

Einfluß variierter Anbaubedingungen auf die Faserausbildung zweier Faserhanfsorten

UTE MENGE-HARTMANN und FRANK HÖPPNER

Institut für Pflanzenbau

Einleitung

Der Anbau heimischer Faserpflanzen, wie Lein und wie dem etwa doppelt so ertragreichen Faserhanf, könnte der Landwirtschaft neue Abnehmer im Nicht-Textilbereich der Industrie verschaffen. Beide Pflanzenarten spielen jedoch als nachwachsende Rohstoffe weder in Deutschland noch in anderen EU-Staaten zur Zeit eine große Rolle. Dafür dürfte es vielfältige Ursachen geben, wie z. B. das Bedürfnis der Industrie nach einer garantierten Versorgung mit Faserrohmaterial, hohe Investitionskosten, die Unsicherheit politischer Entscheidungen im Bezug auf Agrarsubventionen und nicht zuletzt ein schlechtes Image pflanzlicher Fasern (van Dam, 1995). Dieses Image wird im wesentlichen durch die veränderliche Qualität pflanzlicher Fasern verursacht, die nicht nur durch die Sorte, sondern auch durch die Anbaubedingungen (z. B. Aussaattermin, Bestandesdichte, Stickstoffdüngung, Niederschlagsmenge) bedingt sein kann, daneben durch Erntebedingungen (z. B. Erntezeitpunkt, Ernteverfahren) sowie durch Faserextraktionsverfahren (z. B. diverse Röstverfahren, mechanische Entholzung, Dampfdruck-, Tensid-, Ultraschallaufschluß).

Auch die Definition der Qualität von Hanffasern ist sehr unterschiedlich und richtet sich nach dem jeweiligen Verwendungsbereich. So können z. B. für non wovens oder gewebte textile Flächengebilde im technischen Bereich die Teilbarkeit der Faserbündel, Faserlänge, -durchmesser und -wandstärke sowie die Festigkeit Qualitätsparameter sein. Für den Einsatz in Verbund- oder Dämmstoffen sind die Oberflächeneigenschaften oder die Zusammensetzung der Faserfraktion aus Primär- und Sekundärfasern ausschlaggebend.

Um agronomische Voraussetzungen für einen möglichst einheitlichen Faserrohstoff zu erarbeiten, wurde der für Faserpflanzen wichtige Einfluß von Bestandesdichte und Stickstoffdüngung auf einige der oben aufgeführten Qualitätsparameter an zwei Faserhanfsorten untersucht. Es sollte dabei auch geprüft werden, ob durch eine geeignete Kombination dieser Faktoren die Qualität positiv beeinflussbar ist.

Material und Methoden

In den Jahren 1992 und 1993 wurden mit der mittelfrühen monözischen Faserhanfsorte Felina 34 und der spät reifenden diözischen Sorte Kompolti Hybrid TC Feldversuche unter den von Höppner und Menge-Hartmann (1994) beschriebenen Bedingungen durchgeführt. Die Aussaat erfolgte in dreifacher Wiederholung in den drei Aussaatstärken 150,

250 und 350 Samen/m² bei einem konstanten Reihenabstand von 12,5 cm, entsprechend den angestrebten Bestandesdichten BD1, BD2 und BD3. Innerhalb dieser drei Bestandesdichten wurde die Stickstoffdüngung in den drei Stufen: „ohne Stickstoff“ (N0), 60 kg N/ha (N60) und 120 kg N/ha (N120) appliziert. Die Niederschläge lagen während der Vegetationsperiode des Hanfs 1993 mit 381 mm über dem langjährigen Mittel (321 mm), 1992 mußten wegen sehr geringer Niederschlagsmengen (182 mm) 125 mm zusätzlich beregnet werden.

Die Ernte monözischer bzw. weiblicher Pflanzen erfolgte bei Faserreife, d. h., sobald mehr als die Hälfte der männlichen Blütenstände zu welken und die Früchte zu reifen begannen.

Zur mikroskopischen Untersuchung der Stengelstruktur und der Faserausbildung wurden pro Versuchsglied jeweils 5 frisch geernteten Pflanzen 2 mm dicke Querschnittsscheiben aus der Mitte des "technischen" Stengels (Keimblattnarbe bis Sproßspitze) entnommen, mit phosphatgepuffertem Formaldehyd-Glutaraldehyd 24 Stunden fixiert (Karnovsky, 1965) und in Aceton ansteigender Konzentration (30...100 %, je Stufe 15 Min.) entwässert. Die Überführung in LR White Kunststoff erfolgte stufenweise (Aceton/LR White (2/1), zweimal Aceton-LR White-Mischung/reines LR White (1/1), reines LR White) in jeweils fünftägigem Wechsel bis zur Flacheinbettung und Polymerisation in Aluminiumschälchen (3 cm x 2 mm). Nach dem Schleifen mit einer Topfschleifmaschine und Polieren mit Diamantschleifpaste (Korngröße 1 µm) wurden die 1 bis 1,5 mm dicken Kunststoffscheiben mit 0,5 %iger wässriger Toluidinblaulösung gefärbt (2 Std., RT) und dann im Hellfeld bei 63- und 100facher Vergrößerung mikroskopiert.

Je nach Größe der Einbettungsform lassen sich somit beliebig viele der relativ großen Querschnitte in einem Arbeitsgang fertigstellen. Eine bereits ausgewertete Färbung kann abgeschliffen und, falls notwendig, eine weitere spezifische Färbung am selben Präparat durchgeführt werden.

Neben der Anzahl von Primär- und Sekundärfaserschichten wurde auch deren Schichtdicke und diejenige des Holzteils mit Hilfe eines Okularmikrometers ermittelt (Mittelwert aus jeweils 5 Meßpunkten pro einzelner Stengelquerschliff). Die Primärfaserfüllung, d. h. die Faserwandstärke, wurde visuell bonitiert mit 1 bis 6 (1: alle Primärfasern eines Stengelquerschliffs gut gefüllt, d. h., Verhältnis Wandstärke zu Faserlu-

men > 1; 2: zwei Drittel aller Fasern gut gefüllt, 3: die Hälfte aller Fasern gut gefüllt...6: alle Fasern sehr schlecht gefüllt).

Metrische Werte für Wandstärke und Zellgröße (radial und tangential, da keine runde Zellform) von Primärfasern der Stengelmittle wurden von Fotos der Versuchsglieder der mittleren Bestandesdichte (BD2) ermittelt (jeweils 10 Primärfasern von je 3 Individuen). Im Ergebnisteil werden nur die radialen Durchmesser aufgeführt, da sie sich nicht deutlich von den tangentialen unterscheiden.

Die Festigkeit von Fasern aus der Stengelmittle wurde durch Zugversuche mit 1 bis 2 mm breiten Grünhanf-Rindenstreifen der Sorte Kompolti Hybrid TC (nur mittlere Bestandesdichte BD2, 1993) der drei Düngungstufen N0, N60 und N120 (pro Düngungsstufe 25 bis 30 Einzelprüfungen) mit einem Automatischen Materialprüfsystem 1.04, Instron Corporation Serie IX (Faserinstitut Bremen) untersucht und als maximale Feinheitfestigkeit in cN/tex angegeben. Die Prüflänge betrug 30 mm, die Abzugsgeschwindigkeit 3mm/min. Die Feinheitbestimmung (in tex) erfolgte durch eine Gewichtsbestimmung des Streifens mit einer Genauigkeit von ca. 50µg und eine Längenmessung des Streifens mit einer Genauigkeit von 1 mm (65 % RF, 20 °C).

