungen im Kardenband nicht zu vermeiden sind. Auch bei der besten Speisung und Regulierung der Karden und kontinuierlichem Ausstoßen der Kardengarnitur sind Schwankungen von einer Karde und von Karde zu Karde noch größer, als die Abnahmebedingungen für das Garn sie zulassen. Es läßt sich deshalb nicht vermeiden, das Doublieren als Mittel zur Vergleichmäßigung heranzuziehen. Diesem Mittel sind aber gewisse Grenzen gesetzt. Da das Doublieren im Gegensatz zum Verziehen oder Verfeinern steht, so kann mit den Doublierungen nicht beliebig hoch gegangen werden. Ein gewöhnlicher «Rollerverzug» (Verzugszylinderstreckwerk mit verzahntem Zufuhr- und Streckzylinder) arbeitet im besten Fall so, daß das Band nicht verschlechtert wird. Gegenüber dem Doublieren käme als Alternative zur Verbesserung der Gleichmäßigkeit nur eine Streckpassage mit kontinuierlich reguliertem Verzug in Frage. Die über 50 Jahre alten Patente für eine solche Steuerung wurden aber für die Kammgarn- und Baumwollspinnerei fallengelassen. Einzig in der Flachs- und Hartfaserspinnerei werden ihre Weiterentwicklungen heute gebraucht. In der letzteren versucht man dadurch die 3 Millionen Doublierungen auf 30000 hinunterzudrücken. Die Zukunft wird lehren, ob einer solchen Steuerung des Verzuges gegenüber dem Doublieren der Vorzug gegeben wird.

Damit kommen wir zur zweiten Frage, wieviel denn eigentlich doubliert werden soll. Die Lösung dieser Frage kann empirisch oder theoretisch gesucht werden. An dieser Stelle wollen wir die Frage unter Zuhilfenahme der Mathematik behandeln. Nehmen wir einen Kammzug, wie er gewöhnlichen Verhältnissen von heute entspricht. Durch Messen mit dem elektrischen Gleichmäßigkeitsprüfapparat finden wir eine mittlere quadratische Abweichung von 8,94 %, wenn der durchschnittliche Bandtiter als Basis genommen wird (100 %). Anderseits hat dieses Band von 15 Gramm je Meter und einer Faserfeinheit von 2000 Metern je Gramm 30000 Fasern im Querschnitt. Die relative quadratische Streuung (Variationskoeffizient) für 30000 als Durchschnitt einer Gesamtheit ist bei einer Großzahl von Messungen:

$$\frac{1}{\sqrt{30000}} = \frac{1}{173{,}2} = 0{,}578\,\%$$

(Erklärung siehe Kapitel IV)

Wie am Schluß dieses Kapitels bewiesen wird, ist der Variationskoeffizient nach der D-fachen Doublierung gleich der Wurzel aus dem Dten Teil des ursprünglichen Variationskoeffizienten.

Demnach sind hier $(8{,}94:0{,}578)^2 = 240$ Doublierungen nötig, um die Gleichmäßigkeit des theoretischen Optimums zu erreichen.

Wenn in der Praxis 4000 und mehr Doublierungen angewendet werden, so will man damit einerseits eine Sicherheit gegen noch ungleichmäßigere Kammzugbänder haben und anderseits frisch entstehende Verzugsfehler ausbessern. Vielerorts wird in Verkennung der Wichtigkeit der Bandgüte schon bei der Herstellung des ersten Bandes nicht mit ge-

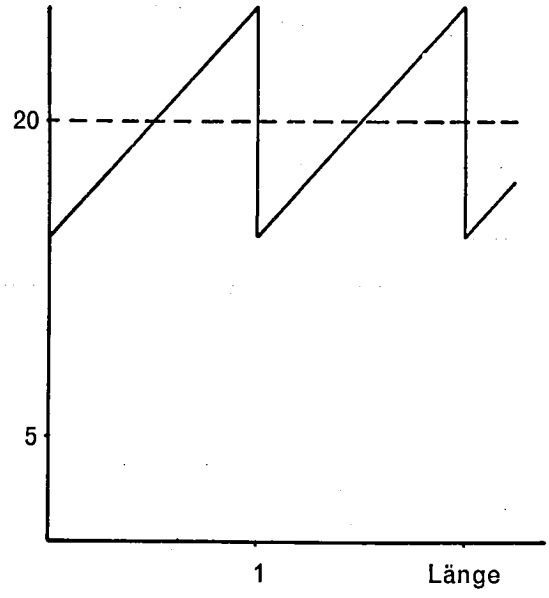
nügender Sorgfalt vorgegangen oder dann auch bei der Lötung auf der Kämmaschine. Nicht einmal zum Mischen verschiedener Lose sind 1000 Doublierungen nötig.

Dieses Mischungsproblem sieht man sehr schön beim Mischen mit gefärbten Kammzügen. Wenn auf der ersten Passage ein schwarzes Band zu mehreren weißen eingezogen wird, so erscheint auf der folgenden Passage im austretenden Vlies bereits an so vielen Stellen Schwarz, wie diese Doublierungen hat. Betragen zum Beispiel die Doublierungen auf der zweiten, dritten und vierten Passage vier, fünf und fünf, so kommt nach der vierten Passage Schwarz an $4 \times 5 \times 5 = 100$ Stellen vor, was für ein gutes Melangegarn genügt. Schließlich kann die Mischung nicht besser sein, als daß die am schwächsten vertretene Farbe im Vorgarn an so vielen Stellen vorkommt, wie das fertige Garn Fasern im Querschnitt aufweist; denn dann hat jede Faser im Garnquerschnitt die Chance, der am schwächsten vertretenen Farbe anzugehören. Das Aussehen des Garnes ist natürlich hinsichtlich Farbe um so weniger gleichmäßig, je stärker verschieden die Farbenprozentsätze und je größer die Kontraste sind.

Es ist eine Sache des Zusammenstellens der Wollmischung, daß sich die verschiedenen Lose in ihren Prozentsätzen gut vertragen. Die Gewichtsverhältnisse der verschiedenen Faserlängenklassen müssen harmonieren, wenn die Bänder, Vorgarne und Garne nicht an Homogenität verlieren sollen. Schlechte Wollmischungen entmischen sich mehr und mehr auf den verschiedenen Passagen[11]. Auf die zulässige Streuung der Faserfeinheit kommen wir noch zurück, weil sie direkt auf die theoretische Gleichmäßigkeit der Gespinste einwirkt.

Eine übermäßige Steigerung der Doublierungen wirkt sich dadurch ungünstig aus, daß sie wieder zusätzliche Verzüge benötigt. Letztere werden ja nicht absolut einwandfrei durchgeführt mit den Maschinen (Faserrückhalt, unrunde Druckwalzen, Zustand der Nadeln, Flugbildung, Vorgarn-Nitschelung usw.). Man gelangt zu einem praktischen Optimum, von dem aus jede weitere Passage durch ihren Verzug mehr verschlechtern würde, als ihre Doublierung verbessern könnte[5]. Durch den Einsatz eines Gleichmäßigkeitsprüfapparates kann die optimale Doublierungszahl auf einem Sortiment für jede Kammzugmischung und Garnnummer gefunden werden.

An Hand eines Zahlenbeispiels soll hier gezeigt werden, wie sich eine Doublierung auf die Ungleichmäßigkeit auswirkt. Wir nehmen an, das Band habe ein Diagramm von der Form einer Säge (siehe *Figur 1*). Wir wollen ausrechnen, um welchen Faktor die Gleichmäßigkeit mit einer Doublierung von zum Beispiel 2 verbessert wird.



Figur 1
Gleichmäßigkeitsdiagramm eines Bandes (Annahme)

Die quadratische Streuung des Bandes wird nach folgendem Schema berechnet:

Zone	Frequenz	Abweichung		
1	f = 1	x = −5	fx = −5	$fx^2 = 25$
2	1	−4	−4	16
3	1	−3	−3	9
4	1	−2	−2	4
5	1	−1	−1	1
6	1	0	0	0
7	1	1	1	1
8	1	2	2	4
9	1	3	4	9
10	1	4	4	16
11	1	5	5	25
	11		0	110

$$\sigma = \sqrt{\frac{110}{10}} = 3{,}317$$

Für den Bandmittelwert von 20 Einheiten wird der Variationskoeffizient 3,317. 100 % : 20 = 16,6 %.

Zwei solche Bänder sollen nun doubliert werden. Die Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens von Stellen mit folgenden Abweichungen ist:

−5 u. −5	= 1/121	3/121
−4 u. −5 od. −5 u. −4	= 2/121	
−4 u. −4 od. −5 u. −3 od. −3 u. −5	= 3/121	7/121
−3 u. −4 od. −4 u. −3 od. −2 u. −5 od. −5 u. −2	= 4/121	
−3 u. −3 od. −4 u. −2 od. −2 u. −4 od. −1 u. −5 od. −5 u. −1	= 5/121	11/121
usw.		15/121
		19/121
		:
		:

Der Variationskoeffizient des doublierten Bandes wird wie folgt berechnet:

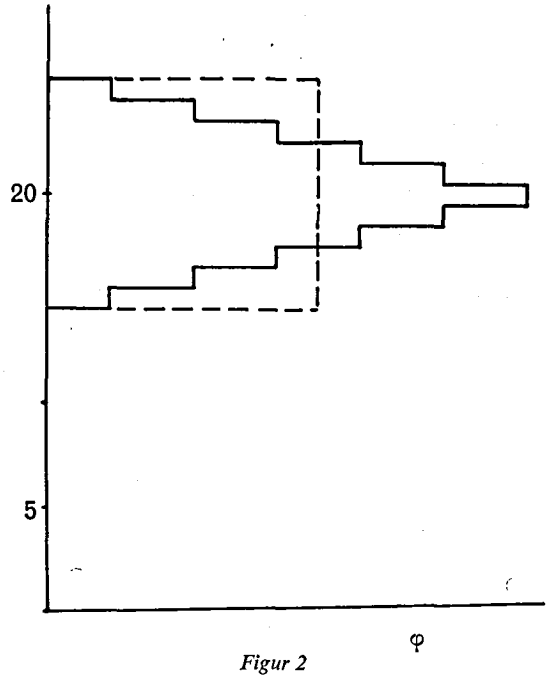
Zone			
1	f = 3	x = −5	fx² = 75
2	7	−4	112
3	11	−3	99
4	15	−2	60
5	19	−1	19
6	23	0	0
7	19	1	19
8	15	2	60
9	11	3	99
10	7	4	112
11	3	5	75
	133		730

$$\sigma = \sqrt{\frac{730}{132}} = 2{,}35$$

Wir dividieren wiederum durch 20 mit der Voraussetzung, daß das doublierte Band auf die doppelte Länge verzogen worden ist. V = 2,35. 100 % : 20 = 11,75 %.

Dieses Berechnungsschema nach den verschiedenen Chancen führt zum genau gleichen Resultat wie die Division des Variationskoeffizienten des einzelnen Bandes durch $\sqrt{2}$. Analog können wir die Berechnung für die Doublierungen von höher als 2 durchführen und finden auch dann die Übereinstimmung mit der Quadratwurzel-Formel. Im weitern zeigen die Frequenzwerte in den beiden Tabellen schon, wie sich die Gleichmäßigkeit verbessert hat. Die Form der Häufigkeitskurve ist vom Rechteck zum Dreieck geworden, wenn die Häufigkeit als Abszisse und die 11 Zonen als Ordinate aufgetragen werden (siehe *Figur 2*). Durch höhere Doublierungen kommt man allmählich zur GAUSSschen Glockenkurve, die mit zunehmender Doublierungszahl immer spitzer wird.

Nachdem wir gesehen haben, wie stark sich das Doublieren quantitativ auswirkt, läßt sich in jedem Einzelfall nach der Formel in Kapitel IV berechnen, wie viele Doublierungen theoretisch nötig sind, um von einer gemessenen, relativ hohen Ungleichmäßigkeit zur kleinstmöglichen zu gelangen. Neben dem tatsächlichen Variationskoeffizienten müssen wir die Faserzahl im Querschnitt kennen, bei Fasern ungleicher Feinheit auch noch die Streuung des Faserdurchmessers.



Figur 2
Häufigkeitskurve des Bandes vor und nach dem Doublieren

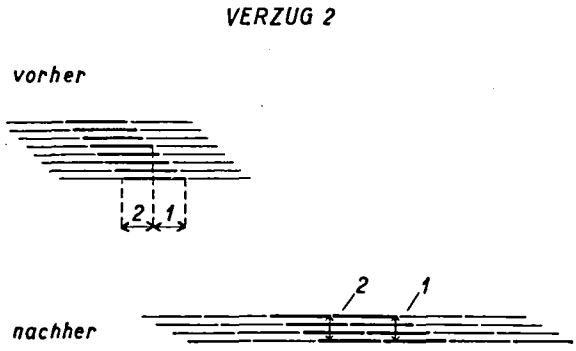
Diese Ausführungen geben genügend Aufschluß über das Problem des Doublierens im Rahmen dieser Arbeit. Im nächsten Kapitel sollen die Folgen des Doublierens behandelt werden.

III. Die Faseranordnung durch Zufall

Wir haben gesehen, daß die Bänder auf den Strecken und den Frotteurs doubliert werden. Dieses Doublieren wird besonders viel im Vorwerk der Kammgarnspinnerei vorgenommen. Die Aufgabe des Vorwerkes besteht in der Herstellung eines Vorgarnes, bei dem auf jede Längeneinheit eine konstante Anzahl Faseranfänge zu liegen kommt. Ich spreche beim Vorgarn absichtlich nicht von einer konstanten Faserzahl im Querschnitt. Das Vorgarn muß ja nochmals verzogen werden. Wenn das daraus gesponnene Garn in jedem Querschnitt gleich viele Fasern haben soll, so ist die Voraussetzung dafür, daß die Faseranfänge im Vorgarn gleichmäßig gestaffelt seien (siehe *Figur 3*). Dies gilt für ein Vorgarn aus Fasern gleicher Länge. Hat es dagegen

verschiedene Faserlängen, so denke man sich das Vorgarn zusammengesetzt aus Teilvorgarnen, deren jedes die gleiche Nummer und Faserfeinheit hat, wobei aber jedes Teilvorgarn eine andere Faserlänge aufweisen kann. Die Staffelung der Faseranfänge innerhalb ein und desselben Teilvorgarnes muß dann konstant sein, und für die verschiedenen Teilvorgarne muß sie sich so verhalten wie die Längen ihrer Fasern[10].

