

# UNTERSUCHUNG DES FLÜSSIGKEITSTRANSPORTS UND DES NETZVERMÖGENS VON TEXTILSTOFFEN

Von

G. LEPENYE, I. RUSZNÁK und G. ALBRECHT

Lehrstuhl für Organisch-chemische Technologie,  
Technische Universität Budapest

Eingegangen am 16. April 1981

## Einleitung

Flüssigkeitstransport und Netzvermögen von den verschiedenen Textilstoffen sind sowohl in Hinsicht auf ihre Bearbeitung als auf ihre Benutzung wichtige Eigenschaften.

Für die gute Färbung und Appretierung ist eine entsprechende und gleichmäßige Benetzung bei der Sättigung, weiterhin ein schneller Ausgleich der in der Größenordnung der Fadendicken auftretenden Flüssigkeitsaufnahmeunterschieden erforderlich. Trotz der Bedeutung dieser Umstände scheinen Flüssigkeitstransport und Netzvermögen von Textilstoffen bis jetzt kaum untersucht worden zu sein.

Besonders wenige Arbeiten behandeln die Frage der Anwendung der Benetzungstheorie von festen Stoffen auf Textilien und die Interpretation der praktischen Benetzungsprüfmethoden auf Grundlage der Theorie.

Im Laufe dieser Arbeit wurde es versucht die mit Hilfe der zur Untersuchung von Textilien allgemein gebrauchten Methode des vertikalen Wasseraufsaugens gewonnenen Ergebnisse auf Grund der Benetzungstheorie von festen Stoffen zu deuten.

Zum physikalisch-chemischen Charakterisieren der Neigung zur Benetzung von festen Stoffen gibt man die Oberflächenenergie bzw. den sich an der Phasengrenze Solidus-Flüssigkeit-Dampf ausbildenden Randwinkel ( $\theta$ ) an. Textilien sind poröse Stoffe, weshalb der Randwinkel, dessen Kenntniss auch zur Bestimmung der Oberflächenenergie nötig ist, wegen des kapillaren Flüssigkeitstransports nur an elementaren Fasern ermittelt werden kann.

Zur Beschreibung der mit kapillarem Saugen kombinierten Benetzung des Flüssigkeitstransports von porösen Stoffen zieht man im allgemeinen die Washburnsche Gleichung [1] heran. Bei der Ableitung dieses Zusammenhangs wird vorausgesetzt, daß der poröse Stoff mit einer Kapillare von Kreisquerschnitt modellierbar ist, in welcher die Flüssigkeitsströmung nach der Poiseuille'schen Gleichung erfolgt und die Triebkraft durch die vertikale Geschwindigkeit

keit des Flüssigkeitsstromes:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{2R\gamma_{LV} \cos \theta - R^2 \cdot \rho \cdot gh}{8\eta h} \quad (1)$$

wo  $R$  den äquivalenten kapillaren Radius,  $\gamma_{LV}$  die Oberflächenenergie der strömenden Flüssigkeit,  $\theta$  den Wert des sich in der Kapillare ausbildenden Randwinkels,  $\rho$  die Dichte,  $\eta$  die Viskosität der Flüssigkeit,  $h$  die Bewegung- (Steigung) der Flüssigkeit während  $t$  Zeit und  $g$  die Gravitationsbeschleunigung bedeuten.

Im Zähler von Gl (1) läßt sich — für »kleine  $h$  Werte« das zweite Glied der Gleichung (das Gewicht der Flüssigkeitssäule) vernachlässigend — der Zusammenhang integrieren. Man kommt zur Washburnschen Gleichung:

$$h^2 = \frac{R\gamma_{LV} \cos \theta}{2\eta} t \quad (2)$$

die zur Beschreibung der Benetzung von Papier-, Leder und Textilstoffen herangezogen werden kann [2—6].