Zur mikroskopischen Untersuchung der Stengel- und Faserstruktur an der Stengelbasis wurden von jeweils 3 Stengeln aller Prüfglieder der mittleren Bestandesdichte Handschnitte 5 cm oberhalb der Keimblattnarbe angefertigt und die Schichtenanzahl und -dicke der Primär- und Sekundärfasern bestimmt.

Zusätzlich zum Gesamtfasergehalt (Höppner und Menge-Hartmann, 1994) wurde die quantitative Zusammen-

setzung der Faserfraktion aus Primär- und Sekundärfaser der Sorte Kompolti Hybrid TC (nur 1993) festgestellt. Hierzu wurden die „technischen“ Stengel längs halbiert und mit Hilfe einer Rundbiegemaschine entholzt. Die Trennung in Primär- und Sekundärfaserschicht erfolgte durch Ziehen der Rindenstreifen über einen 1 cm-Rundstab, die Gewinnung von „Reinfaser“ (Bredemann et al., 1961) durch einstündiges Auskochen in 2 %iger Natronlauge und anschließendes Ausspritzen mit Wasser. Zur Bestimmung des prozentualen Fasergehalts wurden die Faser trockenmassen auf die Stengeltrockenmasse bezogen.

Varianz- und Korrelationsanalysen wurden mit dem Statistikprogramm SAS durchgeführt. Mittelwertvergleiche der Haupteffekte zur Prüfung auf Signifikanz erfolgten getrennt nach Sorte und Jahr mit dem Duncan-Test, wobei mit denselben Buchstaben gekennzeichnete Mittelwerte jeweils nicht signifikant voneinander unterschieden waren. Es wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von P=0,05 zugrundegelegt.

Ergebnisse und Diskussion

Die angestrebten Bestandesdichten von 150, 250 und 350 Pfl./m² konnten nur teilweise realisiert werden. Aufgrund des Konkurrenzverhaltens der Pflanzen erfolgte nämlich vom Aufgang bis zur Ernte in der Regel mit steigender angestrebter Bestandesdichte sowie steigender Stickstoffdüngung eine Reduktion der Pflanzendichte. Im Jahr 1992 waren es maximal 10 %. Dagegen lagen die Werte im niederschlagsreichen Versuchsjahr 1993 z. B. in der Bestandesdichte 350 Pfl./m² bei Felina 34 um 39 % und bei Kompolti Hybrid TC um 48 %. Die höchste N-Düngung verursachte eine Reduktion von sogar 50 % (Höppner und Menge-Hartmann, 1994, vgl.

VARIANTEN Bestandesdichte (BD) Stickstoffstufe (N)	Primärfaser						Sekundärfaser		Holzschichtdicke		Stengeldurchmesser	
	Schichtenanzahl		Durchmesser (radial)		Füllung (Boniturwerte)		Schichtenanzahl		µm		mm	
	1992	1993	1992	1993	1992	1993	1992	1993	1992	1993	1992	1993
FELINA 34												
BD 1	7,6a	8,2a	25,3	24,5	3,8a	2,8a	0,2a	0,4a	673,3a	701,0a	5,6a	6,1a
BD 2	7,3ab	7,4b	23,9	25,5	3,1b	2,6a	0,1a	0,5a	609,8a	662,7a	4,9b	5,8a
BD 3	7,1b	7,5ab	22,9	25,6	2,5c	2,7a	0,1a	0,5a	648,0a	674,0a	4,6b	5,7a
N 0	7,2a	7,3a	22,9	21,4	3,0ab	2,1a	0,1a	0,1a	627,3a	482,5a	4,4a	4,6a
N 60	7,4a	7,8ab	24,2	27,0	2,8a	2,7b	0,1a	0,3a	648,5a	675,6b	5,0b	6,2b
N 120	7,4a	8,1b	25,1	27,6	3,6b	3,4c	0,2a	1,0b	656,4a	875,6c	5,6c	6,8c
KOMPOLTI HIBRID TC												
BD 1	9,0a	9,2a	22,4	25,3	2,3a	2,8ab	1,9a	2,9a	726,3a	1048,8a	6,3a	7,3a
BD 2	7,4b	8,4b	21,7	25,7	2,3a	2,7a	1,6a	3,7a	608,8b	1112,2a	5,2b	7,1a
BD 3	8,0ab	8,5ab	20,6	24,9	2,1a	3,2b	1,8a	4,0a	644,4ab	1092,3a	5,5ab	7,3a
N 0	7,7a	8,6a	20,6	23,3	2,0a	2,9a	1,8a	1,8a	633,9a	842,3a	4,9a	6,0a
N 60	8,2ab	8,7a	21,7	25,4	2,2ab	2,8a	1,6a	3,8b	689,8a	1100,6b	5,6b	7,3b
N 120	8,4b	8,8a	22,2	27,2	2,5b	3,0a	1,9a	5,2c	697,4a	1326,7c	6,4c	8,5c

Tabelle 1: Primär- und Sekundärfaserparameter, Holzschichtdicke und Stengeldurchmesser von Felina 34 und Kompolti Hybrid TC

auch van der Werf, 1994, sog. "selfthinning"). Überwiegend wurden in beiden Versuchsjahren deutlich abgestufte Bestandesdichten erzielt. Lediglich bei der Sorte Kompolti Hybrid TC waren 1993 zur Zeit der Ernte in BD3 weniger Pflanzen als in BD2 zu verzeichnen (106 Pfl./m² bzw. 125 Pfl./m²).

Sproßanatomie

Die Pflanzen der Sorte Kompolti Hybrid TC wurden insbesondere 1993 erheblich größer als diejenigen von Felina 34 (Höppner und Menge-Hartmann, 1994) und erreichten größere Stengeldurchmesser (Tabelle 1). Die weitgehend hohlen Stengel bildeten vor allem 1993 mit zunehmender N-Düngung einen kräftigeren *Holzkörper* aus (Tabelle 1), der sich aus großlumigen Gefäßen, dünnwandigen, nur 0,55 mm langen Librifasern (de Meijer und van der Werf, 1994) und Parenchymzellen zusammensetzte (Abbildung 1).

Nach außen schließt sich dem Kambium die Rinde mit dem Phloem und zellulosereichen *Bastfasern* an, die aus den wertvollen *Primär- oder Langfasern* und variablen Anteilen der für die meisten Einsatzbereiche unbrauchbaren *Sekundär- oder Kurzfasern* bestehen (von Sengbusch und Handke, 1956).

Das Auftreten dieser beiden unterschiedlichen Fasertypen kann Ungleichmäßigkeiten in der Faserrohware verursachen und damit die Faserqualität negativ beeinflussen.

Die Länge der bereits aus dem Prokambium hervorgehenden einzelnen *Primärfasern* schwankt stark in Abhängigkeit von der Lage der Fasern im Stengel und von den Kultivierungsfaktoren (Herzog, 1926). Die längsten und besonders gut entwickelten Fasern fand Menzel (1937) etwa in der Stengelmittle, also in der Stengelregion, die in der Zeit des stärksten Wachstums aufgebaut wird. Literaturangaben zur Primärfaserlänge liegen zwischen 5 mm und 55 mm (Herzog, 1926). Eigene Messungen der Faserlängen wurden nicht durchgeführt.

Die Stengelmittle weist auch die höchsten Faserprozentage auf. Von dort nehmen sie zur Sproßspitze und -basis hin ab, und zwar zur Spitze etwas stärker als zur Basis (Bredemann, 1940). Die Faserfestigkeit ist ebenfalls in der Stengelmittle am höchsten. Bei einer Dreiteilung der Hanfstengel und entsprechender Sortierung ergeben die Mittelstücke das hochwertige Spinnmaterial, gefolgt von den Spitzen- und schließlich den Wurzelstücken (Funder, 1973).

