

WESTFÄLISCHE WILHELMS-UNIVERSITÄT
MÜNSTER
Institut für Landschaftsökologie

Diplomarbeit

Hanf als Alternative zu konventionellen Dämmmaterialien:
Eine klimaökologische und ökonomische Betrachtung

vorgelegt von
Markus Küpker
(aus Brake Unterweser)

Erster Gutachter: Prof. Dr. Wilfrid Bach
Zweiter Gutachter: Prof. Dr. Julius Werner

Oktober 2000

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Verzeichnis der Abkürzungen	IV
1 Einleitung	1
1.1 Hanfnutzung	1
1.2 Klima	2
1.3 Aufgabenstellung und Vorgehensweise	4
2 Klimaökologische Betrachtung	5
2.1 Grundlagen des Treibhauseffekts	5
2.2 Landwirtschaftlicher Einfluß auf den anthropogenen Treibhauseffekt	8
2.2.1 Lachgas-Emissionen (N ₂ O)	8
2.2.2 Methan-Emissionen (CH ₄)	12
2.3 Globale und lokale Klimaschutzpolitik	13
3 Nachwachsende Rohstoffe	17
3.1 Definition	18
3.2 Anbau	20
3.3 Produkte	21
3.4 Umweltpolitische Bedeutung	22
3.4.1 Leitbild Nachhaltige Entwicklung	23
3.4.2 Förderungen und Ziele	25
3.4.3 Private und öffentliche Investitionen in D und EU	27
3.5 Bedeutung für die Landwirtschaft	28
3.6 Bedeutung für die Industrie	30
4 Pflanzenbauliche Grundlagen	32
4.1 Biologische Grundlagen	32
4.1.1 Systematik	32
4.1.2 Morphologie	33
4.2 Ökologische Eigenschaften	35
4.2.1 Vergleich mit anderen nachwachsenden Rohstoffen	37
4.3 Verwendung der Pflanzenteile	38
4.4 Fasertypen	39
4.4.1 Übersicht der Naturfasern	39
4.4.2 Morphologie und Verwendung des Stengels und Stengelfaser	41
4.4.3 Bestandteile der Faser	42
4.4.4 Verarbeitung der Fasern	43
4.5 Fasergehalt und -erträge	45
5 Landwirtschaftliche Bedeutung des Hanfanbaus	47
5.1 Hanfanbau	48
5.1.1 Betriebliche Voraussetzungen	51
5.1.2 Rechtliche Voraussetzungen	51
5.1.3 Anbauempfehlungen für Faserhanf 2000	53
5.2 Ökologischer Anbau	55
5.2.1 Konventionelle und ökologische Pflanzenproduktion	55

5.2.2	Pflanzenbauliche Möglichkeiten	56
5.3	Erntevorschriften und -mengen	59
5.4	Verarbeitung der Fasern	61
5.4.1	Faseraufschlußanlagen	63
5.4.2	Situation in Nordrhein-Westfalen	64
5.5	Vergleich mit Flachs	65
6	Ökonomische Betrachtung	68
6.1	Industrie und Produktlinien	69
6.2	Marktchancen und Absatzpotentiale der Produkte	70
6.3	Produktionskosten und Wirtschaftlichkeit des Anbaus und der Ernte	73
6.3.1	Rentabilität einer Faseraufschlußanlage	76
6.4	Marktpreise und Wettbewerbssituation	78
6.5	Marktentwicklungen	80
6.6	Dämmstoffe	82
6.6.1	Marktsituation und -anteile	83
6.6.2	Marktpotential	84
6.6.3	Kosten	85
6.6.4	Marktchancen für Hanf-Dämmstoffe	87
7	Unterschiede und Eigenschaften von Dämmstoffen	89
7.1	Technische Grundlagen und Anforderungen	90
7.2	Zulassungen und bauphysikalische Anforderungen	92
7.2.1	Einsetzbarkeit	95
7.3	Wärmedämmstoffe im Vergleich und Umweltverhalten	95
7.3.1	Primärenergieverbrauch	96
7.3.2	Entsorgung	98
7.3.3	Dämmstoffsubstitutionspotential	99
7.4	Bau- und Dämmstoffprodukte aus Hanf	99
7.4.1	Hanfschäben	99
7.4.2	Hanffasern	100
7.4.3	Ganzpflanze	101
7.5	Thermo-Hanf als Baustoff	101
7.5.1	Eigenschaften	102
7.5.2	Anwendungsgebiete	103
7.5.2	Ökonomische Ziele	104
8	Bilanzierung der Produktlinie Hanf-Dämmvliese	104
8.1	Ökobilanzierung	104
8.1.1	Sinn und Nutzen	106
8.1.2	Methoden	107
8.2	Umweltrelevante Kenngrößen von Dämmmaterialien (Sachbilanz)	108
8.2.1	Beschreibung der Lebenswege	108
8.2.2	Umweltwirkungskriterien	110
8.2.3	Bilanzierung	111
8.2.4	Darstellung der Ergebnisse	112
8.3	Ökologische Bewertung	116
8.4	Zahlengrundlage und CO ₂ -Bilanzierung für Münster	117
8.4.1	Voraussetzungen	117

9 Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse	120
Literaturverzeichnis	123

Tabellenverzeichnis

2.1	Konzentrationen, Verweilzeiten und GWP von Klimagasen	6
2.2	Entwicklung des Dämmstandards bei Neubauten	15
2.3	Mögliche CO ₂ -Reduktionen in Münster bis 2005	16
3.1	Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland 1985 - 1999 in ha	20
3.2	Ausgewählte einheimische Pflanzen zur industriellen Verwertung und deren Rohstoffe als Grundlage verschiedener Endprodukte	21
3.3	Verwertung nachwachsender Rohstoffe im chemisch-technischen Bereich einschl. Bio-Diesel in Deutschland	31
4.1	Botanische Klassifikation ausgewählter Faserpflanzen und Baumarten	33
4.2	Nettophotosynthese verschiedener C ₃ -Pflanzen	34
4.3	Eigenschaften und Ansprüche von Hanf	35
4.4	Ökologische Betrachtung von Cannabis sativa L.	36
4.5	Ökologische Beurteilung von nachwachsenden Rohstoffen auf Stilllegungsflächen	37
4.6	Sachbilanz (PE und Emissionen) für den Lebensabschnitt Anbau und Ernte für Hanf und Baumwolle (Bezugsgröße: 1 t Faser)	38
4.7	Morphologie des Hanfstengels	43
4.8	Sortenversuch Hanf – Mittelwerte der Jahre 1996 - 1998	46
5.1	Weltproduktion an Naturfasern 1998	47
5.2	Faserhanfanbauflächen in Deutschland und der EU (in ha)	48
5.3	Hanffaserproduktion in Deutschland und in der EU 1998 und 1999	49
5.4	Düngebedarf für die Produktion von Faserhanf	54
5.5	Unterschiede zwischen konventioneller und ökologischer Pflanzenproduktion	56
6.1	Wichtigste Einsatzgebiete von Hanf-Kurzfasern in der EU 1999	69
6.2	Marktchancen für Hanfproduktlinien	71
6.3	Vollkostenrechnung für die Hanfproduktion 1999 (Gesamtfaserlinie) in Deutschland	74
6.4	Mittelfristiges exemplarisches Betriebsergebnis einer Faseraufschlußanlage für vliesfähige Hanffasern	77
6.5	Marktpreise in Deutschland von Hanffasern und seinen Konkurrenten 1999 und 2000	78
6.6	Ergebnisse der nova-Umfrage unter deutschen Hanffaser-Produzenten	81
6.7	Marktanteile von Dämmstoffen unterschiedlicher Rohstoffbasis	83
6.8	Endkundenpreise für verschiedene Dämmvliese (netto)	87
7.1	Übersicht der gebräuchlichsten Dämmmaterialien mit Kennwerten und Eigenschaften	91
7.2	Ökologische und gesundheitsbezogene Kriterien von künstlichen und naturnahen sowie Dämmstoffen auf Hanfbasis	98
7.3	Dämmstoffdichte und Dämmstoffsubstitution pro ha von unterschiedlichen Produktlinien	99
7.4	Zulassungsergebnisse zur Prüfung von Thermo-Hanf des Dt. Inst. für Bautechnik (Zulassungsnummer Z-23-11-1192)	102
7.5	Verwendungsgebiete von Hanf-Dämmstoffprodukten	102
8.1	Auswahl der berücksichtigten Umwelt-Wirkungskategorien	110

8.2	Auswahl wichtiger Basisdaten und Annahmen bei der Bilanzierung der Hanflebenswege; Bezug: 1 ha	111
8.3	Sachbilanz (Energieeinsatz und Emissionen) des Lebensweges Dämmvlies aus Hanf, bezogen auf 1 t Hanffasern	112
8.4	Flächenbelegung landwirtschaftlicher Nutzflächen der betrachteten Substitute	113
8.5	Zusammenfassung zur Bewertung der untersuchten Wirkungskategorien	117
8.6	Grundlagen für die klimaökologische Hochrechnung Münsters	118

Abbildungsverzeichnis

2.1	Beispiel für den Kreislauf biologisch abbaubarer Materialien	7
3.1	Übersicht: Nachwachsende Rohstoffe	19
4.1	Verwertungsdiagramm Bastfaserpflanzen	39
4.2	Übersicht der Naturfasern	40
4.3	Längs- und Querschnitt durch den Hanfstengel	42
5.1	Schematische Darstellung der Hanfverarbeitung	61
5.2	Flachs- und Hanfanbau in Deutschland 1985 - 1999	68
6.1	Anteile am Markt für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen	84
6.2	Vergleich der Kosten unterschiedlicher Dämmstoffe bei 20 cm Dämm- dicke, in Dachschräge fertig eingebaut; von...bis in DM/m ² , netto	86
7.1	Flußdiagramm des eigenschaftsspezifischen Normenkontingents für faserige Dämmstoffprodukte	93
7.2	Primärenergieaufwand zur Herstellung von Dämmstoffen aus unter- schiedlichen Materialien	97
8.1	Lebenszyklus von Dämmmaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen	105
8.2	Produktionsbedingte CO ₂ -Emissionen synthetischer und mineralischer Dämmstoffe im Vergleich zu den CO ₂ -Reduktionen von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen	108
8.3	Schematische Darstellung der bilanzierten Hanf-Lebenswege samt Äquivalenzprodukten	109

Verzeichnis der Abkürzungen

a	Jahr
Abb.	Abbildung
Abs.	Absatz
C	Kohlenstoff
°C	Grad Celsius
cm	Zentimeter (=0,01 m)
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
d	Tag
D	Deutschland
d. h.	das heißt
dt	Dezitonne = 100 kg
EPS	expandierter Partikelschaum
EU	Europäische Union
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoff(e)
GJ	Giga Joule (= 1 Mrd. Joule)
h	Stunde
ha	Hektar
H ₂ O	Wasser
HEA	Herstellungsenergieaufwand
i. A.	im Allgemeinen
i. d. R.	in der Regel
J	Jahr(e)
K	Kelvin
k	kilo (=1000)
Kap.	Kapitel
kWh	Kilowattstunden
m	Meter
MJ	Mega Joule (= 1 Mio. Joule)
mm	Millimeter
mg	Milligramm
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
Mio.	Million(en)
Mrd.	Milliarde(n)
N	Stickstoff
NH ₃	Ammoniak
NH ₄ ⁺	Ammonium
NO ₃ ⁻	Nitrat
NO _x	Stickoxide
N ₂ O	Distickstoffoxid (Lachgas)
O ₂	Sauerstoff
O ₃	Ozon
PE	Primärenergieeinsatz
ppmv	parts per million volume = Teile pro Millionster Volumeneinheit (= 0,0001 vol. %)
PUR	Polyurethan-Hartschaum
rd.	rund

s	Sekunde(n)
t	Tonne(n)
Tab.	Tabelle
Tha	1000 ha
TM	Trockenmasse
UBA	Umweltbundesamt
u. a.	unter anderem
WLG	Wärmeleitfähigkeitsgruppe
Ws	Wattsekunde(n)
WSVO	Wärmeschutzverordnung
XPS	Extruder-Partikelschaum
z. B.	zum Beispiel
zzgl	zuzüglich
z. Zt.	zur Zeit

1 Einleitung

1.1 Hanfnutzung

Fast ein halbes Jahrhundert lang war Hanf in Europa von der Ackerfläche verschwunden. Durch zahlreiche kontroverse Diskussionen um seinen berauschenden Wirkstoff gelangte er in den letzten Jahren wieder in die Schlagzeilen. Doch dieses mal nicht wegen seiner psychotropen Wirkung, sondern als das, was er schon über Jahrtausende gewesen ist: eine vielseitig verwendbare Nutzpflanze. Durch die 1996 von der Bundesregierung beschlossene und in Kraft getretene Aufhebung des bislang geltenden Hanfanbauverbots scheint sich diese Kultur- und Industriepflanze als ökologischer Rohstoff für zahlreiche Produkte zu etablieren. Somit hat die „Jahrzehnte währende Diskriminierung des Rohstoffs Hanf ein Ende“ (Hesch et al., 1996), und der Grundstein für den Beginn einer neuen Hanfindustrie wurde gesetzt.

Bastfasern von Hanf besitzen von Natur aus eine große Variabilität in ihren Eigenschaften und sind als wertvolle Rohstoffe für vielseitige Anwendungen einsetzbar. Der Anbau erfolgte bereits in der Vergangenheit in erster Linie zur Gewinnung und Nutzung der in den Stengeln enthaltenen Bastfasern. Aus solchen reißfesten, nässebeständigen und langlebigen Fasern wurden traditionell Seile, Segeltuche, Dichtmaterial, Kleidung und Papier hergestellt. Heute werden weitere Nutzungsrichtungen und Produktlinien entwickelt, bei denen auch die anfallenden Schäben verwertet werden. Auch das in den Samen enthaltene Öl wird zunehmend für technische, kosmetische und pharmazeutische Produkte genutzt. Die Weltanbaufläche von Hanf hat sich seit 1970 von ca. 500 Tha auf gegenwärtig etwa 120 Tha verringert (ATB, 2000). In Deutschland erfolgte unmittelbar nach der Freigabe des Hanfanbaus die Aussaat auf einer Fläche von insgesamt 1.400 ha. Bis heute hat sich die Anbaufläche auf über 4.000 ha erweitert.

Nach mehrjähriger Entwicklung ist heute bereits der Einsatz von Naturfasern in der deutschen Automobilindustrie selbstverständlich geworden, ebenso wie die Marktpräsenz von Dämmvliesen aus Naturfasern. Die Hanffaser tauchte in dem Moment am Markt auf, als sich eine industrielle Nachfrage zu entwickeln begann. Dynamische Unternehmer investierten in den Faseraufschluß und richteten ihre Qualitäten und Preise an den technischen Märkten aus. Die gröbere und reißfestere Hanffaser eignet sich hervorragend für den technischen Bereich, und die Hanfwirtschaft kann konstante, kalkulierbare Preise anbieten. Durch die hohen Hektarerträge und die konsequente Ganzfasernutzung sind die Preise marktfähig. Vor diesem Hintergrund sind die wachsenden Anbauflächen und die zunehmende Verarbeitungskapazitäten nicht verwunderlich.

Hanf gilt in der Landwirtschaft zunehmend als Hoffnungsträger, da von ihm in einem Lebensmittelüberschußmarkt neue Perspektiven erwartet werden. Heute stehen

vor allem die günstigen landwirtschaftlichen und ökologischen Eigenschaften dieser Kulturpflanze im Vordergrund. Es muß aber berücksichtigt werden, daß der gewonnene Rohstoff am Markt nur eine Chance haben wird, wenn die Produkte „sich rechnen“, d. h. einigermaßen ökonomisch erzeugt werden können. Schließlich treffen Produkte aus Hanf auf weitestgehend gesättigte Märkte. Das wachsende Ökologiebewußtsein in der Bevölkerung trägt ebenfalls zur Etablierung der Hanfpflanze und seinen Produkten bei. Neben der Automobilindustrie wird auch das Bauwesen zunehmend vom Streben nach mehr Ökologie bestimmt. Als Dämmstoffe können Hanffasern und Hanfschäben einen bedeutenden Beitrag dazu leisten, daß weniger CO₂ emittiert wird. Im Zuge ihrer Assimilation kann die Pflanze sogar als CO₂-Senke angesehen werden.

1.2 Klima

Die Erdatmosphäre besteht neben den am häufigsten vorkommenden Gasen Stickstoff (N) und Sauerstoff (O₂) auch aus klimawirksamen Gasen wie Wasserdampf (H₂O), Kohlendioxid (CO₂), Ozon (O₃), Distickstoffoxid (N₂O) und Methan (CH₄). Daneben kommen andere Gase unterschiedlicher Konzentrationen vor. Die klimawirksamen Gase reflektieren einen Teil der langweilligen Erdausstrahlung (natürlicher Treibhauseffekt) und bewirken damit im globalen Mittel eine Durchschnittstemperatur von +15 °C. Ohne diesen Effekt würde die Temperatur auf der Erde im Mittel -18 °C betragen, Leben in der heutigen Form wäre damit nahezu unmöglich. Besonders in diesem Jahrhundert konnte eine starke Konzentrationszunahme dieser Treibhausgase beobachtet werden. Die Ursachen hierfür sind anthropogener Natur, konkret die angestiegene Verbrennung von fossilen Rohstoffen, die intensive Landwirtschaft, die zunehmende Waldvernichtung und die Freisetzung chemischer Produkte. Diese Aktivitäten verstärken den natürlichen Treibhauseffekt und bewirken eine globale Temperaturerhöhung mit Folgen für die Ökosysteme. Auswirkungen auf das Leben der Menschen sind dadurch abzusehen.

Dem Kohlendioxid kommt bei diesem anthropogen verstärkten Treibhauseffekt eine Schlüsselstellung zu, da es zu ca. 50 % daran beteiligt ist. Seit der Industrialisierung hat dessen atmosphärischer Gehalt um ca. 30 % zugenommen, was im wesentlichen auf die verstärkte Verbrennung fossiler Rohstoffe zurückgeführt wird. Um die Temperaturerhöhung auf eine für den Klima- und Ökosystemschutz erforderliche Erwärmungsobergrenze zu beschränken, gilt es, besonders die Emissionen des treibhausrelevanten Leitgases Kohlendioxid zu reduzieren. Möglichkeiten hierzu bieten sich in allen Bereichen an, in denen fossile Energieträger verbraucht werden. Deren Verbrauchsreduzierung bedingt eine Reduzierung des Kohlendioxidausstoßes und damit eine Möglichkeit, den anthropogen verursachten Treibhauseffekt einzudämmen.

Das Umweltproblem des anthropogenen Treibhauseffektes veranlaßt die Politik, weltweit nach Lösungswegen zu suchen, um diesem Problem Herr zu werden. Es bewirkt, daß in den Industriestaaten nach Möglichkeiten für den Einsatz von Werkstoffen auf der Basis von nachwachsenden Rohstoffen geforscht wird, um die in den letzten Jahren negative anthropogene Beeinflussung der Umwelt zu mindern. Eine weitere Erwärmung hätte gravierende Folgen für das Leben auf der Erde (Bach, 2000). Um dieser Entwicklung Einhalt zu gebieten, werden mittlerweile national und international Anstrengungen zur Verminderung des Ausstoßes von Treibhausgasen unternommen. Als Hauptverursacher der globalen Erwärmung gilt dem CO₂ das Hauptaugenmerk der staatlichen Reglementierungen. Es erfolgen 80 % der von Menschen verursachten CO₂-Emissionen in den Industrieländern. Im Rahmen der daraufhin stattgefundenen Klimagipfel (Rio) verpflichtete sich die Bundesregierung, den CO₂-Ausstoß bis zum Jahre 2005 um 25 % zu senken.

Bei der Umsetzung dieses CO₂-Minderungsprogramms spielt der Gebäudebereich in Deutschland eine zentrale Rolle. Ein Drittel des gesamten Energiebedarfs entfällt auf den Gebäudebereich, 40 % des Abfallaufkommens entstehen im Bausektor und ca. 25 % aller mineralischen Stoffflüsse entfallen in der BRD auf dem Bereich Bauen und Wohnen. Dabei wird der größte Teil des Energiebedarfs aus Energieträgern gedeckt, die voraussichtlich bis zur Hälfte des nächsten Jahrhunderts erschöpft sein werden, und die maßgeblich zum Treibhauseffekt beitragen. Neben einer Verbesserung der Wirkungsgrade der Heiztechnik kann der Hauptanteil der erforderlichen Minderung des CO₂-Ausstoßes im Gebäudebereich nur durch eine drastische Senkung der Wärmeverluste der Häuser durch Erhöhung des Wärmeschutzes und durch die damit erzielbare Senkung des Brennstoffverbrauchs erreicht werden. Damit kommt dem baulichen Wärmeschutz die umweltpolitisch und zugleich volkswirtschaftlich wichtige Aufgabe zu, mit geeigneten Verfahren die Wärmeverluste über die Dächer, Außenwände, Kellerdecken und Geschoßdecken entscheidend zu verringern.

Aus diesen Überlegungen heraus bedarf es einer einschneidenden Veränderung aller Bauprozesse, wie die eingeleiteten Prozesse zu einer Verringerung der Betriebsenergie von Gebäuden und die Entwicklung bis zum Passiv- und Null-Energie-Haus zeigen. Mit der deutlichen Verbesserung des Wärmeschutzes bei Niedrigenergie- und Passivhäusern wurden die Energieverluste während der Lebenszeit (ca. 80 J.) wesentlich verringert, doch kommt nun dem Herstellungsaufwand und dem damit verbundenen Energieverbrauch eine ganz neue, entscheidende Rolle in der Energiebilanzierung zu. So ist ein wesentliches Kriterium bei der Betrachtung des Herstellungsaufwands (HEA) der Primärenergieaufwand für Gewinnung, Herstellung und Transport von Baustoffen. Das gegenwärtige Baugeschehen wird vor allem von Baustoffen bestimmt, die einen vergleichsweise hohen Primärenergiebedarf bei ihrer Herstellung aufweisen. Hierbei handelt es sich hauptsächlich um Kunststoffschäume wie Polysty-

rolschaum und Mineralwolleprodukte. Die Qualität und das Wärmedämmvermögen dieser marktführenden Dämmstoffe haben insgesamt ein hohes Niveau. Ihr Nachteil hinsichtlich der Umweltbelastung besteht aber darin, daß sie nicht recyclefähig sind, sie zum Teil gesundheitsschädigend wirken und sie bis zu ihrer Bereitstellung einen hohen Primärenergieeinsatz erfordern. So ist für die Herstellung von mineralischen Faserdämmstoffen ein Primärenergieeinsatz von 600 kWh/m³, für Schaumstoffe von über 1.200 kWh/m³ erforderlich, während Dämmvliese aus Hanffasern lediglich 70 kWh/m³ brauchen (Hesch et al., 1996). Ein Großteil wird hiervon für Prozeßwärme verbraucht und führt damit zu einer ungeheuren CO₂-Emission bei jährlich hergestellten 32 Mio. m³ Dämmstoffen.

1.3 Aufgabenstellung und Vorgehensweise

Um zu einer ganzheitlichen Gebäudekonzeption unter der Zielsetzung der energetischen Optimierung zu kommen, wird sich die Baukultur verstärkt solchen Konstruktionen zuwenden, die eine günstige Herstellungsenergiebilanz aufweisen. Für die weitere Entwicklung der zukünftigen Baukultur ergibt sich, daß Errichtung von Neubauten/Sanierung von Altbauten unter der Vorgabe des Einsatzes nachwachsender, wiederverwendbarer oder Recycling-Baustoffe stattfindet. Der Neubaubereich ist dabei, zum Forschungsfeld für innovative Technologien und neue Materialien zu werden, wobei aber erst bei breitem Einsatz im Bestand deutliche Wirkungen bei der Reduzierung von Energie- und Stoffströmen zu erwarten sind.

Vor diesem Hintergrund liegt das Bestreben, Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen herzustellen. Hanf als einzige heimische Nutzpflanze mit den besten Faserqualitäten fällt bei der Nutzung als Dämmmaterial eine besondere Bedeutung zu. Gelänge es, Dämmstoffe aus Hanf herzustellen, die hinsichtlich Qualität und Preis auf dem Markt konkurrenzfähig sind, könnten riesige Energiemengen eingespart und damit die entsprechenden CO₂-Emissionen vermieden werden.

In der vorliegenden Arbeit wird das Substitutionspotential für Hanfdämmstoffe und deren Marktchancen untersucht, die einen Beitrag zur Lokalen Agenda 21 (Verminderung der Treibhausgasemissionen) und zur Ökologisierung der Landwirtschaft leisten können. Daß Ökologie und Ökonomie sich nicht ausschließen, sondern sogar neue Industriebereiche und somit Arbeitsplätze entstehen, wird genauso untersucht (Kapitel 6), wie die Möglichkeit für die Landwirtschaft, anstatt Nahrungsmittel im Überschuß zu produzieren und ihre Flächen brachliegenzulassen, Hanf als nachwachsenden Rohstoff anzubauen (Kapitel 5).

Der Schwerpunkt meiner Arbeit liegt in den Kapiteln 7 und 8. Hier werde ich eine Ökobilanzierung für die Produktlinie Dämmstoffe aus Hanffasern durchführen. Diese Bilanzierung basiert auf den Grundlagen der vom nova institut et al. (1996) erhobenen Daten. Da man bei der ökologischen Bewertung den gesamten Lebensweg Hanf untersuchen muß, sollen neben den klimatischen sämtliche ökologische Parameter

von der Hanfpflanze untersucht werden. Diese Arbeit soll dazu beitragen, wichtige Eigenschaften der Hanfpflanze und deren Nutzung aufzuzeigen, um deutlich zu machen, daß bei entsprechender Förderung und Akzeptanz das Hanfprodukt dazu beitragen kann, ein wichtiges Umweltproblem zu mildern. Die Darstellung für die Energie- und somit CO₂-Einsparung gilt hierbei für eine Hochrechnung der Stadt Münster; eine abschließende Bewertung werde ich in Kapitel 9 vornehmen.

2 Klimaökologische Betrachtung

2.1 Grundlagen des Treibhauseffekts

Der Treibhauseffekt der Atmosphäre ist für das Klima der Erde von eminenter Bedeutung. Der natürliche Effekt bewirkt, daß wir auf der Erde eine durchschnittliche globale Temperatur von + 15 °C haben und keine Durchschnittstemperatur von - 18 °C ohne die vorhandenen Treibhausgase. Er wird zum größten Teil von fünf Spurengasen verursacht (Tab. 2.3), die die kurzweilige Sonnenstrahlung fast ungehindert in Richtung Erdoberfläche passieren lassen, jedoch die von der Erdoberfläche emittierte Wärmestrahlung teilweise absorbieren, so daß die langweilige Ausstrahlung in den Weltraum vermindert wird. Die zur ausgeglichenen Energiebilanz notwendige Erwärmung der Oberfläche und der unteren Atmosphäre wird – in grober Analogie zur Wirkung der Glasscheiben eines Treibhauses – Treibhauseffekt genannt. Durch anthropogene Emissionen steigen die Konzentrationen der klimarelevanten Spurengase in der Atmosphäre an und damit auch deren Einwirkungspotentiale auf den Strahlungshaushalt der Erde. Die ersten Eingriffe in die Umwelt des Menschen waren die Rodung der Wälder und die zunehmende ackerbauliche Nutzung der gewonnenen Flächen. Mit der Industrialisierung nahmen die anthropogenen Einflüsse erheblich zu. Seit dem 19. Jahrhundert werden in großem Umfang fossile Rohstoffe (Kohle, Erdöl, Erdgas) zur Energiebereitstellung verbrannt oder chemisch weiterverarbeitet. Das wichtigste anthropogene Treibhausgas ist das CO₂, das seit der Industrialisierung von einem mittleren Mischungsverhältnis von 275 ppmv auf heutige Werte um ca. 355 ppmv angestiegen ist und somit auf dem höchsten Niveau innerhalb der letzten 160.000 Jahre ist (Burdick, 1994).

Wichtigste Senke ist der Ozean, wobei hinsichtlich der Senken noch Unsicherheiten bestehen. In der Biosphäre werden durch die Lebensvorgänge (Atmung, Assimilation und mikrobieller Abbau) große Kohlenstoffmengen im Bereich von 120 Mrd. t C (440 Mrd. t CO₂) jährlich aus der Atmosphäre aufgenommen bzw. wieder an diese abgegeben. Im Gleichgewicht sind beide Mengen gleich groß, so daß im Mittel keine Veränderung des CO₂-Gehaltes der Atmosphäre eintritt. Neuere Modellrechnungen und verbesserte Methoden des Nachweises menschlicher Einflüsse („anthropogenes Signal“) führen zu dem Ergebnis, daß die Wahrscheinlichkeit für eine Temperaturzunahme natürlichen Ursprungs unterhalb von 5 % liegt (BMELF, 1995).

Die atmosphärische Kohlendioxid-Konzentration wird durch den geochemischen Kohlenstoff-Kreislauf bestimmt. Gestört wird dieser Kreislauf durch die zusätzliche Emission von zur Zeit ca. 22 Mrd. t CO₂/a aus der Verbrennung fossilen Kohlenstoffs. An diesen CO₂-Emissionen ist Deutschland zur Zeit mit 0,9 Mrd. t CO₂ beteiligt. Die anthropogenen CO₂-Emissionen stören das seit Jahrhunderten bestehende Gleichgewicht in der Atmosphäre (EK, 1994).

Die Ursachen des anthropogenen Treibhauseffektes liegen hauptsächlich in der Nutzung fossiler Energieträger im Energie- und Verkehrssektor (50 %) sowie in der chemischen Produktion und Nutzung der FCKW (20 %). Die Rodung und Brandrodung der Tropenwälder und die Landwirtschaft sind global zu jeweils ca. 15 % an der Klimaänderung beteiligt (Bach, 2000, Burdick, 1994, EK, 1994).

Tab. 2.1: Konzentrationen, Verweilzeiten und GWP* von Klimagasen

Klimagas	Konzentration (ppm)	mittlere Verweilzeit (Jahre)	Anteil am natürlichen Treibhauseffekt (%)	GWP*
H ₂ O	26000		62	
CO ₂	355,00	50 - 200	22	1
CH ₄	1,74	10	2	21
N ₂ O	0,31	130 - 150	4	206
O ₃	0,04	0,1	7	2.000
FCKW	0,001	60 - 130		12.000 - 16.000

*GWP= Global Warming Potential (= CO₂-Äquivalent; mol Klimagas : mol CO₂)

Alle Angaben sind Mittelwerte.

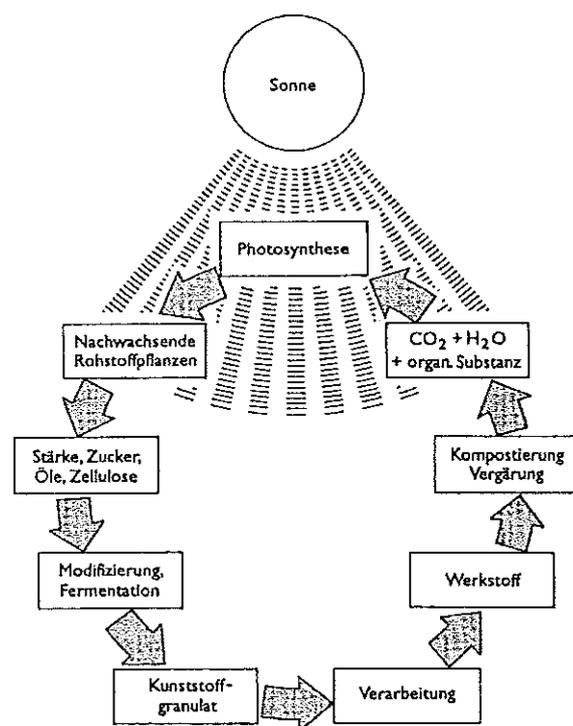
Quellen: EK (1994); Burdick (1994).

Von den fossilen Energieträgern wissen wir, daß das Treibhauspotential zu rund 90% durch die direkte CO₂-Freisetzung bei der Verbrennung bestimmt wird. Im Falle der Nutzung nachwachsender Rohstoffe haben wir es mit einer indirekten CO₂-Freisetzung zu tun, die bei der Bearbeitung und der Erzeugung von Biomasse entsteht (Flessa et al., 1998). Entscheidend für eine Entlastung der Atmosphäre von klimarelevanten Spurengasen ist neben den immer wieder diskutierten CO₂-Emissionen eine Senkung der Stickstoffemissionen, im wesentlichen der Stickoxide. Nur wenn es gelingt, diese auf den Produktionsflächen stark zu verringern, werden die angestrebten Ziele einer Senkung des Treibhauseffektes generell zum Erfolg führen. Der Lebensweg nachwachsender Rohstoffe und die damit begleitenden „bodenbürtigen“ Lachgasemissionen haben einen entscheidenden Einfluß auf das gesamte Treibhauspotential.

Setzt sich der Anstieg der atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen aufgrund der vielfältigen Aktivitäten des Menschen weiter fort, ist bereits vor der Mitte des nächsten Jahrhunderts mit einer Verdopplung des äquivalenten CO₂-Gehalts gegenüber dem vorindustriellen Wert zu rechnen. Die globale Durchschnittstemperatur wird dann gegen Ende des nächsten Jahrhunderts um ca. 3 °C über dem heutigen Wert liegen. Diese anthropogen ausgelöste Änderung des globalen Klimas wird erhebliche,

nicht alle Regionen gleichermaßen betreffende ökologische und sozioökonomische Auswirkungen haben, deren genaue Ausmaße nicht hinreichend genau abgeschätzt werden können, deren Folgen aber gravierend sein würden (EK, 1994; Bach, 2000).

Mann (1998) und andere Autoren verdeutlichen, daß die Nutzung nachwachsender Rohstoffe kohlendioxidneutral ist, bzw. sogar kurzfristig CO_2 aus der Luft bindet, wie es exemplarisch in Abb. 2.1 dargestellt ist. Die Photosynthese erfolgt mit Hilfe der CO_2 -Bindung aus der Luft. Der größte Teil der Moleküle, die in der Pflanze enthalten sind (Zellulose, Fette, Kohlenhydrate und Eiweiße), besteht hauptsächlich aus Kohlenstoffatomen, die durch Assimilation und biochemische Umwandlung von CO_2 -Molekülen aus der umgebenden Luft gebunden werden.



Werden Pflanzen geerntet und stofflich eingesetzt, kann auf den abgeernteten Flächen wieder neues CO_2 gebunden werden, ohne daß das entstandene Pflanzenmaterial wieder – wie es unter natürlichen Umweltbedingungen der Fall wäre – zersetzt wird. Durch die chemisch-technische Nutzung nachwachsender Rohstoffe werden auf diese Weise zumindest kurz- oder mittelfristig positive CO_2 -Bilanzen erzielt. Bei energetischer Nutzung dieser Rohstoffe hingegen bleiben die CO_2 -Bilanzen neutral (Mann, 1998).

Abb. 2.1: Beispiel für den Kreislauf biologisch abbaubarer Materialien

Quelle: Mann (1998).

Flessa et al. (1998) hingegen führen an, daß die angeführte Klimaneutralität der Nutzung nachwachsender Rohstoffe für die energetische Nutzung nicht gegeben ist. Für eine Bewertung der Umweltverträglichkeit müssen folglich auch die Umweltbelastungen berücksichtigt werden, die im Zuge der Bereitstellung der Produktionsmittel, während der landwirtschaftlichen Produktion, bei der Aufbereitung der Biomasse und beim Endverbrauch auftreten.

Die Probleme des Treibhauseffektes werden auch in der Landwirtschaft sehr ernst genommen. Der Präsident des Deutschen Bauernverbandes, C. F. Heereman von Zuydtwyck (1997) weist darauf hin, daß die Landwirtschaft am ehesten und am härtesten von Klimakatastrophen betroffen wird. Deshalb drängt die Landwirtschaft auf wirksame Klimaschutzmaßnahmen und fordert die Einhaltung der Zusagen, die von

den Industriestaaten auf den UN-Konferenzen von Rio und Berlin zur Verringerung der CO₂-Emissionen gemacht worden sind. Daher werden die Förderungsmaßnahmen für nachwachsende Rohstoffe seitens der Politik von der Landwirtschaft sehr begrüßt.

2.2 Landwirtschaftlicher Einfluß auf den anthropogenen Treibhauseffekt

Die Nutzung der Natur durch die Landwirtschaft, sowohl für den Nahrungsbereich, als auch für den Non-Food-Bereich der nachwachsenden Rohstoffe, impliziert Eingriffe in das Ökosystem, die umso größer sind, je intensiver die Landwirtschaft betrieben wird.

Der Anteil der Kohlenstoff-Emissionen aus dem Verbrauch fossiler Energieträger in der Landwirtschaft ist im Vergleich zu den Kohlenstoff-Emissionen aus der Brandrodung und Rodung sowie dem Humusabbau durch Bodenbearbeitung vergleichsweise gering. Die Landwirtschaft setzt 3,7 % der gesamten CO₂-Emissionen aus fossilen Energieträgern in Deutschland frei. Daneben werden in Deutschland durch den Treibstoffverbrauch in der Forst- und Landwirtschaft 7.500 t CH₄/a freigesetzt (Burdick, 1994). Im Landwirtschaftsbereich ist die wachsende Verwendung stickstoffhaltiger Dünger für den zusätzlichen Anstieg der N₂O-Konzentration in der Atmosphäre mitverantwortlich. Die Zunahme von Methan ist im wesentlichen auf die Ausweitung der Rinderhaltung und den verstärkten Naßreisanaubau zurückzuführen. Daneben werden noch weitere indirekt klimawirksame Spurengase freigesetzt, wie NH₃ aus der Tierhaltung und der Güllewirtschaft.

Das mittlere troposphärische Mischungsverhältnis für CH₄ liegt mit 1,74 ppmv um mehr als das Doppelte über dem vorindustriellen Wert von 0,7 ppmv. Der atmosphärische Gehalt an N₂O steigt gegenwärtig mit etwa 0,3 %/a an (EK, 1994). Die industriell hergestellten FCKW verstärken den Treibhauseffekt erheblich und verursachen zudem den Ozonverlust in der Stratosphäre. Begleitet wird dies von der Intensivierung der Landwirtschaft und der deutlichen Zunahme der Rodung und Brandrodung vor allem tropischer Wälder. Die schnelle Bevölkerungszunahme und die zunehmenden industriellen und landwirtschaftlichen Aktivitäten des Menschen haben die Freisetzung der klimawirksamen Spurengase drastisch anwachsen lassen.

2.2.1 Lachgas-Emissionen (N₂O)

Die N₂O-Konzentration in der Atmosphäre ist seit Beginn der Industrialisierung (Mitte des 18. Jahrhunderts) um ca. 15 % auf die heutige Konzentration von 0,311 ppmv angestiegen (Flessa et al., 1998). Der Anstieg ist durch anthropogene N₂O-Emissionen begründet. Diese Tatsache ist von globaler ökologischer Bedeutung, da das Distickstoffoxid zum einen zu den klimawirksamen Spurengasen (Treibhausgasen) gehört, das aufgrund seines hohen Treibhauspotentials (320 CO₂-Äquivalent) mit ca. 6 % am derzeitigen anthropogenen Treibhauseffekt beteiligt ist.

Zum anderen reagiert N_2O mit photochemisch erzeugtem atomarem Sauerstoff und bildet dabei NO. Das gebildete NO reagiert mit Ozon (O_3) unter Bildung von NO_2 und O_2 . Steigende N_2O -Emissionen beschleunigen daher die Zerstörung der stratosphärischen Ozonschicht und fördern damit den Anstieg der UV-B-Strahlung auf der Erdoberfläche.

Die weltweit wichtigsten N_2O -Quellen sind Böden. N_2O wird dort im Zuge der mikrobiellen Stickstofftransformation sowohl gebildet als auch verbraucht. 75 % der weltweiten anthropogenen N_2O -Emissionen sind auf die landwirtschaftliche Produktion zurückzuführen. Als eine wesentliche Ursache für den überproportionalen Anstieg der atmosphärischen N_2O -Konzentrationen in den letzten Jahrzehnten gilt der zunehmende N-Eintrag in die Böden. Der weltweite Verbrauch an mineralischen N-Düngemitteln hat sich in den letzten 30 Jahren vervierfacht, und der globale Verbrauch an N-Düngern wird durch die steigende Nachfrage in den Entwicklungsländern weiter zunehmen. So werden nicht nur die N_2O -Emissionen weiter steigen, sondern in zunehmendem Maße werden auch Böden naturnaher Ökosysteme durch indirekte anthropogene N-Einträge belastet und weisen dann ebenfalls erhöhte N_2O -Emissionsraten auf (Flessa et al., 1998, Wintzer et al., 1993).

Gleichzeitig trägt die Eutrophierung zur Zerstörung von nährstofflimitierten Lebensräumen wildlebender Pflanzen und Tiere und damit zur Verringerung der Arten- und Biotopvielfalt in der Landschaft bei. Zudem kommt es vorübergehend häufig zur verstärkten Auswaschung von Stickstoff in Grund- und Oberflächengewässern, wenn dieser nicht mehr durch Kulturpflanzen dem Boden entzogen wird. Der Trend zu steigender Nitratbelastung ist ungebrochen, und die jährliche Nitratbelastung des Grundwassers in Deutschland steigt jährlich um weitere 1 - 2 mg/l an. Viele Brunnen und auch Wasseraufbereitungsanlagen mußten geschlossen werden, da der europäische Richt-Grenzwert von 25 mg/l vielerorts deutlich überschritten wurde (Flessa et al., 1998).

Jede Tonne Luftstickstoff, die industriell fixiert und von der Landwirtschaft verbraucht wird, gelangt zusätzlich in den Stickstoffkreislauf, sie erhöht die natürliche N_2O -Emissionsrate. Lt. BMELF (1995) beträgt die N_2O -Freisetzungsrates, angegeben als NO_2 -N in Prozent des gedüngten Stickstoffs, bei

- Nitratdüngern zwischen 0,001 und 0,018 %,
- Ammoniumnitratdünger zwischen 0,4 und 0,7 %,
- Ammoniumdüngern zwischen 0,06 und 2,5 %,
- organischen Düngern zwischen 0,8 und 2,05 %.

Die Angaben für N_2O -Freisetzungen schwanken sehr stark (BMELF, 1995). Bei den landwirtschaftlichen Kulturpflanzen bewegen sich die N_2O -Emissionen zwischen 0,1 und 1 % der Stickstoffdüngung. Dies entspricht hinsichtlich der Klimawirksamkeit bei einer Düngung von 180 kg N/ha einer jährlichen Emissionsrate von 37,1 [0,1

% von 180 kg N x Faktor 206 (sh. Tab. 2.2)] bis 371 kg CO₂/ha (1 % von 180 kg N x Faktor 206).

Die N₂O-Emissionen aus den Böden haben ihren Ursprung im wesentlichen in zwei Prozessen, die durch Bodenbakterien verursacht werden: der Nitrifikation (Oxidation organisch gebundenen Stickstoffs) und der Denitrifikation (Reduktion oxidiertes Stickstoffverbindungen). Die Höhe der N₂O-Freisetzung wird dabei bestimmt von den Prozeßraten der Nitrifikation und Denitrifikation (Höhe des N-Flusses durch die Prozeßröhren) und von dem relativen Stickstoffanteil, der während des Prozesses als N₂O freigesetzt wird (Leckgröße). Während durch den aeroben Prozeß der Nitrifikation N₂O nur gebildet, aber nicht verbraucht werden kann, können die unter Sauerstoffmangel aktiven, denitrifizierenden Bakterien N₂O sowohl produzieren (Reduktion von Nitrit zu N₂O) als auch verbrauchen (Reduktion von N₂O zu N₂). In landwirtschaftlich genutzten Böden dominiert die Ammoniumoxidation durch autotrophe Nitrifizierer, wobei der Prozeß der N₂O-Bildung während der Nitrifikation noch nicht vollständig geklärt ist (Flessa et al. 1998).