Mit Hilfe der Richtungstangente  $h^2$  versus  $t$  (die sowohl graphisch als numerisch bestimmbar ist) kann man in Kenntniss von Randwinkel  $\theta$  den äquivalenten Kapillarradius ermitteln. LANGMAN [7, 8], MINOR und SCHWARZ [5] haben den Randwinkel  $\theta$  für elementare Fasern bestimmt und benutzten diesen Wert zur Ermittlung der  $R$ -Werte von verschiedenen Textilstoffen und Fäden.

Bei der Anwendung der Methode tritt das Problem auf, daß die elementaren Faser, der Faden und der Textilstoff Systeme von unterschiedlichen Oberflächeneigenschaften sind, der Randwinkel aber von der Rauigkeit und der Inhomogenität der Oberfläche abhängig ist [9]. Die Anwendung des an der Faser gemessenen Randwinkelwertes auf die beiden anderen Systeme ist folglich eine ziemlich grobe Annäherung. Man muß auch darüber nachdenken bis zu welchem  $h$ -Wert die Höhe der Flüssigkeitssäule (das zweite Glied des Zählers in Gl. [1]) vernachlässigt werden darf.

Dieser Fragenkomplex muß folglich für jedes System experimentell beantwortet werden. Diese Probleme entfallen und der Randwinkel der elementaren Faser muß nicht bestimmt werden sofern man dem Vorschlag Kozenys [10] folgt und nicht die Washburnsche Gleichung sondern unmittelbar Gl. (1) in folgender Form:

$$\frac{dh}{dt} = k \frac{h_e - h}{h} \quad (3)$$

wo  $h_e$  die Gleichgewichtssaughöhe der Flüssigkeit ist, anwendet.

Gl. (3) wurde auf Textilstoffe noch nicht angewandt, da die Berechnungen ohne Rechenmaschine sehr langwierig sind. Wir benutzten jedoch die

Gl. (3) nach Kozeny zur Kennzeichnung der Benetzung und des vertikalen Flüssigkeitstransports von Textilien.

### Experimenteller Teil

Die  $h$  versus  $t$  Kurven des vertikalen Flüssigkeitssoges (Transports) ermittelte man mit Hilfe des durch die ungarische Norm vorgeschriebenen Apparats [11]. Eine Modifizierung wurde jedoch unternommen damit die Luftfeuchtigkeit regulierbar werde. Hierzu wurde der Apparat in eine verschließbare Kammer gesetzt, in welcher die gewünschte Luftfeuchtigkeit mit Wasser-Glizeringemisch erzeugt wurde (Abb. 1).

Zur Messung des Flüssigkeitssoges diente eine wäßrige  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  Lösung von 5 g/l, deren zu den Rechnungen nötige Konstanten und ihre Bestimmungsmethoden in Tab. 1 enthalten sind. Die Versuche erfolgten an Baum-

Tabelle 1

Die in Gl. (3) vorkommenden Konstanten der  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  Lösung von 5 g/l am Temperatur 21 °C

Konstante	Bestimmungsmethode
Dichte ( $\rho$ ) 1000,7 (kg/m <sup>3</sup> )	mit Mohr—Westphalscher Waage
Viskosität ( $\eta$ ) 0,9331 · 10 <sup>3</sup> (Pa.s)	mit Höpplerschem Kugelviskosimeter
Oberflächenspannung ( $\gamma$ ): 74,81 (mN/m)	mit Stalagmometer

