

Aus dem Institut für Pflanzenzüchtung und Pflanzenschutz

**Molekulargenetische Diversität einer monözischen und einer diözischen Hanfsorte  
und Analyse des Fasergehaltes von verschiedenen Hanfformen  
(*Cannabis sativa* L.)**

der



**Landwirtschaftlichen Fakultät**

der

**Martin-Luther-Universität  
Halle-Wittenberg**

als

**Dissertation**

**zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor agriculturarum (Dr. agr.)**

**vorgelegt von**

**Mahmoud E. A. El-Ghany**

**geb. am 16.08.1964**

**in Kalyoub-Kairo**

**Ägypten**

**Gutachter: Prof. Dr. W. E. Weber**

**Prof. Dr. J. Léon**

**Prof. Dr. W. Diepenbrock**

**Halle (Saale), den 22.2.2002**

**urn:nbn:de:gbv:3-000003148**

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=nbn%3Ade%3Agbv%3A3-000003148>]

## **Inhaltsverzeichnis**

	<b>Seite</b>	
<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>Stand des Wissens bei Hanf</b>	<b>3</b>
<b>2.1.</b>	<b>Biologie des Hanfes</b>	<b>3</b>
<b>2.2.</b>	<b>Entwicklung des Hanfanbaus</b>	<b>11</b>
<b>2.3.</b>	<b>Ausprägung wirtschaftlich wichtiger Merkmale</b>	<b>18</b>
<b>2.3.1.</b>	<b>Fasergehalt und Faserqualität von Hanf</b>	<b>18</b>
<b>2.3.2.</b>	<b>Der Öl-Gehalt</b>	<b>24</b>
<b>2.3.3.</b>	<b>THC-Gehalt</b>	<b>26</b>
<b>2.4.</b>	<b>Besondere Aspekte beim Anbau von Hanf</b>	<b>29</b>
<b>2.5.</b>	<b>Molekulargenetische Untersuchungen</b>	<b>31</b>
<b>2.6.</b>	<b>Ausblick bei Hanf</b>	<b>32</b>
<b>3.</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>33</b>
<b>3.1.</b>	<b>Material</b>	<b>33</b>
<b>3.1.1.</b>	<b>Pflanzenmaterial</b>	<b>33</b>
<b>3.1.2.</b>	<b>Chemikalien und Lösungen</b>	<b>36</b>
<b>3.2.</b>	<b>Methoden</b>	<b>37</b>
<b>3.2.1.</b>	<b>Molekulargenetische Untersuchungen</b>	<b>37</b>
<b>3.2.1.1.</b>	<b>DNA-Isolierung</b>	<b>37</b>
<b>3.2.1.2.</b>	<b>RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA)</b>	<b>38</b>
<b>3.2.1.3.</b>	<b>Elektrophorese</b>	<b>38</b>
<b>3.2.1.4.</b>	<b>Auswertung des RAPD-Bandenmuster</b>	<b>39</b>
<b>3.2.2.</b>	<b>Bestimmung des Fasergehaltes</b>	<b>39</b>
<b>3.2.3.</b>	<b>Bestimmung des Öl-Gehaltes</b>	<b>41</b>
<b>4.</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>42</b>
<b>4.1.</b>	<b>Molekulargenetische Charakterisierung von Hanf</b>	<b>42</b>
<b>4.1.1.</b>	<b>Variation innerhalb von ‚Fasamo‘ und ‚Kompolti‘</b>	<b>42</b>
<b>4.1.2.</b>	<b>Ähnlichkeit zwischen ‚Fasamo‘ und ‚Kompolti‘</b>	<b>46</b>
<b>4.2.</b>	<b>Bestimmung der Merkmale Faser- und Ölgehalt</b>	<b>47</b>
<b>4.2.1.</b>	<b>Fasergehalt</b>	<b>47</b>

<b>4.2.1.1.</b>	<b>Bestimmung der Fasergehalte und der Stängeldurchmesser des Anbauversuches von 1996</b>	<b>47</b>
<b>4.2.1.2.</b>	<b>Bestimmung der Fasergehalte und der Stängeldurchmesser des Anbauversuches von 1998</b>	<b>56</b>
<b>4.2.1.3.</b>	<b>Bestimmung der Fasergehalte und der Stängeldurchmesser des Anbauversuches von 1999</b>	<b>63</b>
<b>4.2.1.4.</b>	<b>Vergleich der Fasergehalte zwischen den drei Versuchsjahren</b>	<b>71</b>
<b>4.2.2.</b>	<b>Ölgehalt</b>	<b>76</b>
<b>4.2.2.1.</b>	<b>Ölgehalt von Hanffrüchten</b>	<b>76</b>
<b>4.2.2.2.</b>	<b>Ölgehalt von Hanfstängeln</b>	<b>76</b>
<b>5.</b>	<b>Diskussion</b>	<b>79</b>
<b>5.1.</b>	<b>Molekulargenetische Charakterisierung von Hanf</b>	<b>79</b>
<b>5.2.</b>	<b>Fasergehalt</b>	<b>81</b>
<b>5.3.</b>	<b>Ölgehalt</b>	<b>88</b>
<b>6.</b>	<b>Zusammenfassung/Summary</b>	<b>93</b>
<b>7.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>97</b>
<b>8.</b>	<b>Anhang</b>	<b>109</b>

## Abkürzungen

CTAB	N-Cetyl-N, N, N,-trimethyl-ammoniumbromid
°C	Grad Celsius
DNA	dexoxyribonucleic acid
dNTP	desoxyribonucleotide triphosphate
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
EU	Europäische Union
g	Gramm
GC	Gaschromatographie
ha	Hektar
HPLC	High Performance Liquid Chromatographie
M	Molar
min	Minute
mM	millimolar
Na-acetat	Natriumacetat
NaCl	Natriumchlorid
NH <sub>4</sub> -Acetat	Ammoniumacetat
Nr.	Nummer
PCR	Polymerase-Ketten-Reaktion
RAPD	Random Amplified Polymorphic DNA
SI	Similarity Index
SNK	Student Newman Keuls-Test
TAE	Tris-acetate-EDTA
Taq	<i>Thermus aquaticus</i>
TE	Tris-EDTA
TM	Trockenmasse
UV	Ultraviolett
z.B.	Zum Beispiel
μ	Micro
μl	Microliter

## Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 1: Morphologische Stadien von Hanf nach E.W. Smith S. 7
- Abb. 2: Moderne Nutzungsmöglichkeiten für Hanf S. 9
- Abb. 3: Hanfanbau in der EU 1980-2000 S. 15
- Abb. 4: Hanfanbau in Deutschland S. 16
- Abb. 5: Querschnitt durch den oberen Teil eines noch wachsenden Hanfstängels S. 19
- Abb. 6: Einfluss der Züchtung auf den Fasergehalt der Sorte ‚Kompolti‘ S. 23
- Abb. 7: Die Biosynthese des THC bei Hanf S. 27
- Abb. 8: RAPD-Analyse der Einzelpflanzen von ‚Fasamo‘ mit dem Primer A18 S. 43
- Abb. 9: RAPD-Analyse der männlichen und weiblichen Einzelpflanzen von ‚Kompolti‘ mit dem Primer A18 S. 43
- Abb. 10: RAPD-Analyse von ‚Fasamo‘ (2 Pflanzen) und ‚Kompolti‘ (je eine männliche und eine weibliche Pflanze) mit den Primern A01 bis A10 ohne A06 S. 44
- Abb. 11: RAPD-Analyse von ‚Fasamo‘ (2 Pflanzen) und ‚Kompolti‘ (je eine männliche und eine weibliche Pflanze) mit den Primern A11 bis A20 ohne A16 S. 44
- Abb. 12: Fasergehalt (% TM) verschiedener diözischer Hanfherkünfte des Anbauversuches von 1996 S. 53
- Abb. 13: Fasergehalt (% TM) verschiedener monözischer und einer subdiözischen Hanfherkunft des Anbauversuches von 1996 S. 54
- Abb. 14: Zusammenhang zwischen Fasergehalt (% TM) und Stängeldurchmesser (cm), gemessen 30 cm über dem Wurzelhals von 14 monözischen und 23 diözischen *Cannabis sativa*-Herkünften (gruppiert nach dem Geschlecht, bzw. der Häufigkeit), Saison 1996 S. 55
- Abb. 15: Fasergehalt (% TM) verschiedener diözischer Hanfherkünfte des Anbauversuches von 1998 S. 60
- Abb. 16: Fasergehalt (% TM) verschiedener monözischer und einer subdiözischen Hanfherkunft sowie zweier Kreuzungsnachkommenschaften des Anbauversuches von 1998 S. 61
- Abb. 17: Zusammenhang zwischen Fasergehalt (% TM) und Stängeldurchmesser (cm), gemessen 30 cm über dem Wurzelhals von 9 monözischen und 15 diözischen *Cannabis sativa*-Herkünften (gruppiert nach Häufigkeit), Saison 1998 S. 62
- Abb. 18: Fasergehalt (% TM) verschiedener diözischer Hanfherkünfte des Anbauversuches von 1999 S. 68
- Abb. 19: Fasergehalt (% TM) verschiedener monözischer und einer subdiözischen Hanfherkunft des Anbauversuches von 1999 S. 69
- Abb. 20: Zusammenhang zwischen Fasergehalt (% TM) und Stängeldurchmesser (cm), gemessen 30 cm über dem Wurzelhals von 8 monözischen und 17 diözischen *Cannabis sativa*-Herkünften (gruppiert nach dem Geschlecht, bzw. der Häufigkeit), Saison 1999 S. 70
- Abb. 21: Vergleich der diözischen und monözischen Hanfformen hinsichtlich des Fasergehaltes (% TM) in den drei Versuchsjahren S. 75
- Abb. 22: Ölgehalt (% TM) verschiedener Hanfherkünfte der Anbauversuche 1996 (‚Felina 34‘, CAN-Nr.) und 1997 (‚Fasamo‘, ‚Kompolti‘) S. 78

## Verzeichnis der Tabellen

- Tab. 1: Entwicklung des Hanfanbaus zur Fasergewinnung in Europa und weltweit (Angaben: in 1000 ha) S. 13
- Tab. 2: Hanfanbau in der Bundesrepublik Deutschland von 1996 bis 2000 in ha S. 18
- Tab. 3: Qualitative Eigenschaften der Sorten ‚Kompolti‘ (zweihäusig) und ‚Fibrimon 21‘ (einhäusig) S. 22
- Tab. 4: Die Zusammensetzung von Hanföl im Vergleich zu anderen Speiseölen S. 24
- Tab. 5: Delta-9-THC- und CBD-Gehalt verschiedener Hanfsorten und deren THC/CBD-Verhältnis S. 28
- Tab. 6: Sorten und Hanfherkünfte, die in den Jahren 1996-1999 angebaut und in die Untersuchung einbezogen wurden S. 34
- Tab. 7: Reproduzierbare RAPD-Fragmente mit 18 Primern an den Sorten ‚Fasamo‘ und ‚Kompolti‘ S. 45
- Tab. 8: Similarity Index (Sneath und Sokal, 1973) innerhalb von ‚Fasamo‘ (monözisch) und innerhalb der männlichen und innerhalb der weiblichen ‚Kompolti‘-Pflanzen (diözisch) und zwischen ‚Fasamo‘ und ‚Kompolti‘ im Vergleich zu ausgewählten morphologischen Merkmalen S. 46
- Tab. 9: Mittlerer Fasergehalt (% TM) und mittlerer Stängeldurchmesser (cm) männlicher Hanfpflanzen unterschiedlicher diözischer Herkünfte 1996 S. 50
- Tab. 10: Mittlerer Fasergehalt (% TM) und mittlerer Stängeldurchmesser (cm) weiblicher Hanfpflanzen unterschiedlicher diözischer Herkünfte 1996 S. 51
- Tab. 11: Mittlerer Fasergehalt (% TM) und mittlerer Stängeldurchmesser (cm) verschiedener monözischer und subdiözischer Hanfherkünfte 1996 S. 52
- Tab. 12: Mittlerer Fasergehalt (% TM) und mittlerer Stängeldurchmesser (cm) verschiedener diözischer Hanfformen 1998 S. 58
- Tab. 13: Mittlerer Fasergehalt (% TM) und mittlerer Stängeldurchmesser (cm) verschiedener monözischer Hanfsorten und einer subdiözischen Hanfherkunft 1998 S. 59
- Tab. 14: Mittlerer Fasergehalt (% TM) und mittlerer Stängeldurchmesser (cm) männlicher Hanfpflanzen der diözischen Herkünfte 1999 S. 65
- Tab. 15: Mittlerer Fasergehalt (% TM) und mittlerer Stängeldurchmesser (cm) weiblicher Hanfpflanzen der diözischen Herkünfte 1999 S. 66
- Tab. 16: Mittlerer Fasergehalt (% TM) und mittlerer Stängeldurchmesser (cm) der monözischen und einer subdiözischen Hanfherkunft 1999 S. 67
- Tab. 17: Vergleich des mittleren Fasergehaltes (% TM) von in den drei Versuchsjahren 1996, 1998 und 1999 angebauten Hanfformen S.72
- Tab. 18: Mittlere Fasergehalte (% TM) und Standardabweichung der in allen drei Versuchsjahren geprüften diözischen Hanfformen S. 74
- Tab. 19: Mittlerer Ölgehalt (% TM) von Hanffrüchten von verschiedenen Hanfformen S. 77
- Tab.20: Mittlerer Ölgehalt (% TM) der Hanfstängel von einer subdiözischen und zwei diözischen Hanfabstammungen des Anbauversuches 1996 S. 78

## 1. Einleitung

Hanf *Cannabis sativa* L. ist eine vielseitige Nutzpflanze, die hochwertige Rohstoffe für die Textil-, Papier-, Baumaterial-, Pflanzenöl- und Pharmaindustrie liefert. Der Hanf gehört zu den ertragreichsten landwirtschaftlichen Nutzpflanzen in unseren Breiten und könnte schon bald wieder seinen Platz neben Raps, Sonnenblume, Flachs und Lein einnehmen (**Katalyse, 1994**).

Die Hanfpflanze ist eine der ältesten Kulturpflanzen der Menschheit. Über viele Jahrhunderte hinweg wurde der Hanf in fast allen europäischen Ländern angebaut und stellte eine wichtige Rohstoffquelle für die Herstellung von Seilen, Segeltuch, Bekleidungstextilien, Papier, Baustoffen und Ölprodukten dar. Deutschland kann auf eine lange Geschichte des Hanfanbaus und der Hanfnutzung zurückblicken. Die ältesten Funde von Hanfseilen und Hanfstoffen in Europa stammen vom Beginn der vorrömischen Eisenzeit (800-400 v.Chr.) aus dem Raum Stuttgart. Die Stoffe aus Hanf wurden damals allerdings noch nicht aus den aufgeschlossenen, reinen Fasern, sondern aus schmalen, von der Stängelrinde abgezogenen Baststreifen hergestellt (**Karus, 1995**).

Hanf lieferte für Jahrhunderte Öl aus den Samen, Fasern aus den Stängeln und Drogen aus den Blättern und Blütenteilen. Während Hanf als Quelle für Öl und Fasern seine wirtschaftliche Bedeutung unter anderem wegen mangelnder Konkurrenzfähigkeit mit preiswerteren Import- und Synthetikfasern für den Textilbereich verloren hat, nimmt sein Anbau an vielen Orten der Welt als Quelle für psychoaktive Drogen in Form von Haschisch und Marihuana dramatisch zu. Diese psychoaktiven Inhaltsstoffe, insbesondere das zur Gruppe der Cannabinoide gehörende  $\Delta^9$ -Tetrahydrocannabinol (THC), sind in verschiedenen Genotypen in unterschiedlich hohen Konzentrationen enthalten (**de Meijer et al., 1992**). Diese Verwendungsmöglichkeit hatte zum einen in Deutschland und Europa zur Folge, dass der Anbau gesetzlich verboten wurde. Zum anderen wurde Hanf dadurch in schwer kontrollierbaren subtropischen und tropischen Gebieten zu einer gewinnbringenden Kulturpflanze für das Rauschgift Haschisch, das aus den klebrigen Drüsen der weiblichen Samenstände als Droge gewonnen wird. Wirksame Substanzen sind Cannabinol und Tetrahydrocannabinol (**Hoffmann, 1961**). Der Anbau von Faserhanf ist in von milden Wintern und kühlen Sommern gekennzeichneten Regionen besser für die Faserproduktion geeignet als Flachs.

Der Hanfanbau konnte im Jahr 1996 in Deutschland wieder in Angriff genommen werden, aber nur für Genotypen mit einem THC-Gehalt unter 0,3 % in der Trockenmasse (**BLE, 1997**). Die Hanffasern werden für die Textilindustrie als Rohstoff genutzt. Auf stillgelegten Flächen soll der Anbau von Hanf als Rohstoff für die Textilherstellung zulässig sein (**Rottmann-Meyer, 1995**).

Der Hanf ist über weite Gebiete in den gemäßigten bis subtropischen Zonen der Erde verbreitet. Die Weltanbaufläche beträgt etwa 900.000 ha, wobei die Hauptanbaugebiete in Europa (davon allein in der ehemaligen UdSSR etwa 92 %) liegen. Neuerdings wird in waldarmen Ländern, z.B. in Frankreich, dem Hanf als Rohstoff für die Papierherstellung Interesse entgegengebracht. Das Öl der Samen ist für technische und für Speisezwecke geeignet. Der Ölkuchen stellt ein eiweißreiches Futtermittel dar.

Im Handel spielen Hanfsamen als Vogelfutter eine gewisse Rolle. Hanföl kann in der Zukunft auch in der Kosmetik Verwendung finden und vor allem bei der Herstellung von Farben, Schmiermitteln und Kitten benutzt werden. Durch den im Hanföl festgestellten Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren gehört es zu den wertvollsten pflanzlichen Ölen überhaupt (**Rausch, 1995**).

Ziele der hier durchgeführten Untersuchungen sind:

1. die genetische Diversität von zwei Faserhanfsorten, nämlich der diözischen ungarischen Hanfsorte ‚Kompolti‘ und der monözischen deutschen Hanfsorte ‚Fasamo‘, mit molekulargenetischen Methoden zu untersuchen

und

2. die Leistung von heute verfügbaren Hanfherkünften bezüglich des Fasergehaltes zu erfassen, um geeignete Ausgangsformen für die Züchtung zu finden. An einigen Hanfformen wurden auch Untersuchungen zum Ölgehalt durchgeführt.



## 2. Stand des Wissens bei Hanf

### 2.1. Biologie des Hanfes

Der Hanf gehört zur Familie der *Moraceae* (Maulbeerbaumgewächse, **Reuter, 1987**). Die Gattung *Cannabis* hat nur die eine Art, *Cannabis sativa* L. Hanf hat eine Chromosomenzahl von  $2n = 2x = 20$ . Die Art wurde in vier Varietäten, die alle nahe verwandt und leicht miteinander kreuzbar sind, unterteilt:

var. *vulgaris* = gewöhnlicher Hanf;

var. *indica* = indischer Hanf;

var. *gigantea* = Riesenhanf;

var. *ruderalis* = wilder Hanf (**Mansfeld, 1986; Schuster, 1986**).

Die Unterteilung der Gattung ist umstritten und kann auch anders erfolgen (**Small, 1979; Reuter, 1987**). Beim Hanf werden südliche Rassen (lang und spätreif) und nördliche Rassen (niedrig und frühreif) unterschieden, wobei die nördlichen Hanftypen photoperiodisch Langtagsformen und die südlichen Kurztagsformen sind (**Hoffman u.a., 1985**).

Der Hanf stellt eine in Kultur genommene Wildpflanze dar. Veränderungen gegenüber der Wildpflanze hinsichtlich Fasergehalt und -ertrag, Strohertrag, Qualität sowie bezüglich anderer Werteigenschaften wurden vorgenommen, was sich in einer Vielzahl von den von Züchtern geschaffenen Hanfsorten niederschlägt.

Hanf ist einjährig. Als ursprüngliche Form gilt die diözische Form. Beim Hanf ist das weibliche Geschlecht homogametisch, das männliche dagegen heterogametisch. Die beiden Geschlechter sind im Wuchstyp deutlich zu unterscheiden. Die männliche Hanfpflanze hat den Genotyp XY, wobei das Y-Chromosom sowohl den Habitus als auch das Geschlecht bestimmt. Es treten recht häufig monözische Pflanzen und andere intersexuelle Typen auf. Monözisten haben wie weibliche Pflanzen nach **von Sengbusch (1952)** zwei X-Chromosomen.

Während in vielen älteren Untersuchungen beim diözischen Hanf überhaupt kein oder nur bei einzelnen Rassen ein heteromorphes Chromosomenpaar gefunden wurde, berichten eine Reihe von Autoren übereinstimmend, dass stets ein heteromorphes Paar vorhanden ist (**Hirata, 1929; Sinoto, 1929; Breslavetz, 1932; Mackay, 1939; Nishiyama, 1940, 1941; Nishina et al., 1940; Yamada, 1943; Hoffmann, 1938, 1947;**

**Rizet, 1946; Postma, 1946; Nishiyama et al., 1947; Takenaka, 1951; Tischler, 1953).**

Die ausgewachsene Hanfpflanze hat langgestielte, tiefgefingerte Blätter mit dunkelgrüner Ober- und blassgrüner Unterseite, deren Lebensdauer ca. 40 Tage beträgt. Die Blätter des Hanfes sind im allgemeinen 5- bis 11-zählig und sind planophil an der Pflanze angesetzt. Die nördlichen Formen haben eine kleinere Anzahl Fiederblätter als die südlichen. So sind die nordrussischen Formen nur 5- bis 7-zählig, während die nordkaukasischen, türkischen, italienischen und zum Teil auch die chinesischen Formen 8- bis 11-zählig sind. Die Anzahl der Fiederblätter variiert innerhalb eine Hanfpflanze **(Köhler, 1958).**

Bis zum Beginn der Blüte sitzen die Blätter gegenüberliegend am Stängel, nach der Blüte ist die Blattstellung im oberen Stängelbereich alternierend (wechselständig). Die Blattfarbe der Hanfpflanzen ist je nach den Ernährungsbedingungen dunkler oder heller grün. Gelegentlich werden Hanfpflanzen mit hoher Anthocyanbildung gefunden, die eine rötliche bis rotbraune Blattfarbe haben. Zum Teil ist diese Färbung auch mehr oder weniger auf die Blattstiele beschränkt. In indischen und asiatischen Haschischhanfformen treten die Blattfärbungen häufiger auf. An den Achseln der oberen Laubblätter und am Sprossende bzw. an den Spitzen der Verzweigungen befinden sich die Blütenstände. Die Blattanlage im oberen Pflanzenbereich erfolgt simultan mit der Anlage der Blütenanlagen. Bei der diözischen Form stehen bei den männlichen Pflanzen die Blüten in kaum verästelten Rispen. Der weibliche Blütenstand der diözischen Form ist dichtbuschig und besteht aus dem laubigen Sprossende. Die Blüten sitzen zu zweit ungestielt in den Blattachsen und sind zu Scheinähren vereinigt **(Heuser, 1927; Hoffmann u.a., 1970).**

Die Monözisten haben eine verschieden starke männliche Geschlechtsausprägung **(Neuer und von Sengbuch, 1943)** und sollen zusätzlich geschlechtsbestimmende Faktoren besitzen. Bei der monözischen Form sitzen die weiblichen Blüten an der Spitze der wenig verzweigten Seitentriebe, die männlichen Blüten liegen an deren Basis oder auch vereinzelt in den Blattachsen.

Der Hanf ist ein holziges, einjähriges Kraut, das die Sonne effizienter nutzt als jede andere Pflanze auf der Erde und in einer nur kurzen Wachstumszeit eine stattliche Höhe erreicht. Hanf kann in nahezu jedem Klima und auf jedem Boden, selbst in Grenzertragsgebieten, angebaut werden. Hanf wächst am besten in Zonen mit

gemäßigtem Klima bei 13 bis 22°C, verträgt aber auch höhere oder niedrigere Temperaturen. Junge Pflanzen vertragen leichten Nachtfrost von -3 bis -5°C. Hanf ist daher für den Anbau in gemäßigten Zonen, im Mittelmeergebiet und in den Subtropen geeignet (**Körber-Grohne, 1987**).

Hanf stellt keine besonderen Ansprüche an die Bodenqualität und gedeiht fast überall. Er ist als Pionierpflanze und auf Grenzertragsböden kultivierbar. Soll die Hanfpflanze allerdings optimalen Ertrag bringen, so muss man wegen ihres relativ schwachen Wurzelsystems und ihrer schnellen Entwicklung auf reiche Nährstoffzufuhr achten (**Reuter, 1987**).

Die Wurzel der Hanfpflanze ist eine kräftige, tiefgehende Pfahlwurzel mit vielen Seiten- und Nebenwurzeln, so dass der Boden intensiv durchdrungen wird. Der oberirdische Spross ist bei größerem Pflanzenabstand je nach Wachstumsverhältnissen mehr oder weniger an der Basis verzweigt. Die Wuchshöhe kann im Bestand 2 bis 4 m, im Extrem bis 6 m erreichen. Der Stängel ist 1 bis 2 cm dick, rund, gerieft bis schwach sechseckig und kurzborstig behaart. Der Querschnitt der Hanfstängel ist bei den geographischen Typen in der charakteristischer Weise verschieden. Die nördlichen, mittlrussischen und westsibirischen Hanfherkünfte weisen einen runden bis schwach sechseckigen Querschnitt auf. Der Querschnitt des japanischen und ostasiatischen Formenkreises ist stark riefelig mit scharfen Ecken und großen Vertiefungen. Der italienische Hanf nimmt eine Mittelstellung ein. Einen elliptischen Querschnitt mit weniger Faserbündeln soll der indische Haschischhanf aufweisen (**Makarevic, 1937 zit. bei Hoffmann, 1961; Sizov, 1937; Nassonov, 1940**).

Der Hanfstängel besteht aus einem inneren Holzzylinder. Der Gehalt von Fasern schwankt in Abhängigkeit von Genotyp und Umweltfaktoren zwischen 10 und 25 %. Hanfsorten in südlichen Anbauregionen zeichnen sich durch eine späte Blüte aus, wodurch die vegetative Phase des Hanfes dementsprechend verlängert wird (**Bocsa, 1994 zit. bei Breitfeld, 1995**).

Der schlanke Hanfstängel gilt für hohen Fasergehalt und hohen Langfaseranteil und ist günstiger als der dicke Hanfstängel. Das Verhältnis von Länge zum mittleren Durchmesser des Stängels wird als Schlankheitsgrad des Stängels bezeichnet und vielfach durch den Längendurchmesserquotienten ausgedrückt (**Heuser, 1924; Bredemann, 1927**).

Der Hanf ist eine windbestäubende Pflanze. Der Pollen von Hanfpflanzen kann über große Entfernungen von mehr als 12 km getragen werden (**Loch, 1995**). Der Blühbeginn der männlichen und weiblichen Hanfpflanzen einer diözischen Hanfform ist unterschiedlich. Bei den nördlichen Hanfformen sind die männlichen Pflanzen im Blühbeginn 2-4 Tage früher. Bei den südlichen Formen dagegen blühen die weiblichen Hanfpflanzen meistens früher auf, wobei die Differenz 5 bis 10 Tage betragen kann. Bei monözischen Formen werden die weiblichen Blüten im allgemeinen zuerst befruchtungsfähig. Die Narben der Hanfpflanzen sind bis zu 10 Tage, der Pollen etwa 5 Tage befruchtungsfähig (**Hoffmann, 1961**).

Nach etwa 100 Tagen kann der Hanf geerntet werden. Bei diözischen Pflanzen ist es schwierig, den optimalen Erntezeitpunkt zu bestimmen, weil die männlichen Pflanzen zwischen einer und vier Wochen vor den weiblichen Pflanzen erntereif sind, während monözische Sorten gleichzeitig reifen (**Reuter, 1987**).

Die männlichen und weiblichen Hanfpflanzen unterscheiden sich durch ausgeprägte sekundäre Geschlechtsmerkmale. Die Blütenstände der männlichen und weiblichen Hanfpflanzen sind sehr verschieden ausgebildet (Abbildung 1).

Nach **Crescini (1940)** reifen ungarische Hanfherkünfte beim Anbau in Italien schon recht früh. Die Kurzstängel der japanischen und chinesischen Hanfherkünfte sind dagegen extrem lang und spätreif. Unter mitteleuropäischen Verhältnissen sind ungarische Hanfherkünfte sehr lang und spätreif, während japanische und chinesische Hanfherkünfte bei extremem Längenwachstum kaum mehr zur Blüte gelangen. Nordrussische Formen blühen hier jedoch ebenfalls früh und bleiben kurz.

Beim Hanf sind die männlichen Pflanzen zum Zeitpunkt der Reife der weiblichen Pflanzen bei diözischen Formen vollständig abgestorben. Dabei kann es schon zur Teilröste auf dem Feld kommen. Dies erschwert die Ernte und die Hanffaserqualität verringert sich (**Bartholomäus, 1963**). Die Blätter der weiblichen Hanfpflanzen sind gerade erst am vergilben. Die monözischen Pflanzen des Hanfes werden nach ungefähr 100-120 Vegetationstagen am Ende der Blütezeit geschnitten. In Frankreich erfolgt dies um den 20. bis 30. August (je nach Sorte). Die Hanfpflanzen haben zu diesem Zeitpunkt schon fast das gesamte Trockenmassegewicht erreicht. Außerdem ist die Hanffaserqualität besser und der Ertrag höher. Das Risiko des feuchten Erntewetters



Abbildung 1: Morphologische Stadien von Hanf nach **E.W. Smith** (Quelle: **Frank, 1996**)

- |   |   |
|---|---|
| 1. Männlicher Blütenstand                   | 8. Frucht von der breiten Seite             |
| 2. Weiblicher Fruchtstand                   | 9. Frucht von der flachen Seite             |
| 3. Keimling                                 | 10. Drüsenhaar mit vielzelligem Stängel     |
| 4. Einzelblatt eines fingerförmigen Blattes | 11. Drüsenhaar mit nicht sichtbarem Stängel |
| 5. Männliche Blüte mit Knospen              | 12. Haar ohne Drüse und Cystolith           |
| 6. Weibliche Blüte, vom Vorblatt umhüllt    |   |
| 7. Frucht in fester, behaarter Schale       |   |

verringert sich und der geforderte Trockensubstanzgehalt von 84 % wird schneller erreicht (**FNPC, 1994 zit. bei Breitfeld, 1995**).

Der Hanf für die Fasergewinnung gedeiht gut in den Zonen des gemäßigten Klimas. Er verträgt auch leichte Nachtfröste von -3 bis -5°C. Der Faserhanf benötigt eine Temperatur von 18 bis 20°C in 100 bis 130 Tagen, der Samenhanf dagegen 22 bis 28°C in 130 bis 180 Tagen (**Mann, 1998**).

Die Hanfpflanze liefert eine Reihe hochwertiger Bio-Rohstoffe, wobei alle Pflanzenteile nahezu restlos verwertbar sind (**Karus, 1995**). Die Nutzungsmöglichkeiten stellt in einer Übersicht die Abbildung 2 dar.

Der wichtigste Rohstoff ist die Bastfaser, die in den Stängeln zwischen dem Holz und der Rinde ausgebildet wird. Die Hanffaser zeichnet sich durch Reißfestigkeit und Dauerhaftigkeit, vor allem bei Nässe, aus. Zur Hanffasergewinnung werden die monözischen Hanfsorten bevorzugt, die gleichzeitig abreifen und geerntet werden können und dazu eine höhere Mengen an Hanffasern im Vergleich zu den diözischen Hanfsorten liefern. Der Faserertrag kann zwischen 2,5 - 3 Tonnen pro Hektar liegen (**Herer, 1994; Karus, 1995**).

Früher wurde die Hanffaser zur Papierproduktion verwendet. Diese lange Tradition der Papierherstellung konnte aber nicht verhindern, dass Hanf aus der Massenpapierproduktion vollständig verdrängt wurde. Die Hanffaser ist aber für industrielle Spezialpapiere (z.B. Zigarettenpapier, Teebeutel, Banknoten und technische Filter) von großer Bedeutung. Der Bedarf an Hanffaser wächst wieder. Ein Grund dafür dürfte auch sein, dass die ganze Hanfpflanze zur Papierherstellung genutzt werden kann. Es ist ein hochwertiger, langfaseriger Zellstoff gewinnbar, wobei ein Zellstofftertrag bis zum vierfachen gegenüber schnellwachsenden Bäumen beobachtet werden konnte (**Herer, 1994; Karus, 1995**).

Hanffasern können auch im Verpackungssektor eingesetzt werden. Für Wurstpellen wird ein Verbundwerkstoff aus Papier und Folie auf der Basis von Zellulose verwendet, welcher viskosinierte Hanffasern enthält. In der ehemaligen UdSSR wurden Leinen-Jute-Hanf-Fasern, teilweise in Verbindung mit Polyäthylen, für die Herstellung von Zuckersäcken getestet (**Brenman, 1971; Prilutskii, 1975**).

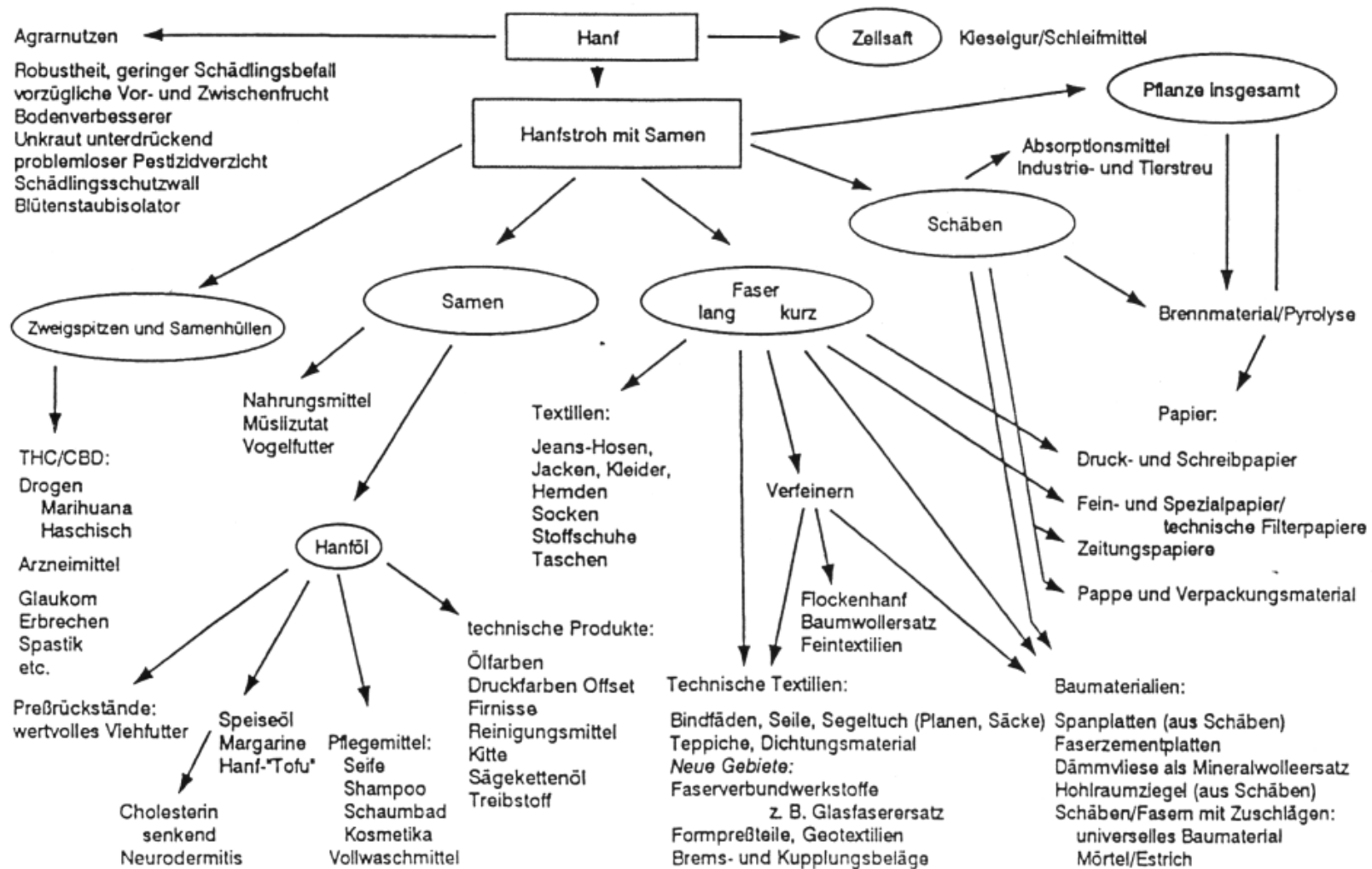


Abbildung 2: Moderne Nutzungsmöglichkeiten für Hanf (nach Karus, 1995)

Heute werden in Deutschland keine Hanffasern mehr zur Herstellung für Feintextilien eingesetzt. Der Rohstoffmarkt wird von der Baumwolle beherrscht und bei besonderen Anforderungen hat der Flachs den Hanf bereits vor Jahrzehnten verdrängt.

In Frankreich wird noch heute ein Teil der Oberbekleidung (Jacketts, Socken, Stoffschuhe und Taschen) aus den Langfasern von Hanfpflanzen hergestellt. Bei den Socken aus Mischgarn dienen Hanffasern zur Verstärkung, damit die Socken länger halten (**Böck, 1993 zit. bei Herer, 1994**).

Die Hanfsamen, die bis zu 21 % aus Protein bestehen (**Hanfhausmagazin, 1995**), bzw. das aus ihnen gepresste linolsäurereiche Öl, dienen sowohl als wertvolles Nahrungsmittel für Mensch und Tier als auch als Ausgangsstoff verschiedenster technischer Produkte. Bei einem Hektarertrag von 35 % kann mit ca. 350 kg Hanföl gerechnet werden (**Karus, 1995**). Der Anbau von diözischen Hanfsorten ist günstiger, da ein höherer Samenansatz erzielt wird (**Bocsa, 1995**).