Eine zuverlässige Abschätzung der N₂O-Emissionen auf unterschiedlichen Standorten und in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung ist bisher nicht möglich. Die Ursache liegt in der hohen zeitlichen und räumlichen Variabilität der Emissionsraten, die aus dem komplexen Zusammenwirken von bodenbiologischen, -chemischen und -physikalischen Prozessen resultiert. Sicher dagegen ist die Erkenntnis, daß der wichtigste Eingriff hinsichtlich der N₂O-Emission die Stickstoffdüngung ist. Insbesondere direkt nach der Düngerapplikation wird die N₂O-Produktion durch den Überschuß an Ausgangssubstrat für die Nitrifikation (NH₄⁺) und Denitrifikation (NO₃⁻) begünstigt. Mit steigender Düngeintensität wird eine Zunahme der N₂O-Freisetzung beobachtet (Flessa et al., 1998).

Wie o. a. beschränken sich die N₂O-Emissionen, die auf den Einsatz von Stickstoffdüngern zurückzuführen sind, nicht nur auf die erhöhten Freisetzungsraten aus den gedüngten Flächen (direkte Emission). Im Mittel beträgt die direkte, düngungsbedingte N₂O-Freisetzung des applizierten Stickstoffdüngers 1,25 %. Die Auswaschung von Stickstoff, Bodenerosion, aber auch gasförmige NH₃-Verluste führen zu einer Stickstoffbelastung angrenzender Naturräume, die dann ebenfalls erhöhte N₂O-Emissionsraten aufweisen können (indirekte Emission). Erhöhte Emissionen aus Drainagegräben, stickstoffbelastetem Grundwasser sowie aus naturnahen terrestrischen und aquatischen Ökosystemen, in die Stickstoff aus der Landwirtschaft eingetragen wurde, tragen wesentlich zu der düngungsabhängigen N₂O-Gesamtemission bei. Direkte und indirekte Emissionen machen zusammen im Mittel ca. 2 % der applizierten Stickstoffdüngung aus (EK, 1994, Flessa et al., 1998).

Flessa et al. (1998) kommen in ihrer Studie zu dem Ergebnis, daß die Reduzierung von N₂O-Emissionen durch eine Verringerung der N-Düngung stark standortabhängig

ist. Insgesamt läßt sich aber feststellen, daß auf Standorten, die aufgrund von Denitrifikationsereignissen in der Vegetationsperiode ein hohes N_2O -Emissionsniveau aufweisen, die Verringerung der N-Düngung eine sehr wirkungsvolle Maßnahme zur Reduktion der N_2O -Emission darstellt. Es wird durch die Verringerung der N-Düngung nicht nur Reduktion der Gesamtemission erreicht, sondern es wird auch die Emission pro erzeugter Ertragseinheit reduziert. Da bei reduzierter N-Düngung auch eine Verringerung des Austrags von Dünger-Stickstoff in benachbarte terrestrische und aquatische Systeme zu erwarten ist, ist davon auszugehen, daß auch die indirekten düngungsinduzierten N_2O -Emissionen aus diesen eutrophierten Bereichen abnehmen. Daneben war in den praxisüblich gedüngten Kulturen die zweitwichtigste Bilanzgröße die Treibhauswirksamkeit der Düngemittelbereitstellung. Ihr Anteil an der Summe der im Zuge der Produktion emittierten CO_2 -Äquivalente variierte je nach Standort und Rohstoff zwischen 8 % und 41 %. Die Emissionen der Bereitstellung wurden überwiegend durch die Produktion von N-Dünger, bei der erhebliche Mengen an CO_2 und N_2O freigesetzt wird, verursacht. Die Reduktion der Stickstoffdüngung führte in allen Kulturen zu einer deutlichen Verringerung der emittierten CO_2 -Äquivalente. Darüber hinaus zeigte sich bei allen untersuchten Kulturen, daß bei extensiver Bewirtschaftung die Emission von CO_2 -Äquivalenten deutlich geringer ausfielen als bei intensiver Bewirtschaftung.

Für die ökologische Bewertung der nachwachsenden Rohstoffe ist die Frage, inwieweit sich die N_2O -Emissionen durch gezielte Bewirtschaftungsstrategien bei hohem Ertragsniveau reduzieren lassen, von zentraler Bedeutung, da die Reduktion der Atmosphärenbelastung in erheblichem Maße von der Höhe der N_2O -Emissionen abhängt.

Anhand der Ergebnisse der Teilprojekte von Flessa et al. (1998) lassen sich Bewirtschaftungsstrategien ableiten, die zu einer Reduktion der N_2O -Emission führen, ohne das Ertragsniveau zu senken. Für die Minimierung der N_2O -Freisetzung bei einem hohen Ertragsniveau muß daher die Vermeidung erhöhter Nitratkonzentrationen bei gleichzeitig ausreichender N-Versorgung der Kulturpflanzen angestrebt werden. Eine der wichtigsten Maßnahmen zur Verringerung der düngungsinduzierten N_2O -Emissionen ist daher die Vermeidung von N-Überschüssen. Der N-Eintrag muß sich nach dem Entzug der angebauten Kulturpflanze richten. Hier müssen die standorttypische Stickstoffnachlieferung während der Vegetationsperiode sowie das standorttypische Ertragspotential der Kulturpflanze berücksichtigt werden. Ziel ist letztlich eine ausgeglichene Flächenbilanz zwischen den N-Einträgen und dem N-Entzug durch das Erntegut. Die Reduzierung der N-Düngung auf ein entzugsorientiertes Niveau muß mit der Steigerung der Düngerausnutzung verbunden werden. Die mengenmäßige, zeitliche und räumliche Dosierung der Düngung sollte deshalb auf den Stickstoffbedarf der Kultur in bestimmten Entwicklungsstadien abgestimmt werden. Die Nitrat-

konzentration im Boden nach der Ernte kann durch das N-Aufnahmevermögen der nachfolgenden Frucht verringert werden. Eine Quantifizierung, wie stark sich die N₂O-Emissionen in den Fruchtfolgen reduzieren lassen, ließ sich nicht ermitteln.

Als Strategien zur Minimierung der N₂O-Freisetzung in Fruchtfolgen wurden von Flessa et al. (1998) konkret folgende Maßnahmen empfohlen:

- in allen Kulturen sollte die N-Düngung unter Berücksichtigung des N-Mineralisationspotentials des Standorts auf den N-Entzug durch das Erntegut reduziert werden,
- die N-Düngung sollte durch Aufteilung der Düngergaben an den Bedarf der Kultur angepaßt werden,
- Bodenverdichtung durch Fahrspuren sollte generell minimiert werden (da hier die Emissionen besonders hoch sind), Bewirtschaftungsmaßnahmen sollten daher möglichst bei ausreichend trockenem Boden durchgeführt werden.

Die Höhe der CO₂-Einsparung der Substitution fossiler Energieträger durch nachwachsende Rohstoffe wird zum einen durch die Höhe der treibhauswirksamen Emissionen während des Lebenswegs dieser Biorohstoffe bestimmt, zum anderen müssen auch die treibhauswirksamen Emissionen bei der Weiterverarbeitung des Erntegutes berücksichtigt werden.

Generell zeigt sich beim Hanf ein Nitratproblem, das durch die spezifische N-Dynamik der stark wüchsigen und spät abreifenden Pflanze verursacht wird. Je nach Ernteverfahren wird dem Feld bis etwa 40 kg N/ha entzogen, so daß die N-Bilanz (bei einer empfohlenen Düngung von 60 - 90 kg N/ha) einen Überschuß aufweist. Die schlechte Datenlage zur Nitratproblematik bei Hanf macht, angesichts der Bedeutung des Themas, zusätzliche Forschung dringend nötig. Inwieweit die N-Düngung klimarelevant ist, kann man in absoluten Zahlen (noch) nicht sagen. Es läßt sich aber festhalten: Wird eine intensiv gedüngte Frucht (Weizen, Mais, Futtergerste etc.) vom Hanf verdrängt, dann erfolgt durch die Minderung der N-Düngung eine Verringerung der klimarelevanten N₂O-Emissionen. Wird eine Extensivfrucht (Braugerste, Hafer) verdrängt, gilt das Gegenteil (FNR, 1997).

2.2.2 Methan-Emissionen (CH₄)

Die Methankonzentration in der Atmosphäre ist in den letzten zweihundert Jahren um 145 % auf 1,714 ppmv angestiegen (EK, 1994). Der Anstieg der CH₄-Konzentration in der Atmosphäre ist von globaler ökologischer Bedeutung, da Methan zu den wichtigsten Treibhausgasen zählt, dessen Beitrag zum anthropogenen Treibhauseffekt auf 19% geschätzt wird (EK, 1994). Etwa 60 - 80 % der aktuellen Emissionen von 597 Tg CH₄/a gehen auf anthropogene Aktivitäten zurück und werden durch die Massentierhaltung, den Reisanbau, die Verbrennung von Biomasse sowie durch die Förderung von fossilen Brennstoffen freigesetzt. 90 % des freigesetzten Methans werden in

der Atmosphäre auf chemischem Wege durch die Reaktion mit Hydroxylradikalen abgebaut. Die einzige biologische Senke für CH_4 ist die Oxidation in Böden, wobei ca. 15 - 45 Tg CH_4/a abgebaut wird (Flessa et al., 1998). Den CH_4 -verbrauchenden Mikroorganismen in terrestrischen Böden kommt eine regulierende Funktion zu, da sie auf Veränderungen der atmosphärischen Methankonzentration direkt reagieren. So hat der Anstieg der atmosphärischen Methankonzentration von 0,7 auf heute 1,7 ppmv zu einer wesentlich besseren CH_4 -Versorgung der Methanoxidierer geführt. Die Aufnahmerate hat sich dadurch überproportional um ca. 250 % erhöht (Flessa et al., 1998).

Anthropogene Einflüsse führen jedoch zu einer Reduktion der Methanoxidation in Böden, wodurch die Funktion des Bodens als Methan-Senke eingeschränkt wird. Durch Einträge von Stickstoffdünger auf frisch bewirtschafteten Flächen kann die Methanoxidation um bis zu 40 % sinken. Neben Bodenverdichtung und -versauerung führt die Inkulturnahme von Böden von ehemaligen Wald- oder Grünflächen ebenfalls zu drastischen Reduktionen der Methanoxidation. Insgesamt wird die anthropogene Verminderung der CH_4 -Senke in terrestrischen Böden auf ca. 3 - 4 Tg CH_4/a geschätzt (Flessa et al., 1998).

Im Ergebnis stellen die Autoren fest, daß bei reduzierter N-Düngung lediglich tendenziell eine leicht erhöhte CH_4 -Aufnahme des Bodens erkennbar war, insgesamt konnte jedoch die Höhe der N-Düngung keinen eindeutigen Effekt auf die CH_4 -Oxidationsleistung erbringen. Bewirtschaftungsbedingte Bodenverdichtung schränken die CH_4 -Aufnahme stark ein, so daß sogar stark verdichtete Fahrspuren zu CH_4 -Quellen wurden.

Auch wenn insgesamt für die Bilanz der treibhauswirksamen Emissionen bei der Produktion der Kulturen die gemessenen CH_4 -Spurengasflüsse ohne Bedeutung und vernachlässigbar sind, so kann als Maßnahme die Verhinderung der Bodenverdichtung und die Einschränkung des N-Eintrags empfohlen werden. Obgleich der anthropogene N-Eintrag zur Reduktion des Methanabbaus im Boden nicht ganz bewiesen ist, so ist doch ein Zusammenhang erkennbar, und die Stickstoffdüngung steht somit zumindest in Verdacht, die Methanoxidation zu hemmen (Flessa et al. 1998).

2.3 Globale und lokale Klimaschutzpolitik

Die vom Menschen verursachte Klimaänderung gehört zu den größten Bedrohungen der Menschheit. Die bisherige Lebensweise stellt die ökologische Dauerhaftigkeit als maßgebliches Kriterium für Entwicklung in Wirtschaft und Gesellschaft in Frage. Die Menschheit ist zur Zeit dabei, ein riesiges Experiment mit dem Klima durchzuführen („globales“, bzw. „geophysikalisches Experiment“), dessen endgültige Effekte bis heute niemand genau voraussehen kann und das sich auf das Klima, die Ökosysteme und den Meeresspiegel gravierend auswirken wird (Bach, 2000). Da die Emissionen bei der Verbrennung fossiler Energieträger nicht nur lokal begrenzte Umweltproble-

me hervorrufen, sondern über die CO₂-Emissionen zu globalen Klimaveränderungen führen, wird über die Einschränkung ihrer Nutzung zur Minderung der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre international diskutiert (Klimakonferenzen Rio, Kyoto, Bonn). Der Klima- und Ökosystemschutz erfordert drastische Reduktionen der durch menschliche Aktivitäten verursachten Treibhausgase vor allem in den Industrieländern. Auf der UNCED-Konferenz über Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro wurden 1992 erstmals die allgemeinen Ziele eines Aktionsprogramms für das 21. Jahrhundert festgelegt, und die Klimaschutzziele in einer Klimakonvention festgelegt. Basierend auf den wissenschaftlichen Erkenntnissen der Klima-Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages (1994) hat sich die Bundesregierung eine Reduktion des wichtigsten Klimagases CO₂ von 25 bis 30 % zwischen 1990 und 2005, oder ca. 2%/a, zum Ziel gesetzt.

Für die Umsetzung nachhaltiger Entwicklung gelten Grundsätze, wie sie von der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages „Zum Schutze des Menschen und der Umwelt“ formuliert wurden (EK, 1994):

- Die Abbaurrate erneuerbarer Ressourcen darf ihre Regenerationsrate nicht übersteigen,
- nicht erneuerbare Ressourcen dürfen nur in dem Maße genutzt werden, wie ein gleichwertiger Ersatz an erneuerbaren Ressourcen geschaffen wird,
- die Emissionen dürfen die Regenerationsfähigkeit der Umwelt nicht übersteigen,
- Immissionen dürfen keine Beeinträchtigung der Gesundheit verursachen,
- der Ertrag des Ressourceneinsatzes muß durch menschliche Gestaltungsfähigkeit und Kreativität gesteigert werden.

Vor dem Hintergrund der angestrebten Verminderung der anthropogenen CO₂-Freisetzung und der Forderung nach weitgehender biologischer Abbaubarkeit von Verbrauchsgütern wird die Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen als regenerative Energieträger und umweltentlastende Rohstoffe immer wichtiger.

Die Wärmeschutzverordnung von 1995 hat zum Ziel, den Energiebedarf umbauter Räume um etwa ein Drittel gegenüber der WSVO 1992 zu senken, sowie die CO₂-Emissionen zu verringern. Ca. 25 % der CO₂-Emissionen (300 Mio. t CO₂) stammen aus privaten Haushalten. Wird dieser Wert in Zukunft um nur 15% reduziert, entspricht dies in etwa einer Menge von 45 Mio. t dieses Treibhaus-Gases pro Jahr. Hier besteht also eine Möglichkeit, für alle als Gewinner (Nutzer wie Hersteller und Handwerk - aber auch für das globale Klima) einen Teil der versprochenen Umweltschutz-Maßnahmen (Klimakonferenz Rio 1992) einzulösen.

Tab. 2.2: Entwicklung des Dämmstandards bei Neubauten

Anforderungskatalog	Heizenergiebedarf [kWh/(m ² a)]
vor 1977	210 - 260
WSVO 1977	150 - 225
WSVO 1984	120 - 180
WSVO 1995	54 - 100
ESVO 2000	37 - 67

Quelle: Landesinst. f. Bauwesen NRW (1999).

In diesem Jahr soll die WSVO von der „Energiesparverordnung“ abgelöst werden (Tab. 2.2), die eine Verringerung des Heizenergieverbrauches von ca. 30 % gegenüber der vorigen Verordnung vorsieht. Emissionen aus Energiegewinnung, bzw. -verschwendung werden in den nächsten Jahren allerdings noch weiter steigen.

Der Anstieg des Weltenergieverbrauches beschleunigt sich. Da die konkreten Maßnahmen zur Erreichung des gewünschten Klimaschutzes auf kommunaler Ebene eingeleitet und umgesetzt werden, beschloß der Haupt- und Finanzausschuß der Stadt Münster die Einrichtung eines Beirats für Klima und Energie. Der Beirat bekam den Auftrag, in den Bereichen Bauen und Wohnen, Tertiärer Sektor, Umwandlung und Industrie sowie Verkehr konkrete Handlungsempfehlungen zur Erreichung des 25 - 30%igen CO₂-Reduktionsziels zu erarbeiten. Der Rat der Stadt Münster hat sich mit dem Beitritt zum Klimabündnis 1995 dazu verpflichtet, die CO₂-Emissionen (pro Einwohner) im Vergleich zum Jahr 1987 zu halbieren, und das von der Bundesregierung postulierte Ziel einer 25 - 30 %-igen CO₂-Minderung bis zum Jahre 2005 auf kommunaler Ebene zu erreichen. Hierfür hat der Beirat für Klima und Energie der Stadt Münster (1995) Handlungsempfehlungen für Maßnahmen zur CO₂-Minderung herausgegeben (Endbericht des Beirates für Klima und Energie der Stadt Münster 1995). Der Beirat hat sich in seiner Tätigkeit im Detail mit den Möglichkeiten der Energieeinsparung und CO₂-Minderung in vielen für Münster wichtigen Bereichen beschäftigt, wie z. B. mit dem Bereich „Wohnungsbau und Altbaubestand durch Wärmedämmung“, bzw. „Empfehlungen aus dem Bereich Bauen und Wohnen“.

Darüberhinaus hat die Stadt Münster 1993 das „Handlungsprogramm Wohnen“ beschlossen, welches die Grundlage für die Entwicklung des Wohnungsbaus in Münster bis zum Jahr 2010 bildet. Danach sollen die planerischen Voraussetzungen für die Errichtung von mindestens 1800 Wohnungen jährlich geschaffen werden. Die Stadt hat seit 1992 neue Wohngebiete ausgewiesen, in denen sich neue Wohnungen im Bau befinden und fertiggestellt worden sind bzw. noch werden (Der Oberstadtdirektor der Stadt Münster in: Bauen in Münster, Aktuelle Informationen zum Wohnungsbau in Münster, 1996). Der Beirat für Klima und Energie der Stadt Münster schreibt in seinen Empfehlungen für den Bereich Bauen und Wohnen u. a., daß in Altbau-Wohngebäuden der Raumwärmebedarf von durchschnittl. 200 kWh/m²a um mindestens 50 kWh/m²a durch gezielte Maßnahmen wie bessere Fenster und Dämmung im Dachbereich und der Außenwände und effizientere Heiztechnologie gesenkt werden soll (Empfehlung B5). Auch wird empfohlen, stadteigene Neubauten ausschließlich

nach Niedrigenergiehausstandard und mit möglichst geringen Stromverbräuchen zu errichten. Insgesamt soll in diesem Bereich eine Minderung von 7,0 % erfolgen (Endbericht des Beirats für Klima und Energie der Stadt Münster, 1995).

Tab. 2.3: Mögliche CO₂-Reduktionen in Münster bis 2005

Untersuchte Bereiche	Minderungspotentiale	
	in kt CO ₂ /a	in % *
Wohnungsbereich (Dämmung, Heizung, Solarnutzung)	- 158	- 7,0
Tertiärer Sektor (Stromeinsparung und -substitution)	- 66	- 2,9
Umwandlungsbereich (Erdgas, GuD, BHKW)	- 264	- 11,7
Verkehrsbereich (Verkehrsvermeidung u. -verlagerung)	- 36	- 1,6
Summe	- 524	- 23,2

* Prozentangaben beziehen sich auf die CO₂-Gesamtemission in Münster 1990 von 2,26 Mio. t und berücksichtigen nur die quantifizierten Empfehlungen

Quelle: Stadt Münster (1995).

Das, was in Industrieländern an Einsparungen erreicht wird, wird von den Entwicklungsländern mit ihrem Nachholbedarf an Industrialisierung überkompensiert. Nachwachsende Rohstoffe (einschließlich Holz) bieten neben den direkten Energieeinsparungen heute den wirkungsvollsten Ansatzpunkt zu einer nachhaltigen Politik; Hanf leistet dazu einen bedeutenden Beitrag.

Denn eine wichtige primäre Einflußgröße für Umweltschutz und Ressourcenschonung ist der rationelle Energieeinsatz. In diesem Zusammenhang ist bedeutend, daß ein großer Teil des Energieverbrauchs in Deutschland auf den Gebäudebereich entfällt. Etwa 37 % des gesamten Endenergieverbrauchs in Deutschland wird für die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser benötigt (BMBAU, 1995). Eine bessere Wärmedämmung gilt als schnellste und wirksamste Maßnahme zur Reduzierung des Energieverbrauchs und des CO₂-Ausstoßes. Das Bestreben zur Reduktion von Energiebedarf und Emissionen sollte jedoch nicht dazu führen, daß Baustoffe eingesetzt werden, die bei der Herstellung (hoher Primärenergieeinsatz), im eingebauten Zustand (Emission von toxischen Stoffen) oder bei der Entsorgung (Belastung von Grundwasser oder Boden) zusätzliche negative ökologische Eigenschaften besitzen. Um den (klimarelevanten) Umweltbelastungen wirksam zu begegnen, sollten ökologisch unbedenkliche Baustoffe mit einer langen Lebensdauer Verwendung finden. Eine wichtige Größe im Rahmen einer ökologischen Bewertung für Produkte von Hanf-Dämmmaterialien ist der Primärenergieaufwand, der eine indirekte Größe für die Emissionen von treibhauswirksamen Klimagasen darstellt (sh. auch Abb. 7.2).

3 **Nachwachsende Rohstoffe**

Noch zu Beginn des 19. Jahrhunderts wurde der Bedarf an chemischen Grundstoffen allein aus nachwachsenden Rohstoffen gedeckt, und erst seit 1850 setzte die chemische Industrie vermehrt Kohle ein. Erdöl gewann seit den vierziger Jahren dieses Jahrhunderts zunehmend an Bedeutung und ist seitdem – trotz Verdopplung des industriellen Einsatzes an nachwachsenden Rohstoffen seit Beginn der siebziger Jahre – die mit Abstand wichtigste Rohstoffquelle der chemischen Industrie geblieben.

Bis zur Entdeckung der Kohle lieferten Pflanzen und Tiere nicht nur Nahrung, sondern auch Baustoffe, Grundstoffe für Kleidung und Chemie sowie Energie. Sie stellten über Jahrtausende über 90 % der stofflichen und energetischen Ressourcen der Menschheit. Mit Beginn der Verwendung der Kohle, besonders ab 1900 mit Nutzung des Erdöls, wurden nachwachsende Rohstoffe weitgehend verdrängt. Der Begriff „Nachwachsende Rohstoffe“ ist nicht neu, gewinnt jedoch seit einigen Jahren zunehmend an Bedeutung. Spätestens mit dem Leitbild des „sustainable development“, der nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung, das bei der Konferenz der UN für Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio über 150 Regierungen übereinstimmend festgeschrieben haben, wird das Thema „Nachwachsende Rohstoffe“ in Politik, Industrie und Öffentlichkeit intensiv und zugleich auch kontrovers diskutiert.

Die Erdöl- und Energiekrise 1973 machte die Endlichkeit fossiler Ressourcen und die Abhängigkeit der Industrie und Wirtschaft vom fossilen Energieträger Erdöl sehr deutlich, da die Volkswirtschaft der Bundesrepublik sehr rohstoffarm ist. Der Begriff „Nachwachsende Rohstoffe“ – häufig auch als regenerative oder native Rohstoffe synonym verwendet – gewann vor diesem Hintergrund zunehmend an Bedeutung. Um die Rohstoffbasis zu verbreitern und die Abhängigkeit vom Erdöl zu verringern, wurden Lösungswege zur Nutzung pflanzlicher und tierischer Erzeugnisse für die Energiegewinnung und die Herstellung von industriellen Rohstoffen und daraus hergestellten Produkten diskutiert. Deutschland und andere europäische Staaten haben daraufhin große Anstrengungen unternommen, heimische Erdöl- und Erdgasreserven zu erschließen und nach alternativen Energie- und Rohstoffträgern zu suchen. Es wurden Forschungsprogramme zur Substitution von chemischen Grundprodukten auf der Basis von nachwachsenden Rohstoffen durchgeführt, um den Bedarf an Rohstoffen und Energie zumindest teilweise aus inländischen Ressourcen decken zu können. Seitdem hat die Konzentration auf einzelne Rohstoffe, Verwendungsmöglichkeiten und die begleitende Erwartungshaltung eine fortlaufende Weiterentwicklung und Veränderung erfahren. Ihre Popularität verdanken nachwachsende Rohstoffe vor allem einzelnen „Hoffnungsträgern“ wie Flachs, Miscanthus und Hanf, die in den Medien große Beachtung fanden (Katalyse, 1998). Gründe für den Anbau und Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen waren in den 70er Jahren: eine alternative Energieerzeugung zur Kernenergie und fossilen Energieträgern zu schaffen und in den 80er

und 90er Jahren: einen Beitrag zur Umwelt- und Klimaschutzdiskussion (Forderung nach sanfter Chemie mit biologisch abbaubaren Produkten und Minderung des Treibhauseffektes) zu leisten.

3.1 Definition

Der Begriff „Nachwachsende Rohstoffe“ wird in der Literatur nicht einheitlich definiert und hat seit anfang der 90er Jahre neue und insgesamt größere Bedeutung gefunden. Es werden darunter Anwendungen von pflanzlichen und tierischen Produkten außerhalb des Nahrungs- und Futtermittelsektors verstanden, deren Rohstoffe biologisch erneuerbar sind und unter Nutzung von Sonnenenergie entstehen. Es handelt sich um einen Sammelbegriff, der nicht mineralische oder nicht fossile Rohstoffe beinhaltet, die zur Energieerzeugung herangezogen werden oder eine Verwendung im industriellen oder gewerblichen Verarbeitungsprozeß erfahren können (Katalyse, 1998). Bei der Nutzung unterscheidet man die energetische von der chemisch-technischen Nutzung (sh. Abb. 3.1).

„Nachwachsende Rohstoffe sind Stoffe, die aus lebender Materie stammen und vom Menschen zielgerichtet für Zwecke außerhalb des Nahrungs- und Futterbereiches verwendet werden“ Mann (1998). Hier werden also auch tierische Produkte wie Schafwolle oder Rindertalg mit eingeschlossen. Mit der zielgerichteten Verwendung durch den Menschen ist gemeint, daß die gewonnenen Rohstoffe für bestimmte Zwecke angebaut wurden und gebraucht werden und nicht nur als Nebenprodukt anfallen (z. B. Sroh). In den meisten Fällen geht es neben der industriellen Weiterverarbeitung um die Substitution von fossilen Rohstoffen, insbesondere Erdöl, durch pflanzliche Energieträger aus der Land- und Forstwirtschaft.

„Nachwachsende Rohstoffe sind land- und forstwirtschaftlich erzeugte Produkte, die einer Verwendung im Nichtnahrungsbereich zugeführt werden“ FNR (1999b). Im Gegensatz zu fossilen Rohstoffen erneuern sie sich jährlich oder in überschaubaren Zeiträumen. Organisches, auf Äckern und in Wäldern gewachsenes Material dient als Grundstoff für vielfältige Produkte und für eine energetische Verwendung. Die biochemische Syntheseleistung der Natur wird direkt genutzt, wodurch sie nahezu unbegrenzt zur Verfügung stehen (Müller et al., 1996).

Die Verwendung und Entwicklung von nachwachsenden Rohstoffen im Non-Food-Bereich ist vielfältig und verfolgt folgende Ziele (Katalyse, 1998):

- Schonung fossiler, begrenzter Ressourcen,
- Vermeidung zusätzlicher Kohlendioxid-Emissionen zum Schutz des Klimas,
- Beitrag zum Umweltschutz durch Bioabbaubarkeit bei der Verwendung dieser Produkte,
- Erhöhung der Artenvielfalt in der Landwirtschaft und Vermeidung zusätzlicher Belastungen von Boden und Wasser,

- Verwendung der Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen im Raum ihrer Entstehung zwecks Vermeidung von energie- und kostenaufwendigen Transporten
⇒ Sicherung und Schaffung von Arbeitsplätzen im ländlichen Raum und Stärkung ländlicher Regionen.

NACHWACHSENDE ROHSTOFFE

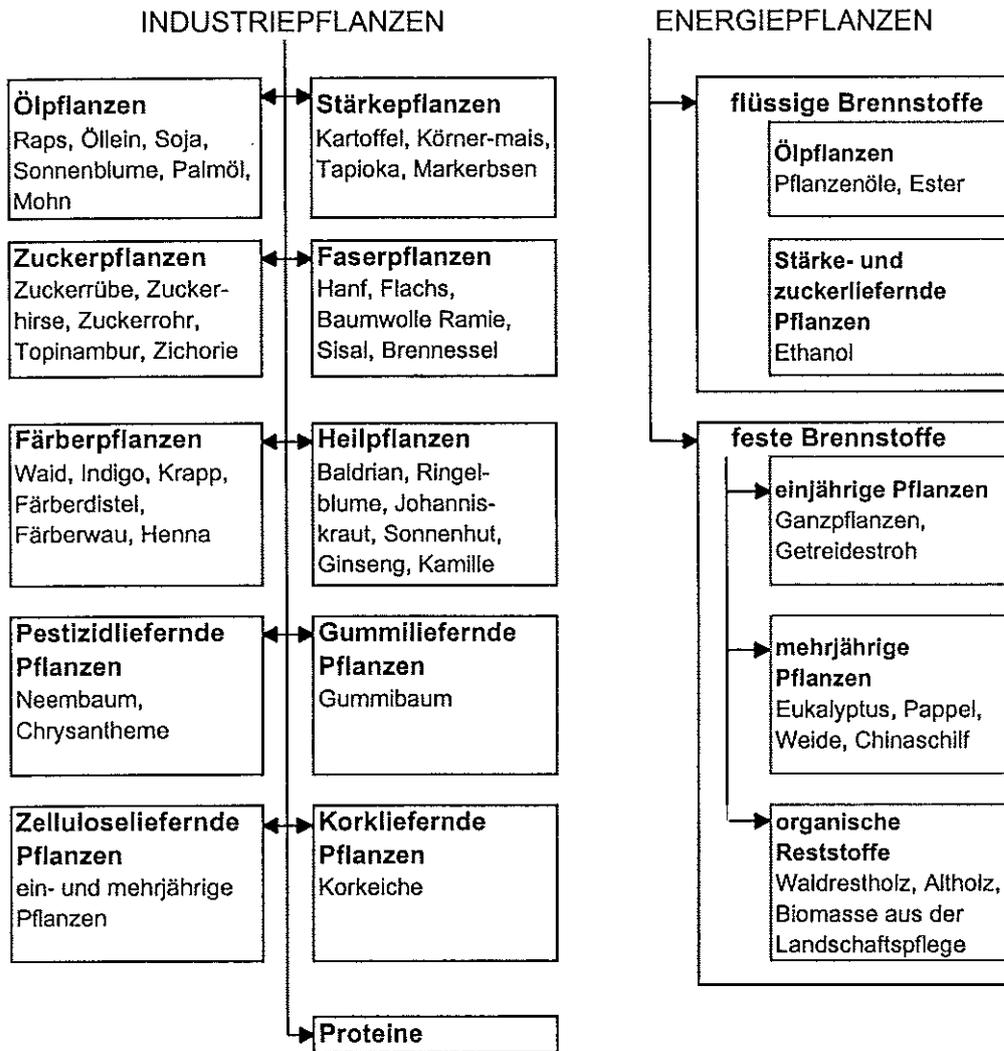


Abb. 3.1: Übersicht: Nachwachsende Rohstoffe

Quelle: Katalyse (1998).

Auch bei Verbrauchern manifestiert sich eine zunehmende Nachfrage nach natürlichen und umweltfreundlichen Produkten, die aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden. Nachwachsende Rohstoffe sind somit wichtige Elemente einer umweltaktiven Vorsorge, die sich dadurch auszeichnet, daß umwelt- und gesundheitlich bedenkliche Substanzen und Abfall vermieden werden und natürliche, bzw. naturnahe Rohstoffe Verwendung finden (Katalyse, 1998).

Hanf (*Cannabis sativa* L.) bildet den pflanzlichen Rohstoff, der in der Abb. 3.1 unter den Industriepflanzen bei der Faserpflanze eingeordnet ist. Unter Industriepflanzen werden Pflanzen verstanden, deren Inhaltskomponenten stoffwirtschaftlich als Roh-, Hilfs-, Zusatz- oder Endstoff (z. B. die Fasern) im gewerblich-industriellen Anwen-

dungsbereich (z. B. in der Dämmstoffindustrie) verwertet werden, wobei jeweils eine Inhaltskomponente für einen bestimmten Zweck genutzt wird (Katalyse, 1998). Diese Industriepflanze wird als nachwachsender Rohstoff landwirtschaftlich angebaut, findet im Non-Food-Bereich eine stoffliche, zielgerichtete Verwendung (z. B. als Dämmstoffe aus Fasern und Schäben) und wird industriell verarbeitet. Hauptaugenmerk dieser Arbeit liegt auf die Verarbeitung der Hanffasern zu Dämmmaterialien und deren Nutzung als solche sowie die Ökobilanzierung hinsichtlich des Substitutionspotentials zu herkömmlichen Dämmmaterialien.

3.2 Anbau

Seit den 80er Jahren ist ein stetiger Aufwärtstrend bei den Anbauzahlen für nachwachsende Rohstoffe zu verzeichnen. Tab. 3.1 zeigt, daß 1999 auf rund 744.000 ha (sechsmal mehr als im Anbaujahr 1985) nachwachsende Rohstoffe wuchsen, das entspricht etwa 6 % der Ackerfläche Deutschlands.

Tab. 3.1: Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland 1985 - 1999 in ha

Pflanze	Rohstoff	1985	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Raps	Öl	30.000	125.000	192.745	335.523	231.915	186.149	224.270	372.722
Kartoffel, Weizen, Mais	Stärke	80.000	107.000	116.000	125.700	123.060	123.000	125.000	125.000
Öllein	Öl	16	31.000	30.755	57.269	87.290	96.659	110.443	201.088
Sonnenblume	Öl	1.000	11.000	14.094	40.176	29.662	23.068	24.120	27.999
Zuckerrübe	Zucker	2.900	6.000	9.000	8.000	8.000	7.000	7.000	7.000
Heilpflanzen	Extrakte	7.000	3.000	2.961	4.929	4.611	4.021	4.933	4.949
Hanf	Fasern	0	0	0	0	1.423	2.812	3.553	4.066
Flachs	Fasern	0	975	1.741	3.642	4.595	1.362	416	570
Sonstiges		1.000	2.000	8.152	5.930	1.056	205	318	642
Gesamt		121.916	274.975	375.448	581.169	491.612	444.276	500.053	744.036

Quelle: BMELF u. nova-Inst. (1999) In: MIH-Internetdienstleistungszentrum (www.nova-institut.de/mih)

Sowohl der Anbauumfang als auch das Spektrum der Anwendungsbereiche der nachwachsenden Rohstoffe nimmt jährlich zu. Die Gründe dafür sind ökonomischer und ökologischer Art. Zahlreicher werdende Verwendungsmöglichkeiten durch industrielle Entwicklung und moderne Technologie sowie zunehmende Nachhaltigkeit durch Substitution fossiler Rohstoffe sind zwei Hauptkriterien für die steigende Nachfrage (sh. Kap. 6).

1999 war Raps mit einer Anbaufläche von knapp 370.000 ha die Nummer Eins unter den nachwachsenden Rohstoffen, gefolgt von 229.000 ha Lein und Sonnenblumen. Der Hanfanbau erfährt seit seinen Anfängen eine stetige Zunahme, während der Flachs-anbau seit seiner intensiven Förderung zu Beginn der 80er Jahre zunehmend an Bedeutung verliert.

3.3 Produkte

Die Einsatzmöglichkeiten von nachwachsenden Rohstoffen haben sich in den letzten Jahren vervielfacht. Die heutigen Einsatzgebiete reichen von chemischen Grundstoffen über Brenn-, Kraft- und Schmierstoffe bis hin zu Klebstoffen, Pharmazeutika, Dämmstoffen, Bio-Kunststoffen und Faserverbundwerkstoffen für Autoinnenteile. Die nachwachsenden Rohstoffe für diese Einsatzbereiche werden primär aus Ölpflanzen, Stärkepflanzen, Zuckerpflanzen, Faserpflanzen und Energiepflanzen gewonnen. Die Produkte, die sich aus einheimischen Industrie- und Energiepflanzen herstellen lassen, sowie deren Rohstoffe sind in Tab. 3.2 dargestellt. Einen wahren Siegeszug haben einheimische nachwachsende Rohstoffe in Produktlinien im chemisch-technischen Bereich und beim Bio-Diesel (auch RME-Rapsölmethylester) erfahren (Kap. 3.6) (Kaup, 1999).

Tab. 3.2: Ausgewählte einheimische Pflanzen¹⁾ zur industriellen Verwertung und deren Rohstoffe als Grundlage verschiedener Endprodukte

Industriepflanzen	Rohstoffe	Endprodukte
Raps, Rübsen, Senf, Crambe, Leindotter, Sonnenblume, Wolfsmilch	Pflanzenöl	Kosmetika, Schmierstoffe, Hydrauliköle, Motoröle, Getriebeöle, Tenside, Farben und Lacke, Lösungsmittel, Waschmittel, Additive, Bio-Polymere
Öllein	Leinöl	Farben und Lacke, Lasuren, Linoleum, Weichmacher, Alkydharze
Mais, Weizen, Kartoffeln	Stärke	Papier, Pappe, Verpackungen, Textilien, Bio-Kunststoffe (Folien)
Zuckerrübe, Zuckerhirse, Topinambur, Zichorie	Zucker	Folien, Waschmittel, Papier, Pappe, Arzneien
Arznei- und Gewürzpflanzen	Extrakte	Pharmaka, ätherische Öle, Kosmetika
Flachs (Faserlein)	Fasern	Textilien, Dämmstoffe, Papier, Garn, Formpreißeile
Hanf	Fasern	Textilien, Dämmstoffe, Papier, Garn, Spezialzellstoff, Vliese u. Filze
	Hanföl	Kosmetika, Speiseöl, Tenside
Waid, Saflor, Krapp, Wau	Farbstoffe	Farben, Lacke
Holz	Cellulose	Papier, Pappe, Zigarettenfilter, Zellstoff
	Holz	Bauholz, Möbel, Spielwaren
Energiepflanzen	Rohstoffe	Endprodukte
Zuckerrüben, Kartoffeln, Mais, Getreide	Zucker, Stärke	Bioethanol (Kraftstoff), Additive
Raps	Rapsöl	Biodiesel, Naturdiesel (Kraftstoff) Rapsöl als Brennstoff
Holz, Gräser, Stroh, Getreideganzpflanzen, Miscanthus (Chinaschilf)	Stückholz, Ganzpflanze, Stroh, Pellets, Hackschnitzel	Wärme, Dampf, Strom

¹⁾ Anbauvoraussetzungen in Deutschland sind gegeben

Quellen: Carmen (2000) und Kaup (1999).

Neben den Produkten, die sich bereits etablieren, steht die Markteinführung biologisch abbaubarer Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen noch bevor. Als ebenfalls zukunftsträchtig betrachtet man biologische Schmier- und Treibstoffe sowie die Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung (Meyer, 1999).

3.4 **Umweltpolitische Bedeutung**

Die Förderung nachwachsender Rohstoffe ist derzeit ein agrarpolitisches Ziel von hohem Rang. Einerseits wird damit ein Ausweg aus der landwirtschaftlichen Überproduktion von Lebensmitteln gesucht, andererseits zwingen die Probleme der Umweltschäden zu einer verstärkten Nutzung umweltgerechter und abbaubarer Materialien. Durch den Anbau dieser Pflanzen sollen zudem neue Einkommensquellen für die Landwirtschaft erschlossen werden.

Der Agrarbereich hat sich von einer Randstellung in der Umweltpolitik zu einem heute zentralen Problemfeld entwickelt. Eine kohärente Agrarumweltpolitik ist jedoch noch nicht zu erkennen; es dominieren fallweise Lösungsversuche für Einzelprobleme. Die Integration von Agrar- und Umweltpolitik steht auch international erst am Anfang. Ziel der deutschen Agrarumweltpolitik ist es, die schwerwiegendsten Schädigungen der natürlichen Schutzgüter zu beenden und künftigen Schädigungen vorzubeugen. Als Schäden sind da zu nennen (FNR, 1997):

- Beeinträchtigung und Beseitigung naturnaher Landschaften und Biotope (30 - 50 % der wildlebenden Pflanzen- und Tierarten sind dadurch in ihrer Existenz bedroht),
- Gefährdung des Grund- und Oberflächenwassers durch Eintrag von Nitrat und Pestiziden,
- Bodenbearbeitung verschlechtert das Bodengefüge und fördert die (Unter-) Bodenverdichtung, wodurch die natürlichen Regelungsfunktionen des Bodens beeinträchtigt sind,
- Drainage und Kanalisierung von Fließgewässern (Verminderung der Selbstreinigungskraft und Vernichtung von Biotopen),
- Luftbelastungen, insbesondere durch N₂O-Emissionen,
- Belastung von Nahrungsmitteln.

Industrie (Quadbeck-Seeger, 1997), Politik (Gröbl, 1997) und Landwirtschaft (Heereman von Zuydtwyck, 1997) sind sich darüber einig, daß sowohl für die Industrie als auch für die Landwirtschaft eine Wertschöpfung mit nachwachsenden Rohstoffen möglich ist. Für Hanf als ein nachwachsender Rohstoff ist auch die Umweltverträglichkeit weitgehend gegeben und akzeptiert, wobei die wichtigsten Umweltkriterien sind:

- schnelle und vollständige biologische Abbaubarkeit ⇒ Beitrag zur Lösung der Entsorgungs- und Abfallprobleme; Schutz der Gewässer,

- weitgehende CO₂-Neutralität, da das freigesetzte Kohlendioxid vorher beim Pflanzenwachstum gebunden wurde ⇒ Verringerung der CO₂-Emissionen (Beitrag zum Klimaschutz),
- Schonung der begrenzten fossilen Ressourcen Erdöl, Erdgas und Kohle ⇒ Beitrag zur langfristigen Verfügbarkeit dieser traditionellen Ressourcenbasis.

Zusammenfassend geht es um den Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen, der als ein Hauptziel der Umweltpolitik in zahlreichen Gesetzen verankert ist, wie es beispielsweise im § 1 Abs. 1 des Bundesnaturschutzgesetzes gefordert wird. Die Sicherung und Verbesserung der natürlichen Lebensgrundlagen gehört seit 1989 auch zu den Hauptzielen der bundesdeutschen Agrarpolitik (FNR, 1997).

„Umweltprobleme wie Treibhauseffekt, steigende Abfallmengen und die Übernutzung fossiler Ressourcen liefern der Diskussion um nachwachsende Rohstoffe entscheidende Argumente“ (Carmen, 2000). Der Treibhauseffekt ist ein globales, in seinen Auswirkungen nicht lokalisierbares Problem. Die Bundesregierung sieht daher in der „Entwicklung und Umsetzung einer umfassenden Klimaschutzstrategie“, die sowohl auf die internationale als auch auf die nationale Ebene orientiert ist, einen „Schwerpunkt der Umwelt- und Energiepolitik in den 90er Jahren“ (BMUNR, 1994). In die nationale Klimaschutzstrategie sind neben CO₂ auch die anderen klimarelevanten Gase, u. a. N₂O, ausdrücklich einbezogen (EK, 1994).