Tabelle 2

Fantasiennamen der bei dem Messen des Flüssigkeitssoges angewandten Stoffe

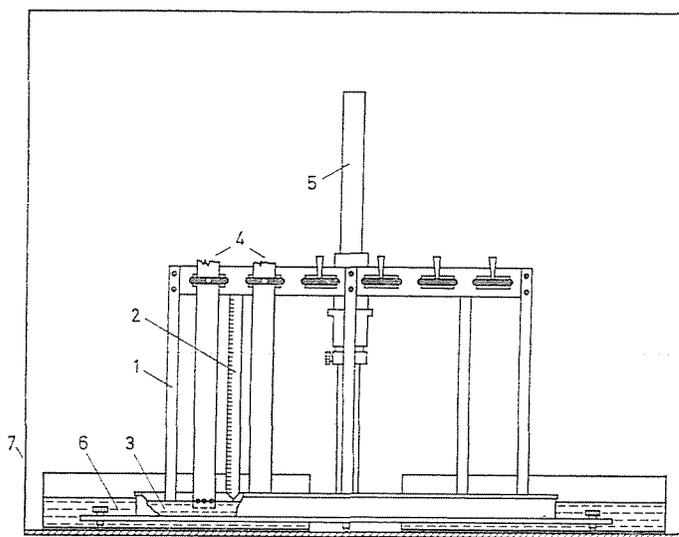
Name	Rohstoff Zusammensetzung (%)	Faden (Nm)	Bindungs- muster	Faden- einstellung L/V/dm	Masse (g/m <sup>2</sup> )	Ausrüstung
Bea	100 Baumwolle	L/V: 340	Leinen	228/206	130	gesengt, entschlichtet
Denver	100 Baumwolle	L: 60 (ge- kammt) V: 40	Leinen	385/230	118	gekocht, gebleicht
London	33 Baumwolle 67 Polyester	L/V: 60	Leinen	340/290	112	gesauert

wolle- und Baumwoll-Polyesterstoffen, deren Daten aus Tab. 2 entnehmbar sind. Der Flüssigkeitssog wurde an konditionierten Proben von  $2 \times 20$  cm in Kettenrichtung gemessen. Bei den Proben Bea und Denver wurden auch aus dem Stoff ausgefaserte Kettenfäden geprüft.

Da die Fäden nicht saugfähig sind, wurden sowohl die Stoff- als die Fadenproben einer Soxhletschen  $\text{CCl}_4$  Extraction unterworfen.

Bei den Stoffprüfungen wurden 8–12, bei den Fädenprüfungen 25–25 parallele Messungen unternommen. Die maximale Messdauer betrug 240 Minuten. Die aus den  $h$ - $t$  Wertpaaren bestehende Zahlenreihe wurde mit Hilfe von Handcomputern aufgearbeitet.

Die mit Hilfe des in Abb. 1 dargestellten Apparats erhaltenen Typenkurven sind in Abb. 2 und 3 ersichtlich. Die aus diesen  $h$  versus  $t$  Kurven und ihren Parallelen auf Grunde der Gl. (3) ermittelten Kennwerte sind in Tab. 3 und 4 zusammengefaßt. Bei den Berechnungen wurden die  $dh/dt$  Differenzialquotienten durch die Differenzenquotienten ersetzt und die Richtungstangenten  $-K$  und Axialschnitte ( $K \cdot h_e$ ) der Geraden  $\Delta h/\Delta t$  versus  $1/h$  bestimmt. Aus den Werten  $K$  läßt sich der Wert des äquivalenten Kapillarradius ( $R$ ) unmittelbar errechnen, daraus ergeben sich die Gleichgewichtssaughöhe ( $h_e$ ) und der dynamische Randwinkel. Mit Hilfe von  $h_e$  kann man dann auch den Wert des Gleichgewichtsrandwinkels erhalten.



- |                        |              |
|------------------------|--------------|
| 1 Probehälter          | 5 Stativ     |
| 2 Meßstab              | 6 Verdampfer |
| 3 Flüssigkeitsbehälter | 7 Kammer     |
| 4 Proben               |              |