Die obere Abbildung in *Figur 3* stellt ein Vorgarnstück schematisch dar, die untere das aus ihm hervorgegangene Garnstück. Es ist wichtig, sich dabei zu vergegenwärtigen, daß den Vorgarnabschnitten 1 und 2 mit je vier Faseranfängen (oben, zwei horizontale Pfeile) im Garn die Querschnitte 1 und 2 entsprechen (unten, zwei vertikale Pfeile). Beide Garnquerschnitte weisen vier Fasern



Figur 3
Darstellung der Gleichbedeutung von der Anzahl Faseranfänge je Längeneinheit im Vorgarn (mittlere Faserlänge geteilt durch den Spinnverzug) und der Faserzahl im daraus entstehenden Garnquerschnitt

auf, weil ihre ursprünglichen Vorgarnabschnitte je vier Faseranfänge enthielten. Die Vorgarnabschnitte hatten die Länge der Fasern dividiert durch den Verzug. Die beiden Garnquerschnitte liegen im Abstand der Faserlänge auseinander.

Betrachten wir nun einen kleinen Bandabschnitt, dessen Länge so gewählt ist, daß er durchschnittlich einen Faseranfang enthält. Bei einem Band mit 5000 Fasern im Querschnitt und 50 mm Faserlänge ist diese Längeneinheit 50 mm : 5000 = 0,01 mm. Wenn die Fasern in diesem Band gleichmäßig gestaffelt wären, so wäre der Abstand von Faseranfang zu Faseranfang immer ein hundertstel Millimeter. In Wirklichkeit sind aber die Fasern nicht einzeln nach Maß aneinandergelegt worden. Ein hundertstel Millimeter ist der mittlere Abstand von Faseranfang zu Faseranfang, aber effektiv ist dieser Abstand zum Beispiel einmal nur die Hälfte davon und ein anderes Mal das Eineinhalbfache. Doublieren wir nun zwei solche Bänder, so können wir in Wirklichkeit nicht verhüten, daß einmal zwei Faseranfänge direkt nebeneinander zu liegen kommen. Im Mittel haben wir zwei Faseranfänge je Hundertstelmillimeter, aber auf die einzelne Längeneinheit kann es dem Zufall entsprechend 0, 1, 2, 3, 4 oder 5 und mehr Faseranfänge haben. Es ist klar, daß diese Streuung in der Verteilung der Faseranfänge zu Ungleichmäßigkeiten im verzogenen Produkt führen muß. Diesen Zufall können wir nicht umgehen, wenn wir davon absehen, jede Faser einzeln an die vorangehende mit der korrekten Überlappung anzulegen. Letzteres Verfahren ist ausgeschlossen, wenn man sich vorstellt, daß vier Kilo Merinowolle ungefähr hundert Millionen Fasern aufweisen. Und das ist die Zahl, die in einer kleineren bis mittleren Kammgarnspinnerei in der Minute umgesetzt wird. Im weitern wollen wir untersuchen, was die Faseranordnung durch Zufall bei der Herstellung der Garne eigentlich bewirkt.

Vergegenwärtigen wir uns einmal, daß wir ein Garn mit durchschnittlich 50 Fasern im Querschnitt fabrizieren wollen. Einfachheitshalber sollen die Fasern vorerst alle 50 Millimeter lang und alle gleich fein sein. Damit ein Garnquerschnitt eine andere Faserzahl aufweisen kann als der benachbarte, müssen die beiden Querschnitte durchschnittlich mindestens 1 Millimeter auseinander liegen. Einem Garnquerschnitt entspricht aber im Vorgarn ein Abschnitt von einer solchen Länge, daß er im Mittel 50 Faseranfänge enthält*. Dieser Abschnitt hat bei der angenommenen Faserlänge eine Länge von 50 mm, dividiert durch den Verzug, zum Beispiel also 50 mm : 10 = 5 mm*. In Wirklichkeit hat ein solcher 5 mm langer Abschnitt einmal 60 Faseranfänge, ein anderes Mal nur 40 usw. Nehmen wir das Beispiel mit 40 Faseranfängen in einem 5-mm-Vorgarnabschnitt. Wir rücken die Grenzen dieses Abschnittes um 5 mm : 50 = 0,1 mm weiter. Der auf diese Weise neu gebildete Abschnitt von 5 mm muß eine Anzahl Faseranfänge enthalten, die von 40 nicht sehr weit entfernt sein kann. Er besteht ja zu 49/50 aus dem alten Abschnitt mit 40 Anfängen. Es wurden nur 0,1 mm weggenommen und am andern Ende gleichviel hinzugefügt, das heißt die Länge, die durchschnittlich einen einzigen Anfang enthält. Im ungewöhnlichsten Fall von zehn Fällen könnte im weggenommenen Teilabschnitt kein Anfang gewesen sein, im hinzugefügten aber deren zwei oder drei. Auch im nächstfolgenden Abschnitt,

* Siehe Erklärung zu Figur 3 am Anfang dieses Kapitels.

der durch zweimalige Verschiebung der Abschnittsgrenzen um je 0,1 mm aus dem ursprünglichen hervorgeht, werden wir in neun von zehn Fällen zwischen 37 und 43 Faseranfänge finden. Dies ist also auch noch eine Zahl, die nicht weit von 40 entfernt ist, weil eben immer noch 48/50 dieses Abschnittes zum ursprünglichen Abschnitt gehören. In den meisten Fällen ist die Zahl erst dann am stärksten von der des ursprünglichen Abschnittes verschieden, wenn wir so weit fortschreiten, daß dieser gerade vollständig verlassen worden ist. Mit andern Worten haben wir im Vorgarn auf Grund des Zufalls eine ausgeprägte Schwankung der Anzahl Faseranfänge je 5 mm mit einem durchschnittlichen Abstand von 5 mm. Nun ist aber die Wahrscheinlichkeit dafür gering, daß die Anzahl Faseranfänge in den 5 mm langen aneinanderstoßenden, sich aber nicht überschneidenden Vorgarnabschnitten ohne Unterbrechung mehrmals nacheinander hoch über oder tief unter dem Durchschnittswert liegt. Wir finden deshalb bei diesen Werten die Tendenz zum Alternieren oder, anders ausgedrückt, zu einer Periodizität mit einer Periodenlänge von zweimal 5 mm. (Die Periode ist keine exakte im mathematischen Sinne, da die Periodenlänge einer Streuung unterworfen ist, doch kann mit ihrem Mittelwert gerechnet werden.) Der Anzahl Faseranfänge je 5 mm Vorgarn entspricht im Garn eine querschnittliche Faserzahl und der Periodenlänge von 1 cm beim angenommenen Verzug von zehn eine solche von 10 cm im Garn. Die Periodenlänge in unserm Garn, von der Mitte einer dünnen Stelle über eine dicke Stelle bis zur Mitte der nächstfolgenden dünnen Stelle, ist demnach im Mittel doppelt so groß wie die Faserlänge. Bei uneinheitlicher Faserlänge ist die mittlere Länge der Fasern zu nehmen, die in einem Querschnitt eingespannt sind, weil es sich ja auch um die Faserzahl im Garnquerschnitt handelt und nicht um die Anzahl Fasern eines längeren Garnstückes[8].

Diese durch den Zufall verursachte kurzperiodische Ungleichmäßigkeit kann laufend immer und immer wieder aus den Gleichmäßigkeitsdiagrammen abgelesen werden bei Garnen mit 30 bis 50 oder 60 Fasern im Querschnitt. Sie ist umso ausgeprägter, je kleiner die mittlere Faserzahl im Querschnitt ist. Sie wurde auch von J. G. MARTINDALE festgestellt, der den Zufall als Hauptgrund für die Ungleichmäßigkeit feiner Kammgarne erkannte[5]. Was hier gegenüber J. G. MARTINDALES Publikationen neu ist, ist die Erklärung für das Auftreten einer Periode auf Grund des Zufalls. Diese Periodenlänge mit dem Mittelwert der doppelten mittleren Faserlänge und einer gewissen Streuung um den Mittelwert erlaubt uns den Übergang zur Berechnung der Frequenz der theoretischen Fadenbrüche, die wir in Kapitel V durchführen werden.

Die durch den Zufall verursachte Ungleichmäßigkeit darf aber nicht verwechselt werden mit einer ebenfalls kurzperiodischen Ungleichmäßigkeit, der sogenannten Schnittigkeit. Letztere tritt vor allem bei weniger fein ausgesponnenen Garnen auf und besonders dann, wenn keine guten Rohstoffmischungen verwendet werden. Sie tritt auch dann auf, wenn das Streckwerk auf zu lange Klemmdistanz eingestellt oder die Faserparallelität schlecht ist[12]. Laufen die Druckzylinder unrund, so gibt es exakte Schnitte mit einer konstant eingehaltenen Periodenlänge. Dieser Fehler läßt sich sehr gut nachweisen, wenn das Garn auf schwarze Tafeln mit Trapezform gewunden wird. All diese Fehler können zum größten Teil durch entsprechende praktische Vorkehrungen ausgeschaltet werden. Im Gegensatz dazu ist dies bei der durch den Zufall bedingten Ungleichmäßigkeit unmöglich.

In der Praxis haben wir es immer mit einer Überlagerung beider Ungleichmäßigkeiten zu tun. Sehr gut geführte Spinnereien bringen es aber fertig, die maschinenbedingte Ungleichmäßigkeit auf sehr kleine Werte zu reduzieren. Es ist darum wichtig, ein Mittel zur Feststellung zu finden, wie hoch der durch den Zufall bedingte Anteil an der Gesamtungleichmäßigkeit ist. Diese theoretische Ungleichmäßigkeit soll am Schluß des nächsten Kapitels berechnet werden. Hier möchte ich nur noch die Bemerkung anbringen, daß bei den feinen Garnen der Anteil der fehlerhaften Ungleichmäßigkeit nicht so groß ist wie bei den relativ groben Garnen. Würde ein Garn mit relativ wenig Fasern im Querschnitt ohne besondere Aufmerksamkeit bei der Auswahl des Rohmaterials und bei der Verarbeitung hergestellt, so gäbe das ein unrentables Spinnen wegen der zu hohen Fadenbruchzahl.

Wir wollen uns nun der Berechnung der durch den Zufall bedingten, das heißt der theoretischen Ungleichmäßigkeit zuwenden.

IV. Die theoretische Ungleichmäßigkeit als Funktion der mittleren Faserzahl im Querschnitt

Der französische Physiker und Mathematiker POISSON fand das Streuungsgesetz, dem die seltenen Ereignisse gehorchen, die sowohl in der Natur als auch in der Technik auf Grund des Zufalls eintreten.

Stellen wir uns einen Vorgarnabschnitt vor von einer solchen Länge, daß er durchschnittlich einen Faseranfang enthält. In 37 % aller Fälle trifft dies dann wirklich zu, in weiteren 37 % hat es keinen Faseranfang in einem Abschnitt dieser Länge, in 18 % hat es deren 2, in 6 % deren 3 und in 2 % 4 und mehr. Diese große Streuung wird kleiner, wenn wir den Abschnitt doppelt so groß nehmen, so daß durchschnittlich zwei Faseranfänge anzutreffen sind. Null Faseranfänge, eine Lücke, haben wir dann nur noch in 14 % der Fälle, weil weder im ersten noch im zweiten Elementarabschnitt ein Faseranfang liegt. 1 und 2 Faseranfänge treffen wir in je 27 % der Fälle, 3 Faseranfänge in 18 %, 4 in 9 %, 5 in 4 % und 6 und mehr in 1 %.

Leider können wir das praktisch nicht nachzählen. Hingegen wird die Konsequenz dieses Gesetzes durch die Gleichmäßigkeitsmessungen am Garn bestätigt (Kapitel VI).

Wir wollen nicht bei den Vorgarnabschnitten stehenbleiben; uns interessieren ja die «Bergspitzen» und «Talspitzen» im Garn. Wir wählen den Vorgarnabschnitt von der Länge der mittleren Faserlänge dividiert durch den Verzug, wie wir das im vorhergehenden Kapitel auch gemacht haben. Die Anzahl Faseranfänge in diesem Vorgarnabschnitt ist dann gerade gleich der Anzahl Fasern im Garnquerschnitt, der daraus hervorgeht*. Unsere Variable ist die Faserzahl im Garnquerschnitt, die wir im weitern als Funktion ihres Durchschnittswertes untersuchen wollen.

Die Funktion für die POISSONsche Verteilung hat die Form[1]:

$$\varphi(x) = \frac{\lambda^x \cdot e^{-\lambda}}{x!}$$

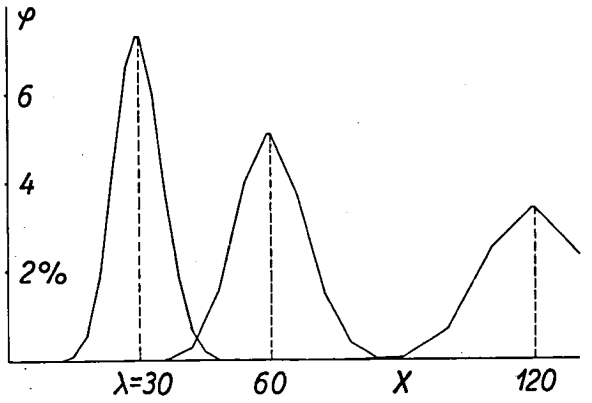
worin φ die relative Häufigkeit, x die variable Faserzahl im Querschnitt und λ die durchschnittliche Faserzahl im Querschnitt bedeuten.