Die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen stellt vor diesem Hintergrund eine Alternative dar, da sie für eine kurz- bis langfristige Bindung von Kohlendioxid geeignet sind. Die Produkte aus den pflanzlichen Rohstoffen setzen nach Gebrauch bei ihrer Verbrennung oder bei der Kompostierung stets die Menge an CO₂ frei, die sie zuvor während ihres Wachstums der Atmosphäre entzogen haben. Im Gegensatz zu fossilen Rohstoffen sind sie dadurch weitgehend CO₂-neutral; die Stoff- und Energiekreisläufe sind de facto geschlossen. Ihre Verwendung kann helfen, den sich verstärkenden Treibhauseffekt abzumildern und den globalen Klimaveränderungen entgegenzuwirken. Außerdem stellt die Nutzung einen Einstieg in Kreislaufwirtschaftssysteme dar und erlaubt damit die Wirtschaftsform im Sinne des „Sustainable Development“ und der Agenda 21. Die Vielzahl der zur Verfügung stehenden Arten trägt dazu bei, die Vielfalt der Kulturlandschaft zu erweitern und die engen landwirtschaftlichen Fruchtfolgen aufzulockern. Ein häufiger Wechsel der angebauten Kulturen erhält nicht nur die Fruchtbarkeit des Bodens, sondern wirkt auch dem Schädlingsbefall entgegen (FNR, 1999b).

3.4.1 Leitbild Nachhaltige Entwicklung

Das Leitbild der „nachhaltigen Entwicklung“ (gleichbedeutend mit „dauerhaft und umweltgerecht“ oder „nachhaltig zukunftsverträglich“ oder „sustainable development“) stellt eine neue Konzeption sowohl der Raumordnungspolitik als auch der

Umweltpolitik dar. Denn seit dem Leitbild des „sustainable development“, das eine nachhaltige zukunftsverträgliche Entwicklung definiert, wurde mit dem Ziel der globalen Umweltpolitik der Weltumweltkonferenz in Rio 1992 von über 150 Regierungen auf eine veränderte Ressourcenpolitik eingegangen. Dadurch soll u. a. erreicht werden, daß die Industrienationen eine Erneuerung der Stoffströme anstreben, wozu eine Reduzierung des Stoffverbrauchs und eine Ausrichtung auf nachhaltige Nutzung zählen. Leitvorstellung der Raumordnung ist eine nachhaltige Raumentwicklung, die die sozialen und wirtschaftlichen Ansprüche an den Raum mit seinen ökologischen Funktionen in Einklang bringt (z. B. Agenda 2000). Im Hinblick auf die Umweltpolitik wird ein Handeln aller auf die Umwelt und die Raumentwicklung wirkenden gesellschaftlichen Gruppen, Produzenten und Konsumenten, öffentliche Institutionen und Privatpersonen dahingehend angestrebt, daß Umweltprobleme auch langfristig nicht mehr entstehen (vorsorgender Umweltschutz). Die betreffenden Umweltmedien dürfen dabei nur bis zu einem gewissen Umfang mit Schadstoffen belastet werden, in dem diese ohne substantielle Schädigung bzw. Beeinträchtigung auch wieder abgebaut werden können. Nicht erneuerbare Ressourcen (fossile Brennstoffe) sollen nur in dem Maße eingesetzt werden, wie der Ersatz an erneuerbaren Materialien zur Verfügung steht. Umweltschäden müssen auf ein vertretbares Maß reduziert werden, um die Lebensgrundlagen künftiger Generationen auch weiterhin zu erhalten (Katalyse, 1996; Enquete-Kommission, 1994; STMLU, 2000).

Folgende Regeln sind unter dem Aspekt des sustainable development bei einem nachhaltigen Wirtschaften einzuhalten (EK, 1994):

- Die Abbaurate erneuerbarer Ressourcen darf ihre Regenerationsrate nicht überschreiten, d. h. erneuerbare Rohstoffe sind so zu gewinnen und zu nutzen, daß die Leistungsfähigkeit der Ökosysteme, aus denen sie gewonnen werden, dauerhaft in allen Funktionen erhalten werden können,
- nicht erneuerbare Ressourcen dürfen nur in dem Umfang verwendet werden, in dem ein physisch gleichwertiger Ersatz in Form erneuerbarer Ressourcen oder höherer Produktivität der erneuerbaren Ressourcen geschaffen wird,
- Stoffeinträge in die Umwelt sollen sich an der Belastbarkeit der Umweltmedien orientieren, wobei alle Funktionen von Ökosystemen zu berücksichtigen sind.

Die Einbeziehung von nachwachsenden Rohstoffen spielt für die nachhaltige Entwicklung eine große Rolle, wenn eine Ressourcenschonung und ein möglichst geringer Energieeinsatz bei Produktion und Gebrauch realisiert werden soll. Die negativen Auswirkungen, die gerade Kohlendioxid auf die Weltklimaentwicklung hat, sind unstrittig und somit auch die zwingende Notwendigkeit, den Ausstoß dieses Treibhausgases zu reduzieren (EK, 1994; Bach, 2000).

Ob der Einsatz nachwachsender Rohstoffe letztlich auch nachhaltiges Wirtschaften bedeutet, darüber entscheidet nicht allein die Frage, ob dadurch fossile Ressourcen

geschont oder hierzulande agrarpolitische Probleme gelöst werden; sondern ausschlaggebend sind die Ergebnisse von Produktlinienanalysen und Ökobilanzen, die sämtliche Stationen – von der Rohstoffgewinnung über den Transport der Rohstoffe zum Ort der Verarbeitung bis hin zur Veredlung der Produkte und schließlich deren Abbaubarkeit – einer ökologischen Bewertung im Sinne eines nachhaltig zukunftsverträglichen Umgangs unterziehen und mit den entsprechenden Stationen der Verarbeitung fossiler Rohstoffe in Beziehung setzen (Lück u. Demuth, 1996). Siehe hierzu Kap. 8.

2.3.1 **Förderungen und Ziele**

Aufgrund der EU-Agrarreform von 1992 ist es möglich, auch auf stillliegenden Ackerflächen (Brachen) Pflanzen für den Non-food-Bereich anzubauen. Dadurch stieg der Anreiz für den Landwirt zum Anbau nachwachsender Rohstoffe und somit auch die Bedeutung dieser Pflanzen deutlich an. Auf einer gemeinsamen Konferenz im Juni 1995 haben die Agrar- und Umweltminister der Länder einen Beschluß zu nachwachsenden Rohstoffen gefaßt. Sie stimmten im Ergebnis darin überein, daß diese Rohstoffe unter bestimmten Voraussetzungen einen Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz, zur Schonung endlicher fossiler Rohstoffe sowie zur Verminderung von Überschüssen in der Landwirtschaft leisten können. Sie befürworteten den Anbau, Verarbeitung und Verwertung nachwachsender Rohstoffe gegenüber fossilen Rohstoffen dann, wenn dies insgesamt mit positiven Umweltwirkungen verbunden ist und Wettbewerbsfähigkeit hergestellt wird. Für diesen Fall halten sie eine grundlegende Verbesserung der Rahmenbedingungen für die Produktion, den Absatz und die Verwertung nachwachsender Rohstoffe für dringend erforderlich. Eine umfassende Bewertung der Umweltwirkungen ist erforderlich, wobei als Instrument die Ökobilanzierung dienen kann (BMELF, 1995).

Durch den Beschluß der Agrarminister der EU vom Juni 1998 sollen mit der Agenda 2000 nachwachsende Rohstoffe Bestandteil der bevorstehenden Agrarreformen werden. Ziel der interdisziplinären Forschungsarbeiten ist es, Alternativen der Rohstoff- und Energieversorgung aufzuzeigen und derart aufzubereiten, daß nachhaltiges Wirtschaften belohnt und mit marktwirtschaftlichen Mechanismen erfolgreich gestaltet wird (Sonnenberg, 1999).

Im Rahmen des 5. Symposiums „Nachwachsende Rohstoffe“ 1997 unterstützte der parlamentarische Staatssekretär W. Gröbl die Förderung nachwachsender Rohstoffe aus Gründen des Umweltschutzes, denn es sei „wichtig, daß die Erzeugung, Verarbeitung, Nutzung und Entsorgung dieser Rohstoffe im Einklang mit der Natur erfolgen“. Zudem sei bei der Suche der Landwirtschaft nach Produktionsalternativen aus agrarpolitischer Sicht der Anbau und die Erzeugung nachwachsender Rohstoffe von besonderer Bedeutung. Durch die Förderung könnten die Industrie gestärkt und neue Absatzmärkte erschlossen werden, denn die Produkte seien auch für internationale

Märkte interessant, und die Ansprüche der Verbraucher würden hierdurch befriedigt (W. Gröbl, 1997).

Ähnlich äußert sich auch O. Jux (1998), Vertreter des BMELF auf der Auftaktveranstaltung „Marktinnoation Hanf“ am 14.5.98 in Köln. Dabei schätzte er die Entwicklung des Hanfsektors als positiv ein und versicherte, daß „das Bundeslandwirtschaftsministerium – soweit möglich – seinen Teil dazu beitragen wird, daß sich ein vitaler und wachsender Wirtschaftsteil, der einer steigenden Zahl von Beschäftigten Arbeit gibt, etablieren kann“. Gleichzeitig befürchtet das BMELF, daß der Hanfanbau und die Existenz der bestehenden und im Aufbau befindlichen Anlagen zur Hanfstrohverarbeitung wirtschaftlich sehr gefährdet wären, sollte der Vorschlag der EU-Kommission, die Prämie für den Hanfanbau um 25 % zu senken, beschlossen werden (BMELF, 1998).

Im Agrarbericht der Bundesregierung 1999 heißt es unter dem Punkt „Ziele und Schwerpunkte der Agrar- und Ernährungspolitik“, daß die Bundesregierung die Entwicklung einer umweltverträglichen Landwirtschaft unterstützen wird, wobei als Leitbild der nachhaltig wirtschaftende Betrieb dient. In ökologischer Hinsicht zeichne sich dieser durch eine umweltverträgliche Wirtschaftsweise aus (u. a. verringerte Emissionen von umweltschädlichen Stoffen, eine verbesserte Energieeffizienz, hohe Bodenfruchtbarkeit und geschlossene Stoffkreisläufe). Daneben setzt sich die Bundesregierung für eine deutliche Stärkung des ökologischen Landbaus ein. Weiter heißt es in dem Bericht: „Unter den nachwachsenden Rohstoffen wird sie die Markteinführung derjenigen Produktlinien verstärkt fördern, die für die Umwelt besonders positive Beiträge bringen“. Für den Bereich „Nachwachsende Rohstoffe“ steht mit 51 Mio. DM ein Betrag zur Verfügung, der die Umsetzung geplanter und erwarteter Vorhaben erlaubt. Dieser Betrag entspricht ca. 0,44 % des gesamten Agrarhaushaltes des Bundes 1999 (BMELF, 1999).

Um die begrenzt zur Verfügung stehenden Mittel für Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben möglichst effizient einzusetzen, sollten nur die Faserpflanzen Flachs und Hanf in die Förderung einbezogen werden. Vorrangig ist die Entwicklung marktnaher Produkte zu unterstützen, so das BMELF (1998).

Die EU setzt im Bereich „Nachwachsende Rohstoffe“ auf die chemisch-technische und energetische Nutzung von Biomasse, die in spezifischen Programmen gefördert werden. Ziel ist die Entwicklung neuer Märkte, Produkte und Verfahren für die in der Landwirtschaft erzeugten Rohstoffe. Mit diversen Energieprogrammen strebt die EU eine Erhöhung des Anteils alternativer Energien an der Deckung des Gesamtbedarfs an. Damit einhergehen soll eine Verringerung der CO₂-Emissionen um rd. 180 Mio. t bis zum Jahr 2005 sowie eine Verdreifachung der Elektrizitätserzeugung aus erneuerbaren Energieträgern (Gröbl, 1997).

Daß nachwachsende Rohstoffe zunehmend zu einer immer wichtiger werdenden Einnahmequelle für die Landwirtschaft werden, wird daran deutlich, daß auch immer mehr Bundesländer Forschungsvorhaben im Bereich der nachwachsenden Rohstoffe unterstützen. 1999 beschloß das Land Sachsen, künftig Forschungsvorhaben in diesem Bereich mit jährlich 1,9 Mio. DM zu unterstützen. Im Mittelpunkt stehen dabei Anbau und Verwertung von Naturfasern (Flachs und Hanf), Pflanzen zur Ölgewinnung (Raps und Sonnenblumen) sowie Zucker- und Stärkepflanzen (Zuckerrüben, Mais, Kartoffeln).

Zusammenfassend kann man sagen, daß im Mittelpunkt der Förderung anwendungsorientierte Forschungs- und Entwicklungsvorhaben mit folgenden Schwerpunkten stehen (Müller et al., 1996):

- Entwicklung von Maßstäben zur ökonomischen und ökologischen Bewertung nachwachsender Rohstoffe,
- Züchtung von leistungsfähigen Sorten mit maßgeschneiderten Inhaltsstoffen und pflanzenbaulichen Aspekten,
- gezielte Förderung aussichtsreicher Produktlinien,
- energetische Nutzung von Biomasse.

Nach Vogl et al. (1997) sowie Menge-Hartmann und Höppner (1999) sind mit den derzeitigen Anbauvorschriften im Rahmen der Beihilferegelung keine hohen Fasererträge und gute Qualitäten zu realisieren (sh. Kap. 5.3 u. 5.4). Nur ein entsprechender Druck der Hanfanbauländer auf die entsprechenden Stellen in Brüssel könnte nach Vogl et al. (1997) das genannte Problem entschärfen.

Nach Waskow (1995) liegt die tatsächliche Zukunftsentscheidung für den Hanf darin, daß ausreichende Forschungsgelder für die Entwicklung von Produktlinien zur Verfügung gestellt werden. Zudem fördert die Bundesregierung im Bereich der nachwachsenden Rohstoffe zu einseitig (z. B. Biodiesel), was nicht im Sinne einer Neuorientierung der Rohstoffpolitik liegen könne.

3.4.3 Private und öffentliche Investitionen in D und EU

Im Gegensatz zum Flachs, der bereits seit den 80er Jahren gefördert wird, fließen Mittel für die Nutzung von Hanf in Deutschland erst seit der zweiten Hälfte der 90er Jahre, nachdem der Anbau wieder zugelassen worden war.

Es werden sowohl auf Länder-, Bundes- und EU-Ebene als auch im privatwirtschaftlichen Bereich seit mehreren Jahren Anstrengungen unternommen, um die beiden bedeutendsten deutschen Pflanzenfasern am Markt zu etablieren. Seit 1993 ist die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) für Projektförderungen im Sektor Flachs und Hanf zuständig. Nach Waskow (1996) haben weder 10 Jahre Flachsfor-schung noch 60 Mio. DM Fördergelder zu einer Neuetablierung des Flachses geführt; von sechs Flachs-Schwingen (Fasergewinnungsanlagen) gibt es heute nur noch eine.

Im Zeitraum von 1989 bis 2000 wurden zur Entwicklung der Produktlinie Pflanzenfasern Finanzmittel in Höhe von über 52 Mio. DM bereitgestellt, wobei vom Bund 33 Mio. DM und privat 19 Mio. DM für die Entwicklung aufgebracht wurden. Flachs- und Hanfunternehmen haben in Erntetechnik, Faseraufschlußtechnik und Weiterverarbeitung zwischen 1995 und 2000 Summen von 125 Mio. DM aufgebracht, wovon 55 Mio. aus öffentlichen Mitteln stammen. Die vierzehn bislang von der BfLE zugelassenen Erstverarbeiter von Flachs- und Hanfstroh haben für ihre Produktionsanlagen bereits über 43 Mio. DM ausgegeben; vier weitere Unternehmen bauen derzeit Faserkapazitäten auf, für die sie bereits knapp 24 Mio. DM aufgebracht haben. Insgesamt beabsichtigen alle Unternehmen zusammen, weitere 150 Mio. DM zu investieren (Karus et al., 2000).

Darüber hinaus standen neben nationalen Fördermitteln für eine Vielzahl von Projekten auch Mittel der EU zur Verfügung. Eine sichere Angabe stellt die Gesamtfördersumme von 1982 - 2002 über 101 Mio. DM dar. Hierbei handelt es sich bei den Förderprojekten zum Großteil um die Entwicklung neuer technischer Anwendungen für Flachs- und Hanffasern und die dazugehörigen Rahmenbedingungen (z. B. geeignete Sorten). Die genaue Summe aus privater Hand ließ sich EU-weit (ohne D) nicht exakt ermitteln; eine untere Abschätzung der tatsächlichen Ausgaben liegt bei ca. 25 Mio. Euro (Karus et al., 2000).

3.5 Bedeutung für die Landwirtschaft

Durch die Nahrungsüberschüsse in der Landwirtschaft begann in den 80er Jahren eine systematische Beschäftigung mit nachwachsenden Rohstoffen, die bis heute andauert. Folge war, daß auf für die Nahrungsmittelproduktion stillgelegten Flächen nachwachsende Rohstoffe angebaut werden dürfen, ohne daß die Stilllegungsprämie verloren geht.

Ein wichtiger volkswirtschaftlicher Aspekt beim Anbau nachwachsender Rohstoffe ist der Erhalt und die Entwicklung landwirtschaftlicher Nutzflächen. Die Anbaufläche nimmt seit Anfang der 80er Jahre stetig zu (sh. Tab. 3.1), und die Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ hat für das Jahr 2010 ein Potential für Deutschland von 960.000 ha für den Anbau nachwachsender Rohstoffe prognostiziert. Als Alternative zur Nahrungsmittelerzeugung gewinnt die Produktion nachwachsender Rohstoffe für die Landwirtschaft zunehmend an Bedeutung. Um der Überproduktion an Nahrungsmitteln entgegenzuwirken, verpflichtet der Staat die Landwirte, jährlich einen bestimmten Anteil (1999: 10 %) ihrer Flächen stillzulegen, d. h. aus der Nutzung herauszunehmen. Als Ausgleich erhalten Landwirte die sog. Stilllegungsprämie. Die Landwirte haben seit 1992 die Möglichkeit, auf den stillgelegten Flächen nachwachsende Rohstoffe anzubauen, ohne daß die Stilllegungsprämie (ca. 750 DM/ha) verlorenght. Mit dem Anbau der Industriepflanzen auf ehemaligen Stilllegungsflächen erhält der Landwirt wieder Nutzflächen, die volkswirtschaftlich

eine sinnvolle Alternative zur Flächenstilllegung und zur Überproduktion der Nahrungsmittel darstellen. Somit gewinnt die Landwirtschaft zunehmend Interesse an dem Anbau nachwachsender Rohstoffe.

Die Entwicklung der Rahmenbedingungen der Landwirtschaft in den letzten Jahrzehnten sind geprägt vom höheren Arbeitsanfall bei gleichbleibenden Löhnen, weiteren Preisabsenkungen durch EU-Agrarreformen, hartem Verdrängungswettbewerb z. B. in der Schweinezucht und Stagnation bei den Erzeugerpreisen. Da in unserer Gesellschaft eine Steigerung der Nahrungsaufnahme begrenzt ist, nimmt auch der Anteil der Landwirtschaft am Bruttosozialprodukt bei einer Steigerung des Wohlstands eher ab. Die Bedeutung des Agrarsektors fällt somit zurück. Nachwachsende Rohstoffe können ein Weg sein, um die Bedeutung der Landwirtschaft wieder zu steigern, wie es bereits mit Direktvermarktung, Urlaub auf dem Bauernhof und Landschaftspflege gemacht wird. Der Anbau nachwachsender Rohstoffe birgt dabei die größten Potentiale in sich und könnte zum zweiten Standbein der Landwirtschaft werden (Mann, 1998). Die landwirtschaftliche Produktion kann so erhalten bleiben, neue Absatzmärkte werden sich künftig zunehmend erschließen, wodurch die Bedeutung weiter ansteigen wird.

Neben den finanziellen Engpässen der Landwirte, wandern jährlich ca. 20.000 bis 30.000 Arbeitskräfte aus der Landwirtschaft ab (Wintzer et al., 1993; Mann, 1998). Dieser Entwicklung könnte durch den neuen Zweig des Non-Food-Bereichs Einhalt geboten werden. Zusätzlich beschäftigt werden könnten bei andauernder politischer Förderung nachwachsender Rohstoffe 60.000* Arbeitskräfte, was in etwa der doppelten Abwanderungsrate landwirtschaftlicher Arbeitskräfte entspricht. Dabei wird nur der direkte Beschäftigungseffekt berücksichtigt, nicht die schwer zu kalkulierenden Effekte in den vor- und nachgelagerten Bereichen. Weitere 5.000 bis 9.000 Arbeitskräfte könnten allein mit dem Anbau und der Verarbeitung von Energieraps gebunden werden, wobei die Beschäftigungseffekte im landwirtschaftlichen Bereich überwiegen. Sollte der energetische Bereich in Zukunft noch mehr zum Tragen kommen als derzeit, könnten hier nochmals 30.000 Arbeitsplätze entstehen, die sowohl im Bereich Anbau und Ernte als auch im Bereich Konditionierung und Transport eingesetzt werden können (Mann, 1998).

Die Arbeitsauslastung von Beschäftigten ist im Jahresverlauf gleichmäßiger, bzw. neue Arbeitsplätze könnten dadurch entstehen, indem ein Teil der Wertschöpfung (Be- und Verarbeitung von landwirtschaftlichen Produkten) von der Landwirtschaft selbst übernommen wird. Beispielsweise könnte im Bereich der Faserpflanzenaufbereitung die Entholzung und der Faseraufschluß dieser Pflanzen im landwirtschaftlichen Bereich vorgenommen werden, was zusätzliche Einkommensmög-

lichkeiten schafft (Katalyse, 1998). Auch das BMELF (1995) geht davon aus, daß mittel- bis langfristig nachwachsende Rohstoffe einen Beitrag zur Entlastung der Nahrungsmittelmärkte in der EU leisten.

Diese Zahlen verdeutlichen jedoch, daß nachwachsende Rohstoffe in der Bundesrepublik Deutschland auf absehbare Zeit nur bescheidene Beiträge dazu leisten können, den Abbau der Beschäftigungsmöglichkeiten im landwirtschaftlichen Sektor zu dämpfen. Als ein wichtiges Ergebnis ihrer Studie halten Wintzer et al. (1993) daher fest: „Die wichtigsten Vorteile der nachwachsenden Rohstoffe liegen nicht im Bereich der Agrarpolitik, sondern im Bereich der Umweltpolitik“.

Daß die Bedeutung der Einnahmequellen aus nachwachsenden Rohstoffen für die Landwirtschaft immer wichtiger wird, liegt zum einen an die Förderung durch die Politik und hängt davon ab, ob ein dauerhaftes Absatzpotential z. B. für Hanfprodukte geschaffen wird. Abnahmeverträge der Industrie können hier einen wesentlichen Beitrag leisten.

3.6 Bedeutung für die Industrie

Auch die chemische Industrie setzt auf neue Impulse. Die Verwendung von Agrarrohstoffen außerhalb des Ernährungsbereichs hat in den letzten Jahren erheblich zugenommen. In der deutschen chemischen Industrie wurden 1996 ca. 2 Mio. t nachwachsende Rohstoffe/a verarbeitet, was etwa 10 % des gesamten Rohstoffverbrauchs entsprach. Das 1996 von der Bundesregierung beschlossene Förderkonzept zu nachwachsenden Rohstoffen soll neue Nutzungsformen erschließen, innovative Anwendungen praxisorientiert voranbringen und damit zu einer breiteren Verwendung von Forst- und Agrarprodukten im Non-Food-Sektor beitragen (Müller et al., 1996).

Bei den vorhandenen Bodenschätzen hat man es mit relativ starren Qualitätsparametern zu tun, z. B. ist auf dem Ölsektor das Spektrum der fossilen Ressourcen von der chemischen Struktur her sehr eng. Hochwertige Endprodukte benötigen hochwertige Rohstoffe, die die nachwachsenden Rohstoffe liefern können. Die Landwirtschaft kann heute hochwertige Ausgangsstoffe zur Verfügung stellen, die der Industrie aufwendige Umwandlungsschritte, wie bei fossilen Rohstoffen nötig, ersparen. Pflanzliche Produkte decken durch ihre hochwertigen Inhaltsstoffe einen sehr breiten Bereich ab, wenn es um die Herstellung von Spezialprodukten geht, der durch gezielte Züchtung noch erweitert werden kann. Auch wenn sich gegenwärtig die Verarbeitung einzelner Biorohstoffe noch im Entwicklungsstadium befindet, und der Markt sich für diese Produkte noch nicht etabliert hat, so steckt doch langfristig ein großes Potential aus ökonomischen und ökologischen Gründen in diesen Produkten. In Anbetracht der ökologischen Eigenschaften und den sich neu erschließenden Märkte für Produkte auf

* Wintzer et al. (1993) sprechen insgesamt von 20.000 - 60.000 Vollarbeitskräften an zusätzlichem Bedarf

der Basis nachwachsender Rohstoffe fördert die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) seit 1993 die Forschung und Entwicklung in diesem Bereich.

So erkennt z. B. die BASF, daß nachwachsende Rohstoffe für die Herstellung höherveredelter Produkte eine sinnvolle Ergänzung der petrochemischen Rohstoffbasis darstellen und in Teilbereichen interessante Alternativen bieten (Quadbeck-Seeger, 1997). Damit ergeben sich Einsatzgebiete, in denen die Syntheseverleistung der Natur direkt für die Synthese von solchen Produkten genutzt werden kann, die sonst nur aufwendig zu synthetisieren sind. Diese Produkte müssen Eigenschaften aufweisen, die auf petrochemischer Basis nicht so leicht zu erreichen sind. Haupteinsatzgebiet von Stärke sind Hilfsmittel für die Papierherstellung und der Klebstoffsektor; Fett und Öle finden Verwendung bei der Herstellung von Waschrohstoffen wie z. B. Tensiden, als Ausgangsstoff für Lacke und Farben, als Schmiermittel, als Hilfsmittel in der Textil-, Papier- und Lederindustrie oder als Kohlenstoffquelle in fermentativen Prozessen.

Tab. 3.3: Verwertung nachwachsender Rohstoffe im chemisch-technischen Bereich einschl. Bio-Diesel in Deutschland

Rohstoff (vorwiegend aus europäischen Staaten)	Menge in t/a
Stärke	685.000
Tierische Fette	350.000
Zucker	170.000
Rapsöl in der Oleochemie	105.000
Rapsöl (RME/Bio-Diesel)	100.000
Rapsöl für Hydrauliköle / Schmierstoffe	40.000
Sonnenblumenöl	46.000
Leinöl	36.000
Rüböl	37.000
Flachsfasern	10.000
Hanffasern	2.000

Quelle: Kaup (1999)

Aktuelle Berichte (Kaup, 1999) zeigen, daß solche Produkte im chemisch-technischen Bereich und beim Bio-Diesel einen Zuwachs verzeichnen. Nachwachsende Rohstoffe decken mittlerweile rund 9 % (ca. 2,1 Mio. t/a) des Rohstoffbedarfs der chemischen Industrie in Deutschland. Allen voran Produkte wie z. B. Papierzusätze auf Stärkebasis oder Tenside auf Basis natürlicher Öle und Fette. In Deutschland werden natürliche Öle und Fette, jährlich in einer Menge von über 1 Mio. t/a eingesetzt (EU: 2,5 Mio. t/a). 370.000 t/a entstammen dem europäischen Ölpflanzenanbau (Deutschland: 224.000 t/a), wobei Deutschland der wichtigste Produzent oleochemischer Basis-Chemikalien (z. B. Tensiden) in der EU ist. Insbesondere beim Bio-Diesel zeichnet sich seit Beginn der 90er Jahre eine rasante Entwicklung ab. Inner-

halb von 6 Jahren hat sich der Bio-Dieserverbrauch in Deutschland von 1991 nur 200 t/a auf 100.000 t/a in 1997 gesteigert. Nach neuen Prognosen wird sich im Jahr 2000 die Menge der aus Rapsöl gewonnenen Kraftstoffe auf mindestens 200.000 t/a erhöhen. Eine ähnliche Entwicklung vollzog sich auch im Markt für Schmiermittel. Rapsölbasierte Bio-Schmierstoffe erreichten binnen kürzester Zeit, obwohl sie zwei bis fünfmal so teuer sind wie erdölbasierte Schmierstoffe, aufgrund ihrer biologischen Abbaubarkeit in Teilmärkten wie z. B. bei Sägekettenölen bis zu 80 % Marktanteil (Anteil am Gesamtmarkt ca. 3 % = 40.000 t/a) (Kaup, 1999).

Neue Entwicklungsschübe zeichnen sich auch auf den Märkten für Naturfasern und Bio-Kunststoffe ab. Allein im Bereich der europäischen Autotextilien und Verbundwerkstoffe wird nach Schätzungen des nova-Institutes kurzfristig ein Bedarf von ca. 20.000 t/a an Hanf- und Flachsfasern entstehen. Heute werden ca. 10.000 t an Naturfasern im Automobilbereich eingesetzt. Insbesondere bei Autoinnenteilen wie z. B. Türinnenverkleidungen sind u. a. aufgrund der besseren Recyclingeigenschaften und der günstigeren Umweltbilanz – die wegen der neuen EU-Altautoverwertungsrichtlinie immer wichtiger werden – sowie Gewichtsersparnis und Kostenvorteile im Vergleich zu Glasfasern die Zukunftspotentiale der Naturfasern zu sehen. Das Absatzpotential von Bio-Kunststoffen wird auf 1,1 Mio. t geschätzt, die ihre Verwendung in Einwegverpackungen finden werden (Kaup, 1999).

Langfristig betrachtet wird der Einsatz nachwachsender Rohstoffe durch die in ca. 50 Jahren eintretenden Erschöpfung von Erdöl, Erdgas und Natururan weiter zunehmen. Kurz- bis mittelfristig betrachtet wird die Konkurrenzfähigkeit der Preise zu einem der wichtigsten Erfolgsfaktoren werden. Durch Senkung der Verfahrenskosten und durch die Befreiung der Mineralölsteuer kann z. B. der Bio-Diesel mit dem Erdöl-Diesel konkurrieren. Höherpreisige Produkte sind allerdings nicht von vornherein chancenlos (z. B. Hanf-Dämmstoffe, sh. Kap. 6).

4 Pflanzenbauliche Grundlagen

4.1 Biologische Grundlagen

4.1.1 Systematik

Die Systematiker sind sich heutzutage weitestgehend darüber einig, daß der Hanf in die Familie der Cannabaceae einzuordnen ist, zu der nur eine Gattung gehört, nämlich der Hanf (*Cannabis genus*) und dessen Art(en) (*Cannabis spp.*). Etwas strittig dagegen ist die Ansicht, wie sie von einigen Systematikern (in: Böcsa u. Karus, 1997, FNR, 1997, S. 186) vertreten wird, daß Cannabis aus 2 Arten oder gar 3 Arten bestünde (*C. sativa*, *C. indica* und *C. ruderalis*). Am meisten verbreitet ist dagegen die Ansicht, daß die Gattung Cannabis lediglich aus einer Art besteht, und zwar aus der von Linné „*Cannabis sativa* L.“ genannten Art, die sich in mehrere physiologische und geographische Varietäten sowie in Rassen unterteilt. Aufgrund der starken öko-

logischen Anpassungsfähigkeit treten in Asien und Europa vielfach Wildformen und verwilderte Formen auf. Die verschiedenen Cannabis-Abstammungen lassen sich aber leicht miteinander kreuzen und weisen kontinuierliche Merkmale auf (Katalyse, 1996). Die Bezeichnung der einen Art *Cannabis sativa* L. wird daher im folgenden beibehalten. Botanisch läßt sich Hanf folgendermaßen eingliedern (Tab. 4.1), wobei er nach FNR (1997) zur Ordnung *Urticales* gehört:

Tab. 4.1: Botanische Klassifikation ausgewählter Faserpflanzen und Baumarten

Abteilung	Klasse	Familie	Arten
Gymnospermae (Nacktsamer)	Coniferae (Koniferen)	Piceae	Piceae abies (Rotfichte), Pinus sylvestris (Kiefer)
Angiospermae (Bedecktsamer)	Dicotyledonae (Zweikeimblättr. Pflanzen)	Fagaceae	Fagus sylvatica (Rotbuche)
		Cannabaceae	Cannabis sativa L. (Hanf)
		Urticaceae	Boehmeria nivea (Ramie), Urtica dioica (Große Brennessel)
		Linaceae	Linum usitatissimum (Flachs)
	Monocotyledonae (Einkeimblättr. Pflanzen)	Gramineae (Gräser)	Triticum vulgare (Weizen), Saccharum officinarum (Zuckerrohr), Phyllostachys puberula (Bambus)

Quelle: Waskow (1995).

4.1.2 Morphologie und Ansprüche

Hanf ist eine einjährige, zweihäusige, windblütige Kurztagspflanze (d. h. die Blütenbildung wird unter Kurztagsbedingungen gefördert) mit einer mächtigen Pfahlwurzel und einer Länge von bis zu vier Metern. Er ist abgesehen von Polar- und Wüstengebieten weltweit verbreitet. Die ursprünglichen Lokalsorten sind an die Tageslängen ihres Anbauortes angepaßt. So hat sich ein nördlicher frühreifer Samentyp mit einer kurzen Vegetationsperiode, geringer Wuchshöhe aber starker Samenproduktion, sowie ein spätreifer und hochwachsender südlicher Typ mit vergleichsweise hohem Biomasse- und Faserertrag und geringer Samenproduktion entwickelt (Katalyse, 1996). Wildformen zeigen eine große Variabilität und sind noch heute weit verbreitet, was auf die hohe ökologische Anpassungsfähigkeit dieser Art hinweist.

Agronomisch ist der Hanfanbau relativ problemlos. Hanf wächst an vielen Standorten und läßt sich gut in Fruchtfolgen integrieren. Für hohe Erträge bevorzugt er tiefgründige, mittelschwerere Böden mit möglichst gleichmäßiger Wasserführung (kein Stauwasser!) und einem neutralen bis leicht basischen pH-Wert. Er laugt den Boden nicht aus und verbessert die Bodenstruktur. Düngung muß weniger betrieben werden als bei anderen Industriepflanzen (Wenzel, 1995).

Die Niedermoor- und niedermoorartigen Anmoorböden mit einer sicheren Wasserversorgung sind für das Wachstum unter bestimmten moorkulturellen Voraussetzungen ebenfalls gut geeignet (Baden, 1986; Dambroth, 1994).

Ca. 4 Wochen nach der Keimung setzt bei *Cannabis sativa* L. ein rasches Längenwachstum ein, wodurch unerwünschte Kräuter und Gräser in einem dichten Bestand in der Regel wirksam unterdrückt werden (Menge-Hartmann, Höppner, 1997). Das intensive Längenwachstum wird mit der Blütenbildung weitgehend eingestellt, dies kann je nach Sorte zwischen Anfang Juli bis Mitte August liegen. Die etwas schlankeren und frühreiferen männlichen Pflanzen besitzen im Blühstadium ein beschleunigtes Längenwachstum und überragen die weiblichen Pflanzen. Nach Ausschüttung der Pollen verholzt die männliche Pflanze und stirbt dann schnell ab. Die weibliche Pflanze bildet hingegen über einen längeren Zeitraum immer neue Blüten und stirbt erst nach der Samenreife ab, was eine etwa 2 - 4 Wochen längere Vegetationszeit im Vergleich zu den männlichen Pflanzen zur Folge hat. Dies würde zu einer erschweren und teilweise geringeren Ernte sowie zu uneinheitlichen und minderwertigen Qualitäten der Fasern führen, was für die Fasergewinnung unerwünscht ist, so daß auch einhäusige Formen gezüchtet wurden.

Die Festlegung des Kohlendioxids der Luft in organische Masse erfolgt durch die Photosynthese. Der größte Anteil der Photosynthese des Festlandes geht von den Wäldern aus. Aufgrund des zunehmenden Treibhauseffektes (sh. Kap. 2) ist die (umweltpolitische) Forderung an die Produktion von nachwachsenden Rohstoffen die Reduzierung der CO₂-Konzentration der Atmosphäre durch deren Festlegung in organischer Substanz. Die Tab. 4.2 zeigt die Nettophotosyntheseleistung unterschiedlicher C₃-Ackerpflanzen.

Tab. 4.2: Nettophotosynthese verschiedener C₃-Pflanzen

	Kartoffel	Zuckerrübe	Sonnenblume	Weizen	Hanf
Nettophotosynthese (mg CO ₂ dm ⁻² h ⁻¹)	25 - 30	24 - 28	37 - 44	17 - 31	26 - 32

Quelle: FNR (1997).

Hanf weist eine mit anderen C₃-Pflanzen vergleichbare Kohlendioxidakkumulation auf. Es kann daher festgestellt werden, daß es sich bei Hanf bezüglich der Photosyntheseleistung nicht um eine außergewöhnlich leistungsfähige Pflanze handelt (FNR, 1997).

Tab. 4.3: Eigenschaften und Ansprüche von Hanf

Systematik	Familie: Cannabinaceae, Art: Cannabis sativa L.
Herkunft	Mittelasien (Iran, Afghanistan, Kasachstan).
Botanik	Einjährige Kurztagspflanze mit verzweigtem Stengel, Stengeldicke 5 bis 20 mm, fremdbefruchtende, windbestäubte Blüten, Frucht ist eine Nuß mit einem ölhaltigen (30 % - 32 %) Samen (2 - 5 mm).
Klimaansprüche	Hanf gedeiht optimal in gemäßigtem Klima mit erforderliche Kurztagsbedingungen zur generativen Entwicklung*, Faserhanf: 1.900 - 2.000 °C Wärmesumme, Samenhanf: 2.500 - 3.000 °C Wärmesumme, günstige Keimbedingungen bei 8 - 10 °C*, Wachstumsoptimum zwischen 19 und 25 °C***. Niederschlag/a: 500 - 700 mm, i. d. R. nicht frosttolerant.
Bodenansprüche*	Tiefgründige, humose und N-reiche Böden mit guter Wasserversorgung (keine Staunässe, keine Verdichtung), pH nicht unter 5,8 - 6,0 Optimale Bodenart: lehmige Sande und sandige Lehme.****
Anbausystem	Keinen Anbau als Monokultur*, gute Vorfruchteigenschaften: Zwischen zwei Getreiden*, Vorfrüchte auch Leguminosen, selbstverträglicher Anbau auf gleicher Fläche 2 - 3 Jahre möglich.
Aussaat	Mitte April bis Anfang Mai mit Drillmaschine auf trockenem Boden*, Reihenabstand bei Samen- und Fasernutzung: 25 cm (13 - 15 cm*), Saatstärke: 250 - 300 keimfähige K/m ² *, (200 - 250 Pfl./m ² **).
Düngung	Faserhanf: 80 kg N /ha**; 60 - 90 kg Phosphat/ha; 80 - 100 kg Kalium/ha, (140 kg K ₂ O/ha****).
Pflanzenschutz	Bei Faserhanf <u>keine</u> Unkrautregulierung notwendig; Pilze treten bei hoher Feuchtigkeit auf, wichtigste Schädlinge: Hanferdfloh, Maiszünsler: alle kaum ertragsbeeinflussend.
Ernte	Faserreife: nach 90 - 110 Tagen, Samenreife nach 110 - 115 Tagen, August bis Oktober.
Ertrag	Hanfstroh: 7 - 12 t/ha; Fasergehalt: 28 % - 30 % (= 2 - 3 t/ha), 25 % Kurzfasern, 5 % Langfasern, 500 - 800 kg/ha Samen in Mitteleuropa (17 - 23 g Tausendkornmasse/Pfl.***).

Quellen: Katalyse (1998), *TLL (1998), **Menge-Hartmann et al. (1997), ***Böcsa et al. (1997), **** Mann (1998).

4.2 Ökologische Eigenschaften

Viele Autoren stimmen darin überein, daß sowohl der Anbau als auch die wirtschaftliche Nutzung von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen (insbesondere Hanf) einen positiven Einfluß auf Umwelt- und Naturschutz haben. Voraussetzung hierfür ist, daß beim Anbau von nachwachsenden Rohstoffen der Energie- und Stoffdurchsatz (Pestizid, Dünger, Betriebsmittel) für eine Ökologisierung drastisch gesenkt wird (BMELF, 1995; Böcsa u. Karus, 1996; Dambroth, 1993; Höppner, 1997).

Die ökologischen Eigenschaften und die Einflüsse auf die Umwelt gibt Tab. 6.1 wieder.

Tab. 4.4: Ökologische Betrachtung von Cannabis sativa L.

Ökologische Eigenschaften	Einfluß auf die Umwelt
<p>Beikrautunterdrückung: Durch schnelles Jugendwachstum und raschem Reihenschluß des Bestandes kommt es zur nahezu 100 %igen Beikrautverdrängung, da der Konkurrenzdruck für die Ackerkräuter zu hoch ist (Voraussetzung: optimaler Standort und Reihenabstand max. 40 cm).</p>	<p>Vollkommener Verzicht auf Einsatz von Herbiziden möglich \Rightarrow toxischer Einfluß auf Boden und Wasser unterbleibt; Beikräutern gelingt keine Blütenbildung \Rightarrow Ausbleiben dieser Kräuter auch bei der Folgefrucht.</p>
<p>Bodenbedeckung: 2 - 3 Wochen nach Aussaat ist vollständige Bodenbedeckung erreicht, die bis 3 Wochen nach der stattfindenden Ernte, Anfang September, (Verbleib des Strohs zur Tauröste auf dem Feld), bestehen bleibt (Aussaat des Wintergetreides erfolgt unmittelbar).</p>	<p>Gefahr der Wind- u. Bodenerosion ist minimal \Rightarrow Eutrophierung v. Gewässern durch ausgewaschene Salze, Dünger u. Bodenpartikel wird verhindert; hohe Schattengare vermindert Austrocknung des Bodens \Rightarrow feucht-warmes Klima unter der Pflanzendecke ermöglicht reges Bodenleben \Rightarrow hemmt bestimmte bodenbürtige Schaderegner \Rightarrow positive Beeinflussung des Bodengefüges (durch „Schattengare“).</p>
<p>Durchwurzelung: Die Pfahlwurzel und deren verzweigten Seitenwurzeln reichen bis 2 m (oder mehr) in den Boden (vorausgesetzt der Boden ist nicht verdichtet), wodurch die Pflanze Wasser und Nährstoffe auch in tieferliegenden Schichten des Bodens mobilisiert, die von der Vorfrucht nicht aufgenommen wurden.</p>	<p>Boden wird aufgelockert (höhere Krümelung) \Rightarrow höhere Durchlüftung \Rightarrow im Frühjahr trocknen Äcker eher ab u. erwärmen schneller \Rightarrow frühe u. minimale Bodenbearbeitung möglich. Geringere Zugaben von Düngemitteln sind nötig \Rightarrow Gefahr der Auswaschung von Nitraten ins Grundwasser wird minimiert. Ertrag der Folgefrucht fällt höher aus als bei anderen Vorfrüchten (Nährstoffentzug im Oberboden niedrig).</p>
<p>Düngung: Hanf ist eine genügsame Pflanze, die mit weniger als die Hälfte N im Vergleich zum Weizen auskommt, und die gut eine organische Düngung mit Gülle und Stallmist annimmt, da die langsame Freisetzung von N gut zum zeitlichen Nährstoffbedarf paßt; große Nährstoffmobilität.</p>	<p>Gefahr der Stickstoffauswaschung ist gering Beitrag zum Ökologischen Landbau; Optimale Bedingungen für Bodenfauna; hohe Nährstoffrücklieferung durch die auf dem Feld zurückgebliebenen Bestandesreste</p>
<p>Pflanzenschutz: Pflanze ist selbstverträglich, sehr robust und wird i. d. R. mit keiner artverwandten Pflanze angebaut, so daß sie äußerst geringe Schädlings- und Krankheitsanfälligkeiten aufweist, da keine artspezifischen Schädlinge vorhanden sind.</p>	<p>Ernteeinbußen durch Parasiten oder Schädlinge sind nicht zu erwarten \Rightarrow auf den Einsatz von Pestiziden kann vollständig verzichtet werden \Rightarrow toxikologische Umweltbeeinflussungen (insbesondere gewässertoxische Gefahren), wie sie z. B. durch Organophosphate und synthetische Pyrethroide bei Baumwolle zum Einsatz kommen, fehlen hier.</p>
<p>Mahd: In Westeuropa wird der Hanf gemäht, auf 50 - 60 cm lange Stücke gekürzt und zur Feldröste bis 3 Wochen auf dem Acker liegen gelassen; Stoppeln verbleiben im Boden und werden erst kurz vor Aussaat der Folgefrucht untergepflügt.</p>	<p>Beitrag zum Erosionsschutz und somit Gewässerschutz (sh. o.); dem Boden werden organische Masse und Nährstoffe zurückgeführt (Beitrag zur Ökologischen Landwirtschaft).</p>

Quelle: Extrahiert aus nova-Inst. (1996); Böcsa u. Karus (1997) und FNR (1997).