Abb. 1. Apparat zur Untersuchung des vertikalen Flüssigkeitstransports

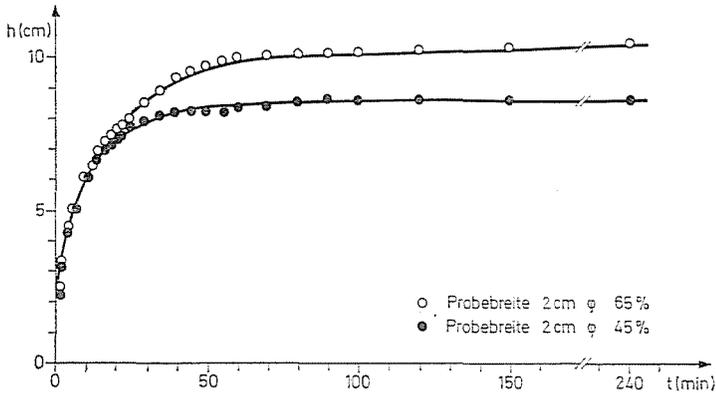


Abb. 2. Saug/Zeitkurven vom Denver-Stoff, gemessen im Apparat laut Abb. 1

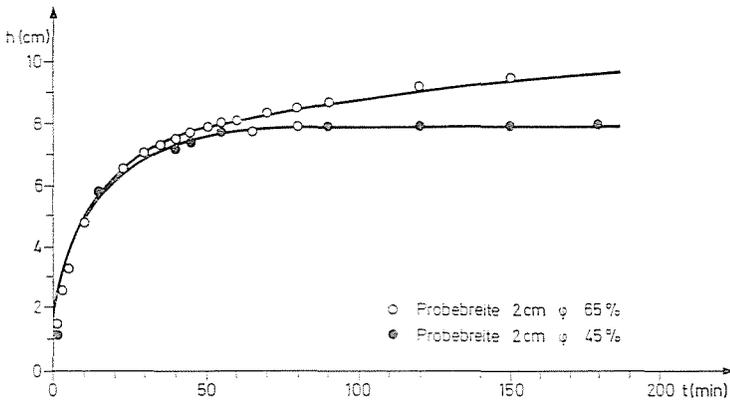


Abb. 3. Saug/Zeitkurven vom London-Stoff, gemessen im Apparat laut Abb. 1

### Diskussion

I. Gemäß Verlauf der in Abb. 2 und 3 dargestellten Kurven kann aus Tab. 3 und 4 festgestellt werden, daß die  $h_e$  Werte der aus den Stoffen ausgefaserten Faden erheblich niedriger sind als die entsprechenden Werte der Stoffe. Bemerkenswert ist die gute Übereinstimmung der gemessenen und errechneten Werte, wodurch es ermöglicht wird die Gleichgewichtswerte bei kürzerer Meßdauer rechnerisch zu ermitteln. Indirekter Weise wurde damit auch bewiesen, daß Gl. (3) während des ganzen Zeitintervalls den Vorgang besser beschreibt als Gl. (2). Dafür sprechen auch die Korrelationskoeffizienten der in der Bearbeitung  $\Delta h/\Delta t$  versus  $1/h$  erhaltenen Geraden. Die Korrelationskoeffizienten der zur Bestimmung der in Tab. 3 dargelegten Daten herangezogenen Geraden sind in Tab. 5 vorgeführt.

Tabelle 3

Charakteristische Werte des vertikalen Flüssigkeitstransports und der Benetzung der gebleichten und mit Tetrachlorkohlenstoff extrahierten Denver und Bea Baumwollstoffe und ihrer Kettengarne. (Auf Grund der Gl. (3) aus den Daten der Tab. 5—8 mit Rechenmaschine ermittelt)

Stoff	Gleichgewichts- saughöhe: $h_g$ (cm)		K Geschwin- digkeitskon- stante	Äquivalenter Kapillar- radius R. $10^4$ (cm)	Randwinkel (Gleichge- wicht)	$\theta$ Grad dynamisch	Bemerkung
	gemessen	ge- rechnet					
Bea							Luftfeuchtigkeit 65% Temperatur 21 °C
Faser	8,4 $\pm$ 0,3	8,5	2,71	14,0 $\pm$ 1,3	63 $\pm$ 3	85 $\pm$ 1	
Stoff	18,5 $\pm$ 0,2	17,4	1,06	9,0 $\pm$ 1,5	54 $\pm$ 11	84 $\pm$ 1	
Denver							
Faser	7,5 $\pm$ 0,8	7,0	1,75	12,0 $\pm$ 0,3	71 $\pm$ 4	87 $\pm$ 1	
Stoff	10,0 $\pm$ 0,3	9,2	0,72	7,4 $\pm$ 0,2	74 $\pm$ 1	87 $\pm$ 1	