Zwischen 1840 und 1890 standen Hanfextrakte an zweiter Stelle der verordneten Medikamente in den USA. Die damalige amtliche amerikanische Arzneimittelliste zählte Müdigkeit, Husten, Rheumatismus, Migräne, Krämpfe und Depressionen zu den Beschwerden, die mit *Cannabis* behandelt werden durften. Auch als Schmerzmittel leistete *Cannabis* außerordentlich gute Dienste und war in den USA jahrzehntelang das wichtigste Mittel, bis es von dem bekannten Aspirin abgelöst wurde. In Australien wurde 1995 Marihuana wieder als Medizin zugelassen. In den Folgejahren beschränkte sich die Hanfforschung jedoch nur noch auf das Delta-9-THC (Tetrahydrocannabinol). Die restlichen 400 potentiell wirksamen Hanfinhaltsstoffe wurden nicht weiter auf ihre medizinische Wirksamkeit untersucht. Die heutige medizinische Hanfforschung ist weltweit fast zum Erliegen gekommen (**Rätsch, 1992; Grinspoon, 1994**).

Alle drei Nutzungsformen der Hanfpflanze (Faser, Samen, Pharmazie) könnten längerfristig wieder mehr Bedeutung erlangen. Zum jetzigen Zeitpunkt werden in der Bundesrepublik Deutschland der Hanffasernutzung die besten Chancen eingeräumt. Die Samenhanfproduktion ist nur bei entsprechend hohen Abnehmerpreisen wirtschaftlich. Auch wird die Samenreife auf Grund der klimatischen mitteleuropäischen Bedingungen oftmals nicht erreicht. Die Samenerträge sind in südlicheren Ländern (Italien, Ungarn, Rumänien) klimatisch bedingt erheblich höher (**Dambroth, 1993**). Derzeit werden insbesondere die Einsatzmöglichkeiten von *Cannabis* bzw. seinen Inhaltsstoffen im medizinischen Bereich überprüft, da positive Wirkungen z.B. bereits bei der Behandlung von Erbrechen und Morgenübelkeit bei Schwangeren, Multipler Sklerose



und Glaukomen sowie zur Appetitssteigerung bei AIDS-Kranken bekannt sind (**Hesch u.a., 1996**).

## **2.2. Entwicklung des Hanfanbaus**

Durch die wissenschaftliche Fachliteratur wird belegt, dass vom ersten Jahrtausend v.Chr. bis hinein in die zweite Hälfte des letzten Jahrhunderts Hanf die auf unserem Planeten am häufigsten angebaute Feldfrucht war. Kaum eine andere Kulturpflanze hat eine so wechselhafte Geschichte hinsichtlich ihrer Verbreitung und wirtschaftlichen Bedeutung erfahren wie der Hanf (**Hoffmann u.a., 1985**).

In China kann die Nutzung von Hanf bis in die Jungsteinzeit zurückverfolgt werden. Schon aus der Zeit von 4200 bis 3200 v.Chr. wurden gewebte Stoffe und Schnüre aus der Bastfaser des Hanfes gefunden. Die in der Nähe von Xian gefundene Papierprobe aus der Zeit 140 bis 87 v.Chr. bestand aus Hanffasern und dürfte das älteste Papier der Welt sein (**Sandermann, 1992**). Die Bezeichnung Papier geht auf das altägyptische Wort Papyrus zurück. So heißt ein Riedgras, dessen Stängelmark in Streifen geschnitten, kreuzweise geschichtet und zu Bögen verarbeitet wurde. Diese klebte man dann zu langen Rollen zusammen (**Greenpeace, 1991**). Papyrus war der bekannteste Schriftträger im alten Ägypten. Die Technik der Papyrusherstellung reicht weit zurück, etwa bis zum Jahre 3000 v.Chr. Im heutigen Sinne ist aber Papyrus nicht als Papier anzusprechen. Die eigentliche Papierherstellung wurde etwa 100 v.Chr. in China erfunden. Rohstoffe für die Papierherstellung waren Baumrinde oder Bastfasern, der Hanf, alte Lumpen und Fischnetze. Hanfsamen wurden in China bis ins 6. Jahrhundert n.Chr. als Nahrungsmittel und für medizinische Zwecke gebraucht. Auch die Rauschwirkungen blieben nicht verborgen. Hanf war früh schon Bestandteil sozialer Praktiken und religiöser Riten.

Der älteste bisher bekannte archäologische Hanffund (von Eisenberg/Thüringen) stammt noch aus vorgermanischer Zeit. In der Asche einer Graburne aus Wilmersdorf in Brandenburg wurden die Samen von *Cannabis sativa* L. entdeckt. Der Fund wird auf das 5. Jahrhundert v.Chr. datiert (**Hai und Rippchen, 1994**). Die ältesten Funde von Hanfstoffen in Europa stammen vom Beginn der römischen Zeit (800- 400 v.Chr.) aus

dem Raum Stuttgart. Die Stoffe wurden allerdings noch nicht aus den aufbereiteten, reinen Fasern, sondern aus schmalen, von der Stängelrinde abgezogenen Baststreifen hergestellt. Im frühen Mittelalter wurde das Verfahren des Faseraufschlusses durch Röste vom Flachs auf den Hanf übertragen. Danach wurden Bekleidungsstücke häufiger auch aus Hanf gemacht.

Im 17. Jahrhundert, zum Höhepunkt der Segelschiffahrt, erlebte der Hanf in Europa seine Blütezeit. Fast alle Schiffssegel und fast alles Takelwerk, Seile, Netze, Flaggen bis zu den Uniformen der Seeleute wurden auf Grund der Reiß- und Nassfestigkeit aus der Faser vom Hanf hergestellt. Handel und Kriegführung waren vom Hanf abhängig: 50 bis 100 Tonnen Hanffasern wurden für die Grundausrüstung eines Schiffes benötigt, und diese musste alle ein bis zwei Jahre ersetzt werden. Der Hanfanbau und -handel beispielsweise in Holland spielte mit seinen 11.000 Segelschiffen eine sehr bedeutende Rolle.

Der Niedergang des europäischen Hanfanbaus begann mit dem Niedergang der Segelschiffahrt im 18. Jahrhundert. Im 19. Jahrhundert wurde die Baumwollmaschine entwickelt, die die Verarbeitung der Baumwollfaser wesentlich erleichterte. Hanf und Flachs, deren Fasergewinnungsprozess arbeitsaufwendig blieb, wurden mehr und mehr vom Textilmarkt verdrängt.

Im 19. Jahrhundert gelangten Jute und Sisal als neue Faserpflanzen aus den damaligen Kolonien nach Europa. Insbesondere die Jute konkurrierte mit der Hanffaser in deren typischen Domänen: Säcke, Planen, Gurte und Verpackungsmaterial. Nicht qualitative, sondern Kostengründe führten zur Verdrängung des Hanfes. Die niedrigen Löhne in den Kolonien sorgten dafür, dass Jutefasern in Europa um fast die Hälfte billiger waren als Hanffasern. Schließlich wurden im 19. Jahrhundert die Papiermaschine sowie chemische Aufschlussverfahren für Holz zur Papierherstellung entwickelt und Flachs und Hanf ebenfalls aus dem Papiermarkt verdrängt.

Zwischen 1850 und 1913 ging der Hanfanbau in Frankreich von 100.000 auf 13.000 ha zurück. Hierfür waren auch preiswerte Hanffaserimporte aus dem Russischen Reich die Ursache, die den Hanfanbau in Europa unrentabel machten.

In Osteuropa haben sich Anbau, Nutzung und Erforschung der Hanfpflanze bis heute auf relativ hohem Niveau halten können. Die wichtigsten Hanfanbauländer sind Rumänien, das Gebiet der ehemaligen UdSSR, Ungarn und Polen.

In Polen kommt man insbesondere aus Gründen des Wasserschutzes wieder auf den Hanf zurück. Gesucht werden Nutzpflanzen, bei deren Anbau auf Pestizide verzichtet werden kann, um die Schadstoffbelastung von Flüssen und dem Grundwasser zu verringern. Die deutsche Firma Oregon, die Wasseraufbereitungsprojekte in Polen betreut, hält dazu Hanf für besonders gut geeignet und empfiehlt, den Hanfanbau in Polen wieder auszudehnen (**Lingen, 1993 zit. bei Herer, 1994**).

Im folgenden wird die Entwicklung des Hanfanbaus im 20. Jahrhundert dargestellt.

Tabelle 1 zeigt die Entwicklung des Hanfanbaus in Europa und weltweit im Zeitraum von 1913 bis 1991. Die Weltanbaufläche für Hanf war Ende der 80er Jahre an ihrem Tiefpunkt angekommen (etwa 240.000 ha) und hat sich seit dem leicht erholt (1991: 279.000 ha).

Tabelle 1: Entwicklung des Hanfanbaus zur Fasergewinnung in Europa und weltweit (Angaben: in 1000 ha)

	1913	1926	1948	1958	1968	1978	1981	1991
Westeuropa	ca. 110	ca. 120	73	30	8	11	ca. 3	ca. 4
Osteuropa	ca. 70	ca. 150	201	150	98	72	ca. 60	ca. 50
Europa	ca. 180	ca. 270	280	180	106	83	ca. 63	ca. 54
Russland/SU	679	925	556	355	321	130	113	58
Welt	?	?	?	820	636	ca. 500	ca. 450	279

(Quellen: **Mathieu, 1980; Körber-Grohne, 1987; FAO, 1957, 1991**)

Der Weltanbau von Hanf verteilt sich auf folgende Kontinente: Asien 58,8 % (vor allem China und Indien), die ehemalige UdSSR 20,8 %, Europa 19,4 % (Rumänien, gefolgt mit großem Abstand von Frankreich und Ungarn) und Südamerika (vor allem Chile) 1,4

% (**FAO, 1991**). Zum Vergleich seien die weltweiten Anbauflächen anderer Faserpflanzen kurz aufgeführt:

Flachs 1.051.000 ha, Hauptanbaugebiete sind die ehemalige UdSSR und seit wenigen Jahren China, Jute und juteähnliche Fasern 226.000 ha, fast ausschließlich in Asien (**FAO, 1991**).

Nach **Breitfeld (1995)** hat sich I. Bocsa in Ungarn um die Züchtung neuer Faserhanfsorten verdient gemacht. Seiner Meinung nach setzt Bocsa dabei auf diözische Sorten. Seine Stammsorte ist ‚Kompolti‘. Sie wurde 1957 zugelassen. Heute züchtet er Hybridsorten. Er ist der einzige Hanfzüchter, der mit Heterosiseffekten bei der Züchtung neuer Sorten arbeitet. Folgende Hybriden wurden von ihm gezüchtet: ‚Kompolti Hybrid TC‘, ‚Unico B‘ und ‚Unico B-7‘. In Ungarn verfügt man über Faserhanfsorten mit einem THC-Gehalt unter 0,3 % (Kreuzung aus ‚Kompolti‘ und ‚Fibrimon‘).

In der EU werden Hanf, Flachs und Baumwolle als Faserpflanzen angebaut. Der Anbau von Faserhanf stellt in der Pflanzenproduktion der EU nur eine Randerscheinung dar. Von der gesamten Ackerfläche der EU dürften im Jahr 1995 in Frankreich, Spanien, Großbritannien und in den Niederlanden zusammen 8.000 ha für die Erzeugung von Hanffasern zur Verfügung gestanden haben. In den letzten 30 Jahren hat der Anbau von Faserhanf in der EU stark abgenommen. Die Anbauflächen fielen von 23.600 ha (1956:1960) auf 3.000 ha (1988:1991). Geographisch betrachtet war der Hanfanbau in den letzten 40 Jahren auf Frankreich, Italien und Spanien konzentriert (**Bredemann u.a., 1961; Brodersen und Drescher, 1996**).

In Frankreich, als einzigem westeuropäischen Land mit nennenswerten Anbauflächen, ist 1991 erstmalig die Anbaufläche wieder gestiegen, und zwar von 3.000 auf 4.000 ha (**FAO, 1991**). 1993 wurden bereits wieder 5.850 ha Hanf angebaut (**Gsell, 1993**). Der durchschnittliche THC-Gehalt der in Frankreich kultivierten Hanfsorten liegt zwischen 0,1 und 0,2 % (**Gsell, 1993**).

Seit mehr als 50 Jahren wurde in Großbritannien kein Hanfanbau mehr betrieben. Dieser war seit 1971 gesetzlich verboten. 1993 wurde der Anbau erstmals über die Vergabe einer Lizenz ermöglicht (**Low, 1995**), wobei 1993 in Großbritannien 600 ha

und 1994 800 ha Hanf angebaut wurden, und zwar in East Anglia in der Grafschaft Essex (nordöstlich von London).

Seit 1994 wurde in Spanien, Frankreich und England Faserhanf kommerziell angebaut. In diesen Ländern ist ein zunehmendes Interesse an der Nutzung der Hanfpflanze zu beobachten, welches sich in der Ausweitung der Hanfanbauflächen und der Entwicklung neuer Produktlinien zeigt. In Ländern wie den Niederlanden, Belgien, Irland und der Schweiz wurde erwogen, 1994 oder 1995 den Hanfanbau wieder aufzunehmen.

Laut **Thomson (1994 zit. bei Herer, 1994)** wurde in der Schweiz bereits 1994 erstmals wieder Hanf angebaut, der für die Herstellung technischer Textilien Verwendung finden sollte.

In der Abbildung 3 sind die Anbauflächen von Hanf in der Europäischen Union dokumentiert. Die Entwicklung des Hanfanbaus wurde von 1980 bis 2000 dargestellt.

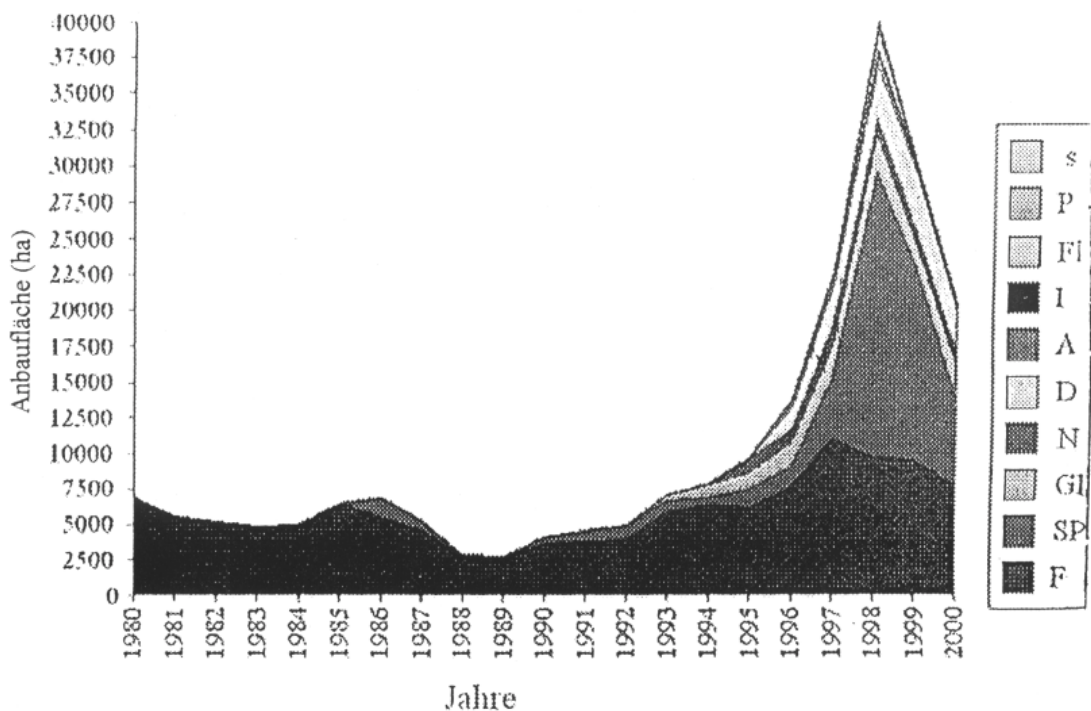


Abbildung 3: Hanfanbau in der EU 1980-2000 (Quelle: **Nova, 2000**)

(S = Sonstige, P = Portugal, FI = Finnland, I = Italien, A = Österreich, D = Deutschland, N = Niederlande, GI = Großbritannien, SP = Spanien und F = Frankreich)

In Deutschland wurden um 1880 etwa 150.000 ha Hanf angebaut. Bis 1878 sank die Hanfanbaufläche auf 21.238 ha. Im Jahre 1915 lag die Anbaufläche bei nur noch unbedeutenden 417 ha (Abbildung 4).

Die Abbildung zeigt den stetigen Rückgang der Hanfanbaufläche in Deutschland Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts, bis der Hanfanbau 1915 praktisch zum Erliegen kam.

Während der beiden Weltkriege wurde der Hanf in Deutschland zum Kriegsgewinnler (**Herer, 1994**). Abgeschnitten von den überseeischen Importfasern Baumwolle, Jute, Sisal und Ramie besann man sich wieder auf den Hanf und verbesserte Anbau-, Ernte- und Nutzungstechniken. Über die sog. Kotonisierung gelang es, aus den langen Hanffasern einen kurzfasrigen, hochwertigen Baumwollersatz herzustellen. In den zwanziger Jahren gab es Überlegungen, die gesamte Baumwolleneinfuhr durch kotonisierte Hanffasern zu ersetzen. Dazu wäre eine Anbaufläche von etwa 1 Million ha notwendig gewesen (**Gminder, 1924 zit. bei Karus, 1995**).

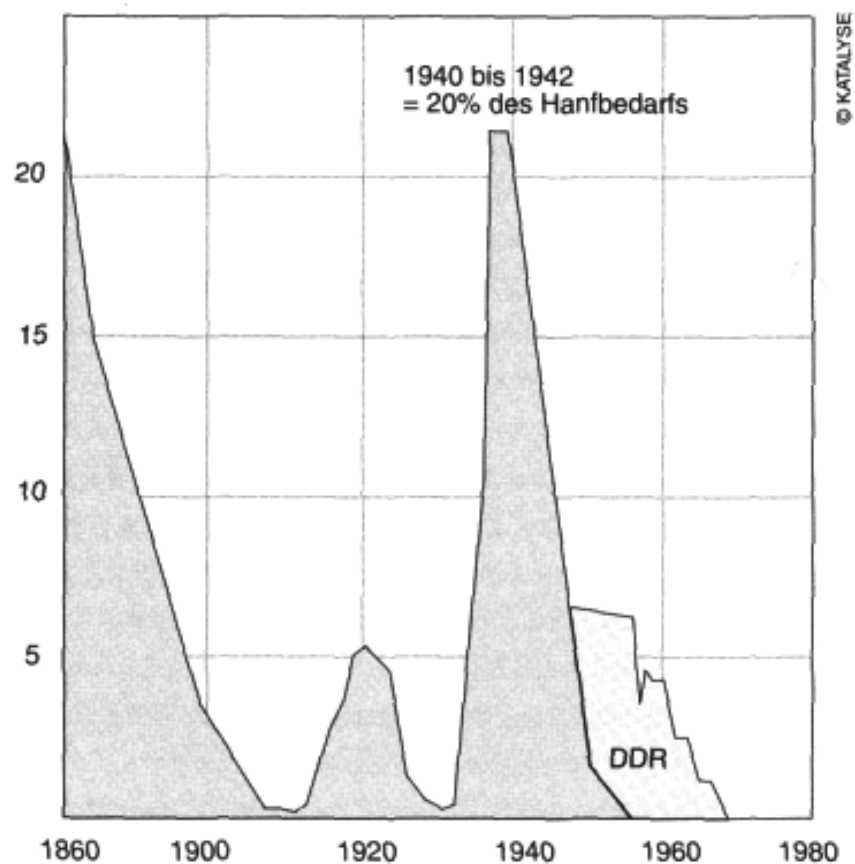


Abbildung 4: Hanfanbau in Deutschland (aus **Waskow, 1995**)

Im Jahr 1935 wurden aber wieder etwa 2.400 ha mit Faserhanf und 1.335 ha mit Samenhanf bestellt. Im Jahr 1937 wurde ein weiterer Anstieg auf 7.510 ha bei Hanf verzeichnet. Von der gesamten Hanfanbaufläche entfielen 5.871 ha auf Preußen und 968 ha auf Bayern (**Statistisches Jahrbuch für das Deutsche Reich, 1938**). In der Hanfindustrie wurde folgendes Warensortiment aus Hanffasern hergestellt: Webgarne für Schläuche, Segeltuch, Teppiche und Gurte, polierte Garne für Webzwecke und Klöppeleien, Liederungsgarne für Dichtungszwecke, Wurst-, Sattel-, Schuh-, Netz-, und Sacknägarne sowie Strohpressengarne für die Landwirtschaft, für Bindezwecke Kordel, Packstricke, Schnürfaden, Kordel- und Seilgarne, Bergseile (**Backe, 1936**).

Obwohl die Anbauzahlen in Deutschland zwischen 1933 und 1940 von 210 auf 21.000 ha empor schnellten (geplant waren bis 1945 30.000 ha), reichte dies nicht zur Deckung des Bedarfs aus. Selbst 1941, im Jahr der höchsten Hanfernte während des Zweiten Weltkrieges, mussten von 67.966 Tonnen über 80 % vorwiegend aus Italien importiert werden (**Statistik der Reichsstelle für Textilwirtschaft, 1936-1943**).

Nach den letzten Kriegsjahren des 2. Weltkrieges wurden in Deutschland ca. 21.000 ha angebaut, womit etwa 20 % des Bedarfs gedeckt wurden. Nach dem Krieg schrumpfte der Hanfanbau in Westdeutschland rasch auf unbedeutende Größe, bedingt durch die Konkurrenz von überseeischen Fasern. In der ehemaligen DDR hielt sich der Hanfanbau noch bis Ende der 60er Jahre.

Der Hanfanbau hatte in der ehemaligen DDR eine größere Bedeutung als in der alten Bundesrepublik Deutschland. Der Anbau fand schwerpunktmäßig im Bezirk Potsdam statt. Im Jahr 1950 erreichte der Hanfanbau mit insgesamt 4.318 ha Fläche etwa das gleiche Niveau wie vor dem Zweiten Weltkrieg. Im Jahr 1960 wurden die Anbauflächen weiter auf 6.583 ha erhöht. Seit 1961 ging jedoch der Hanfanbau auch in der DDR drastisch zurück. Im Jahr 1972 betrug die Anbaufläche nur noch 474 ha. Seit 1973 gab es in der ehemaligen DDR praktisch keinen Hanfanbau mehr (**Statistisches Jahrbuch der DDR, 1974**).

Im Jahr 1989 führte die DDR 1.386 t Hanfbastfasern ein, nur 9,3 % der im Jahr 1970 getätigten Einfuhr. Aus der Reduzierung der Einfuhrmenge und der gleichzeitig stark herabgesetzten Eigenproduktion von Faserpflanzen wird ersichtlich, dass diese

natürlichen Rohstoffe in der Verarbeitungsindustrie in der ehemaligen DDR immer weniger Beachtung fanden. Das gesamte Produktionsprogramm wurde auf Kunst- und synthetische Fasern ausgerichtet (**Hanf, 1997**).

Tabelle 2 zeigt die Anbauflächen von Hanf in der Bundesrepublik Deutschland nach der Aufhebung des Hanfanbauverbotes. Die Entwicklung des Hanfanbaus ist von 1996 bis 2000 dargestellt.

Tabelle 2: Hanfanbau in der Bundesrepublik Deutschland von 1996 bis 2000 in ha

Jahre	1996	1997	1998	1999	2000
Hanfanbau in ha	1423	2812	3575	4066	3094

(Quelle: **Nova, 2000**)

### 2.3. Ausprägung wirtschaftlich wichtiger Merkmale

#### 2.3.1. Fasergehalt und Faserqualität von Hanf

Es werden drei Kategorien von Naturfasern unterschieden: pflanzliche, tierische und mineralische Fasern, wobei alle pflanzlichen Fasern aus Zellulose bestehen. Pflanzliche Naturfasern werden in Samenfasern (z.B. Baumwolle, Kapok), Bast- oder Stängelfasern (z.B. Flachs (Lein), Hanf, Jute, Ramie) und Blatt- oder Hartfasern (z.B. Sisal, Manila, Kokos) unterteilt. Die Weich- oder Stängelfasern zeichnen sich dabei durch eine hohe Festigkeit, aber eine geringere Dehnbarkeit aus.

Der Hanffasergehalt wird im wesentlichen von der Stängellänge bestimmt und variiert je nach Anbaubedingungen (**Hoffmann u.a., 1985**). Er hängt stark vom Geschlechtstyp ab.

Unter den Qualitätsmerkmalen spielt der Anteil an Lang- und Kurzfasern die wichtigste Rolle (**Hoffmann u.a., 1985**). Da die Ausbeute an Langfasern hauptsächlich vom Anteil der Primärfaserbündel abhängt, kann sie durch Auslese auf Primärbast gesteigert werden.



Die langgestreckten Faserbündel von Hanf, die sich aus längeren und kürzeren, durch Zellulose verdickten Faserzellen zusammensetzen, sind in der Rinde, dem sogenannten Bast des Hanfes, eingelagert (Abbildung 5).

Die Faserbündel beim Hanf umschließen den Holzteil ringförmig und durchziehen den gesamten Spross bis in die Stängelspitze. Die primären Faserzellen erreichen eine Länge von bis zu 20 mm. **Menge-Hartmann und Höppner (1995)** fanden bei den Hanfsorten ‚Felina‘ im Mittel 7 und bei ‚Kompolti Hybrid TC‘ 8 Primärfaserschichten. Die gesamten Primärfaserschichten erreichten im Anbaujahr 1993 eine Dicke von bis zu 223  $\mu\text{m}$  bei ‚Felina‘ und 240  $\mu\text{m}$  bei ‚Kompolti Hybrid TC‘. Im Jahr 1992 lagen diese Werte niedriger mit 192  $\mu\text{m}$  bei ‚Felina‘ und 200  $\mu\text{m}$  bei ‚Kompolti Hybrid TC‘. Im Kambium werden noch die die Stängelstabilität erhöhenden sekundären Faserbündel - hauptsächlich im unteren Stängelbereich - angelegt. Die kürzeren Fasern, die sogenannten sekundären Fasern, können eine Länge von ca. 2 mm erreichen. Das Ausmaß der Sekundärfasern ist im wesentlichen sortenabhängig.

Zur Fasergehaltsbestimmung sind Verfahren notwendig, die den Bastteil vom Holzteil trennen und die Faserbündel aus dem sie umgebenden Gewebe herauslösen (**Heuser, 1927**).

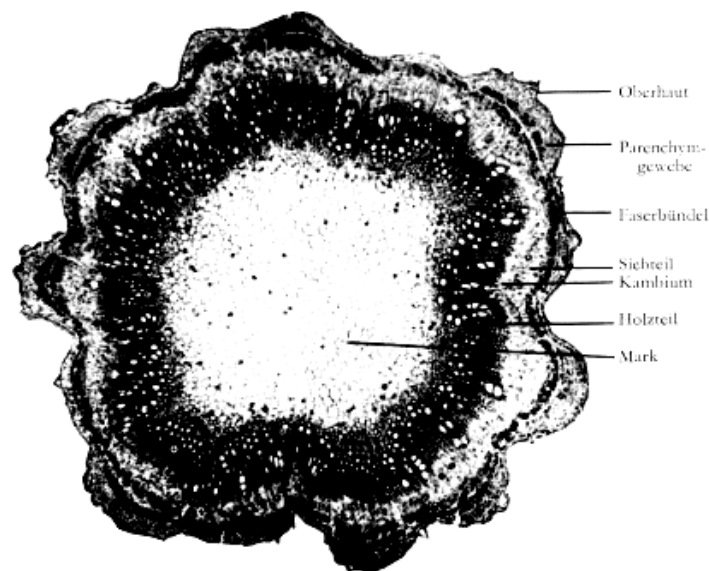


Abbildung 5: Querschnitt durch den oberen Teil eines noch wachsenden Hanfstängels (nach **Heuser, 1927**)

Unter den mechanischen, physikalischen, chemischen, biologischen und mikroskopischen Methoden zur Bestimmung des Fasergehaltes haben die auf einem chemischen Aufschluss der Fasern beruhenden Verfahren die größte Verbreitung gefunden. Als erste Schritte in dieser Richtung sind die bei **Bilcescu (1965)** zitierten Arbeiten von Linnik (1916), Fruwirth (1919), Weintzig und Giersch (1920) sowie Baur und Behrens (1921) zu erwähnen.

Diese Anfangsphase wurde durch Bredemann mit der Entwicklung seines im Jahre 1922 veröffentlichten Verfahrens abgeschlossen. **Bredemann (1922a, b)** hat mehrere chemische Methoden zur Bestimmung des Fasergehaltes bei Hanf entwickelt. Mit Hilfe dieser Methoden kann sowohl am grünen als auch am trockenen Hanfstängel der Reinfasergehalt bestimmt werden.

Dieses einfache, aber genaue, auf einem chemischen Aufschluss beruhende Verfahren weist als grundlegenden Arbeitsgang ein doppeltes Kochen in einer schwachen NaOH-Lösung auf. 20 Jahre später entwickelte Bredemann ein neues, vervollkommnetes Verfahren, das ein intensiveres Kochen im Autoklaven vorsieht. Die Bestimmung des Fasergehaltes durch chemischen Aufschluss nach dem Bredemann-Verfahren in ihrer ursprünglichen oder leicht veränderten Form hat in der Hanfzüchtung der letzten drei Jahrzehnte fast allgemein Verbreitung gefunden.

Nach **Neuer u.a. (1946)** werden die Hanfstängel zur Feststellung des Bastgehaltes getrocknet, die Blütenstände abgeschnitten, die Länge gemessen und der obere und untere Stängeldurchmesser ermittelt. Die gewogenen Stängel werden zur Ablösung der Rinde vom Holzteil eine halbe Stunde in einer 0,25 %igen Natronlauge gekocht. Bei Verlängerung der Zeitdauer reicht nach eigenen Erfahrungen Kochen in Wasser ebenfalls aus. Dann wird der Bast mit der Hand abgezogen, leicht im Wasser gespült, im Trockenschrank getrocknet und anschließend gewogen. Für die Züchtung auf Fasergehalt sind von den Züchtern verschiedene Methoden entwickelt worden.

Die reine Hanffaser kann durch einen chemischen Aufschluss erhalten werden. Die chemischen Verfahren eignen sich auch am besten zur Entwicklung von Schnell- und Massenbestimmungsmethoden. Solche Methoden sind von **Kraus und Bilz (1922 zit. bei Hoffmann, 1944)**, **Bredemann (1922a, b, 1924, 1927, 1940, 1942a, b, 1952)**,

**Sengbuch und Schwarze (1937 zit. bei Schwarze, 1937) und Neuer u.a. (1946)** angegeben wurden.

Der Fasergehalt in einem Hanfstängel ist nicht an jeder Stelle gleich. Er ist in der Stängelmittle am höchsten und nimmt von dort zur Spitze und zur Wurzel hin ab. Der Fasergewichtsanteil, bezogen auf den Gesamtfasergehalt, ist an der Spitze am geringsten und nimmt nach der Wurzel hin zu. Zwischen Samen- und Faserhanf bestehen in dieser Beziehung nur geringe Unterschiede, die durch die verschiedenen Verholzungsgrade und die weitere Ausbildung von Sekundärfasern bei Hanf zu erklären sind (**Bredemann, 1940**).

Der nach **Bredemann (1942a, b)** als praktisch erzielbar bezeichnete mittlere Hanffasergehalt von rund 25 % Reinfaser, der einer technischen Ausbeute von etwa 33 % entspricht, konnte in den Eliten mit einem 30 %igen und höheren Reinfasergehalt in Einzelfällen übertroffen werden (**Bredemann, 1952, 1953**).

Früher haben die Bauern auf ihren kleinen Parzellen die männlichen Hanfpflanzen gesondert gerauft und für feineres Leinen (Bettwäsche, Handtücher, Bekleidung usw.) verwendet, während von den weiblichen Hanfpflanzen gröbere Leinen gewebt wurden (Säcke, Planen). Eine getrennte Ernte ist heute nicht mehr möglich.

Monözische Hanfsorten reifen gegenüber den diözischen Sorten gleichmäßiger ab, was die mechanische Ernte vereinfacht und eine bessere Faserqualität erbringt (**Bartholomäus, 1963**).

In Tabelle 3 wird deutlich, dass bei ‚Kompolti‘ die männlichen die weiblichen Hanfpflanzen in allen qualitativen Parametern - mit Ausnahme der Zugkraft - übertreffen. Aus der Tabelle geht auch hervor, dass die Merkmale bei der Nutzung des gemischten Bestandes (männliche und weibliche Pflanzen gemeinsam) einen mittleren Platz zwischen den beiden Geschlechtern einnehmen (Ausnahme: Reißfestigkeit). Sie reichen hinsichtlich Qualität jedoch näher an die männlichen als an die weiblichen Hanffasern. Die monözische Faserhanfsorte ‚Fibrimon 21‘ ist beim Vergleich mit der diözischen Sorte ‚Kompolti‘ nur im Merkmal Reißfestigkeit überlegen (**Bocsa und Karus, 1997**).

Hanffasern werden u.a. bei der Papierherstellung eingesetzt. Neben den biologisch technologischen Eigenschaften haben jedoch auch noch andere Faktoren einen bedeutsamen Einfluss auf die Verwendbarkeit der Hanfpflanzen im Verarbeitungsprozess bei der Papierherstellung. So müssen insbesondere auch spezifische technische und wirtschaftliche Aspekte wie Aufschluss, Sammlung, Transport und Lagerung der pflanzlichen Faserrohstoffe bei der Beurteilung einer Rohstoffpflanze im Hinblick auf Eignung zur Papierproduktion berücksichtigt werden (**Sändig u.a., 1971 zit. bei Hanf, 1996**).

Als Rohstoff für die Papierproduktion kann Hanf in zweierlei Hinsicht Verwendung finden: Zum einen können die frisch gewonnenen Hanffasern direkt in Papiermühlen verarbeitet werden und zum anderen können sie erst nach einer Vorverwendung, z.B. als Textilmaterial, bei der Papierherstellung zum Einsatz kommen (**Sändig u.a., 1971 zit. bei Hanf, 1996**).

Tabelle 3: Qualitative Eigenschaften der Sorten ‚Kompolti‘ (zweihäusig) und ‚Fibrimon 21‘ (einhäusig)

Fraktionen	Gewicht	Faser	Biegsamkeit	Torsionswiderstandsfähigkeit	Reißfestigkeit	Metrische Feinheit
	%	%	Hmm	$10^3/T$	$p_{kp}$	Nm
Kompolti/ Männchen	49	31,5	26,8	19,31	6,16	141,72
Kompolti/ Weibchen	51	29,6	18,3	13,23	7,26	109,63
Kompolti/ Männchen + Weibchen	100	30,4	24,3	16,78	6,04	131,23
Fibrimon 21	-	26,7	16,0	11,80	6,25	101,25

(Quelle: **Bocsa und Karus, 1997**)

Auch nach der Zulassung wurde bei ‚Kompolti‘ auf Fasergehalt selektiert und die Selektion an beiden Eltern, d.h. mütterlichen und väterlichen Linien, durchgeführt. Im

Ergebnis des Faseranreicherungsprozesses erhöhte sich der Fasergehalt der Elitepflanzen im weiten Standraum von 13,5 % (1953) auf 37,6 % (1988). In derselben Zeit stieg der Hanffasergehalt der im dichten Bestand angebauten Nachkommenschaften oder Stämme von 19,3 % auf 37,6 % an. Parallel dazu ist auch die Faserausbeute des industriellen Hanfstängels größer geworden. Sie erhöhte sich von 18,0 % auf 24,2 % (Abbildung 6).

Die Steigerung des Fasergehaltes durch Selektion ist deshalb möglich, weil die genetischen Reserven des Fasergehaltes auch innerhalb einer Sorte sehr groß sind und dieser bei der Erhaltungszüchtung weiter verbessert werden kann. Die Hanfsorte ‚Kompolti‘ kann heute – nach vielen Jahren in der Erhaltungszucht - nicht mehr als die ursprüngliche Sorte angesehen werden, obwohl sie seit 40 Jahren immer noch den selben Namen trägt (Bocsa und Karus, 1997).