Die Literaturangaben über die Zelldurchmesser von Primärfasern sind stark unterschiedlich, im Mittel werden z. B. 22 µm (Herzog, 1926, min.: 10, max.: 59 µm) angegeben. Wir konnten dies bei unseren Untersuchungen bestätigen (s. u.). Die Sekundärwände der Primärfasern sind meist dick (3 bis 5

µm; Tobler, 1951) und komplex aufgebaut. Sie zeigen sowohl bei lichtmikroskopischer als auch bei rasterelektronenmikroskopischer (REM) Beobachtung (Abbildung 2 bzw. Abbildungen 3a, b) eine deutliche Schichtung. Im Lichtmikroskop erscheinen die zellulosehaltigen Schichten abwechselnd stark und schwach doppelbrechend und variieren in ihrer Färbbarkeit, was möglicherweise durch die unterschiedliche Dichte der Zellulosematrix in den aufeinanderfolgenden Lamellen bedingt wird (Esau, 1969). Bei REM-Betrachtung ist zu erkennen, daß die Außen- sowie die Zentralschicht, die die Hauptmasse der Zellwand bildet, aus zahlreichen Zellulosefibrillenlamellen aufgebaut ist.

Die Primärfasern sind in Bündelkomplexen angelegt, die in ihrer Schichtenzahl entsprechend der mehr oder weniger starken Furchung der Hanfstengel variieren. Die Anzahl der Fasern eines Komplexes kann zwischen 2 und 20 schwanken (Anonym, 1962). Die weiter außen liegenden Faserkomplexe sind meist bandartig zusammengeschlossen mit nur relativ wenigen dazwischen eingestreuten Parenchymzellen, die näher zum Stengelinneren liegenden Faserbündel sind in der Regel kleiner und haben meist graduell abgestuft dünnere Zellwände (Abbildungen 1, 6, 7).

Als technisch gut verwertbare Struktur von Primärfaserbündeln gelten bandartige Faserbündel sowie geschlossene Bündel aus Fasern mit dicker Zellwand und kleinem Lumen (Anonym, 1962). Für derartige, aus einzelnen oder mehreren Faserbündeln bestehenden Faserverbände, die sog. technischen Fasern, werden für diverse Hanfherkünften Längen von 100 bis 300 cm angegeben. Die technische Faser verliert ihren inneren Zusammenhang nicht, weil im Gegensatz zum Flach die Faserbündel keine einzelnen abgeschlossenen Bänder bilden, sondern durch Anastomosenbildung ein Netzwerk formen können (Menzel, 1937).

Die *Sekundärfasern* sind nur etwa 2 mm lang (von Sengbusch und Handke, 1956), klein, eckig und meist dünnwandig und haben eng gepackte, schwer unterscheidbare Lamellen. Die Sekundärfaserbildung wird durch das Dickenwachstum des Stengels verursacht. Sie beginnt in den ersten ausgewachsenen Internodien und wird während des gesamten Pflanzenlebens fortgesetzt, so daß die größten und dickwandigsten Fasern an der Stengelbasis liegen (Kundu, 1942). Die Sekundärfaserkomplexe sind durch biologische oder chemische Verfahren gar nicht oder nur in geringem Maße zerlegbar und fallen daher bei der Bearbeitung zum großen Teil nur als Werg an (Menzel, 1937; Haraszty und Jakobey, 1968).

Einfluß auf Qualitätsparameter der Fasern

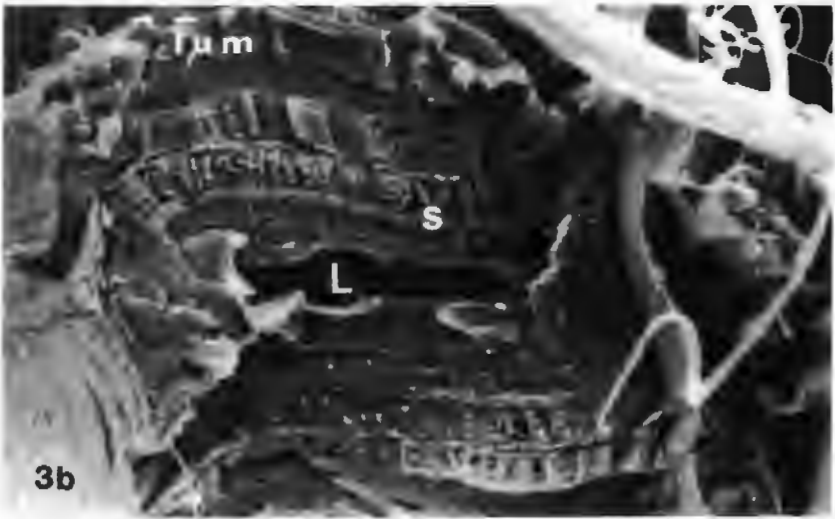
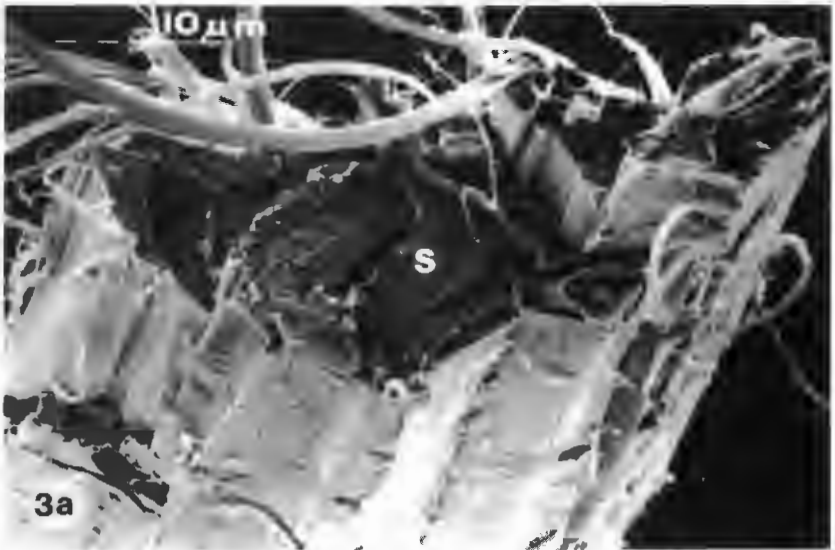
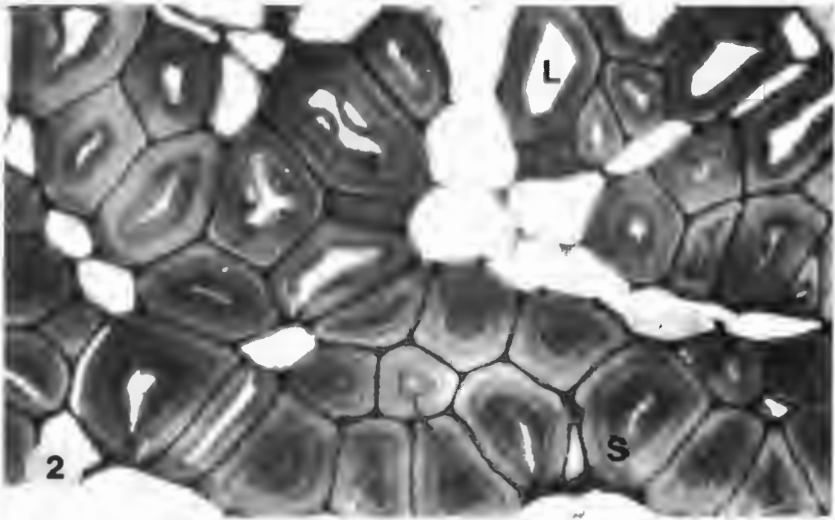
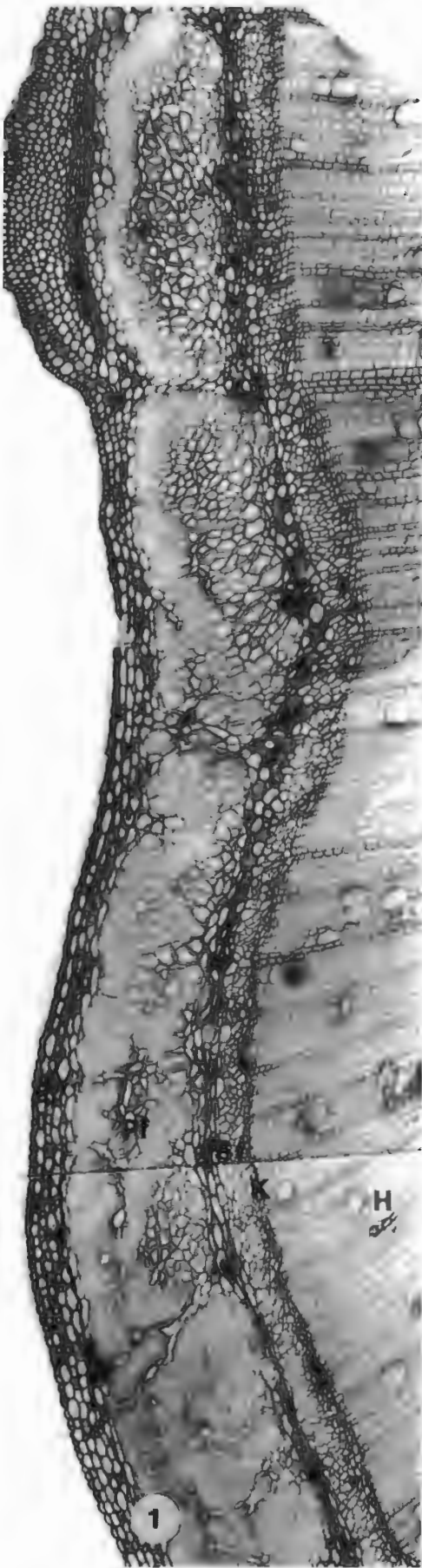
Bereits Tobler (1951) beobachtete, daß die Faserausbildung bei Hanf stets außerordentlich abhängig vom Standort