Zuerst errechnen wir uns den Verlauf der Häufigkeitsverteilung im großen, d. h. in Sprüngen von 10 zu 10 % von der mittleren Faserzahl für die Beispiele $\lambda = 30$, 60 und 120. Zu diesem Zweck logarithmieren wir die Funktion:

$$\ln \varphi(x_i) = x_i \cdot \ln \lambda - \lambda - \sum_{x=o}^{x_i} \ln x$$

und stellen eine Tabelle auf für den Logarithmus von x Fakultät. Letztere wird mit der Rechenmaschine durch fortlaufende Aufsummierung aller natürlichen Logarithmen von 0 bis 200 angefertigt. Das Resultat dieser Rechnungen ist in *Figur 4* graphisch dargestellt. Als Abszisse ist x, die variable Faserzahl im Querschnitt, aufgetragen, als Ordinate φ, die relative Häufigkeit. Wir lesen daraus folgendes ab:

23 Fasern	bei	durchschn.		30 Fasern	mit	2,9 %	Häufigkeit	
45	»	»	»	60	»	» 0,8 %	»	
90	»	»	»	120	»	» 0,1 %	»	



Figur 4
Häufigkeitsverteilungen nach Poisson für im Mittel 30, 60 und 120 Fasern im Garnquerschnitt

Wie man aus Figur 4 ersehen kann, ist die POISSON-Verteilung ein wenig asymmetrisch im Gegensatz zur binomischen Verteilung nach GAUSS-LAPLACE. Es wäre für uns einfacher, wenn wir nach der GAUSSschen Verteilung rechnen könnten; denn es gibt nur eine GAUSSsche Verteilung (abgesehen von der Wahl des Maßstabes), während die POISSON-Verteilung immer nur für den betreffenden Mittelwert Gültigkeit hat. Die POISSON-Werte weichen von den GAUSSschen um so mehr ab, je kleiner der Mittelwert für die POISSON-Verteilung ist. (Die Asymmetrie und damit die Abweichung sind gut sichtbar bei den Zahlenwerten im ersten Abschnitt dieses Kapitels.) Für den Mittelwert 100 sind die Abweichungen der POISSON-Kurve von der GAUSS-Kurve kleiner als ein bis zwei Hundertstel, solange man nicht die relativ kleinen und kleinsten Frequenzen betrachtet. Wenn wir es aber mit den Frequenzen von der Größenordnung eins zu einer Million zu tun haben, liegt der aufsteigende Ast der POISSON-Kurve etwa zehnmal niedriger als derjenige der GAUSS-Kurve und umgekehrt beim absteigenden Ast (für Mittelwert = 40).

Wir können mit der GAUSSschen Verteilung rechnen, wenn wir den Variationskoeffizienten eines Bandes oder Garnes berechnen, nicht aber für die Berechnung der Frequenz der «theoretischen Fadenbrüche». Diese kleinen Frequenzen sind in

* Siehe Erklärung zu Figur 3 am Anfang des Kapitels III.

Figur 4 nicht mehr sichtbar. Wir wollen deshalb einige Kurven genau berechnen und auch für die kleinsten Frequenzen aufzeichnen.

Für die Berechnungen leiten wir uns eine Rekursionsformel aus der uns bekannten Funktion her:

$$\varphi(x+1) : \varphi(x) = \frac{\lambda^{x+1} \cdot e^{-\lambda}}{(x+1)!} \cdot \frac{x!}{\lambda^x \cdot e^{-\lambda}}$$

$$\varphi(x+1) = \varphi(x) \cdot \frac{\lambda}{x+1}$$

Den ersten Wert müssen wir berechnen nach:

$$\varphi(0) = 1 : e^{\lambda},$$

einen jeden weiteren erhalten wir aus dem vorangehenden durch Multiplikation mit λ und Division durch das neue x. Für den letzten Wert machen wir die Probe mit der logarithmischen Berechnung wie oben. Eine dieser Berechnungen ist durchgeführt in *Tabelle I.*

Um von der relativen Häufigkeit zur Wahrscheinlichkeit zu gelangen, müssen wir die Fläche unter der Häufigkeitskurve integrieren, oder einfacher und genauer ist es, wenn wir die relative Häufigkeit fortlaufend aufsummieren. Auf diese Weise erhalten wir die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Stelle, die dünner oder gleich dünn wie x Fasern ist.

Sowohl die Häufigkeits- als auch die Wahrscheinlichkeitswerte können wir in einem Tabellenbuch nachschlagen für die Durchschnitte bis und mit 100^2. Die Berechnung ist darin auf sechs Stellen genau durchgeführt.

In *Figur 5*, sind die Berechnungen für $\lambda = 30$, 40 und 50 graphisch dargestellt. Die Faserzahl x ist auf der Abszisse in prozentualer Abweichung von ihrem Mittelwert aufgetragen. Die Wahrscheinlichkeit P ist auf der Ordinate in logarithmischer Teilung aufgetragen.

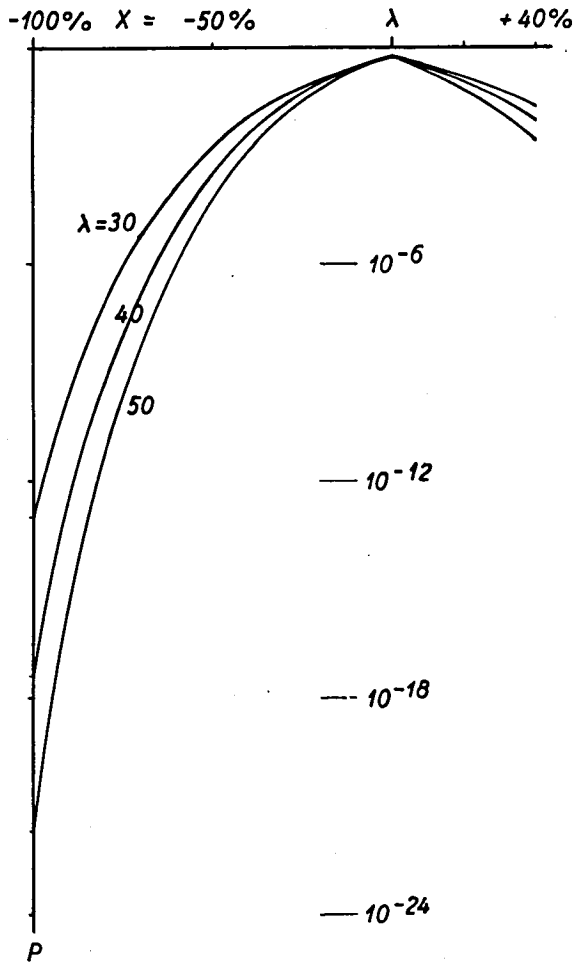
Bevor wir dieses Diagramm weiter auswerten, wollen wir uns noch etwas mit der Streuung befassen. Weiter oben haben wir gesagt, daß der Variationskoeffizient von der mittleren Faserzahl im Querschnitt abhange. Der Zusammenhang dieser beiden Größen ist folgender:

$$V = \frac{\sigma}{\lambda} = \frac{\sqrt{\lambda}}{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{\lambda}}$$

Bei Fasern, die größere Feinheitsunterschiede aufweisen, rechnet J. G. MARTINDALE mit der Formel

$$V = \sqrt{\frac{1 + 0{,}0004 \cdot V_d^2}{\lambda}},$$

wobei V_d den Variationskoeffizienten für den Faserdurchmesser in Prozent bedeutet. Diese erweiterte



Figur 5
Wahrscheinlichkeit der prozentualen Abweichungen der Faserzahl im Garnquerschnitt von ihrem Mittel (Summenkurve)

Formel gilt für die Substanz im Querschnitt, nicht nur für die Faserzahl, und läßt sich aus der klassischen Form ableiten:

$$V = V_\lambda \cdot \sqrt{1 + V_s^2},$$

in der V_s der Variationskoeffizient für die Faserquerschnitte ist.

Aus der Formel

$$V = \frac{1}{\sqrt{\lambda}}$$

können wir die folgende Wertetabelle berechnen:

λ =	10000	2500	1000	400	100	60	40	20	2	1
V =	1	2	3,2	5	10	12,9	15,8	22,4	70,7	100%

Diese Wertepaare als Kurve dargestellt, geben uns die graphische Darstellung der theoretischen Un-

Tabelle I

Berechnung der relativen Häufigkeit und der Wahrscheinlichkeit für die Poissonsche Verteilung mit dem Durchschnitt 44

4. *Beispiel*, $\lambda = 44$ $\quad \varphi(0) = \frac{1}{e^{44}} = \frac{1}{\text{dek. Num. von } 44 \cdot \log e} = \frac{1}{\text{dek. Num. von } 19{,}10896} = \frac{1}{1{,}2852 \cdot 10^{19}} = 7{,}781 \cdot 10^{-20}$

φ 0	= 0,000 000 000 000 000 000 07781	$\Sigma\varphi$ =	0,000 000 000 000 000 000 078 =	$7{,}8 \cdot 10^{-20}$
1	= 0,000 000 000 000 000 003 4236		0,000 000 000 000 000 003 50	$3{,}5 \cdot 10^{-18}$
2	= 0,000 000 000 000 000 075 32		0,000 000 000 000 000 078 8	$7{,}9 \cdot 10^{-17}$
3	= 0,000 000 000 000 001 104 7		0,000 000 000 000 001 18	$1{,}2 \cdot 10^{-15}$
4	= 0,000 000 000 000 012 152		0,000 000 000 000 013 3	$1{,}3 \cdot 10^{-14}$
5	= 0,000 000 000 000 107		0,000 000 000 000 120	$1{,}2 \cdot 10^{-13}$
6	= 0,000 000 000 000 784		0,000 000 000 000 904	$9{,}0 \cdot 10^{-13}$
7	= 0,000 000 000 004 9		0,000 000 000 005 8	$5{,}8 \cdot 10^{-12}$
8	= 0,000 000 000 027		0,000 000 000 033	$3{,}3 \cdot 10^{-11}$
9	= 0,000 000 000 133		0,000 000 000 166	$1{,}7 \cdot 10^{-10}$
10	= 0,000 000 000 58		0,000 000 000 75	$7{,}5 \cdot 10^{-10}$
11	= 0,000 000 002 3		0,000 000 003 0	$3{,}0 \cdot 10^{-9}$
12	= 0,000 000 008 6		0,000 000 011 6	$1{,}2 \cdot 10^{-8}$
13	= 0,000 000 029		0,000 000 041	$4{,}1 \cdot 10^{-8}$
14	= 0,000 000 091		0,000 000 132	$1{,}3 \cdot 10^{-7}$
15	= 0,000 000 27		0,000 000 40	$4{,}0 \cdot 10^{-7}$
16	= 0,000 000 74		0,000 001 14	$1{,}1 \cdot 10^{-6}$
17	= 0,000 001 90		0,000 003 0	$3{,}0 \cdot 10^{-6}$
18	= 0,000 004 7		0,000 007 7	$7{,}7 \cdot 10^{-6}$
19	= 0,000 010 8		0,000 018 5	$1{,}8 \cdot 10^{-5}$
20	= 0,000 024		0,000 042	$4{,}2 \cdot 10^{-5}$
21	= 0,000 050		0,000 092	$9{,}2 \cdot 10^{-5}$
22	= 0,000 099		0,000 191	$1{,}9 \cdot 10^{-4}$
23	= 0,000 190		0,000 38	$3{,}8 \cdot 10^{-4}$
24	= 0,000 35		0,000 73	$7{,}3 \cdot 10^{-4}$
25	= 0,000 61		0,001 34	$1{,}3 \cdot 10^{-3}$
26	= 0,001 04		0,002 38	$2{,}4 \cdot 10^{-3}$
27	= 0,001 69		0,004 07	$4{,}1 \cdot 10^{-3}$
28	= 0,002 7		0,006 8	$6{,}8 \cdot 10^{-3}$
29	= 0,004 0		0,010 8	1,1 %
30	= 0,005 9		0,016 7	1,7 %
31	= 0,008 4		0,025 1	2,5 %
32	= 0,011 6		0,036 7	3,7 %
33	= 0,015 4		0,052 1	5,2 %
34	= 0,019 9		0,072 0	7,2 %
35	= 0,025 1		0,097 1	9,7 %
36	= 0,030 6		0,127 6	12,8 %
37	= 0,036 5		0,164 1	16,4 %
38	= 0,042 2		0,206 3	20,6 %
39	= 0,047 7		0,254 0	25,4 %
40	= 0,052 5		0,306 5	30,6 %
41	= 0,056 3		0,362 8	36,3 %
42	= 0,059 0		0,421 8	42,2 %
43	= 0,060 4		0,482 2	48,2 %
44	= 0,060 4		0,542 6	54,3 %
45	= 0,059 0		0,601 6	60,2 %
46	= 0,056 4		0,658 0	65,8 %
47	= 0,052 9		0,710 9	71,1 %
48	= 0,048 4		0,759 3	75,9 %
49	= 0,043 5		0,802 8	80,3 %
50	= 0,038 3		0,841 1	84,1 %
51	= 0,033 1		0,874 2	87,4 %
52	= 0,028 0		0,902 2	90,2 %
53	= 0,023 2		0,925 4	92,5 %
54	= 0,018 9		0,944 3	94,4 %
55	= 0,015 1		0,959 4	95,9 %
56	= 0,011 9		0,971 3	97,1 %
57	= 0,009 2		0,980 5	98,0 %
58	= 0,007 0		0,987 5	98,8 %
59	= 0,005 2		0,992 7	99,3 %
60	= 0,003 8		0,996 5	99,6 %
61	= 0,002 7		0,999 2	99,9 %
62	= 0,001 95		1,001 1	100,1 %
63	= 0,001 36		1,002 5	100,2 %
64	= 0,000 94		1,003 4	100,3 %

Probe für $\varphi_{(64)}$: $-\ln(64!) - 44 = -249{,}17$
$+ 64 \cdot \ln 44 = +242{,}22$
$-6{,}95$

$\frac{1}{e^{6{,}95}} = \frac{1}{1050} = 0{,}00095$

gleichmäßigkeiten, das heißt, der durch den Zufall bedingten. Auf sie werden wir dann die praktischen Meßresultate beziehen und dieses Verhältnis «*Ungleichmäßigkeitsfaktor*» nennen. Das neue Problem, das wir jetzt anpacken wollen, ist das der Fadenbruchzahl.

V. Die Berechnung der Frequenz der Fadenbrüche

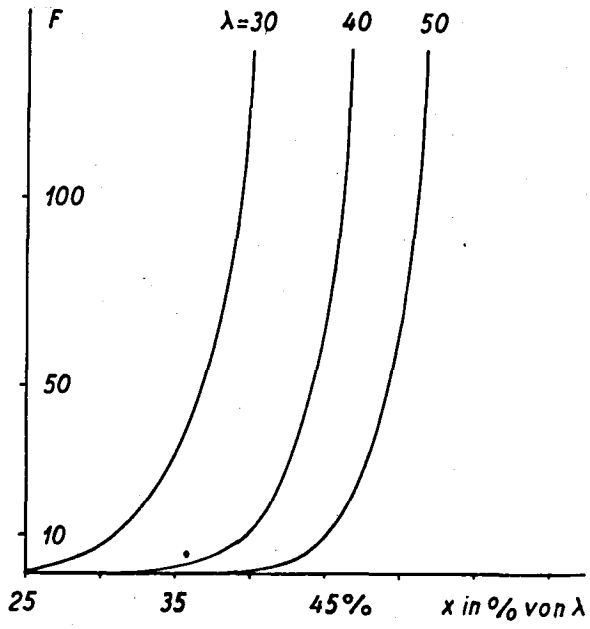
In der Praxis ist es üblich, die Frequenz der Fadenbrüche durch die Anzahl Brüche je 100 Spindelstunden auszudrücken. 100 Spindelstunden entsprechen aber bei ein und derselben Spinngeschwindigkeit einer ganz bestimmten Gesamtlänge Garn. Bei einer Spinngeschwindigkeit von 10 m/Min. beträgt die gesponnene Länge 600 m/Spindelstunde = 60000 m/100 Spindelstunden. Dies ist das Einmillionenfache einer mittleren Faserlänge von 6 cm.

