Dipl.-Ing. Károly Lázár, Budapest, Ungarn

Rechnergestützte Methode zur Konstruktion von Kettenwirkwaren aus Filamentgarnen

Vortrag zur 26. Internationalen Chemiefasertagung Dornbirn/Österreich

Unter Zugrundelegung der Charmeusebindung wird ein vom Verfasser entwickeltes computergestütztes, sehr einfach zu handhabendes Verfahren beschrieben, das im voraus über alle für die Erzielung einer spezifischen Warenqualität relevanten Maschineneinstellungsparameter Auskunft gibt. Damit wird dem Wirker ein Mittel an die Hand gegeben, ohne zeitraubendes Probieren Maschenware mit bestimmten, gewünschten Eigenschaften zu konstruieren; es wird nachgewiesen, daß die berechneten und in der Praxis erzielten Werte eng beieinanderliegen.

Aus den Ergebnissen von Forschungen, die die Eigenschaften der Maschenwaren untersucht haben, ist schon lange bekannt, daß die Maschenlänge, d.h. die Länge eines Fadenabschnittes, aus dem eine Masche geformt wurde, eine entscheidende Rolle im Verhalten des Stoffes spielt. Diese Erkenntnis hat die Forscher zur Entwicklung verschiedener Maschenmodelle geführt, um dadurch die Maschenlänge errechnen und die Stoffeigenschaften mit mehr oder weniger Sicherheit vorhersagen zu können. Wenn eine solche Berechnungsmethode genügend genau ist, kann sie auch geeignet sein, mit ihrer Hilfe eine Maschenware mit bestimmten Eigenschaften zu konstruieren.

Gemeinsam ist diesen Berechnungsmethoden eigen, daß die Maschenmodelle verschiedene zu vernachlässigende Werte und Eigenschaften besitzen oder unterschiedliche äußere oder innere (vom Material abhängige) Voraussetzungen annehmen. Dies hat zur Folge, daß die Formeln zur Berechnung der Maschenlänge sich voneinander unterscheiden und zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.

Mit Hilfe eines Personalcomputers wurden vom Verfasser die bekanntesten Berechnungsformeln für die Maschenlänge bei der Charmeuse-Bindung verglichen. (Bild 1 zeigt ein Faksimile der Tabelle, die vom Drucker des Rechners geschrieben wurde.) Diese Bindung ist relativ einfach, kommt aber sehr häufig vor. Ziel war es, die Formel zu ermitteln, deren Ergebnis der tatsächlichen Maschenlänge am nächsten kommt. Kennt man diese Formel, so kann man damit die Maschenlänge und die mit ihr zusammenhängenden Stoffeigenschaften voraussehen.

Die Charmeuse-Bindung ist bekanntlich eine Kombination von zwei Grundbindungen: der *Trikot-* und der *Tuch*bindung (Bild 2). Es wurde ein spezieller, für die Praxis aber sehr wichtiger Fall dieser Bindung untersucht: der Fall, daß in beide Legeschienen das gleiche Garn eingezogen ist.

Die in der Fachliteratur am häufigsten zitierten Formeln für die Charmeuse-Bindung sind die folgenden:

Formel I von *Dalidowitsch* [1]:

$$l = \frac{\pi}{4} P \left(\frac{1}{2} + n \right) + \frac{3\pi}{4} S + \frac{3\pi}{2} d \qquad \text{(D)}$$

Formel II von *Dalidowitsch* [1]:

$$l = \frac{\pi}{4} P (1 + n) + 3 S + \frac{2\pi + x}{4} d \qquad \text{(DD)}$$

Formel von *Alison* [2]:

$$l = \sqrt{S^2 + n^2 P^2} + 2 S + \left(0{,}248 + \frac{4 d}{S} \right) d \qquad \text{(A)}$$

Formel I von *Grosberg* [3]:

$$l = 1{,}29 \sqrt{S^2 + n^2 P^2} + 2{,}55 S + 2{,}6 d \qquad \text{(G)}$$

Formel II von *Grosberg* [3]:

$$l = 1{,}29 \sqrt{S^2 + n^2 P^2} + 2{,}55 S + 7{,}2 d \qquad \text{(GG)}$$

Artikelnummer: Testgewirke Nr. 4

Unterlegung in L1	n1 = 1
Garnfeinheit, dtex	T1 = 33
Dichte des Fasermaterials, g/m^3	γ1 = 1.14
Unterlegung in L2	n2 = 2
Garnfeinheit, dtex	T2 = 33
Dichte des Fasermaterials, g/m^3	γ2 = 1.14
Maschenreihen/cm	s = 24
Maschenstäbchen/cm	p = 20

Maschenlängen in Millimeter:

Formel	L1	L2	L3	L4
D	1,86	2,25	0	0
DD	2,13	2,52	0	0
A	1,53	1,97	0	0
G	2,06	2,62	0	0
GG	2,34	2,9	0	0
V	1,38	2,56	0	0
VV	2,75	2,75	0	0
F	1,76	2,35	0	0
FF	1,82	2,42	0	0

Einlaufverhältnis zwischen L1 und L2

Formel	L1 : L2
D	1 : 1,2114827
DD	1 : 1,1842999
A	1 : 1,281814
G	1 : 1,2708312
GG	1 : 1,2384982
V	1 : 1,8507856
VV	1 : 1
F	1 : 1,3333333
FF	1 : 1,3333333

Flächenmassen:

Formel	g/m^2
D	65,05
DD	73,72
A	55,47
G	74,1
GG	82,94
V	62,53
VV	87,1
F	65,18
FF	67,12

Bild 1 Vom Rechner-Drucker ausgeworfene Tabelle

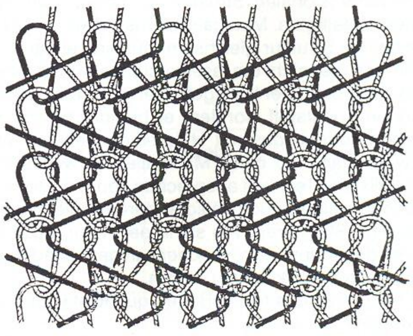

Bild 2 Fadenverlauf bei Charmeuse

→

Formel von *Vékássy* [4]:

$$l = \frac{3\pi}{4} P + \frac{3\pi}{4} d + \frac{\pi}{3} d \quad \text{bzw.}$$

$$l = \frac{3\pi}{2} S + \frac{\pi}{3} d \qquad (V)$$

Formel I von *Fletcher* und *Roberts* [5]:

$$l_1 = l_2 = 4\,S + 3{,}5\,P + 11{,}5\,d \qquad (F)$$

Formel II von *Fletcher* und *Roberts* [5]:

$$l_1 + l_2 = 4\,S + 3{,}5\,P + 13{,}52\,d \qquad (FF)$$

Formel von *Kopias* [6]:

$$l = k\sqrt{4\,S^2 + n^2\,P^2} \qquad (K)$$

In diesen Formeln bedeuten
- l die Maschenlänge,
- l_1 die Länge des Fadenabschnittes, der von der Legeschiene 1 zugeführt wurde,
- l_2 die Länge des Fadenabschnittes, der von der Legeschiene 2 zugeführt wurde,
- S die Maschenhöhe,
- P die Maschenbreite,
- n die Unterlegung (in Nadelzahl angegeben),
- d den Fadendurchmesser,
- x Konstante, die von der Verknüpfungsweise der Maschen abhängt:

  x = 0, wenn ein Maschenfuß zwei Maschenschenkel auf derselben Maschenseite verknüpft (zwei rechte bzw. zwei linke Maschenschenkel), Bild 3a;

  x = +2 d, wenn ein Maschenfuß zwei Maschenschenkel verknüpft, die sich auf entgegengesetzten Maschenseiten befinden (d.h. den linken Maschenschenkel der linken Masche mit dem rechten Maschenschenkel der rechten Masche), Bild 3b;

  x = −2 d, wenn ein Maschenfuß die zueinander näher liegenden Maschenschenkel verknüpft (d.h. den rechten Maschenschenkel der linken Masche mit dem linken Maschenschenkel der rechten Masche), Bild 3c;

  für eine Charmeuse-Bindung gilt x = 0.

Einige der genannten Formeln beruhen auf gewissen einschränkenden Voraussetzungen, im Vergleich wurden sie jedoch bewußt außer acht gelassen. Es ist nämlich nicht ausgeschlossen, daß diese einschränkenden Voraussetzungen bei den effektiven Gewirken nur so kleine Unterschiede verursachen, daß sie vernachlässigt werden können; wir wollten jedoch einen größeren Kreis von Formeln untersuchen.

Die Formel I von *Dalidowitsch* bezieht sich z.B. auf eine mit *einer* Legeschiene gearbeiteten Legung, aber wir haben sie bei *beiden* Legeschienen in Betracht gezogen. Für Bindungen, die mit zwei Legeschienen hergestellt werden, hat *Dalidowitsch* seine Formel II aufgestellt. Beide Formeln beruhen ausschließlich auf geometrischen Zusammenhängen; *Alison* hat seiner Formel auch nur geometrische Zusammenhänge zugrunde gelegt.

Grosbergs Formeln beziehen sich auf den vollrelaxierten Zustand des Gewirkes und vernachlässigen die Schrägung der Maschen und die Reibung zwischen den Garnen. Er hat seine Formeln auf Grund eines Maschenmodells aufgestellt, das das Garn als einen elastischen Stab annimmt, für den die *Euler*schen Formeln des elastischen Biegens gültig sind. Er hat seine Formel I ursprünglich für das Garn der hinteren Legeschiene, Formel II für das Garn der vorderen Legeschiene angegeben.

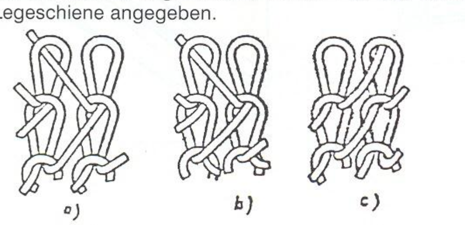

Bild 3a–c Verschiedene Verknüpfungsweisen der Maschen

Vékássy hat seine Formel auf rein geometrischer Basis ursprünglich für die Trikotlegung ausgearbeitet, angenommen, daß zwischen P und S ein bestimmter Zusammenhang besteht, nämlich S = P (2 + d) 2. Die zitierte Formel sagt aus über die Länge der Projektion des Fadenabschnittes auf eine Ebene. Für eine zweilegeschienige Bindung mit einer Unterlegung von 2 Nadeln haben wir diese Formel so verwendet, daß der Wert von P einfach verdoppelt wurde.

Fletcher und *Roberts* haben ihre Formeln auf Grund von Experimenten erstellt. Ihre Formel I sollte für Azetat, Formel II für Viscose gelten, später aber wird diese Einschränkung außer acht gelassen. Diese Formeln geben die Summe der Garnabschnitte beider Legeschienen wieder und sind für Charmeuse-Bindung gültig.

Die Formel von *Kopias* basiert auch auf geometrischen Voraussetzungen, aber die Konstante k muß immer durch Versuche festgestellt werden.

Einfluß des Garndurchmessers

Fast jede Maschenlängen-Formel enthält den Garndurchmesser. Er kann in den Berechnungen mit der bekannten Formel

$$d = 0{,}02\sqrt{\frac{Tt}{\pi\,\gamma}}$$

annähernd ermittelt werden. Hier bedeuten
- d den Garndurchmesser in mm,
- Tt die Garnfeinheit in dtex,
- γ die Dichte des Garnmaterials in g/cm^3.

In der Praxis kennt man die genaue Dichte des Garnmaterials nur bei Monofilamenten, bei Multifilamentgarnen oder Fasergarnen kann man sie nur aus der Dichte des Fasermaterials folgern. Der Unterschied kann manchmal sehr groß sein. Es lohnt sich also, zuerst zu untersuchen, in welchem Maße der Garndurchmesser die Maschenlänge beeinflußt, für den Fall, daß man die Maschenlänge mit den unterschiedlichen Formeln berechnet – mit anderen Worten: wie wichtig die Kenntnis des genauen Wertes des Garndurchmessers ist.

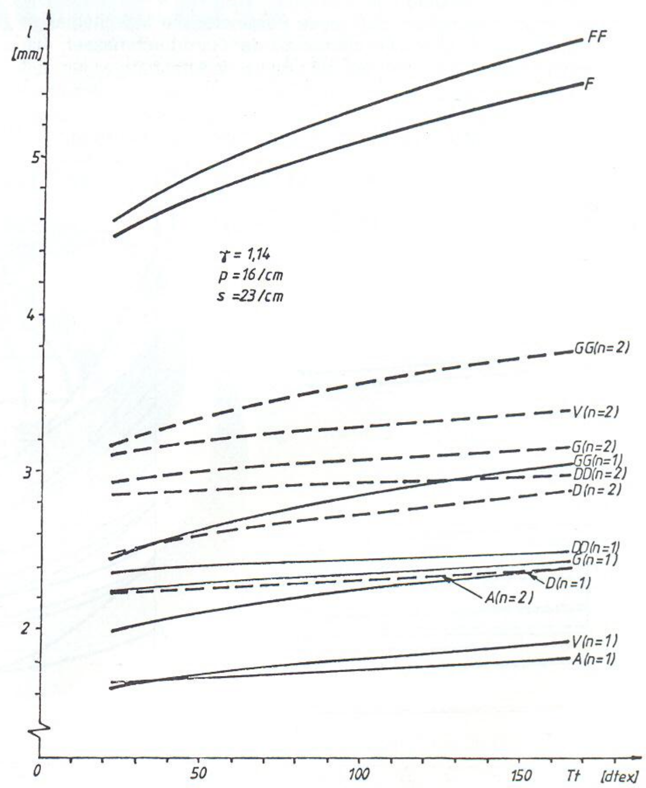

Bild 4 Zusammenhang von Garnfeinheit und Maschenreihen- bzw. Maschenstäbchendichte