Abbildung 1: Holz (H)- und Bastteil mit Primärfasern (Pf) und Sekundärfasern (Sf), K = Kambium, E = Epidermis

Abbildung 2: Überwiegend gut gefüllte Primärfasern mit kleinem Lumen und deutlicher Schichtung der dicken Sekundärwände (S), L = schlecht gefüllte Faser mit großem Lumen und dünner Wand

Abbildungen 3a und 3b: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines schockartig zerrissenen Primärfaserbündels (a), bzw. einer einzelnen Faser (b) mit gut sichtbaren Zellulosefibrillen der Sekundärwand (S), L = Zellumen





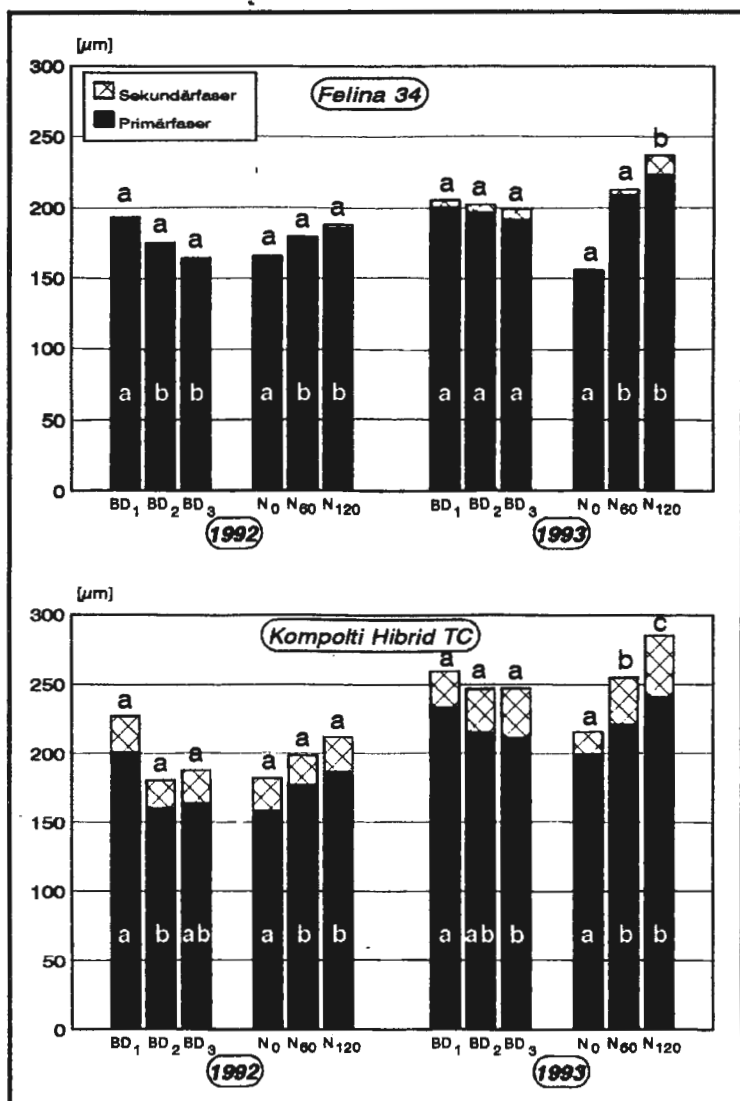


Abbildung 4: Faserschichtdicken der Stengelmitte von Felina 34 und Kompolti Hybrid TC

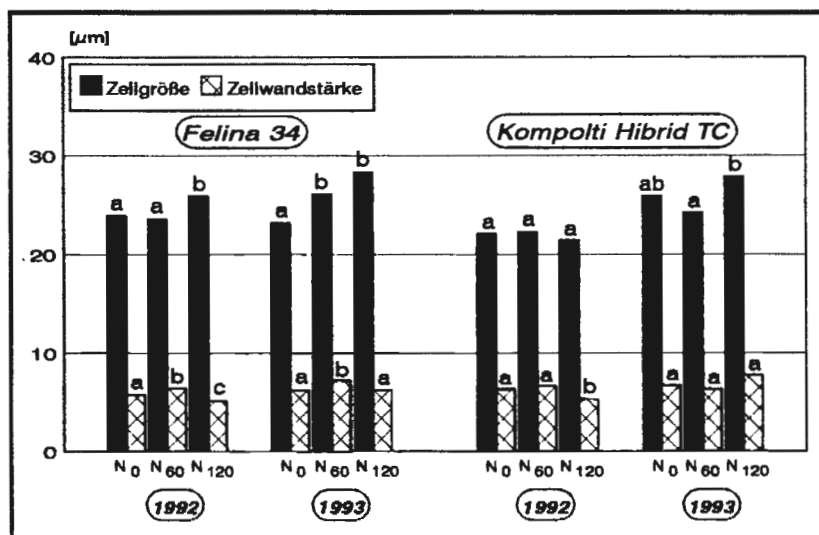


Abbildung 5: Größe und Wandstärke von Primärfaserzellen der Stengelmitte von Felina 34 und Kompolti Hybrid TC (BD2)