In Kapitel III haben wir gesehen, daß sich die Garnquerschnitte mit voneinander unabhängigen Faserzahlen im Querschnitt im Abstande der mittleren Faserlänge folgen. Wenn demnach eine schwache Stelle im Garn mit der Wahrscheinlichkeit 1:1000000 eintritt, so kommt das durchschnittlich einmal in 100 Spindelstunden vor (6 cm Faserlänge, 10 m/Min. Spinngeschwindigkeit).

Die POISSONsche Verteilung, die für das Eintreten dieses Ereignisses gilt, wird auch die Verteilung der seltenen Ereignisse genannt. Wenn jedoch im achtstündigen Arbeitstag in einem kleinen bis mittleren Betrieb ungefähr 50 Milliarden Fasern versponnen werden, so können die sogenannt seltenen Ereignisse eben doch in einer unangenehm häufigen Zahl auftreten.

Wir wollen nun aus Diagramm 5 ein neues Diagramm entwickeln (*Figur 6*), bei dem wir die Frequenz (durchschnittliches Eintreffen je 100 Spindelstunden) über der auf die mittlere Faserzahl bezogenen effektiven Faserzahl im Querschnitt auftragen (x in Prozent von λ). λ, die mittlere Faserzahl im Querschnitt, diene wiederum als Parameter.

Bei dieser Kurvenschar fällt sofort auf, daß die einzelnen Kurven zuerst fast horizontal verlaufen, um dann ziemlich plötzlich äußerst steil anzusteigen. Dieses Verhalten ist in der Spinnerei schon bekannt, läßt sich doch oft die Fadenspannung erhöhen, sei es durch eine höhere Spindeldrehzahl, sei es durch einen schwereren Läufer, ohne daß deswegen mehr Fadenbrüche je Garneinheit (Gesamtlänge oder Gewicht) entstehen. Wird die Fadenspannung aber allmählich weiter und weiter gesteigert, so treten plötzlich so viele Brüche auf, daß unter diesen Bedingungen die Grenze des Tragbaren überschritten wird.



Figur 6
Frequenz dünner Stellen je 100 Spindelstunden (10 m/Min. Spinngeschwindigkeit, 60000 m Garnlänge, 60 mm mittlere Faserlänge)

Wenn unsere Fadenspannung so hoch wäre, daß das Garn jedesmal bei einer querschnittlichen Faserzahl von 35% vom Mittel reißen würde, so hätten wir bei

λ = 30	durchschn.	33	Brüche	je 100 Spindelstunden,	
λ = 40	»	1,5	»	» 100	»
λ = 50	»	0,000005	»	» 100	»

Ein Spinnen mit 33 Brüchen auf 100 Spindelstunden ist wirtschaftlich kaum tragbar. Es kommt somit nicht in Frage, ein Garn mit im Mittel nur 30 Fasern im Querschnitt mit dieser Fadenspannung zu spinnen.

In manchen Garngleichmäßigkeitsdiagrammen können wir Stellen finden, wo Garnquerschnitte nur noch 30 bis 40% der mittleren Substanz im Querschnitt aufweisen. Wir fanden durch Zufall sogar schon solche von nur 20%. Solche Stellen können einmal reißen und einmal ungestört passieren, da erstens die Festigkeitswerte für alle Stellen mit zum Beispiel 35% Substanz im Querschnitt einer Streuung unterworfen sind, und da zweitens die Spinnspannung ebenfalls Schwankungen unterworfen ist. Letztere können ein beträchtliches Ausmaß annehmen[7]. Durch Spannungsstöße ist das Garn um

so weniger gefährdet, je elastischer der Ballon beim Spinnen ist*.

Auf die Bruchfestigkeit des Garnes kommen wir im Rahmen der praktisch vorgenommenen Messungen im nächsten Kapitel zurück. Hier soll nur noch die Tatsache vorweggenommen werden, daß die Abhängigkeit der Festigkeit von der effektiven Faserzahl im Querschnitt der Bruchstelle linear ist (bei Kettdrehung). Dieses Resultat hilft bei der Interpretation von obigem *Diagramm 6*, wo die Abszisse mit der tatsächlichen Faserzahl im Querschnitt in Prozent ihres Mittelwertes angeschrieben ist. Diese könnte auch mit der Fadenspannung in Prozent der Garn-Sollfestigkeit angeschrieben werden, wobei dann die Frequenz auf der Ordinate direkt die Anzahl Fadenbrüche auf 100 Spindelstunden darstellen würde. (Unter Sollfestigkeit des Garnes ist diejenige Festigkeit zu verstehen, die das Garn bei absoluter Gleichmäßigkeit aufweisen würde, $x \equiv \lambda$). In der Berechnung sind 6 cm mittlere Faserlänge und 10 m/Min. Spinngeschwindigkeit vorausgesetzt. Bei andern Faserlängen oder Geschwindigkeiten ist der Maßstab im Verhältnis zu den angegebenen Größen umzurechnen. Die halbe Faserlänge oder die doppelte Spinngeschwindigkeit, das eine wie das andere, würde die Frequenzen verdoppeln, beziehungsweise die Ordinateneinheit halbieren.

Dieses Diagramm ist geeignet, die Spinngrenze für die verschiedensten Fasermaterialien aufzusuchen. Im zweiten und dritten Teil dieser Arbeit werden wir bei der Gegenüberstellung der Theorie und den effektiven Messungen noch darauf zurückkommen.

VI. Gleichmäßigkeitsmessungen mit dem «Uster»-Apparat und die Bestimmung des Ungleichmäßigkeitsfaktors

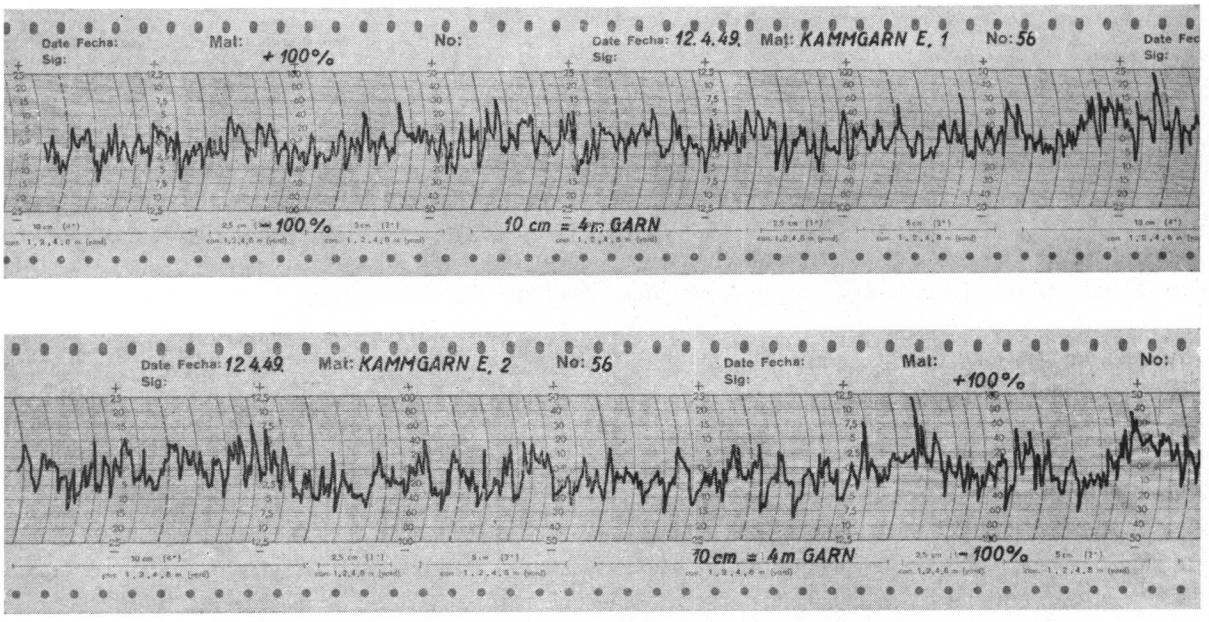
Beim «Uster»-Apparat wird das Garn oder Band mittels eines Zylinderpaares durch einen Meßkondensor gezogen, an den eine Wechselspannung hoher Frequenz gelegt ist. Die Schwankungen der Substanz der Fasern im Querschnitt bewirken eine fortlaufende Änderung des Dielektrikums. Diese Änderung wird kontinuierlich gemessen und auf ein elektrisches Registrierinstrument übertragen.

Zuerst soll hier eine Eichkontrolle der Diagrammskala vorgenommen werden. Zu diesem Zweck nehmen wir ein gutes, gleichmäßiges Garn feinster Nummer (zum Beispiel ein Schappegarn) und führen es über die Umlenkrolle fünffach durch den Meßschlitz. Wir stellen die Verstärkung so ein, daß die Feder auf der Mittellinie des Diagrammstreifens schreibt. Anschließend nehmen wir das Garn nur noch vier-, drei-, zwei- und einfach bei der gleichen Einstellung. Wir erhalten so die Abweichungen −20, −40, −60 und −80 % vom Mittel. Das Analoge führen wir für die Plus-Abweichungen aus, indem wir das Garn sechs-, sieben-, acht- und neunfach nehmen, so daß die Skala von −80 bis +80 % kontrolliert ist. Messungen und Berechnungen zur Untersuchung der Anzeigegenauigkeit bei verschiedenen Feuchtigkeitsgehalten und Faserlängen zeigten, daß diese für unsere Verhältnisse durchaus genügt.

Zur Bestimmung der Gleichmäßigkeit eines Garnes nehmen wir von 6 oder 10 Kopsen Diagramme zu je 80 cm Länge auf. Bei einem Maßstab von 1:40 ergibt das eine Prüflänge von 32 m je Kops. Wir interessieren uns nun für die mittlere quadratische Abweichung dieser Diagrammkurve in Prozent. Diese können wir vergleichen mit dem theoretischen Variationskoeffizienten auf Grund der mittleren Faserzahl im Querschnitt und der Streuung der Faserfeinheit. Das Verhältnis dieser beiden Werte bezeichneten wir in Kapitel IV als «Ungleichmäßigkeitsfaktor». Dieser wäre 1, wenn das Garn so gut wäre, wie die theoretische Ungleichmäßigkeit auf Grund der Faseranordnung durch Zufall angibt. Der Faktor wird 1,5 oder 3, wenn die Ungleichmäßigkeit eineinhalb-, bzw. dreimal so schlecht ist wie der Wert der theoretischen Ungleichmäßigkeit. Praktisch haben wir es bei guten Garnen mit Werten zwischen 1,2 und 1,5 zu tun. Ist der Wert 3 und noch höher, wie dies im Vorwerk vorkommt, so brauchen wir noch mehrere Doublierungen zur Verbesserung der Gleichmäßigkeit. Wird der Wert des Ungleichmäßigkeitsfaktors auf einer Passage wesentlich schlechter, so muß auf dieser Maschine irgend etwas nicht gut sein.

Zur Bestimmung der mittleren quadratischen Abweichung gehen wir nun so vor, daß wir die Prozentskala auf dem Diagramm in Zonen einteilen und die Spitzen der Kurve für jede Zone auszählen. Die Anzahl Beobachtungen (f) in den einzelnen Zonen und

* Es sind Bestrebungen im Gange, die Fadenspannung zu erniedrigen (Topfspinnmaschine von SIEMENS und neuerdings wieder von PRINCE SMITH & STELLS LTD. und McCANN). Das Garn reißt dann kaum mehr in der Spinnerei; doch müssen die dünnen Stellen dann in der Spulerei durch Knoten ersetzt werden. Ob ein Knoten günstiger zu beurteilen ist als ein guter Andreher (sogenannter englischer Ansetzer), das ist nicht allgemein zu beantworten. Sei es so oder so, eine gewisse Fadenspannung ist zum Spinnen immer erforderlich, damit sich das Garn einigermaßen schließt.



Gleichmäßigkeitsdiagramme (Uster-Apparat) von Kammgarn Nr. 56 Kops 1 und Kops 2

die Abweichungen (x) der betreffenden Zonen tragen wir in ein Schema ein (siehe auch Kapitel II). Durch die Berechnung der Produkte fx und fx^2 sowie der Summen dieser beiden Kolonnen haben wir alle Größen, die in die Formel der mittleren quadratischen Abweichung in Prozent einzusetzen sind. Da wir manchmal 18 Zonen haben, manchmal nur 10, haben wir in der beiliegenden Berechnung noch einen Korrekturfaktor eingesetzt, wie er aus der Poisson-Tafel durch Berechnung der quadratischen Streuung einmal mit Zoneneinteilung und einmal ohne Zoneneinteilung hervorgeht. Je kleiner nämlich die Anzahl der Zonen wird, um so größer wäre der Fehler, wenn wir die Werte innerhalb einer Zone als gleichmäßig verteilt annehmen würden (siehe *Tabelle II*).