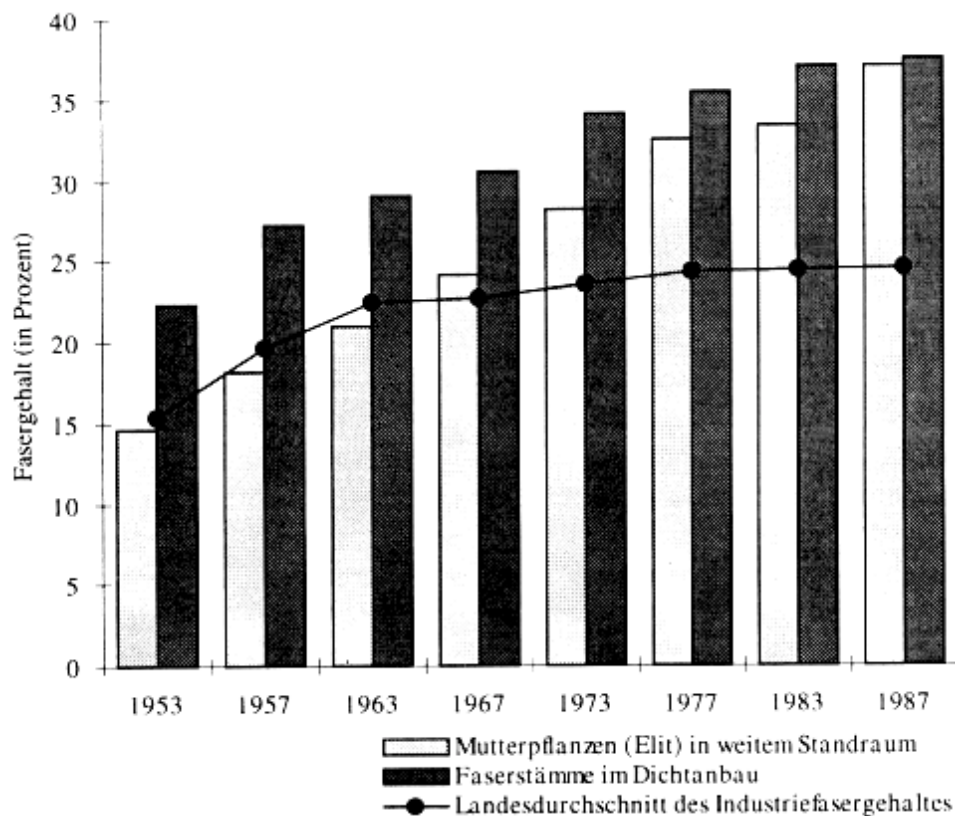


Abbildung 6: Einfluss der Züchtung auf den Fasergehalt der Sorte ‚Kompolti‘ (nach Bocsa und Karus, 1997)

### 2.3.2. Der Ölgehalt

Die Samen von Hanfpflanzen weisen einen hohen Fettgehalt von etwa 35 % auf. Aus den Hanfsamen kann durch Pressen ein hochwertiges Speiseöl mit bräunlichgelber, grüngelber oder dunkelgrüner Farbe gewonnen werden. Tabelle 4 zeigt die Zusammensetzung des Öls und einen Vergleich zu anderen Speiseölen. Es ist stets ein Gemisch von Fettsäuren vorhanden. Der Anteil an ungesättigten Fettsäuren liegt bei vielen Pflanzenölen bei 80 % und mehr. Die wichtigste ungesättigte Fettsäure ist die zweifach ungesättigte (cis-) Linolsäure. Linolsäure ist essentiell. Sie kann vom Menschen nicht synthetisiert werden. Wichtig ist dabei, dass bei der Verarbeitung ein Teil der cis-verknüpften Doppelbindungen nicht in die trans-Form umgewandelt wird, damit der Körper daraus die notwendigen Baustoffe produzieren kann, die aus der stabilen trans-Form nicht mehr herstellbar sind (**Steinegger und Haensel, 1988**).

Je nach Hanfsorte und Anbaugebiet variiert der Anteil an Linolsäure und beträgt im Hanföl zwischen 46 und 70 % (**Körber-Grohne, 1987**) und liegt damit im gleichen Gütebereich wie beim Sonnenblumen- und Sojaöl. Kaltgepresstes Hanföl schmeckt angenehmen nussig und eignet sich damit gut für Salate, Gemüse und Süßspeisen (**Katalyse, 1994b zit. bei Herer, 1994**).

Tabelle 4: Die Zusammensetzung von Hanföl im Vergleich zu anderen Speiseölen

Bestandteile in %	Hanföl	Sonnenblumenöl	Sojaöl	Rapsöl	Olivenöl	Erdnussöl	Leinöl
Gesättigte Fettsäuren	9,5	7,5	14	6	14,5	17,5	13
ungesättigte Fettsäuren	83,4	86,5	85	92	84	80	90
davon Linolsäure	48,8	63	56	20	7,5	25	24
Linolensäure	22,8	0,5	8	9	1	-	49
Ölsäure	11,8	23	21	63	75,5	55	17

(Quellen: **Reuter, 1987; Oetker, 1983; Franke, 1981**)

Als gesättigte Fettsäuren wurden beim Hanföl Palmitinsäure (4-10 %) und Stearinsäure (4-10 %) gefunden (**Schuster, 1992**).

Auf Grund des niedrigeren Gehaltes an Linolensäure und eines höheren Gehalt an Linolsäure kann dieses Öl den halbtrockenen Ölen zugeordnet werden (**Raie et al., 1995**).

Das Hanföl ist wie alle Öle, die einen hohen Linolsäuregehalt aufweisen, sehr anfällig für Autooxidation und eignet sich insbesondere als hochwertiges Kaltspeiseöl. Für den praktischen Gebrauch ist günstig, dass Hanföl bis zu Temperaturen von  $-15^{\circ}\text{C}$  flüssig bleibt (**Schönefeld, 1955**).

Die bei der Ölgewinnung anfallenden Pressrückstände sind ein hochwertiges Viehfutter. Der Hanfkuchen besteht zu 4,3 % aus Fett, zu 23,9 % aus Protein und zu 10,3 % aus Kohlenhydraten (**Schönefeld, 1955**).

Da die zu den Pflanzenmargarinen zählenden Margarinesorten mindestens 30 % Linolsäure enthalten müssen, eignet sich Hanföl auch zur Herstellung von Margarine (**Katalyse, 1990**). Hanföl besitzt einen hohen Anteil Linolsäure und ist damit ein hochwertiges, gesundes Speiseöl. Jüngste Untersuchungen aus Japan haben gezeigt, dass Hanföl eine cholesterinsenkende Wirkung bei Ratten besitzt (**Kemmoku, 1992**). Das Hanföl wurde medizinisch für die Herstellung von Salben gegen Ekzeme, Milchschorf und Psoriasis (Schuppenflechte) benutzt (**Wagner, 1982 zit. bei Herer, 1994**).

Hanföl kann gegen verschiedene Bakterien, wie beispielsweise Streptokokken und Mykobakterien, eingesetzt werden. (**Fournier, 1978**).

Kein pflanzliches Nahrungsmittel in der Welt kann sich mit dem Nährwert von Hanfsamen messen. Durch ein besonders ausgewogenes Verhältnis von Proteinen und essentiellen Fetten ist der Hanfsamen geradezu ideal für unsere Ernährung. Nur die Sojabohnen übertreffen den Hanfsamen mit ihrem Eiweißgehalt; aber die Zusammensetzung der verschiedenen Proteine ist nicht so günstig wie beim Hanf. Dort bestehen allein 65 % des Eiweißanteils aus Globulin (**Stockwell et al., 1964 zit. bei Herer, 1994**).

Bei der Hanfölnutzung für Motoren werden zwei Wege unterschieden: zum einen die technische Anpassung der Motoren an die Pflanzenöle (Elsbeth-Motor) und zum anderen die züchterische oder synthetische Anpassung des Pflanzenöls an herkömmliche Dieselmotoren (Rapsölmethylester). Letzteres führt zu deutlich höheren Kosten des Bio-Treibstoffs. Hanföl kann ohne Probleme ebenso wie beispielsweise Rapsöl im Elsbeth-Motor verbrannt werden (**Seidel, 1993**).

Für die Herstellung von Kosmetika sowie im Ernährungsbereich ist der nur bei wenigen Pflanzenarten vorkommende (-Linolensäureanteil wichtig. Zahlreiche Produkte auf der Basis von Hanföl sind mittlerweile in den Handel gebracht worden. Landwirte zeigen Interesse, die Samengewinnung bei einem Anbau in den Vordergrund zu rücken. Da es gegenwärtig keine Ölhanfsorten gibt, muss auf monözische Faserhanfsorten zurückgegriffen werden. Gegenüber einem Faserhanfanbau sind verschiedene Parameter der Bestandesführung zu ändern. Deshalb wurden der Einfluss der Saattiefe und des Reihenabstandes auf die Samenertragsleistung geprüft (**Höppner, 1995**).

### 2.3.3. THC-Gehalt

An der Hanfpflanze befinden sich Drüsenhaare. In den Drüsenhaaren der Blütenregion des Hanfes wird das Rauschgift Haschisch (Marihuana) gebildet, dessen wirksame Bestandteile vor allem Cannabinol und Tetrahydrocannabinol (THC) sind (**Bouquet, 1938; Work et al., 1939; Hitzemann, 1941**). Hanfsamen und Fasern enthalten fast keine Cannabinoide. Aus der Klasse der Cannabinoide bei Hanf sind heute mehr als 60 Komponenten (chemische Stoffe) bekannt. Die psychoaktiv wirksamen gehören zur Gruppe der Tetrahydrocannabinoide. Auf der ganzen Oberfläche der Pflanze, außer auf Samen und Wurzeln, befinden sich Drüsen, besonders dicht auf der Unterseite der Tragblätter entlang der Blattadern und der Blätter im Bereich der Blütenstände, die Harz bilden, welches zu 80 bis 90 % aus Cannabinoiden sowie ätherischen Ölen, hochpolymeren Phenolen, Terpenen und Wachsen besteht (**Reuter, 1987**).

Der dichteste Besatz mit THC und die größten Drüsen befinden sich an weiblichen Hanfpflanzen in den Blütenregionen und hier besonders auf den Samenhüllblättern. Die Faserhanfformen enthalten in der Regel nur geringe THC-Konzentrationen, die unter 0,3 % liegen. Daher sind diese Hanfformen für eine Drogennutzung nicht geeignet (**Franke, 1992**).

In der EU sind nur Hanfsorten zum Anbau zugelassen, deren THC-Gehalt im oberen Blattdrittel unter 0,3 % liegt (EG 1984 / 1986). Bei solchen Sorten kann selbst beim Konsum großer Mengen eine Rauschwirkung ausgeschlossen werden (**Katalyse, 1994**).



Faserhanf und Drogenhanf lassen sich schon als Jungpflanzen durch den THC-Gehalt unterscheiden. Untersuchungen kamen zu dem Ergebnis, dass es anhand von THC-Messungen an Jungpflanzen möglich ist, den späteren THC-Gehalt der reifen Pflanzen vorauszuberechnen (**Cortis et al., 1985 zit. bei Herer, 1994**).

Neben den THC-Gehalten sind hierbei auch die Gehalte eines weiteren Hauptcannabinoids, des Cannabidiols (CBD), relevant. CBD gilt im Biosyntheseweg als Vorläufer des THCs (Abbildung 7) und ist meist das dominierende Cannabinoid bei den Faserhanftypen, während CBD in den THC-dominierten Drogentypen meist fehlt (**Mathieu und Fournier, 1995**).

Der THC- und der CBD-Gehalt von Hanfpflanzen wurde von verschiedenen Autorengruppen auf unterschiedliche Weise zueinander in Beziehung gesetzt. Auf Grund dieser Beziehungen und bestimmter Schwellenwerte erfolgte eine Einteilung in Drogenhanftypen, intermediäre Typen und Nicht-Drogen-Typen (**Fetterman et al., 1971; Small und Beckstead, 1973; Fournier und Paris, 1979; de Meijer et al., 1992**).

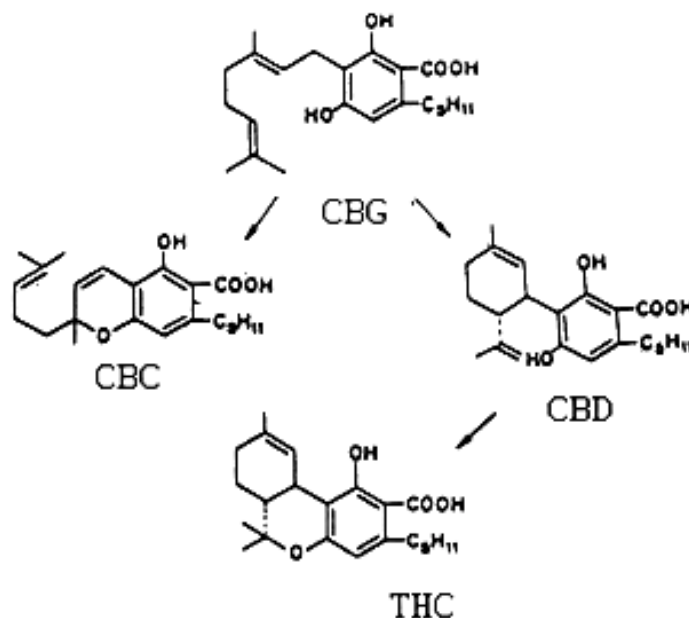


Abbildung 7: Die Biosynthese des THCs bei Hanf (Quelle: **Shoyama, et al., 1984 zit. bei Pate, 1994**)

Nach **Bocsa und Karus (1997)** kann die Züchtung auf niedrigen THC-Gehalt bei Hanfpflanzen durch Screenings mittels Dünnschichtchromatographie an für sonstige Zwecke vorselektierten Hanfpflanzen, z. B. auf den Fasergehalt der Stängel, erfolgen. Da die Hüllblätter das THC enthalten, werden diese als Probe für die chemischen Untersuchungen benutzt.

Ebenfalls wichtig ist, dass der nicht psychoaktive CBD-Gehalt groß und das THC/CBD-Verhältnis geringer als 1 ist. Die Hanfpflanzen, die bei dieser Untersuchung keine Farbreaktion zeigen, werden mit gaschromatographischen Verfahren weiter geprüft. Nur die mit beiden Verfahren ermittelten sogenannten Minusvarianten werden im nächsten Jahr ausgesät. In Tabelle 5 ist der Gehalt von Delta-9-THC und CBD sowie deren Verhältnis zueinander in verschiedenen Hanfsorten angegeben.

Tabelle 5: Delta-9-THC- und CBD-Gehalt verschiedener Hanfsorten und deren THC/CBD-Verhältnis

Nr.	Hanfsorten	$\Delta$ -9-THC (%)	CBD (%)	THC / CBD-Verhältnis
1	Kompolti (d)	0,15	1,39	0,11
2	Juso 11 (m)	0,12	0,96	0,12
3	Felina 34 (m)	0,15	1,39	0,11
4	Futura (m)	0,15	1,21	0,12
5	Ferimon (m)	0,17	1,16	0,15
6	Fibrimon 56 (m)	0,21	1,07	0,19
7	Uniko B (d)	0,22	1,21	0,18
8	Fedrina 74 (m)	0,25	1,67	0,15
9	Fedora 19 (m)	0,26	1,41	0,18
10	Bialobrzeskie (m)	0,26	0,59	0,45
11	Kompolti Hybrid TC (d)	0,55	0,79	0,71
12	Lovrin 110 (d)	0,66	1,30	0,51
13	Secuieni 1 (m)	0,75	1,14	0,66

d – diözisch, m –monözisch

(Quelle: **de Meijer et al., 1992**)

Man hat in Frankreich und in der früheren Sowjetunion (Gluchow in der Ukraine) in den 70er Jahren mit der Züchtung auf niedrigen THC-Gehalt begonnen, gefolgt von Ungarn zu Beginn der 80er Jahre.

Wegen der Drogenproblematik beim Hanf wurde versucht, den THC-Gehalt weiter zu senken, was auch gelang. Die französischen Hanfsorten haben heute THC-Gehalte zwischen 0,17 und 0,3 % (**Small, 1979; de Meijer und van Soest, 1992**). Dies liegt im Bereich der in einer EG-Richtlinie für drogenarme Faserhanfsorten bei max. 0,3 % festgelegten Forderung (**FNPC, 1994, zit. bei Breitfeld, 1995**). Es existieren in Frankreich auch fast THC-freie Hanfsorten (0,05 %), obwohl die Erzeugung völlig THC-freier Formen biologisch unvorstellbar ist, da das THC eine wichtige, für uns allerdings noch nicht bekannte Rolle in der Pflanze spielt (**de Meijer et al., 1992**). Es gelang aber auch schon, Chemotypen mit nur 0,03 % THC zu selektieren (**Fournier, 1980 zit. bei du Bois, 1982; Hoffmann u.a., 1985**).

Die höchsten Cannabinoidgehalte wurden in den Brakteen (Blätter und Hüllblätter) gefunden und ihr Cannabinoidgehalt korrelierte mit der Menge zweier Drüsenhaartypen (**Mahlberg et al., 1984; Petri et al., 1988**). Mehrere Autoren haben nämlich Drogenhanftypen beobachtet, die generell in warmen, sonnigen und trockenen Gebieten mehr Cannabinoide bzw. THC bildeten (**Taylor et al., 1985; de Faubert Maunder, 1976; Turner et al., 1978**). Auch Faserhanfsorten in trockeneren kontinentalen Regionen haben höhere THC-Gehalte als bei maritimem Klima (**Murari et al., 1983a, b**). Hanf-Ökotypen sowohl tropischer als auch gemäßigter Hanfherkünfte wiesen eine deutliche Abnahme der Cannabinoidproduktion mit steigender Temperatur auf (**Bazzaz et al., 1975**).

#### **2.4. Besondere Aspekte beim Anbau von Hanf**

Beim Hanf richtet sich die Saatzeit nach dem Klima und den Standortverhältnissen. Für unsere mitteleuropäischen Klimaverhältnisse werden Aussaatzeiten in Abhängigkeit von der Witterung zwischen Mitte April und Mitte Mai empfohlen. Immer muss eine durchschnittliche Vegetationszeit von 100-150 Tagen (je nach Nutzungsform) gewährleistet sein (**Heuser, 1927**).

Die Hanfsamen keimen bei ausreichender Feuchtigkeit sehr schnell. Die Saat läuft nach 3 bis 5 Tagen auf. Die Keimfähigkeit liegt zwischen 90 und 96 % (**Autorenkollektiv,**

1957), wobei Feldaufgangsraten von 85 % erreicht werden können (**van der Werf et al., 1995**). Die Saattiefe sollte auf Mineralböden 3-4 cm und in Moorböden 4-5 cm betragen. Diese Tiefe ist notwendig, damit das Samenkorn in einer genügend feuchten Schicht schnell keimen kann (**Heuser, 1927; Hoffmann, 1957; FNPC, 1994, zit. bei Breitfeld, 1995**).

Beim Samenhanfanbau beträgt die Aussaatmenge 20-50 kg/ha. Üppige Hanfblütenstände bzw. Samenstände sind häufig über das gesamte obere Hanfstängeldrittel verteilt. Ölsorten bleiben meist recht klein, blühen früher und reichlich und bilden verhältnismäßig große Samen (**Hai und Rippchen, 1994**).

Beim Faserhanfanbau kommen höhere Aussaatmengen (80-100 kg/ha) zum Einsatz. Je dichter der Hanf steht, um so dünner und feiner werden die Hanfstängel und die Bildung von Verzweigungen (Seitenästen) wird unterdrückt. Daraus resultieren eine höhere Faserausbeute und eine bessere Faserqualität, wobei der Samenstand klein bleibt. Faserhanftypen werden in gemäßigten Klimaten angebaut und sind für die Drogenproduktion nicht oder wenig verwendbar. Die Drogentypen werden in wärmeren, trockeneren Klimaten kultiviert und sind zur Fasergewinnung nur schlecht geeignet. Der Fasertyp ist allgemein *Cannabis sativa* L. und der Drogentyp *Cannabis indica* genannt worden (**Starks, 1981**).

Für Faserhanfsorten können folgende Zuchtziele aufgestellt werden. An erster Stelle steht der Faserertrag. Der Faserertrag hängt einerseits vom Rohertrag und andererseits vom Fasergehalt der Stängel ab. Der Rohertrag wird durch den Holz- und Bastanteil, die Länge und Dicke der Stängel, die Zahl der Hanfpflanzen je Flächeneinheit, die Reifezeit und die Resistenz gegen Krankheiten bestimmt.

Der Samenertrag darf unter ein bestimmtes Maß nicht absinken, da sonst die Bereitstellung von Saatgut für den Faserhanfanbau nicht gewährleistet ist (**Huhnke u.a., 1951**). Beim Faserhanf ist die Hanfsamenproduktion in südlicheren Ländern günstiger durchzuführen. Die Reifebedingungen für die Hanfsamen sind dort besser und die Erträge höher (**Bartholomäus, 1963; Dambroth, 1993**). Die Hanfpflanzen müssen für die Samenproduktion genügend Zeit zur Ausreife haben. Sie sollten auch nicht in der Nähe von anderen Faserhanffeldern stehen. Es ist besser, sie in separaten Gegenden anzubauen, da die Gefahr der ungewünschten Fremdbefruchtung groß ist. Die Pollen können kilometerweit verwehen und sind mehrere Tage befruchtungsfähig (**Bartholomäus, 1963; Loch, 1995**).

Von besonderer Bedeutung sind die günstigen Eigenschaften der Hanfpflanzen für den Ackerbau. Die robusten Hanfstängel sind schnellwüchsig (ca. 2 bis 4 Meter in 100 Tagen) und unterdrücken jegliche Unkräuter. Die Hanfpflanze ist wenig anfällig für einen Schädlingsbefall. In der Regel kann ohne nennenswerte Ertragseinbußen sogar vollständig auf Pestizide verzichtet werden. Hanf eignet sich sehr gut zur Erweiterung der Fruchtfolge als Vor- und Zwischenfrucht, z.B. für Hackfrüchte und Weizen. Bei der Hanfernte bleibt der Acker unkrautfrei und mit einer sehr guten Bodenstruktur. Zusätzlich werden eine Reihe von Bodenkrankheiten unterdrückt (**Karus, 1995**).

Die Hanfpflanze hat einen hohen Nährstoffbedarf. Dieser beruht auf dem Wachstum der Pflanzen von 2- 3 cm pro Tag bei einer Höhe von 2 - 4 m in 120 - 150 Tagen (**Fischbeck u. a., 1982**).

Beim Hanfanbau gibt es zur Zeit nur wenig Schwierigkeiten mit Krankheiten und Schädlingen. Dies zeigt auch seine Selbstverträglichkeit. Bei standortgerechten Anbaubedingungen gibt es keine Probleme (**Hoffmann, 1957; FNPC, 1994 zit. bei Breitfeld, 1995; Stickland, 1995**).

Bei der Ernte werden die obersten 50 cm der Hanfpflanzen durch Köpfen der Spitzen abgetrennt. Dadurch erleichtert sich die Verarbeitung, da ein Großteil der die Verarbeitung störenden Blätter und Samen auf dem Feld verbleibt. Das Köpfen kann durch Abmähen oder Abschlagen geschehen. Durch das Abtrennen kommt es aber auch zu Verlusten an Stängel- und damit Faserertrag (**Huismann et al., 1995**).

Nach der Ernte müssen die Hanfstängel weiter aufbereitet werden, da nur deren reine Hanffasern als vermarktungsfähiges Produkt Anwendung finden (**Mann, 1998**).

Hanf wird wie Heu getrocknet. Um die Trocknung auf 4 Tage zu reduzieren, wird er gewendet. Das Knicken der Hanfstängel beim Mähen beschleunigt die Trocknung. Bei einer Feuchte von 15 % kann gepresst werden (**FNPC, 1994 zit. bei Breitfeld, 1995**).

## **2.5. Molekulargenetische Untersuchungen**

Molekulargenetische Methoden können zur Erfassung der genetischen Diversität, zur markergestützten Selektion und zur Genomanalyse eingesetzt werden (**Peil et al., 1997**). Bei Hanf ist ein Beispiel für die markergestützte Selektion die Suche nach Markern, die

mit dem Geschlecht gekoppelt sind. Diese können dann zur Trennung in männliche und weibliche Pflanzen bei diözischen Formen vor der Blüte genutzt werden. Hier sind RAPDs (random amplified polymorphic DNA), STS (sequence-tagged-sites) und AFLPs (amplified fragment length polymorphism) zum Einsatz gekommen (**Sakamoto et al., 1995; Jagadish et al., 1996; de Meijer et al., 1992; Mandolino et al., 1999; Flachowsky et al., 2001**). Zur Genomanalyse liegen bei Hanf auch erste Karten vor (**Peil et al., 2000**).

Molekulare Marker können auch eingesetzt werden zur Bestimmung der genetischen Diversität zwischen und innerhalb von Herkünften. Hierfür eignen sich Markersysteme mit einem hohen Polymorphiegrad. Bei Hanf sind RAPDs und AFLPs genutzt worden (**Faeti et al., 1996; Flachowsky et al., 2001**).

## 2.6. Ausblick bei Hanf

Der Hanfanbau ging seit dem 18. Jahrhundert kontinuierlich zurück. Hervorgerufen wurde diese Entwicklung durch die Konkurrenz von Baumwolle, Kenaf, Flachs bzw. der Chemiefasern und der Papierherstellung aus Holz.

In den 80er Jahren unseres Jahrhunderts wurden nachwachsende Rohstoffe wie Flachs, Lein und Raps als Option für die Agrarwirtschaft und die verarbeitende Industrie neu entdeckt. Der Hanf wurde dabei zunächst übersehen. Der Grund dafür lag im Verbot des Hanfanbaus, da bestimmte Hanfsorten die Ausgangsbasis für die Drogenherstellung (Marihuana und Haschisch) bilden. Doch seit mehreren Jahrzehnten gibt es bereits auch Faserhanfsorten, die auf Grund ihrer sehr geringen Mengen des Wirkstoffes THC nicht als Droge missbraucht werden können. Damit Naturfasern aber konkurrenzfähig sind, muss eine gleichbleibend hohe Qualität an Fasern erreicht werden.

In Frankreich und Spanien sowie in Osteuropa wurde der Hanfanbau ohne Anbauverbot weiterbetrieben.

In Deutschland gab es nach 1960 und erst recht nach 1982 durch die Erteilung des Hanfanbauverbotes keine Hanfforschung mehr. Nur vereinzelt haben sich Wissenschaftler mehr oder weniger sporadisch mit Hanf beschäftigt (**Herer, 1994**).

In den letzten Jahren ist Hanf als alternative Kulturpflanzen weltweit wiederentdeckt worden. Ein wichtiger Grund dafür ist, dass die Pflanzen vollständig ohne 'Abfall' verwendet werden können (**Rehder, 1995**).

### 3. Material und Methoden

#### 3.1. Material

##### 3.1.1. Pflanzenmaterial

Die in dieser Arbeit untersuchten Herkünfte und Sorten vom Hanf sind in der Tab. 6 zusammengestellt und nach dem Geschlechtstyp (monözisch - diözisch) und der Herkunft (Akzession - Sorte) aufgelistet. Alle CAN-Nummern sind Akzessionen aus der Genbank des Institutes für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung Gatersleben.

Das Pflanzenmaterial wurde in 2 m<sup>2</sup> Parzellen mit 2 Wiederholungen angebaut. Die Parzellen bestanden aus 4 Reihen mit einem Reihenabstand von 50 cm.

Bei der Mehrheit der Sorten und Herkünfte wurden der Fasergehalt und der Stängeldurchmesser erfasst. Von drei Faserhanfsorten (‚Kompolti‘, ‚Fasamo‘ und ‚Felina 34‘) und 4 Genbankabstammungen (CAN 16, CAN 17, CAN 19 und CAN 22) wurde in einem ersten Vorversuch der Ölgehalt im Samen und z. T. in den Stängeln bestimmt. Die beiden Faserhanfsorten ‚Fasamo‘ und ‚Kompolti‘ wurden molekulargenetisch mit Hilfe der RAPD-Analyse untersucht. Nach dem **Blatt für Sortenwesen (1999)** wird ‚Fasamo‘ wie folgt beschrieben: eine monözische und THC-arme Sorte, geprüft in Fasernutzung, Blühbeginn früh, Pflanzenlänge kurz, Strohtrockenmasseertrag niedrig bis mittel, Gesamtfaserertrag sehr niedrig, Fasergehalt niedrig, gezüchtet von Lothar Loch. Nach **Bocsa und Karus (1997)** ist ‚Kompolti‘ die älteste, bekannteste freiabblühende diözische Sorte in Europa (zugelassen 1954 in Ungarn, während von anderen Autoren wie z.B. **Breitfeld (1995)** 1957 als Jahr der Zulassung angegeben wird). Der Fasergehalt beträgt gegenwärtig 35-38 %. Die Stängelertragsfähigkeit ist sehr gut, die Samenertragsfähigkeit ist mittelmäßig. Bei Verwendung als Faserhanf wird ‚Kompolti‘ Anfang August grün geschnitten und benötigt – zum südlichen Formenkreis mit einer langen Vegetationsperiode gehörend – eine Vegetationszeit von 110 bis 115 Tagen. Der THC-Gehalt ist mit 0,1 – 0,15 % sehr niedrig. Die Züchter von ‚Kompolti‘ sind I. Bocsa und J. Schmidt.

Tabelle 6: Sorten und Hanfherkünfte, die in den Jahren 1996-1999 angebaut und in die Untersuchung einbezogen wurden

Nr.	Hanfherkunft/ Sorte	Herkunftsland	Häufigkeit
1	B-7	Ungarn	diözisch
2	CAN 16	Slowakei	diözisch
3	CAN 17	Ungarn	diözisch
4	CAN 18	DDR	diözisch
5	CAN 20	Korea	diözisch
6	CAN 21	Rumänien	diözisch
7	CAN 22	Georgien	diözisch
8	CAN 23	Ungarn	diözisch
9	CAN 24	Italien	diözisch
10	CAN 25	unbekannt	diözisch
11	CAN 26	Türkei	diözisch
12	CAN 27	unbekannt	diözisch
13	CAN 29	Rumänien	diözisch
14	CAN 31	Rumänien	diözisch
15	CAN 32	Rumänien	diözisch
16	CAN 33	Rumänien	diözisch
17	CAN 34	Rumänien	diözisch
18	CAN 36	unbekannt	diözisch
19	CAN 38	Rumänien	diözisch
20	(CHN)	China	diözisch
21	Eletta Campana	Italien	diözisch
22	Fibramulta 151	Rumänien	diözisch
23	H09	Türkei	diözisch
24	Kompolti	Ungarn	diözisch
25	Kompolti Hybrid TC	Ungarn	diözisch
26	Krasnodarskaya	Sowjetunion	diözisch
27	Krasnodarskaya 35	Sowjetunion	diözisch
28	LKCSD	Polen	diözisch
29	Rastislavicke	Slowakei	diözisch
30	Rjaf 1	Afghanistan	diözisch



Nr.	Hanfherkunft/ Sorte	Herkunftsland	Häufigkeit
31	Skunk 1	USA	diözisch
32	H08 (Spontan FAL)	BRD	diözisch
33	Superfibra	Italien	diözisch
34	Unico B	Ungarn	diözisch
35	Beniko	Polen	monözisch
36	Bialobrzeskie	Polen	monözisch
37	CAN 28	unbekannt	monözisch
38	CAN 30	BRD	monözisch
39	Fasamo	BRD	monözisch
40	Fedora 19	Frankreich	monözisch
41	Fedrina 74	Frankreich	monözisch
42	Felina 34	Frankreich	monözisch
43	Ferimon	Frankreich	monözisch
44	Ferimon 21	Frankreich	monözisch
45	Fibrimon	Ungarn	monözisch
46	Fibrimon 24	Frankreich	monözisch
47	Fibrimon 56	Frankreich	monözisch
48	Futura 77	Frankreich	monözisch
49	Irene	Rumänien	monözisch
50	Gluchowskaja 33	GUS	monözisch
51	Krasnodarskaya 56	Sowjetunion	monözisch
52	Juso 14	Ukraine	monözisch
53	Juso 31	Ukraine	monözisch
54	Solotonoschka 15	GUS	monözisch
55	USO 11	Sowjetunion	monözisch
56	USO 13	Sowjetunion	monözisch
57	USO 31	Sowjetunion	monözisch
58	CAN 19	Italien	subdiözisch
59	(YUG)	Jugoslawien	subdiözisch

### 3.1.2. Chemikalien und Lösungen

Für die molekulargenetischen Untersuchungen sowie die Bestimmung des Fasergehaltes wurden die folgenden aufgelisteten Chemikalien eingesetzt:

- CTAB - Extraktionspuffer 2:
  - 2 x 2 % CTAB
  - 100 mM Tris
  - 10 mM EDTA
  - 0,7 M NaCl
  - 1%  $\beta$ - Mercaptoethanol
  - pH 7.5
  
- Waschpuffer 1
  - 76 % Äthanol,
  - 0,2 M Na-Acetat
  
- Waschpuffer 2
  - 76 % Äthanol,
  - 10 mM  $\text{NH}_4$ -Acetat
  
- Waschpuffer 3
  - 70 % Äthanol
  
- Filler
  - 0,25 % Bromphenolblau,
  - 40 % Saccharose
  
- Ladder- Mix
  - 0,5 mg DNA/ml
  - (MBI Fermentas, St..Leon-Rot)
  
- TAE
  - 0.001 M EDTA
  - 1 x: 0.04 Tris-Acetat
  - 50 x: 242 g Tris-Puffer
  - 57,1 ml Essigsäure
  - 100 ml 0,5 M EDTA
  - pH 8.0

- TE- Puffer:                    10 mM Tris  
   1 mM EDTA  
   pH 8.0
- Ethidiumbromid                10 mg/20 ml Wasser (autoklaviert)
- Kongorot                        1 g /100 ml Äthanol

### **3.2. Methoden**

#### **3.2.1. Molekulargenetische Untersuchungen**

Für diese Analyse wurden zunächst von den Pflanzen der beiden Faserhanfsorten ‚Fasamo‘ und ‚Kompolti‘ des Anbaujahres 1997 die oberen Blätter entnommen, für die DNA-Isolierung in flüssigem Stickstoff eingefroren und bei -80°C gelagert. Die weiteren Schritte waren die DNA-Isolierung, eine PCR-Analyse mit RAPD-Primern, die Auftrennung mittels Gelelektrophorese und die statistische Analyse der sichtbaren Banden.

##### **3.2.1.1. DNA-Isolierung**

300 mg Blattmaterial wurden in flüssigem Stickstoff gemörsert. Das Pulver wurde mit 9 ml CTAB-Extraktionspuffer geschüttelt, und für 30 min bei 65°C im Wasserbad inkubiert. Danach wurden die Proben mit 4,5 ml Chloroform/Octanol (24:1) gemischt und 5 min geschüttelt. Anschließend erfolgte eine Zentrifugation für 10 min bei 3.000 Umdrehungen/ min. Die wässrige Lösung wurde in ein 50 ml Zentrifugenröhrchen überführt und 10 ml Äthanol (-20°C) zugegeben, für 30 min bei -20°C im Kühlschrank gekühlt und anschließend 10 min bei 8.000 Umdrehungen/min zentrifugiert. Danach wurde der Überstand vorsichtig abgegossen. Das DNA-Pellet wurde mit 1 ml 76 % Äthanol/ 0,2 M Na-Acetat geschüttelt, anschließend für 20 min bei Raumtemperatur inkubiert und 10 min bei 8.000 Umdrehungen/min zentrifugiert. Der Überstand wurde erneut in 1 ml 76 % Äthanol/10 mM NH<sub>4</sub>-Acetat für 1 min stehen gelassen, 10 min bei 8.000 Umdrehungen/min zentrifugiert, abschließend mit 1 ml 70 % Äthanol für 1 min

bei Raumtemperatur inkubiert und 10 min bei 8.000 Umdrehungen/min zentrifugiert. Der Überstand wurde verworfen und die DNA wurde unter Vakuum getrocknet. Nach dem Trocknen wurde das Pellet in 0,5 ml 1x TE-Puffer gelöst und bei  $-20^{\circ}\text{C}$  bis zur weiteren Bearbeitung gelagert.

### **3.2.1.2. RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA)**

Die RAPD-Analysen wurden mit Hilfe der PCR (polymerase chain reaction) in 25  $\mu\text{l}$  Reaktionsvolumen nach **Peil et al. (1997)** durchgeführt. Neben den Puffern 10 mM Tris-HCl (pH 8,3), 1,5 mM  $\text{MgCl}_2$  und 50 mM KCl wurden 0,2 mM dNTPs, 1 U Taq polymerase (AGS, Heidelberg), 0,2  $\mu\text{m}$  primer (10-mers der Firma Operon Technologies Inc., Alameda, und Roth, Karlsruhe) und 10 ng DNA zugegeben. Da keine PCR-Maschine mit beheizbarem Deckel zur Verfügung stand, musste das Reaktionsgemisch mit 25  $\mu\text{l}$  Paraffin Öl (Roth, Karlsruhe) bedeckt werden. Die Amplifikation erfolgte nach einer anfänglichen Denaturierung von 3 min bei  $94^{\circ}\text{C}$  für 45 Zyklen mit 2 min bei  $94^{\circ}\text{C}$ , 2 min bei  $38^{\circ}\text{C}$  und 2 min bei  $72^{\circ}\text{C}$ . Anschließend erfolgte für 10 min bei  $72^{\circ}\text{C}$  ein Verlängerungsschritt.

### **3.2.1.3. Elektrophorese**

Das Auftrennen der DNA-Fragmente erfolgte mittels Elektrophorese in einem 0,8 %igem Agarosegel, dem 1 % Ethidiumbromid zur Färbung der DNA-Banden zugegeben worden war. Nach der Herstellung wurde das Agarosegel in die Gelträger gegossen, wobei die Probenaschen durch einen Teflonkamm im polymerisierenden Gel entstehen. Die Proben wurden vor dem Auftragen in die Geltaschen mit 1/5  $\mu\text{l}$  Filler vermischt. Neben den Proben werden zusätzlich DNA-Längen- (Ladder Mix) oder Mengenstandards aufgetragen, die eine Größenbestimmung und Konzentrationsabschätzung der DNA-Proben erlauben. Die Auftrennung erfolgte im elektrischen Feld je nach Anforderung an die Auflösung. Das Gel wurde mit Hilfe eines Transilluminators ausgewertet und photographisch dokumentiert.

### 3.2.1.4. Auswertung des RAPD-Bandenmuster

In die Auswertung der RAPD-Bandenmuster wurden alle produzierten Banden einbezogen. Dazu wurde das Vorhandensein der Banden mit 1 und das Nicht-Vorhandensein mit 0 gekennzeichnet.