Hanfprodukte sind nicht allein deshalb ökologische Produkte, weil sie aus einem nachwachsenden Rohstoff gefertigt wurden, denn für dieses Prädikat fehlt den Produkten der Anbau der Pflanze in der ökologischen Landwirtschaft. Allerdings ist der Hanf für den ökologischen Landbau prädestiniert (sh. Kap. 5.2). Bei alleiniger Betrachtung der Hanfproduktion kann die mögliche Umweltbelastung durch die Höhe der Produktionsintensität im Vergleich mit anderen Kulturpflanzen als gering eingestuft werden. Der Pflanzenschutz Aufwand ist nach bisherigen Erfahrungen sehr niedrig, da hier der Einsatz weder von Herbiziden noch von Fungiziden notwendig ist (FNR, 1997). „Insgesamt fällt das ökologische Urteil über den Hanfanbau positiv aus“ (nova-inst., 1996).

4.2.1 Vergleich mit anderen nachwachsenden Rohstoffen

Im folgenden werden die Pflanzen der nachwachsenden Rohstoffe als zu substituierende Konkurrenzpflanzen betrachtet. So nimmt Hanf bei der Gefahr der Eutrophierung von Gewässern durch ausgewaschene Salze, Dünger und Bodenpartikel im Vergleich mit folgender Reihenfolge ab (nach Bócsa et al., 1997):

Baumwolle > Soja >> Nachtkerze > Raps ≈ Hanf

In Tab. 4.5 ist die ökologische Beurteilung von Hanf und anderen nachwachsenden Rohstoffen gegenübergestellt.

Tab. 4.5: Ökologische Beurteilung von nachwachsenden Rohstoffen auf Stilllegungsflächen

	Nährstoffmobilität	Erosion	Krankheiten	Schädlinge	Beikräuter
Hanf	++	0	+	+	+
Sommerraps	+	0	+	--	-
Faserlein	++	0	+	++	-
Sonnenblume	++	0	-	+	-
Schwarzbrache	--	--	++	++	++
Weizen	-	+	-	0	-
Roggen	0	+	0	+	-
Miscanthus	++	++	++	++	0
Zuckerrübe	0	0	-	-	--
Körnermais	0	0	+	0	-
Pappel / Weide	++	++	++	++	0

+ Rohstoff zeigt positive Wirkung

- Rohstoff zeigt negative Wirkung

0 keine Beeinflussung erkennbar

Quelle: Katalyse (1998), gekürzt.

Bei der Betrachtung der nahezu biozidfreien Kultur Hanf und den daraus resultierenden ausgehenden toxikologischen Umweltbeeinflussungen (insbesondere den Organophosphaten und synthetischen Pyrethroide, die stark gewässertoxikologisch sind) ergibt sich folgende Reihenfolge:

Baumwolle > Soja >> Nachtkerze \approx Raps > Hanf

Abschießend sollen die Auswirkungen von Anbau und Ernte von 1 t Hanffasern mit denen von 1 t Baumwollfasern verglichen werden. Dabei ergibt sich, daß die Minderung bei Hanf von Primärenergieverbrauch und Emissionen ca. den Faktor 3 pro Tonne Faser beträgt. Würde beispielsweise im Textilbereich Baumwolle durch Hanf substituiert werden, so ergäben sich beträchtliche ökologische Vorteile.

Tab. 4.6: Sachbilanz (PE¹⁾ und Emissionen) für den Lebensabschnitt Anbau und Ernte für Hanf und Baumwolle (Bezugsgröße: 1 t Faser)

	PE (GJ) ¹⁾	CO ₂ (kg)	N ₂ O (kg)	CO ₂ -Äq. ²⁾ (kg)	SO ₂ (kg)	NO ₂ (kg)	SO ₂ -Äq. ³⁾ (kg)
Hanf	8,2	544	1,26	947	1,21	4,52	4,37
Baumwolle	25,2	1.680	3,03	2.650	2,49	14,8	12,9

¹⁾ PE: Primärenergie-Einsatz,

²⁾ CO₂-Äq.: CO₂-Äquivalente, Maßstab für das Gesamttreibhauspotential,

³⁾ SO₂-Äq.: SO₂-Äquivalente, Maßstab für die Gesamtsäurewirkung

Quelle: Bocsa u. Karus (1996).

4.3 Verwendung der Pflanzenteile

Trotz des ernährungsphysiologisch hochwertigen Öls der Hanf-Samen steht bei der Pflanze der Faserertrag im Vordergrund. Um einen möglichst hohen Faserertrag zu erzielen, bedarf es hoher Grünmasseerträge und einer entsprechend langen Vegetationszeit. Beide Aspekte zusammen stehen aber der Samenproduktion entgegen. Die Saatgutproduktion von Pflanzen, die in Mitteleuropa hohe Grünmasseerträge erbringen sollen, sollte in Gebiete verlagert werden, die hierfür klimatisch günstigere Voraussetzungen aufweisen. Deswegen wird für den Hanfanbau in Deutschland der Faserertrag bevorzugt (Dambroth, 1993). Es wird angestrebt, eine Fasernutzung sowohl im technischen als auch im textilen Bereich vorzunehmen. Zur Verwendung dieses nachwachsenden Rohstoffs werden hauptsächlich die Bastfasern verwendet. Abb. 4.3 gibt eine Übersicht sämtlicher Pflanzenteile und deren Verwendung.

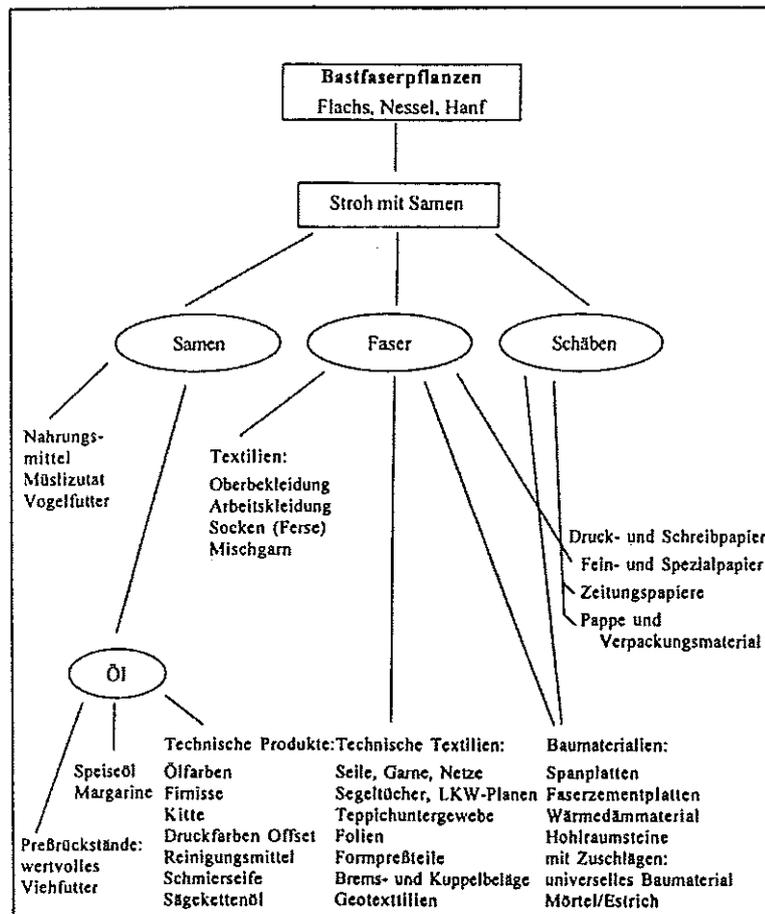


Abb. 4.1:
Verwertungsdiagramm
Bastfaserpflanzen
Quelle: Katalyse (1998).

4.4 Fasertypen

Hanf wird in Deutschland immer noch vorrangig für die Erzeugung von Hanfstroh zur Fasernutzung angebaut. Als zweites Ernteprodukt gewinnen die ölhaltigen Körner immer mehr Interessenten, die ja auch aufgrund der durch die EU vorgeschriebene Koppelnutzung immer wichtiger wird. In dieser Arbeit soll die Körnernutzung nicht betrachtet werden, dafür wird u. a. auf die Arbeiten von Mastel et al. (1998) verwiesen.

Da die Fasererträge dieser Pflanze in bezug auf ihre industrielle und landwirtschaftliche Nutzung von großem Interesse sind, soll hier der Stengel als Träger der industriell bedeutenden Fasern näher beschrieben werden (sh. Abb. 4.2).

4.4.1 Übersicht der Naturfasern

Das von der Natur verfolgte Prinzip leicht, steif und fest zu bauen zeigt Merkmale wie Anisotropie, Multifunktionalität, Stofftransport, Regeneration, geringe Stoffdichte u. a. In der Natur hat sich daher die Einbettung von Fasern in eine Matrix seit Jahrmillionen bewährt. Strukturen in Form von Pflanzen und z. B. auch von Knochen zeigen bei geringstmöglicher Masse höchste Festigkeit und Stabilität (Flemming et al., 1995). So wurden in der Vergangenheit vor der Erfindung synthetischer Stoffe große Mengen Textilien, Seile, Segeltücher, Säcke, Korbwaren und Möbel aus Naturfasern und Holz hergestellt.

Abb. 4.2 zeigt, daß Naturfasern eingeteilt werden in pflanzliche, tierische und mineralische (Asbest) Fasern. Unter „Pflanzenfaser“ versteht man nach Renz-Rathfelder (1992):

1. die Pflanzenhaare (z. B. von Baumwolle),
2. die Bastfasern (Weichfasern) in den Stengeln von zweikeimblättrigen, krautigen Pflanzen (Dicotyledonen) wie z. B. Hanf und Chinaschilf,
3. die Hartfasern in den Blättern der einkeimblättrigen Pflanzen wie z. B. von Sisal und Banane (Monocotyledonen).

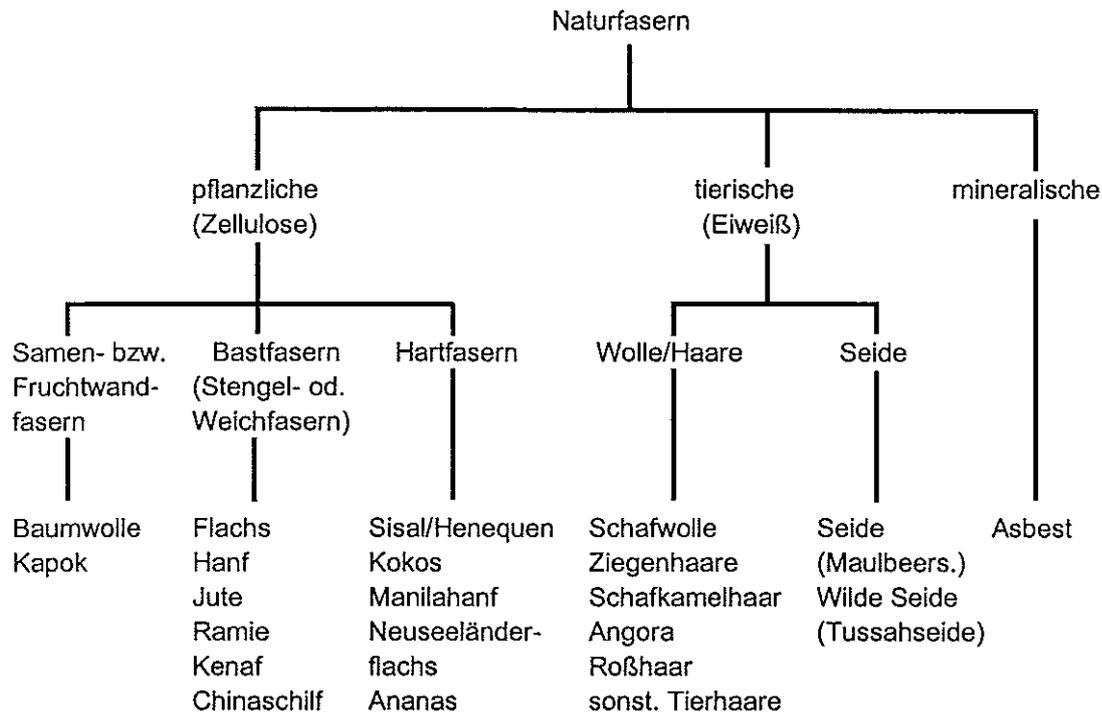


Abbildung 4.2: Übersicht der Naturfasern

Quellen: Flemming et al. (1995); Schnegelsberg (1999).

Die Fasern, die man in den Stengeln von krautigen Pflanzen, also auch Hanf, findet, nennt man Bast-, Stengel- oder Weichfasern. Darunter versteht man Bündel von langgestreckten dickwandigen, bei Reife abgestorbene Zellen. Die Bastfasern sind in der Rinde des Pflanzenstengels als kompakte Bündel rings um den Holzkern angeordnet. Sie liegen also nicht wie bei der Baumwolle als einzelne Zellen (Elementarfasern) vor. Die Faserbündel bestehen aus Faserzellen, die durch Kittsubstanzen wie Lignin, Pektin und Hemizellulosen „zusammengeklebt“ sind. Diese aus vielen Elementarfasern zusammengefügt und im Falle von Hanf bis zu 3 m langen Stützelemente (auch technische Fasern oder Primärfasern genannt), machen die Bastfaserpflanze zu einem Verbundwerkstoff mit außerordentlichen statischen Eigenschaften (Nebel u. Hoffmann, 1998).

Diese Fasern bezeichnet man auch als *Sklerenchymfasern*. Das Wort Sklerenchym (griech. Scleros = hart und enchymadas = das Eingeschlossene) gibt die Eigenschaften dieser Zellkomplexe wieder. Der Begriff „Faser“ kennzeichnet bei den Skleren-

chymfasern immer einen Zellkomplex. Der Aufbau der Pflanzenfasern ergibt sich im wesentlichen durch schichtweise Ablagerungen von Zelluloseketten an die Zellwand im Inneren, wobei 50 - 100 Zellulosemoleküle eine faserige Struktur die Elementarfibrille bilden und 20 Elementarfibrillen wieder eine Mikrofibrille (Flemming et a., 1995).

Bastfasern von Hanf sind den Polypropylen-Fasern bezüglich der Festigkeitswerte und der Steifigkeit überlegen und den Glasfasern ziemlich ebenbürtig (bezogen auf die Elementarfasern, nicht die Faserbündel).

4.4.2 Morphologie und Verwendung des Stengels und der Stengelfaser

Der Stengel ohne Blätter und Wurzeln macht ca. $\frac{2}{3}$ des Gesamtgewichts der ausgewachsenen Pflanze aus. Hanf ist während der meisten Zeit seiner Wachstumsphase eine weichstengelige Pflanze, wobei der Stengel gegen Ende der Wachstumsphase verholzt. Die Höhe des Stengels hängt von vielen Faktoren wie Tagesbelichtung, Nährstofflieferung und Wasserversorgung ab.

Der weitgehend rohe Stengel ist rau behaart und weist je nach Umweltbedingungen einen unterschiedlichen Durchmesser auf, der mit zunehmender Bestandesdichte abnimmt und ca. 0,5 - 2 cm beträgt. Der Hanfstengel besteht aus zwei unterschiedlichen Fasertypen.

Die Hauptmasse des Stengels besteht aus dem Holzteil (H), der sich im inneren Teil der Rinde befindet (Abb. 4.3) und der die sog. Schäbenmasse bildet. Das Holzgewebe besteht aus Tracheiden, Tracheen, Holzparenchymzellen und Holzfasern, in denen hauptsächlich Wasser und Nährsalze transportiert werden. Die Holzfasern, auch Sekundär- oder Kurzfasern genannt, haben die Aufgabe, den Hanfstengel in senkrechter Stellung zu versteifen, wobei sie viel steifer und weniger biegsam als die Bastfasern sind. Ihre Größe beträgt $< 0,5$ mm. Der Holzkern wird von der Zuwachsschicht, dem Kambium (K), ringförmig umgeben; die Zellen des Kambiums sind teilungsfähig. Nach innen bilden sie während der Wachstumsphase neue Holzzellen, nach außen bildet das Kambium die Rinde bestehend aus den zellulosereichen Bastfasern und den Parenchymzellen (P), die als Matrix für den Bast dient. Die Bastfasern setzen sich aus den Zellen der Primär- oder Langfasern (Pr) und den Sekundär- oder Kurzfasern (Sk) zusammen.

Dieses Bastgewebe dient der Pflanze als Leitungsgewebesystem, das die in den Blättern gebildeten Assimilate zu den Wurzeln befördert. Die Bastfaserbündel (also die Primär- und Sekundärbastfasern) sind als lange Stränge bündelweise in dem lockeren mit Luftgängen durchzogenem Parenchymgewebe (P) eingebettet. Da die Parenchymzellen sehr dünnwandig und großlumig sind, können sie bei Windbewegung ihre Form reversibel verändern. Der Kombination von extrem zugfesten Bastfasern und elastisch verformbaren Parenchymzellen verdankt die Hanfpflanze ihre hohe Festigkeit und Biegsamkeit bei Windbewegung. Die Sekundärbastzellen üben dabei eine

zusätzliche seitliche Abstützung im unteren Bereich aus (Hesch et al., 1996; Mann, 1998; Rottländer, 1998).

Während der Primärfaserring (Pr), der die langen Fasern enthält (ca. 2 cm lang), den gesamten Stengel durchzieht, wird der Sekundärfaserring (Sk) mit den kurzen Fasern (ca. 2 mm) nur bis etwa zur halben Pflanzenhöhe angelegt und neigt zur Verholzung. Die Primärfasern liegen in Bündelkomplexen (Faserbündeln) aus bis zu 20 Fasern vor. Solche „technischen“ Fasern können Längen von 100 bis 300 cm erreichen (Böcsa et al., 1997).

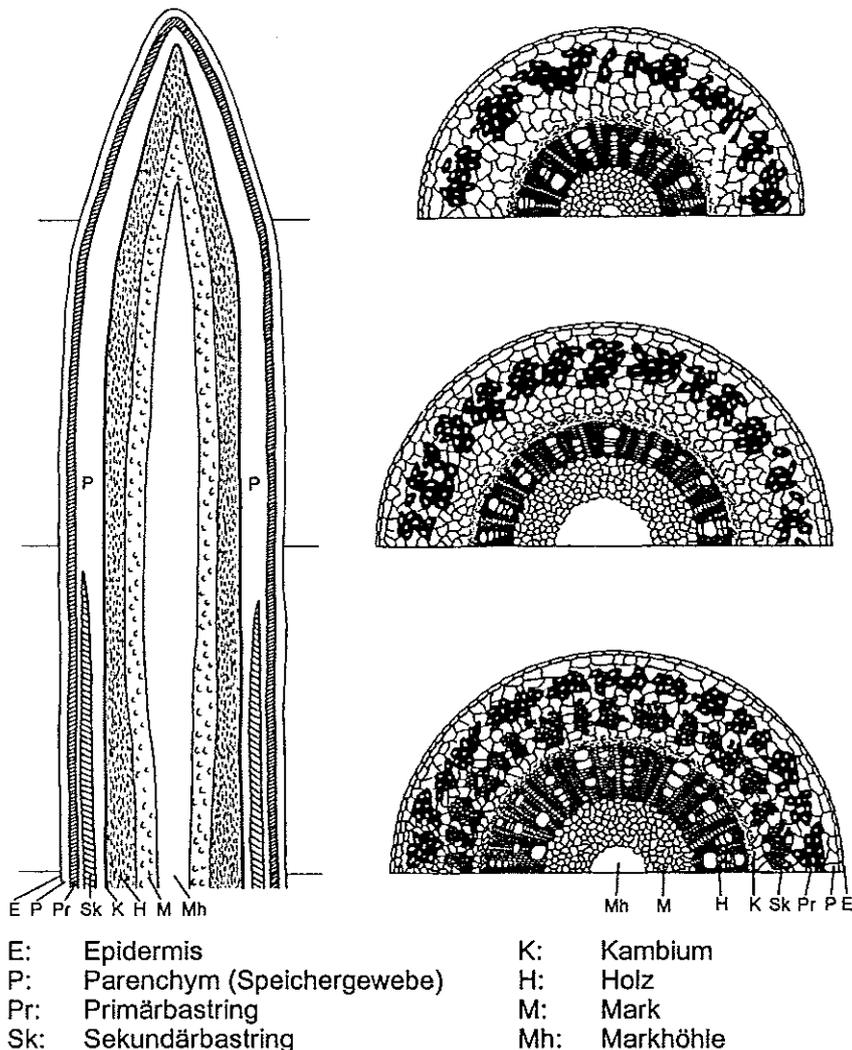


Abb. 4.3: Längs- und Querschnitt durch den Hanfstengel

Quelle: Hesch et al. (1996).

4.4.3 Bestandteile der Faser

Der Hauptbestandteil der Pflanzenfaser ist die Zellulose (71 % - 76 %), ein Makromolekül, welches aus vielen Traubenzucker-Einheiten besteht. Traubenzucker entsteht durch Photosynthese, wobei das Kohlendioxid der Luft zu Kohlenhydraten wie Traubenzucker umgewandelt wird. Zwischen den Zellulosemolekülen, die das faseri-

ge Strukturgerüst bilden, befindet sich das Lignin als „Klebstoff“, das das Gerüst zusammenhält; darüber hinaus besteht die Faser zu einem Teil aus Hemizellulose.

Die Zellwände der Bastfaserzellen bestehen zum größten Teil aus der N-freien Substanz, der echten Zellulose (b-Glucose), worauf die Dauerhaftigkeit der Faser beruht. Beim Faserhanfanbau können unter günstigen Wachstumsbedingungen Trockenmasseerträge von 10 t/ha bis 20 t/ha Stengelmasse und Fasererträge von 2 t/ha bis 5 t/ha erzielt werden (Martens, 1998).

Der Fasergehalt kann bis zu 35 % betragen (Mann, 1998), er variiert entsprechend Sorte und Umweltbedingungen in einem weiten Bereich.

Bei ihren Anbauversuchen erhielten Menge-Hartmann u. Höppner (1999) Fasergehalte der untersuchten Hanfsorten, die zwischen 25 % und 36 % lagen, und die Fasererträge somit zwischen 20 und 43 dt/ha betragen.

Die Bastfaser setzt sich zu ca. 67 % aus Zellulose und rund 16 % Hemi-Zellulose zusammen (Hesch et al., 1996, Tab. 4.7). Die Zellulose weist überwiegend kristalline Strukturen auf. Sie bildet das Zellskelett, dem die Faser ihre hohe Festigkeit verdankt. Die Hemi-Zellulose ist amorph. Sie füllt die submikroskopischen Hohlräume des Zelluloseskeletts aus und erhöht in einer Bindemittelfunktion deren Festigkeit und Steifigkeit. In einem fortgeschritteneren Reifegrad erfolgt durch das Lignin eine weitere Festigung.

Tab. 4.7: Morphologie des Hanfstengels

Hanfstengel	
Holzkern (50 - 60 %) ³⁾	Bastfasern (20 - 30 %) ³⁾
37 % Zellulose	65 % Zellulose (71 - 77,5% ²⁾)
35 % Hemizellulose	15 % Hemizellulose
21 % Lignin	4 % Lignin (0,8 - 1,5 % ²⁾)

Extrahiert aus: Böcsa et al. (1997), ²⁾ Menge-Hartmann u. Höppner (1999),

³⁾ zzgl. Kittsubstanzen; Bassetti et al. (1998).

Chemisch und biochemisch weist die Zellulose die höchste Beständigkeit auf. Es folgen die Lignine und dann die Hemi-Zellulosen. Auf diesen Fakten beruht die Röstung, die angewandt wird, um die Bastfasern leichter vom Holzkern des Stengels abtrennen zu können. Man setzt die Halme dem Einfluß von Mikroorganismen, Bakterien und Pilzen aus. Diese verzehren zunächst die Pektine und bauen gleichzeitig die dünnen Zellwände des umgebenden Parenchyms ab. Die Verbindung zu den Bastfasern ist somit geschwächt oder sogar zerstört, so daß sie leicht abgezogen werden kann.

2.4.1 Verarbeitung der Fasern

Das für den Hanfanbau und -aufschluß wichtigste Gewebesystem ist das Bastgewebe, das sich an der Peripherie des Sproßachsenquerschnittes befindet. Sie stellen den Hauptgrund für den Anbau von Hanf dar und unterscheiden sich stark von den Sten-

gelbastfasern anderer Faserpflanzen (z. B. Baumwolle), da sie zu den reißfestesten Naturfasern zählen. Diese Faserbündel werden durch Mittellamellen zusammengehalten, die aus Pektin bestehen. Hauptaufgabe der Faseraufschlußindustrie ist es, dieses Pektin durch biologische, mechanische oder chemische Verfahren aufzulösen.

Um die Hanffasern technisch nutzen zu können, müssen die Bastfaserbündel zunächst mechanisch vom Holzkern getrennt und dann weitgehend zu einzelnen Fasern oder kleineren Bündeln aufgelöst werden. Je besser das Stroh bereits auf dem Feld geröstet, d. h. durch eine Art natürlichen Fäulnisprozesses angerottet ist, umso leichter fällt dies. Die weitere Verfeinerung der Bündel in speziellen industriellen Verfahren und der dazu notwendige Abbau der Kittsubstanzen wird „Aufschluß“ genannt (Nebel und Hoffmann, 1998).

Der wichtigste Bestandteil der Faser ist die Zellulose (71 % - 76 %), daneben sind in den Faserbündeln noch Hemizellulose, Pentosane, Pektine und Lignine enthalten. Diese Materialien werden während der Röstung von den Bakterien oder im Laufe des chemischen Aufschlusses durch die Chemikalien angegriffen und zersetzt. Zellulose dagegen ist auf diesem Wege nur schwer zersetzbar, so daß die Faserbündel durch den mechanischen Faseraufschluß im nahezu reinen Zustand gewonnen werden können.

Um einerseits das witterungsbedingte Risiko bei der Röste zu verringern und andererseits eine bessere industrielle Reproduzierbarkeit und Qualitätssicherheit zu gewährleisten, sind ständige Aktivitäten bei der Entwicklung neuer, optimierter Röst- und Aufschlußverfahren notwendig. Neue Entwicklungen beim Abbau der Kittsubstanzen sind chemische und biologische Röstverfahren sowie Verfahren mittels Dampfdruckaufschluß. Näheres zu diesen Verfahren siehe Nebel u. Hoffmann (1998).

Je älter die Pflanze wird, um so mehr verholzen die Faserzellen, was die Faserqualität stark beeinflusst. Die Stoffe, die für diese Inkrustierung verantwortlich sind, werden „Lignin“ genannt. Sie erhöhen die Druck- und Zugfestigkeit der Faser, verringern aber die Reiß- und Dehnungsfestigkeit, sowie die Elastizität. Der Ligningehalt ist in den Bastfasern sehr niedrig. Er variiert je nach Bestanddichte und Stickstoffdüngung zwischen 0,8 % und 1,5 %. Dieser Effekt hat zur Folge, daß weniger Chemikalien zur Bleichung eingesetzt werden müssen als beispielsweise beim Holz aus der Forstwirtschaft (Menge-Hartmann u. Höppner, 1999).

Langfasern sind das Zielprodukt der traditionellen Hanfverarbeitung. Das geröstete Stroh wird in Parallellage in die Brecher der Faseraufschlußanlage eingebracht und anschließend geschwungen und gehechelt. Das wichtigste Endprodukt ist die wertvolle Langfaser, die in der Bekleidungs- und Heimtextilindustrie Verwendung findet. Als Nebenprodukt fallen Kurzfasern (Schwung- und Hechelwerg) und Schäben an. Hanf wird nur noch in Osteuropa und China in der Langfaserlinie verarbeitet. Seit den 80er Jahren wurden in Europa sog. Gesamtfaserlinien entwickelt, bei denen die ge-

samte im Stroh enthaltene Faser als Kurzfaser gewonnen wird. Die Produktionskosten liegen niedriger als bei der Langfaserlinie. Kurzfasern aus Gesamtfaserlinien werden vorwiegend als technische Fasern genutzt. Je nach späterer Anwendung können die Faserlängen erheblich variieren. Beim Einsatz in Vliesen und Filzen (non wovens) liegen die mittleren Faserlängen i. d. R. zwischen 40 und 100 mm. Hanffasern werden innerhalb der EU ausschließlich in Gesamtfaserlinien gewonnen (Karus et al., 2000).

4.5 Fasergehalt und -erträge

Hanf liefert verschiedene hochwertige Rohstoffe (Fasern, Samen/Öl, Schäben) bei guten Erträgen pro ha. Dies gilt besonders für die Fasererträge: Hanf ist die ertragreichste Faserpflanze der europäischen Landwirtschaft und darüber hinaus gehören die Hanffasern zu den hochwertigsten Pflanzenfasern (nova-inst., 1996).

Der Erntezeitpunkt des dicht ausgesäten Faserhanfes wird bestimmt nach der Vegetationszeit der Blütezeit der männlichen Pflanzen. Die Erntezeit des Faserhanfes beginnt nämlich dann, wenn die männlichen Pflanzen blühen. Sie sind zu dieser Zeit technisch und biologisch reif, die weiblichen hingegen sind nur technisch gereift, biologisch noch nicht. Der Bestand wird trotzdem geschnitten, weil der Samenansatz der weiblichen, bzw. die nach dem Absterben der männlichen Pflanzen eintretende Verholzung und das Abbrechen derselben die Menge und die Qualität der Fasern erheblich beeinflussen würden. Da der Fasergehalt bei den männlichen Pflanzen größer und die Faserqualität auch in jeder Hinsicht besser ist als bei den weiblichen, haben daher die zweihäusigen Hanfsorten eine bessere Qualität als die einhäusigen Sorten, die den zweihäusigen weiblichen ähnlich sind. Die Faser-Ertragsfähigkeit beim einhäusigen Hanf ist kleiner als die der zweihäusigen Sorten, obgleich er weiterhin gezüchtet wird (Böcsa u. Karus 1997).

Je später der Hanf blüht, d. h. je länger die Phase des vegetativen Wachstums dauert, um so höhere Bestände und Stengelerträge sind zu erwarten. Höppner et al. (1999) haben mit elf einhäusigen und drei zweihäusigen Sorten anbautechnische Versuche auf anlehmigen Sand durchgeführt, um aufzuzeigen, welche Erträge und Qualitäten zu einem früheren Erntezeitpunkt erzielbar sind, da die Hanfernte gerade im nordeutschen Raum in eine witterungsinstabile Zeit fällt. Aussaatzeitpunkt war Ende April/Anfang Mai, die Aussaatstärke betrug 250 Körner/m² und die N-Düngung betrug 80 kg/ha. Die Ernte erfolgte zum Zeitpunkt der „technischen Faserreife“ (Stadium beginnender Druckfestigkeit der Früchte). Zusammenfassend wurden vier Sortengruppen differenziert, die mit früh, mittel-früh, mittel-spät und spät klassifiziert wurden. Die Stengeltrockenmasseerträge lagen zwischen 80 und 124 dt/ha, die Fasergehalte zwischen 26 % und 36 %. Versuche mit variiertem Bestandesdichte und Stickstoffdüngungsintensität zeigten, daß die Stengeltrockenmasse- und Fasererträge sowohl durch eine hohe Bestandesdichte als auch unter dem Einfluß der Stickstoffdüngung nur geringfügig gesteigert werden können. Aufgrund des Konkurrenzverhaltens

der Pflanzen erfolgte vom Aufgang bis zur Ernte in der Regel mit steigender angestrebter Bestandesdichte sowie steigender Stickstoffdüngung eine Reduktion der Pflanzendichte. Die höchste N-Düngung verursachte bei einer Bestandesdichte von 350 Pfl./m² sogar eine Reduktion von 50 % (Menge-Hartmann et al., 1995). Ein weiter negativer Einfluß höherer N-Düngungen ist die abnehmende Faserfestigkeit aus der Stengelmittle. Die höchste Reißfestigkeit stellten Menge-Hartmann et al. (1995) bei Sorten mit ungedüngter Stufe fest, während die Festigkeit mit zunehmender Düngung sank. Dabei sind gerade für den Einsatz in Verbund- oder Dämmstoffen die Oberflächeneigenschaften oder die Zusammensetzung der Faserfraktion aus Primär- und Sekundärfasern ausschlaggebend.

Tab. 4.8: Sortenversuch Hanf – Mittelwerte der Jahre 1996 - 1998

Sorten	Erntetermin	Ertrag Stengel TM* (dt/ha)	Fasergehalt %	Ertrag Faser dt/ha	Ertrag Korn TM (kg/ha)
Frühe Sorten	Anfang bis Mitte August	87,6 - 109,2	26,2 - 34,7	23,2 - 35,4	221,4 - 322,5
Mittel-frühe S.	Ende August	100,9 - 114,9	29,2 - 31,5	30,9 - 33,5	134,1 - 228,4
Mittel-späte Sorten	Anfang September	107,2 - 122,0	28,0 - 31,4	31,6 - 36,4	40,2 - 301,4
Späte Sorten	Mitte bis Ende September	120,0 - 123,4	33,7 - 36,4	40,3 - 44,8	28,8 - 41,1

*TM=Trockenmasse

Quelle: Höppner (1998), gekürzt.

Die Versuche haben gezeigt, daß für einen wirksamen Faserertrag die optimale N-Düngung auf anlehmigen Sanden bei 80 kg/ha liegt, und der Pflanzenbestand nach dem Feldaufgang zwischen 200 und 250 Pfl./m² liegen sollte.

Böcsa u. Karus (1997) erhielten als Ergebnis der Züchtung des Hanfes Kompolti auf Fasergehalt ähnlich gute Ergebnisse. Danach wurde nach jahrzehntelanger Züchtung ein Fasergehalt dieser Sorte zwischen 35 % und 38 % erreicht. Das Maximum der Stengelertragsfähigkeit liegt bei 11 - 12 t, womit der Faserertrag bei gut 4 t/ha liegt.

Daneben wurden von der Thüringischen Landesanstalt für Landwirtschaft (1998) über einen Zeitraum von zwei Jahren, auf unterschiedlichen Bodentypen, verschiedener Sorten folgende Stroherträge erzielt:

- Fasergehalt: von 20,6 % - 22,8 %,
- Faserertrag: von 18,7 - 26 dt/ha.

5 Landwirtschaftliche Bedeutung des Hanfanbaus

Sowohl weltweit als auch innerhalb der EU (1999 mit 500.000 ha) ist Baumwolle der bedeutendste Faserlieferant. Durch eine Reform der Marktordnung für Baumwolle will die Europäische Kommission jährlich rund 150 Mill. Euro einsparen und die Umweltschädigungen (hoher Wasserverbrauch, Pestizid- und Herbizideinsatz, Düngung, Artenarmut durch Monokultur) durch den intensiven Anbau vermindern.

Bei den gegenwärtigen EU-Regelungen kommt der Anbau nachwachsender Rohstoffe aus wirtschaftlichen Gründen in erster Linie auf solchen Flächen in Betracht, für die Flächenstilllegungsprämien gezahlt werden. Angebaut werden kann Hanf auch als Marktordnungsfrucht – die EU-Hanfbeihilfe hat 1999 ca. 1.300 DM/ha betragen – oder als nachwachsender Rohstoff auf Stilllegungsflächen. Der Anbau von Rohstoffpflanzen soll den Anbau von Nahrungspflanzen ersetzen und auf diese Weise zum Abbau der Überschussproduktion der EU im Nahrungs- und Futtermittelbereich beitragen. Die Stilllegung als Rotations- oder Dauerbrache ist in diesem Falle in der Regel die in Frage kommende Handlungsalternative für die Landwirte (Wintzer et al., 1993). Für den Anbau wird Hanf in drei hauptsächlichen Nutzungsformen unterschieden. Faserhanf, der vor allem in Europa verbreitet ist, Ölhanf für die Samen- und Ölgewinnung sowie kombinierte Formen, die aber sowohl im Ertragsniveau als auch in der Qualität von Fasern und Samen nicht hundertprozentig befriedigen. Für deutsche Standortbedingungen erscheint von der Nutzung her einzig der Faserhanfanbau interessant zu sein.

Tab. 5.1: Weltproduktion an Naturfasern
1998

Faser	Produktion (in Mio. t)
Baumwolle	ca. 20,0
Jute	2,562
juteähnliche Fasern, wie Hibiscus und verwandte Formen (z. B. Kenaf)	0,563
Flachs	0,636
Sisal	0,315
Hanf	0,079
Kokosfaser	0,266
Ramie*	0,100
Abaca	0,091

Quellen: Karus et al. (2000); *Wert für 1992: BMELF (1995).

Faserlein wurde 1994 auf einer Fläche von rd. 132.000 ha und Hanf auf 12.000 ha angebaut. Kenaf wird v. a. in Süddeutschland und in der Schweiz seit einigen Jahren angebaut. Ein kommerzieller Anbau der Nessel-pflanze steht möglicherweise bevor (Katalyse, 1998). Zwischen EU-Baumwolle und Flachs bzw. Hanf besteht keine unmittelbare Konkurrenzsituation und die Baumwolle findet nur in geringem Maße im technischen Bereich Verwendung.

Neben Hanf kann in Deutschland nur Flachs als zweite Faserpflanze sinnvoll angebaut werden (2000 ha in 1998).

Der Anteil der Faserpflanzen an der gesamten Agrarfläche Deutschlands nimmt nur 0,5 % ein. Importe aus Osteuropa, Ägypten und China decken den Bedarf der EU an Fasern mittlerer und niedriger Qualität, da hier die Faserverarbeitungstechnologien und Kapazitäten sich erst langsam entwickeln. Auf der anderen Seite exportiert die EU Fasern guter bis hoher Qualität. 1994 wurden rd. 70.000 t Naturfasern ausgeführt (Katalyse, 1998), während etwa 58.000 ha Hanf angebaut wurden (Rumänien, Ungarn, Frankreich, Spanien, Niederlande)(Mann, 1998).

5.1 Hanfanbau

In der Europäischen Union (EU) ist der Hanfanbau 1984 wieder legalisiert worden, allerdings mit einer starken Begrenzung des Hauptwirkstoffs Tetrahydrocannabinol (THC), das für die berauschende, aber auch entspannende und krampflösende Eigenschaft verantwortlich ist (von natürlich 5 % auf 0,3 %). Während Frankreich seinen Hanfanbau nie ganz aufgegeben hat und heute einen züchtungstechnischen Vorsprung hat, werden in Großbritannien und Spanien seit 1993 wieder verschiedene Faserhanfsorten kultiviert. In Deutschland war der Hanfanbau Anfang der 80er Jahre aufgrund internationaler Abkommen zur Drogenbekämpfung verboten. Erst mit dem starken öffentlichen Interesse Anfang der 90er Jahre wurde Nutzhanf in die politische Diskussion gebracht. Nicht zuletzt auch aufgrund des zunehmenden Drucks der Landwirte, die sich um EU-Subventionen geprellt sahen, wurde im Ergebnis der Anbau für THC-arme Sorten 1996 für Landwirte wieder ermöglicht.

Frankreich, Spanien und Italien waren in den letzten 40 Jahren die bedeutsamsten Anbauggebiete von Hanf in Europa. Der Hanfanbau beträgt weltweit rd. 280.000 ha, davon etwa 7.800 ha in Westeuropa und etwa 50.000 ha in Osteuropa (1994). Aufgrund des gestiegenen Interesses an neuen technischen Anwendungen der Hanffaser wurde das in vielen Ländern bestehende Anbauverbot aufgehoben. Rückblickend sei erwähnt, daß 1988 in der EG nur noch unbedeutende 2.700 ha Hanf angebaut wurden und Hanf eine aussterbende Kulturpflanze zu sein schien. Die Erlaubnis zum anzeigepflichtigen landwirtschaftlichen Anbau von Hanf gilt ausschließlich für THC-arme Sorten.

1996 wurden in Deutschland wieder erstmalig von 560 Landwirten rd. 1400 ha Hanf angebaut. Tab. 5.2 zeigt, daß seitdem die Hanfanbaufläche in den letzten Jahren kontinuierlich ansteigt – parallel zu neu entstehenden Faseraufschlußanlagen.

Tab. 5.2: Faserhanfanbauflächen in Deutschland und der EU (in ha)

Faserhanfanbaufläche	1996	1997	1998	1999	2000
Nordrhein-Westfalen	31 ¹⁾	35 ¹⁾	15 ⁴⁾	200 ²⁾	230 ³⁾
Gesamtanbaufläche in D	1427 ¹⁾	2812 ¹⁾	3.593 ²⁾	4.066 ²⁾	7.000 ²⁾
Gesamtanbaufläche in der EU	13.722 ⁴⁾	23.000 ²⁾	40.000 ²⁾	31.000 ²⁾	

Quellen: ¹⁾ Katalyse (1998); ²⁾ Karus et al. (2000); ³⁾ Hartmann (2000), ⁴⁾ BMELF (1998).

EU-weit ist der Rückgang der Anbauflächen dadurch zu erklären, daß gerade in Spanien, dem Hauptanbauggebiet für Hanf, Subventionsbetrug an der Tagesordnung war, Hanffasern somit nach der Ernte keiner Nutzung und Verwertung zugeführt wurden, was mittlerweile durch EU-Prüfer eingedämmt wird.

Hanffasern aus EU-Anbau werden zu nahezu 100 % im technischen Bereich eingesetzt, der Bekleidungs- und Heimtextilbereich spielt bislang keinerlei Rolle. Er wird ausschließlich mit Importen aus Osteuropa und China in Form von Fasern, Garnen und Geweben gedeckt. Aus der 98er und 99er Hanfernte der EU können theoretisch etwa 40.000 t Hanffasern gewonnen werden (Karus et al., 1999). Aufgrund teilweise fehlender Aufschlußkapazitäten und einer erst anlaufenden Vermarktung lagen die realen Produktionszahlen für 1999 bei etwa 30.000 t. Der größte Anteil geht in die Spezialzellstoffindustrie, der Rest vor allem in die Vliesindustrie. Vlies- und Filzfasern aus der Hanf-Gesamtfaserlinie werden etwa zwischen 1,00 und 1,20 DM/kg gehandelt, Flachsfasern sind teurer.

Tab. 5.2: Hanffaserproduktion in Deutschland und in der EU
1998 und 1999

	1998	1999
Deutschland	1.000 t	4.400 t
EU	20.000 - 28.000 t	26.000 - 32.000 t

Quelle: Karus et al., 1999.

In Deutschland stieg die Hanfanbaufläche in den letzten Jahren kontinuierlich – parallel zu den neu entstehenden Faseraufschlußanlagen an. Gründe für den Anbau gibt es folgende: Für den Landwirt eines viehstarken Betriebs ist es die gute Gülleverträglichkeit (wichtig für ökologischen Landbau) und der relativ geringe Arbeitszeitbedarf für Anbau und Ernte sowie der relativ hohe Faserertrag; für die Marktfruchtbetriebe sind es vor allem die sehr guten Fruchtfolgeeigenschaften von Hanf. Wichtig ist, daß Hanf wirtschaftlich als Sommerung mit Mais und Raps konkurrieren kann. Daneben sind die allgemeinen Produktionsalternativen von Interesse bei den Hanfbauern. Angebaut werden kann Hanf als Marktordnungsfrucht – die EU-Hanfbeihilfe hat 1999 ca. 1.300 DM/ha betragen – oder als nachwachsender Rohstoff auf Stilllegungsflächen. Nach aktuellen Plänen der EU-Kommission soll die Beihilfe bis zum Jahr 2005 drastisch gesenkt werden. Für eine tatsächlich eintretende Absenkung der Beihilfe wäre eine Erhöhung des Strohpreises (derzeit ca. 130 DM/t bei einem Strohertrag von 6 - 9 t/ha) unbedingt notwendig, da ansonsten der Anbau für die Bauern wirtschaftlich unrentabel wird.