Man kann sich fragen, was für Kurvenpunkte noch als Spitzen zu zählen seien. Doch braucht es da keine besondere Spitzfindigkeit. In dem 32 m langen Garnstück, dem die 80 cm Diagramm entsprechen, haben wir nach unserer Theorie (Kapitel III) die 3200 cm durch die mittlere Faserlänge von zum Beispiel 7,5 cm zu dividieren und kommen auf 426 Spitzen. Die Hälfte davon ist nach oben gerichtet, die andere Hälfte nach unten. Der mittlere Abstand zweier Spitzen nach der gleichen Seite berechnet sich durch Multiplikation der doppelten Faserlänge mit dem Diagrammaßstab, 150 mm : 40 = 3,75 mm. Wenn demnach benachbarte Spitzen nach der gleichen Seite näher als etwa 2 mm nebeneinander

Tabelle II
Berechnung des « Ungleichmäßigkeitsfaktors »

Zone	Spitzenzahl	Abweichung		
1	f = 3	x = 5	fx = 15	fx^2 = 75
2	22	4	88	352
3	35	3	105	315
4	78	2	156	312
5	76	1	76	76
6	61	−1	− 61	61
7	106	−2	−212	424
8	54	−3	−162	486
9	17	−4	− 68	272
10	1	−5	− 5	25
	453		− 68	2398

$$V = 0{,}67 \cdot 16\% \frac{1}{\sqrt{452}} \cdot \sqrt{2398 - \frac{68^2}{453}} = 24{,}6\%$$

*Berechnung des theoretischen Variationskoeffizienten für das Garn**

$$V_{theor.} = \sqrt{\frac{1 + 0{,}0004 \cdot 22{,}8^2}{35}} = \sqrt{\frac{1{,}208}{35}} = 18{,}6\%$$

Berechnung des Ungleichmäßigkeitsfaktors für das Garn

$$\text{Ungleichmäßigkeitsfaktor } \underline{u} = \frac{24{,}6}{18{,}6} = \underline{1{,}32}$$

* Berechnet gemäß Kapitel IV.

liegen, so zählen wir sie als eine Spitze. In der Praxis sind wir mit diesem Verfahren immer mit erstaunlicher Genauigkeit an die theoretische Spitzenzahl herangekommen. Hätten wir ein Manko an Spitzen, so könnten wir den Fehlbetrag je zur Hälfte zu den beiden mittelsten Zonen schlagen. Wenn wir nämlich ein beinahe absolut gleichmäßiges Garn oder Band supponieren, so sähen wir nur sehr wenig Spitzen im Diagramm und müßten die fehlenden Spitzen als auf der Mittellinie liegend annehmen.

In *Tabelle II* ist die Berechnung der mittleren quadratischen Abweichung in Prozent für unser Garn der metrischen Nummer 58 vorgenommen. Der theoretische Variationskoeffizient für durchschnittlich 35 Fasern im Querschnitt und 22,8 % Variationskoeffizient der Faserdurchmesser ist:

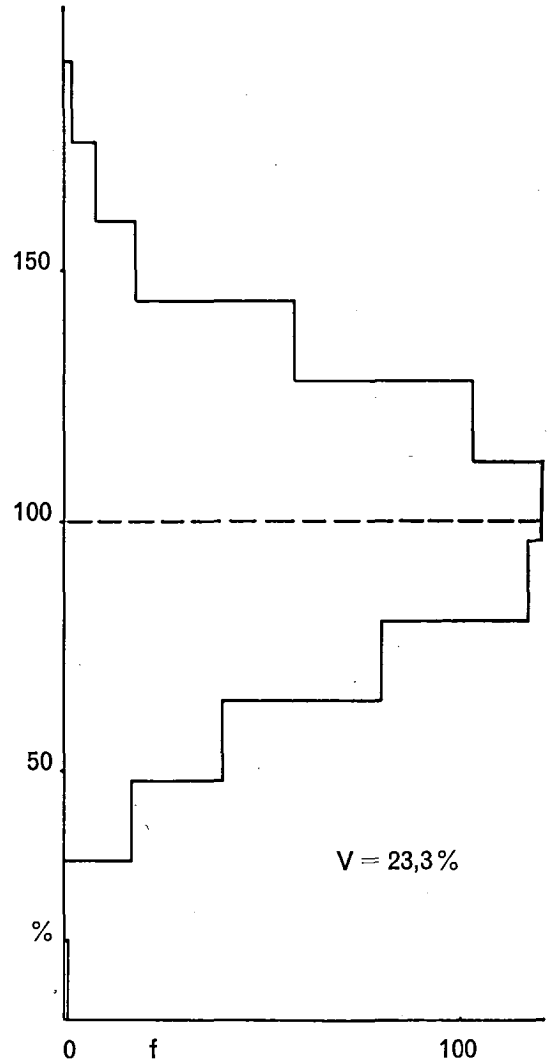
$$\sqrt{\frac{1+0{,}0004 \cdot 22{,}8^2}{35}} = 18{,}6\,\%$$

Der Ungleichmäßigkeitsfaktor wird somit:

$$u = \frac{24{,}6}{18{,}6} = 1{,}32$$

Um das zeitraubende Auszählen der Spitzen und die Berechnung zur Ermittlung der mittleren quadratischen Abweichung zu umgehen, ist die Firma Zellweger AG in Uster seit mehreren Monaten daran, ein elektrisches Zusatzgerät herauszubringen, das den Variationskoeffizienten direkt anzeigt. Mit der Erstausführung, welche die mittlere lineare Abweichung in Prozent registrierte, haben wir viele Vergleichsmessungen durchgeführt. Es ist zu erwarten, daß der neue «Integrator» die erwünschte Erleichterung bringe. Voraussichtlich wird der Variationskoeffizient, der durch ihn ermittelt wird, den gleichen Wert haben wie derjenige aus 1000 oder 2000 Stichprobenmessungen der prozentualen Substanz im Garnquerschnitt. In *Figur 7* ist die Häufigkeitskurve solcher Stichprobenmessungen für ein Garn aufgezeichnet. Der Wert dieses Variationskoeffizienten ist etwas kleiner als der durch das Spitzenauszählen ermittelte, weil er die Kurvenpunkte zwischen zwei aufeinanderfolgenden Spitzen mitberücksichtigt. Die Differenz dieser zwei Werte ist aber klein, und die kleine Korrektur ist immer nach der gleichen Seite. Sie könnte vielleicht schon in der Beschriftung der «Integrator»-Skala berücksichtigt werden, so daß wir es immer mit dem Variationskoeffizienten zu tun hätten, wie er durch das Spitzenauszählen bestimmt ist.

Als zukünftiger Standardwert für die Gleichmäßigkeit von Bändern, Vorgarnen, Garnen und Zwirnen in den verschiedenen Spinnereien wird uns der Ungleichmäßigkeitsfaktor dienen (Verhältnis des gemessenen Variationskoeffizienten durch den auf Grund der Faseranordnung durch Zufall errechneten). Nur über die theoretische Ungleichmäßigkeit als Basis können wir Garne verschiedener

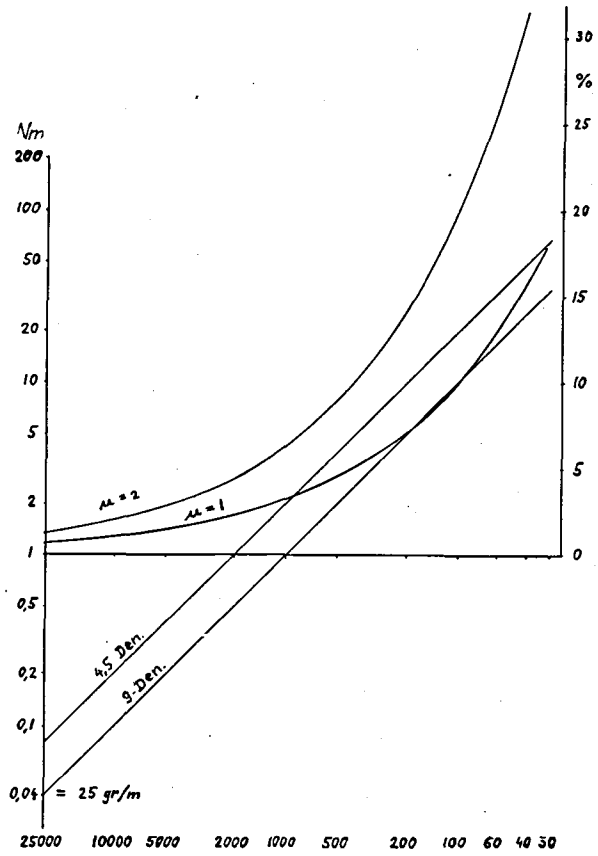


Figur 7
Häufigkeitsverteilung von 1000 Stichprobenmessungen der Substanz im Garnquerschnitt

Nummern aus dem gleichen Fasermaterial oder Garne gleicher Nummer aus verschiedenen Fasermaterialien miteinander in bezug auf die in der Spinnerei geleistete Arbeit vergleichen. Voraussetzung ist, daß wir uns die nötigen Angaben über die in Betracht kommenden Faserstoffe verschaffen (Faserlänge, Faserdurchmesser und Streuung).

Um eine allgemein verwendbare Darstellung zu schaffen, wollen wir ein Diagramm entwerfen, wie es für die Bestimmung des Ungleichmäßigkeitsfaktors für den ganzen Nummernbereich und alle

Faserfeinheiten verwendet werden kann. Als Abszisse tragen wir die mittlere Faserzahl im Querschnitt in logarithmischem Maßstab von rechts nach links auf. Als Ordinate nehmen wir die metrische Nummer ebenfalls in logarithmischer Teilung mit 0,04 m/g = 25 g/m unten und 200 m/g am obern Rand. Für die verschiedenen Faserfeinheiten gibt es dann eine Schar von Geraden unter 45 Grad. Zu jeder Band- oder Garnnummer und zu jeder Faserfeinheit können wir direkt die mittlere Faserzahl im Querschnitt ablesen. In der oberen Blatthälfte wählen wir noch eine zweite Ordinatenskala, eine lineare, und schreiben sie am rechten Blattrand mit Prozent an. Wir können dann die theoretischen Variationskoeffizienten für alle Abszissenwerte auftragen und erhalten so die Kurve für den Ungleichmäßigkeitsfaktor 1, das heißt für die Ungleichmäßigkeit auf Grund der Faseranordnung durch Zufall. Durch Verdoppelung der Ordinatenwerte kommen wir auf die Kurve des Ungleichmäßigkeitsfaktors 2 usw. Alle Rechnungen zur Bestimmung des Ungleichmäßigkeitsfaktors sind damit ein für allemal ins Diagramm gelegt, so daß wir ihn aus den verschiedenen Daten einfach ablesen können (siehe



Figur 8
Diagr amm zur Bestimmung des «Ungleichmäßigkeitsfaktors»

Figur 8). Die Streuung der Faserfeinheit kann in diesem Diagramm insofern berücksichtigt werden, als man bei einem Material mit Feinheitstreuung nicht auf der 45-Grad-Geraden der effektiven Faserfeinheit abliest, sondern bei einer entsprechend gröberen. Zur Berechnung der gröberen Faserfeinheit ist der Fasertiter mit $1 + 0{,}0004 \cdot V_d^2$ zu multiplizieren.

VII. Reißfestigkeit und Fadenbrüche bei Merino-Kammgarn Nm. 58

A. Abhängigkeit der Festigkeit vom Zeitfaktor

In den Prüfnormen zur Bestimmung der Garnfestigkeit werden 50 cm Einspannlänge und das Einhalten von durchschnittlich 20 Sekunden bis zum Bruch vorgeschrieben. Im allgemeinen ist die Festigkeit bei einer schockartigen Beanspruchung größer als bei einer langsam ansteigenden. Da auf der Spinnmaschine mit 10 m/Min. Spinngeschwindigkeit 50 cm Garn (= Einspannlänge) in 3 Sekunden passieren gegenüber der vorgeschriebenen Dauer von 20 Sekunden, ist eine Untersuchung über den Einfluß der Beanspruchungsdauer auf die Festigkeit notwendig. In mehreren Meßreihen habe ich die Festigkeit für eine mittlere Beanspruchungsdauer von 2 bis 3 Sekunden bis zum Bruch und von 15 bis 20 Sekunden aufgenommen. Bei diesen Reißproben habe ich die Belastungsschwingungen, die oft störend wirken, ausschalten können. Zwischen den Meßreihen habe ich keine Differenz finden können, die statistisch gesichert ist*. Um möglichst

Tabelle III
Festigkeitswerte in Abhängigkeit der Belastungsdauer

Bruch in 15 Sek. g	Bruch in 2 Sek. g	Bruch in 15 Sek. g	Bruch in 2 Sek. g
1. 67	2. 79	1. 74	2. 92
67	78	72	72
3. 61	4. 67	3. 87	4. 79
73	45	81	90
68	84	97	100
5. 68	6. 50	5. 82	6. 99
68	72	76	94
7. 70	8. 87	7. 103	8. 71
75	67	96	72
87	79	75	76
70,4	70,8	84,3	84,5

* Die Dissertation von R. GENET (Textil-Rundschau, Oktober 1949) enthält eine Bestätigung für dieses Verhalten bei der Reißprobe von Wollfasern.

keine Einflüsse außer der Belastungszeit zu messen (Schwankung der Nummer usw.), habe ich abwechslungsweise je zwei und je drei Proben langsam und dann schnell gerissen. In *Tabelle III* sind die Werte zweier solcher Meßreihen zusammengestellt und die Mittelwerte berechnet.

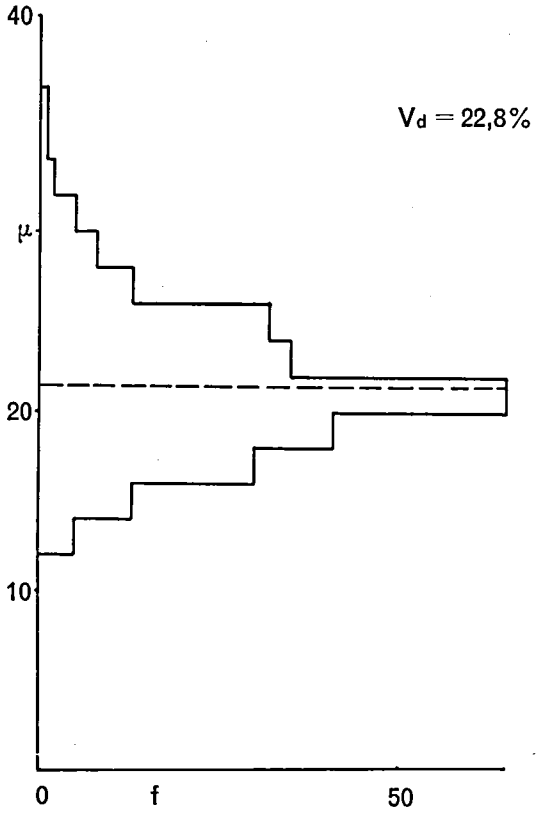
B. Abhängigkeit der Festigkeit von der Substanz im dünnsten Querschnitt innerhalb der Einspannlänge

Die Wolle, mit der wir unsere praktischen Messungen vorgenommen haben, hat eine mittlere Feinheit von 2030 m je Gramm oder von 4,43 Deniers (Durchmesser = 21,7 Mikron.

$$1\,g = 1:1{,}33 = 0{,}752\,cm^3 = \frac{\pi}{4} \cdot 0{,}00217^2 \cdot y$$

$$y = \frac{0{,}752 \cdot 4}{2{,}17^2 \cdot \pi} \cdot 10^6 cm = 2030\,m)$$

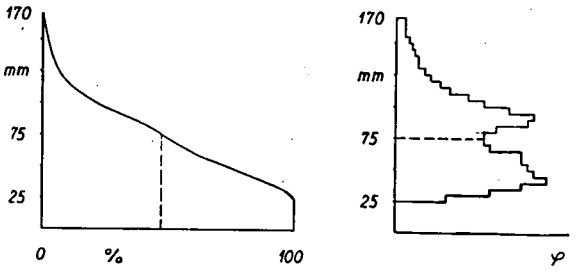
Die Streuung dieser Feinheit geht aus der Häufigkeitskurve der mikroskopisch gemessenen Faserdurchmesser hervor (*Figur 9*), wobei die Feinheit



Figur 9
Häufigkeitsverteilung der Faserdurchmesser

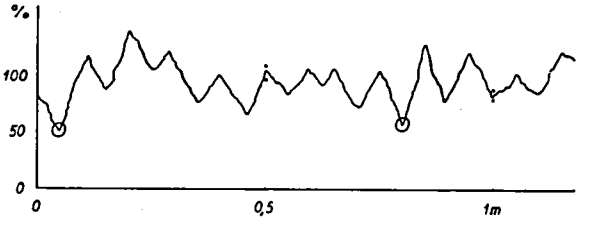
proportional dem Quadrat der Durchmesser ist. Die mittlere Faserlänge und die Streuung der Faserlänge gehen aus dem Stapeldiagramm und der Häufigkeitskurve hervor (*Figur 10*). Soviel sei gesagt zur Kennzeichnung der Wolle, mit der wir die Messungen gemacht haben. Nun wenden wir uns den Festigkeitsmessungen am Garn zu.