→

Setzt man den Wert von γ fest, z.B. γ = 1,14 (er ist die Dichte des Polyamid-Filaments), und untersucht eine Gewirkekonstruktion, bei der die Maschenreihendichte s = 23/cm und die Maschenstäbchendichte p = 16/cm ist, kann Bild 4 gezeichnet werden. Dieses Bild zeigt, daß die Veränderung der Garnfeinheit die Maschenlänge um 5 bis 25% beeinflußt. Die Veränderung ist nach den Formeln von *Dalidowitsch, Alison* und *Vékássy* fast linear, während die Formeln von *Grosberg* – besonders seine Formel II – und von *Fletcher* und *Roberts* eine leichte parabolische Veränderung ergeben.

Die Trikotlegungen sind gegen die Garnfeinheitsveränderungen etwas empfindlicher; ihre Kurven sind ein wenig steiler als die von der Tuchlegung. Aus dem obenerwähnten Wert folgt, daß man *den Einfluß des Titers nicht vernachlässigen darf.*

Sind die Maschendichten wieder s = 23/cm bzw. p = 16/cm, der Wert von γ ändert sich aber, so bekommen wir bei einem konstanten Wert von Tt = 44 dtex das Bild 5. Die Trikotlegung ist hier weniger empfindlich gegenüber der Veränderung der Garndichte als die Tuchlegung. Die durch die verschiedenen Berechnungsformeln erhaltenen Linien sind fast parallel, die „Empfindlichkeiten" sind also fast gleich. Die Veränderung übersteigt den Wert von 5% in keinem Falle; es kann also festgestellt werden, daß man *den Einfluß der Garndichte in der Praxis vernachlässigen darf.* Dies erleichtert die Konstruktionsberechnungen der Charmeuse-Ware, weil – wie schon erwähnt wurde – die Ermittlung der Garndichte keine einfache Aufgabe wäre.

Kopias setzt in seiner Formel den Garndurchmesser nicht ein; er ist in diesem Falle mit in der Konstante k enthalten.

Einfluß der Maschendichte

Jede Formel enthält die Maschenhöhe (S) und die Maschenbreite (P), die von der Maschenreihendichte s bzw. Maschenstäbchendichte p direkt berechnet werden können. Beziehen sich diese Dichtewerte auf 10 mm, so gelten die folgenden Zusammenhänge:

Maschenhöhe in mm: S = 10/s,

Maschenbreite in mm: P = 10/p.

Wenn man Tt = 44 dtex und γ = 1,14 g/cm^3 als Konstante nimmt, zeigt Bild 6 die Funktion der Maschenlänge von der Maschenreihendichte s und Bild 7 diese von der Maschenstäbchendichte p. Bei der Formel von *Kopias* ging man von einem Wert von k = 1,9 aus. Die Bilder veranschaulichen, daß diese Parameter die Maschenlänge sehr stark beeinflussen, viel stärker als der Garndurchmesser. Alle Formeln spiegeln also sehr gut die praktische Erfahrung wider, daß die Maschenlänge auf einer Maschine, bei der der Nadelabstand (und dadurch die Maschenstäbchendichte) gegeben ist, in erster Linie durch die Maschenreihendichte beeinflußt werden kann.

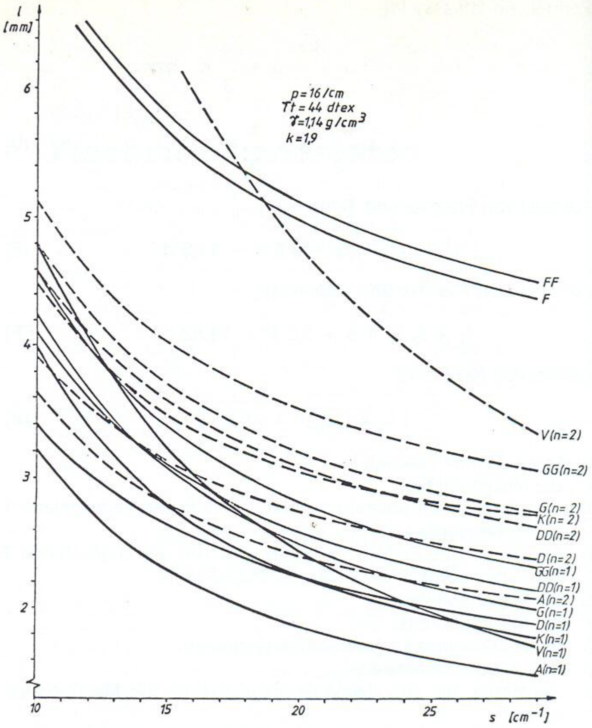

Bild 6 Abhängigkeit der Maschenlänge von der Maschenreihendichte

Die Kurven in diesen Bildern sind immer hyperbolisch, und dies bedeutet, daß die geringeren Maschendichten die Maschenlänge stärker als die größeren beeinflussen.

Vergleich der errechneten und gemessenen Ergebnisse

Wir haben die Genauigkeit der Maschenlängen-Formeln in der Weise überprüft, daß wir die errechneten Werte mit den Angaben von tatsächlichen Gewirken verglichen. Tabelle 1 zeigt die Angaben der untersuchten Gewirke. Alle diese Stoffe wurden auf einem Kettenwirkautomaten aus glatten (also nicht texturierten) Filamentgarnen hergestellt.