Abschätzungen zum mittelfristigen Flächenbedarf zeigen, daß es bei intensiver landwirtschaftlicher Produktion zu keiner Flächenkonkurrenz zwischen dem Anbau von nachwachsenden Rohstoffen und der herkömmlichen Flächennutzung bzw. dem zusätzlichen Flächenbedarf für Naturschutzzwecke oder für Infrastruktur kommt.

Wintzer et al. (1993) kommen zu dem Schluß, daß unter Beibehaltung der bisherigen Produktionsintensität mittelfristig rd. 30 % der landwirtschaftlichen Fläche aus der Produktion genommen werden müssen, damit die Agrarüberschüsse unter Berücksichtigung wachsender Flächenerträge abgebaut werden können. In Deutschland stellt dies eine Fläche von 6 Mio. ha dar, die für nachwachsende Rohstoffe bereitgestellt werden könnte.

1994 wurden in Deutschland auf etwa 400.000 ha, das sind rund 3 % der Ackerfläche, Agrarrohstoffe für die Industrie und den Energiesektor angebaut. Mittel- bis langfristig ist in Deutschland eine Ausweitung des Anbaus von Rohstoffpflanzen allein für industrielle Verwendungen auf ca. 420.000 ha möglich (BMELF, 1995).

Hanfanbau könnte auf Niedermoor- und niedermoorartigen Anmoorböden zum Bemühen um eine Senkung der Überproduktion an Milch und Milcherzeugnissen beitragen. Diese überwiegend als Dauergrünland genutzten Böden sind dafür unter befriedigenden moorkulturellen Voraussetzungen besonders geeignet. Darum könnte der mit sich selbst verträgliche Hanf mehrere Jahre nacheinander und nach kurzer Ackerzwecknutzung erneut angebaut werden. Auf diese Weise würde er die bisher vorgesehene Extensivierung der Grünlandnutzung bzw. die Grünlandbrache weitgehend erübrigen. Gerade für Betriebe mit hohem Anteil an Niedermoor- und niedermoorartigem Grünland wäre diese Regelung sehr hilfreich (Baden, 1986).

Hauptnutzungsziel für die deutschen Hanfanbauer ist das Hanfstroh. Dieser großvolumige und damit wenig transportwürdige Rohstoff macht kurze Wege zum Abnehmer notwendig. Daher ist seit der Wiedereinführung des Hanfanbaus 1996 in Deutschland eine zunehmende Konzentrierung der Anbauflächen rund um die stroh-abnehmenden Faseraufschlußanlagen zu beobachten. In NRW ist das der Standort Kalletal, Ostwestfalen, Kreis Lippe. Die Betreiber sind auf eine gute regionale Zusammenarbeit angewiesen, da das Stroh nur über Entfernungen von 50 - 100 km wirtschaftlich transportiert werden kann.

Fasererträge und Faserqualitäten von Hanf können in gewissem Maße durch Sortenwahl und pflanzenbauliche Maßnahmen beeinflusst werden. Wichtig wird neben der Produktentwicklung, die Erstellung von Qualitätsanforderungsprofilen für bestimmte Verwendungszwecke, damit der Anbau dahingehend gesteuert werden kann (Menge-Hartmann et al., 1997).

Aktuelle Berichte zeigen (Karus et al., 2000), daß aufgrund weiterer Faseraufschlußanlagen und einer wachsenden industriellen Nachfrage nach Hanffasern, insbesondere aus der Automobilindustrie, weiter steigende Anbauflächen in den nächsten Jahren erwartet werden. Die weitere Entwicklung der Hanfanbauflächen hängt von folgenden Faktoren ab (Karus et al., 2000):

- der industriellen Nachfrage nach Hanffasern;
im technischen Bereich – insb. Anwendungen in der Automobilbranche, Bau-

und Dämmstoffe sowie Geo- und Agrartextilien – wird eine steigende Nachfrage erwartet, im Bekleidungstextilbereich eine Stagnation oder Rückgang,

- den EU-Subventionen zur Gewährung der Flächenbeihilfe;
es muß gewährt sein, eine ausreichend Beihilfe für seriöse Unternehmungen sicherzustellen und gleichzeitig einen Prämienmißbrauch zu verhindern,
- der Höhe der EU-Flächenbeihilfe,
wobei mit einer stetigen Absenkung der Hanf- und Flachs-Beihilfen gerechnet wird. Sollten geeignete Regularien gefunden werden, so ist durchaus eine moderate jährliche Absenkung anzunehmen (bis auf ein für andere Kulturpflanzen übliches Niveau von ca. 700 DM/ha), die von den Hanffaserindustrien durch Produktionssteigerungen ausgeglichen werden könnten.

5.1.1 Betriebliche Voraussetzungen

- existierende Betriebsgrößen, Strukturen und Vermarktungswege sind auf die Erzeugung von Nahrungsmitteln, nicht aber auf die Produktion von nachwachsenden Rohstoffen ausgerichtet ⇒ technische, betriebswirtschaftliche und organisatorische Probleme für die Produktion müssen gelöst werden,
- der Weg vom Landwirt bis zum Endverbraucher ist durch zahlreiche technische und vermarktungsrelevante Hürden gekennzeichnet ⇒ Verbesserung der Infrastruktur,
- es gibt keine Restriktionen hinsichtlich Dünge- und Pflanzenschutzmittel ⇒ Widerspruch zu einer ökologischen und nachhaltigen Landwirtschaft,
- fehlende Internalisierung der Umweltkosten beispielsweise durch eine Energiesteuer ⇒ Wettbewerbsverzerrungen mit konventionellen Rohstoffen,
- hohe bürokratische Hürden beim Anbau von nachwachsenden Rohstoffen sind zu überwinden (z. B. EU-Verordnung 334/93).

5.1.2 Rechtliche Voraussetzungen

In der Europäischen Union dürfen ausschließlich die Hanfsorten für den Anbau verwendet werden, die im Anhang B der VO (EWG) 1164/89 enthalten sind, und die einen THC-Gehalt von 0,2 % (ab dem Wirtschaftsjahr 2001/02) nicht überschreiten. Der Anbau von Nutzhanf ist nur den Unternehmen der Landwirtschaft im Sinne des § 1 Abs. 4 des Gesetzes über die Alterssicherung der Landwirte (ALG) erlaubt, deren Betriebsfläche die in § 1 Abs. 2 ALG genannte Mindestgröße erreichen oder überschreiten. Landwirte, die THC-armen Nutzhanf anbauen wollen, müssen dies bei der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) in Frankfurt mit dem Formblatt „Anzeige des Anbaus von Nutzhanf“ anzeigen, womit auch der Antrag auf EU-Beihilfe gestellt werden kann. Für den Anbau darf nur zertifiziertes Saatgut der von der EU zugelassenen Sorten verwendet werden (näheres sh. „Merkblatt zum Anbau von Nutzhanf und zur Gewährung einer Hanfbeihilfe“ des BLE). Dazu ist eine Anbauanzeige mit amtlichen Etiketten der verwendeten Sorten notwendig. Dem Antrag

auf EU-Beihilfe wird nur dann stattgegeben, wenn der Landwirt eine Anbauflächen-erklärung bei der Bundesanstalt abgegeben hat und einen Beihilfeantrag stellt.

Innerhalb der bestehenden EU-Regelungen können Unternehmen der Landwirtschaft Nutzhanf nur anbauen als:

- Marktordnungsfrucht im Rahmen der EU-Beihilferegelung für Hanf (ca. 1.510 DM/ha), [Verordnungen (EWG) Nrn. 1308/70, 619/71 und 1164/89],
- nachwachsenden Rohstoff auf stillgelegten Flächen mit der dabei gewährten regionalen Flächenstillegungsprämie (im Schnitt 750 DM/ha); eine Doppelförderung von Hanfbeitilfe und Stilllegungsausgleich ist ausgeschlossen, [VO (EWG) Nr. 1765/92],
- landwirtschaftliche Nutzpflanze außerhalb jeglicher Beihilferegelung.

Jeder Erzeuger muß aufgrund der Anzeigepflicht unter Beachtung der Vorlagefrist (die in 3-facher Ausfertigung vorliegen muß):

- dem BLE eine Aussaatflächenklärung abgeben,
- dem BLE eine Anbauerklärung (auch wenn keine Beihilfe beantragt wurde) abgeben,
- dem BLE eine Erntemeldung unmittelbar vor der Ernte abgeben,
- dem BLE einen Beihilfeantrag für den Erhalt der Subventionen abgeben [VO (EWG) Nr. 620/71],
- Etiketten der verwendeten Sorten als Nachweis der Verwendung zertifizierten Saatguts beibringen,
- eine Verarbeitungsverpflichtungserklärung des ersten Verarbeiters beibringen, in der sich dieser dazu verpflichtet, das Hanfstroh zu verarbeiten,
- dem BLE vorab einen geschätzten Durchschnittsertrag an rohem Stroh, Fasern und Körnern zu melden.

Für die Gewährung der Beihilfe müssen die Voraussetzungen erfüllt werden, daß

- die Mindestaussaatmenge von 20 kg/ha eingehalten wird,
- die Ernte nach der Samenbildung erfolgt (d. h. wenn die endgültig ausgereiften Hanfsamen zahlenmäßig überwiegen),
- die Stoppelhöhe max. 20 cm beträgt,
- mindestens 2,5 t/ha an nicht geriffeltem Hanfstroh erzielt werden.

Die Bundesanstalt kontrolliert stichprobenartig den gesamten Nutzhanfanbau, weshalb die abgeerntete Fläche 20 Tage nach der vorgenannten Erntemeldung nicht verändert werden darf. Wer den Anbau von Nutzhanf nicht oder nicht vollständig oder nicht rechtzeitig anzeigt, handelt ordnungswidrig und kann nach dem BtmG mit einer Geldbuße bis zu 50.000 DM belegt werden.

5.1.3 Anbauempfehlungen für Faserhanf 2000*

Im folgenden sind die Methoden des Anbaus, der Weiterbearbeitung und der Ernte zusammenfassend dargestellt. Erfahrungen aus dem Jahre 1999 fließen bei den Anbauempfehlungen teilweise mit ein.

Fruchtfolgeeigenschaften

Zu seinen großen Vorteilen gehören die sehr guten Fruchtfolgeeigenschaften des Hanfes. Mit sich selbst verträglich kann er sogar auf Niedermoor und niedermoorartigen Anmoorböden wie „ewiger Roggen“ jahrelang aufeinander folgen (Baden, 1986) und stellt zudem keine besonderen Ansprüche an seine Vorfrucht. Er selber aber besitzt gute Vorfruchteigenschaften. Hanf hinterläßt einen unkrautfreien Acker, wovon auch die Fruchtfolge profitiert. Durch die schnelle und dichte Beschattung des Bodens im dichten Faserhanfbestand wird ein hervorragendes Mikroklima geschaffen, das sich positiv auf die Bodenstruktur auswirkt (Bodengare).

Aussaattermin

Der Zeitraum für die Aussaat sollte zwischen dem 10. April und dem 15. Mai liegen. Es muß darauf geachtet werden, daß die Bodentemperatur möglichst über 7 °C liegt, das Saatbett ausreichend abgetrocknet und abgesetzt ist, um einen raschen Feldaufgang und eine optimale Jugendentwicklung zu gewährleisten. Nach Mastel et al. (1998) haben unterschiedliche Aussaatzeitpunkte keinen signifikanten Einfluß auf das Längenwachstum der Pflanzen und auf den Gesamtpflanzenertrag.

Aussaatmenge und Sorten

Das Saatgut ist einer der großen Kostenfaktoren im Hanfanbau. Auf Basis der Erfahrungen aus dem Anbaujahr 1999 kann die Aussaatmenge 2000 auf 40 kg/ha abgesetzt werden. Nur Z-Saatgut der in der EU zugelassenen Sorten darf eingesetzt werden. Das Tausendkorngewicht liegt bei ca. 17 g, so daß die Aussaat mit herkömmlichen Drillern erfolgen kann; die Saattiefe sollte ca. 3 cm betragen.

Nach bisherigen Untersuchungen in Forchheim sind Saatkulturen um 250 keimfähige Körner/m² bzw. eine Saatmenge von 42-45 kg/ha ausreichend für hohe Trockenmasseerträge und genügen den Anforderungen des Abnehmers an die Strohqualität, wie z. B. die erforderliche Feinheit der Hanffasern. Diese Bestandesdichte reicht auch aus, damit jegliches Beikraut wirkungsvoll unterdrückt wird (Mastel et al., 1998).

Düngung

Anzustreben ist ein gleichmäßig hoher Hanfbestand mit einem möglichst geringen Anteil Unterhanf. Auch wenn Hanf zu den stickstoffliebenden Kulturen zählt, muß die N-Düngung zurückhaltend erfolgen. Höhere Stickstoffgaben führen nicht zu einer Erhöhung des Strohertrages, aber zu einem erhöhten Lager- und Ernterisiko. Stark

* herausgegeben vom Landwirtschaftszentrum Haus Düsse, Projektbüro Hanf 3/2000, andere Quellen sind angegeben

gedüngte Bestände neigen zu vermehrten Blattbildungen und einer verzögerten Abreife sowie nachlassenden Faserfestigkeiten.

Auch für die Reißfestigkeit der Bastfasern – eine der reißfestesten Naturfasern überhaupt – ist eine hohe Stickstoffdüngung nachteilig. Eine zu hohe N-Düngung (empfohlene Menge sh. Tab. 4.2 und Tab. 5.4) führt zu Primärfasern mit großem Durchmesser und mangelhaft ausgebildeten Faserzellwänden (Höppner u. Menge-Hartmann, 1996).

Tab. 5.4: Düngebedarf für die Produktion von Faserhanf

Mineralstoff	Aufwandmenge (in kg/ha)
N	60 - 120
P ₂ O ₅	50 - 75
K ₂ O	200 - 300
CaO	150 - 200
MgO	40 - 60

Es werden 80 - 120 kg/ha N – z. B. 70 kg/ha N-Gabe + 35 kg/ha N_{min} –, 70 - 100 kg/ha P₂O₅ und 150 - 180 kg K₂O empfohlen. Hanf gilt als Calciumbedürftige Pflanze und reagiert sehr positiv auf organische Dünger, insbesondere auf Gülle.

Quelle: Mastel et al. (1998).

Pflanzenschutz

In dichten Faserhanfbeständen ist keine Pflanzenschutzbehandlung notwendig. Gegenüber Unkraut ist Hanf sehr konkurrenzstark, und gegenüber auftretenden Krankheiten und Schädlingen zeigt er sich wenig anfällig.

Vegetationsverlauf

Das Auflaufen erfolgt innerhalb von 8 - 10 Tagen, der Reihenschluß nach drei Wochen. Nach einer kurzen Phase, in der das oberirdische Wachstum stillzustehen scheint, folgt eine Phase des starken Wachstums. In diesen 5 - 6 Wochen wachsen die Pflanzen unter günstigen Bedingungen 3 - 5 Zentimeter am Tag. Das vegetative Wachstum endet weitestgehend mit Beginn der Blüte im Juni. Die Blüte dauert etwa 2 - 3 Wochen, und bis zur Samenreife dauert es nochmal 4 - 6 Wochen, wobei Blüte und Samenreife in einem Bestand und an einer Blüte sehr unregelmäßig verlaufen.

Ernte

Seine technische Reife erreicht Hanf in der Vollblüte des Bestandes. Aufgrund der derzeitigen rechtlichen Rahmenbedingungen der EU kann erst mit der Ernte begonnen werden, wenn 50 % des Bestandes samenreif sind. 1999 wurde erst Mitte August mit dem Schnitt begonnen, für 2000 ist ein Erntestart ab Ende Juli geplant. Die 2 - 3 m langen Stengel werden auf 60 cm Stücke eingekürzt und anschließend abgelegt, geröstet und mehrmals gewendet. Es werden Quaderballen verlangt.

„Die Erntetechnik steht“, d. h., daß alle Probleme der Ernte aus der Vergangenheit heute als gelöst betrachtet werden können (Mastel et al., 1998).

Lüften / Pressen

Jede Behandlung des Stroh führt zu Zerfaserung der Stengel, Schäbenverlusten und Dreckeintrag im Erntegut, was die nachfolgenden Prozeßschritte benachteiligt. Das

Stroh sollte vor dem Pressen ein oder zwei mal gelüftet werden, damit noch feuchte Stellen abtrocknen können. Anschließend wird das Stroh bei einem Trockensubstanzgehalt von $> 85\%$ in Rundballen gepreßt.

Lagerung

Hanfstroh muß nach dem Pressen direkt trocken unter Dach eingelagert werden, da es gegenüber Feuchtigkeit wesentlich empfindlicher ist als beispielsweise Heu.

5.2 Ökologischer Anbau

Die Hanfpflanze hat sehr günstige Agrareigenschaften (keinerlei Herbizide notwendig, sehr geringer Insektizid- und Fungizideinsatz selbst im konventionellen Anbau, sehr gute Fruchtfolgeeigenschaften, geringer Arbeitseinsatz etc., sh. auch Kap. 4.2). Durch seinen geringen landwirtschaftlichen Aufwand liefert dieser Rohstoff ökologisch weitgehend unbelastete Biorohstoffe, die sich für die Entwicklung ökologischer Produktlinien anbieten (nova et al., 1996). Im ökologischen Landbau wird weniger als die Hälfte der fossilen Energie eingesetzt als bei der konventionellen landwirtschaftlichen Produktionsweise, und durch den Verzicht auf mineralischen Stickstoffdünger werden die Emissionen von N-Verbindungen in Boden, Wasser und Atmosphäre vermieden (EK, 1994).

5.2.1 Konventionelle und ökologische Pflanzenproduktion

Gegenwärtig können in Deutschland konventionelle von ökologischen Pflanzenproduktionsverfahren unterschieden werden. Die konventionelle Pflanzenproduktion wird primär durch ökonomische Ziele geprägt. Wichtigste Zielgröße ist der Deckungsbeitrag, d. h. der für die jeweiligen Produkte erzielbare (maximale) Marktwert abzüglich der bei ihrer Produktion anfallenden variablen Kosten. Für ökologisch wirtschaftende Betriebe (alternative oder biologische Wirtschaftsweise) kommen neben den rein ökonomischen Zielen auch ökologische Ziele hinzu (u. a. Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, Gewährleistung der Pflanzengesundheit), die gleichwertig neben den ökonomischen Zielen stehen. Die Zielkonzepte solcher Betriebe sind somit weiter gefaßt als diejenigen konventionell wirtschaftender Betriebe (Kaltschmitt u. Reinhardt, 1997).

EU-weit sind für den ökologischen Landbau Anbau, Verarbeitung, Handel, Kennzeichnung und Kontrolle von Produkten durch Verordnungen geregelt. Darüber hinaus sind die Mitglieder von Anbauorganisationen vertraglich an die weitergehenden Richtlinien ihrer Verbände gebunden. In Deutschland wird der ökologische Landbau vor allem durch zwei wesentliche Anbaurichtungen repräsentiert: den biologisch-dynamischen Landbau (Anbauverband „Demeter“) und den organisch-biologischen Landbau (Anbauverband „Bioland“). Den verschiedenen ökologischen Landbauformen gemeinsam sind die Grundsätze der Pflanzenproduktion nach IFOAM (1993)

oder Naturland (1997). Eine Übersicht über die Unterschiede zwischen beiden Formen gibt die Tab. 5.5 wieder.

Tab. 5.5: Unterschiede zwischen konventioneller und ökologischer Pflanzenproduktion

	konventioneller Landbau	ökologischer Landbau
Hauptziele	ökonomisch	ökonomisch, ökologisch
Zielgrößen	Deckungsbeitrag	Deckungsbeitrag, Bodenfruchtbarkeit, Pflanzengesundheit, Artenvielfalt, etc.
Produktionsstrategie	linear (output-orientiert)	zyklisch (kreislauf-orientiert)
Einsatz externer Betriebsmittel	hoch	gering
Einsatz synthetischer N-Dünger	hoch	nicht zugelassen
N-Zufuhr durch Leguminosen	gering	hoch
Naturaler Ertrag	hoch	gering
Fruchtfolgegestaltung	einseitig und eng; wenige Kulturpflanzen mit hohem Deckungsbeitrag	auch Kulturpflanzen mit geringerem Deckungsbeitrag

Quelle: Kaltschmitt u. Reinhardt (1997).

Der konventionelle Landbau weicht von diesen Grundsätzen in der Regel ab. Die wesentlichen Unterschiede liegen insbesondere in einer hohen, ertragsorientierten N-Düngung auf der Basis leicht löslicher mineralischer Dünger aus industrieller Produktion und dem Einsatz chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmittel, mit ihren bekannten Auswirkungen auf Boden, Grundwasser und Klima (Kaltschmitt u. Reinhardt, 1997).

5.2.2 Pflanzenbauliche Möglichkeiten

In der Tab 4.4 werden die ökologischen Eigenschaften von *Cannabis sativa* L. und deren Bedeutung für die Umwelt dargestellt. Eine der wichtigsten ökologischen Eigenschaften ist, daß selbst im konventionellem Landbau keine Unkrautbekämpfung notwendig ist, weil der Hanf durch sein schnelles Jugendwachstum und dem raschen Reihenschluß des Blattwerkes die aufkeimenden Beikräuter im Wuchs stark unterdrückt und somit verdrängt. Selbst Disteln und Quecken werden vom Hanf unterdrückt und sterben aufgrund des zu hohen Konkurrenzdruckes schließlich ab (nova-Inst., 1996).

Im konventionellen Anbau der Landwirtschaft hat sich auf anlehmigen Sanden eine Stickstoffdüngung von 80 - 100 kg/ha bewährt, was etwa die Hälfte bis ein Drittel der Menge darstellt, die im Vergleich dazu Weizen braucht (Höppner und Mengel-Hartmann, 1996). Andere Autoren sprechen von einem empfohlenem Düngeinsatz von 60 - 80 kg N/ha (sh. Tab. 4.3). Dieser Wert liegt weit unter der vom Umweltbundesamt 1994 geforderten Höchstgrenze für Düngemittel von 120 kg N/ha und kann ohne Probleme eingehalten werden (Waskow, 1996).

Selbst konventionell angebaute Hanf kommt im Vergleich zu anderen Nutzpflanzen mit sehr wenig Chemie aus. Daher ist es beim Hanf auch leichter als bei den meisten anderen Nutzpflanzen, vollständig auf Chemie zu verzichten. Die Erfahrungen aus Frankreich, England und den Niederlanden zeigen, daß der Hanf ohne Spritzmittel auskommen kann. Schädlinge, Krankheiten und Beikräuter führen zu keine relevanten Ertragseinbußen - dafür erzielen die sauberen Rohstoffe bessere Preise am Markt. „Es gibt keine ökonomische Notwendigkeit für einen Chemieeinsatz“ (Böcsa u. Karus, 1997). Weder eine maschinelle Hacke noch ein Einsatz von Herbiziden ist erforderlich. Auch auf den Einsatz von Fungiziden kann nach bisherigem Kenntnisstand verzichtet werden (Höppner, 1996).

Selbst wenn Hanf ohne Pflanzenschutzmittel erzeugt wird, genügt dies allein nicht den Anforderungen einer umweltgerechten Hanferzeugung. Vielmehr muß sich der Anbau den Prinzipien der Nachhaltigkeit annähern, wie es im Biologischen Landbau angestrebt wird. Der Anbau von Hanf im Ökologischen Landbau kann aber weder auf umfangreiche praktische Erfahrungen noch auf wissenschaftliche Untersuchungen auf diesem Gebiet zurückgreifen. Die Literatur gibt zu diesem Themenkomplex nur wenig bekannt (Katalyse, 1996).

Nach Waskow (1996) gibt es außer auf einigen kleinen Hanfanbauflächen in Österreich keine Hanfanbauflächen in Europa, die nach dem ökologischen Landbau anerkannt und zertifiziert sind. Aus pflanzenbaulicher Sicht bietet Hanf aber Vorteile für eine extensive und ökologische Landwirtschaft.

Die Erfahrungen aus Österreich haben gezeigt, daß Hanf im biologischen Landbau nur mit guter Stellung in der Fruchtfolge, in leichten bis mittelschweren, tiefgründigen Böden ohne Bodenverdichtungen und mit ausreichender Nährstoffversorgung beikrautunterdrückende Wirkung entfalten kann. Unter diesen Bedingungen stellt er eine Bereicherung der Fruchtfolge von Biobetrieben dar. Die Leistungen eines im biologischen Landbau häufig üblichen mehrjährigen Feldfutterbaus für die Beikrautkontrolle scheint er nach bisherigen Erfahrungen jedoch nicht erbringen zu können (Vogl et al., 1997).

Sein starkes Massenwachstum bewirkt beim Hanf einen relativ hohen Nährstoffanspruch. Die Nährstoffaufnahme erfolgt bei Hanf sehr früh, wobei der Bedarf in den ersten beiden Vegetationsmonaten bzw. in der 4. - 10. Woche besonders hoch ist. Dies stellt im Ökologischen Landbau eine Herausforderung an eine optimale Fruchtfolgegestaltung sowie an eine zeitgerechte organische Düngung und eine termingerechte Bodenbearbeitung dar. Hanf ist gut verträglich für organische Düngung (Gründüngung, Gülle oder Stallmist), die zu höheren Erträgen als eine alleinige Mineraldüngung führt (da diese zeitversetzt an die Pflanze abgegeben wird). Stallunggaben fördern zudem die Wurzelausbildung bei Hanf (Katalyse 1996; Böcsa u. Karus, 1996).

Die Pflanze braucht für zufriedenstellende Erträge und eine gesunde Entwicklung eine gute Stellung in der Fruchtfolge nach gut gedüngten Hackfrüchten oder nach Leguminosen, um seinen hohen Nährstoffbedarf befriedigen zu können. Über die Nährstoffmobilisierung von Hanf durch Rückführung durch den Blattfall wie auch die zitierte positive Wirkung auf die Bodenstruktur gibt es derzeit keine wissenschaftlich abgesicherten Daten (Vogl et al., 1997).

Nach Vogl et al. (1997) konnten in den österreichischen Anbauversuchen bei feuchter und kühler Witterung auf einigen Standorten Schädigungen an Hanfpflanzen durch Wildverbiß, Schneckenfraß, Maiszünsler sowie Schädigungen durch verschiedene Pilzkrankheiten festgestellt werden. Dies widersprach nach ihren Angaben den Aussagen vieler Autoren der Hanfbewegung. Im Bereich der Phytopathologie will der biologische Landbau, „primär durch die Erhöhung der Stabilität des Agrarökosystems, vorbeugend den Krankheits- und Schädlingsbefall minimieren“ (Vogl et al., 1997). D. h., daß auf eine hohe Fruchtfolge durch Bereicherung der angebauten Kulturarten und auf Vermeidung von Monokulturen geachtet werden soll zwecks Vermeidung von günstigen Ausbreitungsbedingungen für bestimmte Schädlinge. Denn erfahrene Praktiker und Wissenschaftler weisen auf das Risiko der Vermehrung von Krankheiten und Schädlingen im Hanf bei monokulturellem Anbau sowie auf mögliche Ertragsrückgänge hin (Vogl et al., 1997), so daß eine geregelte, vielfältige Fruchtfolge für eine ökologische Landwirtschaft unverzichtbar ist.

Auch Katalyse (1996) betont, daß der vorbeugende Pflanzenschutz im Ökologischen Landbau u. a. durch eine vielseitige Fruchtfolge, eine ausgewogene organische Düngung und exakte Standort- und Sortenwahl größte Bedeutung hat.

Waskow (1996) gibt hingegen an, daß im Gegensatz zu vielen anderen Kulturpflanzen (z. B. Raps oder Flachs) beim Hanfanbau in der Regel nur ein relativ geringer wirtschaftlicher Schaden durch Schädlinge zu erwarten ist. Es gäbe demnach praktisch keine artspezifischen Schädlinge, die zu Ernteaussfällen führen könnten und nicht durch anbautechnische Maßnahmen wie Saatgutreinigung oder Methoden der biologischen Schädlingsbekämpfung zu verhindern bzw. unter Kontrolle zu bringen wären. Der Autor räumt aber auch ein, daß die Erfahrungen mit größeren Anbauflächen diesbezüglich unzureichend sind.

Vogl et al. (1997) konstatieren: Werden auf den Stilllegungsflächen nachwachsende Rohstoffe im Rahmen der konventionellen Landwirtschaft mit dem dort üblichen Einsatz von Mineraldünger und Pestiziden angebaut, so können die dort produzierten nachwachsenden Rohstoffe nur einen geringeren Beitrag zur Reduktion der CO₂-Emission, zur Verringerung des Verbrauchs fossiler Rohstoffe oder zur Verringerung negativer anthropogener Einflüsse auf Boden, Wasser, und Luft erbringen. Bei der Untersuchung nachwachsender Rohstoffe müssen daher die Auswirkungen der gesamten Prozeßkette (von der Herstellung der Betriebsmittel bis zu Transport und Ver-

arbeitung der Produkte) mit ihren Auswirkungen, etwa auf CO₂- oder Energiebilanz, mitberücksichtigt werden. Das bedeutet, daß nur der Anbau nachwachsender Rohstoffe, speziell auch für Hanf, unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus sinnvoll ist, um die CO₂-Emissionen wirkungsvoll zu reduzieren.

Hanfsamenerträge bis zu 1.000 kg/ha konnten auf Biobetrieben erzielt werden, wobei die Preise für Hanfsamen erster Qualität aus ökologischem Landbau bei 2 - 3 DM/kg liegen (Vogl et al., 1997).

Das nova-inst. (1996) kommt in seiner Studie zu dem Ergebnis, daß Hanf sich – unter Beachtung seines Nährstoffbedarfes – gut für den ökologischen Landbau eignet. Hanf weist ökologische Eigenschaften auf (sh. Kap. 4.2), die mit keiner Pflanze der nachwachsenden Rohstoffe vergleichbar ist. Betrachtet man bei nachwachsenden Rohstoffen die gesamte Prozeßkette von der Herstellung der Betriebsmittel bis zu Transport und Verarbeitung der Produkte, so kann der Anbau von Hanf im ökologischen Landbau einen wichtigen Beitrag zur Ökologie in der Bereitstellung des Rohstoffes garantieren. Nur so kann dem Anspruch, der an nachwachsende Rohstoffe gestellt wird – CO₂-Reduzierung, Verringerung des Verbrauchs fossiler Rohstoffe incl. ihrer Emissionen – am besten Rechnung getragen werden.

5.3 Erntevorschriften und -mengen

Hanf ist eine Sommerfrucht, die ab April ausgesät wird und im August/September, nach einer Vegetationszeit von 100 - 150 Tagen, geerntet wird. Der Anbau und die Ernte richten sich nach den gewünschten Nutzungszielen. Hierbei unterscheidet man zwischen dem Anbau zur Fasernutzung, dem zur Gewinnung der Samen und einer Kombination aus beiden (Kuppelnutzung).

Ein gutes Kriterium zur Bestimmung des Erntetermins ist die Blüte der männlichen Pflanzen. Als geeignete Reifezeit zur Erzeugung guter Faserqualitäten gilt die Zeitspanne von 50%iger Blüte bis Blühende der männlichen Blütenstände. Dieser Termin wird nach 110 - 120 Tagen Vegetationsdauer erreicht. Nachdem diese technische Reife der Fasern erreicht ist (Ende August - Anfang September), sollten die Hanfpflanzen gemäht werden (am geeignetesten sind Balkenmähwerke), wobei höchstens 20 cm vom Boden gemäht werden darf. Die nach dem Mähen zurückbleibenden Stoppel dürfen erst 20 Tage nach der Ernte umgebrochen werden, um in diesem Zeitraum Kontrollen durch das BLE zu ermöglichen (sh. Kap. 5.1.2) und werden anschließend in Rund- oder Quaderballen gepreßt und gelagert. Hier schließt sich die erste Stufe des mechanischen Faseraufschlusses an, in der das Stroh gebrochen wird und Fasern und Schäben voneinander getrennt werden (sh. Kap. 7.4).

Der reale Erntezeitpunkt hängt allerdings in Westeuropa weniger von der technischen Reife als von den EU-Beihilferegelungen ab. Die Ernte ist 14 Tage im voraus bei der Bundesanstalt anzuzeigen („Erntemeldung“). Für viele Anwendungsbereiche ist es sinnvoll, die Pflanzen vor der Samenbildung Ende August / Anfang September

zu ernten und einer Verwendung zuzuführen. Wollen die Hanfbauern die EU-Beihilfe nicht verlieren, so sind sie gezwungen, die Hanfpflanzen bis Ende September oder sogar Anfang Oktober stehen zu lassen bis „die endgültig ausgereiften Hanfsamen zahlenmäßig überwiegen“ (Verordnung EG Nr. 466/96; Amtsblatt vom 15.3.1996, Nr. L 65/6). Mit fortschreitender Reife verholzen die Faserbündel zunehmend, die männlichen Pflanzen sterben vorzeitig ab. Die Landwirte gehen damit ein großes Witterungsrisiko ein. Diese Festlegung des Erntezeitpunktes innerhalb der EU-Beihilfe-Regelung begründet sich auf der Zusammenlegung der ursprünglich getrennten Förderung von Samen- und Faserhanfanbau. Da die Beihilfezahlung für beide Nutzungen gilt, sollte mit der Festlegung des Erntetermines die Gewinnung von Stroh und Samen gewährleistet werden („Koppelnutzung“). Mit dieser Regelung wird jedoch einseitig der Hanfanbau im Süden Europas begünstigt. Daneben erschwert die Regelung den Einsatz zweihäusiger Hanfsorten, die weltweit zu den ertragreichsten Sorten überhaupt zählen. Bei den zweihäusigen Sorten, die männliche und weibliche Pflanzen aufweisen, ist es problematisch, die Ernte erst nach der Samenreife durchzuführen. Die männlichen Pflanzen beginnen abzusterben, während die weiblichen noch reifen. Es kommt somit zu einem Qualitätsverlust der Faser der männlichen Pflanzen infolge von Verholzung und Überrüstung. Die EU-Beihilfe-Verordnung benachteiligt somit den Anbau mit zweihäusigen Hanfsorten mit guten Qualitäten und Erträgen, die zudem zu den ertragreichsten Hanfsorten überhaupt zählen. „Eine Zweifachnutzung ist mit einer Wertminderung der Produkte gekoppelt, die aus ökonomischer Sicht in der Regel nicht zu vertreten ist“ (Mann, 1998).

Auch Vogl et al. (1997) stellen fest, daß diese „Förderungsrichtlinien kontraproduktiv“ sind. Diese Anforderungen widersprechen einander vom wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Standpunkt, da qualitativ hochwertiger Faserhanf vor der Samenreife (zum Zeitpunkt der weiblichen Blüte) geerntet werden muß. Nach der Blüte steigen die Gehalte von Lignin und sekundären Bastfasern in unerwünschtem Ausmaße an. Darüber hinaus werden spätreifende Sorten, die unter unseren Klimabedingungen nicht zur Samenreife kommen, sowie nördlichere Anbaustandorte, an denen ebenfalls die Samen nicht reifen, benachteiligt. Wegen der Kontrolle der Förderungskontrollorgane auf Samenreife ist eine qualitativ hochwertige, legale Fasernutzung derzeit kaum möglich. Um hohe Fasererträge und gute Qualitäten realisieren zu können wäre ein früherer Erntetermin zwar möglich, aber mit den Anbauvorschriften im Rahmen der Beihilferegulierung zur Zeit nicht vereinbar (Vogl et al., 1997; Mengel-Hartmann und Höppner, 1999). Die EU unterstützt den Anbau und die Verarbeitung von Hanf mit einer an die Verwertung gebundenen Flächensubvention in Höhe von derzeit ca. 1.500 DM/ha (sh. Kap. 5.1.2).

Karus et al. (2000), das BMELF (1998) sowie Mastel et al. (1998) berichten, daß bei Hanf die Ernteprobleme und das Ernteverfahren inzwischen weitgehend gelöst

sind. Die Bauern bzw. die Faseraufschlußbetriebe verfügen über geeignete Erntegeräte, wobei sicherlich noch Optimierungen möglich sind, gerade im Bereich Kurzfaserverarbeitung und zur Erreichung einer besseren Wirtschaftlichkeit. Sie kommen für Hanfstroh in Deutschland auf eine durchschnittliche Erntemenge (basierend auf den Erntemengen der zurückliegenden Wirtschaftsjahren) von 6,4 t TM/ha. Hiervon ausgehend kann der Faserertrag pro ha mit ca. 1,5 bis 2 t/ha angesetzt werden. Dies ergäbe für Deutschland im Jahre 1998 eine Fasermenge von 5.400 t. Für Europa ergäbe sich eine gewinnbare Menge von ca. 40.000 t. Die real am Markt verfügbare Menge wird allerdings niedriger ausfallen, da in einigen Ländern Europas die Faseraufschlußanlagen fehlen. Die real zur Verfügung stehende Menge wird für 1998 mit 20.000 bis 28.000 t geschätzt, infolge neuer Kapazitäten im Jahre 1999 (insbesondere in Deutschland) werden für 1999 26.000 bis 32.000 t erwartet.

Neben dem Hanfstengelertrag pro Hektar ist die Qualität der Hanffasern für die weitere Verwendung von entscheidender Bedeutung. Die Qualität steht hier als Sammelbegriff für Eigenschaften wie Reife- und Röstgrad, Festigkeit, Feinheit, Längenverteilung und Verschmutzungsgrad der Fasern. Die Ernteprobleme sind gelöst, es bedarf momentan einer einheitlichen Qualitätsbestimmung am Markt (Hartmann, 2000 und Martens, 1998).

5.4 Verarbeitung der Fasern

Hauptnutzungsziel für die deutschen Hanfanbauer ist das Hanfstroh. Dieser großvolumige und damit wenig transportwürdige Rohstoff macht kurze Wege zum Abnehmer notwendig. Daher ist in Deutschland seit der Wiedereinführung des Anbaus eine zunehmende Konzentrierung der Anbauflächen rund um die strohabnehmenden Faseraufschlußanlagen zu beobachten. Verstärkt wurde diese Entwicklung durch die Einführung eines Verwertungsnachweises des Hanfstrohs nach der Ernte für den Erhalt der EU-Beihilfe 1999 (sh. Kap. 5.1.2).

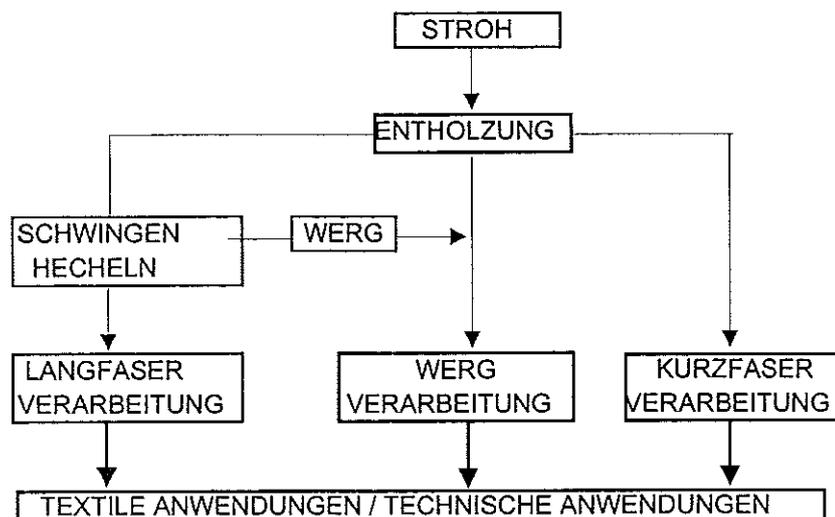


Abb. 5.1: Schematische Darstellung der Hanfverarbeitung

Quelle: nova et al. (1996).

Die Gewinnung und damit die Trennung von Hanffasern und Schäben erfordert einen relativ hohen Arbeitsaufwand, der sowohl in den Pflanzenabmaßen als auch in der Morphologie der Hanfpflanze begründet ist. Die Aufarbeitung des Hanfstrohs zu technischen Bastfasern erfolgt auf mechanischem Wege unter Verwendung spezieller Maschinenkonstruktionen. Zur Gewinnung der Bastfasern müssen Holz- und Bastteil voneinander getrennt werden. Diese Trennung kann mechanisch, enzymatisch, durch moderne Dampfdruck-, Tensid- oder Ultraschall-Aufschlußverfahren oder durch eine „Röste“ erfolgen, eine Art kontrollierter Fäulnis.

Das neueste Verfahren, das sog. „Impact-Verfahren“ ist im Mai 2000 in Zusammenarbeit von Prof. Hesch von der FH Lemgo mit der Fa. möller-plast aus Bielefeld zum Patent angemeldet worden und verspricht höhere Qualitäten der Fasern und der Schäben bei niedrigeren Kosten. Auch Grünhanf (also ungerösteter Hanf) soll auf diese Weise noch höhere Faserqualitäten hervorbringen als der geröstete Hanf (Informationsblatt der Fa. möller-plast von Juli 2000).

Bei der Bastfasergewinnung fällt der Holzteil als Nebenprodukt (Schäben) an, der u. a. als Isoliermaterial im Bausektor genutzt werden kann. Nach der Entholzung der Bastfaserstengel werden Lang- und Kurzfasern aufbereitet. Kurzfasern können nach der Trocknung und kurzer Feldröste der Stengel anschließend mechanisch entholzt, zerkleinert und einer Verarbeitung zugeführt werden. Langfasern dagegen müssen einen längeren Röst- und Gärprozeß zur Aufweichung des bastfaserumhüllenden Stengelgewebes durchlaufen. Daran schließt sich der Prozeß des Schwingens an, in dem die Faserbündel geteilt und freigelegt werden (Schwungwerg).

Langfasern werden für die Herstellung von Textilien im Bekleidungssektor eingesetzt und werden heute in Deutschland kaum noch hergestellt, da die Verarbeitung sehr aufwendig ist. Die bei der Fasergewinnung anfallende, mechanisch zerkleinerte Stengelrinde - die Schäben - werden hauptsächlich als Reststoff einer energetischen Nutzung oder als Schüttdämmung im Baubereich verwertet.

Die Faseraufbereitung erfolgt bei allen Verfahren zunächst durch das Brechen und Schwingen. Hier werden die Holz- und Rindenbestandteile entfernt und die Kurzfasern von den Langfasern getrennt. Unter Werg versteht man die beim Schwing- oder Hechelprozeß anfallenden, von den Langfasern getrennten, kürzeren und meist noch mit Holz- oder Schmutzteilen verunreinigten Fasern, die nach Reinigungsstufen und einer Verfeinerung zu Schnüren gesponnen werden.

Die Verwendung der Schäben spielt eine bedeutende Rolle, da sie zwei Drittel des Hanfstrohs ausmachen und bei effektiver Vermarktung die Hälfte des Bruttoerlöses bringen. Die hier relevanten Kurzfasern finden zur Herstellung von technischen Textilien wie Erosionsschuttmatten und Bau-, Verbund- und Dämmstoffen Verwendung. Eine Faserverwertung kommt grundsätzlich nur über geschlossene Ernte-, Aufbereitungs- und Verarbeitungsketten zustande. Dazu ist ein Abnehmer des Hanfstrohs er-

forderlich, der die darin enthaltenen Fasern in einem Weiterverarbeitungsprozeß aufbereitet. Hierbei spielen die sog. Faseraufschlußanlagen in Deutschland die bedeutende Rolle.