Für die Bestimmung der Ähnlichkeit von zwei Genotypen wurde der Ähnlichkeitsindex (Similarity Index - SI) nach **Sneath und Sokal (1973)** benutzt. Bei diesem Index wird die Anzahl gemeinsamer Banden für jedes Pflanzenpaar ins Verhältnis zur Gesamtzahl analysierter Pflanzen gesetzt:

$$\text{Similarity Index (SI)} = \frac{\text{Anzahl gemeinsamer Banden} \times 100 \%}{\text{Anzahl verschiedener Banden} + \text{Anzahl gemeinsamer Banden}}$$

Bei Gleichheit ist SI = 100 % und bei vollständiger Verschiedenheit ist SI = 0 %.

### 3.2.2. Bestimmung des Fasergehaltes

Der Fasergehalt wurde nach **Bredemann (1942a, b)** bestimmt. Je Abstammung bzw. Sorte gab es je nach Verfügbarkeit eine unterschiedliche Anzahl an Einzelpflanzen, von denen für diese Untersuchung typische Pflanzen analysiert wurden. In Abhängigkeit von der Länge und dem Stängeldurchmesser der Einzelpflanzen wurden im Normalfall Doppel-, aber auch Mehrfachbestimmungen durchgeführt (Summe dieser Fasergehaltsbestimmungen aller untersuchter Pflanzen einer Hanfform = Anzahl Wiederholungen). Danach erfolgten sowohl die Berechnung des mittleren Fasergehaltes der Einzelpflanzen als auch die Ermittlung des mittleren Fasergehaltes der entsprechenden Hanfherkunft.

Im folgenden wird die Versuchsdurchführung dargestellt. Jeder analysierte Hanfstängel wurde in ca. 10 cm lange Abschnitte unterteilt. Die Teilstücke einer Pflanzen wurden gebündelt und im Trockenschrank bei 70°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

Anschließend wurde aus ca. 25 g der getrockneten Stängelabschnitte eine Mischprobe hergestellt. Dabei ist darauf zu achten, dass diese Untersuchungsproben relativ einheitlich zusammengesetzt sind, d.h. dass in einer nicht nur Spitzenteile, in einer

anderen nur Mittelstücke oder Teile von der Stängelbasis zusammengefasst wurden. Diese Mischprobe wurde 10 min in 2 % NaOH-Lösung gekocht, mit Wasser gespült und in 1 % alkoholischer Kongorotlösung gefärbt. Die rotgefärbte Bastfaser wurde manuell abgelöst. Nach erneutem Kochen der Fasern für 10 min in 5 % NaOH-Lösung, Spülen mit Wasser und Färbung der Fasern mit Kongorotlösung wurden die gefärbten Fasern zwischen zwei Waschsieben ausgebreitet und mit Wasser gespült. Hierbei konnten alle nicht gefärbten Pflanzenbestandteile (z.B. Schäben) erkannt und entfernt werden. Die Bastfasern wurden dann im Trockenschrank bei 70°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Danach konnte der Fasergehalt bestimmt werden.

Zur Testung der Unterschiede zwischen den Typen wurde eine Varianzanalyse und anschließend der Student-Newman-Keuls-Test (SNK) aus dem Statistikpaket SAS (SAS Software Version 6.12, SAS Institute, Cary, N.C.) angewendet. Die Signifikanzschwelle lag bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $P = 0,05$ . Bei den diözischen Herkünften wurden die Geschlechter getrennt ausgewertet mit Ausnahme des Anbauversuches von 1998, bei denen das Geschlecht nicht erfasst worden war.

Nach der Ernte der Einzelpflanzen für die Bestimmung des Fasergehaltes wurde ebenfalls der Stängeldurchmesser, gemessen 30 cm über dem Wurzelhals, ermittelt. Aus diesen Daten und den Fasergehalten ließen sich dann die Korrelation zwischen Fasergehalt und Stängeldurchmesser bestimmen.

Hier wurden die monözischen Sorten im Vergleich zu den diözischen Sorten, und diese soweit möglich nach Geschlechtern getrennt, betrachtet. Die Berechnung der Korrelation erfolgte mit dem Computer-Programm Sigma Plot Version 4.0 (SPSS Inc. 444 N. Michigan Avenue, Chicago, Illinois 60611).

### 3.2.3. Bestimmung des Öl-Gehaltes

Die Bestimmung des Ölgehaltes erfolgte mit einer SOXHLET-Apparatur (**Kent-Jones und Amos, 1957; AOCS, 1980**).

Die Samen mit den Hüllblättern wurden von den übrigen Pflanzenteilen getrennt. Die zu analysierenden Fraktionen wurden im Trockenschrank bei 70°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, anschließend mit Hilfe einer Schlagmühle zerkleinert und bis zur Ölisolierung im Exsikkator aufbewahrt.

Ungefähr 10 g der bis zur Gewichtskonstanz getrockneten Proben (Samen mit Hüllblättern oder Stängelpulver) wurden in Extraktionshülsen eingewogen.

Vor der Analyse wurde das Gewicht des trockenen Glaskolbens der Apparatur bestimmt und notiert, eine Extraktionshülse mit einer Probe eingeführt und anschließend 150 ml Chloroform eingefüllt. Die Extraktion erfolgte für 6 Stunden bei 70 bis 80°C. Zur Aufarbeitung des Extraktes wurde das Lösungsmittel Chloroform abdestilliert. Anschließend wurde der Kolben der SOXHLET-Apparatur, in dem sich der Destillationsrückstand befand, gewogen. Danach konnte die Berechnung des Ölgehaltes erfolgen:

$$\text{Öl-Gehalt (\% TM)} = \frac{\text{g Destillationsrückstand}}{\text{g Probengewicht}} \times 100 \%$$

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Molekulargenetische Charakterisierung von Hanf

Zur Untersuchung der Variation innerhalb von Hanfsorten wurde die RAPD-Analyse benutzt. Als Beispiele wurden die diözische ungarische Sorte ‚Kompolti‘ und die monözische deutsche Sorte ‚Fasamo‘ ausgewählt und zusätzlich die Ähnlichkeit zwischen den Sorten bestimmt.

#### 4.1.1. Variation innerhalb von ‚Fasamo‘ und ‚Kompolti‘

Von ursprünglich 32 Einzelpflanzen je Sorte wurden 25 Pflanzen der monözischen Sorte ‚Fasamo‘ und 23 Pflanzen der diözischen Sorte ‚Kompolti‘ (6 männliche und 17 weibliche Pflanzen) mit 18 RAPD-Primern (Operon A01 - A20, ohne A06 und A16) getestet. Für ‚Fasamo‘ konnten insgesamt 36 Banden und für ‚Kompolti‘ 37 Banden ausgewertet werden., wobei nur Banden ausgewertet wurden, die reproduzierbar waren. Beispiele für die erzielten Bandenmuster sind in den Abb. 8 und 9 für alle Einzelpflanzen mit dem Primer A18 und in den Abb. 10 und 11 für je zwei Pflanzen der beiden Sorten (mit polymorphen Banden) für alle Primer A01 bis A20 dargestellt. Mit dem Primer A18 konnten sowohl bei ‚Fasamo‘ als auch bei ‚Kompolti‘ Unterschiede im Bandenmuster detektiert werden (Abb. 8 und 9). Während ‚Fasamo‘ nur vereinzelt Polymorphismen aufwies, waren bei ‚Kompolti‘ mehrere Polymorphismen erkennbar. In Tabelle 7 ist dargestellt, welche Primer bei ‚Fasamo‘ bzw. bei den männlichen und weiblichen Pflanzen von ‚Kompolti‘ polymorph waren.

Die Auswertung der Banden erfolgte nach dem Similarity Index (SI) nach **Sneath und Sokal (1973)**. Tabelle 8 zeigte für ‚Fasamo‘ eine durchschnittliche Ähnlichkeit von 96 % zwischen allen Pflanzen, bei einem Minimum von 79 % Ähnlichkeit zwischen zwei Pflanzen. Beim Maximum von 100 % war kein Unterschied im Bandenmuster zweier Pflanzen sichtbar. Dem gegenüber erwies sich ‚Kompolti‘ mit einem Mittel von 77 % über alle Pflanzen als deutlich heterogener. Das Minimum lag hier bei 44 % und das Maximum bei 100 %. Interessanterweise wurden die beiden Extreme von Pflanzenpaaren hervorgerufen, die aus einer männlichen und einer weiblichen Pflanzen



bestanden. Das Mittel der männlichen Pflanzen der Sorte ‚Kompolti‘ lag mit 70 % deutlich unter dem Mittel der weiblichen Pflanzen mit 79 %. Für die männlichen Pflanzen sind die Extrema mit 52 und 86 % deutlich niedriger als die der weiblichen Pflanzen mit 64 und 95 %.

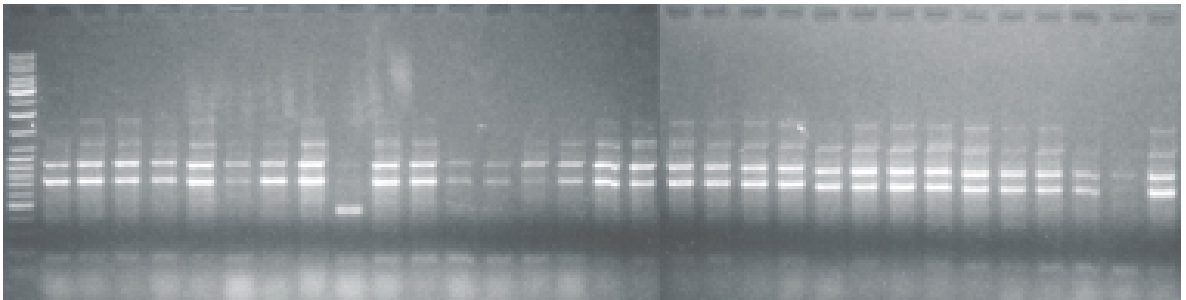


Abbildung 8: RAPD-Analyse der Einzelpflanzen von ‚Fasamo‘ mit dem Primer A18  
In der Abbildung von links nach rechts: Ladder-Mix und 31 DNA-Proben

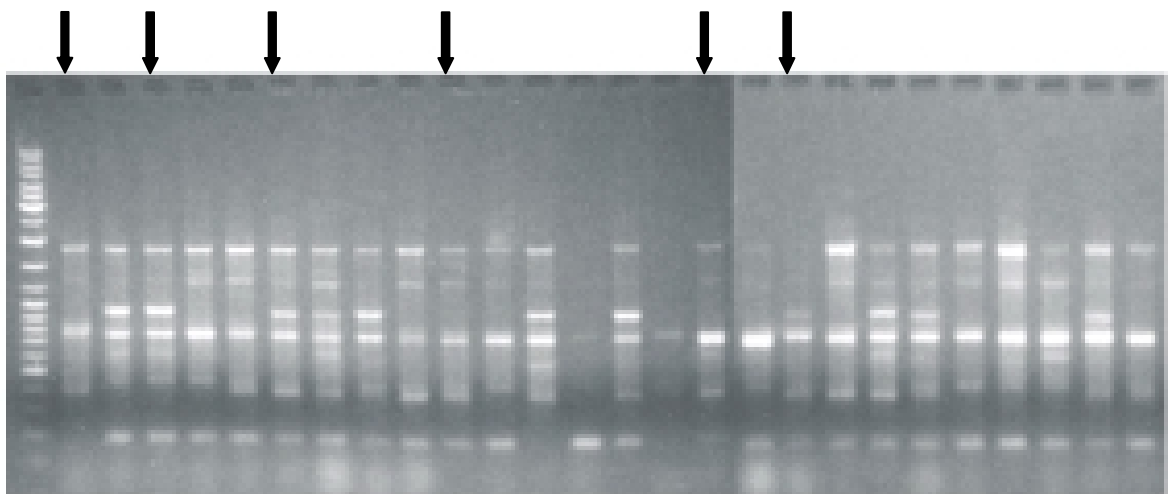


Abbildung 9: RAPD-Analyse der männlichen und weiblichen Einzelpflanzen von ‚Kompolti‘ mit dem Primer A18  
In der Abbildung von links nach rechts: Ladder-Mix und 26 DNA-Proben. Die männlichen Pflanzen sind mit einem Pfeil markiert.

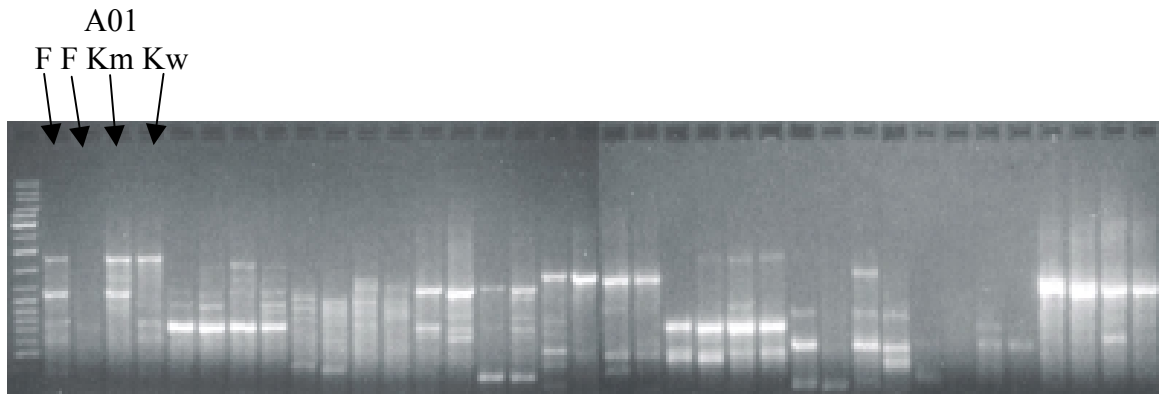


Abbildung 10: RAPD-Analyse von 'Fasamo' (2 Pflanzen) und 'Kompolti' (je eine männliche und eine weibliche Pflanze) mit den Primern A01 bis A10 (ohne A06).

In der Abbildung von links nach rechts: Ladder-Mix, je 2 Spuren 'Fasamo' (F) und 'Kompolti' (männlich (Km), weiblich (Kw)) mit den Primern A01, A02, A03, A04, A05, A07, A08, A09 und A10. Als Beispiel ist die Reihenfolge der Pflanzen für den Primer A01 oben angegeben.

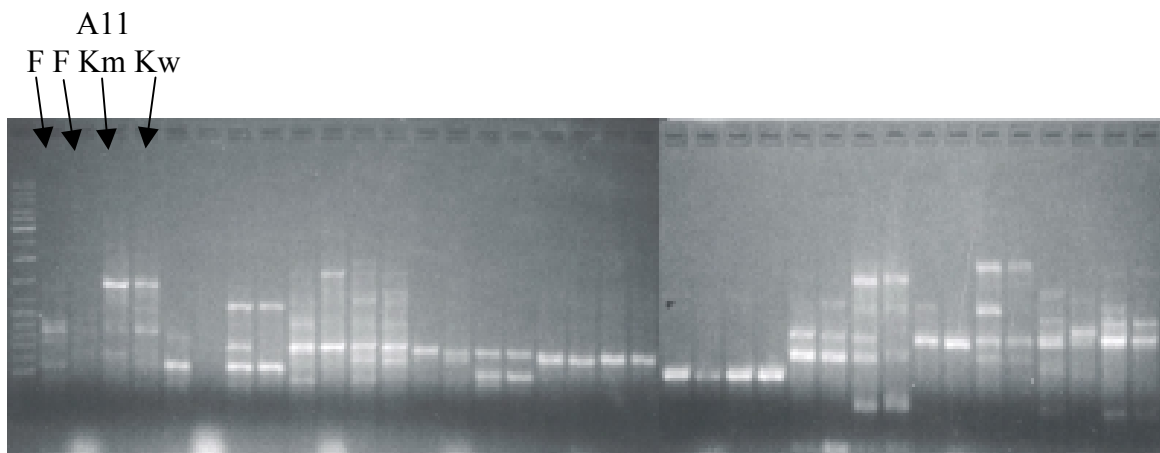


Abbildung 11: RAPD-Analyse von 'Fasamo' (2 Pflanzen) und 'Kompolti' (je eine männliche und eine weibliche Pflanze) mit den Primern A11 bis A20 (ohne A16).

In der Abbildung von links nach rechts: Ladder-Mix, je 2 Spuren 'Fasamo' (F) und 'Kompolti' (männlich (Km), weiblich (Kw)) mit den Primern A11, A12, A13, A14, A15, A17, A18, A19 und A20. Als Beispiel ist die Reihenfolge der Pflanzen für den Primer A11 oben angegeben.

Tabelle 7: Reproduzierbare RAPD-Fragmente mit 18 Primern an den Sorten 'Fasamo' und 'Kompolti'

Primer	Fasamo	Kompolti (♂)	Kompolti (♀)	Primer	Fasamo	Kompolti (♂)	Kompolti (♀)
A01 <sub>1800</sub>	p	m	p	A10 <sub>1400</sub>	-	p	p
A01 <sub>1150</sub>	-	p	p	A10 <sub>1350</sub>	p	-	-
A01 <sub>1100</sub>	p	-	-	A10 <sub>1150</sub>	-	p	p
A02 <sub>1150</sub>	p	-	-	A11 <sub>2300</sub>	p	-	-
A02 <sub>970</sub>	p	-	-	A11 <sub>1600</sub>	p	-	-
A02 <sub>750</sub>	-	p	p	A11 <sub>1500</sub>	-	m	p
A02 <sub>730</sub>	p	-	-	A11 <sub>850</sub>	-	p	p
A03 <sub>1400</sub>	-	p	p	A12 <sub>550</sub>	p	p	p
A03 <sub>1100</sub>	p	-	-				
A03 <sub>420</sub>	p	-	-	A13 <sub>2300</sub>	p	-	-
				A13 <sub>1300</sub>	p	-	-
A04 <sub>1300</sub>	-	m	p	A13 <sub>750</sub>	p	-	-
A04 <sub>1250</sub>	p	-	-	A13 <sub>560</sub>	-	p	p
A04 <sub>660</sub>	p	-	-	A13 <sub>460</sub>	p	-	-
A04 <sub>370</sub>	-	m	p				
				A14 <sub>700</sub>	p	-	-
A05 <sub>1500</sub>	-	p	p	A14 <sub>530</sub>	-	m	p
A05 <sub>1450</sub>	p	-	-				
				A15 <sub>670</sub>	p	p	p
A07 <sub>850</sub>	-	p	p				
A07 <sub>840</sub>	p	-	-	A17 <sub>600</sub>	-	p	p
A07 <sub>700</sub>	p	-	-	A17 <sub>580</sub>	p	-	-
A07 <sub>580</sub>	p	-	-				
				A18 <sub>1000</sub>	-	m	p
A08 <sub>1700</sub>	-	m	p	A18 <sub>950</sub>	p	-	-
A08 <sub>1150</sub>	-	m	p	A18 <sub>750</sub>	p	-	-
A08 <sub>1000</sub>	-	m	m	A18 <sub>700</sub>	-	m	p
A08 <sub>980</sub>	p	-	-	A18 <sub>500</sub>	p	-	-
A08 <sub>750</sub>	-	p	p	A18 <sub>300</sub>	-	m	p
A08 <sub>650</sub>	p	p	p	A18 <sub>200</sub>	-	m	p
A08 <sub>400</sub>	-	m	p				
A08 <sub>370</sub>	p	-	-	A19 <sub>2300</sub>	-	m	p
				A19 <sub>1300</sub>	-	m	p
A09 <sub>1700</sub>	-	p	p	A19 <sub>900</sub>	p	p	p
A09 <sub>920</sub>	-	p	p	A19 <sub>450</sub>	m	-	-
A09 <sub>670</sub>	p	-	-				
A09 <sub>650</sub>	-	m	p	A20 <sub>950</sub>	p	m	p
A10 <sub>1500</sub>	p	m	P	A20 <sub>400</sub>	-	p	p

p: polymorph, m: monomorph, -: keine Bande

#### 4.1.2. Ähnlichkeit zwischen ‚Fasamo‘ und ‚Kompolti‘

Sowohl ‚Fasamo‘ als auch ‚Kompolti‘ wurden morphologisch charakterisiert. Es konnte bestätigt werden, dass ‚Fasamo‘ eine frühblühende Sorte ist. Bei einer Aussaat Mitte Mai konnte bis spätestens Mitte Juli der Blühbeginn beobachtet werden (Blühbeginn = Sichtbarwerden der Antheren bei 10 % aller Versuchspflanzen). Bei ‚Kompolti‘ dagegen trat der Blühbeginn der männlichen Pflanzen nicht vor dem 20. August ein. Die dadurch bedingte unterschiedlich lange vegetative Phase der Pflanzen wirkte sich auf die Ausprägung der in Tabelle 8 aufgeführten morphologischen Merkmale aus. Die kürzere vegetative Phase bei ‚Fasamo‘ bedingt im Durchschnitt eine kürzere Pflanzenlänge, einen geringeren Stängeldurchmesser und ein niedrigeres Frischgewicht im Vergleich zu ‚Kompolti‘.

Außerdem ist in Tabelle 8 der Similarity Index zwischen ‚Fasamo‘ und ‚Kompolti‘ dargestellt. Insgesamt 51 Banden flossen in die Auswertung der Ähnlichkeit ein. Hier ergab sich eine Ähnlichkeit zwischen beiden Sorten von 54 %, mit einem Minimum von 44 % und einem Maximum von 71 % für die entsprechenden Pflanzenpaare aus ‚Fasamo‘ und ‚Kompolti‘.

Tabelle 8: Similarity Index (**Sneath und Sokal, 1973**) in % innerhalb von ‚Fasamo‘ (monözisch) und innerhalb der männlichen und innerhalb der weiblichen ‚Kompolti‘-Pflanzen (diözisch) und zwischen ‚Fasamo‘ und ‚Kompolti‘ im Vergleich zu ausgewählten morphologischen Merkmalen.  
(Die Min- und Max-Werte beziehen sich jeweils auf ein Pflanzenpaar.)

Hanfsorte	SI	Min. SI	Max. SI	Pflanzen- länge (cm)	Stängeldurch- messer (mm)	Frischge- wicht (g)
Fasamo	96	79	100	169,6 ± 56,3	12,8 ± 5,8	157,0 ± 172,9
Kompolti (♂+ ♀)	77	44	100	191,1 ± 99,6	14,9 ± 10,1	360,9 ± 450,3
Kompolti (♂)	70	52	86	206,8 ± 105,6	13,7 ± 10,5	342,0 ± 388,3
Kompolti (♀)	79	64	95	180,2 ± 95,7	15,7 ± 9,9	374,0 ± 497,5
zwischen Fasamo und Kompolti	54	44	71			

## **4.2. Bestimmung der Merkmale Faser- und Ölgehalt**

### **4.2.1. Fasergehalt**

Zur Verfügung standen die Sorten, die 1996, 1998 und 1999 in Parzellenversuchen in der Versuchsgärtnerei des Institutes in Hohenthurm angebaut wurden.

1998 wurde das Geschlecht der Einzelpflanzen der diözischen Abstammungen nicht bestimmt, so dass nur in der Auswertung von 1996 und 1999 die diözischen Abstammungen nach Geschlechtern getrennt analysiert wurden.

In den drei Versuchsjahren konnten wegen Saatgutmangels nicht immer dieselben Sorten und Abstammungen angebaut werden. Das erschwert einen Vergleich der verschiedenen Anbaujahre. Daher werden die einzelnen Jahre zunächst getrennt betrachtet.

#### **4.2.1.1. Bestimmung der Fasergehalte und der Stängeldurchmesser des Anbauversuches von 1996**

1996 flossen 23 diözische, 14 monözische und zwei subdiözische Abstammung in die Untersuchungen ein. Bei der diözischen Herkunft CAN 16 konnten im Bestand nur weibliche Pflanzen festgestellt werden. Die Fasergehalte der verschiedenen Hanfformen sind aus den Tabellen 9 bis 11 ersichtlich, die Varianzanalyse ist im Anhang A1 – A3 aufgeführt. Der SNK-Test wurde durchgeführt, obwohl nicht alle Varianzen homogen waren. In den Abbildungen 12 und 13 werden die entsprechenden Fasergehalte dieser Hanfformen und ihre Standardabweichungen grafisch dargestellt.

Die mittleren Fasergehalte variierten bei den männlichen Einzelpflanzen der diözischen Typen von 6,87 % (CAN 24) bis 25,45 % (,B-7') und den weiblichen Einzelpflanzen von 8,50 % (,Rjaf 1') bis 25,83 % (,B-7').

Die monözischen Formen erreichten mit 16,74 % (,Futura 77') bis 31,06 % (,Beniko') einen höheren Fasergehalt.

Große Unterschiede im Fasergehalt zeigt die subdiözische Abstammung CAN 19. Hier wurden 35,33 % für die männlichen, 12,60 % für die weiblichen und 21,58 % für die monözischen Pflanzen ermittelt.

Aus der Abb. 12 lässt sich erkennen, dass 1996 kein einheitlicher Trend im Fasergehalt zwischen männlichen und weiblichen Hanfpflanzen festgestellt werden konnte. So kamen sowohl Sorten vor, bei denen der Fasergehalt der männlichen Pflanzen deutlich höher ist als der der weiblichen Pflanzen (z.B. ‚Kompolti‘, ‚Rastislavicke‘) als auch Abstammungen, bei denen der Fasergehalt der weiblichen Pflanzen größer ist als der der männlichen (z.B. ‚Kompolti Hibrid TC‘, CAN 21). Bei anderen Abstammungen unterscheiden sich die Fasergehalte der männlichen und weiblichen Pflanzen dagegen kaum (z.B. ‚Rjaf 1‘, H09). Insgesamt ergibt sich mit  $r = 0,87$  eine deutliche Korrelation zwischen den beiden Geschlechtern.

Signifikante Unterschiede zwischen den Hanfformen sind in den Tabellen 9 bis 11 durch Buchstaben dargestellt. Gleiche Buchstaben bedeuten keine signifikanten Unterschiede. Beim Vergleich der männlichen mit den weiblichen Pflanzen konnten leichte Unterschiede in der Rangordnung der diözischen Hanfformen beobachtet werden.

Bei den monözischen Formen unterschied sich nur ‚Beniko‘ deutlich von allen anderen Formen. Die subdiözische Form (YUG = aus Jugoslawien stammend) zeigt mit 14,70 % den geringsten Fasergehalt dieser Gruppe (Tabelle 11).

Auf einen Vergleich der Fasergehalte zwischen monözischen und diözischen Hanfformen wird hier nur kurz eingegangen, da es sich bei den monözischen Sorten hauptsächlich um auf den Fasergehalt selektierte Formen handelt, während die diözischen Hanfherkünfte ungefähr zur Hälfte aus Genbanken stammen und bislang keiner Selektion unterworfen waren.

Der mittlere Fasergehalt betrug 1996 bei den diözischen Hanfformen 15,55 % (ohne CAN 16) und bei den monözischen Hanfsorten 20,03 %. Vergleicht man die 11 diözischen Hanfsorten (Nr. 1-11, Tab. 9) mit den 14 monözischen Faserhanfsorten (Tab. 11) kann beobachtet werden, dass der durchschnittliche Fasergehalt der diözischen Hanfsorten mit 19,97 % nur 0,06 % niedriger war als der der monözischen Faserhanfsorten.

Die Korrelationskoeffizienten zwischen Fasergehalt und Stängeldurchmesser, gemessen 30 cm über dem Wurzelhals, wurden für die männlichen, weiblichen und monözischen Pflanzen getrennt berechnet (Abb. 14). Während bei den monözischen Formen und den diözischen männlichen Formen kein signifikanter Einfluss des Stängeldurchmessers auf

den Fasergehalt nachweisbar war, zeigten die weiblichen Pflanzen bei den diözischen Herkunftsn eine signifikant negative Korrelation ( $r = -0,55^{**}$ ).

Die Korrelationskoeffizienten für alle drei Geschlechtstypen waren negativ. Das bedeutet einen höheren Fasergehalt bei geringerem Stängeldurchmesser.

Tabelle 9: Mittlerer Fasergehalt (% TM) und mittlerer Stängeldurchmesser (cm) männlicher Hanfpflanzen unterschiedlicher diözischer Herkünfte 1996

Hanfherkunft/ Sorte	Anzahl Wieder- holungen	Stängel- durchmesser	Fasergehalt Mittel	SNK-Test* für den Fasergehalt
B-7	4	0,63	25,45	A
Rastislavicke	2	0,69	24,66	A
Kompolti	4	0,91	23,81	A
Unico B	6	0,74	23,79	A
Eletta Campana	4	1,00	22,65	AB
Superfibra	2	0,60	22,38	AB
Kompolti Hybrid TC	4	0,80	19,73	ABC
Krasnodarskaya	4	0,43	19,44	ABC
Krasnodarskaya 35	6	0,87	17,18	BCD
LKCSD	2	0,48	16,87	BCD
Fibramulta 151	4	1,10	15,65	CDE
H09	4	1,01	13,39	DEF
(CHN)	4	0,56	13,10	DEF
CAN 21	2	1,12	12,85	DEF
CAN 23	2	0,95	12,23	DEF
CAN 26	6	0,56	12,04	DEF
CAN 20	4	0,98	11,92	DEF
CAN 22	4	0,81	11,67	DEF
CAN 17	5	0,99	11,12	DEF
Skunk 1	4	0,78	10,69	DEF
Rjaf 1	4	1,03	9,45	EF
CAN 24	2	1,06	6,87	F
mittlerer Fehler der Einzelwerte			2,59	

\* Gleiche Buchstaben bedeuten keine signifikanten Unterschiede bei  $P = 0,05$



Tabelle 10: Mittlerer Fasergehalt (% TM) und mittlerer Stängeldurchmesser (cm) weiblicher Hanfpflanzen unterschiedlicher diözischer Herkünfte 1996

Hanfherkunft/ Sorte	Anzahl Wieder- holungen	Stängel- durchmesser	Fasergehalt Mittel	SNK-Test* für den Fasergehalt
B-7	4	0,67	25,83	A
Unico B	14	0,64	24,70	AB
Kompolti Hybrid TC	2	0,65	22,23	BC
Superfibra	4	1,03	19,72	CD
Eletta Campana	4	0,86	19,02	CDE
Kompolti	4	0,73	17,74	DEF
Rastislavicke	14	0,95	17,21	DEFG
Krasnodarskaya	6	0,81	16,77	DEFG
LKCSD	4	0,81	16,68	DEFG
CAN 21	6	0,82	15,79	DEFG
Krasnodarskaya 35	10	0,86	15,12	EFG
H09	2	0,76	13,74	FGH
Skunk 1	2	0,60	13,00	GHI
Fibramulta 151	4	0,97	12,70	GHI
CAN 24	8	0,68	10,71	HI
CAN 20	4	0,67	10,67	HI
CAN 26	8	0,94	10,14	HI
CAN 16	12	0,88	9,96	HI
CAN 17	4	1,14	9,69	HI
CAN 23	6	1,17	9,50	HI
CAN 22	6	1,02	8,90	I
(CHN)	2	1,25	8,86	I
Rjaf 1	4	1,04	8,50	I
mittlerer Fehler der Einzelwerte			2,13	

\* Gleiche Buchstaben bedeuten keine signifikanten Unterschiede bei  $P = 0,05$

Tabelle 11: Mittlerer Fasergehalt (% TM) und mittlerer Stängeldurchmesser (cm) verschiedener monözischer und subdiözischer Hanfherkünfte 1996

Hanfherkunft/ Sorte	Anzahl Wieder- holungen	Stängel- durchmesser	Fasergehalt Mittel	SNK-Test* für den Fasergehalt
Beniko	4	0,74	31,06	A
Bialobrzeskie	6	0,86	23,32	B
Fedrina 74	12	0,70	21,81	BC
Felina 34	10	0,61	21,02	BC
Ferimon 21	10	0,87	19,77	BC
Fedora 19	4	0,78	19,51	BC
Krasnodarskaya 56	6	0,84	19,08	BC
Fibrimon 56	6	0,69	18,48	C
USO 13	4	1,36	18,37	C
USO 11	10	1,03	18,19	C
Fibrimon	6	0,87	18,18	C
Irene	8	0,86	17,65	C
Fibrimon 24	6	0,85	17,21	C
Futura 77	4	0,75	16,74	C
mittlerer Fehler der Einzelwerte			2,66	
CAN 19 <sup>#</sup>	2	0,56	35,33 (♂)	
	6	0,62	21,58 (♂ + ♀)	
	2	0,58	12,60 (♀)	
(YUG) <sup>#</sup>	8	0,63	14,70	

\* Gleiche Buchstaben bedeuten keine signifikanten Unterschiede bei P = 0,05

<sup>#</sup> subdiözisch

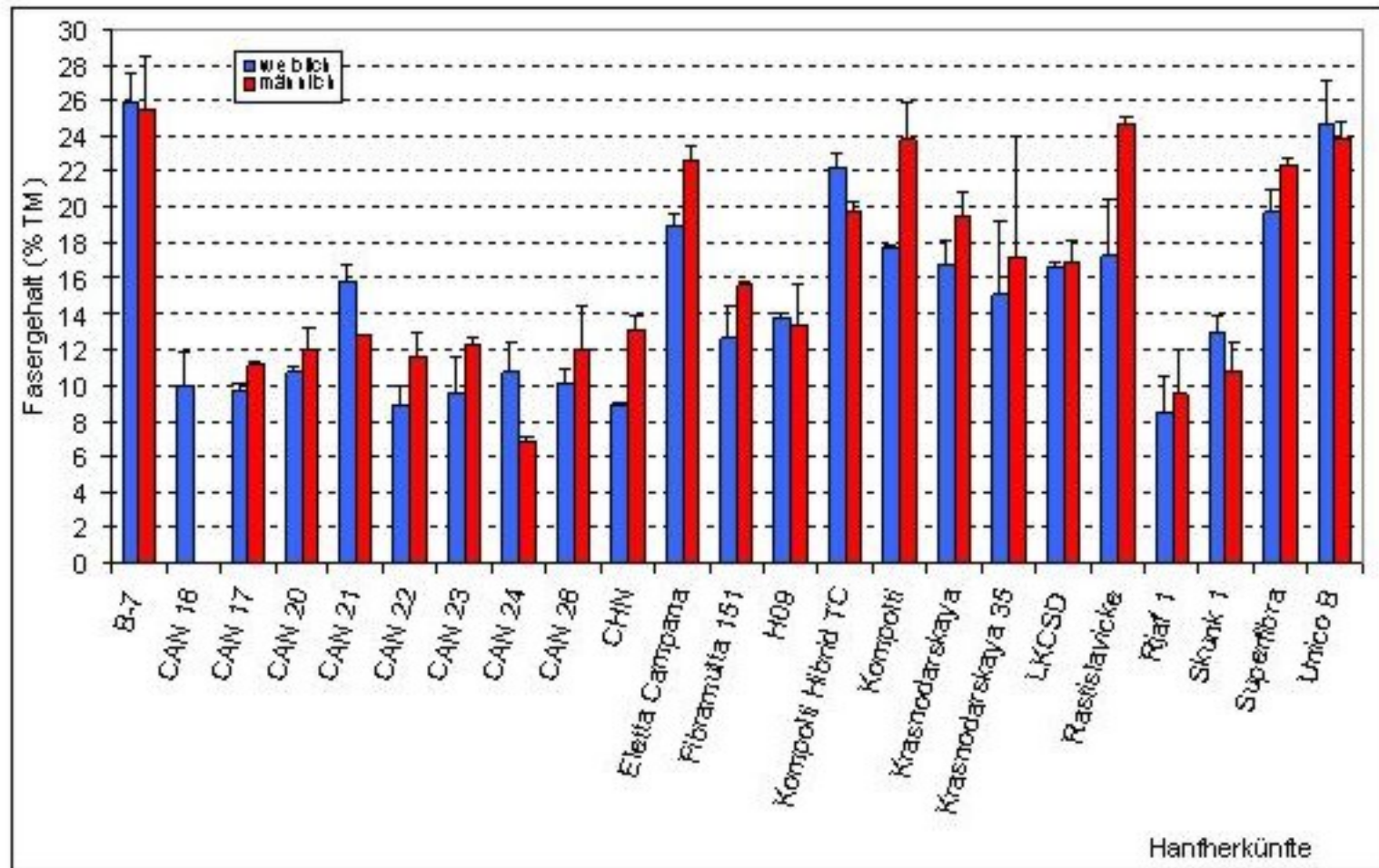


Abbildung 12: Fasergehalt (% TM) verschiedener diözischer Hanfherkünnte des Anbauversuches von 1996. Ergebnisse sind als Mittelwert mit der Standardabweichung angegeben.