Tabelle 4

Charakteristische Werte des vertikalen Flüssigkeitstransports und der Benetzung der gebleichten Denver (100% Baumwolle) und London Stoffe (33% Baumwolle, 67% Polyester) (Auf Grund der Gl. (3) aus den Daten der Tab. 1—4 mit Rechenmaschine ermittelt)

Stoff	Luft- feuchtig- keit (%)	Gleichgewichts- saughöhe: $h_g$ (cm)		K Geschwin- digkeitskon- stante	Äquivalenter Kapillar- radius R. $10^3$ (cm)	Randwinkel Gleich- gewicht	$\theta$ Grad dynamisch	Bemerkung
		gemessen	ge- rechnet					
Denver	45	8,8 $\pm$ 0,3	8,62	0,8903	7,84	63,0 $\pm$ 2	87,5 $\pm$ 3	Temperatur 21 °C
	65	10,7 $\pm$ 0,2	10,21	0,5606	6,53	62,5 $\pm$ 1,5	87,0 $\pm$ 3	
	100	—	13,32	0,0021	0,40	77,8	87,9	
London	45	7,7 $\pm$ 0,3	8,99	0,3323	4,98	75,5 $\pm$ 3	88,0 $\pm$ 6	Temperatur 21 °C
	65	10,6 $\pm$ 0,4	9,85	0,4082	5,59	67,0 $\pm$ 3	87,5 $\pm$ 9	

II. Aus den Daten der Tab. 3 und 4 läßt sich weiterhin feststellen, daß sowohl die Luftfeuchtigkeit wie die Vorbehandlung (Extraktion mit Löse-mittel) die Gleichgewichtssaughöhe beeinflussen.

Die K Werte der für die anfängliche Geschwindigkeit des Vorganges kennzeichnenden Geschwindigkeitskonstanten sind, wie erwartbar, für Baum-wollstoffe höher als für Baumwolle-Polyesterstoffe. Die sich für Fäden er-gebenden Werte sind immer höher als die entsprechenden Werte der Stoffe. Die Fadenstruktur spielt folglich in dem Wassersaugen eine bedeutendere bestimmende Rolle als die Stoffstruktur. Die Abweichungen der messbaren Werte sind nämlich sehr groß, beim »Bea« Stoff betragen sie  $K=1,06 \cdot 10^{-2}$ ,

beim »Bea« Faden  $K=2,71 \cdot 10^{-2}$ . Die Wirkung der Luftfeuchtigkeit ist ebenfalls erheblich.

III. Die aus den Axialquerschnitten der  $\Delta h/\Delta t$  versus  $1/h$  Geraden bestimmbaren Werte des  $R$  äquivalenten Kapillarradius stimmen im Fall von Stoffen größenordnungsmäßig mit Langmans Daten [7] überein.

Interessant ist es zu bemerken, daß die Extraktion mit Lösemittel den für den Denver-Stoff bestimmten ( $R$ ) Wert von  $6,5 \cdot 10^{-3}$  cm auf  $6,4 \cdot 10^{-4}$  cm verminderte. Damit wird die bedeutende Rolle der Oberfläche demonstriert.

Verglich man die Werte des Stoffes und der aus dem Stoff ausgefaserten Faden, so fand man im Gegensatz zu den Erwartungen, daß die für die Stoffe erhaltenen  $R$  Werte erheblich niedriger als diejenige für Fäden waren. Daraus folgt, daß die Kapillaren zwischen den Fäden eher mit Flüssigkeitsmembrane als mit Kreisschnittkapillare modellierbar sind (Abb. 4).