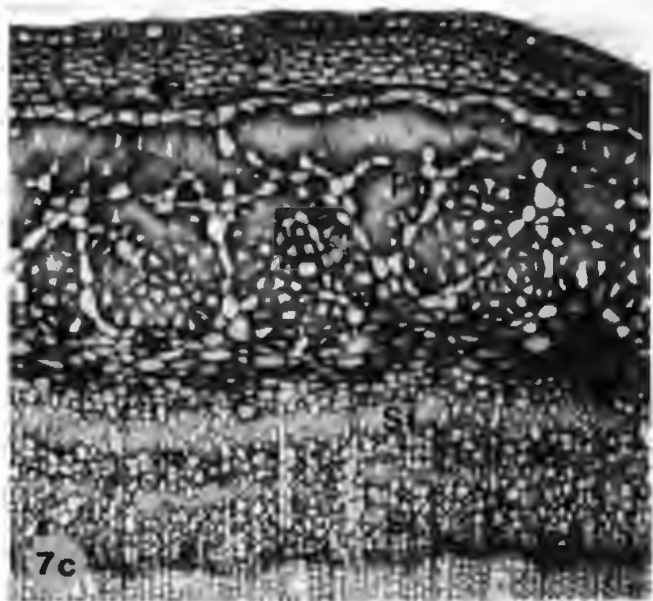
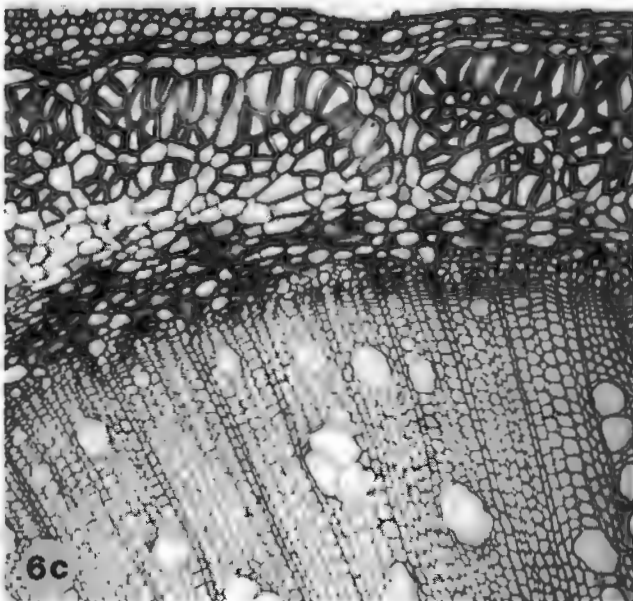
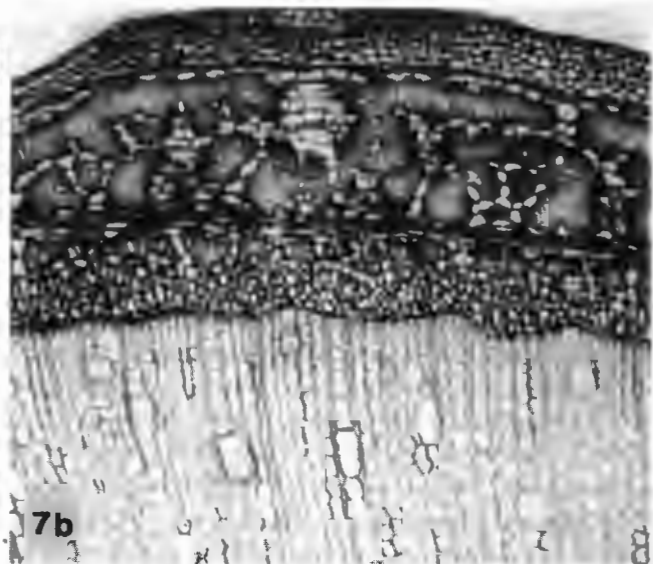
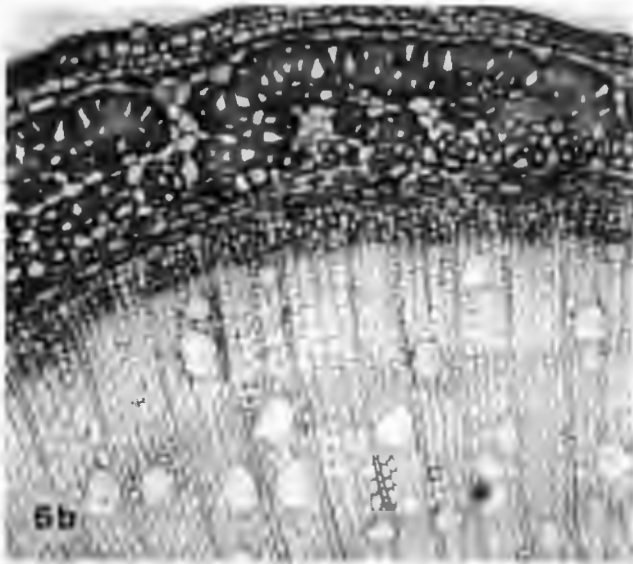
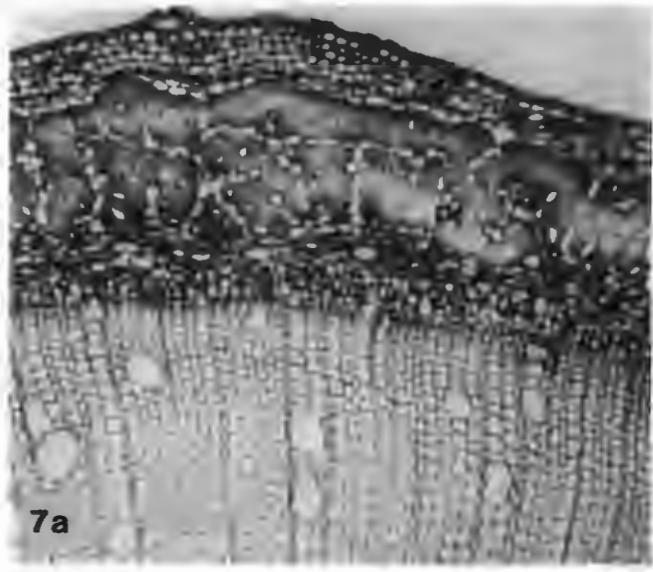
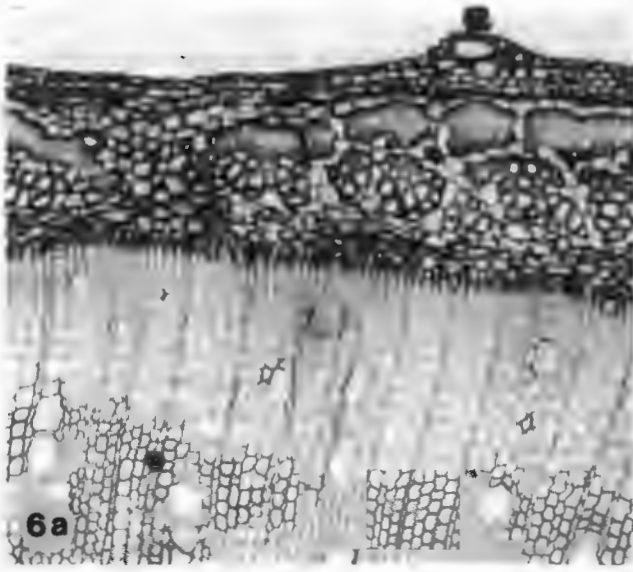
der Pflanzen ist und daß "ganz ähnliche (Faserausbildungs-) Unterschiede wie sie bei Rassen vorliegen, auch als Standortunterschiede auftreten können". So zeigte auch hier die mikroskopische Untersuchung der Stengelmitte, daß nicht nur zwischen den Sorten, sondern auch zwischen den Varianten und Wiederholungen und sogar innerhalb eines Stengels mehr oder weniger deutlich ausgebildete Unterschiede in den Faserstrukturen bestanden. Es war deshalb erforderlich, nicht nur Stengel-ausschnitte, sondern den gesamten Querschnitt auszuwerten.