Mit dem elektrischen Gleichmäßigkeitsprüfapparat ist uns ein praktisches Mittel in die Hand gegeben, die Substanz an der Bruchstelle eines Garnes



Figur 10
Stapeldiagramm und Faserlängen-Häufigkeitsdiagramm

zu bestimmen. Wir nehmen das Gleichmäßigkeitsdiagramm von etwa 33 m Garn auf mit einer Anfangsmarke und einer Endmarke. Anschließend führen wir zum Beispiel 64 Reißproben mit einem halben Meter Einspannlänge durch. Es gibt jedesmal beim Einspannen in die Klemmen einen Verlust von etwa zwei Zentimetern. Wir messen nach jedem Bruch die Länge der beiden Garnstücke und übertragen so die Bruchstelle ins Gleichmäßigkeitsdiagramm unter Berücksichtigung der Garndehnung. Zu jeder Festigkeit schreiben wir die Substanz des gerissenen Querschnittes in Prozent des mittleren Querschnittes (siehe *Tabelle IV*). Beim Übertragen der Bruchstellen in das Gleichmäßigkeitsdiagramm fällt auf, daß nur ein-, zweimal eine relativ dicke Stelle innerhalb der Klemmen zum Bruch führt. Es kann dies der Fall sein, wenn das Garn wegen einer Noppe oder eingesponnenen Fluges, eventuell durch einen Fremdkörper (Stroh, Klette), geschwächt ist. In 99 % der Fälle tritt der Bruch an einer dünnen Stelle auf. Und zwar ist in etwa drei Viertel aller Fälle der Querschnitt der Bruchstelle der dünnste von der ganzen Einspannlänge. Im andern Viertel besteht außer der Bruchstelle noch eine zweite dünne Stelle innerhalb des eingespannten Garnstückes, die noch etwas weniger Substanz aufweist, aber der Bruchlast gewachsen ist. In *Figur 11* ist ein Dia-



Figur 11
Garngleichmäßigkeitsdiagramm mit Einspann- und Bruchstellen

grammabschnitt mit eingetragenen Einspannstellen (:) und Bruchstellen (0) dargestellt.

Als Auswertung der Festigkeitsmessungen wollen wir folgendes berechnen:

Tabelle IV
Berechnung des Korrelationskoeffizienten

y_i [g]	x_i [%]	x_i^2	$x_i\ y_i$	y_i [g]	x_i [%]	x_i^2	$x_i\ y_i$
40	30	900	1200	60	77	5929	4620
58	52	2704	3016	73	72	5184	5256
73	82	6724	5986	31	47	2209	1457
88	78	6084	6864	79	61	3721	4819
90	92	8464	8280	90	82	6724	8280
83	64	4096	5312	50	48	2304	2400
70	55	3025	3850	66	56	3136	3696
56	45	2025	2520	73	70	4900	5110
79	67	4489	5293	97	95	9025	9215
81	62	3844	5022	49	42	1764	2058
74	56	3136	4144	59	34	1156	2006
77	63	3969	4851	50	34	1156	1700
90	70	4900	6300	57	64	4096	3648
86	66	4356	5676	50	64	4096	3200
86	68	4624	5848	43	37	1369	1591
70	80	6400	5600	76	76	5776	5776
59	52	2704	3068	68	64	4096	4352
66	52	2704	3432	72	49	2401	3528
69	98	9604	6762	47	49	2401	2303
80	75	5625	6000	75	73	5329	5475
61	65	4225	3965	82	88	7744	7216
71	49	2401	3470	52	60	3600	3120
86	78	6084	6708	79	90	8100	7110
95	77	5929	7315	91	98	9604	8918
64	41	1681	2624	79	63	3969	4977
87	74	5476	6438	70	53	2809	3710
47	36	1296	1692	75	62	3844	4650
63	61	3621	3842	91	90	8100	8190
60	52	2704	3120	70	68	4624	4760
79	56	3136	4424	57	50	2500	2850
54	43	1849	2322	59	54	2916	3186
39	33	1089	1287	70	84	7056	5880
				4421	4026	271606	291297

$\bar{x} = 62{,}9\,\%$ $\qquad$ $\bar{y} = 69{,}1$ g

$$\text{Regressionskoeffizient } b = \frac{291297 - 62{,}9 \cdot 4421}{271606 - 62{,}9 \cdot 4026} = 0{,}718$$

$$\text{Korrelationskoeffizient } r = b \cdot \frac{\sigma_x}{\sigma_y} = 0{,}810$$

y_i = Garnfestigkeit

x_i = Faserzahl an der Bruchstelle in Prozent von 35

1. den Regressionskoeffizienten (Abhängigkeitsmaß). Die Berechnung für einen der Probekopse ist in *Tabelle IV* ausgeführt. Als Resultat haben wir eine durchschnittliche Zunahme der Festigkeit von 0,718 g auf 1 % Zunahme der Substanz im Querschnitt. Der Korrelationskoeffizient (ein Maß zur Angabe, welcher Anteil der Festigkeitsstreuung aus den Punkten der Regressionsgeraden hervorgeht) beträgt 0,810;
2. die Streuung der Festigkeitswerte um die Regressionsgerade. Sie ist in *Tabelle V* klassenweise berechnet und auf den jeweiligen Regressionswert bezogen. Ihr Mittel beträgt 16 %. Die klassenweise Berechnung zeigt uns auch, daß die Abweichungen der einzelnen Meßwerte von der linearen Regression im Rahmen des Zufalls bleiben.

Wir sehen, daß die durchschnittliche Faserzahl der Bruchstellen 62,9 % von den 35 Fasern im Mittel ist, was 22 Fasern entspricht. Wenn die Streuung um die Regressionsgerade 16 % beträgt, hat das einen Grund. Er liegt hauptsächlich in der sehr großen Streuung der Einzelfaserfestigkeit. Wir haben sie für diese Wollmischung mit dem KRAIS-Apparat zu messen versucht. Der Variationskoeffizient für die Festigkeit ergab sich zu 75 %. Derjenige für die Quadrate der unter dem Mikroskop gemessenen Faserdurchmesser ist niedriger. Die Faserfestigkeit streut demnach mehr als die Substanz im Faserquerschnitt*. Wenn wir aus unserer Einzelfaserstreuung zur Kontrolle auf die Festigkeitsstreuung der durchschnittlich 22 Fasern schließen wollen, so haben wir nur die 75 % durch Wurzel aus 22 zu dividieren, entsprechend der Doublierung von 22 Fasern. Dies gibt 16 %, wie wir sie in *Tabelle V* erhalten haben. Wir sehen also, daß die stark unterschiedliche Faserfestigkeit innerhalb einer Mischung ein nennenswerter Grund für schwache Stellen im Garn ist. Es mag vielleicht an dieser Stelle interessieren, daß der Verfasser in einer früheren Arbeit Festigkeitsmessungen an Einzelfasern vorgenommen hat, bei denen vorher der Querschnitt jeder Einzelfaser an verschiedenen Stellen mikroskopisch gemessen worden ist.

Die Garndrehung hat bei Kammgarn nur einen geringen Einfluß auf die Festigkeit, solange der Drehungskoeffizient nicht stark (± 10 %) vom

* Wegen der Größe der Streuung bei der Einzelfaserfestigkeit haben zum Beispiel die amerikanischen Forscher die Abhängigkeit der Faserfestigkeit von der Faserfeinheit mit Hilfe von Büschelproben untersucht. 10 Büschel zu mehreren hundert Fasern ergeben eine minime Streuung.

Tabelle V

Berechnung zur Kontrolle, ob die Regression linear ist

Klasse x = 30,0 ÷ 34,9 % y = 42,5 g (Regressionslinie)

Berechnung des Variationskoeffizienten innerhalb der Klasse:

30 %	40 g	– 7	49
33	39	– 8	64
34	59	12	144
34	50	3	9
⌀ 32,7	⌀ 47,0	0	266

$$s = \sqrt{266} : \sqrt{4-1} = 9{,}4\,g$$

$$V = \frac{9{,}4}{32{,}7} = 22{,}0\,\%$$

$$V_{theor.} = \frac{75\,\%}{\sqrt{0{,}327 \cdot 35}} = 22{,}2\,\%$$

y ± s = 33,1 ÷ 51,9 g schließt 3 von 4 Werten ein = 75 %. Theoretischer Wert = 68 % (Normalverteilung). Bedingung erfüllt.

Klasse x = 60,0 ÷ 64,9 % y = 68,9 g (Regressionslinie)

64 %	83 g	14	196
62	81	12	144
63	77	8	64
61	63	– 6	36
61	79	10	100
64	57	– 12	144
64	50	– 19	361
64	68	– 1	1
60	52	– 17	289
63	79	10	100
62	75	6	36
⌀ 62,5	⌀ 69,5	5	1471

$$s = \sqrt{1471 - \frac{5^2}{11}} : \sqrt{11-1} = 12{,}1\,g$$

$$V = \frac{12{,}1}{68{,}9} = 17{,}5\,\%$$

$$V_{theor.} = \frac{75\,\%}{\sqrt{0{,}625 \cdot 35}} = 16{,}0\,\%$$

y ± s = 56,8 ÷ 81,0 g schließt 8 von 11 Werten ein = 73 %. Theoretischer Wert = 68 % (Normalverteilung). Bedingung erfüllt.

Klasse x = 90,0 ÷ 99,9 % y = 97,2 g (Regressionslinie)

90 %	79 g	– 7	49
90	91	5	25
92	90	4	16
95	97	11	121
98	69	– 17	289
98	91	5	25
⌀ 93,8	⌀ 86,1	1	525

$$s = \sqrt{525} : \sqrt{6-1} = 10{,}2\,g$$

$$V = \frac{10{,}2}{97{,}2} = 10{,}5\,\%$$

$$V_{theor.} = \frac{75\,\%}{\sqrt{0{,}938 \cdot 35}} = 13{,}1\,\%$$

y ± s = 87,0 ÷ 117,4 g schließt 4 von 6 Werten ein = 67 %. Theoretischer Wert = 68 % (Normalverteilung). 67 % ≅ 68 %. Da die Bedingung für alle Klassen erfüllt ist, so ist die Linearität der Regressionslinie erwiesen.
⌀ = Durchschnittswert

optimalen abweicht. Bei den untersuchten Garnen handelt es sich um normale Drehung in unmittelbarer Nähe des Optimums.

C. Abhängigkeit der Festigkeit von der Einspannlänge

Für das geprüfte Kammgarn der metrischen Nummer 58 beträgt die mittlere Reißfestigkeit als Mittel von sechs Kopsen 59,2 g. [Einspannlänge ½ m, Luftfeuchtigkeit 75 % (gleiche relative Feuchtigkeit wie Spinnsaal im Gegensatz zur Labornorm), Raumtemperatur 20° C]. Die gleichen sechs Kopse wurden daraufhin auf dem kontinuierlichen Garnprüfapparat einer Belastung von 40 g unterworfen. Dies ergab 44 Brüche auf 600 m Länge, was 13,4 m je Bruch ausmacht. Wir wollen nun nachprüfen, ob sich die Resultate dieser beiden Prüfungen decken.

Die mittlere Faserlänge beträgt 7,5 cm. Wir dividieren sie durch die Einspannlänge von 50 cm, was 0,150 gibt für die Dynamometerprüfung, und durch 1340 cm, gleich 0,0056 für die kontinuierliche Prüfung. Wir schlagen nun in der POISSON-Tafel bei den Wahrscheinlichkeitswerten für die Durchschnittswerte 16 und 17 nach und interpolieren für

$$\frac{35}{(1+0{,}0004 \cdot 22{,}8^2) \cdot 1{,}32^2} = 16{,}6.$$

Dabei ist 35 die durchschnittliche Faserzahl im Garnquerschnitt, 22,8 % der Variationskoeffizient des Faserdurchmessers und 1,32 der Ungleichmäßigkeitsfaktor des Garnes*. Wir finden für die Wahrscheinlichkeiten 0,150 und 0,0056 die Werte 11,7, bzw. 7,2; die entsprechenden Faserzahlen sind $11{,}7 \cdot \frac{35}{16{,}6} = 24{,}7$ und $7{,}2 \cdot \frac{35}{16{,}6} = 14{,}8$,

Bei der Dynamometerprüfung mit der Garnfestigkeit von 59,2 g und der berechneten Faserzahl von 24,7 trägt eine Faser im Mittel eine Last von 59,2 g : 24,7 = 2,40 g. Bei der kontinuierlichen Prüfung ist der entsprechende Wert 40,0 : 14,8 = 2,70. Die Resultate dieser beiden Prüfungen stimmen demnach nicht schlecht überein. Weniger gut ist die Übereinstimmung mit dem Probekops, den wir in Abschnitt B untersuchten, wo 22 Fasern 69 g trugen, also 3,14 g je Faser. Wahrscheinlich ist die Festigkeit auf dem gewöhnlichen Dynamometer infolge dessen Tendenz zu Schwingungen etwas zu niedrig ausgefallen**.

