

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 Versuchspartzellen. 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 Ölertrag 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.