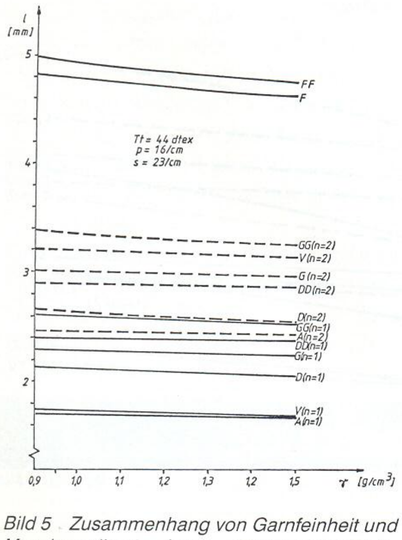

Bild 5 Zusammenhang von Garnfeinheit und Maschenreihen- bzw. Maschenstäbchendichte

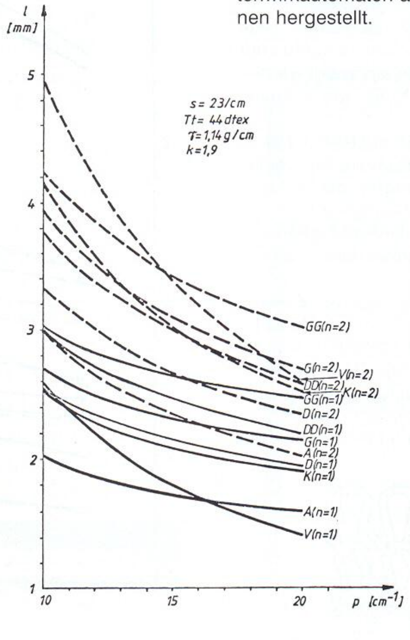

Bild 7 Abhängigkeit der Maschenlänge von der Maschenstäbchendichte

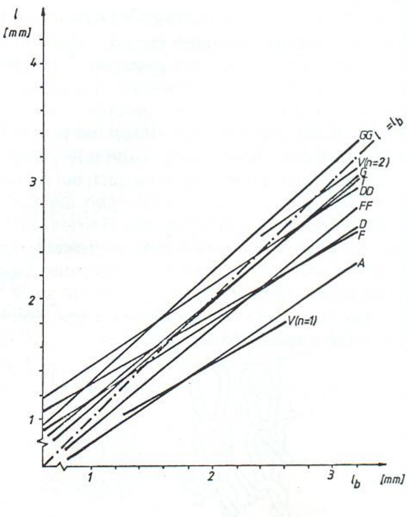

Bild 8 Regressionsgerade

→

Tabelle 1 Daten der untersuchten Gewirke

Parameter	Gewirke								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Rohmaterial	PA	PA	PES	PA	PA	PA	PA	PES	CT
Spezifische Dichte des Fasermaterials, g/cm^3	1,14	1,14	1,38	1,14	1,14	1,14	1,14	1,38	1,30
Maschinenfeinheit, Nadel/Zoll	28	28	32	32	32	28	28	32	28
Garnfeinheit, dtex	22	22	22	33	33	44	44	44	67
Bei der Herstellung eingestellte Fadenlänge, mm									
l_{b1}	2,38	2,03	2,03	2,15	2,08	2,53	2,46	2,50	?
l_{b2}	3,16	3,05	2,71	2,88	2,79	3,38	3,27	3,33	?
Maschenreihen/cm									
roh	22	30	27	26	28	20	22	20	?
ausgerüstet	22	25	29	24	29	21	21	27	16,6
Maschenstäbchen/cm									
roh	11,9	12,7	13,4	13,6	13,5	11,5	11,7	13	?
ausgerüstet	16	19	16	20	16	15	15	16	17,3
Flächenmasse, g/m^2									
roh	33	40	41	57	62	62	66	69	?
ausgerüstet	36	47	52	77	79	72	75	110	127

Tabelle 2 Gleichungen der Regressionsgeraden und die Korrelationskoeffizienten der Maschenlängen (Rohware)

Berechnungsformel	Gleichung der Regressionsgeraden und die Zone der 99,9% statistischen Sicherheit	$\bar{l}_b$	$\bar{l}$	Korrelationskoeffizient
T	$l = 1{,}03\, l_b - 0{,}02 \pm 0{,}394$	2,67	2,72	0,975
D	$l = 0{,}84\, l_b + 0{,}29 \pm 0{,}286$	2,67	2,52	0,975
DD	$l = 0{,}86\, l_b + 0{,}61 \pm 0{,}401$	2,67	2,90	0,956
A	$l = 0{,}91\, l_b - 0{,}28 \pm 0{,}224$	2,67	2,16	0,987
G	$l = 1{,}19\, l_b - 0{,}31 \pm 0{,}286$	2,67	2,86	0,987
GG	$l = 1{,}22\, l_b - 0{,}13 \pm 0{,}316$	2,67	3,13	0,986
V	$l_1 = 0{,}54\, l_{b1} + 0{,}85 \pm 0{,}263$	2,27	2,07	0,808
	$l_2 = 0{,}87\, l_{b2} + 1{,}26 \pm 0{,}487$	3,07	3,94	0,816
F	$l = 0{,}93\, l_b + 0{,}08 \pm 0{,}263$	2,67	2,57	0,983
FF	$l = 0{,}94\, l_b + 0{,}11 \pm 0{,}257$	2,67	2,62	0,984

Tabelle 3 Gleichungen der Regressionsgeraden und die Korrelationskoeffizienten der Maschenlängen (ausgerüstete Ware)

Berechnungsformel	Gleichung der Regressionsgeraden und die Zone der 99,9% statistischen Sicherheit	$\bar{l}_b$	$\bar{l}$	Korrelationskoeffizient
T	$l = 0{,}83\, l_b + 0{,}33 \pm 0{,}671$	2,67	2,55	0,881
D	$l = 0{,}65\, l_b + 0{,}51 \pm 0{,}319$	2,67	2,25	0,950
DD	$l = 0{,}67\, l_b + 0{,}77 \pm 0{,}365$	2,67	2,57	0,941
A	$l = 0{,}68\, l_b + 0{,}12 \pm 0{,}250$	2,67	1,93	0,971
G	$l = 0{,}88\, l_b + 0{,}21 \pm 0{,}332$	2,67	2,57	0,970
GG	$l = 0{,}92\, l_b + 0{,}40 \pm 0{,}415$	2,67	2,84	0,958
V	$l_1 = 0{,}57\, l_{b1} + 0{,}30 \pm 0{,}520$	2,27	1,61	0,597
	$l_2 = 0{,}73\, l_{b2} + 0{,}78 \pm 1{,}122$	3,07	3,01	0,454
F	$l = 0{,}74\, l_b + 0{,}72 \pm 0{,}510$	2,67	2,26	0,915
FF	$l = 0{,}84\, l_b + 0{,}07 \pm 0{,}309$	2,67	2,32	0,972