* Berechnung siehe Kapitel VI.

** Ing. H. DIETZ hat 1930 als Direktor der Jute-Spinnerei und -Weberei Kassel auf seinem kontinuierlichen Reißapparat das sogenannte logarithmische Garngesetz empirisch gefunden. Nach diesem Gesetz läßt sich die Festigkeit für verschiedene Einspannlängen umrechnen. Es besagt, daß die Festigkeit linear über der logarithmisch aufgetragenen Einspannlänge verläuft. Die Materialprüfungsanstalt in St.Gallen hat Arbeiten durchgeführt, die das DIETZsche Gesetz bestätigen.
In den Heften 5 und 6, Jahrgang 1932, der Melliand-Textilberichte sind Beispiele von DIETZ mit der Berechnung des Festigkeitsgefälles angegeben. Für verschiedene Ausspinngrade hat DIETZ verschiedene Steigungen der Geraden gefunden. Dies stimmt als Annäherung mit dem Verlauf der Kurvenschar in unserem Diagramm 6 überein, wenn nur der Ausschnitt mit den Wahrscheinlichkeiten 1:5 bis 1:1000 daraus genommen wird, auf den sich DIETZ beschränkt. Um den Zusammenhang zwischen Festigkeit und Einspannlänge im gesamten Bereich zu haben, brauchen wir die POISSON-Tafel, aus der auch eindeutig die verschiedenen Steigungen bei verschiedenen Ausspinngraden hervorgehen.

Ein Beispiel für die Umrechnung der Festigkeit auf verschiedene Einspannlängen mit der POISSON-Tafel haben wir soeben für das Kammgarn 58 gemacht. Wir können dieses Beispiel noch weiter ausbauen und wollen die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten der Fadenbrüche berechnen. Die Garnfestigkeit an den Stellen, wo sich auf der Spinnmaschine Fadenbrüche ereignen, sei kleiner oder gleich 9 g (Spinnspannung).

9 g entsprechen 3 Fasern von je 3 g. Der Durchschnitt der POISSON-Verteilung, mit dem wir rechnen müssen, ist der gleiche wie oben (16,6). Der Wert der Variablen ist deshalb $3 \cdot \frac{16{,}6}{35} = 1{,}42$. Wir finden damit in der POISSON-Tafel für die Wahrscheinlichkeit den Wert 0,000006. Bei unserer Faserlänge von 7,5 cm gegenüber 6 cm (Standard-Faserlänge) haben wir $6 \cdot \frac{6}{7{,}5} = 4{,}8$ Fadenbrüche auf 100 Spindelstunden auf Grund des Zufalls. Hätten wir mit einem Fadenbruch beim Auftreten von 4 und weniger Fasern gerechnet, so gäbe es theoretisch $11 \cdot \frac{6}{7{,}5} = 8{,}8$ Brüche auf 100 Spindelstunden.

Wir wollen noch untersuchen, ob das Zusammentreffen besonders schwacher Fasern ebenso ein Grund für das Auftreten von Fadenbrüchen sein könnte. Wir haben durch Messungen am Garn festgestellt, daß eine Faser durchschnittlich 3 g trägt. Ebenso haben wir den Variationskoeffizienten der Einzelfaserfestigkeit zu 75 % ermittelt unter Berücksichtigung der ganz schwachen Fasern, die 12 % aller Fasern ausmachen.

Die Berechnung der quadratischen Streuung der Festigkeit von x Fasern und die des Produktes der relativen Häufigkeit von x Fasern mit der Wahrscheinlichkeit für das Auftreten der verschiedenen Festigkeitswerte sind in *Tabelle VI* für die in Betracht kommenden x aufgestellt. Die Summe der Teilwahrscheinlichkeiten für die verschiedenen x

gibt $14{,}4 \cdot 10^{-8}$ für das Beispiel von 16,9 g Festigkeit. Für kleinere Festigkeiten ist die Wahrscheinlichkeit noch kleiner, und für größere gelangt man erst mit etwa 25 g zu Wahrscheinlichkeiten von der Größenordnung 5 Millionstel.

Bei dieser Wollmischung und diesem Ausspinnungsgrad ist demnach die Ungleichmäßigkeit des Garnes der Grund für die Fadenbrüche und nicht die Streuung der Einzelfaserfestigkeit, wie man ebenfalls vermuten könnte.

Tabelle VI
Wahrscheinlichkeit für das Zusammentreffen schwacher Fasern

x_9	$\varphi_9 = 0{,}0000001$				
	$p_9 = 0{,}043298$ $p_{10} = 0{,}077396$	$\mu = 16$	$\Delta P = \varphi_i \cdot p_9 = 4{,}3 \cdot 10^{-9}$ $\varphi_i \cdot p_{10}$		$= 7{,}7 \cdot 10^{-9}$
x_{10}	$\varphi_{10} = 0{,}0000005$				
	$p_9 = 0{,}015381$ $p_{10} = 0{,}030366$	$\mu = 18$		7,7	15,2
x_{11}	$\varphi_{11} = 0{,}0000015$				
	$p_9 = 0{,}004995$ $p_{10} = 0{,}010812$	$\mu = 20$		7,5	16,2
x_{12}	$\varphi_{12} = 0{,}0000044$				
	$p_9 = 0{,}002766$ $p_{10} = 0{,}006251$	$\mu = 21$		12,2	27,5
x_{13}	$\varphi_{13} = 0{,}000012$				
	$p_9 = 0{,}000806$ $p_{10} = 0{,}001987$	$\mu = 23$		9,7	23,8
x_{14}	$\varphi_{14} = 0{,}000030$				
	$p_9 = 0{,}000221$ $p_{10} = 0{,}000586$	$\mu = 25$		6,6	17,6
x_{15}	$\varphi_{15} = 0{,}000070$				
	$p_9 = 0{,}000058$ $p_{10} = 0{,}000162$	$\mu = 27$		4,1	11,3
x_{16}	$\varphi_{16} = 0{,}000153$				
	$p_9 = 0{,}000029$ $p_{10} = 0{,}000086$	$\mu = 28$		4,4	13,2
x_{17}	$\varphi_{17} = 0{,}000315$				
	$p_9 = 0{,}000007$ $p_{10} = 0{,}000022$	$\mu = 30$		2,2	6,9
x_{18}	$\varphi_{18} = 0{,}000612$				
	$p_9 = 0{,}000002$ $p_{10} = 0{,}000006$	$\mu = 32$		1,2	3,7
x_{19}	$\varphi_{19} = 0{,}001127$				
	$p_9 = 0{,}0000003$ $p_{10} = 0{,}000001$	$\mu = 34$		0,3	1,1
				$P_9 = 60{,}2 \cdot 10^{-9}$	$P_{10} = 144{,}2 \cdot 10^{-9}$

φ_i für $\lambda = 35$ 1 Faser trägt im Mittel 3 g Der Variationskoeffizient der Einzelfaserfestigkeit ist 75 %
μ_i = Durchschnitt der Verteilung $= 1 : V^2 = x_i : 0{,}75^2$ Einheit der Verteilung $= 3\text{ g} : \mu_1 = 3\text{ g } 0{,}75^2 = 1{,}7\text{ g}$

VIII. Fadenbruchaufnahmen und Spannungsmessungen an der Ringspinnmaschine für Merinokammgarn (Nm. 58, 48 und 40)

Die Fadenbrüche für das Kammgarn der metrischen Nummer 58 werden auf einer 300spindligen Maschine aufgenommen während jeweils einer Abnahme, das heißt, während achtmal einer halben Stunde. Alle Spindeln werden vorher numeriert, desgleichen die Frotteurspulen im Vorwerk. Die Vorgarnwickel innerhalb des Streckwerkes sowie die Wickel, die den Streckzylinderlagern benachbart sind, figurieren nicht unter Fadenbrüchen. Sie machen für sich 20% der Fadenbruchzahl aus. Doppelfäden und Kettenbrüche treten auf der Maschine wegen der speziellen Vorrichtung zum Absaugen gerissener Fäden nicht auf. Da die Aufsteckung aus Frotteurspulen und nicht aus Flyerspulen besteht, braucht man nicht besonders darauf zu achten, daß volle, dreiviertel volle, halbvolle und einviertel volle Spulen gleich stark vertreten sind, um einen Ausgleich in der Vorgarnqualität und damit in der Fadenbruchzahl zu haben[13]. Während der Aufnahmen wurden ein guter Putzzustand der Maschine sowie 75% relative Luftfeuchtigkeit und 19,5 Grad Raumtemperatur eingehalten.

Es ereigneten sich insgesamt 153 Brüche in vier Stunden. Wenn wir von den fünf Spindeln mit extrem hohen Fadenbruchzahlen absehen, so sind es noch 153 – 45 = 108 Brüche, was 9,1 Brüchen auf 100 Spindelstunden entspricht. Dies dürfen wir tun, weil bei diesen fünf Spindeln Schäden festgestellt und nachträglich behoben werden konnten. Die Brüche verteilen sich wie folgt:

1 Spindel	mit	5 Brüchen	=	0,3%	von 295 Spindeln.	Theoretisch	0,0%
2 Spindeln	»	4 »	=	0,7%	» 295 »	»	0,0%
3 »	»	3 »	=	1,0%	» 295 »	»	0,5%
10 »	»	2 »	=	3,4%	» 295 »	»	4,4%
66 »	»	1 Bruch	=	22,4%	» 295 »	»	24,6%
213 »	»	0 Brüchen	=	72,2%	» 295 »	»	70,5%
295		108		100,0%			100,0%

Vergleichen wir die letzte Kolonne, welche die theoretischen Prozentsätze nach POISSON für den Durchschnitt 108 : 295 = 0,366 angibt, mit der aus den Beobachtungen errechneten Kolonne, so finden wir eine ziemlich gute Übereinstimmung. Kleine Abweichungen wird es bei nur etwas über hundert aufgenommenen Brüchen immer geben.

Die χ^2-Methode[1] erlaubt uns, festzustellen, ob die obigen Abweichungen von der POISSON-Verteilung nur zufälliger Natur sind oder nicht (295 Spindeln, Durchschnitt = 0,366 Brüche je Spindel).

Brüche	Spindeln	$295 \cdot \varphi(x)$	Δ	Δ^2	$\Delta^2 : 295 \cdot \varphi(x)$
0	213	204,7	8,3	68,9	0,336
1	66	74,9	8,9	79,2	1,057
2 ÷ 5	16	13,8	2,2	4,8	0,348
	295				$1{,}741 = \chi^2$

$$\chi^2_{\text{kritisch}} \Big/ \begin{matrix} P = 0{,}05 \\ n = 1 \end{matrix} = 3{,}841 \quad \text{(LINDER, Tafel II)}$$

Da unser errechnetes χ^2 kleiner ist als der kritische Wert, liegen die gemessenen Abweichungen im Rahmen des Zufalls.

Zur Spannungsmessung habe ich das Meßgerät der AG BROWN, BOVERI & CIE. verwendet und zur Kontrolle eine Eichung der Skala vorgenommen. Während der ersten Stunde der Abnahme spielte der Zeiger um 6 g. Bis zur Mitte der Abnahme fiel die Spannung beim Winden auf den großen Windedurchmesser auf 4,8 g hinunter, während sie 6,3 g beim Winden auf den kleinen Windedurchmesser war. Für das Ende der Abnahme waren die entsprechenden Werte 5, bzw. 7 g. Die Spannung wurde nicht nur bei einer einzelnen Spindel gemessen, sondern auch bei denjenigen, die einen nahezu kegeligen Ballon aufwiesen. Mehrere solcher Spindeln gehörten zu denen mit den höchsten Fadenbruchzahlen. Die Läuferfliehkraft für die Bedingungen, unter denen diese Aufnahmen gemacht worden sind, war 27 g. Die Maschine war mit Ringen ohne Schmierung ausgerüstet.

Ähnliche Fadenbruchaufnahmen wie die obige für das Kammgarn der metrischen Nummer 58 sind für die Nummern 48 und 40 vorgenommen worden. Wegen des höhern Preises der feinen Wolle sind die gröbern Nummern aus gröberen Wollmischungen gesponnen worden. Während Nummer 58 in unserem Fall 35 Fasern im Querschnitt hat, haben

die Nummern 48 und 40 deren 39 bzw. 47. Die aus den «Uster»-Diagrammen bestimmten Variationskoeffizienten sind 27,3 bzw. 23,2%. Wenn wir die Werte aus der POISSON-Tafel für die Durchschnitte $\frac{1}{0{,}273^2}$ und $\frac{1}{0{,}232^2}$ entsprechend der mittleren Faserlänge von 70 mm und der Spinngeschwindigkeit umrechnen (siehe Kapitel VII, Abschnitt C), so kommen wir auf 13,5 bzw. 1 Fadenbruch auf 100 Spindelstunden. Die praktischen Fadenbruchaufnahmen an der Spinnmaschine ergaben 18 bzw. 1,4 Brüche auf 100 Spindelstunden (nicht inbegriffen die Vorgarnwickel, die beim gröberen Garn recht häufig waren).

Zusätzlich zu den Fadenbruchaufnahmen und den Spannungsmessungen habe ich noch Beobachtungen und Untersuchungen über die Fadenbrüche vorgenommen. Regeln gelten immer nur für die speziellen Randbedingungen, und oft widersprechen sich die Ansichten in der Literatur, weil die Beobachtungen von Spezialfällen verallgemeinert wurden. Es kommt sehr darauf an, um was für einen Ausspinnungsgrad, um was für eine Baumwolle es sich handelt, ob man es mit einer Zellwolle, nach diesem oder jenem Rezept aviviert, zu tun hat. Ich habe beim oben erwähnten Kammgarn der Nummer 58 untersucht, ob die Fadenbrüche am Austritt aus dem Verzugsklemmpunkt oder irgendwo unterhalb des Streckzylinders auftreten. Ich habe viele Reißproben bei abgestellter Maschine durchgeführt, indem ich das Garn zwischen dem Streckzylinder und dem Läufer in der Nähe des Läufers faßte und bis zum Bruch dehnte. Dabei konnte ich feststellen, daß das Garn durchschnittlich nur in einem von zehn Fällen in unmittelbarer Nähe des Streckzylinders riß. Die Schwäche der Drehung an dieser Stelle wird durch die Tatsache ausgeglichen, daß die Fasern unter dem Druckzylinder eingespannt sind. Diese Beobachtung gilt für die verwendete Wollmischung und Garndrehung bei folgenden Maschinendaten: Neigungswinkel des Streckwerkes 40°, Streckzylinderdurchmesser 25 bis 32 mm, Klemmpunktvorverlegung 3 bis 5 mm, Neigungswinkel des Garnes zwischen Streckzylinder und Fadenführer 75 bis 80°.