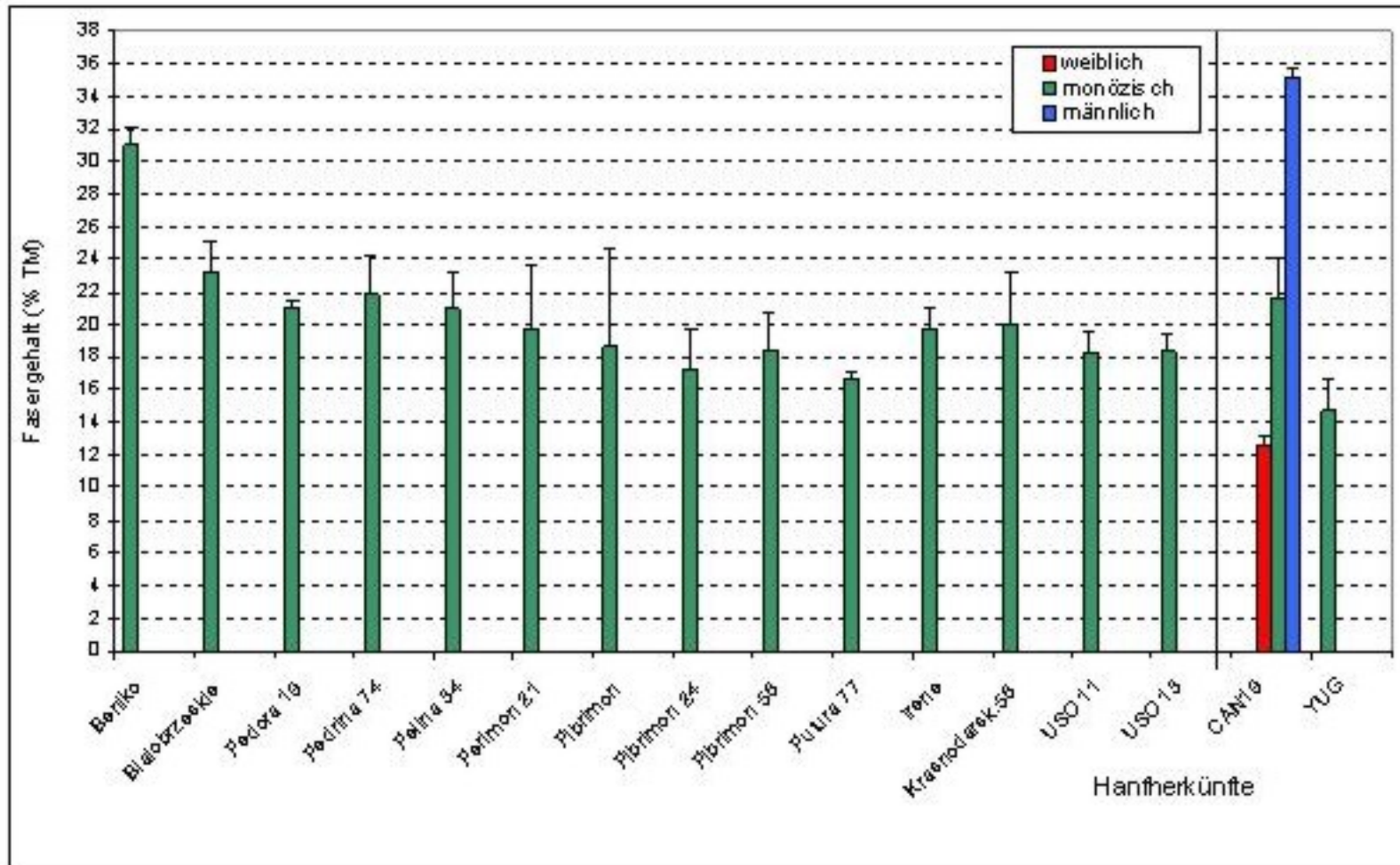


Abbildung 13: Fasergehalt (% TM) verschiedener monözischer und einer subdiözischen Hanfherkunft des Anbauversuches von 1996. Ergebnisse sind als Mittelwert mit der Standardabweichung angegeben

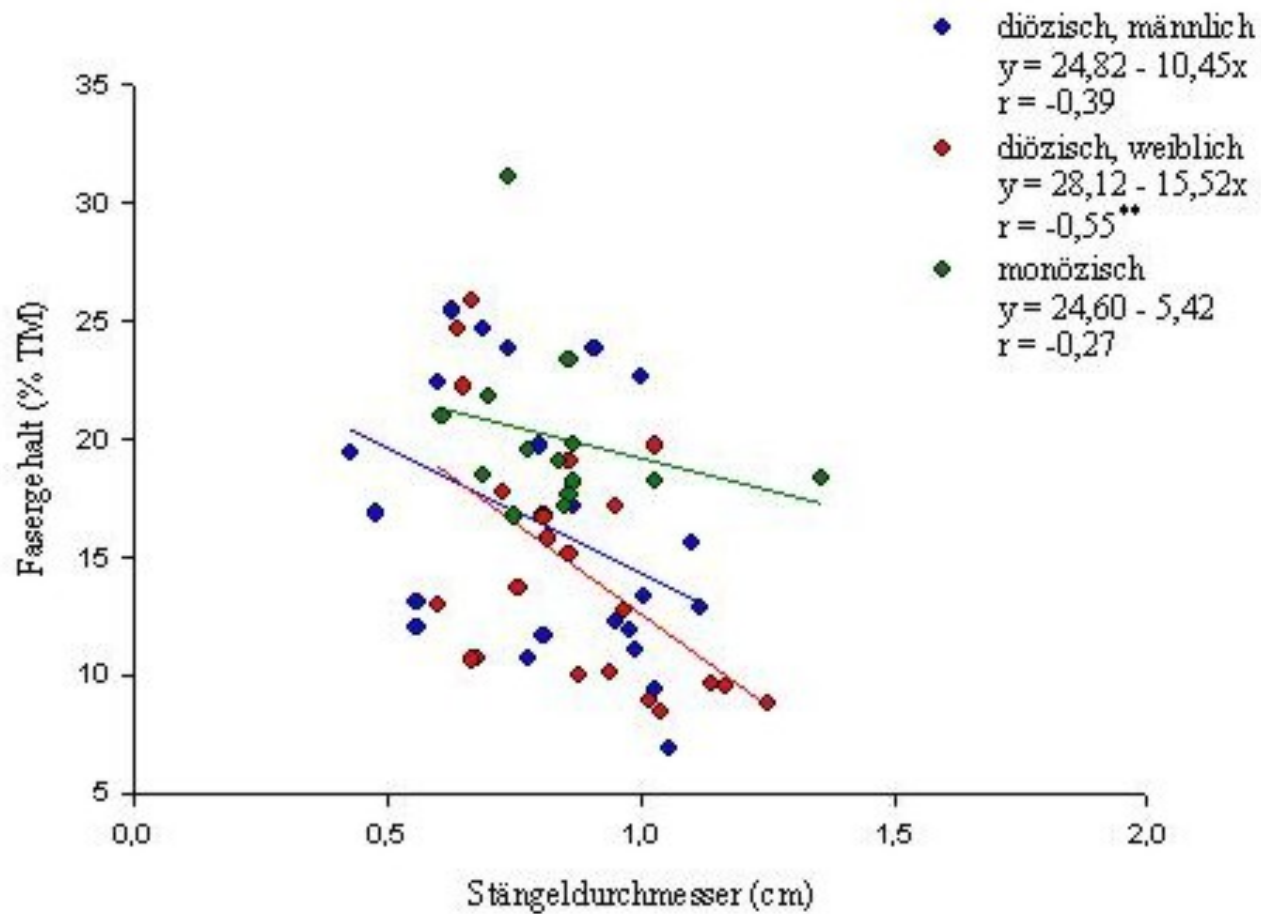


Abbildung 14: Zusammenhang zwischen Fasergehalt (% TM) und Stängeldurchmesser (cm), gemessen 30 cm über dem Wurzelhals, von 14 monözischen und 23 diözischen *Cannabis sativa*-Herkünften (gruppiert nach dem Geschlecht, bzw. der Häufigkeit), Saison 1996

#### 4.2.1.2. Bestimmung der Fasergehalte und der Stängeldurchmesser des Anbauversuches von 1998

1998 wurde der Fasergehalt von einer subdiözischen, 9 monözischen und 15 diözischen Hanfformen sowie von zwei Kreuzungsnachkommenschaften bestimmt. In den Tabellen 12 und 13 sind die Ergebnisse für die einzelnen Typen aufgelistet und in den Abb. 15 und 16 grafisch dargestellt. Die Varianzanalysen sind im Anhang unter A4 – A5 dargestellt. Der SNK-Test wurde benutzt, obwohl nicht alle Varianzen homogen waren. Da 1998 keine Bestimmung des Geschlechtes erfolgte, gab es auch bei den diözischen Formen nur einen Mittelwert. Wie aus Tab. 12 und der Abb. 15 ersichtlich, variierte der Fasergehalt der diözischen Formen zwischen 7,49 % (CAN 18) und 24,20 % (,Kompolti'). Der Anteil an Formen mit niedrigem Fasergehalt (<15 %) war sehr hoch – insgesamt 12 von 15 diözischen Formen. Einen höheren Fasergehalt (>15%) erreichten nur CAN 25, ,Eletta Campana' und ,Kompolti' (Tab. 12). In der Tabelle ist auch das Ergebnis des SNK-Testes aufgeführt.

Die monözischen Formen (Tab. 13 und Abb. 16) zeigten Fasergehalte von 12,40 % (,Fibrimon 24') bis 23,14 % (,USO 11'). ,USO 11' mit dem höchsten Fasergehalt von 23,14 % unterscheidet sich signifikant von den anderen monözischen Sorten. Signifikante Unterschiede zwischen den Sorten sind Tabelle 13 zu entnehmen.

Die zweihäusigen Hanfherkünfte lagen mit einem mittleren Fasergehalt von 13,02 % unter dem der einhäusigen Hanfsorten mit 16,89 %. Beim Vergleich der 4 diözischen mit den 9 monözischen Hanfsorten konnte beobachtet werden, dass der mittlere Fasergehalt der diözischen mit 17,62 % leicht über dem der monözischen Hanfsorten lag. Die Nachkommen der Kreuzung ,Beniko' x ,LKCS D' lagen mit 12,32 % (Tab. 13) deutlich unter dem Elternmittel (1996: 23,87 %) und sogar unterhalb des Fasergehaltes von beiden Eltern in 1996 (,Beniko' 31,06 % Fasergehalt (Tab. 11) und ,LKCS D' (Bestäuber = männliche Pflanzen) 16,87 % Fasergehalt (Tab. 9)).

In Abb. 17 ist der Zusammenhang zwischen dem Fasergehalt und dem Stängeldurchmesser für die diözischen und monözischen Formen, die 1998 angebaut und ausgewertet wurden, dargestellt. In beiden Fällen ist, anders als 1996, die Korrelation positiv. Das bedeutet einen höheren Fasergehalt bei größerem

Stängeldurchmesser. Für keine der Formen ließ sich eine signifikante Korrelation der beiden Merkmale nachweisen.

Tabelle 12: Mittlerer Fasergehalt (% TM) und mittlerer Stängeldurchmesser (cm) verschiedener diözischer Hanfformen 1998

Hanfherkunft/ Sorte	Anzahl Wieder- holungen	Stängeldurch- messer	Fasergehalt Mittel	SNK-Test* für den Fasergehalt
Kompolti	6	1,06	24,20	A
Eletta Campana	5	1,44	19,02	B
CAN 25	7	1,06	17,23	C
Superfibra	5	1,27	14,62	D
CAN 17	7	1,05	13,09	DE
H08	6	1,06	12,73	DEF
Krasnodarskaya	6	1,11	12,63	DEF
CAN 21	5	1,07	12,42	DEF
CAN 16	8	0,87	12,29	EF
CAN 24	5	1,12	10,60	FG
CAN 22	5	0,84	10,18	G
CAN 20	5	1,07	10,11	G
CAN 26	6	1,14	9,62	G
CAN 23	5	1,23	9,00	GH
CAN 18	6	0,86	7,49	H
mittlerer Fehler der Einzelwerte			1,36	

\* Gleiche Buchstaben bedeuten keine signifikanten Unterschiede bei  $P = 0,05$



Tabelle 13: Mittlerer Fasergehalt (% TM) und mittlerer Stängeldurchmesser (cm) verschiedener monözischer Hanfsorten und einer subdiözischen Hanfkerkunft 1998

Hanfherkunft/ Sorte/Kreuzung	Anzahl Wieder- holungen	Stängel- durchmesser	Fasergehalt Mittel	SNK-Test* für den Fasergehalt
USO 11	6	1,13	23,14	A
Juso 31	6	1,17	20,30	B
Solotonoschka 15	6	1,11	18,74	BC
Gluchowskaja 33	6	1,15	17,90	BCD
Fasamo	8	0,73	16,15	CDE
Felina 34	8	1,06	15,37	DEF
Fibrimon 56	3	0,95	14,35	EF
Fibrimon	6	1,08	13,70	EF
Fibrimon 24	2	0,87	12,40	F
mittlerer Fehler der Einzelwerte			1,75	
CAN 19 <sup>#</sup>	6	0,99	14,70	
Rastislavicka x Fibramulta	5	1,31	14,98	
Beniko x LKCSD	6	0,89	12,32	

\* Gleiche Buchstaben bedeuten keine signifikanten Unterschiede bei  $P = 0,05$ ;

<sup>#</sup> subdiözisch

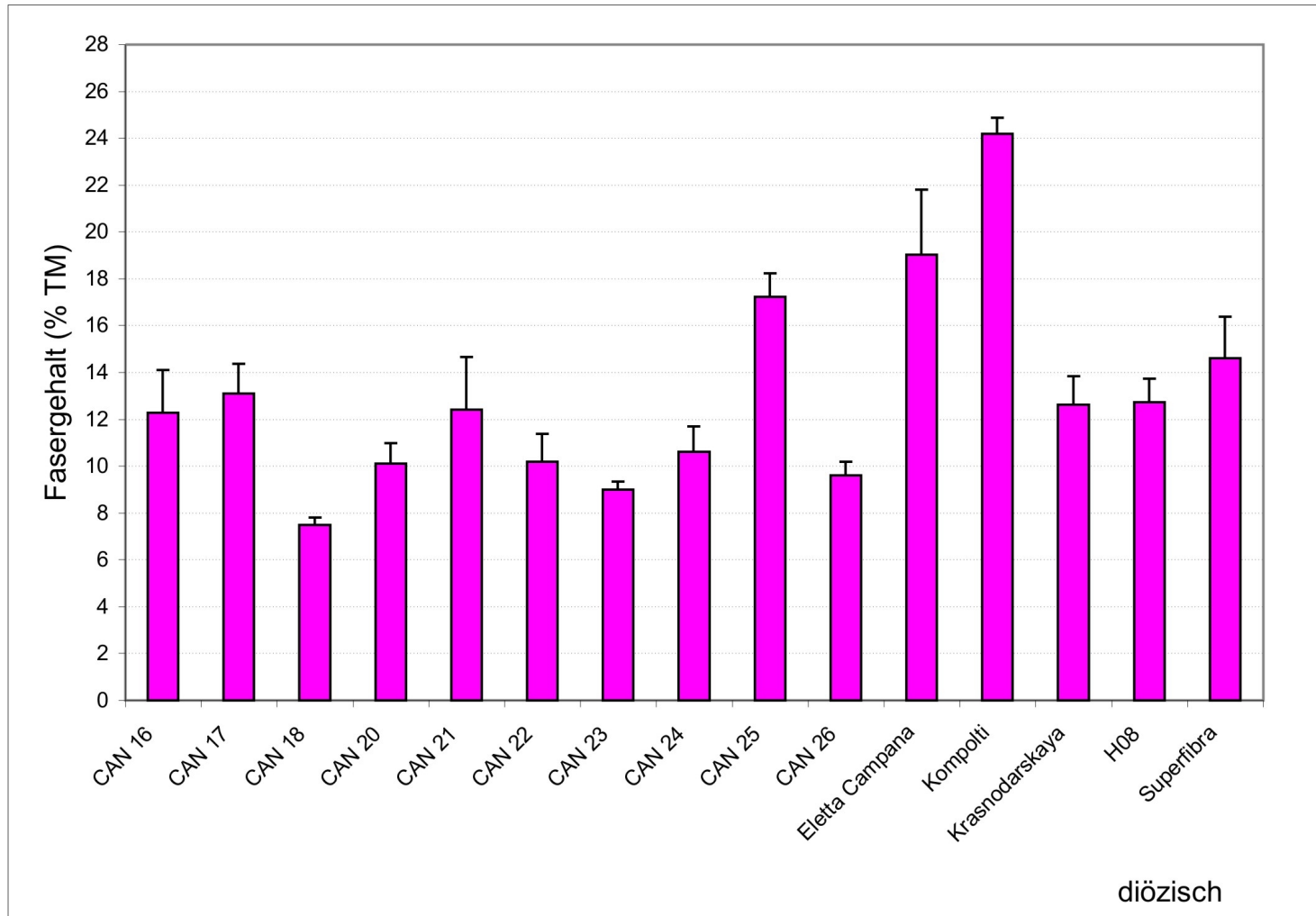


Abbildung 15: Fasergehalt (% TM) verschiedener diözischer Hanfherkünfte des Anbauversuches von 1998. Ergebnisse sind als Mittelwert mit der Standardabweichung angegeben.

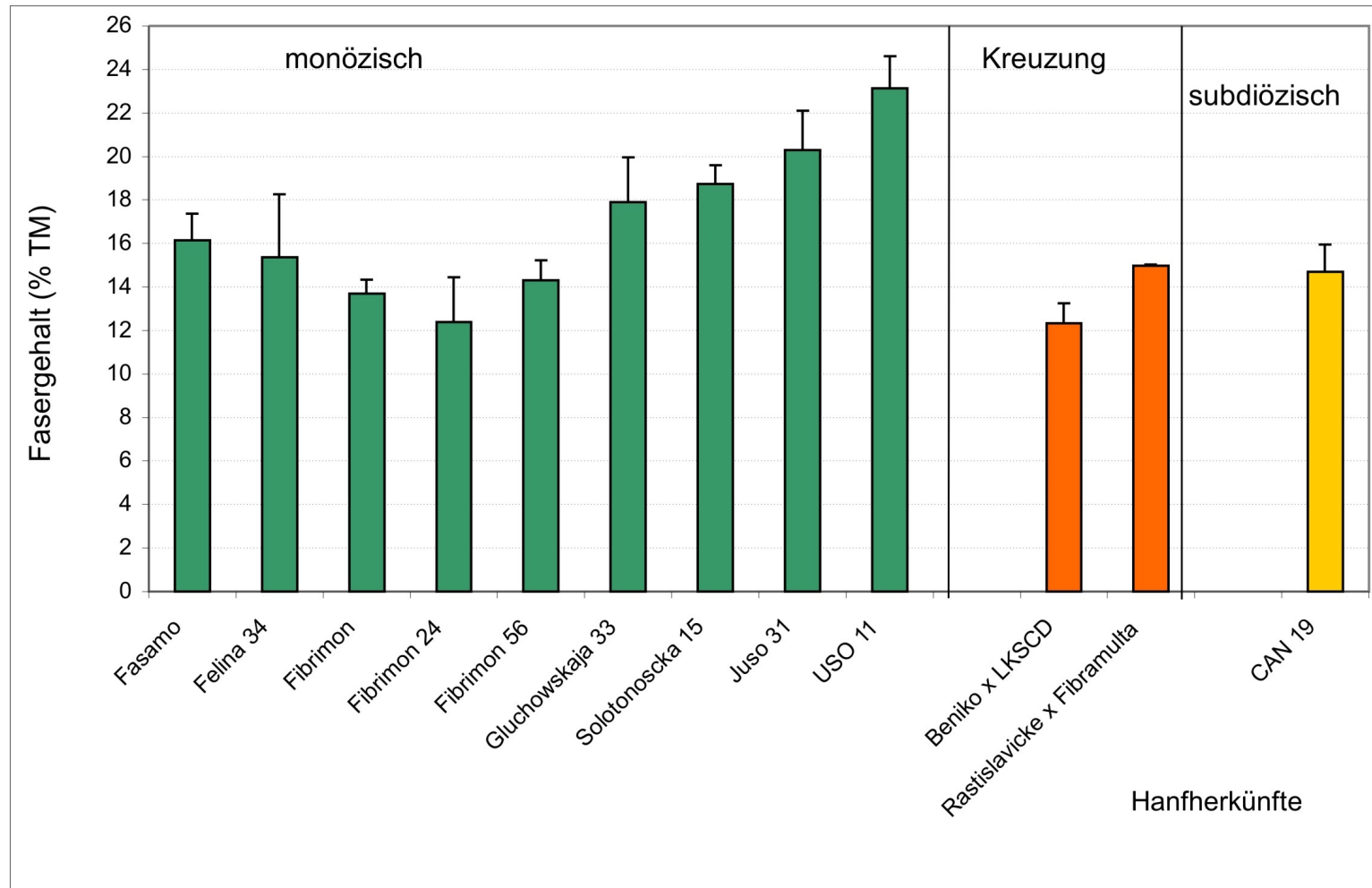


Abbildung 16: Fasergehalt (% TM) verschiedener monözischer und einer subdiözischen Hanfherkunft sowie zweier Kreuzungsnachkommenschaften des Anbauversuches von 1998. Ergebnisse sind als Mittelwert mit der Standardabweichung angegeben

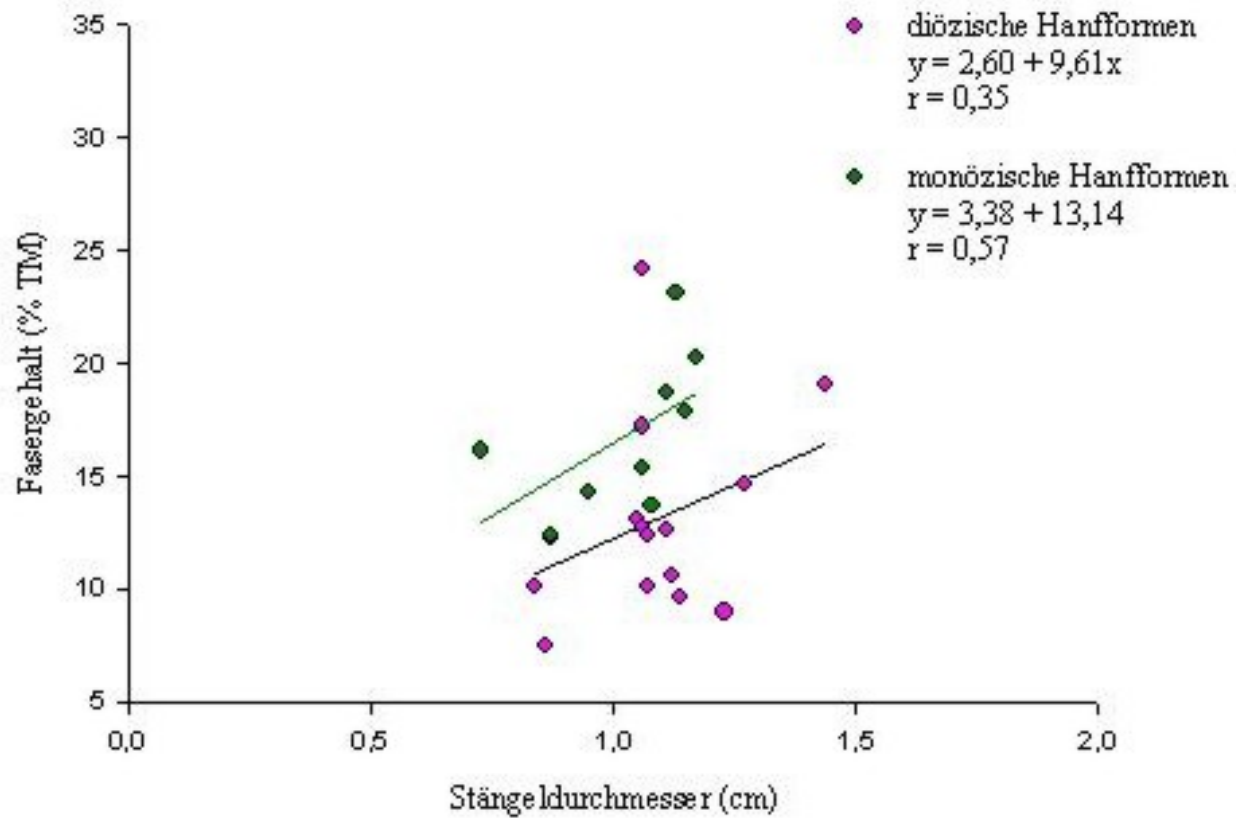


Abbildung 17: Zusammenhang zwischen Fasergehalt (% TM) und Stängeldurchmesser (cm), gemessen 30 cm über dem Wurzelhals von 9 monözischen und 15 diözischen *Cannabis sativa*-Herkünften (gruppiert nach Häufigkeit), Saison 1998

#### 4.2.1.3. Bestimmung der Fasergehalte und der Stängeldurchmesser des Anbauversuches von 1999

1999 wurde der Fasergehalt von 17 diözischen Hanfformen bestimmt (Tab. 14 und 15). Die Varianzanalyse ist im Anhang unter A6 – A8 dargestellt. Der SNK-Test wurde benutzt, obwohl nicht alle Varianzen homogen waren. Bei den 4 diözischen Abstammungen CAN 17, CAN 26, CAN 31 und CAN 32 waren keine männlichen Pflanzen verfügbar.

Auch 1999 konnte eine starke Variation des Fasergehaltes beobachtet werden. Er reichte bei den männlichen Pflanzen von 5,71 % (CAN 36) bis zu 24,97 % (,Kompolti'). Die Variation im Fasergehalt mit den entsprechenden Standardabweichungen ist Abb. 18 zu entnehmen.

Auffallend waren die männlichen Pflanzen der Sorte ,Kompolti', die einen um mehr als 10 % höheren Fasergehalt als die Abstammung mit dem zweithöchsten Fasergehalt (CAN 29) aufwiesen. Die Rangfolgen und signifikanten Unterschiede für die männlichen und weiblichen Pflanzen der untersuchten diözischen Herkunft sind den Tab. 14 und 15 zu entnehmen. Im wesentlichen gleichen sich die Reihenfolgen der beiden Geschlechter ( $r = 0.96$ ). Von ,Kompolti' (Rang 1) bis CAN 16 (Rang 5 bzw. 6) ist die Rangfolge der Hanfformen fast gleich. Den größten Unterschied im Fasergehalt zwischen den beiden Geschlechtern mit 4,33 % wies CAN 22 auf.

Insgesamt 8 monözische Sorten bzw. Abstammungen und eine subdiözische Abstammung flossen in die Auswertung des Fasergehaltes 1999 ein. Die Mittelwerte der einzelnen Formen sind Tab. 16 zu entnehmen.

Die Übersicht in Abb. 19 zeigt die Variation im Fasergehalt von 13,77 % für ,Fasamo' bis 20,28 % für ,Gluchowskaja 33'. Der Unterschied zwischen den Extrema beträgt nur 6,61 %. Deutlich tiefer liegt die subdiözische Form CAN 19 mit 10,82 %.

Als einzige diözische Faserhanfsorte (Hybridsorte) erreichte ,Kompolti' einen mittleren Fasergehalt von 23,55 % (Männchen und Weibchen). Dem gegenüber erreichten die sechs monözischen Faserhanfsorten einen durchschnittlichen Fasergehalt von 18,61 %. Die Fasergehalte schwankten hier von 13,77 % (,Fasamo') bis 20,28 % (,Gluchowskaja 33'). Die beiden einhäusigen Abstammungen der Genbank Gatersleben zeigten einen Fasergehalt von 17,16 % im Mittel, gegenüber einen mittleren Fasergehalt von 9,65 % der 12 zweihäusigen Abstammungen gleichen Ursprungs, bei denen sowohl männliche

als auch weibliche Pflanzen vorhanden waren. Alle 17 zweihäusigen Hanfformen erreichten 1999 im Mittel 10,72 % Fasergehalt gegenüber 18,24 % der monözischen Hanfsorten.

Während für die monözischen Formen eine negative Beziehung zwischen Fasergehalt und Stängeldicke ( $r = -0,33$ ) ermittelt werden konnte, zeigten die diözischen männlichen und weiblichen Pflanzen eine positive Korrelation der beiden Merkmale ( $r = 0,37$  bzw.  $0,16$ , Abb. 20). Alle Korrelationen waren nicht signifikant.

Tabelle 14: Mittlerer Fasergehalt (% TM) und mittlerer Stängeldurchmesser (cm) männlicher Hanfpflanzen der diözischen Herkünfte 1999

Hanfherkunft/ Sorte	Anzahl Wieder- holungen	Stängel- durchmesser	Fasergehalt Mittel	SNK-Test* für den Fasergehalt
Kompolti	11	1,39	24,97	A
CAN 29	15	1,24	14,28	B
CAN 33	9	1,10	13,46	BC
CAN 21	11	1,05	12,35	BCD
CAN 16	9	1,28	11,32	CD
CAN 22	9	0,86	11,30	CD
CAN 38	11	1,28	10,45	DE
CAN 34	12	1,36	10,02	DEF
CAN 27	11	0,96	8,42	EFG
CAN 18	11	0,72	8,13	FG
CAN 20	13	1,03	7,88	FG
CAN 24	12	1,41	7,16	GH
CAN 36	10	1,07	5,71	H
mittlerer Fehler der Einzelwerte			2,02	

\* Gleiche Buchstaben bedeuten keine signifikanten Unterschiede bei  $P = 0,05$

Tabelle 15: Mittlerer Fasergehalt (% TM) und mittlerer Stängeldurchmesser (cm) weiblicher Hanfpflanzen der diözischen Herkünfte 1999

Hanfherkunft/ Sorte	Anzahl Wieder- holungen	Stängel- durchmesser	Fasergehalt Mittel	SNK-Test* für den Fasergehalt
Kompolti	8	1,55	22,13	A
CAN 29	10	0,88	13,76	B
CAN 32	9	1,01	13,09	B
CAN 33	10	1,08	11,43	C
CAN 21	12	1,35	10,79	CD
CAN 16	10	1,28	10,32	CD
CAN 38	8	0,98	10,15	CD
CAN 31	9	1,44	9,95	CD
CAN 34	10	1,16	9,90	CD
CAN 26	6	1,19	9,71	CD
CAN 17	12	1,06	9,36	D
CAN 18	9	0,66	9,05	D
CAN 24	11	1,67	7,73	E
CAN 27	11	1,41	7,47	E
CAN 20	9	1,29	7,22	E
CAN 22	10	1,06	6,97	E
CAN 36	12	0,98	6,42	E
mittlerer Fehler der Einzelwerte			1,39	

\* Gleiche Buchstaben bedeuten keine signifikanten Unterschiede bei  $P = 0,05$



Tabelle 16: Mittlerer Fasergehalt (% TM) und mittlerer Stängeldurchmesser (cm) der monözischen und einer subdiözischen Hanfherkunft 1999

Hanfherkunft/ Sorte	Anzahl Wieder- holungen	Stängel- durchmesser	Fasergehalt Mittel	SNK-Test* für den Fasergehalt
Gluchowskaja 33	12	1,02	20,28	A
USO 31	12	0,91	19,98	AB
Juso 14	12	1,10	19,86	AB
USO 11	12	1,40	19,24	AB
Solotonoschka 15	10	1,27	18,50	BC
CAN 30	12	1,31	17,46	CD
CAN 28	12	1,28	16,86	D
Fasamo	13	1,16	13,77	E
mittlerer Fehler der Einzelwerte			1,44	
CAN 19 <sup>#</sup>	10	1,66	10,82	

\* Gleiche Buchstaben bedeuten keine signifikanten Unterschiede bei  $P = 0,05$

<sup>#</sup> subdiözisch

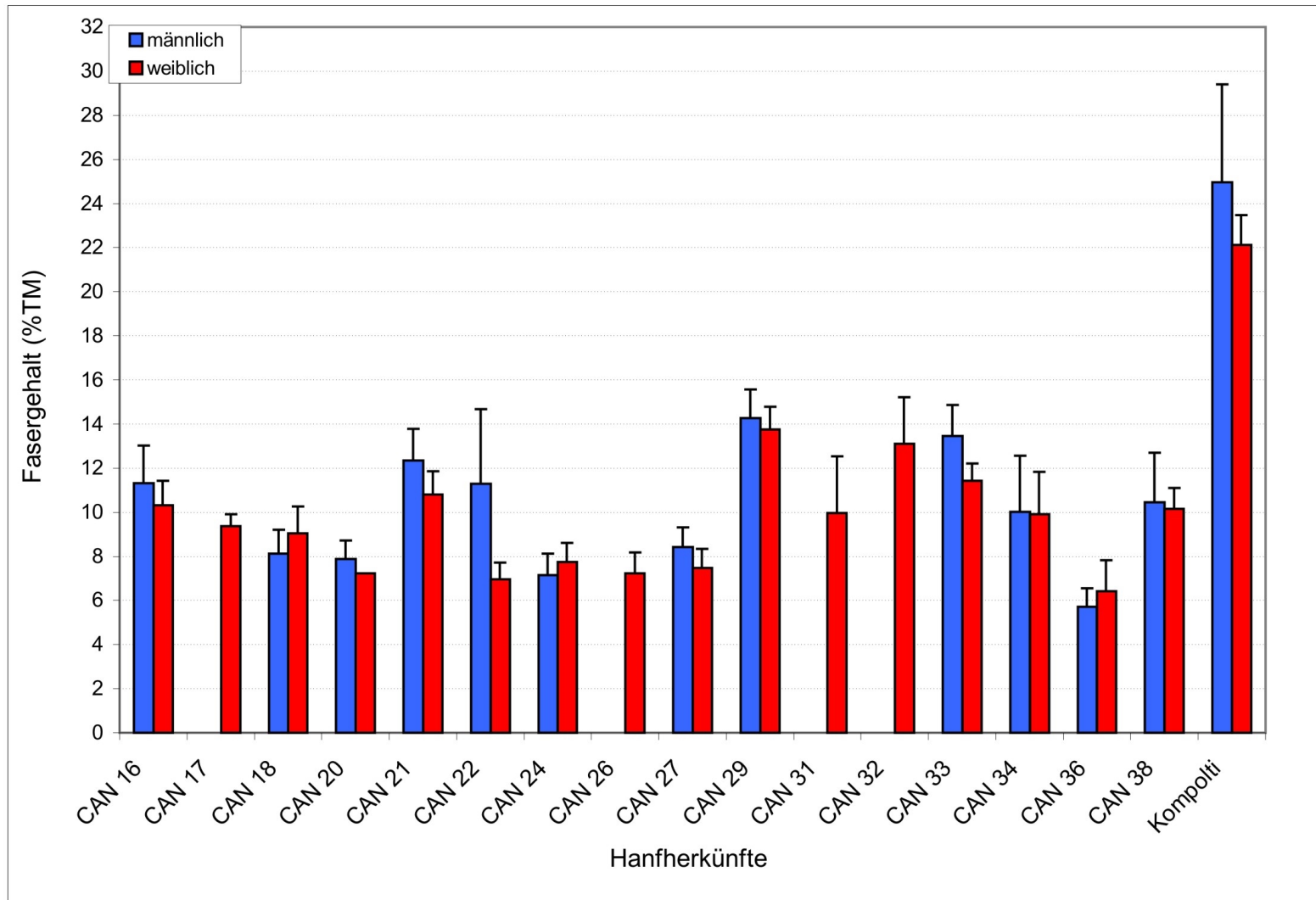


Abbildung 18: Fasergehalt (% TM) verschiedener diözischer Hanfherkünfte des Anbauversuches von 1999. Ergebnisse sind als Mittelwert mit der Standardabweichung angegeben

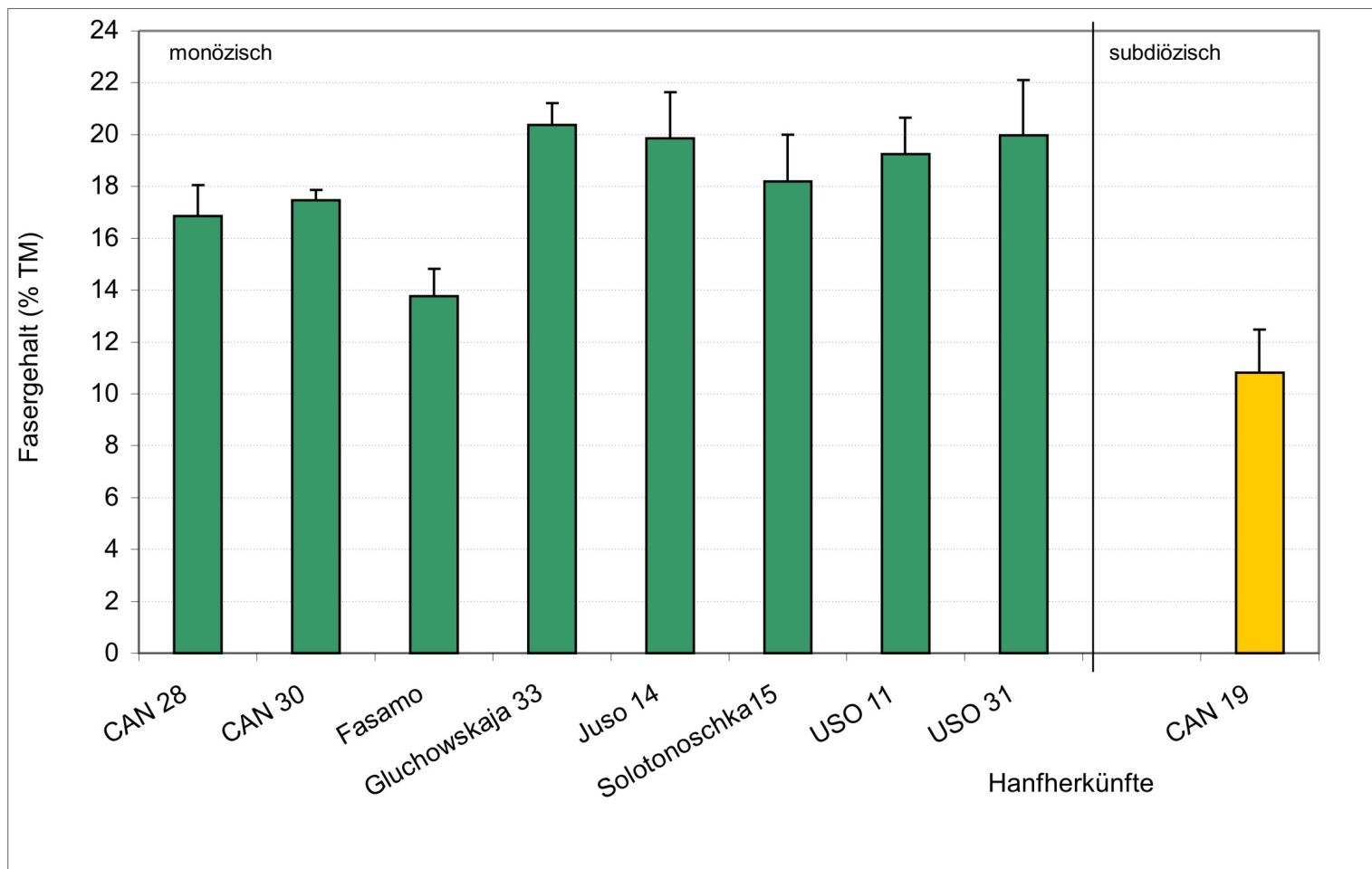


Abbildung 19: Fasergehalt (% TM) verschiedener monözischer und einer subdiözischen Hanfherkunft des Anbauversuches von 1999. Ergebnisse sind als Mittelwert mit der Standardabweichung angegeben

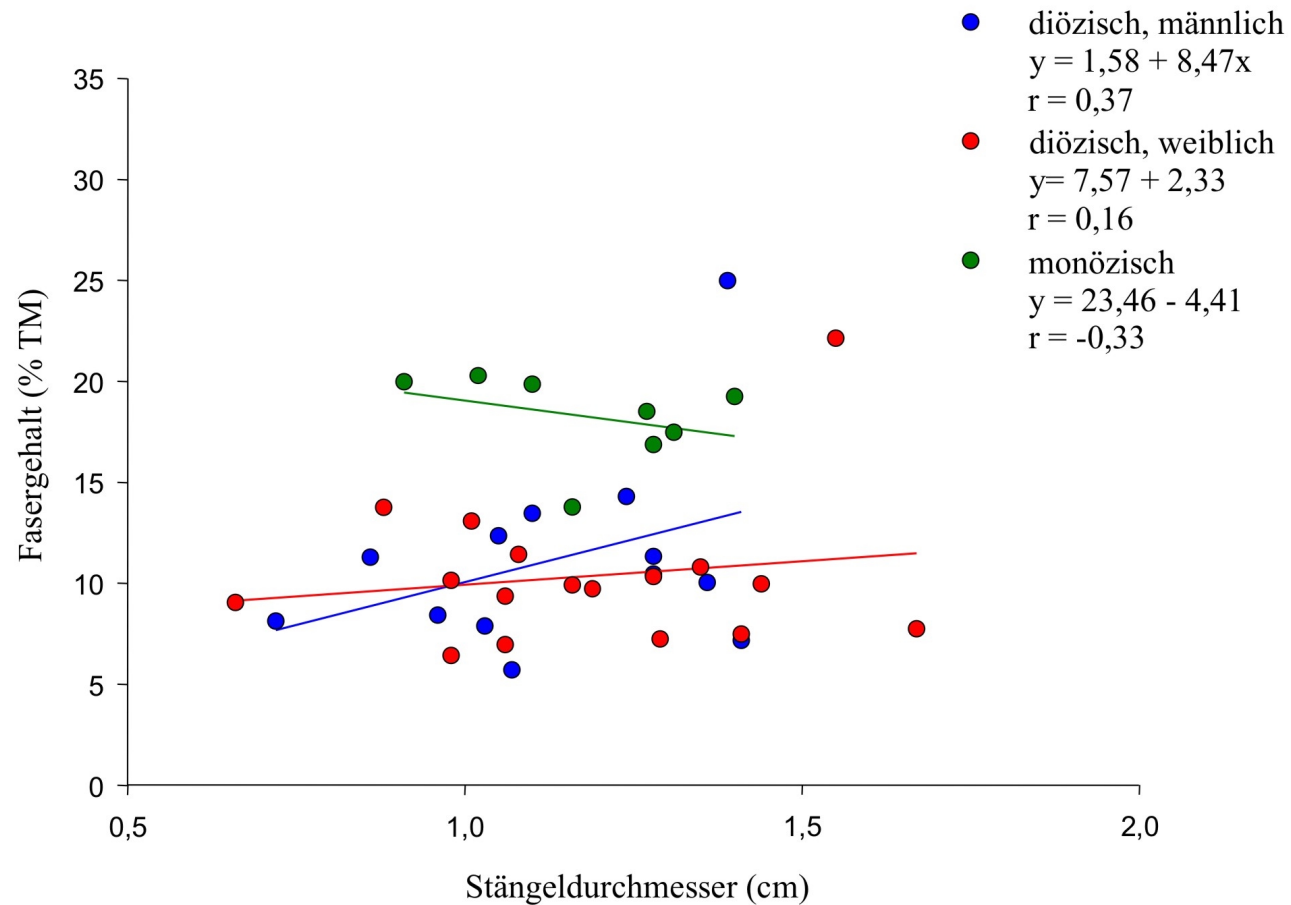


Abbildung 20: Zusammenhang zwischen Fasergehalt (% TM) und Stängeldurchmesser (cm), gemessen 30 cm über dem Wurzelhals von 8 monözischen und 17 diözischen *Cannabis sativa*-Herkünften (gruppiert nach dem Geschlecht, bzw. der Häufigkeit), Saison 1999

#### 4.2.1.4. Vergleich der Fasergehalte zwischen den drei Versuchsjahren

In Tabelle 17 ist der Fasergehalt im Vergleich der drei Versuchsjahre dargestellt.