Mit den erwähnten Maschenlängen-Formeln haben wir die Maschenlängen l_1 und l_2 errechnet und auch ermittelt, ob die bei der Produktion eingestellten Maschenlängen und die Maschenlängen, die man aus der Flächenmasse („Quadratmetergewicht") nachberechnen kann, übereinstimmen. Dazu haben wir das Gleichungssystem

$$l_1 + l_2 = \frac{1000\ M}{p\ s\ Tt}$$

$$\frac{l_2}{l_1} = b \qquad \text{(T)}$$

verwendet, in dem M die Flächenmasse und b das Einlaufverhältnis bedeuten. Das Einlaufverhältnis wurde hier aus den bei der Herstellung eingestellten Maschenlängen (l_b) errechnet, und wir haben angenommen, daß es immer gültig bleibt, d.h.

$$b = \frac{l_2}{l_1} = \frac{l_{b2}}{l_{b1}} = \text{const.}$$

Die Formeln von *Fletcher* und *Roberts* ergeben die Summe $l_1 + l_2$. Bei einer Charmeuse-Bindung gilt das theoretische Einlaufverhältnis

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{4}{3}$$

und wir nahmen an, daß es auch in diesem Falle gilt. Unter dieser Voraussetzung wurde die Summe $l_1 + l_2$ zerlegt.

Aus den Ergebnissen der Rechnungen können die Parameter der Regressionsgeraden ermittelt werden, die den Zusammenhang zwischen den bei der Herstellung eingestellten Maschenlängen und den mit den verschiedenen Formeln errechneten Maschenlängen zeigen. Die Korrelation ist immer sehr gut. Die Ergebnisse der Rechnungen sind in den Tabellen 2 bzw. 3 zusammengefaßt; die Bilder 8 und 9 zeigen die Regressionsgeraden. Die Analyse der Ergebnisse zeigte, daß die Werte von l_1 und l_2 sich im allgemeinen um dieselbe Regressionsgerade gruppieren, d.h., die Trikot- und die Tuchlegung können in dieser Hinsicht zusammen untersucht werden. Nur die Ergebnisse der Formel von *Vékássy* bilden davon eine Ausnahme; die Ursache liegt offenbar darin, daß sich seine ursprüngliche Formel auf die Trikotlegung bezieht, während wir sie willkürlich auch auf die Tuchlegung angewendet haben.

Aus den Gleichungen der Regressionsgeraden können wir folgern, welche Rechnungsformel sich am besten dem idealen Zusammenhang

$$l = l_b$$

nähert, d.h. dem Fall, in dem die berechnete Maschenlänge und die bei der Herstellung eingestellte Maschenlänge gleich sind. Es ist die Formel, mit der man eine Regressionsgerade bekommt, deren Steigung zu 1 am nächsten liegt und mit der der berechnete Durchschnittswert der Maschenlängen ($\bar{l}$) zum Durchschnittswert der eingestellten Maschenlängen ($\bar{l}_b$) am nächsten liegt. Diese beiden →

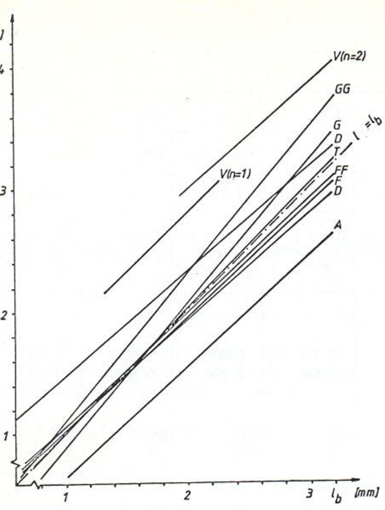

Bild 9
Regressionsgerade

Voraussetzungen erfüllen für die Rohwaren die Formel FF, für die ausgerüsteten Waren die Formel G. Sie sind also die geeignetsten zur Schätzung der Maschenlänge. Man darf aber diese Gleichungen nur mit Vorbehalt verwenden, da wir zu dieser Schlußfolgerung mit einer statistischen Methode gekommen sind. Mit einer statistischen Sicherheit von 95% befinden sich die Ergebnisse in den folgenden Zonen:
bei Rohwaren (Gleichung FF):

$$l = 0{,}94\, l_b + 0{,}11 \pm 0{,}153 \qquad (1)$$

bei ausgerüsteten Waren (Gleichung G):

$$l = 0{,}88\, l_b + 0{,}21 \pm 0{,}198 \qquad (2)$$

In gleicher Weise sind die Zonen der statistischen Sicherheit von 99,9%
bei Rohwaren (Gleichung FF):

$$l = 0{,}94\, l_b + 0{,}11 \pm 0{,}257 \qquad (3)$$

bei ausgerüsteten Waren (Gleichung G):

$$l = 0{,}88\, l_b + 0{,}21 \pm 0{,}332 \qquad (4)$$

Aus diesen Zusammenhängen können wir z.B. mit 99,9% Sicherheit voraussagen, daß sich in einer Charmeuse-Ware, bei der man in der Produktion bei einer Legeschiene l_b = 3 mm Maschenlänge eingestellt hat, die Rohware in relaxiertem Zustand eine Maschenlänge von 2,7 ··· 3,2 mm und die ausgerüstete Ware eine Maschenlänge von 2,5 ··· 3,2 mm ergibt. Die durchschnittlichen Maschenlängen und ihre Konfidenzintervalle bei 99,9% statistischer Sicherheit sind also
für Rohware: l = 2,93 mm ± 8,8%
für ausgerüstete Ware: l = 2,85 mm ± 11,6%.

Die Gleichungen haben also eine Genauigkeit von ungefähr 10%. Die Genauigkeit ist bei Rohware besser als bei ausgerüsteter Ware, was wir für selbstverständlich halten. Die Maschenlänge der ausgerüsteten Ware wird von den Umständen des Ausrüstungsprozesses stark beeinflußt, vor allem von der beim Thermofixieren eingestellten Breite und Voreilung. Aus der gleichen Rohware kann man ausgerüstete Ware unterschiedlicher Parameter bekommen.

Die Maschenlängen, die man mit dem Gleichungssystem (T) berechnen kann, zeigen das Verhältnis zwischen der bei der Herstellung eingestellten Maschenlänge und der Maschenlänge des relaxierten Gewirkes. Gemäß den Regressionsgleichungen passen diese Werte der Rohware zur theoretischen $l = l_b$ Geraden sehr gut, und der Korrelationskoeffizient ist groß. Dies bedeutet, daß es keine wesentliche Differenz zwischen den eingestellten Maschenlängen und den Maschenlängen der relaxierten Waren gibt. Nimmt man z.B. den obenerwähnten Fall von l_b = 3,0 mm, so gibt das Gleichungssystem T eine Maschenlänge

$$l = 1{,}03 \cdot 3 - 0{,}02 = 3{,}07 \text{ mm},$$

die mit 99,9% statistischer Sicherheit ±11,4% Konfidenzintervall zeigt (l = 2,72 ··· 3,42 mm). Der Mittelwert l = 3,07 mm paßt gut in die Zone, die früher mit der Gleichung FF festgestellt wurde. Bei der ausgerüsteten Ware ist die Korrelation weniger eng, und auch die Regressionsgerade entfernt sich mehr von der idealen $l = l_b$ Geraden (Tabelle 3). Dies ist deswegen der Fall, weil die Ausrüstungsumstände die originale Maschenlänge in unterschiedlichem Maße verzerren.