Sodann habe ich systematisch beobachtet, ob das Garn in der Nähe des Läufers riß. Ich habe beim Fadenführer noch einen Nadeltrichter angebracht. Reißt dann das Garn in der Nähe des Läufers, so verfängt sich das Garnstück im Nadeltrichter, sobald es von der Saugdüse angesogen wird. Die Länge des Garnstückes zeigt, ob das Garn in unmittelbarer Nähe des Läufers gerissen ist oder nicht. Die quantitative Seite dieser Beobachtungen zeigt, daß sich nur ein kleiner Teil der Fadenbrüche in der Umgebung des Läufers ereignet. Am Läufer treten wahrscheinlich vorwiegend die Fadenbrüche auf, welche durch Kletten, Stroh oder Noppen verursacht werden. Analysen unserer Wollmischungen ergaben 6 Kletten je Kilo. Wir wollen annehmen, daß die Hälfte davon groß genug sei, eine Störung zu verursachen, und daß die Hälfte je nach vorwärts und nach rückwärts gerichtet sei. Ein Viertel aller Kletten wird sich dann am Läufer infolge der Verästelung festhaken, was bei der Nummer 58 1,5 Fadenbrüche auf 100 Spindelstunden gäbe. Wenn bei einem gröberen Garn mit doppelter Produktion je Spindel ebenfalls ein Viertel der Kletten zu Fadenbrüchen führen würde, so würde das schon 3 Brüche auf 100 Spindelstunden ausmachen.

Als Ergebnis dieser Untersuchung können wir nachstehende Folgerungen über die Fadenbrüche bei unserm Garn machen:

1. Die meisten Fadenbrüche treten irgendwo zwischen dem Streckzylinder und dem Läufer auf. Nur zum Teil ereignen sie sich an den genannten Grenzen.
2. Die Fadenbrüche je Spindel sind dem POISSON-Gesetz unterworfen, außer denjenigen, die durch grobe, mechanische Mängel verursacht werden.
3. Fadenbruchaufnahmen mit numerierten Vorgarnspulen und numerierten Spindeln gestatten die Beurteilung, wie viele der Brüche durch mechanische Mängel bedingt sind, und das Auffinden dieser Mängel ohne langes Suchen. (Im Beispiel des Kammgarns der Nummer 58 waren es 40% der Brüche.)

IX. Vergleich der Meßergebnisse mit den Berechnungen

In Kapitel VII Abschnitt C haben wir für die Fadenspannung beim Spinnen mit 9 g gerechnet. Bei den in Kapitel VIII beschriebenen Messungen fanden wir nur 6 g im Mittel. Hier liegt scheinbar eine Inkonsequenz vor. Der Meßwert von 6 g Fadenspannung ist aber ein Mittelwert. Für die Beanspruchung des Garnes ist nicht so sehr der Mittelwert als vielmehr die Spannungsspitze von Bedeutung, wie sie jedesmal innerhalb der Durchlaufzeit eines Garnpunktes auftritt. Die Durchlaufzeit auf der Spinnmaschine haben wir zu 2 bis 3 Sekunden angenommen, je nach Ballonhöhe und Spinngeschwindigkeit. Diese Spannungsspitzen innerhalb 2 bis 3 Sekunden dürfen nicht mit der Maximalspannung verwechselt werden, die beim

Winden auf den Durchmesser der Spinnhülse auftritt. Letzteres ereignet sich ungefähr alle 30 Sekunden (Ringbankspiel). Aus Spannungsmessungen mit einem Druckindikator[7] wissen wir, daß die Fadenspannung während eines Läuferumlaufes (0,01 Sekunden) Schwankungen von mehreren Gramm unterworfen ist. Wenn wir unsere Rechnung mit 9 g Fadenspannung durchgeführt haben, so entspricht das sicher besser der Wirklichkeit, als wenn wir sie mit dem Mittelwert von 6 g durchgeführt hätten.

Um nochmals auf die Fadenbruchzahl bei Kammgarn der Nummer 58 zurückzukommen, so sind wir durch Berechnung (Kapitel VII Abschnitt C) auf 4,8 je 100 Spindelstunden gekommen. In der Tat haben wir durch praktische Aufnahme 9,1 Brüche auf 100 Spindelstunden gefunden; die 45 Brüche, deren Grund wir in Mängeln im Vorwerk und am Läufer gefunden haben, sind dabei nicht eingerechnet, natürlich auch nicht die 29 Wickel innerhalb des Streckwerkes. Die Brüche infolge Kletten haben wir auf 1,5 je 100 Spindelstunden geschätzt. Wenn wir diese von den 9,1 obigen Brüchen abziehen, so kommen wir auf 7,6 Brüche je 100 Spindelstunden, die durch dünne Stellen im Garn verursacht worden sind. Das ist zum mindesten von der gleichen Größenordnung wie die 4,8 berechneten Fadenbrüche. Hätten wir mit einem Fadenbruch beim Auftreten von vier statt drei Fasern gerechnet, so wäre der theoretische Wert 8,8 Fadenbrüche auf 100 Spindelstunden, was schon etwas mehr als die gemessene Zahl ist.

Bei den Kammgarnen der Nummern 48 und 40 ist der Unterschied zwischen der aufgenommenen und der berechneten Fadenbruchzahl noch kleiner. Macht der Unterschied zwischen der gemessenen und der berechneten Fadenbruchzahl bei der Nummer 58 37 % der ersteren aus, so ist er bei der Nummer 48 noch 25 % und bei der Nummer 40 29 %.

Schlußfolgerung

Zur Bekämpfung der Fadenbrüche müssen wir die Ungleichmäßigkeit auf jeder Passage gegen die theoretische hinunterdrücken, die wir genau kennen. Wir hätten nämlich mit dem Ungleichmäßigkeitsfaktor 1,2 nur noch etwa 1,5 Fadenbrüche auf 100 Spindelstunden und mit dem Ungleichmäßigkeitsfaktor 1,1 weniger als 0,5 Brüche auf 100 Spindelstunden beim Kammgarn der Nummer 58 aus der beschriebenen Wollmischung.

Anderseits ließe sich die Fadenbruchzahl durch Erhöhung der durchschnittlichen Faserzahl im Querschnitt von 35 auf beispielsweise 48 vermindern, indem man 11 Gewichtsprozent 1,5-Deniers-Zellwolle normaler Festigkeit und Dehnung und guter Avivage beimischt.

X. Rückblick und Schlußwort

Die prinzipiellen Operationen einer Kammgarnspinnerei (Doublieren, Verziehen, Zusammendrehen) werden in einer kurzen Zusammenstellung mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung und praktischer Messungen durchleuchtet. Für die Untersuchung der entscheidenden Einflußgrößen wird in einzelnen, logisch aufeinanderfolgenden Kapiteln die zum Verständnis nötige Theorie entwickelt und anschließend mit praktischen Messungen verifiziert. Um die Wirkung der einzelnen Faktoren zu veranschaulichen, wurden mehrere graphische Darstellungen ausgearbeitet.

Als wichtigstes Ergebnis ist wohl zu verzeichnen, daß es mit Hilfe eines neuen Mittels, nämlich des hochempfindlichen Gleichmäßigkeitsprüfapparates «Uster», und der POISSON-Tafel gelungen ist zu zeigen, wieviel und wo noch verbessert werden kann, wirtschaftlich durch die Verminderung der Fadenbruchzahl und qualitativ durch das Spinnen feinerer und gleichmäßigerer Garne.

Zum Schluß gebe ich der Hoffnung Ausdruck, daß die Konsequenzen der Forschung auch für den Spinnereipraktiker nutzbar gemacht werden und daß es an weiteren Mitteln nicht fehlen wird, neue Forschungen zu ermöglichen, teils in den Betrieben, teils in den Instituten.

ABKÜRZUNGEN

x = effektive Faserzahl im Querschnitt an einer Stelle
λ = mittlere Faserzahl im Querschnitt
φ = relative Häufigkeit
P = Wahrscheinlichkeit
μ = Durchschnitt
σ = mittlere quadratische Abweichung (standard deviation)
V = Variationskoeffizient
u = «Ungleichmäßigkeitsfaktor»

ZITIERTE LITERATUR

1 Prof. A. LINDER: Statistische Methoden, 1945, Verlag Birkhäuser, Basel.
2 E. C. MOLINA: POISSON's Exponential Binomial Limit, 1947, d. Van Nostrand Company, New York, 250 Fourth Avenue.
3 L. H. C. TIPPETT: Journal of the Textile Institute (JTI) 1935, T 13–70.
4 J. L. SPENCER-SMITH: Royal Statistical Society, 1941, Supp. Number 2.
5 J. G. MARTINDALE: JTI 1942, P. 21, 1945, T 35–70.

6 A. Huberty: Conference of the International Wool Textile Organization, Textil-Rundschau, St.Gallen, November 1947 und Juni 1948.
7 Prof. E. Honegger: Effects of Accessory Influence on Ring Spinning, JTI, August 1947 (ETH Zürich).
8 Dr. E. Braschler: Die Festigkeit von Baumwollgespinsten, Diss. ETH 1935.
9 Dr. H. Keller: Messung der Kettspannung beim Weben. Diss. ETH 1943.
10 Dr. H. Gies: Der Einfluß des Spinnverfahrens auf die mittlere Haarlänge bei Kammgarn. TH Dresden, 1907.
11 Dr. W. Frenzel: Über die Faserlage in Baumwollgespinsten, Delft, Leipziger Monatsschrift 1924, Heft 5.
12 G. A. R. Foster: The Drafting Wave, JTI, September 1945.
13 J. U. Steiger: Some Factors Affecting End Breakage in Cotton Ring Spinning, JTI, Dezember 1947.

Weitere Publikationen

R. A. Fisher: Statistical Methods for Research Workers, Oliver & Boyd.
L. H. C. Tippett: Statistical Methods for Textile Technologists, Shirley Institut, Didsbury Manchester, 1937.
K. A. Brownlee: Industrial Experimentation, 1947, Chemical Publishing Company, Brooklyn, N. Y.
E. L. Grant: Statistical Quality Control, McGraw Hill Book Co. Inc. N. Y.
Prof. E. R. Schwarz: Massachusetts Institute of Technology: Introduction to the Use of Statistical Methods in Textile Testing, American Cotton Handbook, 1941. Textile Book Publishers, 303 Fifth Ave. New York 16.
W. von Bergen: American Wool Handbook, 2nd Edition, 1947, gleicher Verlag.
American Society for Testing Materials, 1916, Race Street, Philadelphia: Manual on Presentation of Data.
G. Waggett: An Analysis of the Irregularities in Worsted Yarns and Slivers, JTI, June 1945.
WIRA, Torridon Headingley, Leeds: Wool Research 1918–48, Volume 4 and 6.
Léon Goossens: Etude sur le laminage des rubans de fibres, Schweizer Archiv, 1941, Hefte 10 und 11.
Dr. E. Hauss: Untersuchungen über die wichtigsten Eigenschaften der Kammwollen und ihre Beeinflussung durch die mechanische Bearbeitung, TH Stuttgart, 1932. (Mitteilungen des Deutschen Forschungsinstituts für Textilindustrie in Reutlingen-Stuttgart.) Diss.
Dr. H. A. Vreedenberg: The Significance of the Skein Test, Rayon Revue 1947, Arnhem.
W. H. Westenberg: Theory and Practice of Spinning, Textile Industries, Januar 1948.
Meyer & Zehetner: Technik und Praxis der Kammgarnspinnerei, 1923, Verlag Jul. Springer, Berlin.
Bergmann: Handbuch der Spinnerei, 1927, Verlag Jul. Springer, Berlin.
Léon Faux: Transformation des laines brutes en fils peignés, 1913, Librairie polytéchnique Béranger, Paris.
Jean Champion: Analyse de l'étirage en filature de coton, 1948, les éditions de l'industrie textile, Paris.
American Viscose Corp. Marcus Hook, Delaware: Yarn Strength Charts.
American Society for Testing Materials, 1916, Race St., Philadelphia 3: Yarn Strength Charts, and Yarn Grade Standards.

Nachtrag 1950

H. Köb, Dipl. Ing.: Über Fadenbruchaufnahmen und Poisson-Verteilung, Mitteilungen des DFI Reutlingen-Stuttgart, August 1949.
Stig Löfgren: Diss. Gotenburg 1950, The Fibrogram.
D. R. Cox und J. Ingham: Annual Conference 1950 of the Textile Institute, Cheltenham, JTI, Juli 1950, P 376–402.
Temmerman and Hermanne: Study of the Index of Irregularity in Spinning on the Cotton System. JTI, November 1950.

LEBENSLAUF

Als zweiter Sohn von Dr.-Ing. Heinrich Schneider von Winterthur (Erfinder der Schneider-Mackie-Flügelspinnmaschinen der Bast- und Hartfaserindustrie), geboren am 1. August 1921, besuchte ich in Lenzburg und Zürich die Primar- und Sekundarschule. 1940 verließ ich die kantonale Oberrealschule in Zürich mit dem Maturitätszeugnis. Nach einem Jahr Militärdienst begann ich das Masch.-Ing.-Studium an der ETH, das ich 1945 mit dem Diplom abschloß. Unterbrochen wurde es durch Aktivdienst und Praxis in Werkstatt und Textilfabrikation.

Anschließend arbeitete ich als Volontär auf dem Spinnereigebiet in Belgien, England und Frankreich. Nach neun Monaten zurückgekehrt, erhielt ich eine Anstellung bei der Industrie-Gesellschaft für Schappe (SIS, Sitz in Basel) als Ingenieur für Entwicklungsarbeiten, Qualität und Versuche. Verschiedene Geschäftsreisen und Arbeitsaufenthalte führten mich nach England (Fadenbruch-Konferenz in Manchester) und Italien sowie auch nach Frankreich und den USA, in welch letzteren die Industrie-Gesellschaft für Schappe ebenfalls Fabriken hat.

Die Fadenbruchaufnahmen in dieser Arbeit habe ich 1948/49 in der SIS-Spinnerei Arlesheim vorgenommen, die Berechnungen gehen teilweise zurück auf das Frühjahr 1946, als ich bei James Mackie & Sons Ltd. in Belfast (Nordirland) arbeitete.