Die einzige monözische Sorte, die über alle 3 Versuchsjahre auf Fasergehalt geprüft wurde, war ‚USO 11‘. Im Mittel über die drei Versuchsjahre erreichte ‚USO 11‘ einen Fasergehalt von 20,19 %, wobei 1998 der höchste Fasergehalt mit 23,14 % und 1996 der niedrigste Fasergehalt mit 18,19 % erreicht wurde.

Weitere 7 einhäusige Sorten wurden über 2 Jahre untersucht: ‚Fibrimon‘, ‚Felina 34‘, ‚Fibrimon 56‘ und ‚Fibrimon 24‘ in den Jahren 1996 und 1998 sowie ‚Solotonoschka 15‘, ‚Gluchowskaja 33‘ und ‚Fasamo‘ in den Jahren 1998 und 1999. Der mittlere Fasergehalt der vier zuerst genannten Sorten lag 1996 im Schnitt 4,76 % über den 1998 gemessenen Fasergehalten. Die Unterschiede waren bei allen Sorten ähnlich hoch und reichten von 4,13 % bei ‚Fibrimon 56‘ bis 5,65 % bei ‚Felina 34‘. Sie reagierten damit alle anders als ‚USO 11‘. Die beiden Sorten ‚Solotonoschka 15‘ und ‚Fasamo‘, die zweijährig geprüft werden konnten, erreichten 1998 einen höheren Fasergehalt als 1999. ‚Solotonoschka 15‘ wies 1998 mit 0,24 % nur einen geringfügig höheren Fasergehalt auf. Der Fasergehalt von ‚Fasamo‘ war 1998 um 2,38 % höher als 1999. Im Gegensatz dazu wies ‚Gluchowskaja 33‘ ein um 2,38 % höheren Fasergehalt im Versuchsjahr 1999 auf.

Beim Vergleich der diözischen Hanfformen konnten sowohl die ungarische Hybridsorte ‚Kompolti‘ als auch 7 Abstammungen aus der Genbank Gatersleben (CAN-Nr.) über alle 3 Versuchsjahre analysiert werden. 1998 wurden die Einzelpflanzen allerdings ohne vorherige Bestimmung des Geschlechtes untersucht. Bei CAN 16 und CAN 17 standen im Versuchsjahr 1996 bzw. bei CAN 26 im Versuchsjahr 1999 keine männlichen Pflanzen zur Verfügung. Bei CAN 21 konnten 1996 keine weiblichen Pflanzen in die Analysen des Fasergehaltes einbezogen werden.

‚Kompolti‘ erreichte 1998 den höchsten Fasergehalt mit 24,20 % (auch im Vergleich mit den monözischen Hanfformen). Der Fasergehalt, der 1999 für diese Hybridsorte festgestellt werden konnte, weicht mit 23,55 % nur geringfügig von diesem Maximalwert ab, während der Fasergehalt 1996 mit 20,78 % deutlich niedriger war.

Die 7 Abstammungen zeigten ein uneinheitliches Bild. Während bei CAN 20, CAN 21, CAN 22 und CAN 26 die höchsten mittleren Fasergehalte 1996 und die niedrigsten 1999 festgestellt werden konnten, wiesen CAN 16, CAN 17 und CAN 24 ihren höchsten mittleren Fasergehalt 1998 auf. Es wurde keine Abstammung beobachtet, die

1999 den höchsten Fasergehalt im Vergleich der drei Versuchsjahre erreichte. 5 von 7 Abstammungen (CAN 17, 20, 21, 22 und 24) zeigten 1999 den niedrigsten Fasergehalt. Im Durchschnitt wurde eine Differenz im Fasergehalt von 2,54 % zwischen dem jeweils höchsten und niedrigsten Fasergehalt für die acht zweihäusigen Formen beobachtet (Tab. 18). Den größten Unterschied zeigte mit 3,75 % Differenz die Abstammung CAN 20 beim Vergleich der Jahre 1996 und 1999. Die geringste maximale Differenz zwischen den Jahren 1996 und 1999 wies mit 1,15 % die Abstammung CAN 22 auf. Beim Vergleich der diözischen mit den monözischen Hanfformen konnte in allen drei Versuchsjahren bestätigt werden, dass die monözischen Hanfsorten im Durchschnitt einen höheren Fasergehalt besitzen (Abb. 21). Innerhalb der diözischen Hanfherkünfte ist die Gruppe der männlichen Pflanzen der Gruppe der weiblichen Pflanzen hinsichtlich des Fasergehaltes in den beiden analysierten Versuchsjahren (1996, 1999) überlegen.

Tabelle 17: Vergleich des mittleren Fasergehaltes (% TM) von in den drei Versuchsjahren 1996, 1998 und 1999 angebauten Hanfformen

Hanfherkunft/Sorte	Fasergehalt 1996			Fasergehalt 1998	Fasergehalt 1999		
	%	&	Gesamt		%	&	Gesamt
<b>Diözisch</b>							
B-7	25,45	25,83	25,64				
Rastislavicke	24,66	17,21	20,94				
Kompolti	23,81	17,74	20,78	24,20	24,97	22,13	23,55
Unico B	23,79	24,70	24,25				
Eletta Campana	22,65	19,02	20,84	19,02			
Superfibra	22,38	19,72	21,05	14,62			
Kompolti Hybrid TC	19,73	22,23	20,98				
Krasnodarskaja	19,44	16,77	18,11	12,63			
LKCS D	16,87	16,68	16,78				
Fibramulta 151	15,65	12,70	14,18				
H09	13,39	13,74	13,57				
Skunk 1	10,69	13,00	11,85				
Rjaf 1 (CHN)	9,45 13,10	8,50 8,86	8,98 10,98				
Krasnodarskaja 35	17,18	15,12	16,15				
H08				12,73			
CAN 16		9,96	9,96	12,29	11,32	10,32	10,82
CAN 17	11,12	9,69	10,41	13,09		9,36	9,36
CAN 18				7,49	8,13	9,05	8,59
CAN 20	11,92	10,67	11,30	10,11	7,88	7,22	7,55
CAN 21	12,85		12,85	12,42	12,35	10,79	11,57

CAN 22	11,67	8,90	10,29	10,18	11,30	6,97	9,14
CAN 23	12,23	9,50	10,87	9,00			
CAN 24	6,87	10,71	8,79	10,60	7,16	7,73	7,45
CAN 25				17,23			
CAN 26	12,04	10,14	11,09	9,62		9,71	9,71
CAN 27					8,42	7,47	7,94
CAN 29					14,28	13,76	14,02
CAN 31						9,95	9,95
CAN 32						13,09	13,09
CAN 33					13,46	11,43	12,45
CAN 34					10,02	9,90	9,96
CAN 36					5,71	6,42	6,07
CAN 38					10,45	10,15	10,30
Gesamtmittelwert	16,22	14,61	15,25	13,02	11,19	10,32	10,68
<b>Monözisch</b>							
Beniko		31,06					
Bialobrzeskie		23,32					
Fedrina 74		21,81					
Fedora 19		19,51					
Felina 34		21,02		15,37			
Krasnodarskaja 56		19,08					
Ferimon 21		19,77					
Irene		17,65					
Fibrimon		18,18		13,70			
USO 13		18,37					
USO 11		18,19		23,14		19,24	
Fibrimon 56		18,48		14,35			
Fibrimon 24		17,21		12,40			
Futura 77		16,74					
Juso 31				20,30			
Solotonoschka 15				18,74		18,50	
Gluchowskaja 33				17,90		20,28	
Fasamo				16,15		13,77	
USO 31						19,98	
Juso 14						19,86	
CAN 28						16,86	
CAN 30						17,46	
Gesamtmittelwert		20,03		16,89		18,24	
<b>Subdiözisch</b>							
CAN 19		23,17		14,70		10,82	
(YUG)		14,70					

Tabelle 18: Mittlere Fasergehalte (% TM) und Standardabweichung der in allen drei Versuchsjahren geprüften diözischen Hanfformen

Hanfherkunft/ Sorte	Fasergehalt 1996	Fasergehalt 1998	Fasergehalt 1999	Gesamt- mittel	Differenz*
Kompolti	<u>20,78* ± 3,44</u>	<b>24,20*</b> ± 0,63	23,55 ± 3,82	22,84	3,44
CAN 16	<u>9,96* ± 1,75</u>	<b>12,29*</b> ± 1,71	10,82 ± 1,41	11,02	2,33
CAN 17	10,41 ± 0,73	<b>13,09*</b> ± 1,18	<u>9,36 * ± 0,52</u>	10,95	3,73
CAN 20	<b>11,30*</b> ± 1,00	10,11 ± 0,80	<u>7,55 * ± 0,94</u>	9,65	3,75
CAN 21	<b>12,85*</b> ± 1,46	12,42 ± 2,00	<u>11,57 * ± 1,32</u>	12,28	1,28
CAN 22	<b>10,29*</b> ± 1,73	10,18 ± 1,06	<u>9,14 * ± 3,13</u>	9,87	1,15
CAN 24	8,79 ± 2,08	<b>10,60*</b> ± 0,98	<u>7,45* ± 0,95</u>	8,95	3,15
CAN 26	<b>11,09*</b> ± 1,82	<u>9,62 * ± 0,53</u>	9,71 ± 0,79	10,14	1,47

\* Differenz zwischen **Maximal-** und Minimalwert

(±) Standardabweichung



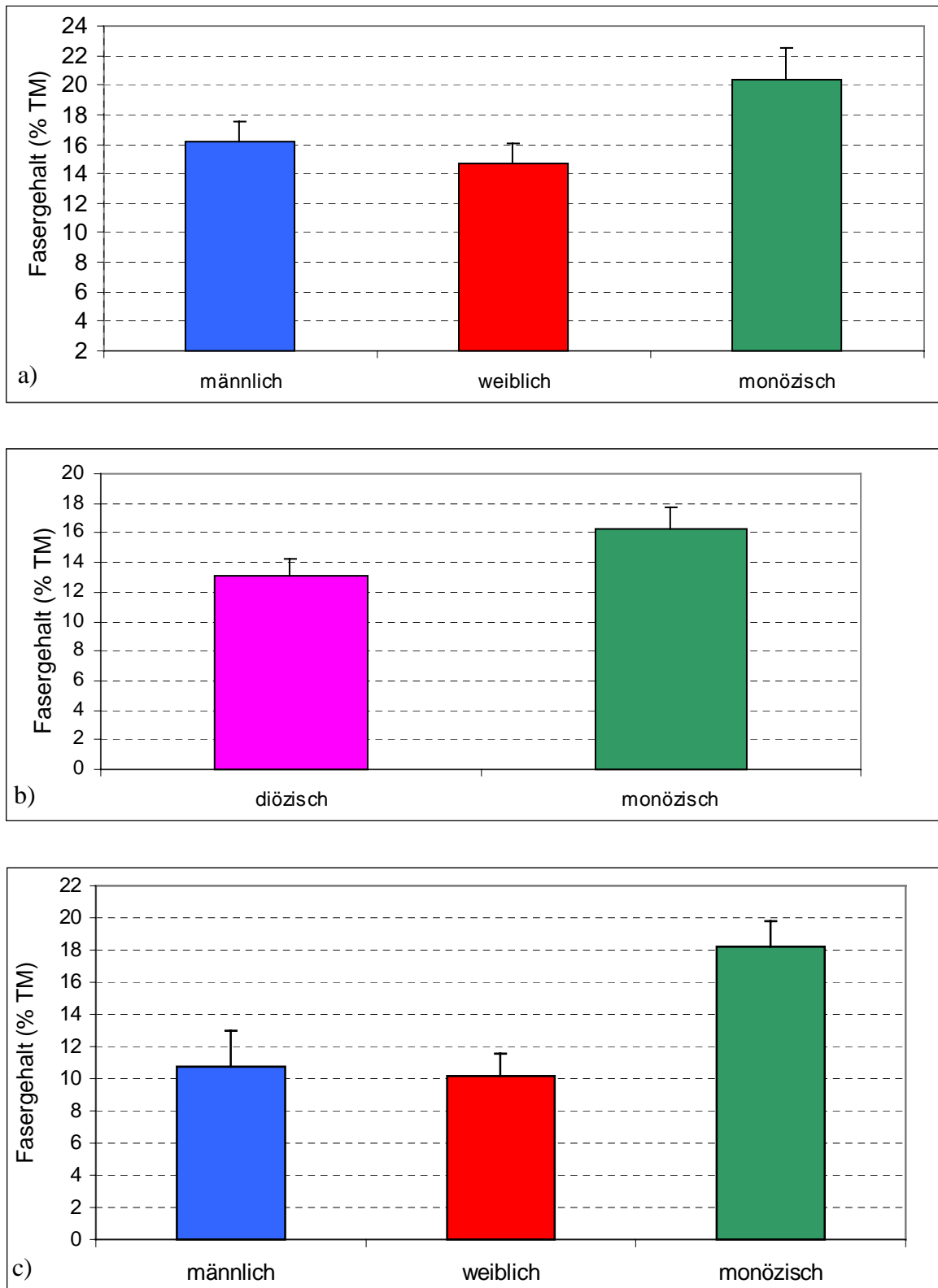


Abbildung 21: Vergleich der diözischen und monözischen Hanfformen hinsichtlich des Fasergehaltes (% TM) in den drei Versuchsjahren. Dargestellt sind die Mittelwerte mit den entsprechenden Standardabweichungen. a) 1996, b) 1998 und c) 1999

#### **4.2.2. Ölgehalt**

Neben der Bestimmung des Fasergehaltes wurden auch einige wenige Untersuchungen zur Bestimmung des Ölgehaltes durchgeführt. Die verwendete Soxhlet-Methode war mit einer Extraktionszeit von 6 Stunden sehr zeitintensiv und blieb auf Grund dessen auf die im folgenden aufgelisteten wenigen Analysen beschränkt. Drei Faserhanfsorten, nämlich die diözische Sorte ‚Kompolti‘ und die 2 monözischen Sorten ‚Fasamo‘ und ‚Felina 34‘ sowie die drei diözischen Genbank-Abstammungen CAN 16, CAN 17 und CAN 22 und die subdiözische Abstammung CAN 19 wurden für diese ersten Bestimmungen des Ölgehaltes verwendet. Es wurde der Ölgehalt sowohl von Hanffrüchten als auch von Hanfstängeln bestimmt. Dabei wurden ‚Felina 34‘ und die vier Genbankabstammungen des Versuchsjahres 1996 und ‚Kompolti‘ bzw. ‚Fasamo‘ des Versuchsjahres 1997 in die Untersuchung einbezogen.

##### **4.2.2.1. Ölgehalt von Hanffrüchten**

In Tabelle 19 und Abbildung 22 sind die mittleren Ölgehalte und die Standardabweichung der drei Hanfsorten und der 4 Genbank-Abstammungen dargestellt. Die höchsten Ölgehalte in den Hanffrüchten mit 34,32 % und 33,68 % wiesen die Sorten ‚Kompolti‘ und ‚Fasamo‘ auf. Die 4 Genbank-Abstammungen hatten wesentlich geringere Ölgehalte in den Früchten. Der geringste Ölgehalt mit 9,40 % wurde für subdiözische Abstammung CAN 19 ermittelt. Den höchsten Ölgehalt mit 16,22 % innerhalb der Abstammungen hatte CAN 22.

Die geringe Standardabweichung dieses Merkmales weist auf eine geringe Variation innerhalb einer Sorte bzw. Abstammung hin.

##### **4.2.2.2. Ölgehalt von Hanfstängeln**

Der Ölgehalt im Stängel wurde von 3 Hanfabstammungen bestimmt. Die Ölgehalte in der Trockenmasse variierten von 0,50 % bei CAN 22 bis 0,66 % bei CAN 16. CAN 19 lag mit 0,61 % Öl in der Mitte (Tab. 20).

Tabelle 19: Mittlerer Ölgehalt (% TM) von Hanffrüchten von verschiedenen Hanfformen

Hanfform	Proben-Nr.	Ölgehalt in %	Mittlerer Ölgehalt (%)	Standardabweichung
CAN 16	1	15,1	15,38	0,36
	2	15,9		
	3	15,3		
	4	15,2		
CAN 17	1	13,8	13,21	0,33
	2	12,8		
	3	13,0		
	4	13,2		
	5	13,1		
	6	13,1		
	7	13,5		
CAN 19	1	9,3	9,40	0,24
	2	9,1		
	3	9,6		
	4	9,6		
CAN 22	1	15,8	16,25	0,34
	2	16,4		
	3	16,6		
	4	16,2		
Felina 34	1	19,2	19,28	0,22
	2	19,1		
	3	19,2		
	4	19,6		
Fasamo	1	35,5	33,68	1,08
	2	32,9		
	3	33,8		
	4	32,9		
	5	33,3		
Kompolti	1	34,4	34,32	0,79
	2	35,5		
	3	34,2		
	4	33,3		
	5	34,2		

Tabelle 20: Mittlerer Ölgehalt (% TM) der Hanfstängel von einer subdiözischen und zwei diözischen Hanfabstammungen des Anbauversuches 1996

Hanfherkunft/ Sorte	Häufigkeit	Ölgehalt (% TM)
CAN 16	diözisch	0,66
CAN 19	subdiözisch	0,61
CAN 22	diözisch	0,50

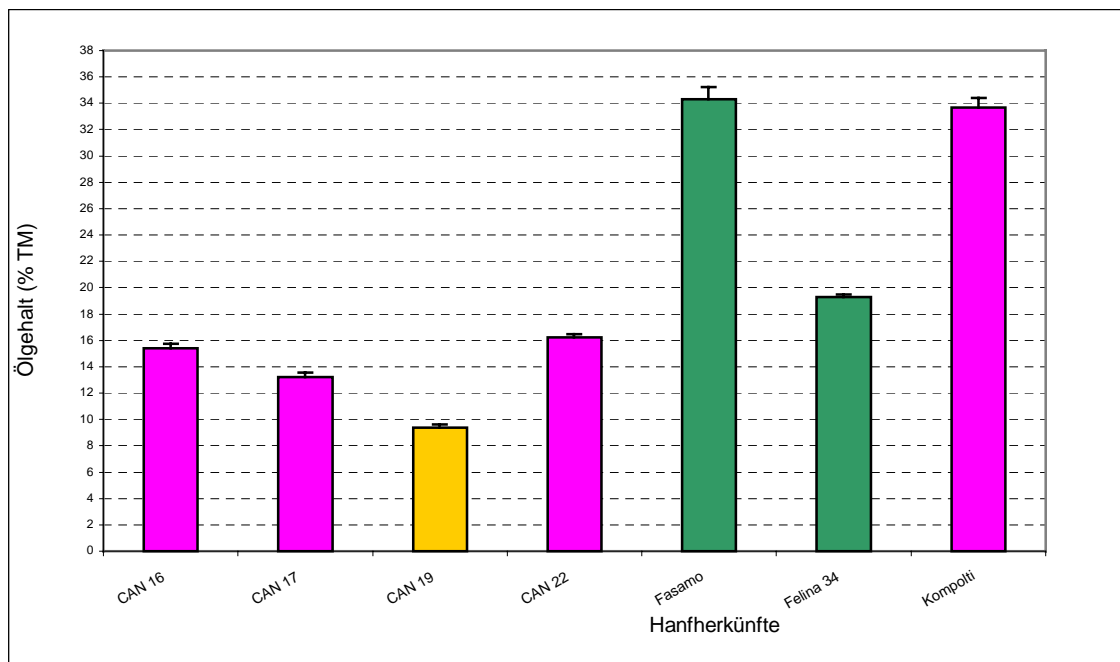


Abbildung 22: Ölgehalt (% TM) verschiedener Hanfherkünfte der Anbauversuche 1996 (,Felina 34', CAN-Nr.) und 1997 (,Fasamo', ,Kompolti'). Ergebnisse sind als Mittelwert mit der Standardabweichung dargestellt.

## 5. Diskussion

### 5.1. Molekulargenetische Charakterisierung von Hanf

Seit der Einführung molekularer Marker wurden diese auch dafür benutzt, um Aussagen über die Diversität zwischen den Einzelpflanzen innerhalb einer Form und zwischen verschiedenen Formen zu machen. Begonnen wurden diese Arbeiten mit biochemischen Markern, wie z.B. Isoenzym- und Proteinuntersuchungen. In der weiteren Entwicklung gelangte man über RFLP- (restrictions fragment length polymorphism) Marker bis hin zu den PCR (polymerase chain reaction) basierenden Markern. Besondere Beachtung finden RAPD- (random amplified polymorphic DNA), SSR- (single-sequence repeats) und AFLP- (amplified fragment length polymorphism) Marker. Je nach Markertyp können dominante (RAPD, AFLP) und auch codominante Allele (SSR, RFLP) beobachtet werden. Für die Benutzung eines bestimmten Markertyps ist auf dessen Handhabung und seine Anwendung zu achten. So liefern zwar SSR-Marker einen sehr hohen Informationsgehalt, aber die Entwicklung von SSR-Markern ist sehr zeitaufwendig. Hierfür müssen erst genomische DNA-Banken angelegt und gescreent werden. Anschließend werden positive Klone sequenziert und, wenn möglich, Primer abgeleitet.

AFLP-Marker verlangen einen Doppelverdau, Ligation und anschließende Amplifikation. Dies bedeutet einen hohen Zeit und Kostenaufwand. Das trifft ebenfalls für RFLP-Marker zu.

Aus diesen Gründen wurde für die Untersuchung der Diversität von Hanfformen die RAPD-Methode ausgewählt. Sie bedarf keiner aufwendigen, zeitraubenden Technik und ist schnell durchführbar. Ein Nachteil ist allerdings die geringe Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Hier jedoch standen nicht reproduzierbare Ergebnisse im Vordergrund, sondern es ging um Aussagen über die Ähnlichkeit bzw. die Diversität von Hanfformen. Für die Untersuchung wurden zwei Faserhanfsorten ausgewählt. Dabei handelte es sich um eine einhäusige und eine zweihäusige Faserhanfsorte. Da es sich um Sorten handelte, war eine relativ hohe Ähnlichkeit innerhalb der Sorten zu erwarten, jedoch nicht vollständig, da der Hanf ein Fremdbefruchter ist. Zwischen den Sorten wurden größere Unterschiede erwartet. Zu prüfen war, welche Auswirkungen bei diözischen Sorten das Geschlecht der Pflanzen hat. Es zeigte sich, dass die RAPD-Analyse Ergebnisse lieferte, die zu der Erwartung passten.

Molekulare Marker wurden bereits vielfach zur Sortendifferenzierung eingesetzt, so z.B. mit Hilfe von RFLP-fingerprints bei der Identifizierung von Kartoffelsorten (**Gebhardt et al., 1989**) oder von Weizensorten (**Vaccino et al., 1993**). Die Differenzierung von Genotypen gelang z.B. auch bei der Sojabohne (**Rongwen et al., 1995**) und beim Weizen (**Plaschke et al., 1995**) mittels Mikrosatelliten. Genotypendifferenzierung mittels AFLP wurde u.a. für Bermudagrass (**Zhang et al., 1999**) und Hopfen (**Seefelder et al., 2000**) beschrieben.

Diese Marker wurden auch benutzt, um die phylogenetischen Beziehungen zwischen Herkünften einer Art oder auch zwischen Arten zu bestimmen. Als Maß für die Ähnlichkeit bzw. Diversität wird dann häufig ein Abstammungsbaum konstruiert.

**Ramser et al. (1996)** analysierten 23 Abstammungen von *Dioscorea bulbifera* aus verschiedenen geographischen Gebieten mit 10 RAPD-Primer. Je nach Primer erhielten sie mehr oder weniger komplexe Bandenmuster. Insgesamt wurden 375 Banden amplifiziert, von denen 8 über alle Abstammungen monomorph waren.

**M'Ribu und Hilu (1996)** untersuchten 16 *Paspalum scrobiculatum*-Abstammungen und je eine Abstammung zweier weiterer *Paspalum*-Arten. Mit zwölf RAPD-Primern erzielten sie insgesamt 285 Banden. Ein dreizehnter RAPD-Marker floß nicht in die Ergebnisse ein, da er über alle Abstammungen eine monomorphe Bande amplifizierte. Die Ähnlichkeit einzelner Abstammungen variierte hier von 21 bis 75 %.

Bei der Analyse der beiden Hanfsorten in der vorliegenden Untersuchung konnten mit 18 RAPD-Primern 51 Banden amplifiziert werden. Im Verhältnis zu den oben erwähnten Untersuchungen sind die Bandenmuster sehr einfach und nicht komplex. So ist bei einer Analyse weiterer Hanfsorten mit diesen Primern nicht mit einem starken Ansteigen der Bandenanzahl zu rechnen. Die durchschnittliche Ähnlichkeit zwischen beiden Sorten betrug 54 %.

Der Ähnlichkeitsindex der monözischen Sorte ‚Fasamo‘ lag mit 96 % deutlich über dem der diözischen Sorte ‚Kompolti‘ mit 77 %. Dies war nicht unerwartet, da bei einhäusigen Sorten die Population stärker eingengt werden kann. Die männlichen ‚Kompolti‘-Pflanzen waren heterogener als die weiblichen ‚Kompolti‘-Pflanzen. In diesen Untersuchungen wurden keine geschlechtsgekoppelten Marker identifiziert. Von anderen Autoren wurden geschlechtsspezifische Marker identifiziert, so von **Sakamoto et al. (1995)**, **Mandolino et al. (1999)**) und **Flachowsky et al. (2001)**.

## 5.2. Fasergehalt

Nur wenige Pflanzen können für sich in Anspruch nehmen, dass alle Pflanzenteile wirtschaftlich verwertet werden können (**Hesch et al., 1996**). Die Vielseitigkeit der Hanfpflanze zeigt sich darin, dass Hanf sowohl zur Faser- und Öl- sowie zur Drogengewinnung verwendet werden kann. Die heute vorhandenen Varietäten zeichnen sich durch Merkmale aus, die, bedingt vor allem durch den Hanfanbau in den unterschiedlichsten Klimaten und Tageslängen, Anpassungen an diese Bedingungen darstellen. In Europa wurde in der Vergangenheit vorrangig auf Fasergehalt und Faserqualität, die Reduktion des THC-Gehaltes und die Schaffung monözischer Sorten gezüchtet (**Przytyk, 1999**). So sind die heute verfügbaren Faserhanfsorten aus Züchtungen in Deutschland, Frankreich, Italien, Ungarn und der früheren Sowjetunion Mitte des 20. Jahrhunderts hervorgegangen (**Mediavilla et al., 1999**).

Für eine Nutzung in Deutschland wird vermutlich die Fasererzeugung mit großem Abstand an erster Stelle stehen (**Hesch et al., 1996**), obwohl auch eine Doppelnutzung – Fasern und Samen - erwogen wird. Auch die Gewinnung von Speisehanfsamen stößt auf wachsendes Interesse (**Münzing et al., 1999**). Eine Samenproduktion hat aber auch die wichtige Aufgabe, das Saatgut für die nächste Aussaat bereitzustellen.

Ein wichtiges Zuchtziel für Deutschland ist deshalb die Schaffung von frühreifenden Sorten mit hohen Faser- und Trockenmasseerträgen sowie guten Faserqualitäten.

Die Bastfaser befindet sich zwischen Holz (innenliegend) und Rinde (außenliegend) der Hanfstängel, d.h. die Faserbündel entstehen infolge des primären Längenwachstums von der Basis der Pflanze bis in die Stängelspitze. Dabei wird der Rindenanteil sowohl von der Sorte als auch von anbautechnischen Maßnahmen beeinflusst (**Hanf, 1996**), wobei der Holzanteil in Abhängigkeit vom Rindenfaseranteil 52-74 % betragen kann.

Während der Vegetationsperiode nimmt der Fasergehalt ständig zu. Die primären oder Langfasern werden bis zu 20 mm lang, während die später, vor allem im unteren Teil des Stängels gebildeten sekundären oder Kurzfasern, die wesentlich zur Stabilität des Hanfstängels beitragen, nur eine Länge von etwa 2 mm erlangen. Die Bastfaser wird im allgemeinen als wichtigster Hanfrohstoff angesehen. Faserquantität und –qualität sind von Bedeutung, vor allem hinsichtlich des geplanten Verwendungszweckes. Der Fasergehalt wird stark von der Stängellänge (und auch von der Stängeldicke) beeinflusst und variiert je nach Anbaubedingung. Außerdem hängt er stark vom Geschlechtstyp ab (**Schumann und Weber, 1997**). Nach **Loch (1996)** kann der Fasergehalt relativ leicht

züchterisch verbessert werden. Unter Berücksichtigung der Standfestigkeit der Hanfstängel sind dieser Erhöhung des Fasergehaltes aber Grenzen gesetzt. Der mittlere Holzanteil liegt bei 50 %. Ein Rückgang auf < 40 % scheint hinsichtlich der Standfestigkeit nicht wünschenswert.

Bei den Qualitätsparametern sind der Anteil an Lang- und Kurzfasern (Werg) von Bedeutung. Jedoch wurde bei diesen Untersuchungen nur der Gesamtfasergehalt in Verbindung mit dem Stängeldurchmesser analysiert. Dieser steht im Zusammenhang mit der Faserfeinheit und dem Aufwand beim Entholzungsprozess (**Hanf, 1996**). Die Pflanzenlänge und der Stängeldurchmesser werden im wesentlichen von den gleichen Faktoren beeinflusst (**Bocsa und Karus, 1997**). Einen großen Einfluss hat dabei in Abhängigkeit von der verwendeten Sorte die Aussaatmenge und somit der Standraum bzw. die Bestandesdichte. Es gilt: je höher die Bestandesdichte, um so dünner sind die Hanfstängel und um so feiner sind die Fasern. Bei niedrigeren Bestandesdichten wird die Entwicklung von höheren, dickeren und verzweigteren Pflanzen gefördert (**Lisson und Mendham, 1995**). Die männlichen Pflanzen von zweihäusigen Formen erreichen im Durchschnitt größere Pflanzenlängen (auf Grund der Bestäuberfunktion) mit geringerem Stängeldurchmesser als die weiblichen Pflanzen, die kürzer und dicker werden (**Bocsa und Karus, 1997**). Bei den beiden für die molekularen Analysen verwendeten Faserhanfsorten konnte diese Tatsache für ‚Kompolti‘ (Tab. 8) bestätigt werden, wo die männlichen Pflanzen mit durchschnittlich 206,8 cm Länge einen Stängeldurchmesser von 13,7 mm erreichten. Die weiblichen Pflanzen hingegen waren ca. 27 cm kürzer, aber im Durchschnitt 2 mm dicker. Auch die Reifezeit übt einen Einfluss auf die Pflanzenlänge aus (**von Buttlar et al., 1997; Mediavilla et al., 1999**), die für die früher reifende Sorte ‚Fasamo‘ im Vergleich zu ‚Kompolti‘ im Durchschnitt eine niedrigere Pflanzenlänge beobachteten. Dies kann durch die hier vorgelegte Untersuchung bestätigt werden, wobei ‚Fasamo‘ mit einer mittleren Pflanzenlänge von 169,6 cm ca. 30 cm kürzer war als ‚Kompolti‘ (Mittelwert aus männlichen und weiblichen Pflanzen). Auf Grund der längeren vegetativen Phase bei später reifenden Sorten wie ‚Kompolti‘ ist dort das Frischgewicht höher. **Mediavilla et al. (1999)** konnten zeigen, dass der Stängeldurchmesser negativ mit der Reife korreliert ist, d.h. dass später reifende Sorten dickere Stängel ausbilden. So konnten auch für ‚Kompolti‘ (Mittelwert männliche und weibliche Pflanzen) um ca. 2 mm dickere Stängel im Vergleich zu ‚Fasamo‘ festgestellt werden.



Es wurde versucht, für alle zu untersuchenden und in Parzellen angebauten Hanfformen gleiche Bestandesdichten zu realisieren, was aber nicht gelang (**Schumann et al., 1999**). Zum einen kam es auf Grund der unterschiedlichen Keimfähigkeit der Samen zu Unterschieden in den Bestandesdichten der einzelnen Versuchspartellen. Eigene Beobachtungen und die Angaben von **Hai und Rippchen (1994)** und **Breitfeld (1995)** belegen eindeutig die schnelle Abnahme der Keimfähigkeit der Samen mit zunehmenden Alter. Außerdem reifen die Hanfsamen auch innerhalb eines Fruchtstandes ungleichmäßig ab (**Heuser, 1927**). Zur Aussaat verwendete unreife Samen wirken sich negativ auf die Keimfähigkeit aus. Zum anderen konnte auch eine von anderen Autoren beschriebene Abnahme der Pflanzenzahl während der Bestandesentwicklung (**Hoffmann, 1961; von Buttlar et al., 1997; Schumann et al., 1999**) beobachtet werden. Diese kann bei höherer Ausgangsdichte durch im Bestand auftretende Konkurrenzbeziehungen hervorgerufen werden, d.h. schwächliche Pflanzen sterben entweder ab (von **van der Werf (1994)** als „Selbstverdünnung“ bezeichnet) oder werden unterdrückt und bilden dann den sogenannten „Unterhanf“ (**Hoffmann, 1961**). **Schumann et al. (1999)** konnten zeigen, dass die Pflanzendichte unter anderem einen erheblichen Einfluss auf die Pflanzenlänge und den Stängeldurchmesser hatte. Bei steigender Pflanzendichte konnte von **Heuser (1927)** eine Erhöhung des Rindenanteiles festgestellt werden. Da Faser- und Rindenanteil positiv miteinander korreliert sind, muss sortenspezifisch die günstigste Bestandesdichte für einen hohen Fasergehalt herausgefunden werden. Mit der Aussaatmenge sollte eine Bestandesdichte angestrebt werden, die nach der Selbstverdünnung einen Bestand mit den gewünschten Fasereigenschaften hervorbringt (**Hanf, 1996**). Auf Grund dieser Schwierigkeiten waren auf den in der Versuchsgärtnerei Hohenthurm angebauten Kleinparzellen keine gleichen Bestandesdichten der angebauten Hanfformen zu erzielen.