5.4.1 Faseraufschlußanlagen

Im Gegensatz zur Baumwolle bringt die Bastfaserpflanze keine frei zugänglichen Einzelfasern hervor. Zusammenhängende Faserbündel sind hier durch Kittsubstanzen im Stengel festgelegt. Für den Faseraufschluß müssen Schäben und Fasern voneinander getrennt werden (Decortisierung). Die Faserbündel können je nach dem späteren Verwendungszweck in weiteren Bearbeitungsschritten, wie Kotonisierung oder Degummierung, noch verfeinert werden (Bassetti et al., 1998). Die Entwicklungen der neuen Aufschlußanlagen im Hanfbereich, die grundsätzlich auf die Kurz- bzw. Gesamtfasernutzung ausgelegt sind, dauern an und werden ständig modifiziert. In der EU (ohne D) wird noch ein großer Teil der Hanffasern mit Hammermühlen gewonnen, vor allem in Frankreich und Spanien. Hiermit werden Fasern für die Spezialzellstoffindustrie erzeugt. Die neuen Anlagen verfolgen alle die Linie der Gesamtfasernutzung, deren Ziel es ist, eine Vlies- oder Filzfaser für technische Zwecke als primäre Zielfaser zu produzieren.

Im Hanfbereich arbeiten derzeit vier deutsche Faseraufschlußanlagen: seit 1998 die Anlagen der Firma Badische Naturfaseraufbereitung GmbH (BaFa) in Malsch (Baden-Württemberg), die Hanf-Faser-Fabrik Uckermark in Prenzlau (Brandenburg) und die MBR Agrarservice Taunus Westerwald GmbH in Sobernheim (Rheinland-Pfalz). 1999 wurde die La Roche-Anlage VERNARO GmbH in Gardelegen (Sachsen-Anhalt) in Betrieb genommen, die modernste und größte Faseraufschlußanlage Europas für vliesfähige Bastfasern in der Gesamtfaserlinie. Darüber hinaus sind verschiedene weitere Anlagen in Planung, so z. B. in Thüringen, Südbrandenburg und Nordrhein-Westfalen, für die bereits Anbauverträge abgeschlossen wurden. Ende 1999 gab es bereits viele Weiterverarbeitungsfirmen, die Hanffasern zu Vliesen, Filzen und Verbundwerkstoffen weiterverarbeiteten, z. B. für die Dämmstoff-, Geotextil- und vor allem Automobilindustrie. Außerdem werden auf deutscher Seite seit 1996 mehrere hundert ha Hanf für die niederländische Firma HempFlax, Oude Pekela, angebaut, die seit 1992 an einem umfassenden Hanf-Verwertungskonzept der gesamten Hanfpflanze arbeitet. Alle Betreiber arbeiten eng mit ihren Landwirten bzw. deren Zusammenschlüssen zusammen, um ein entsprechendes Qualitätsmanagement aufzubauen. Die Betreiber sind auf eine gute regionale Zusammenarbeit angewiesen, da das Stroh über Entfernungen von maximal 100 km wirtschaftlich transportiert werden kann.

Die chemische Bleicherei „Naturfaser Technologie Werke Ortrand“ soll im Jahre 2000 mit der Herstellung von Hanf-Spezialzellstoff und Zellstoff für graphische Papiere beginnen. Zunächst werden 25 Arbeitsplätze entstehen, bei vollem Betrieb bis

zu 110. Die Firma will 6.000 t Hanfzellstoff/a produzieren, wozu etwa 5.000 bis 6.000 ha Hanf benötigt werden. Pro Tag rechnet die Firma mit einer Verarbeitungsmenge von 100 t Hanfstroh bzw. 30 t Faserweg.

Die Probleme der ersten Anbaujahre sind für die Strohernte weitestgehend gelöst (Lohmeyer et al., 2000).

Das Institut für Agrartechnik Bornim (ATB) hat ein neues Verfahren zur Produktion von Hanf- und Flachsfasern entwickelt, das die Ausbeute deutlich erhöht und den Preis der Fasern erheblich senkt. Gegen die Verarbeitung zu Bau- und Dämmstoffen, den Einsatz in hochwertigen Verbundmaterialien und die Fertigung verschiedener Textilprodukte aus den umweltfreundlichen Fasern spricht gegenwärtig noch ihr Preis. Während die Verfahren des Anbaues, der Ernte und auch der Weiterverarbeitung als weitgehend gelöst angesehen werden, gibt es nach wie vor Probleme bei der Fasergewinnung. Die gegenwärtig vorhandenen Anlagen sind sehr teuer und ihre hohen Investitionskosten schlagen voll auf die Faserkosten durch. Konkurrenzfähig wird Hanf nach Untersuchungen des Institutes (Anonym, 2000) bei Faserpreisen von etwa 0,50 DM/kg, wofür die Investitionskosten für neue Anlagen auf unter zwei Millionen DM halbiert werden müssen. Durch die Entwicklung eines neuen Entholzungsverfahrens kann dieses Ziel erreicht werden; der Bau einer Pilotanlage und die Erprobung unter Praxisbedingungen sind derzeit noch in Planung.

Seitdem im Mai 1999 die modernste Hanfaufbereitungsanlage Europas in Gardelegen eingeweiht wurde, haben sich die Bedingungen für die Etablierung von Industriehanf als flexiblem Rohstoff für verschiedene Einsatzbereiche entscheidend verbessert. Einziges Problem, das noch auftreten kann, ist, daß sich unzureichend geröstete Hanfstengel die Anlage durch Wickeln um rotierende Maschinenteile blockieren. Daher ist es besonders in witterungsinstabilen Gegenden notwendig (z. B. Norddeutschland), daß frühreifende Sorten oder einen geeigneten (früheren) Erntetermin für hohe Faser- und Trockenmasseerträge sowie gute Faserqualitäten zu finden (Menge-Hartmann et al., 1999).

Allerdings scheint hier in naher Zukunft dieses Problem gelöst zu sein. Denn durch das neue impact-Verfahren (sh. oben) kann sogar Grünhanf, d. h. ungerösteter Hanf, aufbereitet werden bei mindestens gleichbleibenden Qualitäten und zusätzlichen Kostenersparnissen (Produktinformation der Fa. möller-plast, Juli 2000). Bei diesem Verfahren profitiert auch der Landwirt, der das geerntete Hanfstroh zwecks Röstung nicht mehr zwei Wochen auf seinem Felde liegen lassen muß, sondern dieses unmittelbar zur Faseraufschlußanlage bringen kann.

5.4.2 Situation in Nordrhein-Westfalen

Die Ausdehnung des Hanfanbaus von 30 auf 230 ha im Jahre 2000 (Hartmann, 2000) in Nordrhein-Westfalen ist zurückzuführen auf das seit 1996 umgesetzte Hanfprojekt. Dieses Projekt wird vom Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft

gefördert, vom Hanfverein umgesetzt und in enger Abstimmung mit der Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe (Projektbüro Hanf in Haus Düsse) durchgeführt. 40 nordrhein-westfälische Hanfbauern haben sich in einer Erzeugergemeinschaft für Faser- und Ölpflanzen organisiert, um mittels Vertrag den Absatz ihres Hanfstrohs zu sichern. Vertragspartner der Erzeugergemeinschaft ist die Fa. Möllerplast in Bielefeld, die eine Faseraufschlußanlage in Kalletal (Kreis Lippe) betreibt. In dieser Anlage werden die Fasern und Schäben des Hanfstrohs aufbereitet, die für Formpreßteile in der Automobilindustrie und für Dämmstoffe in der Baubranche verwendet werden sollen (Spangenberg, 1999).

Auf den Hanfflächen in Westfalen-Lippe konnten 1999 Erträge von 9 - 12 t/ha Hanfstrohertrag erzielt werden. Es wurden Trockensubstanzgehalte von 82 % und mehr erreicht. Die Strohpreise lagen bei 100 DM/t direkt vom Feld bis 150 DM/t bei Einlagerung bis Juli. Ca. 10 % der Ernte lagen 1999 bei der Fa. Möllerplast, der Rest mußte bei den Landwirten eingelagert werden. Ernteprobleme für das Ziel Fasernutzung gelten mittlerweile als gelöst. Da der Anbau von Nutzhanf in einer eignen Marktordnung geregelt und beihilfefähig ist (sh. Kap.5.1.2), erhielten die Hanfbauern 1999 eine EU-Beihilfe von 1.292 DM/ha. Dabei war Voraussetzung, daß man über einen Vertrag mit einem anerkannten Erstverarbeiter verfügte, der das Hanfstroh abnimmt und weiterverarbeitet (in diesem Falle die Fa. Möllerplast). Den Nachweis erbringt der Hanfverein in Zusammenarbeit mit dem Landwirt.

5.5 Vergleich mit Flachs

Unter den Standortbedingungen Deutschlands kommen für die Faserproduktion zur Zeit lediglich Flachs und Hanf sowie im geringen Maße Nessel in Frage. Der Anbau von Kenaf ist an besondere klimatische Bedingungen gebunden und erfolgt lediglich auf einer Fläche von etwa 300 ha in Süddeutschland.

Der landwirtschaftliche Ertragsvergleich heimischer Faserpflanzen spricht für den Faserhanf. Der Strohertrag von Faserhanf in Mitteleuropa liegt bei wenigstens 10 t/ha. Bei einem Gesamtfasergehalt von 20 - 30 % ergibt der Ertrag von Lang- und Kurzfasern durchschnittlich 2500 kg/ha. Der Faserertrag von Flachs, Nessel und Kenaf beträgt hingegen max. 1000 kg/ha, d. h. daß Hanf bei gleichem Flächenbedarf einen um den Faktor 2,5 höheren Faserertrag besitzt (Bocsa u. Karus, 1996).

Da Flachs wie Öllein als konkurrenzschwach gegenüber den aufkeimenden Beikräutern eingestuft werden muß, kommt diese Kultur nicht ohne Unkrautbekämpfung aus. Für den Anbau von Flachs fehlen zugelassene Pflanzenschutzmittel (Herbizide, Insektizide und Fungizide). Hanf gilt als eine robuste Kultur. In Deutschland gibt es kaum Erfahrungen zum Auftreten von Schädlingen und Krankheitserregern. In der Fachliteratur (Bocsa u. Karus, 1997; Waskow, 1996) wird eine Vielzahl von Schadorganismen beschrieben, die mit zunehmendem Hanfanbau auch bei uns Bedeutung erlangen könnten. Bisher sind jedoch keine nennenswerten Schäden aufgetreten und bei

dem relativ geringen Anbauumfang ist auch nicht mit einem Auftreten wirtsspezifischer Schadorganismen zu rechnen (Müller, 1996).

Im Vergleich zu Flachs besitzt Hanf die größere Witterungsunabhängigkeit, was Vorteile bei der Beerntung und Bergung mit sich bringt (Martens u. Müssig, 1997).

Ein wichtiger Unterschied zu den Flachsfasern ist die chemische Zusammensetzung der Hanffasern. Während Flachsfasern aus Zellulose bestehen, setzen sich Hanffasern aus ca. 67 % Zellulose, 16 % Hemizellulose und 3 % Lignin zusammen, was Auswirkungen auf die Eigenschaften der technischen Fasern hat (Rottländer, 1998).

Der feldgeröstete Hanf bleibt bei den Feinheiten seiner Fasern noch hinter denen des Flachses zurück. Feldgerösteter Hanf ist meist selbst bei guter Röste zu ungleichmäßig, um aus ihm feine und homogene Faserbündel zu produzieren. Hinzu kommt ein relativ hohes Witterungsrisiko, das eine gute Feldröste nicht hundertprozentig garantieren kann. Im Vergleich zum Flachs ist es somit aufwendiger und risikoreicher eine dem Flachs von der Feinheit und Homogenität ebenbürtige, mechanisch aufgeschlossene feine Hanffaser zu produzieren. Will man mit dem Hanf höherwertige Märkte erreichen, so genügt der mechanische Aufschluß nicht. Es werden hier dringender chemisch-physikalische Verfahren benötigt. Der kurz- bis mittelfristige Aufbau von chemisch-physikalischen Faseraufschlußanlagen besitzt eine Schlüsselfunktion für die deutsche Hanfwirtschaft, da nur mit ihrer Hilfe aus den mechanisch aufgeschlossenen Hanffasern feine und standardisierte Fasern für Produktlinien mit hoher Wertschöpfung produziert werden können. Neue Entwicklungen können diese Qualitätsminderung aber schon bald wieder wett machen (sh. Kap. 5.4.1).

Von sechs Flachs-Schwingen (Fasergewinnungsanlagen), die mit einem Millionenaufwand an Fördermitteln aufgebaut wurden, gibt es nur noch eine. Die deutsche Flachsforschung und Förderung hat nicht die in sie gesetzten Erwartungen erfüllt. 10 Jahre und rund 60 Mio. DM Fördermittel haben nicht zu einer Neuetablierung des Flachses geführt. Wahrscheinlich wurden vorschnell zuviel Mittel in High-Tech-Verfahren investiert, die Euphorie der Landwirte weiter „gepuscht“, ohne deutlich zu machen, daß eine Wiedereingliederung in die Landwirtschaft und die industrielle Nutzung nur mit neuen Technologien und Infrastrukturen möglich sind (Waskow, 1996).

Im technischen Einsatz eignet sich nach Katalyse (1996) die Hanffaser besser als Flachs, was auf den deutlich höheren Hektarertrag und auf geringere Kosten zurückzuführen ist.

Im Ergebnis Ihrer Studie stellten Hanf et al. (FNR, 1997) fest, daß betreffend Ernte und Aufbereitung sowie Verwendung der von der Pflanze Hanf gelieferten Rohstoffe (Fasern, Öl und Schäben) deutliche Parallelen und Gemeinsamkeiten zum Flachs bestehen. Zum anderen besitzt Hanf wesentliche Vorteile gegenüber Flachs. Neben der

deutlich höheren Ertragsleistung, können alle Pflanzenteile für eine Vielzahl von Erzeugnissen verwendet werden.

Nach Hesch et al. (1996) sind die Flachs- und Hanffasern nicht generell besser oder schlechter, sondern jede für sich nur anders und für andere Zwecke prädestiniert. Erkennbar wird dies u. a. an den Dimensionen. Flachsfasern haben einen Durchmesser von 5 - 20 μm , Hanffasern von 5 - 40 μm . Als Faserbündel bewegt sich Flachs in der Länge zwischen 200 und 800 mm, Hanf dagegen zwischen 1.000 und 3.500 mm. Flachsfasern sind in der Form des Querschnitts weitgehend gleichmäßig polygonal, Hanffasern dagegen sehr unterschiedlich im Durchmesser und der Form.

Ähnlich äußert sich Waskow (1996), der die beiden Pflanzen nicht als Konkurrenten auffaßt, sondern als gegenseitige Ergänzungen im Bereich bestimmter Faserprodukte ansieht. Bei der Hanfverarbeitung könne weitgehend auf die bereits für Flachs entwickelten Technologien zurückgegriffen werden, so daß beide Pflanzen vom jeweiligen technischen Standard profitieren könnten und die Chance der Amortisation der Entwicklungskosten könnten somit erhöht werden.

Höhere Massenleistung bedeutet günstigere Produktionskosten beim Landwirt. Wirtschaftliche Gründe sind somit ausschlaggebend, weshalb der Versuch, den Faserflachs in Deutschland wieder einzuführen, keinen Erfolg hatte und man sich somit hätte „viel Geld von den rund 40 Mio. DM Subventionsaufwand für den Flachsaufbau hätte sparen können“ (Hesch et al., 1996). Einzig die Kurzfaser (10 - 50 mm) des Ölleins scheint für technische Anforderungen mit mittleren Anforderungen (z. B. Dämmstoffe) gut geeignet zu sein. Es kann zudem billiger angeboten werden als Hanfstroh, weshalb es konkurrenzfähig sein kann (Hesch et al., 1996).

Vergleicht man Hanf mit den Naturfasern Flachs, Jute und Baumwolle unter technischen Gesichtspunkten (vgl. auch Kap. 6.2), so schneidet Flachs bezüglich Festigkeit und Reißlänge leicht besser ab. Baumwolle und besonders Jute fallen deutlich ab. Da Flachs im Gegensatz zu Hanf wegen der hohen Kosten in Deutschland kaum eine Chance erwarten kann, ist zu erwarten, daß in erster Linie Hanf die Anwendungsgebiete für sich gewinnen wird, bei denen zwar hohe Anforderungen an die Festigkeit gestellt werden, aber nicht so hohe, wie Glasfasern sie erbringen können. Zudem bietet Hanf einige Vorteile speziell für die Dämmstoffherstellung, die Flachs nicht bieten kann (Hesch et al., 1996).

Vliesfähige Fasern aus der Hanf-Gesamtfaserlinie werden für ca. 1,00 DM/kg gehandelt, womit sie konkurrenzfähig am Markt sind. Flachsfasern aus einer Gesamtfaserlinie dürften unter sonst gleichen Produktionsbedingungen etwas teurer zu produzieren sein und für ca. 1,50 DM/kg am Markt angeboten werden. Flachs ist aufwendiger im Anbau und hat neben einem geringeren Faserertrag pro ha eine geringere Wertschöpfung durch das Kuppelprodukt Schäben (Lohmeyer, 2000).

Glasfasern weisen gegenüber Flachs und Hanf eine erheblich höhere absolute, d. h. auf den Querschnitt bezogene Festigkeit auf. Da Glasfasern jedochs schwerer sind, ist die spezifische (gewichtsbezogene) Festigkeit der Naturfasern vergleichbar oder eher geringer. D. h., mit den Naturfasern lassen sich bei gleicher Festigkeit eher leichtere Bauteile herstellen (Kohler, 1998).

Da beim Hanfanbau nicht die gleichen Subventionsfehler gemacht wurden wie beim Flachs – es wurden auf der Abnehmerseite eine ausreichende Zahl industrieller Verwendungen des Hanfstrohs gefunden – etabliert sich der Hanfanbau in Deutschland in zunehmendem Maße. Dies und die o. a. Vorteile gegenüber dem Flachs sind die Gründe, weshalb die Anbauflächen beim Flachs kurz nach der Einführung des Hanfs rapide zurückgingen (Abb. 5.2).

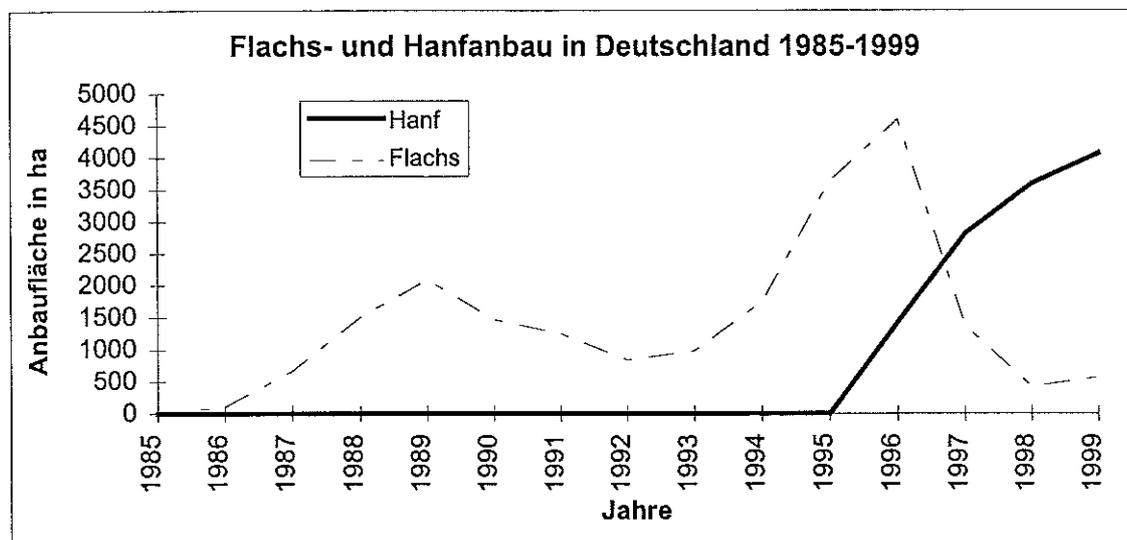


Abb. 5.2: Flachs- und Hanfanbau in Deutschland 1985 - 1999

Quelle: Karus et al. (1999).

6 Ökonomische Betrachtung

Die zukünftigen Kosten für Anbau und Ernte (z. B. Saatgutkosten, Erntetechnologie etc.) sowie die Höhe der Erträge beeinflussen in starkem Maße die Kosten für das Hanfstroh, welche wiederum aufgrund der Rohstoffintensität in der Erstverarbeitung entsprechend hohe Auswirkungen auf die Hanffaserpreise haben. Ökonomische Analysen zeigen, daß eine agrarseitig bedingte Erhöhung bzw. Senkung des Strohpreises starke Auswirkungen auf die Faserpreise hat.

Der Anbau von Hanf als nachwachsenden Rohstoff hat neben den Einflüssen auf die Landwirtschaft (sh. Kap. 5) positive Effekte und Chancen auf (Katalyse, 1998)

- die Industrie und Wirtschaft (Erschließung von Marktnischen),
- die Forschung (anwendungsorientierte Forschung bei der Nutzung nachwachsender Rohstoffe),
- den Arbeitsmarkt (im Bereich der Verarbeitung und Verwertung).

Voraussetzung für eine Ausweitung der Anbauflächen ist die Etablierung am Markt. Die Erfahrungen der letzten Jahre zeigen, daß bei einem dauerhaften Absatzpotential für Hanfprodukte der Anbau von Hanf eine interessante Alternative in der Fruchtfolge darstellen kann. Nachdem die Startschwierigkeiten bei Anbau und Ernte weitestgehend gelöst sind, muß jetzt das Augenmerk auf ein hochwertiges Qualitätsmanagement gerichtet werden, um der abnehmenden Industrie die geforderten Qualitäts- und Liefersicherheiten bieten zu können. Neben dem Absatzpotential trägt die von der Europäischen Union gewährte Flächenprämie von derzeit 1.392 DM/ha dazu bei, den Hanfanbau und die Existenz der bestehenden und im Aufbau befindlichen Anlagen zur Hanfstrohverarbeitung zu sichern. Positive Entwicklungen zeigen sich in den Bereichen Automobilbau, Dämmstoff, Geo- und Agrartextilien.

6.1 Industrie und Produktlinien

In der EU wurden nach einer Schätzung des nova-instituts im Wirtschaftsjahr 1999/2000 etwa 25.000 - 30.000 t Hanf-Kurzfasern produziert (Karus et al., 2000). Die Tab. 6.1 zeigt die Anwendungsgebiete von Hanf-Kurzfasern in der EU auf Basis einer Erhebung des nova-instituts.

Tab. 6.1: Wichtigste Einsatzgebiete von Hanf-Kurzfasern in der EU 1999

Produktlinie	für D in t	%	EU (ohne D) in t	Gesamtmenge (EU incl. D) in t	%
Zellstoff für Papier	0	0	100	100	0,3
Spezialzellstoff (Spezialpapiere im Druck-, Schreib- u. Verpackungsbereich)*	0	0	24.882	24.882	87,0
Verbundwerkstoffe Automobilindustrie (Formpreßteile für Innenverkleidungen)**	820	45	950	1.770	6,0
Verbundwerkstoffe sonstige (Bahn, etc.)	20	1	100	120	0,4
Bau- und Dämmstoffe**	660	37	435	1.095	4,0
Geo- und Agrartextilien (einsetzbar als Vliese u. Filze f. den Erd- u. Wasserbau)**	80	4	154	234	0,8
Bekleidungstextilien	0	0	0	0	0
Tradit. Anwendungen, Zwirne, Seile etc.	0	0	150	150	0,5
Sonstiges (Lebensm., Tiereinstreu, etc.)**	230	13	50	280	1,0
Summe	1.810	100	26.821	28.631	100

* bereits etablierter Industriezweig, hauptsächlich in F, Markterschließung in D kaum möglich;

** neue Industriezweige, Markt gerade im wachen begriffen

Quelle: Karus et al. (2000).

Die dominierende Rolle der Hanfprodukte in der EU liegen im Zellstoffmarkt. Endprodukte sind hier Zigarettenpapier, Banknoten und technische Filter – Anwendungen, für die der Holzzellstoff nicht reißfest genug ist. Dieser Marktbereich wird fast ausschließlich durch die traditionellen Hanfzellstoffproduzenten aus Frankreich abgedeckt und gilt in D als kaum noch ausbaufähig. Trotzdem soll in Deutschland

2000 die Zellstoffanlage in Ortrand (Brandenburg) in Betrieb gehen und erstmalig ungebleichten Hanfzellstoff produzieren. In Frankreich, dem größten Hanfanbauland der EU, macht der Zellstoffmarkt (Spezialzellstoffe und Zellstoffe für Standardpapiere) über 90 % aus. Durch die Aktivitäten der neuen Hanfunternehmen, u. a. in Deutschland im Bereich neuer technischer Anwendungen, ist die Bedeutung des Zellstoffmarktes EU-weit auf heute ca. 87 % gefallen (sh. Tab. 6.1).

Alle technischen Anwendungen außer denen in der Spezialstoffindustrie sind relativ neue Anwendungen. In Deutschland legen die Unternehmen den Schwerpunkt auf neue, innovative Produktlinien. Vor allem Verbundwerkstoffe für den Automobilbereich, Dämmstoffe, Geo- und Agrartextilien sowie sonstige (technische) Anwendungen kommen EU-weit heute bereits auf über 10 %, Tendenz weiter wachsend.

Der Bekleidungs- und Heimtextilbereich hat für die EU-Hanffasern bislang keinerlei Bedeutung. Er wird ausschließlich durch Importe aus Osteuropa und China in Form von Fasern, Garnen und Geweben gedeckt. Hauptgrund hierfür ist, daß in der EU bei Hanf nur die ökologisch unbedenkliche Feldröste durchgeführt wird. Für die Herstellung einer textilen Hanffaser ist entweder eine traditionelle Wasserröste notwendig (wie sie noch in Osteuropa verbreitet ist), oder es werden neue biologisch oder physikalisch-chemische Verfahren dafür benötigt. Während die Wasserröste aus ökonomischen und ökologischen Gründen in der EU aufgegeben wurde, konnten die neuen Verfahren noch nicht in die Praxis umgesetzt werden.

Hanffasern werden im Geo- und Agrartextilbereich nur in sehr geringen Mengen eingesetzt, obwohl grundsätzlich erhebliche Potentiale existieren (Gesamteinsatz Geo- und Agrartextilien in Deutschland 1998: ca. 85 Mio. m³). Zum einen liegen die Gründe dafür in den kostengünstigeren und meist qualitativ besseren Importen aus China. Zum anderen ist das Wissen um die Möglichkeiten, Hanffasern im Erd- und Wasserbau einzusetzen, sehr wenig verbreitet, und wenn Naturfasern eingesetzt werden, so sind es oft Kokos- und Jutefasern (Brandhorst, 1998).

Die vollkommene Ausrichtung auf technische Märkte bringt stabile, modeunabhängige Preise mit sich sowie eine starke Ausrichtung der Faserqualitäten an die Anforderungen der Abnehmer. Dies erklärt – neben technischen Qualitätsaspekten – das Interesse z. B. der Automobilindustrie an den neuen technischen Hanffasern.

EU-Hanffasern für technische Vliese und Filze werden aktuell am deutschen Markt für 0,90 - 1,20 DM/kg gehandelt, womit die Fasern gegenüber anderen Naturfasern konkurrenzfähig sind. Flachsfasern aus einer Gesamtfaserlinie dürften unter sonst gleichen Produktionsbedingungen etwas teurer zu produzieren sein und für ca. 1,50 DM/kg am Markt angeboten werden. (Karus et al., 2000).

6.2 Marktchancen und Absatzpotentiale der Produkte

Mittel- bis langfristig gesehen sind in den verschiedensten Bereichen größere Absatzchancen für Naturfasern zu erwarten (sh. Tab. 6.2). Strengere Umweltschutzbestimm-

mungen bei der Verwendung von synthetischen und mineralischen Fasern sowie höhere Anforderungen an das Recycling bzw. an die Kompostierbarkeit von Materialien lassen eine verstärkte Nachfrage nach diesen umweltverträglichen Produkten erwarten. Es ist auf der anderen Seite zu bedenken, daß viele Länder Ost- und Südost-Europas Wettbewerbsvorteile besitzen, da sie i. d. R. eine längere Erfahrung im Anbau von Hanfsorten haben, die klimatischen Bedingungen günstiger und die Produktionskosten niedriger sind (Katalyse, 1998).

Tab. 6.3 gibt eine Übersicht über die Chancen am Markt für Produkte aus Hanf, die aber teilweise von den aktuellen Entwicklungen gerade im Automobilbereich eingeholt wurde, da gerade hier die aktuellen Absatzmengen den größten industriellen Bereich darstellen und die zukünftigen Prognosen eine Steigerung versichern.

Tab. 6.2: Marktchancen für Hanfproduktlinien

Hanf-Rohstoffe	Endprodukte	Marktchancen
Fasern für technische Verwendungen	Innenausstattung von Fahrzeugen, Formpreßteile, Geotextilien, Bodenbeläge	hoch
Fasern als Zuschlag	Bauindustrie	hoch
Schäben	Tiereinstreu, Trittschalldämmung, Spanplatten	hoch als Zusatzwertschöpfung
Fasern für Garne und Textilien	Bekleidung v.a. Jeansstoffe, Haustextilien, Dekorationen	mittel bis gering
Fasern für Vliese und Filze	Dämmstoffe, Automobilindustrie	mittel*
Samen für Öl	Lebensmittel, Kosmetika, technische Anwendungen	gering
THC als Wirkstoff	Medizinprodukte	mittel

*Karus et al. (2000) schätzen die Marktchancen für die Automobilindustrie als hoch ein.

Quelle: Nova (1996).

Gute Marktchancen bestehen nach Karus et al. (2000) in Europa für Hanffasern (mittelfristig ca. 10.000 t/a aus EU-Produktion), die in bezug auf Qualität und Versorgungssicherheit zunehmend interessanter werden. Es wird geschätzt, daß mittelfristig 10.000 t/a Hanffasern aus EU-Produktion in der Automobilindustrie Verwendung finden können (Karus et al., 2000).

Der wichtigste technische textile Anwendungsbereich für Hanffasern ist in Deutschland der Bereich der Automobilindustrie. In zahlreichen Serienmodellen finden sich heute Naturfasern (Flachs, Kenaf, Hanf, Jute und Sisal) in den Türinnenverkleidungen, Hutablagen oder Dachhimmeln. 1999 wurden insgesamt 14.400 t Naturfasern, davon 1.100 t Hanffasern – Tendenz steigend – von den Automobilzulieferern und -herstellern eingesetzt. Das entspricht bei einem Preis von ca. 1 DM/kg Faser einen Gesamtumsatz von über 14 Mill. DM/a (1,1 Mill. DM/a beim Hanf). Da sich der Einsatz der Naturfasern bewährt, steigt ihr Anteil Jahr für Jahr. Bei DaimlerChrysler werden heute 5 - 6 kg Pflanzenfasern je Fahrzeug verwendet (entsprechend 20.000 - 24.000 t/a) (Karus et al., 1999). Lohmeyer (2000) geht aufgrund zunehmend besserer

Qualitäten und Verfügbarkeiten sowie eines akzeptierbaren Preises davon aus, daß sich der Anteil von Hanf in den nächsten Jahren erhöhen wird, mit einigen tausend t/a kann gerechnet werden.

Vorteile der Naturfasern gegenüber konventionellen Kunstfasern (z. B. aus Glasfaser) sind:

- Leichtigkeit (somit energie- und kostensparender),
- komplexere Bauweisen sind möglich (flexibler zu handhaben),
- recycelbar (aufgrund der EU-Altlastentsorgung immer wichtiger werdend),
- geringerer Primärenergieverbrauch (bessere Umweltbilanz),
- die Innenteile splintern bei Unfällen nicht (relativ grobe Abbruchkanten).

Ob die neuen Absatzmärkte tatsächlich in der anvisierten Menge erschlossen werden können, hängt vor allem von der Nachfrage der Automobilindustrie ab. Die deutschen Faseraufschlußbetriebe wollen ab 1999 mindestens 50 % ihrer Produktion in der Automobilbranche absetzen. Es wird geschätzt, daß kurzfristig ca. 4.000 t Hanffasern/Jahr für die Automobilindustrie bereitgestellt werden können. Bei steigender Nachfrage könnten innerhalb von 2 Jahren weitere Aufschlußanlagen in Deutschland in Betrieb genommen werden (Karus et al., 1999).

1999 sind über 30 Unternehmen in Deutschland als Produzenten oder Weiterverarbeiter von Hanf- und Flachsfasern tätig. In den letzten Jahren hat sich eine beachtliche industrielle Infrastruktur entwickelt, Investitionen in zweistelliger Millionenhöhe wurden in neue Unternehmen getätigt und zusätzliche Arbeitsplätze geschaffen.

An zweiter Stelle steht der Dämmstoffmarkt, der sich schwerer als der Markt für die Automobilbranche behauptet. Am erfolgreichsten unter den Dämmstoffprodukten setzt sich die Hanfdämmung Thermo-Hanf durch, die eine Gemeinschaftsentwicklung der Firmen BaFa und Hock ist. Das durch einen Innovationspreis ausgestatte Produkt besticht durch gute technische Ausführung, offizielle Bauzulassung und ein intensives Marketing und kann somit seinen Platz im Markt gut behaupten (sh. Kap. 7.5).

Bei den Hanffaserpreisen spielt die Wertschöpfung durch das Kuppelprodukt Schäben eine wichtige Rolle. Die Hanfschäben konnten bislang vor allem in zwei Märkten abgesetzt werden. Der Bereich Tiereinstreu – ca. 95 % Pferdeeinstreu und ca. 5 % Hygienestreu für Kleintiere – hat mengenmäßig und noch stärker in bezug auf die Wertschöpfung hohe Priorität. An zweiter Stelle kommt die Baustoffindustrie, wo besonders in Frankreich Absatzmärkte eröffnet worden sind. In Deutschland warten zahlreiche Laborentwicklungen auf ihre kommerzielle Umsetzung. In Frankreich gehen 85 % der Schäben in den Tierstreumarkt und 15 % in die Bauindustrie. Gut gesäuberte und helle Schäben werden ab Werk für 200 - 300 DM/t zzgl. Transport- und Verpackungskosten verkauft; der Einkaufspreis für den Zwischen- und Großhandel liegt bei 400 - 500 DM/t und schließlich der Endkundenpreis zwischen 700 und über 1.000 DM/t. Im Baubereich sind dagegen für Hanfschäben als Rohstoff zum Teil nur

Preise um 100 DM/t zu realisieren; nur in Spezial- und Systemlösungen bzw. bei Endkundenpreisen erheblich mehr. Bei einem Faseraufkommen von ca. 30.000 t/a können in Kuppelnutzung ca. 60.000 t Hanfschäben/a in der EU produziert werden. Es gibt keine zuverlässigen Angaben darüber, wieviel von diesen ca. 60.000 t stofflich genutzt werden, welcher Teil auf dem Feld verbleibt (oder wieder eingebracht) oder thermisch genutzt wird. Nach Schätzungen gingen in der EU 1998 ca. 30.000 t/a in den Tiereinstreubereich, vor allem für Pferde (Bedarf pro Pferd ca. 1 - 1,5 t/a).

Die ernährungsphysiologisch wertvollen Hanfsamen erobern mit einer Vielzahl von Produkten zunächst Nischen- und Regionalmärkte. Der Samenertrag fällt beim Hanf mit ca. 0,8 bis 1 t/ha vergleichsweise gering aus, da in der Hanfzüchtung in den letzten Jahrzehnten nur auf die Erhöhung der Fasererträge hingearbeitet wurde. Für die Samen aus konventionellem Anbau werden 0,60 bis 0,80 DM/kg gezahlt, für Bio-Qualitäten knapp 2,00 DM/kg. Die Produktpalette der Hanflebensmittel erweitert sich ständig.

1999 ist die EU-Beihilfe gegenüber 1998 unverändert geblieben, für das Jahr 2000 steht die Situation noch nicht fest, da aufgrund des Subventionsmißbrauchs in Spanien neuer Zündstoff in die Diskussionen um die Beihilferegulungen kam (sh. Kap.6.4).

6.3 Produktionskosten und Wirtschaftlichkeit des Anbaus und der Ernte

Um die Wirtschaftlichkeit des Hanfanbaues mit den anderen Produktionsverfahren des Ackerbaus vergleichen zu können, ist der Deckungsbeitrag dieses Verfahrens zu berechnen. Dabei ist nicht nur die relative Vorzüglichkeit bei alleiniger Strohnutzung, sondern auch die Kombinationsnutzung unter Einbeziehung der gegebenen Fördermöglichkeiten von Interesse. Geht man von einem niedrigen Hanfstrohertrag von nur 8.000 kg/ha aus, liegt der Anteil Schäben bei etwa 4.000 kg. Bei einer Bewertung der Schäben mit einem Preis von 200 DM/t können sie den Deckungsbeitrag um bis zu 25 % steigern (Karus et al., 1999). Die Kombinations- oder Koppelnutzung wird in Deutschland lediglich in Einzelfällen genutzt, so daß die Körnernutzung hier größtenteils unerwähnt bleibt.

Für den Erfolg eines landwirtschaftlichen Unternehmens ist jedoch nicht der Deckungsbeitrag, sondern der Gewinn je Flächeneinheit entscheidend. Dabei sind auf der Kostenseite neben den variablen auch die fixen Kosten und die Kosten für die Arbeit des Landwirts in die Betrachtung miteinzubeziehen. Denn von der Höhe der Erzeugerpreise, der Entwicklung bei den Kosten und der Hanfbeihilfe wird der Landwirt es abhängig machen, kurz- und mittelfristig Hanf anzubauen (Mastel et al., 1998).

Die Vollkostenrechnung erfaßt alle Kosten, die bei Anbau und Ernte anfallen. Aus den Werten der Vollkostenrechnung wurden die Werte der Deckungsbeiträge abgeleitet. Unter den derzeitigen Bedingungen können durchschnittliche Hanfstroherträge zwischen 6 und 9 t/ha erwartet werden (Bocsa u. Karus, 1996).

Die Tabelle 6.3 zeigt ein Beispiel für die Ergebnisse der detaillierten ökonomischen Analyse der Anbau- und Erntekosten aus der Studie des nova-Instituts (in: Karus et al. 2000). Es wurden für den Faseraufschluß ein 2-Schichtbetrieb mit 1.800 kg/h Trockenmasse Strohdurchsatz (Wirkungsgrad 90 %) angenommen, und daß alle erzeugten Fasern und Schäben am Markt zu adäquaten Preisen abgesetzt werden können. Der Strohertrag wurde mit 6 t/ha TM, entsprechend ca. 1,5 t/ha Faserertrag zugrunde gelegt. Unter diesen Annahmen (für die genaue Auflistung der einzelnen Preise sh. Karus et al., 2000) ergibt sich in der Vollkostenrechnung ein Gewinn – für Landwirtschaft und Faseraufschluß – von ca. 200,-- DM/ha. Dies stellt einen sehr bescheidenen Gewinn dar, der den Hanfanbau ohne andere Zusatznutzen, wie z. B. gute Fruchtfolgeeigenschaften oder Gülleverträglichkeit, auf Dauer kaum lukrativ genug macht. (Karus et al., 2000).

Tab. 6.3: Vollkostenrechnung für die Hanfproduktion 1999 (Gesamtfaserlinie) in Deutschland

	DM / ha
(I) Anbau- und Erntekosten	
Saatgut	- 315
Bodenbearbeitung und Aussaat	- 246
Düngemittel und Ausbringung	- 217
Mähen und Einkürzen	- 246
Pressen	- 236
Pacht	- 246
Lagerung	- 118
Transport	- 236
Zwischensumme: Gesamtkosten für Anbau und Ernte:	- 1.861
(II) Aufschlußkosten (Faseraufschlußanlage)	
Löhne u. Gehälter	- 591
Verwaltungsgemeinkosten	-177
Verpackungskosten	-128
Abschreibung	- 541
Sonstige Kosten	-177
Stromkosten	-148
Fremdkapitalzinsen	-128
Zwischensumme: Aufschlußkosten:	- 1.890
(III) Gesamtkosten (I) + (II)	- 3.751
(IV) EU-Beihilfe, Wirtschaftsjahr 1999/2000	+ 1.305
(V) Erlöse	
Vliesfähige Fasern	+ 1.498
Schäben (gereinigt und abgepackt)	+ 1.146
(VI) Gewinn vor Steuern (für Landwirtschaft u. Aufschluß)	+ 199

Quelle: Karus et al. (2000).

Mastel et al. (1998) sowie Bocsa u. Karus (1997) ermittelten in ihren Berechnungen der Vollkosten- und Deckungsbeiträge einen ähnlichen Erzeugerpreis wie Karus et al. (2000) in Tab. 6.3.

Unklar bleibt bei der Bilanzierung von Karus et al. (2000), weshalb der Faserertrag mit 6 t/ha relativ niedrig angesetzt wurde, gehen doch die anderen Autoren von einem

Ertrag von 8 t/ha (Mastel et al., 1998) bzw. sogar 9 t/ha (Bocsa u. Karus, 1996) aus. Hier könnte man also durchaus einen höheren Fasertrag ansetzen, der dann auch zu höheren Einnahmen für die Landwirte führen würde. Im Endergebnis kommen alle Autoren in ihren Berechnungen zu den gleichen Aussagen:

Die politischen Rahmenbedingungen beeinflussen in hohem Maße die Produktionskosten für Hanffasern. Ökonomisch wichtig ist die zukünftige Höhe der EU-Beihilfe für Hanf, die direkten Einfluß auf die Höhe des Strohpreises hat. Es wird deutlich, daß unter derzeitigen ökonomischen Bedingungen die EU-Beihilfe notwendig ist, um den Hanfanbau und die -ernte rentabel zu machen.

Geht man von einem durchschnittlichen Faserertrag von 9t/ha aus, so wird eine Beihilfe von 800 - ca. 1200 DM/ha benötigt (Bòcsa et al., 1997). Die Flächenstilligungsprämie von derzeit 750 DM/ha reicht also nicht aus, um den Hanfanbau rentabel zu machen. Nach aktuellen Plänen der EU-Kommission soll die Beihilfe bis zum Jahr 2005 drastisch gesenkt werden. Dem Vorschlag nach soll die zukünftige EU-Beihilfe für Hanf bis zum Wirtschaftsjahr 2005/06 mit der regional geltenden Getreide-Beihilfe identisch sein. Diese regional verschiedenen Beihilfeshöhen sehen dann einen durchschnittlichen Beihilfebetrug von ca. 690 DM/ha vor. Würde die Beihilfe tatsächlich abgesenkt werden, so muß diese mit einer Erhöhung des Strohpreises einhergehen, da ansonsten der Hanf für die Bauern wirtschaftlich uninteressant wird. Um den Gewinn auf ca. 200,- DM/ha für den Landwirt zu halten (sh. Tab. 6.3), wären nach einer Szenario-Berechnung von Karus et al. (2000) eine Erhöhung der Mehrerträge von hier zugrundegelegten 6 t/ha auf 10 t/ha Strohertrag nötig.

Nach Karus et al. (2000) stellen die größten Kostenfaktoren bei Hanf das Saatgut und die Ernte dar. Die derzeitigen Preise, die für die Tonne Hanfstroh gezahlt werden, liegen bei ca. 130 DM/t. Es wird hingegen auch damit gerechnet, daß mittelfristig mit Kostensenkungen für die Bereitstellung des Hanfstrohs zu erwarten sind. Dabei werden vor allem höhere Erträge durch optimierte Sorten und geringere Erntekosten durch neue Erntemaschinen beitragen. Wenn zusätzlich die Faseraufschlußanlagen und die Produktlinien etabliert sein werden, so wird der Strohpreis durchaus bei 180 - 200 DM/t liegen können (Karus et al., 2000).