Felina 34 wies im Mittel 7 und Kompolti Hybrid TC 8 Primärfaserschichten auf (Tabelle 1). Beide Sorten bildeten in der Regel in der niedrigsten Bestandesdichte 1 bis 1,5 Faserschichten mehr aus als in BD2 und BD3.

Die Dicke der gesamten Primärfaserschicht lag sowohl für Felina 34 als auch Kompolti Hybrid TC 1993 höher als 1992 (bis zu 223 µm bzw. bis zu 240 µm gegenüber 192 µm bzw. 200 µm). In beiden Jahren waren die Primärfaserschichten gedüngter Varianten signifikant dicker als die von ungedüngten Varianten mit einer ansteigenden Tendenz zur höchsten Düngungsstufe (Abbildungen 4, 6 a-c, 7 a-c). Dahingegen wirkte sich bei den Bestandesdichten in der Regel die niedrigste (BD1) gegenüber den beiden höheren (BD2 und BD3) positiv aus (Abbildung 4, 1992 signifikant, 1993 nur in der Tendenz).

Die Untersuchungen zeigten, daß die Ausbildung der Primärfaserschichtdicke der Faserertragsbildung der Einzelpflanzen weitgehend folgte (Höppner und Menge-Hartmann, 1994), so daß es möglich erscheint, innerhalb einer Sorte und eines Anbaujahres durch die mikroskopische Analyse der Stengelmitte Hinweise auf die ertragreichsten Versuchsglieder zu erhalten. Neuer et al. (1946) nutzten bereits mikroskopische Schnellanalysen der Stengelmitte, um bei ihren Züchtungsarbeiten durch Abschätzen der Bastfaserschichtdicke die faserreichsten Individuen auffinden zu können.

Die Zunahme der Primärfaserschichtdicke wurde offensichtlich unter dem Einfluß zunehmender Düngungsintensität und abnehmender Bestandesdichte sowie unter dem Einfluß des niederschlagsreichen Jahres 1993 durch eine Vergrößerung des Durch-



messers der einzelnen Primärfasern bedingt. Dies ließ sich durch Division der jeweils mittleren Primärfaserschichtdicke durch die jeweilige mittlere Anzahl Zellschichten ermitteln (Tabelle 1).

Zur Ergänzung dieser Beobachtungen wurden Primärfaserdurchmesser von Pflanzen der Versuchsglieder der mittleren Bestandesdichte BD2 metrisch ermittelt. Diese Untersuchungen bestätigten die Wirkung der N-Düngung bei Felina 34 im wesentlichen (Abbildungen 5 und 6c), nicht so eindeutig war sie jedoch bei Kompolti Hybrid TC, möglicherweise aber aufgrund eines zu geringen Probenumfangs. Bei Felina 34 ging die Faservergrößerung in der höchsten Düngungsstufe mit der Ausbildung einer dünneren Zellwand einher (Abbildungen 5 und 6c).

Die Primärfaserdurchmesser beider Sorten waren 1993 größer als 1992 (25,9 μm bzw. 23,2 μm) und besaßen dickere Zellwände (6,7 μm bzw. 5,9 μm). Im Vergleich beider Sorten über beide Jahre hatte Felina 34 größere Primärfasern als Kompolti Hybrid TC (25,1 bzw. 24,0 μm), wobei Kompolti etwas dickere Wände ausbildete als Felina 34 (6,5 bzw. 6,1 μm).

Diese Unterschiede in der Zellwandstärke spiegeln sich in den Boniturwerten der Primärfaserfüllung wider, wenn sie auf die gesamte Primärfaserpopulation der jeweiligen Stengelquerschnitte bezogen werden. Die besten Boniturnwerte erreichte Kompolti Hybrid TC 1992 über alle Varianten mit 2,0-2,5 bzw. 1993 mit 2,7-3,2 (Tabelle 1). Die Werte für Felina betragen hingegen nur 2,5 bis 3,8 bzw. 2,1-3,4. Bei Kompolti Hybrid TC waren also in beiden Jahren mehr Fasern gut gefüllt mit einem Verhältnis von Zellwandstärke zu Zellumen >1 als bei Felina 34. Sie wies insbesondere im trockenen Jahr 1992 einen hohen Anteil schlecht gefüllter Fasern auf. Die höchste Düngungsstufe hatte überwiegend bei beiden Sorten einen negativen Einfluß auf den Grad der Primärfaserfüllung.

Nennenswerte Sekundärfasermengen wurden in der Stengelmittle bei Felina 34 lediglich 1993 in der höchsten Düngungsstufe beobachtet (Tabelle 1, Abbildung 4), während Kompolti Hybrid TC in allen Varianten Sekundärfasern aufwies. 1993 zeigte sich auch ein signifikanter Einfluß der N-Düngung auf die Ausbildung dieser Fasern auf bis zu 5 Schichten (Tabelle 1, 44 μm Schichtdicke, Abbildung 4).

Die zur Abschätzung des Sekundärfaseranteils an der Gesamtfaserfraktion durchgeführte mikroskopische Untersuchung der Stengelbasis (nur mittlere Bestandesdichte BD2) ergab, daß die Schichtdicke der Sekundärfasern in der Stengelbasis insbesondere im feuchten Jahr 1993 bei Kompolti Hybrid TC erheblich zugenommen hatte und damit weit über der der Primärfasern lag (Abbildung 8). In der höchsten Düngungsstufe waren 1993 30 Zellschichten mit einer Schichtdicke von 676 μm zu verzeichnen. Auch Menzel (1937) sowie Bredemann (1940) beobachteten in der Stengelmittle nur zwei bis drei Ringe kleinerer Sekundärfaserbündel,

Abbildung 6 (Seite 173): **Faserschichten aus der Stengelmittle von Felina 34 bei N0 (a), N60 (b) und N120 (c) des Jahres 1993; Abbildungen 7 a-c (Seite 173): entsprechende Sproßquerschnitte von Kompolti Hybrid TC mit zahlreichen Sekundärfasern (Sf), Pf = Primärfasern**

während die Entwicklung sekundärer Bündelmassen zur Stengelbasis hin die primären Faserbündel zu verdrängen schienen. So war auch hier bei beiden Sorten die Primärfaserschichtdicke in der Stengelbasis niedriger als in der Stengelmittle. Die Werte betragen maximal nur 120 bis 153 μm (Abbildung 8). Außerdem bestanden die Primärfaserschichten 1993 nur aus 3 bis 5 Schichten und die Fasern wurden bei Felina in BD2 und BD3 bis 40 μm und bei Kompolti bis zu 34 μm groß.

Die Untersuchung der *quantitativen Zusammensetzung der Faserfraktion* von Kompolti Hybrid TC aus Primär- und Sekundärfasern ergab, daß die Primärfasererträge der Einzelpflanzen zwischen 4,1 und 5,1 g, diejenigen der Sekundärfasern zwischen 1,6 und 2,3 g lagen (Abbildung 9). Bezogen auf die Stengelrockenmasse entsprachen diese Erträge Primärfasergehalten zwischen 17,9 bis 19,8 % und Sekundärfasergehalten von 5,8 bis 6,7 %. Der gegenüber Felina 34 höhere Gesamtfasergehalt von Kompolti Hybrid TC (Höppner und Menge-Hartmann, 1994) wurde offensichtlich teilweise durch die Ausbildung von Sekundärfasern bedingt.