Die pro Flächeneinheit erwirtschafteten Erträge sind nach wie vor für züchterische Zielsetzungen relevant. Der Faserertrag beim Hanf ergibt sich aus dem Stängeltrug pro Flächeneinheit und dem Fasergehalt der Stängel. So kann auch über die Erhöhung des Fasergehaltes ein höherer Faserertrag realisiert werden.

Nach **de Meijer (1994b)** beträgt der Fasergehalt bei wilden Hanfformen sowie Drogensorten 12-15 % und bei den modernen Faserhanfsorten zwischen 25-35 %.

Wie u.a. bei **Bocsa und Karus (1997)** und **Schumann und Weber (1997)** beschrieben, unterscheiden sich bei den diözischen Hanfformen beide Geschlechter stark in den

Blüh- und Fasereigenschaften. Die männlichen Pflanzen haben die bessere Faserbeschaffenheit bei früherer Reife, d.h. der Erntezeitpunkt wird nach der Blütezeit der männlichen Pflanzen bestimmt. Obwohl die weiblichen Pflanzen zum Zeitpunkt der männlichen Blüte noch nicht reif sind, wird der gesamte Bestand geschnitten. Dadurch wird vorrangig die nach dem Absterben der männlichen Pflanzen und während der Samenreife eintretende Verholzung, die den Fasergehalt und die Faserqualität negativ beeinflusst, ausgeschlossen. Diesen Geschlechtsdimorphismus gibt es bei den monözischen Faserhanfsorten nicht. Durch die Züchtung von monözischen Formen konnten gleichzeitig blühende und reifende Sorten geschaffen werden, wobei monözische Hanfsorten nach ca. 100-120 Vegetationstagen am Ende der Blüte geschnitten werden (**Breitfeld, 1995**). Auch bei den monözischen Hanfformen ist der Erntezeitpunkt von dem männlichen Blütezeitpunkt abhängig. Während der Versuche konnte aber immer wieder beobachtet werden, dass in monözischen Beständen phänotypisch männliche sowie auch weibliche Pflanzen vorhanden waren.

Die Vererbung des Geschlechtes beim Hanf ist sehr komplex (**von Sengbusch, 1943**). Eine Anzahl von geschlechtsrealisierenden Faktoren wird in der Literatur beschrieben, darunter die Geschlechtschromosomen, die autosomalen ‚Monöziegene‘ und Gene für die photoperiodische Reaktion (**von Sengbusch, 1952; Köhler, 1961**). Insbesondere die Photoperiode scheint einen großen Einfluss auf die Geschlechtsausprägung auszuüben, wobei Weibchen in dieser Hinsicht am wenigsten modifizierbar und Männchen als sehr labil bekannt sind. Dabei kann die genotypische Veranlagung, bedingt durch hormonell veränderte Umweltbedingungen, überlagert werden und zu einer extremen phänotypischen Umkehr im Geschlecht von männlich zu weiblich und umgekehrt führen (**Chailakhyan, 1979**). Es wurde beobachtet, dass monözische und rein männlich blühende Pflanzen mit weiblichem Habitus durch eine Veränderung in den Wachstumsbedingungen hinsichtlich der Geschlechtsausprägung in weibliche Richtung tendieren.

Während des Zuchtprozesses zum monözischen Hanf wurde der Vererbung des Geschlechtes große Aufmerksamkeit gewidmet. Nach **Loch (1997)** müssen alle Vermehrungsstufen dieser Sorten ‚gefemelt‘ werden, d.h. die männlichen Pflanzen müssen vor Beginn ihre Blüte entfernt werden. Es konnten noch keine nennenswerten Fortschritte bei der Verminderung der Männchenaufspaltung beobachtet werden. Männliche Pflanzen spalteten zu 0,01 bis 0,001 % heraus. Auch kam immer ein geringer Prozentsatz Weibchen vor, der sich mit zunehmender Einhäusigkeit aber

verringerte. Dieses gleichzeitige Vorhandensein von einhäusigen, männlichen und weiblichen Pflanzen bezeichnet er als Triözie, wobei die aktuellen französischen, russischen und polnischen monözischen Hanfsorten diesem Typ zuzuordnen sind.

Worin liegen die Ursachen für das Auftreten von Männchen? Erstens vermutet **Hoffmann (1947)**, dass auf den Autosomen vorhandene Geschlechtsrealisatoren das Auftreten von Männchen hervorrufen. Dies ist umstritten. Zweitens ist nach Meinung von **von Sengbusch (1952)** das Auftreten von Männchen in monözischem Hanf überhaupt, auch in der geringsten Zahl, auf die stärkere Pollenproduktion der echten Männchen gegenüber der der Idealmonözisten anzusehen. Dies ist auch die Ursache für die lawinenartige Erhöhung des Männchenanteils, d.h. sie ist immer auf eine Fremdbefruchtung mit diözischem Material zurückzuführen. Daher ist eine räumliche und zeitliche Isolierung des monözischen Materials erforderlich. So schätzt Lothar Loch als Züchter von ‚Fasamo‘ (**Loch, 1997**) ein, dass ‚Fasamo‘ eine völlig einhäusige Hanfsorte ist, bei der keine männlichen und weiblichen Pflanzen vorkommen. Jedoch besteht ‚Fasamo‘ erst zu 72,8 % aus Idealmonözisten. Aber auch bei dieser Sorte wurden wiederholt männliche Pflanzen im Bestand gefunden. So kam es im Jahr 1995 wieder zum Auftreten von Männchen, wobei die Ursache dafür von ihm nicht aufgefunden werden konnte.

Generell ist festzustellen, dass zweihäusiger Hanf immer fremdbefruchtend ist, während bei einhäusigem Hanf auch Selbstbefruchtung und damit verbundenen Inzuchtdepression vorkommen kann. Daraus resultieren für **Bocsa und Karus (1997)** auch die Überlegenheit des zweihäusigen Hanfes im Vergleich zum einhäusigen hinsichtlich der Stängeltragsfähigkeit.

Für die technische Verarbeitung von Hanffasern ist eine gleichbleibende Faserbeschaffenheit sehr wichtig, um den Produktionsprozess optimal steuern zu können. Einerseits ist aber mit Schwankungen zwischen verschiedenen Erntejahren (Jahreseffekte) und andererseits auch mit Schwankungen innerhalb einer angebauten Sorte zu rechnen. Im Vergleich zu synthetischen Fasern ist zwischen den Einzelpflanzen einer Sorte immer eine breitere Eigenschaftsverteilung der Fasern zu finden (schon von **Bredemann (1922a)** beobachtet), bedingt durch Pflanzenzüchtung, Anbau und Ernte bis hin zum Faseraufschluss (**Keller, 1997**).

Diese in der Literatur beschriebenen Schwankungen können auch durch die in dieser Arbeit erzielten Ergebnisse nachgewiesen werden.

Über alle 3 Versuchsjahre auf Fasergehalt geprüft wurde die monözische Faserhanfsorte ‚USO 11‘. Dadurch ist es möglich, Jahreseffekte zu untersuchen. Jedes Jahr wurden vier Einzelpflanzen analysiert, wobei der Stängeldurchmesser von 10,3 mm (1996) bis 14 mm (1999) variierte. Im Mittel über die drei Versuchsjahre erreichte ‚USO 11‘ einen Fasergehalt von 20,19 %, wobei 1998 der höchste Fasergehalt mit 23,14 % und 1996 der niedrigste Fasergehalt mit 18,19 % festgestellt werden konnte.

Bei den diözischen Hanfherkünften wurden die ungarische Hybridsorte ‚Kompolti‘ und 7 Abstammungen aus der Genbank Gatersleben (CAN-Nr.) über alle 3 Versuchsjahre analysiert. Bei ‚Kompolti‘ wurde der höchste Fasergehalt mit 24,20 % im Jahr 1998 beobachtet. Der Fasergehalt im Untersuchungsjahr 1999 weicht mit 23,55 % nur geringfügig davon ab. Der Fasergehalt 1996 war mit 20,78 % aber deutlich niedriger.

1996 konnten unter anderem auch bei ‚Kompolti Hybrid TC‘ und CAN 21 beobachtet werden, dass der Fasergehalt der weiblichen Pflanzen im Vergleich zu den männlichen Pflanzen höher war. Normalerweise besitzen die Männchen den höheren Fasergehalt. Erklärbar ist dies aus der Tatsache, dass der Fasergehalt stark vom Erntezeitpunkt und somit vom Reifegrad der Pflanze beeinflusst wird (**Bocsa und Karus, 1997**). Daraus kann einerseits möglich sein, dass die männlichen Pflanzen zu spät geerntet wurden sind und dass die fortgeschrittenen Verholzung sich negativ auf den Fasergehalt ausgewirkt hat. Wahrscheinlicher ist aber andererseits die erschwerte Interpretation der Ergebnisse auf Grund des geringen Probenumfangs, da oftmals lediglich eine Pflanze/Geschlecht innerhalb einer Hanfform untersucht wurde.

Der Zusammenhang zwischen Fasergehalt und Stängeldurchmesser war nicht immer gleich. Die vorhandene negative Korrelation zwischen Stängeldurchmesser und Fasergehalt konnte 1996 sowohl für die männlichen als auch für die weiblichen Pflanzen der diözischen Herkünfte bestätigt werden. Sie war aber nicht signifikant. Diese Korrelation war 1998 positiv, aber ebenfalls nicht signifikant. Bei den monözischen Hanfformen war die Korrelation zwischen Fasergehalt und Stängeldurchmesser 1996 negativ, im Jahr 1998 positiv und 1999 negativ. Die insgesamt nicht sehr deutlichen Korrelationskoeffizienten deuten darauf hin, dass beide Eigenschaften weitgehend unabhängig voneinander züchterisch bearbeitet werden können.

So konnten mit diesen Untersuchungen sowohl Genotypenunterschiede als auch Jahreseffekte nachgewiesen werden. Im Vergleich zwischen diözischen und monözischen Hanfformen in allen drei untersuchten Versuchsjahren konnten für die

monözischen Hanfformen im Durchschnitt die höheren Fasergehalte festgestellt werden. Ein Grund dafür könnte sein, dass die Mehrzahl der analysierten monözischen Hanfformen bereits etablierte und auf Fasergehalt selektierte Faserhanfsorten sind. Lediglich zwei Genbank-Abstammungen aus Gatersleben waren monözisch. Im Vergleich dazu waren die meisten Genbank-Abstammungen, die Bestandteil dieser Untersuchungen waren, diözisch. Auch die Anzahl der diözischen Hanfsorten war wesentlich geringer im Vergleich zu den monözischen Sorten.

Nach der Aufhebung des Hanfanbauverbotes 1996 wurden THC-arme Hanfsorten (zertifiziertes Saatgut) als Nutzhanf für den Anbau zugelassen, deren THC-Gehalt in der Trockenmasse unter 0,3 % lag. Seit 2001 darf dieser Wert nicht mehr über 0,2 % liegen (**Cappelletto et al., 2001**). Deshalb darf die in der Literatur beschriebene Möglichkeit nicht außer Acht gelassen werden, dass hohe THC-Gehalte auch mit hohem Fasergehalt kombiniert sein können (**de Meijer, 1995**) und dass der THC-Gehalt von den Umweltbedingungen beeinflusst wird (**Bocsa, 1995; de Meijer, 1995; Höppner und Menge-Hartmann, 1996**). Obwohl gegenwärtig davon ausgegangen wird, dass es keine Korrelationen zwischen dem THC-Gehalt und nicht chemischen Merkmalen gibt (**de Meijer, 1994a**), besteht ein gewisses Interesse daran, Merkmale zu finden, die leichter als der THC-Gehalt zu erfassen sind. Damit wäre die Möglichkeit gegeben, Drogenhanftypen, deren Anbau nicht erlaubt ist, ohne aufwendige chemische Analyse zu erkennen. Ideal wären morphologische Merkmale, die visuell eingeschätzt werden können. Bisher ist aber in dieser Hinsicht nichts bekannt. Deshalb sucht man nach anderen Möglichkeiten, wobei auch die Entwicklung und der Einsatz von molekularen Marker in Betracht gezogen werden.

Bei der Züchtung neuer Hanfsorten ist es zwingend erforderlich, entsprechend der Auflagen für den Hanfanbau, den THC-Gehalt im Zuchtmaterial zu kontrollieren, da gegenwärtig nur Sorten zugelassen werden, die einen vorher festgelegten Grenzwert nicht überschreiten.

Nur mit Hilfe von experimentellen Anbauversuchen können genügend Daten erfasst werden, die es ermöglichen, präzise Anforderungen hinsichtlich der Fasereigenschaften zu erarbeiten. Dabei steht ein Ziel im Vordergrund, nämlich Fasern hoher Qualität mit definierten und gleichbleibenden Eigenschaften in ausreichender Menge für die Verarbeitung zur Verfügung zu stellen (**Kohler et al., 1997**). Nach Meinung von

**Döring (1997)** ist es deshalb erforderlich, dass in Kooperation zwischen Erzeugern, Forschung, Entwicklung und Industrie Qualitätsparameter und Toleranzgrenzen festgelegt werden. Nur so wird es möglich sein, die Hanffaser zu einem berechenbaren und verlässlichen Rohstoff zu machen.

### 5.3. Ölgehalt

Von vielen Samenpflanzen werden Öle und Fette als energiereiche Reservestoffe in den Samen eingelagert. Pflanzliche Fette sind sowohl ernährungsphysiologisch (z.B. Speiseöl) als auch volkswirtschaftlich (z.B. Kosmetikartikel, technische Produkte wie Farben, Reinigungsmittel u.a.) von Bedeutung. Gegenwärtig gibt es bereits eine Reihe von Nahrungsmitteln aus Hanf, die vor allem aus den Samen hergestellt werden wie Hanföl, Hanfbrot und –nudeln, Hanfeis u.a. (**Grotenhermen et al., 1998**).

Ein hoher Samenertrag kann erreicht werden, wenn durch eine geringe Aussaatmenge von 20-50 kg/ha der Einzelpflanze mehr Standraum zur individuellen Entwicklung zur Verfügung steht und infolgedessen eine bessere Verzweigung hervorgerufen wird (**Schumann und Weber, 1997**). Im Gegensatz zur Fasergewinnung ist aber die Reife der weiblichen bzw. monözischen Pflanzen die Voraussetzung für die Ernte, die dann meist nicht vor Ende September beginnen kann. Es wird davon ausgegangen, dass Hanfsamenerzeugung in Deutschland in Doppelnutzung - Fasern und Samen - erfolgen wird. Nach **Höppner (1997)** signalisieren aber immer mehr Landwirte, sich auf die Samengewinnung zu konzentrieren. Da kaum spezielle Ölhanfsorten zur Verfügung stehen (in Kanada ist die Ölhanfsorte ‚FIN-314‘ auf dem Markt (**Przytyk, 1999**)), werden zur Samengewinnung gegenwärtig noch die monözischen Faserhanfsorten genutzt, wobei hohe Samenerträge am ehesten durch frühblühende Sorten realisiert werden können. Problematisch ist auch die Festlegung des optimalen Erntezeitpunktes. Bedingt durch die physiologisch ungleichmäßige Abreife der Samen über mehrere Wochen können bereits reife Samen ausfallen oder werden von Vögeln gefressen (**Mediavilla et al., 1997**), was zu drastischen Ertragsverlusten führen kann.

Nach **Malingre et al. (1975)** wird Hanföl in denselben Pflanzenteilen wie die Cannabinoide synthetisiert, d.h. in den Epidermisdrüsen und/oder Drüsenhaaren. Diese Drüsenhaare befinden sich an den Brakteen (Deckblättern) der weiblichen Blüten und

deren Blütenblättern (**Pate, 1994**), wobei durch eine höhere Anzahl von Drüsenhaaren bzw. durch die Steigerung der Anzahl weiblicher Blüten pro Flächeneinheit der Ölertag gesteigert werden kann (**Meier und Mediavilla, 1998**).

Der Bestimmung des Ölgehaltes kommt dabei eine besondere Bedeutung zu. Er sollte möglichst genau und, für eine effiziente Nutzung in der Züchtung, auch schnell bestimmt werden können.

Das Standardverfahren nach SOXHLET beruht auf einem Feststoff-Extraktionsverfahren (**AOCS, 1980**). Fette sind wasserunlöslich, aber löslich in Lösungsmitteln wie Chloroform und Heptan. Die Soxhlet-Extraktion mit Diäthyläther ist am gebräuchlichsten (**Berg et al., 1997**). Nachteile dieser Methodik sind vor allem die lange Extraktionszeit, d.h. es werden bis zu mehrere Stunden für eine Analyse benötigt, die Verwendung von Lösungsmitteln zur Extraktion, die mehr oder weniger giftig sein können, und der benötigte Probenumfang, der bis zu mehreren Gramm betragen kann. Vorteile dieses Verfahrens sind aber nach wie vor die geringen Anschaffungskosten im Vergleich zu neueren Analysegeräten und die weite Verbreitung und Akzeptanz bei den Experimentatoren.

Es wurden jedoch auch Methoden entwickelt, die auf diesem Soxhlet-Verfahren aufbauen und sich vor allem durch die Reduzierung der Extraktionszeiten auszeichnen.

**Matthäus und Brühl (1999)** berichteten über eine neue Methode zur Bestimmung des Ölgehaltes mit Hilfe eines neuen Feststoff-Wirbelstrom-Extraktionsverfahren. Dabei kann die Extraktionszeit auf 110 min herabgesetzt werden. Eine weitere Methode zur Ölextraktion, die auf der Anwendung von Mikrowellen beruht, wurde von **Matthäus und Brühl (2000)** vorgestellt. Die Mikrowellen werden dabei zum Aufheizen des Lösungsmittels eingesetzt. Beim Einsatz und Vergleich dieser beiden Verfahren mit der Standardmethode konnten sehr gute Übereinstimmungen bei der Bestimmung des Ölgehaltes erzielt werden.

Bei einer weiteren Methode zur Bestimmung des Ölgehaltes wird die Supercritical Fluid Extraction (SFE) verwendet (**Berg et al., 1997**). Mit dieser SFE-Methode steht eine alternative und schnelle Methode zur Bestimmung des Ölgehaltes zur Verfügung (**Birkelbach und Müller, 2001**). Sie zeichnet sich durch eine einfache und saubere Handhabung und vor allem Geschwindigkeit und Umweltverträglichkeit aus. Verglichen mit den Ölgehalten, die z.B. mit der Soxhlet-Methode ermittelt werden,

ergibt sich auch hier eine gute bis sehr gute Übereinstimmung, wobei mit diesem Verfahren die Extraktionszeiten lediglich zwischen 15-25 min. liegen.

Wie bereits ausgeführt, ist in der Bundesrepublik Deutschland neben der Faserhanfnutzung auch eine gemeinsame Nutzung von Fasern und Öl denkbar (**Nova, 1997**). Zur Zeit sind aber nur Faserhanfsorten verfügbar, die nicht auf einen hohen Samenertrag gezüchtet wurden. Das Ziel muss darin bestehen, frühreife Ölhanfsorten zu züchten, die auch unter mitteleuropäischen Klimaverhältnissen sicher zur Samenreife kommen. Daraus ergibt sich die Anforderung, gegenwärtig verfügbare Hanfvarietäten umfassend zu evaluieren, um, aufbauend auf den erhaltenen Ergebnissen, entsprechende Zuchtziele verfolgen bzw. realisieren zu können.

Deshalb wurde in einem ersten Schritt damit begonnen, den Ölgehalt ausgewählter Hanfformen zu analysieren. Untersuchungen zur Bestimmung des Ölgehaltes in Hanfsamen wurden mit Hilfe der Soxhlet-Methodik durchgeführt. Eine andere Analysenmethode stand für diese Untersuchungen nicht zur Verfügung, so dass diese zeitaufwendige Methode verwendet werden musste, d.h. die Extraktion wurde mit 10 g Pflanzenmaterial und 100 ml Lösungsmittel (Chloroform) in 6 h durchgeführt. In diese Untersuchung wurden 4 Genbankabstammungen aus Gatersleben (CAN 16, 17 und 22 – diözisch, CAN 19 – subdiözisch) und 3 Faserhanfsorten (,Fasamo', ,Felina 34' – monözisch, ,Kompolti' – diözisch) einbezogen. Bei dem einjährigen Vergleich der Ölgehalte der beiden Hanfsorten ,Fasamo' (frühreifend) mit ,Kompolti' (spätreifend) konnte mit 34,32 % ein geringfügig höherer Ölgehalt für die später reifende Sorte ermittelt werden. Der Ölgehalt der mittelfrühen Sorte ,Felina 34' von 19,28 % wich stark von den anderen beiden Sorten ab. In den Untersuchungen von **Kerschbaum und Schweigert (1999)** und **Mediavilla et al. (1999)** war im Gegensatz dazu der Ölgehalt von ,Felina 34' immer etwas höher als der von ,Fasamo'. Die Hanfsamen von ,Kompolti' und ,Fasamo' für die Ölgehaltsbestimmung wurden von den Pflanzen geerntet, die 1997 parallel für die molekulargenetische Untersuchung verwendet wurden. Der Ölgehalt von ,Felina 34' (und der der Genbankabstammungen) wurde an Samen des Anbaujahres 1996 ermittelt. So ist der oben genannte Gegensatz möglicherweise auf einen Jahreseffekt zurückzuführen.

Mehrere Faktoren können Einfluss auf die Ausprägung von Ölgehalt und Ölertrag nehmen. In Abhängigkeit von der Reifegruppe muss der optimale Erntezeitpunkt für jede Hanfform bestimmt werden und liegt zwischen Blüte und Samenreife (**Meier und**



**Mediavilla, 1998**). In feuchtkühlen Sommern verlängert sich die vegetative Wachstumsphase, und die Blütenbildung setzt verspätet ein, was sich negativ auf die Ertrags- und Inhaltsstoffausbildung auswirkt (**Höppner und Menge-Hartmann, 1994**). **Przytyk (1999)** beschrieb einen unterschiedlichen Ölgehalt der Ölhanfsorte ‚FIN-314‘ in zwei Anbaujahren infolge von unterschiedlichen Witterungsbedingungen. Um solche Einflussfaktoren besser abschätzen zu können, müssen mehrjährige Versuchsergebnisse ausgewertet werden.

Neben den Hanfsamen wurden auch Hanfstängel in eine Analyse des Ölgehaltes einbezogen. Faserbegleitstoffe, zu denen auch Wachse und Öle gehören, können sich störend im Produktionsprozess bei Faserverbundwerkstoffen auswirken.

Mit der Aufhebung des Hanfanbauverbotes in Deutschland 1996 wurden zahlreiche Anstrengungen unternommen, Hanf als heimische und nachwachsende Rohstoffquelle in die Wirtschaftskreisläufe zu integrieren. Insbesondere die Verwendung der Bastfasern als natürlicher Industrierohstoff in technischen und textilen Bereichen erscheint sinnvoll (**Hanf, 1997**). Allerdings liegen bei den Bastfaserpflanzen die Fasern als kompakte Faserbündel vor, was einen hohen Aufwand bei ihrer Isolierung aus dem Pflanzenstängel verursacht. Außerdem müssen die faserverkittenden Substanzen (Pektin und Lignin) aufgelöst bzw. abgebaut werden. Dadurch können die Stängelbestandteile – Faserbündel, Schäben und Faserbegleitsubstanzen – in einzelne Fraktionen zerlegt werden (**Müssig et al., 1998**). Nach **Vignon et al. (1995)** setzen sich die Bastfaserbündel beim Hanf wie folgt zusammen: 55 % Zellulose, 16 % Hemizellulose, 18 % Pektin, 4 % Lignin, 1 % Wachs und Fett, 2 % Protein und 4 % Asche, wobei die chemische Zusammensetzung in Abhängigkeit von der Sorte, des Reifegrades der Pflanzen und des Anbauortes variieren kann. Bei der Bestimmung des prozentualen Rohfettes im Hanfstängel mittels Weender-Analyse, wobei das Rohfett nach der Methode von Soxhlet untersucht wurde, kamen **Slansky et al. (1997)** zu einem ähnlichen Ergebnis hinsichtlich des Rohfettgehaltes.

Auf Grund verschiedener Merkmale (z.B. Dehnbarkeit, Reißfestigkeit, Elastizität) kann die Hanffaser bei der Herstellung von Verbundwerkstoffen eingesetzt werden (**Hanf, 1997**). Dabei ist die Optimierung der Parameter bei der Kunststoffverarbeitung wie Faserabbau, Benetzung durch den Kunststoff sowie Verbesserung der Faser/Matrix-Haftung von Bedeutung. Je größer und reiner die Faseroberflächen nach dem Aufschluss sind, um so bessere Eigenschaften der Faserverbundstoffe sind erzielbar

(**Kohler et al.**, 1997). Es konnte gezeigt werden, dass Verbundwerkstoffe mit Hanffasern 100 % der Steifigkeit von bislang verwendeten glasfaserverstärkten Kunststoffen erreichen. Einsatzgebiete solcher biologisch abbaubaren Verbundstoffe können tragende Verkleidungselemente im Automobil- und Waggonbau, provisorische Leitungssysteme zur Be- und Entwässerung sowie zur Belüftung von Deponien und Erzeugnisse für die Möbel- und Freizeitindustrie sein. Es konnte beobachtet werden, dass sogenannte Faserbegleitstoffe, zu denen auch Wachse und Öle gehören, den Produktionsprozess dieser Verbundwerkstoffe negativ beeinflussen können. Dieser Einfluss soll um so höher sein, je höher konzentriert diese Faserbegleitstoffe vorliegen. Deshalb können Angaben bzw. Untersuchungen zur Höhe dieser Faserbegleitstoffe von Bedeutung sein.

Erste Untersuchungen zur Bestimmung des Öls in Hanfstängeln wurden ebenfalls mit der Soxhlet-Methode durchgeführt. In diese Untersuchungen flossen aber lediglich eine subdiözische und zwei diözische Abstammungen der Genbank Gatersleben ein. Dabei konnte ein mittlerer Ölgehalt in den Hanfstängeln von 0,59 % ( von 0,50 bis 0,66 %) beobachtet werden. Damit wird der Anteil an Wachs und Öl von 1 % (**Vignon et al.**, 1995) nicht erreicht. Nach **Costard** (pers. Mitt.) ist davon auszugehen, dass sich beim Hanf dieser geringe Gehalt im Hanfstängel nicht negativ im Verarbeitungsprozess auswirkt. Es kann davon ausgegangen werden, dass dieser geringe Anteil dort durch Mikroben und/oder UV-Licht weiter reduziert wird.

## 6. Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war einerseits die Untersuchung der genetischen Diversität bei der diözischen ungarischen Hanfsorte ‚Kompolti‘ und der monözischen deutschen Hanfsorte ‚Fasamo‘ innerhalb der Sorte und zwischen den Sorten mittels Random Amplified Polymorphic DNAs (RAPDs) und andererseits die Etablierung der Fasergehaltsanalyse nach Bredemann sowie die Bestimmung und Auswertung der Fasergehalte von Hanfformen aus den Anbauversuchen in der Versuchsgärtnerei Hohenthurm. Zusätzlich sollten erste Erkenntnisse über den Ölgehalt von Hanffrüchten und Hanfstängeln gewonnen werden.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Die Diversität innerhalb und zwischen den beiden Sorten ‚Kompolti‘ und ‚Fasamo‘ wurde an 23 Pflanzen der diözischen Sorte ‚Kompolti‘ (sechs männliche und 17 weibliche Pflanzen) und an 25 Pflanzen der monözischen Sorte ‚Fasamo‘ untersucht. Dazu wurden 18 RAPD-Primer der Firma Operon benutzt. Die Auswertung erfolgte nach dem Similarity Index (SI) nach Sneath and Sokal.

Für die monözische Sorte ‚Fasamo‘ ergab sich mit  $SI = 96 \%$  eine sehr große Homogenität der untersuchten Pflanzen. Demgegenüber fällt ‚Kompolti‘ mit  $SI = 77 \%$  deutlich ab. Innerhalb von ‚Kompolti‘ zeigen die männlichen Pflanzen mit  $SI = 70 \%$  eine höhere Variabilität als die weiblichen Pflanzen mit  $SI = 79 \%$ . Alle gefundenen Marker sind jedoch nicht an das Geschlecht gekoppelt. Im Mittel ergab sich eine genetische Ähnlichkeit zwischen den Sorten von  $SI = 54 \%$ .

Bei den Merkmalen Pflanzenlänge und Pflanzendurchmesser zeigten sich ähnliche Ergebnisse. Auch hier zeigten die Pflanzen der Sorte ‚Kompolti‘ eine höhere Variation als die Pflanzen der Sorte ‚Fasamo‘.

Die Fasergehaltsbestimmungen wurden für die Anbauversuche der Jahre 1996, 1998 und 1999 durchgeführt. Die Methode der Faserbestimmung nach Bredemann konnte erfolgreich eingeführt werden und lieferte sehr gut reproduzierbare Ergebnisse. Im Jahr 1996 wurde für die diözischen Faserhanfsorten mit  $19,97 \%$  Fasergehalt ein um  $0,06 \%$  niedriger Faseranteil als für die monözischen Sorten bestimmt. Demgegenüber fallen

die unselektierten diözischen Hanfformen mit einem mittleren Fasergehalt von 11,13 % deutlich ab. 1998 lagen die monözischen Sorten mit 16,89 % Faseranteil knapp unter dem Fasergehalt der diözischen Sorten mit 17,62 %. Wesentlich niedriger war der Fasergehalt bei den unselektierten Herkünften, das Mittel lag hier bei 11,34 %.

Für 1999 lagen bei den Sorten die diözischen mit 23,55 % deutlich vor den monözischen Sorten mit 18,61 % Fasergehalt, während die monözischen Abstammungen mit 17,16 % deutlich vor den diözischen mit 9,87 % lagen.

Der Zusammenhang zwischen Stängeldurchmesser und Fasergehalt war uneinheitlicher. Während sich für die monözischen Pflanzen 1996 und 1999 eine negative Korrelation ergab, wurde 1998 eine positive Korrelation bestimmt. Die diözischen Pflanzen zeigten 1996 eine negative Korrelation zwischen Stängeldurchmesser und Fasergehalt bei beiden Geschlechtern. 1998 war das Ergebnis positiv, und 1999 war das Ergebnis zwischen männlichen und weiblichen Pflanzen sehr unterschiedlich, aber nicht sehr deutlich ausgeprägt.

Während in allen Jahren bei allen Hanfformen deutliche Genotypenunterschiede im Fasergehalt festgestellt wurden, bestand kein einheitlicher Zusammenhang zwischen Stängeldurchmesser und Fasergehalt. Bei den Hanfherkünften, die in zwei oder drei Versuchen standen, variierten die Differenzen, so dass in den verschiedenen Jahren jeweils andere Herkünfte am besten abschnitten.

Die Ölgehalte in den Hanffrüchten variierten von 9,40 % bei der Abstammung CAN 19 bis zu 34,32 % für die Sorte ‚Kompolti‘. Der Ölgehalt in den Stängeln lag im Mittel bei 0,59 %.

## 6. Summary

Hemp is a very old crop. However the cultivation was forbidden in Germany for many years. The crop became again of interest as a renewable resource since in 1996 the cropping of forms with less than 0,3 % tetrahydrocannabinol (THC) was legalized. In this study, three aspects were investigated. These are i. the determination of the diversity of two hemp cultivars, the dioecious cultivar 'Kompolti' and the monoecious cultivar 'Fasamo', ii. the quantification of the fibre content of different hemp accessions and varieties and iii. to get information about the oil content of seeds and stems of hemp.

The results can be summarized as follows:

The diversity in and in between the two hemp cultivars 'Kompolti' and 'Fasamo' was examined with RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA) markers on 23 single plants of the dioecious cultivar 'Kompolti' (six male and 17 female plants) and 25 plants of the monoecious cultivar 'Fasamo'. Eighteen RAPD primer (Operon, CA) were used. The estimation of the similarity index (SI) was done according to Sneath and Sokal.

The cultivars 'Fasamo' and 'Kompolti' displayed a homogeneity of SI = 96 % and SI = 77 %, respectively. For the male plants of the dioecious cultivar 'Kompolti' (SI = 70%) the heterogeneity was greater than for the female plants (SI = 79 %). No marker was coupled to sex. The genetic similarity between the cultivars was SI = 54%.

The plants of the cultivar 'Kompolti' also were more variable than the plants of cultivar 'Fasamo' for the traits plant length and stem diameter.

Fibre content was determined in the field trials from 1996, 1998 and 1999. The method of Bredemann could be adapted successfully and provided highly reproducible results. In 1996 the fibre content of the dioecious fibre cultivars was 19.97 % compared to 20.03 % fibre content for the monoecious cultivars. The unselected dioecious hemp accessions yielded an average fibre content of 11.13 %. In 1998 the average fibre content of the monoecious cultivars was slightly lower than the average fibre content of the dioecious cultivars (16.89 % versus 17.62 %). The average fibre content of the unselected dioecious cultivars was 11.34 %. In 1999 the average fibre content of the dioecious cultivars was with 23.55 % higher than the content of the monoecious hemp cultivars with 18.61 %. The monoecious accessions yielded clearly more fibre (17.16 %) than the dioecious accessions (9.87 %).

The correlation coefficients between stem diameter and fibre content were not uniform. Whereas in 1996 and 1999 a negative correlation was found for the monoecious plants a positive correlation was determined in 1998. Both sexes of the dioecious plants showed a negative correlation between stem diameter and fibre content in 1996, whereas in 1998 the correlation was positive. In 1999 the sexes showed different results.

The influence of genotypes on fibre content could be observed in all years examined, but there were no uniform correlations between stem diameter and fibre content. The ranking position (fibre content) of accessions, which were grown in two or three trials, varied between the years due to the varying differences in the trials.

Hemp seeds yielded an oil content of 9,42 % for accession CAN 19 up to 34,32 % for the cultivar 'Kompolti'. The average oil content of the stems was 0,59 %.

## 7. Literaturverzeichnis

- AOCS, 1980: Official and tentative methods of the American Oil Chemists Society, Vol. 1, AOCS Champaign IL, Method. Am., 2-93.
- Autorenkollektiv, 1957: Lehrbuch des Acker- und Pflanzenbaues für die Fachschulen der Landwirtschaft. Band 2, Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin.
- Backe, H., 1936: Der Hanfbau – seine wirtschaftliche Bedeutung. Anbau, Gewinnung und Verwertung. In: Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft 116, Parey Verlag Berlin.
- Bartholomäus, G., 1963: Züchtung und Großanbau von monözischem Hanf (*Cannabis sativa* L.) unter besonderer Berücksichtigung der Bestimmung und Variabilität der Geschlechtsausprägung. Dissertation, Hochschule Bernburg (Saale).
- Bazzaz, F. A., D. Dusek, D. E. Seigler, and A. W. Haney, 1975: Photosynthesis and cannabinoid content of temperate and tropical populations of *Cannabis sativa*. *Biochemical Systematics and Ecology* 3, 15-18.
- Berg, H., M. Magard, G. Johansson, and L. Mathiasson, 1997: Development of a supercritical fluid extraction method for determination of lipid classes and total fat in meats and its comparison with conventional methods. *J. Chromatography A* 785, 345-352.
- Bilcescu, O., 1965: Beiträge zur Bestimmung des Fasergehaltes bei Massenuntersuchungen von Hanf bei der Züchtung auf Fasergehalt. *Z. für Pflanzenzüchtg.* 54, 206-224.
- Birkelbach, M. und U. Müller, 2001: Gesamtfettbestimmung in Lebensmitteln mit der SFE-Methode. *LABO Mai* 2001, 14-19.
- Blatt für Sortenwesen, 1999: Amtsblatt des Bundessortenamtes 32, Heft 3, 81.
- BLE, 1997: Merkblatt zum Anbau von Nutzhanf und zur Gewährung einer Hanfbeihilfe im Wirtschaftsjahr 1996/97 (Anbau und Ernte 1996). Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Frankfurt.
- Bocsa, I., 1995: Die Hanfzüchtung in Ungarn; Zielsetzungen, Methoden und Ergebnisse. In: Tagungsband 1. Biorohstoff Hanf Symposium, Frankfurt/Main, 200-211.
- Bocsa, I. und M. Karus, 1997: Der Hanfanbau: Botanik, Sorten, Anbau und Ernte. 1. Auflage, C. F. Müller Verlag Heidelberg.
- Bouquet, J., 1938: Nouvelles contributions a l'etude de la Cannabis. 11. Mem. Arch.