Es ist zu bemerken, daß die Konfidenzintervalle verengt werden könnten, wenn man die Regressionsgleichungen aus mehreren Daten berechnet.

Kontrolle der berechneten Maschenlängen durch Berechnung der Flächenmasse

Die Flächenmasse ist ein komplexer Wert, der geeignet ist, gemeinsamen Effekt mehrerer Parameter zu zeigen. In unserem Falle ergibt die Flächenmasse die Formel

$$M = \frac{p\, s\, Tt\, (l_1 + l_2)}{1000} \quad [g/m^2] \qquad (5)$$

da wir am Anfang angenommen haben, daß die Garnfeinheiten beider Legeschienen gleich sind.

Es kommt in der Praxis sehr oft vor, daß man die voraussichtliche Flächenmasse des herzustellenden Gewirkes vorhersagen oder eine Einstellung vorgenommen werden soll, die eine bestimmte Flächenmasse ergibt. Die Frage ist also, mit welcher Genauigkeit man die Formeln der Maschenlänge für diese Berechnungen anwenden kann. Um dies zu kontrollieren, haben wir die Flächenmasse mit den erwähnten Formeln der Maschenlänge und mit den gegebenen Einstellungsdaten berechnet, und die Ergebnisse wurden mit den tatsächlichen Flächenmassenwerten verglichen. Aus diesen Daten können wieder die Parameter der Regressionsgeraden und die Korrelationskoeffizienten errechnet werden (Tabellen 4 und 5), und es kann festgestellt werden, daß **die besten Ergebnisse für die Rohwaren wieder die Formel FF, für die ausgerüsteten Waren aber die Formel GG zeitigt.** Diese Formeln sind es also, mit denen die Flächenmasse am besten abgeschätzt werden kann.

Es ist von Nutzen, anhand der Tabelle 1 festzustellen, daß die Flächenmassen der Rohwaren und der ausgerüsteten Waren die folgende Regressionsgleichung ergeben:

$$M_k = 1{,}552\, M_n - 14{,}943 \qquad (6)$$

mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,918.

Tabelle 4 Gleichungen der Regressionsgeraden und die Korrelationskoeffizienten der Flächenmassen (Rohware)

Berechnungsformel	Gleichung der Regressionsgeraden und die Zone der 99,9% statistischen Sicherheit	$\bar{M}_m$	$\bar{M}_s$	Korrelationskoeffizient
D	$M_s = 0{,}940\, M_m - 0{,}741 \pm 4{,}247$		49,80	0,994
DD	$M_s = 1{,}052\, M_m + 0{,}927 \pm 4{,}596$		57,49	0,995
A	$M_s = 0{,}785\, M_m + 0{,}436 \pm 3{,}310$		42,65	0,995
G	$M_s = 1{,}051\, M_m + 0{,}107 \pm 4{,}402$	53,75	56,61	0,995
GG	$M_s = 1{,}193\, M_m - 0{,}942 \pm 5{,}142$		62,17	0,995
V	$M_s = 0{,}976\, M_m + 6{,}812 \pm 11{,}742$		59,26	0,962
F	$M_s = 0{,}955\, M_m - 0{,}444 \pm 4{,}948$		50,90	0,993
FF	$M_s = 0{,}986\, M_m - 0{,}902 \pm 5{,}132$		52,12	0,992

Die Kopiassche Konstante k

Die Formel von *Kopias* enthält eine Konstante k, die aus den Warenparametern errechnet werden kann:

$$k = \frac{1000\, M}{p\, s\, Tt \left(\sqrt{\dfrac{400}{s^2} + \dfrac{100}{p^2}} + \sqrt{\dfrac{400}{s^2} + \dfrac{400}{p^2}} \right)}$$

Wir haben diese Konstante für die verschiedenen Gewirke errechnet und haben mit 99,9% statistischer Sicherheit die folgenden Werte erhalten:
für Rohwaren: k_n = 1,78 ··· 1,91 (1,81 ± 6,7%),
für ausgerüstete Waren: k_k = 1,72 ··· 2,39 (2,05 ± 16,2%).

→

Die Fachliteratur spricht von einer Wertzone von 1,6 ··· 2,6 [6], die also bestätigt wurde. Das Konfidenzintervall für die Rohware ist wieder enger als für die ausgerüstete Ware; dies bedeutet, daß man mit diesem Wert die Eigenschaften einer Rohware mit viel größerer Sicherheit schätzen kann als die einer ausgerüsteten Ware. Die Analyse hat gezeigt, daß der Zusammenhang zwischen diesen zwei k-Werten bei 99,9% statistischer Sicherheit

$$k_k = 2{,}147\ k_n - 1{,}916 \pm 0{,}461,$$

bei 95% statistischer Sicherheit

$$k_k = 2{,}147\ k_n - 1{,}916 \pm 0{,}274$$

ist.

Anwendungsbeispiel

Aufgabe soll es sein, eine B = 144 cm breite Charmeuse-Ware aus Tt = 33 dtex Polyamidgarn (γ = 1,14 g/cm^3) auf einem Kettenwirkautomaten 28er Feinheit mit einer Flächenmasse in ausgerüstetem Zustand M = 70 g/m^2 herzustellen. Die Frage ist, mit welchen Einstellungsdaten kann man sich diesem Ziel am meisten nähern.