Die Bestandesdichten hatten keinen signifikanten Einfluß auf die Größe beider Faserfraktionen und auch die N-Düngung wirkte lediglich in der Tendenz positiv.

Zwischen der Stengelrockenmasse und dem Primärfaser- sowie dem Sekundärfaserertrag bestanden hohe positive Korrelationen ($r = 0,95$ bzw. $r = 0,94$). Bredemann (1961) und van der Werf (1994) fanden ebenfalls, daß der Anteil von Sekundärfasern in der Bastfaserfraktion mit dem Stengelgewicht anstieg. So erhöhte sich der Sekundärfaseranteil von 10% bei einem Stengelgewicht von 10 g auf 45% bei einem Stengelgewicht von 170 g (van der Werf, 1994).

Die Züchtung auf hohem Bastfasergehalt tendiert dazu, die Sekundärfasern gegenüber den Primärfasern zu begünstigen, wenn die Genotypen mit hohem Sekundärfasergehalt nicht eliminiert werden (van der Werf, 1994). Diese Eliminierung war in den frühen sechziger Jahren eines der vorrangigen Zuchtziele in der Hanfzüchtung (Bredemann et al., 1961).

Die Prüfung der *Faserfestigkeit* konnte nur bei Kompolti Hybrid TC im Versuchsjahr 1993 in der mittleren Bestandesdichte durchgeführt werden und ergab signifikante Unterschiede zwischen den Rindenstreifen der drei Düngungsstufen. Den signifikant höchsten Mittelwert erreichte die ungedüngte Stufe (75,8 cN/tex), mit abnehmender Tendenz gegenüber steigender N-Düngungsintensität (69,9 bzw. 63,7 cN/tex).

Die Faserfestigkeiten können nur als relative Vergleichswerte dienen, denn bei den hier durchgeführten Prüfungen sind auch Nicht-Faserzellen aus der Rinde im Gewicht miteinfaßt und dadurch wird die Faserfeinheit künstlich erhöht.

Zur Erzielung einer guten Faserausbildung und befriedigender Flächenerträge sollte - zumindest bei den Sorten Felina 34

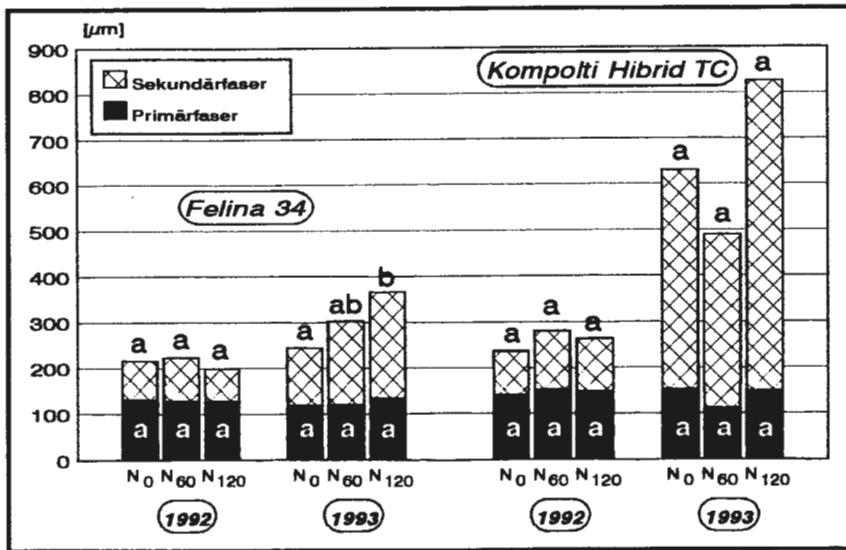


Abbildung 8: Faserschichtdicken der Stengelbasis von Felina 34 und Kompolti Hybrid TC (BD2)

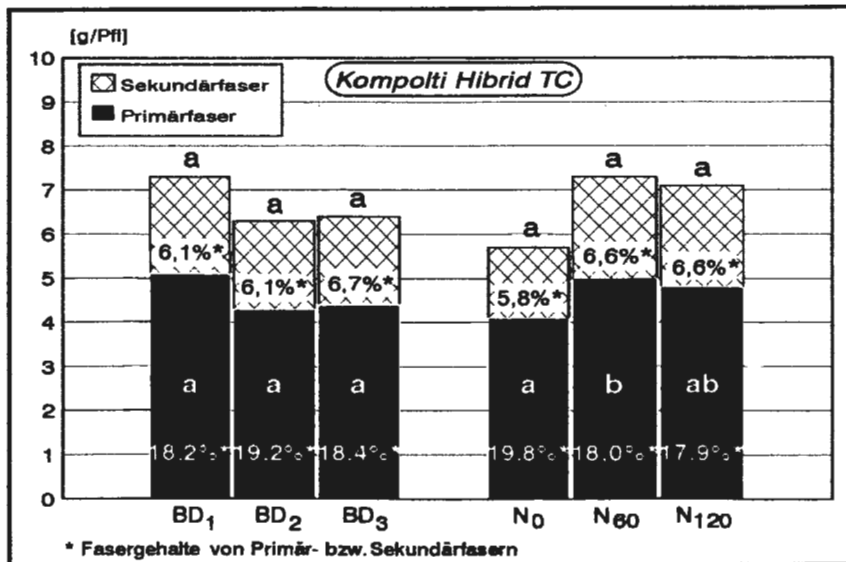


Abbildung 9: Primär- und Sekundärfasererträge von Kompolti Hybrid TC 1993

und Kompolti Hybrid TC - eine mittlere N-Düngung, die unter ökologischen Gesichtspunkten ohnehin zu bevorzugen ist, mit höherer Bestandesdichte kombiniert werden.

Es konnte gezeigt werden, daß die hier verwendete mikroskopische Analyse von Stengelquerschnitten vorläufige orientierende Aussagen zu Qualitätsparametern wie zum Aufbau der Faserbündel, zur relativen Größe der Gesamtfaserfraktion, zu ihrer Zusammensetzung aus Primär- und Sekundärfasern, zu Primärfaserdurchmesser und -wandstärke ermöglicht. Solche Untersuchungen könnten mit Hilfe von Bildanalyse-Systemen zu objektiven Verfahren der Faserqualitätsbestimmung genutzt werden. Dies wurde für Lein bereits in Angriff genommen (Franken, 1993). Zur Zeit wird die Faserquali-

tät bei Hanf noch subjektiv (leptosensorisch) beurteilt. Wenn für einen bestimmten Verwendungsbereich Qualitätskriterien klar definiert worden sind, wird ein Bedarf an Kontrollsystemen für die Qualität einer bestimmten Fasercharge entstehen. Solche normierten und standardisierten Meßverfahren sind für die Qualitätsspezifikation in vielen industriellen Endprodukten Voraussetzung und ihre Entwicklung wird nicht nur für künftige Züchtungs- sondern auch Anwendungsforschung förderlich sein (van Dam, 1995).

Zusammenfassung

In Feldversuchen wurde 1992 und 1993 an der mittelfrühen monözischen Faserhanfsorte Felina 34 und der spät reifenden diözischen Sorte Kompolti Hybrid TC der Einfluß der Faktoren Bestandesdichte mit 150, 250 und 350 Pflanzen/m² und Stickstoffdüngung in den Stufen: "ohne Stickstoff", 60 kg N/ha und 120 kg N/ha auf folgende Parameter der Faserqualität geprüft: Primärfaserdurchmesser und -wandausbildung, Faserfestigkeit sowie Zusammensetzung der Faserfraktion aus Primär- und Sekundärfasern.