- Inst. Pasteur Tunis 27, 368-443.
- Bredemann, G., 1922a: Die Bestimmung des Fasergehaltes in Bastfaserpflanzen bei züchterischen Untersuchungen. *Faserforschung* 2, 239-259.
- Bredemann, G., 1922b: Über Faserausbeutebestimmungen bei Hanfzüchtung. *Angew. Botanik* 4, 223-233.
- Bredemann, G., 1924: Beiträge zur Hanfzüchtung: Auslese faserreicher Männchen zur Befruchtung durch Faserbestimmung an der lebenden Pflanze vor der Blüte. *Angew. Botanik* 6, 348-360.
- Bredemann, G., 1927: Beiträge zur Hanfzüchtung. III. Weitere Versuche zur Züchtung auf Fasergehalt. *Z. Pflanzenzüchtg.* 12, 259-268.
- Bredemann, G., 1940: Fasergehalt und Faseausbeute beim Hanf in verschiedener Stengelhöhe. *Forschungsdienst* 10, 57-67.
- Bredemann, G., 1942a: Die Bestimmung des Fasergehaltes bei Massenuntersuchungen von Hanf, Flachs, Fasernesseln und anderen Bastfaserpflanzen. *Faserforschung* 16, 14-39.
- Bredemann, G., 1942b: Züchtung auf Fasergehalt bei Hanf (*Cannabis sativa* L.). *Der Züchter* 14, 201-213.
- Bredemann, G., 1952: Weitere Beobachtungen bei Züchtung des Hanfes auf Fasergehalt. *Der Züchter* 22, 257-269.
- Bredemann, G., 1953: Verdreifachung des Fasergehaltes bei Hanf (*Cannabis sativa* L.) durch fortgesetzte Männchen- und Weibchen-Auslese. *Materiae veget.* (Den Haag) 1, 167-182.
- Bredemann, G., K. Garber, W. Huhnke, und R. von Sengbusch, 1961: Die Züchtung von monözischen und diözischen, faserertragsreichen Hanfsorten Fibrimon und Fibridia. *Z. Pflanzenzüchtg.* 46, 235-245.
- Breitfeld, R., 1995: Rohstoff Hanf, Anbau der Kulturpflanze Hanf (*Cannabis sativa* L.) – Aktueller Kenntnisstand. Herausgeber Hanfgesellschaft e.V.
- Brenman, 1971: New sugar packaging materials. *Sakharnaya Promyshlennost* 45.
- Breslavetz, L., 1932: Polyploide Mitosen bei *Cannabis sativa* L. II. *Planta* 17, 644-649.
- Brodersen, C. und K. Drescher, 1996: Entwicklung eines geografischen Informationssystems (GIS) zur Standortanalyse und Eignung und Wettbewerbskraft von Standorten aus landwirtschaftlicher Sicht. Untergutachten zur wissenschaftlichen Untersuchung „Anbau, Aufbereitung sowie Verwendung von Hanf“ Kiel.



- Cappelletto, P., M. Brizzi, F. Mongardini, B. Barberi, M. Sannibale, G. Nenci, M. Poli, G. Corsi, G. Grassi, and P. Pasini, 2001: Italy-grown hemp: yield, composition and cannabinoid content. *Industrial Crops and Products* 13, 101-113.
- Chailakhyan, M. K.H., 1979: Genetic and hormonal regulation of growth, flowering and sex expression in plants. *Amer. J. Bot.* 66, 717-736.
- Crescini, F., 1940: Formen von Hanf (*Cannabis sativa* L.). *Der Züchter* 12, 105-115.
- Dambroth, M., 1993: Deutsches Betäubungsmittelgesetz (Fassung vom Juli). *Hannoversche Land- und Forstwirtschaftszeitung* 47, 27. 11. 93.
- de Faubert Maunder, M. J., 1976: The forensic significance of the age and origin of *Cannabis*. *Med. Sci. Law* 16, 38-89.
- de Meijer, E. P. M., 1994a: Diversity in *Cannabis*. Thesis, Wageningen.
- de Meijer, E. P. M., 1994b: Variation of *Cannabis* with reference to stem quality for paper pulp production. *Industrial Crops and Products* 3, 201-211.
- de Meijer, E. P. M., 1995 : Diversity in *Cannabis*. In: Tagungsband 1. Biorohstoff Hanf Symposium, Frankfurt/Main, 143-151.
- de Meijer, E. P. M., and L. J. M. van Soest, 1992: The CPRO *Cannabis* germplasm collection. *Euphytica* 62, 201-211.
- de Meijer, E. P. M., H. J. van der Kamp, and F. A. van Eeuwijk, 1992: Characterisation of *Cannabis* accessions with regard to cannabinoid content in relation to other plant characters. *Euphytica* 62, 187-200.
- Döring, H. U., 1997: Die Hanffaser als Matrix in Kunststoffen – Stand der industriellen Anwendung. In: Tagungsband 2. Biorohstoff Hanf Symposium, Frankfurt/Main, 389-401.
- du Bois, W. F., 1982 : Hennep als grondstof voor de nedelandse Papierindustrie (een projectvoorstel). Interner Bericht IBVL Wageningen, 416.
- Faeti, V., G. Mandolino, and P. Ranalli, 1996: Genetic diversity of *Cannabis sativa* germplasm based on RAPD markers. *Plant Breeding* 115, 367-370.
- FAO, 1957: Yearbook of Food and Agriculture Statistics.
- FAO, 1991: Yearbook of Food and Agriculture Statistics.
- Fetterman, P. S., E. S. Keith, C. W. Waller, O. Guerreru, N. J. Doorenbos, and M.W. Quimby, 1971: Mississippi-grown *Cannabis sativa* L.: Preliminary observation on chemical definition of phenotype and variations in tetrahydrocannabinol content versus age, sex, and plant part. *J. Pharmaceutical Sciences* 60, 1246-1249.
- Fischbeck, G., K.-U. Heyland und N. Knauer, 1982: Spezieller Pflanzenbau, 2.

- Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Flachowsky, H., E. Schumann, W. E. Weber und A. Peil, 2001: Application of AFLP for the detection of sex-specific markers in hemp. *Plant Breeding* 120, 305-309.
- Fournier, G., 1978: Toxic effects of the essential oil of *Cannabis sativa* L. and its main constituents on planaria (*Dugesia tigrina*). *Toxicol. Eur. Res.* 1.
- Fournier, G., and M. R. Paris, 1979 : Le chanvre Papetier (*Cannabis sativa* L.) cultivate en France : Le point sur les constituants. *Plant Med. Phytother.* 13, 116-121.
- Frank, W., 1996: Hanf & Co.: die Renaissance der heimischen Faserpflanzen. Hrsg.: Katalyse - Institut für angewandte Umweltforschung – Göttingen, Verlag Die Werkstatt.
- Franke, W., 1981: Nutzpflanzenkunde, Georg-Thieme-Verlag, Stuttgart-New York.
- Franke, W., 1992: Nutzpflanzenkunde; 4. Auflage, Thieme Verlag Stuttgart.
- Gebhardt, C., C. Blomendahl, U. Schachtschabel, T. Debener, F. Salamini, and E. Ritter, 1989: Identification of 2n breeding lines and 4n varieties of potato (*Solanum tuberosum* ssp. *tuberosum*) with RFLP-fingerprints. *Theor. Appl. Genet.* 78, 16-22.
- Greenpeace, 1991: Greenpeace Spezial, Papier, Hamburg (Selbstverlag).
- Grinspoon, B., 1994: Marihuana - die verbotene Medizin; Verlag Zweitausendeins, Frankfurt/Main.
- Grotenhermen, F., M. Karus und D. Lohmeyer, 1998: THC-limits for food: A scientific study. *J. Intern. Hemp Association* 5, 101-105.
- Gsell, C., 1993: Schweizer Bauer, Nr. 101, 29.12.93.
- Hai, H. und R. Rippchen, 1994: Das Hanf-Handbuch. Der grüne Zweig 173, Werner Piepers Medienexperimenten, Löhrbach.
- Hanf, C.-H., 1996: Hanf. Teil 1: Wissenschaftliche Untersuchung zum Thema „Anbau, Ernte und Aufbereitung sowie Verwendung von Hanf“. Landwirtschaftsverlag Münster.
- Hanf, C.-H., 1997: Hanf. Teil 2: Wissenschaftliche Untersuchung zum Thema „Anbau, Ernte und Aufbereitung sowie Verwendung von Hanf“. Landwirtschaftsverlag Münster.
- Hanfhausmagazin, 1995: Das Hanf-Abc. Hanf-Spezial, die Tageszeitung, 23.
- Herer, J., 1994: Die Wiederentdeckung der Nutzpflanze Hanf Cannabis Marihuana. Mit einer Kurzstudie vom Katalyse-Institut für angewandte Umweltforschung e. V. Herausgegeben von M. BRÖCKERS, Zweitausendeins, Frankfurt/Main.

- Hesch, R., A. Meyer, F. Beckmann und K. Hesch, 1996: Hanf – Perspektiven für eine Ökologische Zukunft – eine realistische Betrachtung. Taoasis Lemgo.
- Heuser, O. 1924: Der deutsche Hanf. Verlag Hirzel, Leipzig.
- Heuser, O., 1927: Hanf- und Hartfasern. In: Technologie der Textilfasern, Band 5 (Teil 2), Axel Springer-Verlag, Berlin.
- Hirata, K., 1929: Sex determination in hemp *Cannabis sativa* L. J. Genet. 19, 65- 69.
- Hitzemann, W., 1941: Untersuchungen auf „Haschisch“ bei verschiedenen Hanfsorten eigenen Anbaus in Deutschland. Arch. Pharmazie 279, 353-387.
- Hoffmann, W., 1938: Das Geschlechtsproblem des Hanfes in der Züchtung. Z. Pflanzenzüchtg. 22, 453-461.
- Hoffmann, W., 1944: Hanf, *Cannabis sativa* L. In: Roemer, Th. und W. Rudolf: Handbuch für Pflanzenzüchtung, Band IV, Paul Parey Verlag, Berlin-Hamburg.
- Hoffmann, W., 1947: Die Vererbung der Geschlechtsformen des Hanfes (*Cannabis sativa* L.) I. Der Züchter 17/18, 257-277.
- Hoffmann, W., 1957: Flachs- und Hanfbau. Deutscher Bauernverlag, Berlin (Ost).
- Hoffmann, W., 1961: Hanf, *Cannabis sativa* L. In: Th. Roemer und W. Rudolf, Handbuch der Pflanzenzüchtung, 2. Auflage, Band V, Züchtung der Sonderkulturen, Paul Parey Verlag, Berlin /Hamburg, 204-264.
- Hoffmann, W., A. Mudra, und W. Plarre, 1970: Lehrbuch der Züchtung Landwirtschaftlicher Kulturpflanzen, Band 2, Spezieller Teil, Paul Parey Verlag, Berlin/Hamburg, 415- 430.
- Hoffmann, W., A. Mudra und W. Plarre, 1985: Lehrbuch der Züchtung Landwirtschaftlicher Kulturpflanzen, Band 2, Spezieller Teil, Paul Parey Verlag, Berlin/Hamburg, 344 – 349.
- Höppner, F., 1995: Zur Situation der Agrarpflanze Hanf in Deutschland. In: Tagungsband 1. Biorohstoff Hanf Symposium, Frankfurt/Main, 229.
- Höppner, F., 1997: Einfluß von Saatchichte und Reihenweite auf die Korn- und Ölertragsleistung von Faserhanf (*Cannabis sativa* L.). In: Tagungsband 2. Biorohstoff Hanf Symposium, Frankfurt/Main, 220-224.
- Höppner, F. und U. Menge-Hartmann, 1994: Anbauversuche zur Stickstoffdüngung und Bestandesdichte von Faserhanf. Landbauforschung Völkenrode 44, 314-324.
- Höppner, F. und U. Menge-Hartmann, 1996: Organspezifische Entwicklung der p-9-Tetrahydrocannabinol (THC)- und Cannabidiol (CBD)-Konzentration während der Vegetationsperiode zweier Faserhanfsorten. Landbauforschung Völkenrode 2, 55-

64.

- Huhnke, W., Ch. Jordan, H. Neuer und R. von Sengbusch, 1951: Grundlagen für die Züchtung eines monözischen Hanfes. *Z. Pflanzenzüchtg.* 29, 55-75.
- Huisman, W., E. de Maeyer, and L. Frerichs, 1995: Harvest and storage of hemp. In: Tagungsband 1. Biorohstoff Hanf Symposium, Frankfurt/Main, 268-277.
- Jagdish, V., J. Robertson und A. Gibbs, 1996: RAPD analysis distinguishes *Cannabis sativa* samples from different sources. *Forensic Science International* 79, 113-121.
- Karus, M., 1995: Hanf - Ökorohstoff mit Zukunft? Hanf in Deutschland – Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft. In: Tagungsband 1. Biorohstoff Hanf Symposium, Frankfurt/Main, 117-137.
- Katalyse, 1990: Chemie in Lebensmitteln, Zweitausendeins, Frankfurt/Main.
- Katalyse, 1994: Missbrauchspotential THC- armer Faserhanfsorten als Rauschdroge. Köln (Selbstverlag).
- Keller, A., 1997: Einflussfaktoren auf die mechanischen Eigenschaften von Hanffasern. In: Tagungsband 2. Biorohstoff Hanf Symposium, Frankfurt/Main, 324-329.
- Kemmoku, A., 1992: Effect of *Cannabis sativa* L. seed oil on the serum cholesterol level in the rats fed on high cholesterol diet. In: Utsunomiya Daigaku Kyoikugakubu Kiyō 42.
- Kent-Jones, D. W. und H. J. Amos, 1957: Modern Cereal Chemistry, 5. Auflage, The Northern Publishing Co., Liverpool.
- Kerschbaum, S. und P. Schweiger, 1999: Gehalt an Fettsäuren in den Körnern von Hanf, Raps, und Sonnenblumen. Infodienst Landwirtschaft Baden-Württemberg: [www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/la/lap/pflqual/nahrung/haraso.htm](http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/la/lap/pflqual/nahrung/haraso.htm)
- Köhler, R., M. Wedler und P. Barthold, 1997: Technische Anwendungen von Hanffasern -Voraussetzungen und Ziele -. In: Tagungsband 2. Biorohstoff Hanf Symposium, Frankfurt/Main, 348-358.
- Köhler, D., 1958: Die Entwicklung von *Cannabis sativa* unter dem Einfluss verschiedener Tageslängen. *Physiol. Plantarum* Kopenhagen 11, 249-259.
- Köhler, D., 1961: Ein Beitrag zur Physiologie und Genetik der Geschlechtsausprägung von *Cannabis sativa*. *Planta* 56, 150-173.
- Körper-Grohne, U., 1987: Nutzpflanzen in Deutschland - Kulturgeschichte und Biologie. Konrad Theiß-Verlag, Stuttgart.
- Lisson, S. N., and N. J. Mendham, 1995: Tasmanian hemp research. *J. Intern. Hemp Association* 2, 82-85.

- Loch, L., 1995: Erfahrungen bei der Züchtung eines einhäusigen Hanfes. In: Tagungsband 1. Biorohstoff Hanf Symposium, Frankfurt/Main, 170 – 187.
- Loch, L., 1996: Hanf – ein alter und neuer nachwachsender Rohstoff in Deutschland. Norddeutsche Pflanzenzucht Hans-Georg Lembke KG Hohenlieth.
- Loch, L., 1997: Einige Schlussfolgerungen für die Hanfzüchtung unter Berücksichtigung der Vererbung des Geschlechts. In: Tagungsband 2. Biorohstoff Hanf Symposium, Frankfurt/Main, 174-190.
- Low, I., 1995: UK hemp production. In: Tagungsband 1. Biorohstoff Hanf Symposium, Frankfurt/Main, 106-108.
- Mackay, E. L., 1939: Sex chromosomes of *Cannabis sativa*. *Americ. J. Bot.* 26, 707-708.
- Mahlberg, P. G., C. T. Hammond, J. C. Turner, and J. K. Hemphill, 1984: Structure, development and composition of glandular trichomes of *Cannabis sativa* L. – In: E. Rodriguez, P. L. Healey, and I. Mehta (eds.): *Biology and Chemistry of Plant Trichomes*. Plenum Press, New York/London.
- Malingre, Th., H. Hendriks, S. Batterman, R. Bos, and J. Visser, 1975: The essential oil of *Cannabis sativa*. *Planta medica* 28, 56-61.
- Mandolino, G., A. Carboni, S. Forapani, V. Faeti, and P. Ranalli, 1999: Identification of DNA markers linked to the male sex in dioecious hemp (*Cannabis sativa* L.). *Theor. Appl. Genet.* 98, 86-92.
- Mann, S., 1998: *Nachwachsende Rohstoffe*. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- Mansfeld R., 1986: *Verzeichnis landwirtschaftlicher und gärtnerischer Kulturpflanzen (ohne Zierpflanzen)*. 2 Aufl., Axel Springer Verlag, Berlin.
- Mathieu, C., 1980: *Techniques agricoles* 2130.
- Mathieu, J. P. and G. Fournier, 1995: *La selection du chanvre en France*. – EWIV – Eurolein-Kongress (Moers 7.2.1995).
- Matthäus, B. und L. Brühl, 1999: Vergleich eines neuen Feststoff-Wirbelstrom-Extraktionsverfahrens mit der DGF-Standardmethode B-1 5 (87) zur Bestimmung des Ölgehaltes von Ölsaaten. *GIT Labor- und Fachzeitschrift* 2, 151-155.
- Matthäus, B. und L. Brühl, 2000: Bestimmung des Ölgehaltes von Ölsaaten mit Mikrowellen. *GIT Labor-Fachzeitschrift* 5, 592-595.
- Mediavilla, V., E. Spiess, B. Zücher, P. Bassetti, M. Konemann, J. Spahr, S. Christen, E. Mosimann und P. Aeby, 1997: Erfahrungen aus dem Hanfanbau 1996. In: Tagungsband 1. Biorohstoff Hanf Symposium, Frankfurt/Main, 253-262.
- Mediavilla, V., P. Bassetti, M. Leupin, and E. Mosimann, 1999: *Agronomic*

- characteristics of some hemp genotypes. J. Intern. Hemp Association 6, 45-53.
- Meier, C., and V. Mediavilla, 1998: Factors influencing the yield and the quality of hemp (*Cannabis sativa* L.) essential oil. J. Intern. Hemp Association 5, 16-20.
- Menge-Hartmann, U. und F. Höppner, 1995: Untersuchungen zur Faserquantität und – Qualität zweier Faserhanfsorten. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 8, 165-168.
- M'Ribu, H. K. and K. W. Hilu, 1996: Application of random amplified polymorphic DNA to study genetic diversity in *Paspalum scrobiculatum* L. (Kodo millet, *Poaceae*). Genet. Res. Crop. Evol. 43, 203-210.
- Münzing, K., H. Zwingelberg und C. Weßler, 1999: Untersuchungen zur Aufarbeitung von Speisehanfsamen. Getreide, Brot und Mehl 53, 180-186.
- Müssig, J., R. Martens und H. Harig, 1998: Hanffasern als textiler Rohstoff für technische Produkte – Faserqualität durch Anbau, Ernte und Aufschluß. In: Ökonomischer Gewinn aus ökologischer Optimierung. Aachener Textiltagung 1997, 231-246.
- Murari, G., S. Lombardi, A. M. Puccini and R. de Sanctis, 1983a: Observation on botanical, chemical and pharmacological definition of phenotype in seven cultivars of *Cannabis sativa* L. Fitoterapia 54, 237-240.
- Murari, G., S. Lombardi, A. M. Puccini and R. de Sanctis, 1983b: Influence of environmental conditions on Tetrahydrocannabinol ( $\rho$ -9-THC) in different cultivars of *Cannabis sativa* L. Fitoterapia 54, 195-202.
- Nassonov, 1940: Anatomische Merkmale der geographischen Rassen des Hanfes. Soviet Plant Industry Record 4, 107-120.
- Neuer, H. und R. von Sengbusch, 1943: Die Geschlechtsvererbung bei Hanf und die Züchtung eines monözischen Hanfes. Der Züchter 15, 49-62.
- Neuer, H., E. Prieger und R. von Sengbusch, 1946: Hanfzüchtung. I. Die Steigerung des Faserertrages von Hanf. Der Züchter 17/18, 33-39.
- Nishina, Y., Y. Sinoto, and D. Sato, 1940: Effects of fast neutrons upon plants. 3. cytological observations on the abnormal forms of *Fagopyrum* and *Cannabis*. Cytology (Tokyo) 10, 458-466.
- Nishiyama, I., 1940: Studien über künstlich erzeugte polyploide Pflanzen. III. Meiosis in tetraploidem Hanf. (japanisch), Bot. and Zool. 8, 47-52.
- Nishiyama, I., 1941: Studien über künstlich erzeugte polyploide Pflanzen. V. Die Züchtung von langfasrigen Sorten durch Verdopplung der Chromosomenzahl bei

- Hanf. (japanisch), Bot. and Zool. 9, 173-179.
- Nishiyama, I., I. Yamada, and M. Mezaki, 1947: Studien über künstlich erzeugte polyploide Pflanzen. XI. Wechsel im Geschlechtsverhältnis in einer Nachkommenschaft von tetraploiden Hanf. (japanisch), Seihen Ziho 3, 144-151.
- Nova, 1997: Hanf in Deutschland – 1997, das zweiter Jahr: Umsetzung und Perspektiven & Das Hanfproduktlinienprojekt (HPLP): Zusammenfassung und Ausblick. 2. Aufl., nova-Institut, Hürth.
- Nova, 2000: Statistiken und Grafiken. Das Internet-Dienstleistungszentrum für die Naturfaserwirtschaft und nachwachsende Rohstoffe. [www.nova-institut.de](http://www.nova-institut.de)
- Oetker, 1983: Lexikon Lebensmittel und Ernährung. Ceres Verlag, Bielefeld.
- Pate, D. W., 1994: Chemical ecology of *Cannabis*. J. Intern. Hemp Association 1, 32-37.
- Peil, A., V. Schubert, E. Schumann und W. E. Weber, 1997: RAPDs as molecular markers for the detection of *Aegilops markgrafii* chromatin in hexaploid wheat addition and euploid introgression lines. Theor. Appl. Genet. 94, 934-940.
- Peil, A., E. Schumann, H. Flachowsky, U. Kriese, M. El-Ghany, M. Riedel und W. E. Weber, 2000: Hanf als wiederentdecktes Forschungsobjekt der Pflanzenzüchtung. 3. Int. Symposium Biorohstoff Hanf & andere Faserpflanzen. 13.-16.09.2000, Wolfsburg, [www.nova-institut.de/biorohstoff-hanf/programm.htm](http://www.nova-institut.de/biorohstoff-hanf/programm.htm)
- Petri, G., Oroszlan, P., and L. Fridalszky, 1988: Histochemical detection of hemp trichomes and their correlation with the THC content. Acta Biologica Hungarica 39, 59-74.
- Plaschke, J., M. W. Ganai, and M. S. Röder, 1995: Detection of genetic diversity in closely related bread wheat using microsatellite markers. Theor. Appl. Genet. 91, 1001-1007.
- Postma, W. P., 1946: Mitosis, meiosis en alloplloidie bij *Cannabis sativa* en *Spinacia oleracea*. H. D. Tjenk, Willink & Co., Amsterdam.
- Przytyk, S., 1999: 'FIN-314' in Canada. J. Intern. Hemp Association 6, 22-24.
- Rätsch, C., 1992: Hanf als Heilmittel. Verlag der Grüne Zweig, Löhrbach.
- Raie, M. Y., M. Ahmad, M. Ashraf, and S.Hussain, 1995: Studies of *Cannabis sativa* and *Sorghum bicolor* oils. Fat Sci. Technol. 97, 428-429.
- Ramser, J., C. Lopez-Peralta, R. Wetzel, K. Weising, and G. Kahl, 1996: Genomic variation and relationships in aerial yam (*Dioscorea bulbifera* L.) detected by random amplified polymorphic DNA. Genome 39, 17-25.

- Rausch, P., 1995: Verwendung von Hanfsamenöl in der Kosmetik. In: Tagungsband 1. Biorohstoff Hanf Symposium, Frankfurt/Main, 556-561.
- Rehder, K., 1995: Hanf als nachwachsender Rohstoff in der Europäischen Union. In: Tagungsband 1. Biorohstoff Hanf Symposium, Frankfurt/Main, 33-34.
- Reuter, K., 1987: Anbau und Verwendung von Hanf (*Cannabis sativa*) als Lieferant von Fasern, Samen und Rauschdrogen. Diplomarbeit, Rheinische-Friedrich-Wilhelm-Universität, Bonn.
- Rizet, G., 1946: Sexualite et polyploidie chez *Cannabis sativa*. C. r. Soc. Biol. Paris 140, 284-285.
- Rongwen, J., M. S. Akkaya, A. Bhagwat, U. Lavi, and P. B. Cregan, 1995: The use of microsatellite DNA markers for soybean genotype identification. Theor. Appl. Genet. 90, 43-48.
- Rottmann-Meyer, M. L., 1995: Versuchsvorstellung des diesjährigen Anbauversuchs der Landwirtschaftskammern zum Thema Faserhanf, 1. Nordrheinwestfälischer Hanftag im Haus Düsse, Bad Sassendorf. In: Hanf, C.-H., 1997: Hanf. Teil 2: Wissenschaftliche Untersuchung zum Thema „Anbau, Ernte und Aufbereitung sowie Verwendung von Hanf“. Landwirtschaftsverlag, Münster.
- Sakamoto, K., K. Shimomura, Y. Komeda, H. Kamada, and S. Satoh, 1995: A male-associated DNA sequence in a dioecious plant, *Cannabis sativa* L. Plant Cell Physiol. 36, 1549-1554.
- Sandermann, W., 1992: Papier, eine spannende Kulturgeschichte. Axel Springer Verlag, Berlin.
- Schönefeld, H., 1955: Bastfasern. Teil B: Hanf. Fachbuchverlag, Leipzig.
- Schumann, E. und W. E. Weber, 1997: Biorohstoff Hanf - I. Wiederentdeckung einer alten Kulturpflanze. Kühn-Archiv 91, 47-58.
- Schumann, E., A. Peil und W. E. Weber, 1999: Preliminary results of a German field trial with different hemp (*Cannabis sativa* L.) accessions. Genet. Res. Crop Evol. 46, 399-407.
- Schuster, W., 1986: Ölpflanzen in Europa. DLG-Verlag, Frankfurt am Main, 108-111.
- Schuster, W., 1992: Ölpflanzen in Europa, DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- Schwarze, P., 1937: Chemisch technologische Methoden für die Pflanzenzüchtung. Forschungsdienst 4, 447-455.
- Seefelder, S., H. Ehrmaier, G. Schweizer, and E. Seigner, 2000: Genetic diversity and phylogenetic relationships among accessions of hop, *Humulus lupulus*, as



- determined by amplified fragment length polymorphism fingerprinting compared with pedigree data. *Plant Breeding* 119, 257-263.
- Seidel, R., 1993: Der Ölpflanzenkatalog. Firmenschrift der Fa. Elsbett.
- Sinoto, Y., 1929: Chromosome studies in some dioecious plants, with special reference to the allosomes. *Cytologia* 1, 109-191.
- Sizov, J. A., 1937: Hanfzüchtung. In: Vavilov, X. J.: Handbuch der Pflanzenzüchtung, Leningrad, Band 3, 581-610.
- Slansky, I., M. Kuhn, H.-B. von Buttlar, 1997: Die Hanfpflanze als Tierfutter. In: Tagungsband 2. Biorohstoff Hanf Symposium, Frankfurt/Main, 527-538.
- Small, E., 1979: The species problem in *Cannabis* (science and semantics). Cropus-Verlag, Toronto.
- Small, E., and H. D. Beckstead, 1973: Common cannabinoid phenotypes in 350 stocks of *Cannabis*. *Lloydia* 36, 144-165.
- Sneath, P. H. A., and R. R. Sokal, 1973: Numerical taxonomy. The principles and practice of numerical classification. W. H. Freeman and Co., San Francisco.
- Starks, M., 1981: Marihuana Potenz. Volksverlag, Linden.
- Statistik der Reichsstelle für Textilwirtschaft, 1936-1943.
- Statistisches Jahrbuch der DDR: 1974, Berlin.
- Statistisches Jahrbuch für das Deutsche Reich: 1938.
- Steinegger, E. und R. Haensel., 1988: Lehrbuch der Pharmakognosie und Phytopharmazie. Axel Springer-Verlag, Heidelberg-New York.
- Stickland, D., 1995: Suitability of hemp for Ecological Agriculture. In: Tagungsband 1. Biorohstoff Hanf Symposium, Frankfurt/Main, 255-258.
- Takenaka, Y., 1951: Studies on sex-differentiation in higher plants. Jahresbericht Nat. Inst. der Genetik (Japan 1949-1950) 53, 32-33.
- Taylor, B. J., J. D. Neal, and T. A. Gough, 1985: The physical and chemical features of *Cannabis* plants grown in the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland from seeds of known origin. Part III: Third and fourth generation studies. *Bull. Narcotics* 37, 75-81.
- Tischler, G., 1953: Allgemeine Pflanzenkaryologie. In: Linsbauer, K.: Handbuch der Pflanzenanatomie. Band. 2, Gebr. Bornträger, Berlin.
- Turner, J. C., J. K. Hemphill, and P. G. Mahlberg, 1978: Cannabinoid composition and gland distribution in clones of *Cannabis sativa* L. (Cannabaceae). *Bull. Narcotics* 30, 55-65.

- Vaccino, P., M. Accerbi, and M. Corbellini, 1993: Cultivar identification in *T. aestivum* using highly polymorphic RFLP probes. *Theor. Appl. Genet.* 86, 833-836.
- van der Werf, H. M. G., 1994: Crop physiology of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). Thesis, Wageningen.
- van der Werf, H. M. G., W. C. A. van Geel, and M. Wijnhuizen, 1995: Agronomic research on hemp (*Cannabis sativa* L.) in the Netherlands, 1987-1993. In: Tagungsband 1. Biorohstoff Hanf Symposium, Frankfurt/Main, 247-254.
- Vignon, M. R., C. Garcia-Jaldon, and D. Dupeyre, 1995: Steam explosion of woody hemp chenevotte. *Int. J. Biol. Macromol.* 17, 395-404.
- von Buttlar, H.-B., F. Höppner, U. Menge-Hartmann, K. Scheffer und B. Mispelhorn, 1997: Europäische Hanfsorten im Standortvergleich zweier deutscher Anbauregionen. In: Tagungsband 2. Biorohstoff Hanf Symposium, Frankfurt/Main, 209-219.
- von Sengbusch, R., 1943: Die Geschlechtsvererbung bei Hanf und die Züchtung eines monözischen Hanfes. *Der Züchter* 15, 49- 62.
- von Sengbusch, R., 1952: Ein weiterer Beitrag zur Vererbung des Geschlechts bei Hanf als Grundlage für die Züchtung eines monözischen Hanfes. *Z. Pflanzenzüchtg.* 31, 319-338.
- Waskow, F., 1995: Hanf & Co.: die Renaissance der heimischen Faserpflanzen / Texte: Frank Waskow, Hrsg.: Katalyse-Institut für angewandte Umweltforschung, Verlag Die Werkstatt, Göttingen.
- Work, T. S., F. Bergel, and A. R. Todd, 1939: The active principles of *Cannabis indica* resin. *J. Biochemie* 33, 123-124.
- Yamada, I., 1943: Die Geschlechtschromosomen des Hanfes. *Seihen Zihō* 2, 64-68.
- Zhang, L.-H., P. Ozias-Akins, G. Kochert, S. Kresovich, R. Dean, and W. Hanna, 1999: Differentiation of bermudagrass (*Cynodon* spp.) genotypes by AFLP analyses. *Theor. Appl. Genet.* 98, 895-902.

## 8. Anhang

Varianzanalysen der Fasergehalte 1996 – 1999 in den Tabellen A1 – A8

A1: diözische männliche Hanfformen aus 1996

<b>Varianzursache</b>	<b>DF</b>	<b>SQ</b>	<b>MQ</b>	<b>F-Wert</b>	<b>P &gt; F</b>
Hanfform	21	2309,278	109,966	16,35	< 0,0001
Fehler	56	376,600	6,725		
Gesamt	77	2685,878			

A2: diözische weibliche Hanfformen aus 1996

<b>Varianzursache</b>	<b>DF</b>	<b>SQ</b>	<b>MQ</b>	<b>F-Wert</b>	<b>P &gt; F</b>
Hanfform	22	3687,644	167,620	36,84	< 0,0001
Fehler	111	505,112	4,551		
Gesamt	133	4192,756			

A3: monözische Hanfformen aus 1996

<b>Varianzursache</b>	<b>DF</b>	<b>SQ</b>	<b>MQ</b>	<b>F-Wert</b>	<b>P &gt; F</b>
Hanfform	13	821,306	63,177	8,93	< 0,0001
Fehler	82	579,966	7,073		
Gesamt	95	1401,272			

A4: diözische Hanfformen aus 1998

<b>Varianzursache</b>	<b>DF</b>	<b>SQ</b>	<b>MQ</b>	<b>F-Wert</b>	<b>P &gt; F</b>
Hanfform	14	1531,391	109,385	58,81	< 0,0001
Fehler	74	137,629	1,860		
Gesamt	88	1669,020			

Fortsetzung der Varianzanalysen der Fasergehalte 1996 – 1999 in den Tabellen A1 – A8

A5: monözische Hanfformen aus 1998

<b>Varianzursache</b>	<b>DF</b>	<b>SQ</b>	<b>MQ</b>	<b>F-Wert</b>	<b>P &gt; F</b>
Hanfform	8	465,002	58,125	19,02	< 0,0001
Fehler	42	128,357	3,056		
Gesamt	50	593,359			

A6: diözische männliche Hanfformen aus 1999

<b>Varianzursache</b>	<b>DF</b>	<b>SQ</b>	<b>MQ</b>	<b>F-Wert</b>	<b>P &gt; F</b>
Hanfform	12	3138,664	261,555	63,92	< 0,0001
Fehler	131	536,030	4,092		
Gesamt	143	3674,694			

A7: diözische weibliche männliche Hanfformen aus 1999

<b>Varianzursache</b>	<b>DF</b>	<b>SQ</b>	<b>MQ</b>	<b>F-Wert</b>	<b>P &gt; F</b>
Hanfform	16	1887,796	117,987	61,30	< 0,0001
Fehler	149	286,782	1,925		
Gesamt	165	2174,578			

A8: monözische Hanfformen aus 1999

<b>Varianzursache</b>	<b>DF</b>	<b>SQ</b>	<b>MQ</b>	<b>F-Wert</b>	<b>P &gt; F</b>
Hanfform	7	415,117	59,302	28,44	< 0,0001
Fehler	87	181,393	2,085		
Gesamt	94	596,510			

DF, Freiheitsgrade; SQ, Summe der Abweichungsquadrate; MQ, Mittelwert der Abweichungsquadrate; P > F, Signifikanzniveau

## **Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass mit dieser wissenschaftlichen Arbeit noch keine vergeblichen Promotionsversuche unternommen wurden.

Des Weiteren erkläre ich, dass keine Strafverfahren gegen mich anhängig sind.

Halle/Saale 2001

Mahmoud El-Ghany

## Lebenslauf

Name: Mahmoud Eid Abd El-Ghany Ahmede

Anschrift: Leitergasse 303, 06108 Halle/Saale  
Islamstr. 2, 13619 Ramada, Kalyoub-Kairo

Geburt: 16. August 1964 in Kalyoub-Kairo

Familienstand: verheiratet, zwei Kinder

Schulbildung: Kalyoub-Grundschule von 1970 - 1979  
Gymnasium von 1980 bis 1983, Abitur 1983

Studium: Bsc bis Juli 1987  
Fachbereich Landwirtschaftliche Biochemie, Landwirtschaftliche  
Fakultät der Ain-Shams-Universität, Kairo  
Msc bis August 1994  
Fachbereich Landwirtschaftliche Biochemie, Landwirtschaftliche  
Fakultät der Zagazig-Universität, Zagazig

Berufstätigkeit: wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Zagazig-Universität von  
1989 bis 1990 im Institut für Produkteffektivität  
wissenschaftlicher Assistent am gleichen Institut von 1994 bis  
1995

Wehrdienst: von 1988 – 1989

Deutschkurse: November 1995 bis Juli 1996 im Goethe-Institut Kairo, Ägypten  
Februar 1997 bis Juni 1997 im Goethe-Institut Iserlohn,  
Bundesrepublik Deutschland

Promotion: seit Juni 1997 Doktorand am Institut für Pflanzenzüchtung und  
Pflanzenschutz der Landwirtschaftlichen Fakultät der Martin-  
Luther-Universität Halle-Wittenberg

## **Danksagung**

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. W. E. Weber, Direktor des Institutes für Pflanzenzüchtung und Pflanzenschutz der Landwirtschaftlichen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, für die Bereitstellung des Themas, für die im Verlauf dieser Arbeit jeder Zeit gewährte Unterstützung und für anregende Diskussionsbeiträge.

Mein herzlicher Dank gilt auch Herrn Dr. A. Peil für die ständige Bereitschaft zur Beratung bei der RAPD-PCR-Versuchsdurchführung und –auswertung sowie bei der Anfertigung dieser Arbeit.

Ebenfalls recht herzlich bedanken möchte ich mich bei Frau Dr. E. Schumann für das zur Verfügung gestellte Pflanzenmaterial sowie für ihre Hilfsbereitschaft bei der Anfertigung und Unterstützung dieser Arbeit.

Darüber hinaus möchte ich mich sowohl bei Frau Dr. B. Leithold als auch bei den Doktoranden des Institutes, Frau U. Kriese, Herrn M. Riedel, Herrn H. Flachowsky, Herrn S. Bucks und Frau A. Schubert, bedanken, die durch aufmunternde Worte und vielfältige Unterstützung am Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Ferner gilt mein Dank den technischen Mitarbeitern im Labor Frau S. Herrmann und Frau B. Engel sowie den gärtnerischen Mitarbeitern in der Versuchsgärtnerei in Hohenthurm Frau E. Ganz, Frau G. Stryjakowski und Herrn P. Quaaßdorf für ihre tatkräftige Unterstützung bei der Betreuung aller Versuchspflanzen.

Mein besonderer Dank gilt auch der Sekretärin des Institutes Frau M. Fricke für ihre Hilfe, vor allem bei der geduldigen Korrektur dieser Arbeit.