Einhergehend mit der Senkung der EU-Hanfbeihilfe wird diese Entwicklung unausweichlich. Bei reiner Fasernutzung darf daher die Hanfbeihilfe nur in dem Maße zurückgehen, wie die Abnehmerseite bereit und in der Lage ist, höhere Preise für Hanfstroh zu bezahlen (Mastel et al., 1998).

Wie in Kap. 7.1 aufgeführt, wird von der EU eine Kuppelnutzung der Hanferträge vorgeschrieben, will der Landwirt die EU-Beihilfe erhalten (auf die er ja angewiesen ist, sh. oben). D. h. aufgrund der späten Ernte kann es infolge von Überröstung und Verholzung zu Qualitätsproblemen beim Hanfstroh kommen, die sich in einem niedrigeren Marktpreis niederschlagen können. Die Kuppelnutzung lohnt sich also nur,

wenn bei hinreichend hohen Samenerträgen auch dementsprechend hohe Marktpreise für die Samen erzielt werden. Dafür ist ein Verkaufspreis der Samen von mindestens 0,20 DM/kg (incl. EU-Beihilfe) bzw. 1,50 DM (ohne EU-Beihilfe) notwendig; der realistische Marktpreis liegt bei 2 DM/kg (Mastel et al., 1998). Der Deckungsbeitrag (und somit der Gewinn) verringert sich, wenn – wie mehrjährige Praxisversuche zeigen – in Deutschland eine Samenreife aufgrund klimatischer Bedingungen oder entsprechender Sortenwahl nicht möglich ist (Waskow, 1995).

Karus et al. (2000) kommen in ihrer Studie anlässlich der bevorstehenden EU-Beihilfesenkung zu folgendem Schluß: „Es besteht die reale Gefahr, daß die komplette Gesamtfaserwirtschaft, die sich in den letzten Jahren in vielen neuen Flachs- und Hanfländern – insbesondere in Deutschland, Großbritannien und den skandinavischen Ländern – entwickelt hat und mit umfangreichen öffentlichen Mitteln gefördert wurde, zusammenbricht, private und öffentliche Investitionen verloren sind und das seit fast zwei Jahrzehnten verfolgte Ziel, eine neue, technisch orientierte Naturfaserwirtschaft in der EU zu etablieren, endgültig gescheitert wäre“.

Um bestimmte Märkte halten und auch erschließen zu können, sind die o. a. Preise, die nur mit Hilfe der EU-Beihilferegelung erzielt werden können, erforderlich. Um aber auf Dauer auch mit minderpreisiger Ware aus dem Ausland konkurrieren zu können, und um eine drohende Senkung der EU-Beihilfe kompensieren zu können, müssen auf Dauer höhere Ernteerträge erzielt und die Ernte- und Aufschlußtechnologien technisch und ökonomisch fortentwickelt werden. Eine Schlüsselrolle kommt hierzu also den Betreibern von Faseraufschlußanlagen zu. Ihre Bereitschaft, höhere Abnahmepreise an die Landwirte zu zahlen, hängt davon ab, inwiefern sie ihre Arbeitsschritte unter ökonomischen Gesichtspunkten rationalisieren können.

6.3.1 Rentabilität einer Faseraufschlußanlage

Die meisten Betreiber von Gesamtfaseranlagen gehen davon aus, daß sie unter gleichbleibenden Rahmenbedingungen innerhalb der nächsten Jahre ihre Gewinnsituation verbessern können. Dies ist vor allem auf die Überwindung der technischen Startschwierigkeiten, die Erhöhung der Stroherträge, die Durchsatzerhöhung der Aufschlußanlage, dem verbesserten Qualitätsmanagement und Kostenoptimierungen entlang der gesamten Verarbeitungskette sowie dem Aufbau stabiler Absatzmärkte für Fasern und Schäben zurückzuführen.

Die exemplarische Gewinn- und Verlustrechnung in Tab. 6.4 zeigt, daß – bei folgenden Annahmen – ein entsprechender Betriebsgewinn erwirtschaftet werden kann (Karus et al., 1999):

- Standort in strukturschwachen Regionen (Fördergebiet A der EU),
- Gesamtes Investitionsvolumen: 6.000.000,-- DM,
- Strohkosten: 140,-- DM/t TM,
- 2-Schichtbetrieb bei 1.900 kg/h TM Strohdurchsatz (Auslastungsgrad 90 %),

- Produktion und Verkauf von vliesfähigen Hanffasern: 1.700 t/Jahr à 1,00 DM/kg
- Produktion und Verkauf von ausgereinigten, verpackten und palettierten Schäben: 2.615 t/Jahr à 450,-- DM/t,
- Produktion und Verkauf von vorgereinigten Schäben: 1.220 t/Jahr à 100,-- DM/t.

Die Annahmen sollen die ökonomischen Situationen existierender Faseraufschlußbetriebe verdeutlichen. Es wird gezeigt, daß mittelfristig – bei entsprechenden Rahmenbedingungen, Produktivitätssteigerungen und marktseitiger Nachfrage – durchaus eine rentable Hanffaserproduktion in Deutschland betrieben werden kann. Ein besonderes Augenmerk ist auf die Steigerung der Produktivität (Durchsatzmengen) sowie auf die Rohstoff- und Personalkosten zu richten, die über 50 % der gesamten Kosten verursachen. Die Zahlen verdeutlichen auch, daß die Vermarktung des Kuppelproduktes Schäben einen enormen Einfluß auf die Rentabilität eines Faseraufschlußbetriebes hat, auf die nicht verzichtet werden kann (Karus et al., 1999).

Tab. 6.4: Mittelfristiges exemplarisches Betriebsergebnis einer Faseraufschlußanlage für vliesfähige Hanffasern (Annahmen sh. oben)

Leistungen (Umsatzerlöse) in DM	%	Kosten und Betriebsgewinn	%		
Umsatzerlöse für Vliesfasern: 1.700.000,--	56,7	Rohstoffkosten (Stroh): 950.000,--	31,7		
		Personalkosten: 640.000,--	21,3		
		Abschreibungen: 480.000,--	16,0		
Umsatzerlöse für ausgereinigte, verpackte und palettierte Schäben: 1.176.750,--	39,2	Verwaltungs- u. Vertriebskosten: 210.000,--	7,0		
		Sonstige betriebliche Kosten: 176.250,--	5,9		
		Stromkosten: 160.000,--	5,3		
Umsatzerlöse für vorgereinigte Schäben: 122.000,--	4,1	Verpackungskosten: 140.000,--	4,7		
		Zinsen (auf Eigen- u. Fremdkapital): 115.000,--	3,8		
		Betriebsgewinn (vor Steuern): 127.500,--	4,3		
Gesamt:	2.998.750,--	100	Gesamt:	2.998.750,--	100

Quelle: Karus et al. (1999).

Darüber hinaus zeigen nach Karus et al. (1999) produktionsseitige Analysen, daß beim Faseraufschluß zukünftige Produktivitätssteigerungen maßgeblich bei den Durchsatzmengen realisiert werden können. So kann z. B. eine Erhöhung der aktuellen Strohdurchsatzmengen beim Faseraufschluß um ca. 40 % (von z. B. 1.800 auf 2.500 kg/h TM) die jetzigen Stückkosten (auf Selbstkostenbasis) für Hanffasern (in DM/kg) je nach Anlagenkonzeption um bis zu 50 % senken.

Konkurrenzfähig wird Hanf erst bei einem Faserpreis von ca. 0,50 DM/kg, wofür die Investitionen für neue Anlagen zum Faseraufschluß auf weniger als zwei Mio. halbiert werden müßten. Forschungen des Instiuts für Agrartechnik Bornim (ATB) haben im Rahmen ihrer agrartechnischen Grundlagenforschung ein neues Entholungsverfahren entwickelt, mit dem dieses Ziel erreichbar erscheint. Die Erprobungen in der Praxis haben gezeigt, daß die Faserausbeute hoch ist, kaum Verluste entstehen und die Fasern bei diesem Verfahren nicht an Festigkeit verlieren (Stäudner, 1999).

6.4 Marktpreise und Wettbewerbssituation

Durch die mittels mechanischen Aufschlusses vom Stengel gewonnene Faser erzielt (je nach Schichtbetrieb in der Preisregion) einen Preis von 0,70 - 1,10 DM/kg (bei guter Entholung); 0,90 - 1,40 DM/kg (Vorauflösung/Grobauflösung) und 1,10 - 2,00 DM/kg (Mittelauflösung), vorausgesetzt der Hanfstrohpreis liegt bei 140 DM/t. Aufgrund der höheren Erträge/ha liegen die Preise unterhalb der Preise entsprechender Flachsqualitäten und sind durchaus konkurrenzfähig mit importierten Naturfasern.

Folgende Tabelle zeigt die Marktpreise für verschiedene Naturfasern, wie sie z. B. für Dämmstoffe oder Formpressteile im Automobilbau eingesetzt werden können.

Tab. 6.5: Marktpreise in Deutschland von Hanffasern u. seinen Konkurrenten 1999 und 2000

Naturfaser und Einsatzgebiet	Preis in DM/kg
Hanffasern aus der EU, für Spezialzellstoff (Schäbengehalt 10 - 25 %), Hanfberg aus Osteuropa, gute Qualität,	0,55 - 0,70 ca. 1,00
Hanffasern aus der EU, für Verbundwerkstoffe, Hanffasern aus der EU, für Trittschalldämmung,	0,90 - 1,20 0,85 - 0,90
Hanffasern aus der EU, für Dämmstoffe, Hanf-Longfasern aus Osteuropa,	0,90 - 1,20 2,00 - 6,00
Hanffasern für die Bekleidungsindustrie aus China, versch. Qualitäten	3,00 - 7,00
Flachsfasern aus der EU, für Spezialzellstoff (Schäbengehalt 10 - 25 %), Flachs-Schwungwerg aus Osteuropa,	0,50 - 0,60 ab 0,70
Flachsfasern aus der EU, für Verbundwerkstoffe, Flachsfasern aus der EU, für Trittschalldämmung,	0,90 - 1,30 0,80 - 0,90
Flachsfasern aus der EU, für Dämmstoffe, Flachs-Longfasern aus der EU, für Bekleidungstextilien,	0,90 - 1,30 2,50 - 4,50
Jutefasern (Bangladesch), für Verbundwerkstoffe, Jutefasern (Bangladesch), für Spezialzellstoff,	1,10 - 1,20 0,80 - 0,90
Sisal (Afrika u. Südamerika), für Verbundwerkstoffe, Sisal (Afrika u. Südamerika), für Spezialzellstoff,	1,10 - 1,45 1,10 - 1,20
Kenaf (Bangladesch), für Verbundwerkstoffe, Kenaf (Bangladesch), für Spezialzellstoffe,	1,05 - 1,20 0,90 - 1,00
Abaca (Philippinen), für Spezialzellstoff,	1,60 - 1,80
Kokosfasern, für Geotextilien, Kokosfasern, beste Qualitäten.	0,40 - 0,60 0,70 - 0,80

Quelle: Karus et al. (2000).

Die Konkurrenzsituation unter den Naturfasern wird nach Karus et al. (2000) vor allem bestimmt durch

- ihre technischen Eigenschaften (und somit ihre möglichen Einsatzgebiete),

- ihr Marktvolumen und ihre Marktstrukturen (und somit die Versorgungssicherheit),
- ihre Marktpreise (und deren Kalkulierbarkeit).

1999 reichte die Preisspanne für Hanffasern in Deutschland von ca. 0,90 DM bis 1,20 DM/kg. Zum Vergleich sind Kokosfaserpreise für den Geo- und Agrartextilbereich angegeben; sie liegen mit 0,40 - 0,60 DM/kg deutlich niedriger; Flachs- und Hanffasern, die für die Geo- und Agrartextilwirtschaft interessant sein könnten, würden sich zu diesen Preisen neben der Kokosfaser nicht etablieren können.

Man sieht an der Preisübersicht, daß derzeit EU-produzierte Flachs- und Hanffasern sich der internationalen Konkurrenz stellen können und diese Fasern somit innerhalb der EU ihren Absatz finden. Hanffasern werden derzeit nur in unbedeutenden Mengen importiert. Mit dem Zusammenbruch der UdSSR brachen die meisten Hanfunternehmen in Osteuropa zusammen. Aktuell fließen Investitionen in die rumänische Hanfindustrie, die in den nächsten Jahren bis zu 7.000 t Hanf-Kurzfasern für technische Anwendungen bereitstellen könnte. Andererseits erkennt man aber auch, wie gering der Spielraum für Preissteigerungen ist. Faserimporte aus Osteuropa und Asien legen preislich den Rahmen für EU-produzierte Fasern fest. Die Abnehmer kennen in der Regel keine „Heimatbindung“, sondern nur Qualität, Preis und Liefersicherheit. Durch eine zu schnelle und zu starke Reduzierung der EU-Beihilfen ist die Konkurrenzsituation für EU-produzierte Kurzfasern akut gefährdet (sh. auch Kap. 6.3) (Karus et al., 2000).

Wie in Kap. 6.3 dargestellt, beeinflussen die politischen Rahmenbedingungen die Produktionskosten für Hanffasern und somit auch deren Konkurrenzfähigkeit gegenüber anderen Fasern. So würde z. B. eine Absenkung der Flächenbeihilfe auf ca. 750 DM/t Trockenmasse (z. Zt. sind es noch 1.300 DM/t TM) zu einer kostenseitigen Erhöhung des Faserpreises von 1,00 - 1,20 DM/kg (für vliesfähige Fasern) auf ca. 1,60 - 1,80 DM/kg führen. Marktseitig wäre eine derartige Erhöhung der Faserpreise aufgrund der Konkurrenzsituation zu Sisal, Jute und osteuropäischem Flachs nicht durchsetzbar. Diese Zahlen verdeutlichen die enorme Bedeutung einer agrarökonomisch stabilen Rohstoffbasis für die globale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Hanfwirtschaft. Ökonomische Analysen zeigen, daß die Hanffaserpreise bei moderat sinkenden EU-Flächenbeihilfen und gleichzeitigen Produktivitätssteigerungen (agrar- und produktionsseitige Faktoren) stabil gehalten werden können (sh. hierzu Kap. 6.3).

Die Marktpreise von Naturfasern sind von einer Vielzahl von Einflüssen abhängig. Zwischen 1998 und 2000 haben sich die Marktpreise für Hanffasern nur wenig verändert. Preise für diese Fasern definierter Qualitäten (bzw. Einsatzgebiete) sind für die Industrie kalkulierbar geworden und weisen eine recht große Preiskonstanz auf. Die wichtigsten Faktoren sind (Karus et al., 1999):

- Qualität der Faser; es werden sehr unterschiedliche Qualitäten zu entsprechenden Preisen angeboten. Der spätere Einsatzbereich bedingt Qualität und Preis,
- Produktionskosten (sh. Kap 6.3),
- Angebot und Nachfrage; hier spielen Modewellen (Textilien aus Hanf- oder Flachsfasern), witterungsbedingte Faktoren, Konkurrenzsituation mit anderen Kulturen, Handelsstrukturen und anderes mehr eine Rolle.

Nach Karus et al. (2000) ist insgesamt die zukünftige Entwicklung der Faserangebotsmärkte Asien, Osteuropa und Europäische Union unter dem Gesichtspunkt der Qualitäts- und Versorgungssicherheit von einer Vielzahl von Parametern abhängig, die schwer zu prognostizieren sind. Da aber alle drei Märkte von unterschiedlichen wirtschaftspolitischen Parametern abhängen, ist das Risiko für die Industrie, verstärkt Naturfasern einzusetzen, vergleichsweise gering. In den nächsten Jahren wird ein ausreichendes Angebot mit besser standardisierten Qualitäten verfügbar sein.

6.5 Marktentwicklungen

Die Fa. Otto Heck GmbH & Co. KG hat Mitte 1998 mit der Vermarktung ihrer Hanf-Isolierprodukte begonnen. Die Ergebnisse und Reaktionen sind vielversprechend, so daß sie mit einer erheblichen Bedarfssteigerung bei Hanf-Isolierbaustoffen für die kommenden Jahre rechnen.

Auch die Fa. C. Grashorn, Hanf Verarbeitungs Gesellschaft bietet in Niedersachsen Landwirten Hanfanbau- und Abnahmeverträge an, organisiert die Ernte und unterstützt die Entwicklung von Erntetechnik. Eine Markteinführung hat erst in diesem Jahr stattgefunden, jedoch rechnet das Unternehmen damit, daß sich der Hanfanbau in ganz Deutschland wieder etablieren wird, wenn es gelingt, durch ein leistungsfähiges Liefermanagement vom Anbau bis zum Endprodukt hochwertige, den jeweiligen Anforderungen angepaßte Hanfprodukte liefern zu können.

Da die Verarbeitung und das Angebot der industriellen Erzeugnisse von Hanf zunimmt, Hanf sogar neue Industriezweige erobert, der Bedarf nach ökologischen Materialien und somit auch nach Hanfprodukten stets wächst, der Hanfanbau landwirtschaftlich immer mehr an Bedeutung gewinnt, und auch die Politik das Ökologische Bauen unterstützt („Als Bauminister setze ich auch auf Hanf als nachwachsender Rohstoff zur Herstellung von Baumaterialien“ Dr. M. Vesper, Minister f. Bauen und Wohnen des Landes NRW bei der Eröffnung der NRW-Hanftagung 1998 in Bad Sassendorf) hat die Verwendung von Hanfprodukten in Gebäuden eine sehr gute Perspektive. Vom nova-institut wurden im Januar 2000 mehrere Unternehmen der Hanf-Erstverarbeiter nach aktuellen und zukünftigen Produktionsmengen sowie nach den wichtigsten Einsatzgebieten bzw. Produktlinien befragt. Die Ergebnisse der erwarteten Produktionszahlen und die Absätze in verschiedenen Marktbereichen – unter der

Voraussetzung, daß die EU-Beihilfe auf dem akzeptablen Niveau erhalten bleibt – zeigt die Tab. 6.6, die deutliche Präferenzen für bestimmte Produktlinien zeigt.

Tab. 6.6: Ergebnisse der nova-Umfrage unter deutschen Hanf-faser-Produzenten

Deutschland	Hanf (t) 1999	Hanf (t) 2005 (Progn.)
Faser-Produktionskapazität	4.930	23.800
Faser-Produktion	2.571	23.800
Faser-Verkauf (s.u.)	1.810	23.481
Schäben-Produktion	5.844	45.150
Schäben-Verkauf (s.u.)	4.333	40.450
Samen-Produktion	145	1.341
Samen-Verkauf (s.u.)	105	1.341
Faser-Produktlinien		
Zellstoff für Standardpapiere	0	0
Spezialzellstoff	0	300
Verbundwerkstoffe-Auto	820	5.146
Verbundwerkstoffe-sonstige	20	5.230
Bau- und Dämmstoffe	660	9.005
Geo- und Agrartextilien	80	2.400
Bekleidungstextilien	0	0
Sonstiges	230	1.400
Schäben-Produktlinien		
Tiereinstreu	3.742	18.250
Baumaterial	488	18.700
Sonstiges	100	3.500
Samen-Produktlinien		
Lebensmittel	0	20
Tierfutter	100	270
Körperpflege	0	1
technische Anwendungen	5	1.050

Quelle: Karus et al. (2000).

In Deutschland sollen im Hanfbereich zwischen 1999 und 2005 eine Reihe neuer Anlagen fertiggestellt werden und in Betrieb gehen. Zum Teil handelt es sich um Anlagen, die innovative Aufschlußtechnologien verwenden. Gleichzeitig wollen bestehende Anlagen ihre Auslastung verbessern (die scheinbar niedrige Auslastung von ca. 50 % beruht auch darauf, daß Anlagen erst im Laufe des Jahres 1999 in Betrieb gingen) und ihre Kapazitäten erweitern. Insgesamt soll die Faser-Produktionskapazität von ca. 5.000 t/a auf ca. 24.000 t/a anwachsen. Bei der Vermarktung steht der Bereich Verbundwerkstoffe mit 44 % im Vordergrund (hauptsächlich für die Automobilindustrie). An zweiter Stelle folgt im kurzem Ab-

stand der Dämmstoffbereich, dem eine enorme Steigerungsrate bis 2005 prognostiziert wird und mit 9.000 t/a einen Anteil von 38 % haben soll. Die in Deutschland geplante Inbetriebnahme einer Hanfzellstoffproduktion im Jahr 2000 findet in den Zahlen überraschenderweise noch keinen Niederschlag. Die Anteile der Produktlinien können sich hierdurch bis 2005 noch verschieben.

EU-weit wollen die Hanfunternehmen ihre Faserproduktion von 27.937 t/a (1999) deutlich auf 47.245 t/a (2005) ausbauen. Im Mittelpunkt wird der Prognose nach auch 2005 der Spezialzellstoffbereich stehen (69 %), der jedoch gegenüber 1999 (EU ohne D: 87 %) bereits stark verloren hat. Die stärksten Zuwachsraten werden im Bereich Verbundwerkstoffe mit einer Steigerung auf über 22 % erwartet, während der Anteil des Dämmstoffbereichs auf insgesamt 8 % steigen soll. Bei der Schäbenvermarktung bleibt der Tiereinstreumarkt mit 75 % dominant, gefolgt vom Bausektor mit 22 % (Karus et al., 2000).

Bei der Schäbenvermarktung halten sich 2005 der Tiereinstreumarkt (45 %) und der Baubereich (46 %) die Waage. Damit wird, der Prognose nach, der Baubereich gegenüber heute stark an Bedeutung gewinnen.

Im Dämmstoffbereich ist zum Teil geplant, ganz neue Verfahren zur Dämmstoffherstellung einzusetzen, die die Marktpreise deutlich senken und damit die Konkurrenzsituation gegenüber synthetischen Dämmstoffen deutlich verbessern sollen. Für die deutsche Hanfwirtschaft ist der Dämmstoffmarkt der zweitwichtigste Markt mit großem Wachstumspotential, für die europäische Industrie der drittwichtigste Bereich (Karus et al., 2000).

6.6 Dämmstoffe

Die treibende Kraft, die sowohl hinter dem deutschen CO₂-Minderungsprogramm als auch hinter der Absicht steht, Materialien wiederzuverwerten und auf fossile Ressourcen zu verzichten, ist die (wachsende) Erkenntnis über die begrenzte Kapazität von Ökosystemen, Abfallstoffe aufzunehmen. Diese Erkenntnis führt zu einer steigenden Nachfrage nach nachhaltiger, industrieller Produktion, Verbrauch und Abfallsystemen. Das Interesse des Käufers beeinflusst dabei solche Produkte, Prozesse oder Dienstleistungen, die nur ein Minimum an Ressourcen verbrauchen und ein Minimum an Emissionen oder Abfall erzeugen (sog. „ökologische“ Produkte). Viele Hersteller von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen gehen auf diese Ansprüche ihrer Käufer ein, die ein wichtiger Anreiz bei der Vermarktung von diesen (alternativen) Dämmstoffen darstellen. Allerdings decken diese Käufer mit ausgeprägtem Umwelt- und Gesundheitsbewußtsein nur einen kleinen Nischenmarkt ab (Murphy et al., 1999). Das Verbraucherbewußtsein hat sich im Bereich „Bauen und Gesundheit“ positiv verändert, so daß an einer ökologischen Bauweise 35 % der Bauherren interessiert und weitere 10 % sehr interessiert sind (Waskow, 1996).

6.6.1 Marktsituation und -anteile

Der Markt für Dämmstoffe wird von den konventionellen* Dämmstoffen dominiert (95,1 %). Jährlich werden, mit steigender Tendenz, ca. 32 Mio. m³ Dämmstoffe in Deutschland produziert. Den größten Marktanteil weisen die Mineralfasern mit ca. 60% auf, EPS-Hartschäume machen ca. 28 %, PUR-Hartschäume 4,2 %, Polystyrol-Extruderschäumstoffe 3,1 % und dämmende Leichtbauplatten 1 % aus. Ca. 3 % fallen auf Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen, wobei dieser Markt ein Wachstumsmarkt ist, der schneller als der Gesamtmarkt wächst. Tab. 6.7 gibt eine Übersicht über den derzeitigen Dämmstoffmarkt.

Tab. 6.7: Marktanteile von Dämmstoffen unterschiedlicher Rohstoffbasis

Marktanteile der in Deutschland erhältlichen Dämmstoffe	in m ³	in %
<u>Konventionelle Dämmstoffe:</u>		
Mineralwolle	18.980.000	58,75
EPS-Hartschäume	9.100.000	28,16
PUR-Hartschäume	1.365.000	4,22
Polystyrol-Extruderschäumstoffe	985.000	3,05
Dämmende Leichtbauplatten	310.000	0,96
Summe	30.740.000	95,14
<u>Seltene Mineralische Dämmstoffe:</u>		
Schaumglas	180.000	0,56
Perlite	400.000	1,24
Summe	580.000	1,80
<u>Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen und recyceltem organischem Material:</u>		
Kork	45.250	0,14
Baumwolle	32.500	0,10
Flachs/Hanf	66.887	0,21
Weichholzfaserplatten	334.500	1,04
Schafwolle	52.857	0,16
Zellulose	444.444	1,38
Schilf, Stroh, Kokos etc.	8.900	0,03
Summe	985.338	3,06
Gesamtsumme	32.305.338	100,00

Quelle: Murphy et al. (1999).

Die Abb. 6.3 gibt eine Übersicht über die unterschiedlichen Dämmstoffprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen und ihren Anteilen innerhalb dieses Marktes. Es wird deutlich, daß die Hanf-Dämmprodukte lediglich einen geringen Teil am Dämmstoffmarkt aus nachwachsenden Rohstoffen ausmachen. Neben den höheren Preisen sind für die geringe Nachfrage verantwortlich: mangelnde Aufklärung des Verbrauchers über die zusätzlichen ökologischen und gesundheitlichen Eigenschaften, mangelndes Wissen der Architekten, Unsicherheiten/Vorbehalte über die Qualitätseigen-

* konventionelle Dämmstoffe seien alle Dämmstoffe, die nicht aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen

schaften, Angebote sind nicht in großen Baumärkten vorhanden und allgemeine Unübersichtlichkeit des Dämmstoffmarktes.

Es wird eine Ausweitung des Marktanteils von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen auf etwa 10 % des gesamten Dämmstoffangebotes erwartet, was eine Menge von ca. 3,33 Mio. m³ jährlich ergeben würde (Brandhorst, 1998; Murphy et al., 1999). Bei dem Produkt „Thermo-Hanf“ rechnet man beim Verkauf mit Zuwachsraten; Brandhorst (1998) geht davon aus, daß Flachs- und Hanffasern mittelfristig einen Anteil von 20 % am alternativen Dämmstoffmarkt einnehmen werden, der momentan bei 7 % liegt (Abb. 6.1).

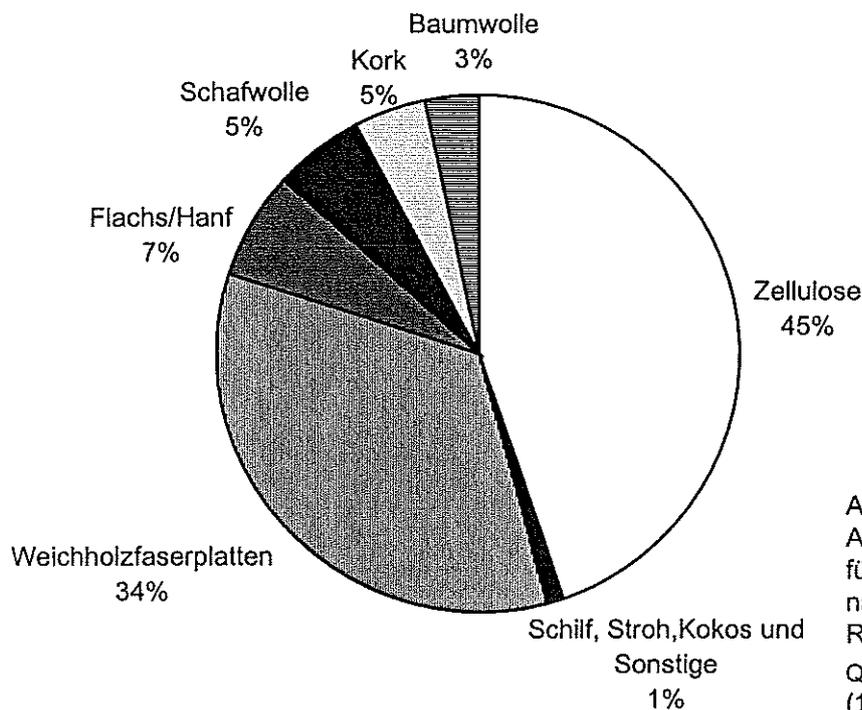


Abb. 6.1:
Anteile am Markt
für Dämmstoffe aus
nachwachsenden
Rohstoffen
Quelle: Murphy et al.
(1999).

6.6.2 Marktpotential

Das deutsche Marktpotential von Hanffasern für die Bauindustrie beträgt ca. 30.000 t, für Dämmvliese und -filze als Isoliermaterial rund 20.000 t, für Mörtel rund 10.000 t und für alle anderen Anwendungen rund 5.000 t. Zusammen ergibt diese einen Bedarf von 65.000 t/a, was einer Anbaufläche von etwa 25.000 ha entspricht (Waskow, 1995).

1998 waren die deutschen Werke für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen im Schnitt bis zu etwa 40 % ausgelastet. Dazu entstehen noch weitere Werke, die das gleiche Verkaufsvolumen besitzen. Selbst bei optimistischen Steigerungsraten von 15 - 20 %/a auf eine Gesamtquote von etwa 10 % des jährlichen Dämmstoffbedarfs ist eine wirtschaftliche Auslastung vieler Betriebe auf absehbare Zeit nicht gegeben. Dadurch unterliegen viele Anbieter einem enormen Preisdruck.

Die Stillgelegungsfläche der Landwirtschaft in Höhe von über einer Million ha würde ausreichen, um 48.000.000 m³ Pflanzenfaser-Dämmstoffe herzustellen. Bei einem

Gesamtdämmstoffbedarf von 30.000.000 - 40.000.000 m³/a könnte also innerhalb kurzer Zeit und auf Dauer der gesamte Dämmstoffbedarf – da, wo er technisch eingesetzt werden kann – mit pflanzlichen Produkten gedeckt werden (Brandhorst, 1998).

Die deutsche Hanfwirtschaft will (incl. Importen) im Jahr 2005 ca. 9.000 t Fasern im Dämmstoffmarkt absetzen. Karus et al. (2000) gehen davon aus, daß gerade in Bezug auf Senkung der Produktionskosten und Marketing große Anstrengungen notwendig sind, um die anvisierten Fasermengen im Dämmstoffbereich absetzen zu können.

6.6.3 Kosten

Das Interesse an ökologischen Dämmstoffen ist groß, gekauft werden sie hingegen wenig. Gegen eine Etablierung am Markt spricht gegenwärtig noch der relativ hohe Preis, der das 2,5 bis 4-fach der Kosten für Glas- und Steinwolle beträgt (Abb. 6.1). Verantwortlich dafür sind nach Hesch (1998) die veralteten Technologien, die für die Dämmstoffherstellung aus Hanffasern unzuweckmäßig und zu aufwendig sind. Besonders für die Fasererzeugung (Entholzung) ist die Durchsatzleistung zu gering und der Bedarf an Arbeitskräften zu hoch, um wirtschaftlich zu sein. Nach Brandhorst (1998) sind Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen in der Herstellung lohnintensiver als die großindustriell erstellten Massenprodukte, da Landwirtschaft, Trocknung des Rohstoffes, Aufarbeiten nur bedingt industrielle Großproduktion zulassen (im Gegenzug werden dafür allerdings auch im Verhältnis viel mehr Arbeitsplätze je m³ Dämmstoff gesichert).

Nach Karus et al. (2000) spricht für einen verstärkten Einsatz von Hanf, daß die neu entstehenden Prozeßketten und Anlagen versuchen, ihre Produktionskosten deutlich zu senken. Dies soll erfolgen durch: bessere Auslastung bestehender Überkapazitäten, Anlagen mit höherem Durchsatzvolumen (Skaleneffekte), durch integrierte Anlagen (Faseraufschluß → Dämmstoff-Fertigung) und durch neue, preiswerte Aufschlußverfahren verbunden mit speziellen Produktionsverfahren, die von dem klassischen Weg „Vliesfähige, schäbenfreie Faser → Dämmvlies“ wegführen. Hierdurch sollen Preise von (unter) 100 - 160 DM/m³ möglich werden, was die Marktchancen deutlich erhöhen würde. Die neuen Anlagen hierfür gehen 2000 und 2001 in Betrieb. Die Abb.6.2 gibt die relativen Preisunterschiede ausgewählter Dämmmaterialien wieder.

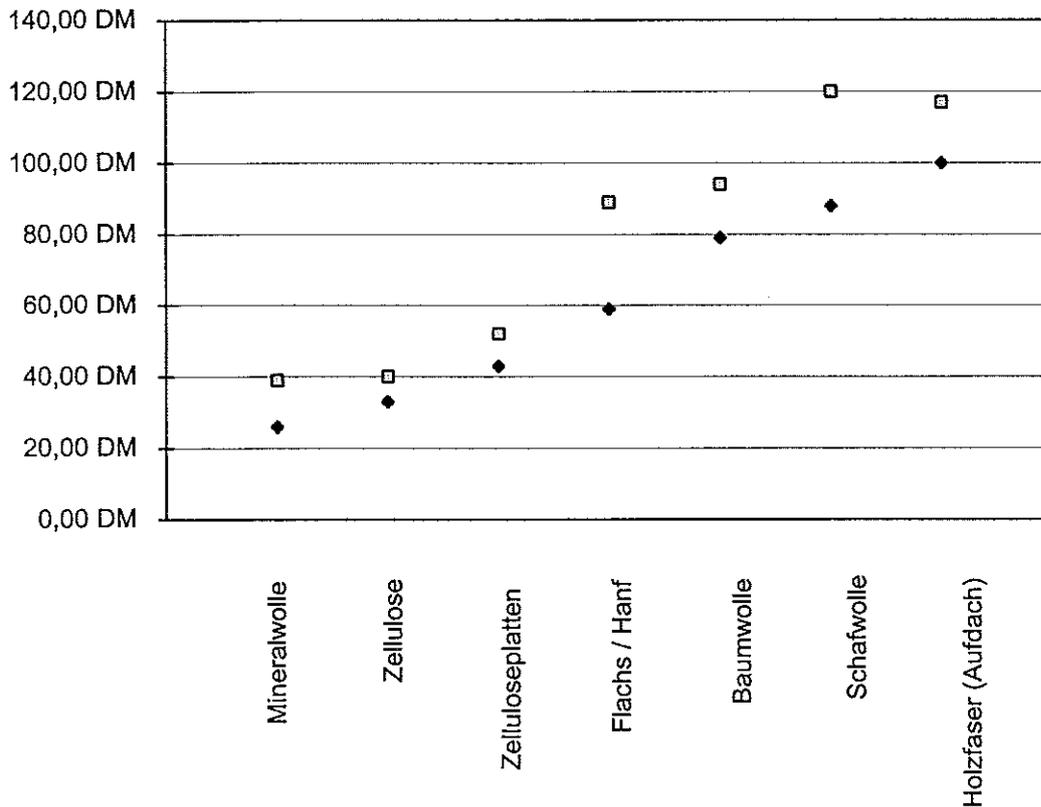


Abb. 6.2: Vergleich der Kosten unterschiedlicher Dämmstoffe bei 20 cm Dämmdicke, in Dachschräge fertig eingebaut; von ... bis in DM/m², netto

Quelle: Brandhorst (1998).

Die Preise für konventionelle Dämmstoffe liegen für künstliche Mineralfaser zwischen 60 und 180,- DM/m³; die Preisspanne für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen liegt zwischen 200 und 500 DM/m³. Da die Dämmmaterialien aus Hanf gegenüber den billigeren, konventionellen Materialien technische, qualitative und umweltrelevante Vorteile besitzen, sind viele Käuferschichten bereit, diesen höheren Preis für umweltfreundliche Produkte zu zahlen. Der Einsatz von Subventionen oder steuerlichen Vergünstigungen als Honorierung für die positiven ökologischen Eigenschaften ist eine weitere Möglichkeit, die Kostenlücke zwischen konventionellen und Hanf-Produkten zu schließen (Murphy et al., 1999).

Murphy et al. (1999) empfehlen in ihrer Studie, die Zielgruppen durch gezielte Marketingstrategien und Informationsaktivitäten zu erreichen, um die Anteile dieser Produkte am Markt zu erhöhen.

Hesch (1998) erwartet für die Zukunft eine Kostensenkung und spricht von einem „radikalen Wandel der Kostensituation“. Er erwartet, daß vom Jahr 2001 an Hanffasern auf dem Markt kommen, die um bzw. unter 100,- DM/m³ verkauft werden können, und das sogar unter Verzicht auf die derzeit gezahlten EU-Subventionen für den Anbau von Hanf.

Die Tab. 6.8 zeigt die Preise unterschiedlicher Dämmvliese für Endkunden wie sie am Markt zur gegebenen Zeit herrschen.

Tab. 6.5: Endkundenpreise für verschiedene Dämmvliese (netto)

	pro m ² bei 20 cm Dicke	pro m ³
Mineralfaserdämmvliese	15 - 25 DM	75 - 125 DM
Zelluloseflocken	20 - 50 DM	100 - 250 DM
Flachsdämmvliese	53 - 63 DM	265 - 315 DM
Hanfdämmvliese	46 DM	230 DM
„THERMO-HANF“-Dämmung*	ca. 40 DM	ca. 200 DM
Zukünftige Hanf- und Flachsdämmvliese	(unter) 20 - 32 DM	(unter) 100 - 160 DM

Quellen: Karus et al. (2000); *Preisliste der Fa. Hock Vertriebs-GmbH & Co. KG, Stand Jan. 2000

Möglich wird die Kostensenkung durch neuartige Technologien sowohl für die Fasererzeugung als auch für die Vliesherstellung, die das Ergebnis von Entwicklungsarbeiten von Prof. Dr. Hesch (FH Lippe) und der Fa. möllerplast (in Bielefeld) sind, die eine Faseraufschlußanlage in Kalletal (Ost-Westfalen) betreiben. Die Faseraufschlußanlage kann dabei sowohl Fasern für die Automobilindustrie als auch für die Dämmstoffindustrie liefern und anbieten, und zwar mit dem sog. „Impact-Verfahren“, das die einzige Technologie darstellt, die mit ungerösteten Bastfaserpflanzen (Grünhanf) beim Aufschluß keine Probleme bereitet und gegenüber herkömmlichen Anlagen eine Leistung erbringt, die um den Faktor 10 höher liegt als herkömmliche Anlagen (durch eine höherer Durchsatzleistung und geringern Arbeitskräfteeinsatz) (Hesch, 1998).

6.6.4 Marktchancen für Hanf-Dämmstoffe

Aufgrund der immer schärfer werdenden Verordnungen im Wärmeschutz bestehen gute Chancen für das Wachsen des Dämmstoffmarktes. Hier wiederum befinden sich im Bereich ökologischer Dämmstoffe besonders hohe Zuwachsraten (Böcsa et al. 1997). Die feinen Hanffasern, die chemisch-physikalisch aufgeschlossen werden, erreichen die Dämmwerte von Mineralfaservliesen gleich gut (Dämmgruppe 030 bis 040). Somit können Hanfdämmvliese ohne konstruktive Änderungen am Baukörper Mineralfaservliese substituieren. Die technische Machbarkeit ist gegeben, da Anlagen, auf denen Hanffasern zu Dämmvliesen verarbeitet werden können, bereits existieren (Bocsa und Karus, 1997).

Insgesamt haben alternative Dämmstoffe einen Marktanteil von ca. 3 % am Gesamtdämmstoffmarkt. 40 % davon wird von Zellulose abgedeckt, da dies derzeit der preiswerteste „Ökodämmstoff“ ist. Die restlichen 60 % des Ökodämmstoffmarktes können vom Hanf zu etwa einem Drittel erobert werden, vorausgesetzt, die Hanffasern werden physikalisch-chemisch aufgeschlossen. Diese Größe entspräche etwa 400.000 m³ (ca. 10.000 t Faser) bzw. einer Anbaufläche von 8.000 ha (Brandhorst, 1998).

Von dem jährlichen Dämmstoffbedarf (32.000.000 m³) macht der Bereich der Trennwanddämmung zwecks Schallschutz (in Bürogebäuden) etwa die Hälfte aus. In diesem Marktsegment sind naturnahe Produkte derzeit aus Preisgründen nicht marktfähig. Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen sind i. A. der Brandschutzklasse B2 zuzuordnen. Eine B1-Klassifizierung ist nur mit recht problematischen Zusatzmitteln machbar, deren ökologische Seite zum großen Teil als fragwürdig einzuordnen sind. Es können daher naturnahe Dämmstoffe derzeit im Normalfall nur für Ein- und Zweifamilienhäuser sowie Reihenhausanlagen eingebaut werden, zusätzlich noch in Kindergärten und ähnlichen Gebäuden.

Neben dem Gestellungspreis für das Produkt spricht für die Mineralfaser vor allem die schnellere und einfachere Verarbeitung. Von den verbleibenden 16.000.000 m³ Dämmstoffbedarf wird etwa die Hälfte für Häuser geringer Höhe benötigt, dies entspricht einer Menge von etwa 8.000.000 m³. Hiervon kann nach realistischen Markteinschätzungen der alternative Dämmstoff wiederum bis zur Hälfte Marktanteil erobern, da nicht alle Anwendungsfälle abgedeckt werden können (Estrich-, Perimeter-, Fassaden-Dämmungen). Jährlich werden ca. 120.000 Ein- und Zweifamilienhäuser errichtet. Bei einem geschätzten Volumen je Gebäude für die Dachdämmung von 25 m³ pro Haus sind für diesen Bereich jährlich ca. 3.000.000 m³ Dämmstoff nötig. Dies bestätigt die o. g. Annahme des Marktes für alternative Produkte. Somit stehen derzeit für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen bis zu gut 10 % des gesamten Dämmstoffmarktes offen – vorausgesetzt, daß diese Produkte durch Marketing, Aufklärung und positiver Normungsarbeit ihre Chancen nutzen können (Brandhorst, 1998). Nach Eicke-Hennig (1997) können bei ökologisch schonendem Anbau in Deutschland ca. 2,6 t Hanffasern pro ha Anbaufläche hergestellt werden, das entspräche 100 m³/ha oder bei Nutzung von 25.000 ha Anbauflächen im Endausbau ca. 10 % des heutigen Dämmstoffmarktes.

Werden für den Schallschutzbereich leichter Trennwände (ohne erhöhte Brandbeanspruchung) und Fußbodenaufbauten (Estrichdämmungen) preisgünstige und gut verarbeitbare Produkte entwickelt, steht allerdings in diesem Sektor noch ein beträchtliches Marktpotential zur Verfügung. Ein weiteres Potential liegt in der Fertighausindustrie. Der Durchbruch in diesem Sektor ist möglich, wenn ein kostengünstiger Einbau der Produkte durch eine moderne Anlagentechnik erfolgt. An Marktpotential (Holzhäuser) stehen zur Verfügung: Ca. 23.000 Häuser pro Jahr – Tendenz steigend – mit einem mittleren Dämmstoffbedarf von mind. 60 m³ (Dach, Wände, Trennwände) je Objekt. Dies ergibt ein Volumen von mind. 1.400.000 m³/a (Brandhorst, 1998). Daneben bietet sich die Altbausanierung als Einsatzgebiet dieser Produkte zur Wärme- und Schalldämmung an. Die Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen, denen ein jährliches Absatzwachstum von 8 % prognostiziert wird, kön-

nen unter folgenden Bedingungen am Markt einen Anteil von 10 - 15 % erobern (Brandhorst, 1998):

- Auslastung der Produktionsstätten (mind. 70 %),
- gutes Marketing,
- Überzeugungsarbeit bei Endverbraucher, Handwerker und Architekten,
- Herstellung qualitativ hochwertiger Produkte durch das Handwerk.