Beide Sorten bildeten in der Stengelmittle 7 bis 8 Schichten der wertvollen Primär- oder Langfasern. Unter dem Einfluß ansteigender N-Düngung und niedriger Bestandesdichte sowie unter dem Einfluß des niederschlagsreichen Jahres 1993 nahm die Schichtdicke der gesamten Primärfasern zu. Diese Zunahme wurde durch eine Vergrößerung der einzelnen Primärfaserdurchmesser bedingt.

Der Anteil gut gefüllter Primärfasern (hoher Boniturwert) bezogen auf die gesamte Primärfaserpopulation der jeweiligen Stengelquerschnitte war bei Kompolti Hybrid TC in beiden Versuchsjahren insgesamt höher und ausgeglichener, während Felina 34 insbesondere im niederschlagsarmen Jahr 1992 dünnwandigere Fasern aufwies. Die höchste Düngungsstufe hatte überwiegend einen negativen Einfluß auf den Grad der Faserfüllung.

1993 wies Kompolti Hybrid TC höhere Anteile von für viele Einsatzbereiche unbrauchbaren Sekundär- oder Kurzfasern auf. Die quantitative Analyse der Faserfraktion ergab Sekundärfaseranteile von 5,8 bis 6,7% und Primärfaseranteile von 17,9 bis 19,8% bezogen auf die Stengeltrockenmasse.

Die Faserfestigkeit von Grünhanfrindenstreifen aus der Stengelmittle von Kompolti Hybrid TC (1993) war zwischen den drei Düngungsstufen signifikant unterschiedlich. Die höchste Festigkeit hatte die ungedüngte Stufe mit 75,8 cN/tex,

mit zunehmender Düngungsintensität wurde sie auf 69,9 bzw. 63,7 cN/tex gesenkt.

Influence of varied cultivation conditions on the development of fibres of two fibre hemp varieties

In 1992 and 1993 field tests on the medium-early maturing monoecious fibre hemp variety Felina 34 and the late maturing dioecious variety Kompolti Hybrid TC were performed to test the influence of the factors: spatial arrangement (150, 250 and 350 plants/m²) and nitrogen fertilization (in the steps: without N, 60 kg N/ha and 120 kg N/ha) on the following parameters of fibre quality: primary fibre diameter and wall thickness, fibre tenacity and composition of the fibre portion consisting of primary and secondary fibres. Both varieties developed 7 to 8 layers of primary or long fibres. The layer thickness of the total primary fibres was greater for both varieties in the precipitation rich year 1993 than in the dry year 1992 and also correspondingly greater with Kompolti Hybrid TC than with Felina 34. Also with increasing nitrogen fertilization and lower stand densities were the layer thicknesses increased. The increase of the primary fibre layer thickness was caused by an increase in the primary fibre diameter.

The portion of extensively filled primary fibres (higher rating), shown by the total primary fibre population of the corresponding cross section cuts, was for Kompolti Hybrid TC in both test years in total higher and more balanced, while Felina 34 showed, especially in 1992, thinner walled fibres. The highest fertilization level also had a negative influence on the degree of fibre filling.

Secondary or short fibres, which for many fields are useless, were observed in Kompolti Hybrid TC especially in 1993. Drawn from the stem dry mass the quantitative analysis resulted in 17,9 to 19,8% primary fibre content and from 5,8 to 6,7% secondary fibre content.

The tenacity of the fibre containing bark stripes from the middle of stems of Kompolti Hybrid TC (1993) was significantly different between the three fertilization levels. The highest tenacity was to be observed in the unfertilized level with 75,8 cN/tex and it decreased with increasing fertilization intensity to 69,9 resp. 63,7 cN/tex.

Danksagung

Herrn R. Bäumer, Faserinstitut Bremen e. V., danken wir für die Prüfung der Faserfestigkeit, Frau E. Schulze und Frau H. Conradt für die ausgezeichnete technische Assistenz.

Literatur

Anon y m: Die Hanfpflanze. - CIBA-Rundschau (1962/5), S. 2-32.

Bredemann, G.: Fasergehalt und Faserausbeute beim Hanf in verschiedener Stengelhöhe. - Der Forschungsdienst 10 (1940), S. 57-67.

Bredemann, G., K. Garber, W. Huhnke, R. von Sengbusch: Die Züchtung von monözischen und diözi-

schen, faserertragreichen Hanfsorten (Fibrimon und Fibridia. - Z. f. Pflanzenzüchtung 46 (1961), S. 235-245.

D a m, J.E.G. v a n: Potentials of hemp as industrial fibre crop. Reader zum Symposium „Biorohstoff Hanf“, Frankfurt/Main 2.3.-5.3. 1995. 2. Aufl., S. 405-422.

E s a u, K.: Pflanzenanatomie. G. Fischer Verlag Jena (1969).

F r a n k e n, S.: Einsatz der Bildanalyse zur Bestimmung der Faserqualität am Flachsstengel. - Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 6 (1993), S. 161-164.

H a r a s z t y, A. und I. J a k o b e y: Die Wirksamkeit der Mikroelemente auf die Faserbildung des Hanfes (*Cannabis sativa* L.). - Acta Biolog. Debrecina VI. Debrecen (1968), S. 53-64.

H e r z o g, A.: Die Untersuchung der Flachs- und Hanfpflanze. - Berlin, J. Springer, 1926

H ö p p n e r, F. und U. M e n g e - H a r t m a n n: Anbauversuche zur Stickstoffdüngung und Bestandesdichte von Faserhanf. - Landbauforschung Völkenrode, 44. Jahrg. (1994) H. 4, S. 314-324.

K a r n o v s k y, M. J.: A formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolality for use in electron microscopy. - J. Cell Biol. 27 (1965), S. 137A-138A.

K u n d u, B. C.: The anatomy of two Indian fibre plants, *Cannabis* and *Corchorus* with special reference to fibre distribution and development. - J. Indian. Bot. Soc. 21 (1942), S. 93-129.

M e i j e r, E.P.M. de und H.M.G. van der W e r f: Evaluation of current methods to estimate pulp yield of hemp. - Industrial Crops and Products 2 (1994), S. 111-120.

M e n z e l, A.: Beiträge zur Kenntnis von Bau und Entwicklung der Hanfpflanze *Cannabis sativa* L. mit besonderer Berücksichtigung der Faser. - Faserforschung 13. Jahrg. (1937) H. 1, S. 1-14.

N e u e r, H., E. P r i e g e r und R. v. S e n g b u s c h: Hanfzüchtung. 1. Die Steigerung des Faserertrages von Hanf. - Der Züchter 17./18. Jahrg. (1946) H. 2, S. 33-39.

S e n g b u s c h, R. von und S. H a n d k e: Le chanvre „Fibrimon“ et „Fibridia“. - Proc. Sec. Intern. Flax and Hemp Congr. (1956), S. 16-24.

T o b l e r, F. und G. T o b l e r - W o l f f: Mikroskopische Untersuchung pflanzlicher Faserstoffe. S.Hirzel Verlag, Leipzig, 1951.

T u n d e r, A.: Die Qualitätsbeurteilung von Bastfasern mittels einer Bündelfestigkeitsprüfung. - Textil Praxis (TEPR) 22 (1973), S. 549-555.

W e r f, H. v a n d e r: Crop physiology of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). - Doctoral thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, the Netherlands, 1994.

Verfasser: Menge-Hartmann, Ute, Dr. rer. nat.; Höppner, Frank, Dr. sc. agr., Institut für Pflanzenbau der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL), komm. Leiter: Professor. Dr. Dr. Jean Charles Munch.