Die Maschenstäbchendichte p_k des ausgerüsteten Gewirkes kann aus der Warenbreite und aus der Nadelzahl der Maschine ermittelt werden. Wird die Ware auf einer 84″ breiten Maschine mit z = 2300 Nadeln hergestellt, so ist die Maschenstäbchendichte

$$p_k = \frac{z}{B} = \frac{2300}{144} = 16{,}0/\text{cm}.$$

Es wurde festgestellt, daß man die Flächenmasse der ausgerüsteten Ware am besten mit der Formel GG errechnen kann. Sie ergibt zwischen der errechneten Flächenmasse M_s und der gemessenen Flächenmasse M_m den folgenden Zusammenhang:

$$M_s = 0{,}950\ M_m + 9{,}733 \qquad (7)$$

(siehe Tabelle 5). In unserem Falle, wenn wir M_m = 70 g/m^2 erreichen wollen, ergibt sich

$$M_s = 76{,}2\ \text{g/m}^2.$$

Die Maschenlängen sollten davon ausgehend ermittelt werden. Dazu dient die folgende Formel, die von (5) abgeleitet werden kann:

$$M_s = (l_{k1} + l_{k2})\ s_k \frac{p_k\ \text{Tt}}{1000}$$

$$76{,}2 = (l_{k1} + l_{k2})\ s_k \frac{16 \cdot 33}{1000} \qquad (8)$$

wo mit Verwendung der Formel GG

$$l_{k1} + l_{k2} = \sum_{n=1}^{2} \left(1{,}29 \sqrt{S_k^2 + n^2 P_k^2} + 2{,}55\ S_k + 7{,}2\ d\right)$$

$$= 1{,}29 \left(\sqrt{\frac{100}{s_k^2} + \frac{100}{p_k^2}} + \sqrt{\frac{100}{s_k^2} + \frac{400}{p_k^2}}\right)$$

$$+ \frac{51}{s_k} + 14{,}4\ d \qquad (9)$$

ermittelt wird.

In unserem Beispiel ist p_k = 16/cm und d = 0,02 $\sqrt{\text{Tt}/\gamma\ \pi}$ = 0,02 $\sqrt{33/1{,}14\ \pi}$ = 0,06 mm.

Nachdem man die Gleichung (9) in die Gleichung (8) eingesetzt hat, muß die Gleichung auf s_k gelöst werden. Dies ist gar nicht einfach, da die Gleichung eine implizite Gleichung ist. Hat man keinen Rechner, so kann dazu ein Nomogramm konstruiert werden. Heutzutage, wo sich die Personalcomputer auch in den Wirk- und Strickwarenfabriken schon relativ eingebürgert haben, kann diese ganze Berechnung in einem Programm zusammengefaßt werden.

Zurück zu unserer Aufgabe: Aus den Gleichungen (8) und (9) ergibt sich s_k = 27/cm, und man kann damit die Maschenlänge mit Hilfe der Formel GG errechnen:

$$l_{k1} = 1{,}29 \sqrt{\frac{100}{27^2} + \frac{100}{16^2}} + 2{,}55 \cdot \frac{10}{27}$$

$$+ 7{,}2 \cdot 0{,}06 = 2{,}31\ \text{mm},$$

$$l_{k2} = 1{,}29 \sqrt{\frac{100}{27^2} + \frac{400}{16^2}} + 2{,}55 \cdot \frac{10}{27}$$

$$+ 7{,}2 \cdot 0{,}06 = 3{,}06\ \text{mm}.$$

Zwischen den Flächenmassen der Rohware bzw. der ausgerüsteten Ware besteht der Zusammenhang (6). Ist M_k = 70 g/m^2, so ergibt sich daraus

$$M_n = \frac{M_k + 14{,}943}{1{,}552} = 54{,}73\ \text{g/m}^2$$

als Flächenmasse der Rohware. Da zwischen der gemessenen Flächenmasse M_m und der errechneten Flächenmasse M_s die Formel

$$M_s = 0{,}986\ M_m - 0{,}902 \qquad (10)$$

gültig ist (siehe Tabelle 4), die auf Grund der Formel FF errechnet wurde, ergibt sich aus den obenstehenden Angaben die kalkulierte Flächenmasse für die Rohware:

$$M_{sn} = 0{,}986 \cdot 54{,}73 - 0{,}902 = 53{,}06\ \text{g/m}^2.$$

Man kann aber auch mit der Gleichung

$$M_{sn} = (l_1 + l_2)\ s \frac{p\ \text{Tt}}{1000} \qquad (11)$$

arbeiten, wo jetzt ($l_1 + l_2$) nach der Formel FF kalkuliert werden kann, die für die Rohware die beste Schätzung ergibt.

Unser Ziel ist es jetzt, zu ermitteln, welche Maschenreihendichte s_b auf dem Kettenwirkautomaten eingestellt werden soll. Es kann mit der Voraussetzung gerechnet werden, daß auf der Maschine, auf der die Garne den Nadeln zugeführt werden und die Maschenlänge ausgemessen wird, die Maschenstäbchendichte p_b mit der Nadeldichte der Maschine identisch ist:

$$p_b = \frac{Ng}{2{,}54} = \frac{28}{2{,}54} = 11{,}0/\text{cm},$$

wobei Ng die Maschinenfeinheit, d.h. die Nadelanzahl pro Zoll, bedeutet.

Nach der Formel FF ist

$$l_{b1} + l_{b2} = \frac{40}{s_b} + \frac{35}{p_b} + 13{,}52\ d$$

$$= \frac{40}{s_b} + \frac{35}{11} + 13{,}52 \cdot 0{,}06$$

Tabelle 5 Gleichungen der Regressionsgeraden und die Korrelationskoeffizienten der Flächenmassen (ausgerüstete Ware)

Berechnungsformel	Gleichung der Regressionsgeraden und die Zone der 99,9% statistischen Sicherheit	$\bar{M}_m$	$\bar{M}_s$	Korrelationskoeffizient
D	$M_s = 0{,}732\ M_m + 9{,}950 \pm 22{,}066$	75,0	64,88	0,949
DD	$M_s = 0{,}814\ M_m + 11{,}656 \pm 17{,}595$		72,73	0,973
A	$M_s = 0{,}621\ M_m + 8{,}058 \pm 14{,}219$		54,64	0,969
G	$M_s = 0{,}833\ M_m + 10{,}328 \pm 19{,}270$		72,84	0,969
GG	$M_s = 0{,}950\ M_m + 9{,}733 \pm 21{,}556$		80,98	0,970
V	$M_s = 0{,}636\ M_m + 16{,}710 \pm 23{,}905$		64,44	0,923
F	$M_s = 0{,}731\ M_m + 9{,}292 \pm 14{,}394$		64,11	0,977
FF	$M_s = 0{,}756\ M_m + 9{,}168 \pm 14{,}914$		65,90	0,977

→

womit die berechnete Flächenmasse nach der Gleichung (11)

$$53{,}06 = \left(\frac{40}{s_b} + \frac{35}{11} + 0{,}811\right) s_b \frac{11 \cdot 33}{1000}$$

ist. Löst man diese Gleichung auf s_b, ist das Ergebnis $s_b = 26{,}5$/cm. Die einzustellenden Maschenlängen sind also – wieder aus der Formel FF –:

$$l_{b1} + l_{b2} = \frac{40}{26{,}5} + \frac{35}{11} + 0{,}811$$

$$\frac{l_{b2}}{l_{b1}} = \frac{4}{3}$$

Die Lösung dieses Gleichungssystems führt zu dem Ergebnis

$l_{b1} = 2{,}37$ mm und

$l_{b2} = 3{,}16$ mm.