Die Daten in Tab. 4 zeigen deutlich, daß sich auf Einwirkung der Luftfeuchtigkeit die Kapillaren schließen. Diese Erscheinung ist bei polyesterhaltigen Stoffen niedriger als bei Baumwolle, da Polyester infolge der geringen Wasseraufnahme nicht quillt.

IV. Interessant ist es, daß die aus der  $h_e$  Konstante bestimmten (angenommenen) Gleichgewichtsrandwinkel kleiner sind als die dynamischen Randwinkelwerte. Dies stimmt wohl mit den bei der Randwinkelhysterese an anderen Systemen gewonnenen Erfahrungen überein.

Die Werte der dynamischen Randwinkel sind dermaßen hoch, daß auch einige Grade Streuung in Betracht nehmend, man feststellen kann, daß die gefundenen Abweichungen keine Erklärung für die in der Praxis beobachtbaren Differenzen in der Benetzung liefern. Daraus folgt, daß das Kapillarsystem (im Falle der Bedingung  $\theta_d < \pi/2$ ), d.h. die Struktur von Fäden und Stoff auf die Benetzung von Textilien sehr großen Einfluß besitzt.

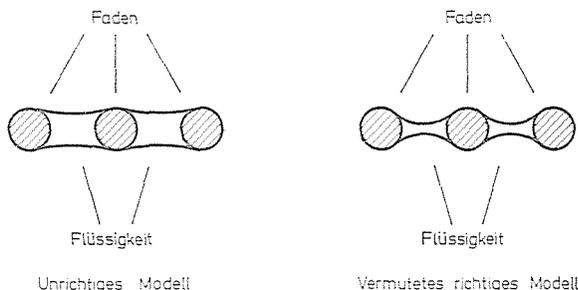


Abb. 4. Querschnitt der Kapillaren zwischen den Fäden der Textilien

## Zusammenfassung

Zur Untersuchung der Ergebnisse des vertikalen Flüssigkeitssoges von Textilien (Fäden und Gewebe) kann für das ganze Zeitintervall der Zusammenhang  $\Delta h/\Delta t$  versus  $1/h$ , wo  $h$  die zur Zeit  $t$  gehörende Soghöhe bedeutet, erfolgreich angewandt werden. Aus den so ermittelten Saugdaten läßt sich der Randwinkel, der äquivalente Kapillarradius und die äquivalente Soghöhe errechnen. Das neue Aufarbeitungsverfahren begünstigt die Prüfung des Benetzungs- und Flüssigkeitstransportmechanismus.

## Literatur

1. WASHBURN, E. W.: Phys. Rev. **17**, 273 (1921)
2. PECK, R. L.—MCLEAN, D. A.: Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. **6**, 85 (1934)
3. ROBINSON, C.—TOPP, N. E.—BREACKBANC, M. E.: Discussion Faraday Soc. p. 273 (1948)
4. HOLLIES, N. R. S.—KAESSINGER, M. M.—BOGATY, H.: Text. Res. J. **26**, 829 (1956)
5. MINOR, F. W.—SCHWARTZ, A. M.—DUCLES, L. C.: Am. Dyest. Rep. **49**, 419 (1960)
6. VAVRUCH, J.—HEJTMANEK, M.: Chem. Listy **49**, 200 (1955)
7. LANGMAN, W.: Bayer. Farben Revue **9**, 13 (1970)
8. LANGMAN, W.: VI. Int. Kong. Grenzflächenaktive Stoffe, Zürich (1972) Band (II. 847)
9. WENZEL, R. N.: Ind. Eng. Chem. **28**, 988 (1936)
10. KOZENY, J.: Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien, Abt. II. A. 136 (1927) 271
11. MSZ. 101 (9—74)

Dr. György LEPENYE Prof. Dr. István RUSZNÁK Gabriella ALBRECHT	H-1521 Budapest
--	-----------------