Sie können auch auf pro-Rack-Werte umgerechnet werden, so daß die einzustellenden Werte also lauten:

bei der Legeschiene 1: $480\ l_{b1} = 1138$ mm/Rack,

bei der Legeschiene 2: $480\ l_{b2} = 1517$ mm/Rack,

wobei 1 Rack 480 Maschenreihen bedeutet.

Dieses Beispiel beruht auf wirklichen Betriebseinstellungen. Die tatsächliche Betriebserfahrung hat gezeigt, daß der Kettenwirkautomat auf eine Maschenreihendichte $s_b = 27$/cm eingestellt werden soll, um ein Rohgewirk herstellen zu können, das in relaxiertem Zustand durchschnittlich $M_n = 69$ g/m² Flächenmasse, $s_n = 24$/cm Maschenreihendichte und $p_n = 16$/cm Maschenstäbchendichte aufweist und $B_n = 152$ cm breit ist. Nach der gewöhnlichen Ausrüstung erhält man davon eine Fertigware, deren Flächenmasse in diesem Zustand durchschnittlich $M_k = 70$ g/m² und die Breite $B_k = 144$ cm, die Maschenreihendichte $s_k = 24$/cm und die Maschenstäbchendichte $p_k = 16$/cm sind.

Die von uns errechneten Werte sind statistisch begründet und haben ein bestimmtes Konfidenzintervall. Die Gleichung (7) hat z.B. ein Konfidenzintervall von $\pm 21{,}556$ (siehe Tabelle 5); wenn man damit also den Wert von M_s errechnet, erhält man das Ergebnis mit einer statistischen Sicherheit. Ist sie z.B. 99,9%, so liegt der Wert von M_s zwischen 54,6 und 97,8 g/m², mit einem Durchschnittswert von 76,2 g/m², den wir auch in der Berechnung verwendet haben. Tatsächlich beträgt die durchschnittliche Flächenmasse 70 g/m², die in die erwähnte Zone gut paßt. In ähnlicher Weise: Die Gleichung (6) ist – bei 99,9% statistischer Sicherheit – mit einem Konfidenzintervall $\pm$ 28,234 g/m² gültig. Der Wert von M_n, der mit dieser Formel errechnet wurde und sich für 54,73 g/m² bewiesen hat, kann zwischen 36,5 und 72,9 g/m² liegen. Wenn man in der Praxis 69 g/m² mißt, so paßt dieser Wert sehr gut in diese Zone.

Aus all dem Gesagten kann die Folgerung gezogen werden, daß auch die Werte, die man auf Grund der statistisch wahrscheinlichsten Zusammenhänge errechnet, nur als Orientierungswerte behandelt werden können und dürfen. Sie sind aber verwendbar, wenn man für eine neue Maschineneinstellung oder zu einem neuen Material Richtwerte haben will. In diesem Zusammenhang betonen wir gleichzeitig, daß das Konfidenzintervall stark verengt werden kann, wenn man die Regressionsgleichungen von mehreren Ausgangsdaten berechnet.

Die besprochene Berechnungsmethode ist ziemlich kompliziert. Der Verfasser hat deshalb ein Programm für einen Personalcomputer ausgearbeitet, mit dem dieses verwickelte Verfahren sehr einfach angewendet werden kann. Das Programm verlangt zuerst die Anfangsdaten:

die Garnfeinheit,
das Garnmaterial,
die Maschineneinstellung,
die verwendete Nadelzahl und
die gewünschte Flächenmasse.

Aus diesen Daten schreibt der Drucker in wenigen Sekunden als Ergebnis die Maschineneinstellungsdaten, wie

- die einzustellenden Maschenreihen/cm (Warenzugswert),
- die einzustellenden Maschenlängen pro Legeschiene in mm/Masche und in mm/Rack,
- die Flächenmasse der Rohware in g/m² und
- die wichtigsten Angaben der Fertigware, wie
  - die Maschenlängen pro Legeschiene in mm,
  - die Maschenreihenzahl/cm und
  - die Maschenstäbchenzahl/cm.

Bild 10 zeigt das Faksimile der vom Rechner ausgeworfenen Tabelle.

Einstellungsdaten der Maschine	
Garnfeinheit	33 dtex
Maschinenfeinheit	32 E
Verwendete Nadelzahl	2650
Maschenreihen	27,3/cm
Maschenlänge in L1	2,17 mm
Maschenlänge in L2	2,89 mm
Einlauf L1	1041,8 mm/Rack
Einlauf L2	1389 mm/Rack
Daten der Rohware	
Flächenmasse	59,2 g/m²
Daten der Fertigware	
Maschenlänge in L1	2,31 mm
Maschenlänge in L2	2,89 mm
Maschenreihen	24,6/cm
Maschenstäbchen	19,6/cm
Flächenmasse	77 g/m²

Bild 10 Vom Rechner ausgeworfene Tabelle über Einstellungsdaten der Maschine, Daten der Rohware und Fertigware

Zusammenfassung

Die Maschengeometrie gibt den Wirkerei- und Strickereifachleuten ein sehr gutes Mittel an die Hand, Maschenstoffe mit vorgeschriebenen Eigenschaften zu konstruieren. Diese Berechnungen sind aber manchmal ziemlich kompliziert, weshalb die Technologen diese Methoden oft nicht anwenden. Die Personalrechner, auch ihre kleineren und einfacheren Typen, erleichtern diese Arbeit und ermöglichen den Technologen, die Maschineneinstellungs-Parameter vor den Herstellungsproben näherungsweise zu kalkulieren. Dies hilft ihnen Zeit und Material sparen – zwei Faktoren, die heutzutage sehr teuer sind. Es lohnt sich also, die beschriebene Methode zu entwickeln, die notwendigen Rechnerprogramme auszuarbeiten und anzuwenden.

Literatur

[1] *Dalidowitsch, A. S.,* Osnowy teorii vjasanija. Legkaja Industrija, Moskwa, 1970.
[2] *Alison, G. L.,* Skinner's Silk and Rayon Record (1958), Nr. 3, p. 281.
[3] *Grosberg, P.,* J. Textile Inst. *51* (1960), Nr. 1, p. T39.
[4] *Vékássy, A.,* Kötött-hurkolt kelmék geometriai elemzése. (Geometrische Analyse von Maschenstoffen), Tankönyvkiadó, Budapest, 1973.
[5] *Fletcher, H. M., Roberts, S. H.,* Textile Res. J. *26* (1956), 889.
[6] *Korliński, W.,* Podstawy dziewiarstwa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1981.