Primäres Einsatzgebiet für diese Produkte ist der Wärmeschutz der Gebäudehülle. Die Entwicklung der neuen Produkte aus Hanf lassen zunehmend auch den Einsatz im Schallschutzbereich zu. Entsprechende Prüfungen für die diversen Einsatzgebiete liegen vor, ebenfalls die Erfahrungswerte in der Baupraxis. Nicht eingesetzt werden können diese Dämmstoffe als „Perimeterdämmstoff“ – also als ein Produkt, das unter Wasser(belastung) noch dämmt (wie z. B. Schaumglas). Deutlich größere Marktanteile sind erst dann zu erwarten, wenn kurz- bis mittelfristig der Preis sinkt, und die Vertriebsstruktur ökologischer Baustoffe effizienter wird. Helfen könnten lt. Bocsa u. Karus (1997) eine ökologische Steuerreform, die die Umweltvorteile von Hanf ökonomisch belohnt, da die externen Umweltkosten bei herkömmlichen Dämmstoffen nicht mit im Preis enthalten sind. Nach nova et al. (1996) sind neben den höheren Kosten auch ungenügende Verbraucheraufklärung und ungenügendes Marketing (Vorteile der solaren Materialien sind dem Endverbraucher nicht bewußt) mitverantwortlich für die relativ geringe Nachfrage. Der geringe Marktanteil kann vor allem durch zielgruppenorientierte Verbraucheraufklärung und Förderung der Markttransparenz ausgeweitet werden (Murphy et al., 1999).

6.6.5 Arbeitsplätze

Die Mitgliedsfirmen der Arbeitsgemeinschaft für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen (ADNR) schufen bis 1998 300 neue Arbeitsplätze. Bis 2001 sollen 600 Stellen geschaffen werden. Hinzu kommen weitere Arbeitsplätze in der vorgelagerten Produktion (Landwirtschaft, Recyclingunternehmen, Aufbereitung, etc.), sowie im verarbeitenden Gewerbe.

7 Unterschiede und Eigenschaften von Dämmstoffen

Wärmedämmstoffe sind Baustoffe, die als Folge ihres physikalischen Materialaufbaus insbesondere den Wärmedurchgang, auch Wärmetransmission bezeichnet, verringern. Das Grundprinzip der Wärme- und Schalldämmung besteht darin, daß Lufteinschlüsse in einer Materialmatrix Wärmeverluste verhindern und die Schallübertragung vermindern. Alle natürlichen Materialien mit einer porösen oder faserigen Struktur können prinzipiell für die Produktion von Dämmstoffen verwendet werden. Dies umfaßt Pflanzenfasern (Flachs, Hanf, Baumwolle, Jute, Kokos), Holz, Zellulose, pflanzliche

Nebenprodukte wie Getreidestroh, markhaltige Pflanzen (z. B. Sonnenblumen), Kork und Tierfasern (z. B. Schafwolle) (Murphy, 1998).

Im konventionellen Bereich werden hauptsächlich Dämmmaterialien aus Mineralwolle (59 %) und Polystyrol (31 %) eingesetzt. Die Wärmeleitfähigkeit dieser Produkte ($\lambda = 0,030 - 0,040 \text{ W/mK}$) setzten einen Maßstab für den Markt und die Baupraxis. Der Anteil von Dämmmaterialien aus nachwachsenden Rohstoffe am Markt ist noch sehr gering (sh. Kap. 6.6). Die Tab. 7.2 gibt einen Überblick über die Eigenschaften der in Deutschland erhältlichen biogenen Dämmprodukte. Die Wärmeleitfähigkeit von diesen biogenen Produkten ist noch wenig untersucht (Murphy, 1998).

Die Tab. 7.1 zeigt eine Übersicht der marktbeherrschenden konventionellen und der neuen Dämmstoffe sowie ihre unterschiedlichen Eigenschaften.

7.1 Technische Grundlagen und Anforderungen

Wärmeleitfähigkeit λ in W/mK

Jeder Stoff hat eine ihm eigene Fähigkeit, Wärme zu leiten. Die Wärmeleitfähigkeit ist eine spezifische Stoffeigenschaft und gibt an, welcher Wärmestrom in Watt (W) in einer Stunde (h) durch 1 qm einer 1 m dicken Schicht hindurchgeht, wenn das Temperaturgefälle in Richtung des Wärmestroms 1 K beträgt. Ein guter Wärmeleiter (z. B. Kupfer) hat ein λ von 380 W/mK ; schlechte Wärmeleiter, also gute Wärmedämmstoffe haben ein λ kleiner als 0,08 W/mK . Sie ist abhängig vom Feuchtigkeitsgehalt. Die Wärmeleitfähigkeitsgruppe (WLG) gibt diese Stoffeigenschaft an: WLG 040 entspricht $\lambda = 0,040 \text{ W/mK}$. Je kleiner die Wärmeleitfähigkeit (also je niedriger der k-Wert), desto besser der Wärmeschutz des Dämmstoffes.

Wärmedurchlaßwiderstand (Wärmedämmwert) $1/\lambda$ in $\text{m}^2\text{K/W}$

Damit wird der Widerstand einer Schicht gegen das Durchströmen von Wärme angegeben. Zu seiner Ermittlung ist die Dicke der betreffenden Schicht (in m) durch die stoffbezogene Wärmeleitfähigkeit λ in W/mK zu dividieren. Bei mehrschichtigen Bauteilen ist für jede Schicht nach diesem Rechenverfahren der Einzelwert festzustellen. Die Summe aller Einzelwerte ergibt dann den Wärmedurchlaßwert bzw. Wärmedämmwert für das gesamte Bauteil. Je größer $1/\lambda$, desto besser die Wärmedämmung.

Wärmeübergangskoeffizient α in $\text{W/m}^2\text{K}$

Der Wärmeübergangskoeffizient ist der Wärmestrom W , der in einer Stunde durch ein 1 m^2 große Fläche zwischen einem festen Körper und einem gasförmigen Körper (Luft) fließt, wenn der Temperaturunterschied zwischen den beiden Medien 1 K beträgt. Bezeichnung α_a für außen, α_i für innen.

Tab. 7.1: Übersicht der gebräuchlichsten Dämmmaterialien mit Kennwerten und Eigenschaften

Dämmmaterial	Brand- schutz- klasse	λ (W/mK)	Rohdichte (kg/m ³)	μ	k-Wert bei 10 cm (W/m ² K)	Kosten für 10 cm (DM/m ²)	Eigenschaften und Umweltverhalten
Steinwolle	A1, A2, B1	0,033 - 0,041	20 - 200	1 - 2	0,33 - 0,41	16 - 20	kein Biozideinsatz; keine Biozide; Rohstoffe ausreichend; Freisetzung v. lungengängigen Fasern möglich; geringe Abspaltung von Formaldehyd; Entsorgung als Bauschutt (Deponie)
Glaswolle	A1, A2, B1	0,031 - 0,035	10 - 130	1 - 2	0,31 - 0,35	16 - 20	wie Steinwolle
PUR	B1, B2	0,02 - 0,035	15 - 100	30 - 100	0,2 - 0,35	52	kein Biozideinsatz; Diffus. v. Zellgasen mögl., im Brandfall toxische Gase; Brandschutzmittel; nicht regenerierbare Rohstoffe; Deponierung problemat.
EPS	B1	0,035 - 0,04	10 - 50	20 - 100	0,35 - 0,4	12 - 14	kein Biozideinsatz; geringe Styrolemission; Belastungen durch Erdöl- und Chlorchemie; Brandschutzmittel; Abgabe organ. Gase in Raumluft; im Brandfall toxische Gase; durch Additive Deponierung problematisch
XPS	B1	0,03 - 0,035	20 - 60	80 - 250	0,3 - 0,35	52	kein Biozideinsatz; Brandschutzmittel; Treibmittel (HFCKW) evtl. vorhanden; geringe Styrolemission; Belastungen durch Erdöl- und Chlorchemie; Abgabe organ. Gase in Raumluft; Deponierung problematisch
Hanffaser	B2	0,040	20 - 40	1 - 2	0,4	21,50	
Holzfaser	B1, B2	0,04 - 0,045	150 - 180	5 - 10	0,4 - 0,45	43 - 45	keine Schadstoffemission
Zellulose (Platten)	B2	0,04	65 - 100	1 - 2	0,4	31	hohe Recyclingrate; unschädlich vernichtbar; Einsatz von Borverbindungen; evtl. Staubbelastung
Schilf	B2	0,04 - 0,06	180	2	0,4 - 0,6	28 - 32	keine Schadstoffemissionen bekannt
Baumwolle	B2	0,04	20	1-2	0,4	30	bei Anbau hoher Wasser-, Energie u. Düngerverbrauch, hoher Einsatz von Bioziden; Erosion
Blähton	A1	0,10 - 0,16	300 - 450	2 - 8	1,0 - 1,6	28 - 38	Rohstoffe mineralisch ausreichend vorhanden; keine Brandschutzmittel; kein Biozideinsatz; wiederverwertbar; deponierbar

Quellen: Boisits (1993), Anonym (1997); Schwarz (1998); Carmen et al. (1999); Sörensen (2000).

Wärmedurchgangskoeffizient k in $\text{W/m}^2\text{K}$ (k -Wert)

Der Wärmedurchgangskoeffizient k wird verwendet, um ein Bauteil hinsichtlich seiner Wärmedämmfähigkeit beurteilen zu können und dient als Maß für den Wärmedurchgang durch Bauteile. Er gibt diejenige Wärmemenge (in Ws) an, die bei einer Differenz von 1 K zwischen Innen- und Außentemperatur pro Sekunde (s) durch 1 qm Bauteilfläche entweicht. Er ist zur Dichte und zur Feuchtigkeit des Stoffes proportional, d. h. vereinfacht gesagt, je leichter und je trockener ein Stoff ist, desto besser ist er als Wärmedämmstoff geeignet. Je kleiner der k -Wert umso besser ist der Wärmeschutz.

Diffusion, Diffusionswiderstand

Alle Baustoffe haben gegenüber dem Dampftransport eine gewisse Sperrwirkung. Der spezifische Diffusionswiderstand eines Baustoffes μ ist eine dimensionslose Zahl und gibt das Mehrfache im Vergleich zum Diffusionswiderstand der Luft an. Die Multiplikation dieses Wertes mit der Stoffdicke ergibt den Diffusionssperrwert s_d . So haben Faserdämmstoffe mit $\mu=1 - 2$ und einer Dicke von 10 cm einen Diffusionssperrwert ($s_d=\mu \cdot d$) von 0,10 - 0,20 m. Oder anders ausgedrückt: Ein Stoff mit $\mu=20$ und der Dicke $d=10$ cm setzt der Wasserdampfdiffusion den gleichen Widerstand entgegen wie eine 20mal so dicke (= 2m) Luftschicht.

Dieser Diffusionswiderstand begünstigt die langsame Diffusion des Wasserdampfes zur Gebäudeaußenseite, ohne daß es zur Kondensation kommt. Es kann eine gewisse Kondensation über die Heizperiode durch Speicherung toleriert werden, wenn die Feuchtigkeit im Sommerhalbjahr sicher austrocknen kann.

Zu Problemen kann es kommen:

- bei starkem Temperaturabfall (= starke Senkung der möglichen Dampfkonzentration),
- bei hoher Dampfdurchlässigkeit der Baustoffe innenseitig vor der kalten Seite des Konstruktionsaufbaus.

Beides ist typischerweise bei den gängigen Dämmstoffen in Leichtbauweisen, den Faserdämmstoffen, der Fall. Unkritisch sind Konstruktionen, bei denen der Diffusionswiderstand mehrschichtiger Außenbauteile nach außen abnimmt. In der Regel genügt eine dampfbremsende Schicht zum Innenraum hin, wichtig ist allerdings der Abschluß nach außen mit einer diffusionsoffenen Schicht – im Dachbereich eine diffusionsoffene Unterspannbahn oder eine Hartfaserplatte. Die luftdichte Verpackung der Dämmschicht ist auf jeden Fall kritisch (Donath, 1998).

7.2 Zulassungen und bauphysikalische Anforderungen

Für Dämmstoffe besteht eine Kennzeichnungspflicht, die in einer Kurzfassung der wichtigsten Ergebnisse von durchgeführten Normprüfungen besteht, die die entscheidenden Kriterien zum Nachweis von Anforderungen bieten. Sie müssen die relevan-

ten Normprüfungen zur Bestimmung der Anwendbarkeit für das jeweilige Anwendungsfeld bestanden haben. Es kann hier keine vollständige Darstellung der Sachverhalte zu den gesetzlichen Rahmenbedingungen gegeben werden, da sie in die Bereiche des sehr komplexen europäischen Rechts, unterschiedlicher bauaufsichtlicher Anforderungen und ordnungsrechtlicher Instanzen auf Bundes- und Landesebene fallen (sh. hierzu Murphy et al., 1999). Die Verwendbarkeit bzw. Zulassung von Dämmstoffen wird vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) in Berlin ausgesprochen, welches die vom Bund legitimierte Stelle für dieses bauaufsichtliche Verfahren darstellt.

Alle zugelassenen oder genormten Bau- und Dämmstoffe müssen einen Mindestschutz für ihren bestimmungsgemäßen Gebrauch erfüllen (Brandwidrigkeit, geringe Rauchgasentwicklung, pilzwidrig, tragfähig u. a.). Die Bauprodukt Richtlinien der EU sowie der Richtlinie des Bauproduktengesetzes regelt das Inverkehrbringen von Bauprodukten. Die Länder können diese Richtlinien im Rahmen des Bauordnungsrechtes spezifizieren, wobei die Grundlagen in der Musterbauordnung festgeschrieben sind. Hiernach gibt es „geregelt Bauprodukte“, die den technischen Regeln entsprechen sowie nicht geregelte und sonstige Bauprodukte, die in den Bauregellisten aufgeführt sind.

Trotz allgemein bauaufsichtlicher Zulassung müssen darüber hinaus Einzelprüfungen für den Schall- und Brandschutz erfolgen. Sollen große Teile der baulichen Anwendungen abgedeckt werden, sind weit über 100 Einzelprüfungen nötig, deren Einzelkosten je Zulassung i. A. bei fünfstelligen Summen liegen. Alle vier Jahre ist eine Zulassungsverlängerung durchzuführen. Die Anforderungen an die Wärmeschutzverordnung (WSVO) werden von Faserdämmstoffen problemlos erfüllt (Murphy et al., 1999). Das Flußdiagramm zeigt eine Übersicht über genormtes Stoffverhalten der faserigen Dämmstoffe.

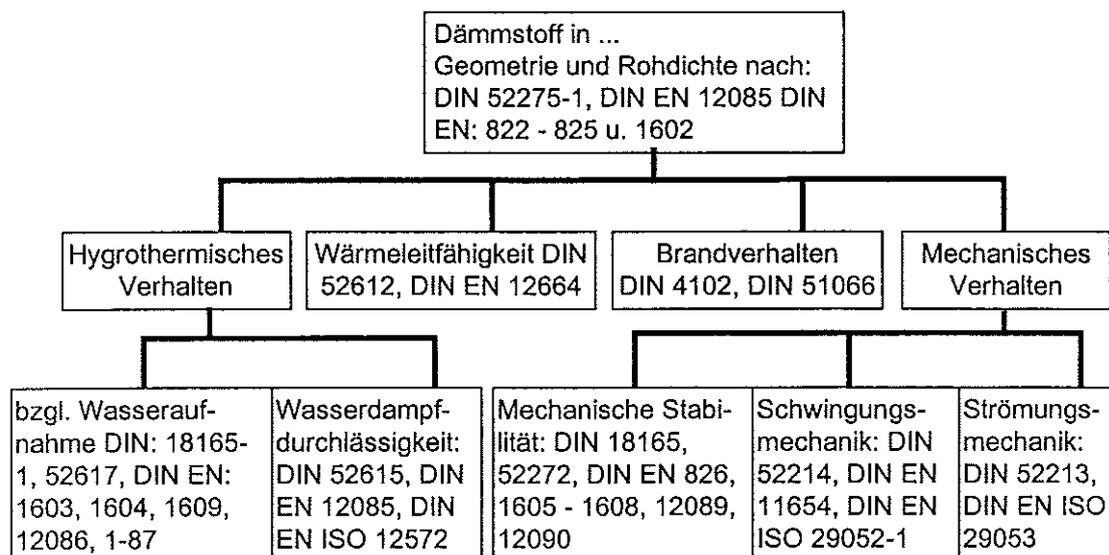


Abb. 7.1: Flußdiagramm des eigenschaftsspezifischen Normenkontingents für faserige Dämmstoffprodukte

Quelle: Murphy et al. (1999).

Brandschutzvorschriften (DIN 4102)

Die Landesbauordnungen lassen Baustoffe nach der Baustoffklasse B2 (normal entflammbar) für Gebäude zu, deren oberste Geschoßdecke max. 7 m über Gelände liegt. Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen sind i. A. der Klasse B2 zuzuordnen. Eine B1-Klassifizierung (schwer entflammbar) ist – wenn überhaupt – nur mit recht problematischen Zusatzmitteln machbar, deren ökologische Seite zum großen Teil als fragwürdig einzuordnen sind. Es können daher naturnahe Dämmstoffe derzeit im Normalfall nur für Ein- und Zweifamilienhäuser sowie Reihenhausanlagen eingebaut werden, zusätzlich noch in Kindergärten und ähnlichen Gebäuden.

Pilzresistenz und Widerstand gegen Schädlinge

Die in der DIN IEC 68 T2-10 festgelegten Prüfverfahren für Schimmelwachstum messen die Randparameter, um den Widerstand gegen Schimmelpilz zu messen. Daneben wird auch der Widerstand gegen Schädlinge (Kleidermotten, Teppichkäfer) als Maß für die biologische Verwertbarkeit organischer Stoffe gemessen.

Wärmeleitfähigkeit (nach DIN 52612)

Der elementare Kennwert eines Wärmedämmstoffs ist seine Wärmeleitfähigkeit, die in die Berechnungs- bzw. Bemessungsverfahren des baulichen Wärmeschutzes eingeht. Die Einheit beträgt W/m·K und wird in Wärmeleitfähigkeitsgruppen (WLG) klassifiziert. Die derzeitigen Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen werden in die Wärmeleitfähigkeitsklassen 040 bis 055 eingestuft (Mineralfaser: 035 - 040). Dämmstoffe aus Naturfasern haben eine höhere Wärmespeicherkapazität als die von Mineralfasern. Dadurch wird der Innenraum geringer aufgeheizt als bei Einsatz von „konventionellen“ Dämmstoffen mit nur geringer Wärmespeicherfähigkeit. Sorptionsfähige Dämmstoffe erhalten einen relativ hohen Abschlag von bis zu 20 % auf die im Labor gemessenen Wärmeleitfähigkeiten. Dies wird damit begründet, daß "feuchte" Dämmstoffe die Wärme besser leiten als trockene Dämmungen. Diese Regelung ist allerdings umstritten (Brandhorst, 1998).

Inhaltsstoffe / Chemische Zusatzstoffe

Für die Einhaltung dieser Eigenschaften werden allen Produkten entsprechende Zusatzstoffe beigemischt, seien es Zemente, Kalke, Borate, Antischimmelmittel, etc. sowie auch Stützfasern. Alle diese Stoffe sind ein Kompromiß zwischen Funktion, Ökonomie und Ökologie. In dieser hinsicht gibt es so gut wie keine „reinen“ Baustoffe. Andererseits sind die Zusatzstoffe i. A. sehr gut untersucht, was deren Wirkung angeht. Alle Zusatzstoffe in Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen werden in dieser Beziehung mit großer Sorgfalt ausgewählt und eingesetzt. Da es sich gerade bei diesen Produkten nur um Zusatzstoffe handelt, die keine chemische Verbindung mit einem anderen Stoff eingehen, ist die entsprechende Wirkung überschaubar und nachvollziehbar. Bei chemisch zusammengesetzten Produkten (Isolierstoffe aus Partikelschaum, Glasfaser, Steinwolle, etc.) können die tatsächlichen Auswirkungen

auf Mensch und Umwelt nur sehr schwer nachvollzogen werden. Die mittlere Prozeßkette bei der Herstellung von Glasfaser weist z. B. mind. 31 Stufen auf, die aus Erdölprodukten, Erden, Steinen, Salzen, Gasen und deren Ausgangs- und Umwandlungsprodukten bestehen. Bei Partikelschäumen ist diese Prozesskette naturgemäß noch höher. Dämmstoffe aus Naturfaser aus Hanf und Flachs erhält man mit 5 Prozeß-Schritten.

7.2.1 Einsetzbarkeit

Zur Verwendung im Baubereich ist auf die Zulassung mindestens als B2-Baustoff zu achten. Alle pflanzlichen und tierischen Faserdämmstoffe haben eine hohe Wärmespeicherfähigkeit (je nach Raumgewicht gut bis sehr gut für den sommerlichen Wärmeschutz). Weiter verfügen diese Produkte über eine hohe Sorptionsfähigkeit (Wasseraufnahme- und Abgabevermögen), z. T. auch über kapillare Leitung von Wasser. Dies führt unter anderem dazu, daß es zu einem angenehmen Klimaausgleich zwischen Wohnraum und Umschließungsflächen kommt. Die gängige Annahme, daß aufgrund eines hohen Wasseraufnahme- und -abgabevermögens das „Wärmedämmvermögen“ leidet, hat sich bei den Naturdämmstoffen in der Praxis nicht bewährt. Die Brennbarkeit der ökologischen Dämmstoffe ist naturgemäß gegeben. Um die Einstufung in die jeweiligen Brandklassen zu gewährleisten, sind entweder die Dichten sehr hoch anzusetzen oder mit Zusatzmitteln zu behandeln, wie z. B. Borate, die die Brennbarkeit reduzieren. Je nach Einsatzmenge und Materialzusammensetzung kann es zu problematischer Freisetzung von toxischen Gasen im Brandfalle kommen, die allerdings wesentlich geringer ausfallen als bei „konventionellen“ Produkten.

Nicht einsetzbar sind Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen im Bereich der Perimeterbereich (Kelleraußen-, Flachdach-Aufdachdämmung, etc.) unter Feuchtigkeitsbelastung (im Erdreich oder auf einem Flachdach), sowie in Bereichen, in denen erhöhter Brandschutz gefordert ist.

7.3 Wärmedämmstoffe und ihr Umweltverhalten im Vergleich

Physikalisch verhalten sich Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen anders, als die Dämmstoffe aus Glas/Steinfaser oder Partikelschäumen (Polystyrol, Polyuretan, etc.):

Durch die natürliche Struktur der Fasern wird Feuchtigkeit aufgenommen, gespeichert und wieder abgegeben, genauso wie sich Bauholz verhält. In eingebautem Zustand nehmen diese Produkte eine Gleichgewichtsfeuchte an, wobei diese je nach Witterung und Jahreszeit unterschiedlich ist. Durch Feuchtespeicherung haben Naturfaserprodukte auch einen wesentlich erhöhten sommerlichen Wärmeschutz gegenüber den technischen Isolierstoffen, da diese nur sehr geringe Mengen an Feuchtigkeit aufnehmen oder speichern können. Vor allem bei Leichtbaukonstruktionen (z. B. Dach-

geschossen) ist diese zusätzliche Funktion wichtig, wenn die Räume auch im Sommer bewohnt werden sollen (Brandhorst, 1998).

7.3.1 Primärenergieverbrauch

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Klimagefahr (Treibhauseffekt) und der immer wichtiger werdenden Wirtschaftsweise der Nachhaltigkeit (sh. Enquete-Kommission, 1994) stellen Hesch et al. (1996) gleichrangig vier Hauptforderungen an zeitgemäße Dämmstoffe:

- hohes Dämmvermögen,
- hohes Vermögen, CO₂ zu reduzieren (nicht nur zu vermeiden),
- Nachhaltigkeit der Rohstoffversorgung und
- niedrige Preise, damit sie auch gekauft werden können.

Die ersten drei Forderungen erfüllt Hanf ohne Einschränkung; die vierte Forderung ist - momentan - weniger leicht zu erfüllen. Zu diesen Hauptanforderungen an einen ökologischen Dämmstoff kommen dann noch Anforderungen der Bauphysik, der Bausicherheit und der Baumedizin hinzu. Neuere Verfahren können zu Kostensenkungen führen. Der Energieeinsatz zur Herstellung der Baumaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen ist um mindestens ein Drittel geringer als bei konventionellen Materialien. Im Bereich des Einfamilienhauses reicht diese Energie für 4 - 5 Jahre Heizen aus. Die damit verbundene Emissionsreduzierung ist beträchtlich und mit allen Folgeeffekten größer als 40 % (Linden, 1998).

Abb. 7.2 zeigt einen Vergleich des Primärenergieverbrauchs bei der Herstellung von Dämmstoffen. Hier schneiden naturgemäß Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen mit großem Abstand energiegestiger ab.

Dämmstoffe aus Hanffasern stellen hinsichtlich ihres Substitutionspotentials der Mineralwolle ein CO₂-Senke dar und wirken somit entlastend auf das Treibhausklima (Bòcsa et al., 1997). Sie werden bei der Erzeugung nur minimal CO₂ emittieren, nachdem sie vorher bei der Assimilation bereits ein Vielfaches reduziert haben. Sie wirken in der CO₂-Bilanz gegenteilig zu den traditionellen Dämmstoffen, sie binden nämlich bereits vorhandenes CO₂ und wirken somit CO₂-Senke auf den Treibhauseffekt. In der Dämmstoff- und Bauindustrie ist langsam ein Umdenken zu beobachten, wobei neue Wege begangen werden, um Alternativen zu verwenden, die ökologisch vertretbar sind. Hesch et al. (1996) kommen zu folgendem Schluß: „Man kann sagen, daß alle industriell erzeugten Dämm- und Baustoffe CO₂ *emittieren*, einige sogar in gewaltigen Mengen, und daß alle Dämm- und Baustoffe pflanzlichen Ursprungs CO₂ *reduzieren*.“

Dämmstoff (Material)	Primärenergieaufwand		Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	Dampfdiffusions- widerstandszahl	Rohdichte [kg/m ³]
	[kWh/m ³]	[MJ/m ³]			
Is Holz (Holzspäne)	50	180	0,055	1 - 2	50 - 75
Schütt dämmung Hanf- und Flachschäben	55	198	0,050	1 - 2	70 - 90
Schütt dämmung Chinaschiff 1)	60	205	0,045	1	50 - 75
Altpapierfasern	64	230	0,045	1 - 2	50 - 70
Dämmvliese aus Öl-Lein- Kurz- u. Hanffasern 1)	70	252	0,035	1	25 - 35
Schafwolle	80	288	0,040	1	25
Dämmplatte aus Flach- und Hanfschäben 1)	180	648	0,055	10 - 15	250 - 300
Dämmplatte Chinaschiff 1)	188	788	0,050	10 - 15	180 - 250
Kork-Naturschrot	325	1.170	0,045	5	120
Blähton	368	1.325	0,160	2 - 8	400 - 1800
Mineral. Faserdämmstoff	600	2.160	0,035	1 - 2	30 - 120
Polystyrol EPS	600	2.160	0,035	40 - 80	15 - 30
Polystyrol XPS	810	2.916	0,030	80 - 250	20 - 50
Polyurethan- schaumstoff	1.237	4.453	0,025	30 - 100	30 - 35
Holz-Weich- faserplatte 2)	1.600	5.760	0,050	5 - 10	130 - 270
Primärenergieaufwand [MJ/m ³]					

1) Aufgrund Korrelation geschätzt bzw. PE errechnet

2) Die verbrauchte Energie wird überwiegend aus Betriebsabfällen erzeugt und ist weitgehend CO₂-neutral

Abb. 7.2: Primärenergieaufwand zur Herstellung von Dämmstoffen aus unterschiedlichen Materialien

Quelle: Hesch et al. (1996).

Im Vergleich zu konventionellen Produkten – wie Mineralfaser, Steinwolle, Polystyrole oder Polyurethane – haben die Dämmstoffe aus Hanf eine wesentlich bessere Ökobilanz. Denn vergleicht man Dämmstoffe aus Hanf mit den markt gängigen Produkten Mineralfaser, Steinwolle, Polystyrole und Polyurethane, so haben erstere klare Vorteile, da wesentlich weniger Zusatzstoffe nötig sind, die Primärenergie-Inhalte im Vergleich gering sind, nur wenige Stoffe aus Erdölprodukten nötig sind und die Prozessketten einfach – und somit meist auch umkehrbar sind. Wieder- und Weiterverarbeitung sowie lange Lebensdauer im Gebrauch reduziert nicht nur den CO₂-Ausstoß durch die Dämmwirkung der Fertigprodukte sondern eben auch durch deren Zusammensetzung (Brandhorst, 1998).

Tab. 7.2: Ökologische und gesundheitsbezogene Kriterien von künstlichen und naturnahen sowie Dämmstoffen auf Hanfbasis

Ökologische Kriterien	Künstliche Dämmstoffe	Naturnahe Dämmstoffe	Dämmstoffe auf Hanfbasis
Emissionsbelastung	sehr hoch, besonders bei Schaumkunststoffen (Styrol)	gering	gering
Energieaufwand	hoch, bei Schaumkunststoffen sehr hoch	mäßig	gering
Bindemittel	Kunstharze	Zement, Gips, Magnesit, Lignin	Lignin
Rohstoffe	nicht regenerativ	regenerativ	regenerativ
Gesundheitsbezogene Kriterien	Künstliche Dämmstoffe	Naturnahe Dämmstoffe	Dämmstoffe auf Hanfbasis
Fasern	bei Mineralfasern lungengängig und sehr beständig = krebserregend	nicht lungengängig	nicht lungengängig
Bindemittel	bedenklich	unbedenklich	unbedenklich
giftige Dämpfe	ja, besonders bei Schaumstoffkunststoffen (Styrol)	bei minderwertigen Korkplatten (Benzypren)	keine

Quelle: Waskow (1995).

7.3.2 Entsorgung

Ökologische Schwachpunkte sind die Zusatzmittel und Stützfasern. Dämmstoffe aus Naturfasern müssen mit Zusätzen ausgerüstet werden, um die von Natur aus unzureichende Haltbarkeit (Schimmelpilzbefall) zu verbessern und besonders die Brennbarkeit zu vermindern (sh. Tab. 7.1). Vorwiegend werden Borsalze eingesetzt, da diese sowohl biozide Wirkung haben als auch als Brandschutzmittel fungieren. Borsalze gelten in ihrer Anwendung als unproblematisch, können jedoch auf Grund ihrer hohen Wasserlöslichkeit und des hohen Gehaltes im Dämmstoff bewirken, daß sich eine spätere Entsorgung in Form der Deponierung schwierig gestaltet, was die Ökobilanz dieser Dämmstoffe negativ beeinflussen dürfte (Anon., 1997). Daher ergibt sich, daß diese Produkte nicht problemlos wieder in den Produktionskreislauf integriert bzw. kompostiert werden können. Die Entsorgungsproblematik ist für Teile der Dämmstoffe sicherlich noch nicht endgültig gelöst; andererseits geben die meisten Hersteller bereits Rücknahmegarantien mit Wiederintegration in den Produktionsprozeß. Alle Dämmstoffhersteller, die durch den ADNR vertreten werden, nehmen Dämmstoffreste oder wieder ausgebaute Produkte zurück und integrieren sie wieder in den Stoffkreislauf bei Herstellung (vorteilhaft, da wenig Prozeß-Schritte). Wegen des geringen Primärenergiegehaltes – aber der hohen verfügbaren Verbrennungsenergie – erscheint das „thermische downcycling“ das günstigste zu sein, zumal hierdurch fossile Energieträger substituiert werden können.

7.3.3 Dämmstoffsubstitutionspotential

Hanf besitzt das größte Dämmstoffpotential pro Hektar (Tab. 7.2), was auf den relativ hohen Faserertrag und auf das zusätzliche Potential der Schäben beruht. Dieser Rohstoff ist die einzige Pflanze, die in der Lage ist, mehr als 100 m³ Glaswolle pro Hektar zu ersetzen. Das niedrige Substitutionspotential von Wald ist ein generelles Problem dieses Ökosystems, das sich in den niedrigen Biomasseerträgen widerspiegelt (Murphy et al., 1999).

Tab. 7.3: Dämmstoffdichte und Dämmstoffsubstitution pro ha von unterschiedlichen Produktlinien

Produktionseinheit	Dämmstoffdichte (kg/m ³)	Wärmefähigkeit λ (W/m•K)	Dämmstoffsubstitution (m ³ /ha bei WLG 040-Äquivalent)
Hauptprodukte			
1 ha Wald (Nadelbäume)	100 - 350		10 - 35
1 ha Hanf: Fasern	30 - 50	0,040 - 0,045	40 - 83
Schäben	100	0,065	32
			$\Sigma = 72 - 115$
1 ha Flachs: Fasern	25 - 30	0,040 - 0,045	50 - 70
Miscanthus (Platten)	220	0,060	46
Roggenplatten	250	0,054	16
Roggenschüttung	100	0,065	35
Nebenprodukte			
10 Mutterschafe	25		1,4
Weizenstroh (Platten)	250	0,045	49
Sonnenblumenstroh	50	0,040	40
Flachswerg	30	0,040	16
Ölleinfaservlies	40	0,045	12

Quelle: Murphy et al. (1999).

7.4 Bau- und Dämmstoffprodukte aus Hanf

Grundsätzlich kommen drei Rohstoffe der Hanfpflanze für Bau- und Dämmstoffe in Betracht:

- Hanfschäben (der holzige und gebrochene Innenteil des Stengels),
- Hanffasern,
- Ganzpflanze (Fasern und Schäben zusammen).

7.4.1 Hanfschäben

Zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit der Hanfpflanze kann die Verwertung von Hanfschäben einen bedeutenden Beitrag leisten. Die beim Faseraufschluß anfallenden Holzreste des Stengels können als hochwertiges Bau- und Dämmmaterial (Spanplatten,

Schüttdämmung und Isolierputz) eingesetzt werden. Hanfschäben haben den großen Vorteil, daß keine hohen Zerspannungskosten anfallen und eine intensive Trocknung wie bei Hölzern nicht mehr notwendig ist. Mit dem Inkrafttreten der neuen Wärmeschutzverordnung wird die Nachfrage nach Dämmstoffen, vor allem ökologisch und gesundheitlich unbedenklichen Dämmstoffen, steigen (Waskow, 1995). Hanfdämmstoffe können diesen Kriterien gerecht werden. Eigenschaften dieser Dämmstoffe sind:

- Hanfschäben haben die gleichen Grundbestandteile wie Holz, sind chemisch rein und besitzen gute bauphysikalische Eigenschaften (geringe Dichte),
- der Energiebedarf zur Herstellung von Hanfschäben-Dämmplatten liegt bei einem Bruchteil konventioneller Dämmstoffsysteme wie synthetische Schäume, mineralische Fasern und Holzfaser-Dämmplatten.

Damit ist die Höhe des CO₂-Ausstoßes bedeutend geringer als bei konventionellen Dämmstoffen. Das in den Hanfschäben gebundene CO₂ wird bei einer Verwertung in Bauprodukten langfristig gebunden und der Atmosphäre entzogen.

Nach Waskow (1995) wurden in Frankreich etwa 500 Häuser weitgehend aus Hanfschäben gebaut, wobei das Produkt Isochanvre (Isohanf) als Bau- und Dämmstoff Verwendung fand. Die verwendeten Baustoffe weisen gute Wärmedämm- und Wärmekapazitätswerte auf, sind hervorragend für die Schallisolierung geeignet und feuerfest, unverrottbar, elastisch, entwässernd und wasserabweisend und werden von Insekten und Nagern nicht gefressen. Durch eine Behandlung mit Mineralsalzen (Borax) wird das Hanfdämmmaterial gegen Fäulnis und Brand beständig gemacht. Als Baumaterial wird Isochanvre mit Fettkalk, Kalk oder Zement ohne Zusatzstoffe gemischt und in Schalungsstempel- und Trägergerüsttechnik für Fundamente, Mauern, Böden und Decken eingesetzt.

Schüttdämmung

Schüttgut aus Schäben werden vor Ort in den zu dämmenden Hohlraum oder auf den Boden geschüttet und eben abgezogen. Mit Naturbitumen ummantelte Schäben verdichten sich bei Bodenschüttungen zu einer festen Platte unter Fertigfußbodenaufbauten.

Spanplatten

Hanfschäben-Spanplatten besitzen Gewichtsvorteile gegenüber Holz-Spanplatten und sind als solche genauso einsetzbar. Neuentwicklungen mit Naturklebern wie Kartoffelstärke, Casein oder Lignin oder auch physikalisch-chemisch behandelte Schäben sind noch in der Erprobungsphase.

7.4.2 Hanffasern

Platten

Kurzfasern werden zu dünnen Faserbahnen (Flore) verfilzt und anschließend zu verschiedenen starken Dämmplatten geschichtet. Dämmplatten sind aufgrund ihres hohen

Masseanteils absolut setzungssicher, geben aber einem evtl. Schwund von Holzkonstruktionen nicht nach. Aufgrund der höheren Druckbelastbarkeit können Dämmplatten gut als Aufdach- oder Fassadendämmungen verwendet werden. Die Dämmeigenschaften variieren je nach Dichte und Anwendungsfall.

Filze

Unter Filzen versteht man dünne Matten, die z. B. als Trittschalldämmfilze oder Dämmtapeten angewendet werden. Trittschalldämmfilze müssen ein „Federdämmmaß“ besitzen, also auch nach Belastung immer noch einfedern können, damit sie ihre Funktion erfüllen können. Hierfür eignen sich sehr gut Faserdämmstoffe mit einem hohen Rückstellvermögen (Hanffasern).

Matten

Dämm-Matten sind auf Maß zugeschnittene stauchfähige Produkte, die zwischen eine Konstruktion (Holz, Metall) eingeklemmt werden. Die Rückstellkräfte der Matten sind ausreichend hoch, so daß es nicht zu Setzungen kommen kann und die Matten sich selbst halten. Neben den gut wärmedämmenden Eigenschaften (Wärmeleitfähigkeitsgruppe 040 - 045) haben diese Matten auch sehr gute akustische und schalldämpfende Vorteile – vergleichbar mit den von Glasfasermatten.

Vliese

Dämmvliese bestehen aus Hanffasern mit synthetischer Stützfasern, die im Systembau angeboten werden.

7.4.3 Ganzpflanze

Innenputz und Beschichtungen

Durch Putzen und Anspritzen an Innenwänden finden Hanfzellulose, Hanffasern und Hanfschäben Verwendung insbesondere für Struktureffekte.

Spanplatten

Spanplatten aus Hanfstroh sind derzeit in der Entwicklung.

Dämmplatten

Neuer Bio-Kunststoff auf 100 % Zellulosebasis ohne jegliche Bindemittel, der in verschiedener Weise im Baubereich einsetzbar ist. Bei Verwendung von Hanfstroh entstehen Dämmplatten, die als Polystyrol-Substitut Verwendung finden können.

7.5 Thermo-Hanf als Baustoff

Unter dem Leitbild des „sustainable development“ und der Grundsätze der Enquete-Kommission „Zum Schutze des Menschen und der Umwelt“ (sh. Kap. 2) werden Baustoffe aus nachwachsenden Rohstoffen und Recyclingmaterialien regionaler Herkunft die Baukonstruktion zunehmend bestimmen. Somit werden die zukünftigen Entscheidungsprozesse über den Einsatz von Baustoffen und Baukonstruktionen unter folgender Zielsetzung verfolgt (Hesch et al., 1996):

- geringer Primärenergiebedarf,

- Bevorzugung nachwachsender bzw. unbegrenzt verfügbarer Rohstoffe,
- Minimierung von Schadstoffeinträgen in Umwelt und Innenräume,
- Einsatz wiederverwertbarer Baustoffe und Bauteile.

7.5.1 Eigenschaften

Dämmstoffe aus Hanffasern weisen gegenüber Glas- und Mineralwolldämmstoffen eine Reihe von unterschiedlichen ökologischen und bauphysikalischen Eigenschaften auf (sh. Tab. 7.6). Zur Zeit ist Hanf die einzige Pflanze, die in Deutschland für die Produktion von Dämmstoffen angebaut wird. Das Produkt, das dabei in Frage kommt, ist „Thermo-Hanf“, das vom Deutschen Institut für Bautechnik, Berlin, als Baustoff zugelassen (Tab. 7.4) worden ist. Das Material besteht zu ca. 80 % aus Hanffasern und zu ca. 15 % aus Polyesterfasern und wird in Form von Platten angeboten.

Dieser Baustoff wird in Mattenform oder als Hanf-Isolierbaustoff für den gesamten Innenausbau zur Dämmung von Dach, Wand und Boden, sowohl in Neu- als auch Altbauten eingebaut. In Frankreich und Deutschland wurden 1999 Dämmstoffe aus Hanffasern hergestellt. In Deutschland konnte der KMU-Verbund, bestehend aus: Badische Naturfaseraufbereitung (BaFa, Faseraufschluß), Rowa (Herstellung von Thermo-Hanf) und Hock-Heyl (Vertrieb/Marketing) sein Produkt „Thermo-Hanf“ erfolgreich am Markt platzieren. Maßgeblich daran beteiligt waren eine gute technische Ausführung des Produktes, offizielle Bauzulassung und ein intensives Marketing; Hock-Heyl erhielt 1999 mehrere Auszeichnungen für das Marketing. Der Verbund hat zum Ziel, langfristig mit Thermo-Hanf 1 % Marktanteil des Gesamtdämmstoffmarktes zu erreichen (Hock-Heyl, 1998).

Tab. 7.4: Zulassungsergebnisse zur Prüfung von Thermo-Hanf des Dt. Inst. für Bautechnik (Zulassungsnummer Z-2311-1192).

	Prüfung nach	Einheit	Prüfergebnis
Anwendungstyp	DIN 18165 Teil 1		W + WL*
Brandverhalten, Baustoffklasse	DIN 4102		B2
Wärmeleitfähigkeit (λ) -Meßwert -Rechenwert	DIN 52612 DIN 4108	W/m·k W/m·k	0,039 0,045 (=WLG 045)
Wasserdampfdiffusions- Widerstandszahl	DIN 52615	μ	1 - 2
Rohdichte		kg/m ³	20 - 25
Sorptionsfeuchte	DIN 52620		7 %
Schimmelpilztest	in Anlehnung an DIN IEC 68		Bestnote 0
Motten- und Käfertest	EMPA		bei Hanf nicht erforderlich

* sh. Tab. 7.5

Quelle: Hock Vertriebs-GmbH (1998).

Thermo-Hanf als Wärmedämmstoff bietet folgende Eigenschaften (nova, 1996; Hesch et al., 1996; Hock-Heyl, 1998):

- Einfacher Einbau auch in kleinen und komplizierten Bauteilen, für Handwerker geeignet. Variabel und ausbaufähig, d. h. die Dämmung kann bei einem späteren Aus- oder Umbau wiederverwendet werden bzw. bei einem Abriß recycelt werden, so werden Entsorgungskosten gespart,
- preisgünstige ökologische Dämmung in Mattenform,
- gleiche Dämmwirkung wie herkömmliche Dämmstoffe,
- gute Diffusions-Eigenschaften (diffusionsoffen - „atmungsaktiv“) → automatische Feuchtigkeitsregulierung im Raum (feuchteausgleichend),
- gesundheitlich unbedenklich, da staubarm und frei von umweltschädigenden Zusatzstoffen und von gesundheitsschädlichen Substanzen,
- umweltschonende Entsorgung (Kompostierung, Verbrennung),
- gute Integrationsmöglichkeiten in eine Regional- und Kreislaufwirtschaft (nachhaltige Entwicklung durch Recyclefähigkeit),
- sicher vor Schädlingsbefall, Hausstaubmilben und Schimmelpilz, da eiweißfrei,
- verrottungsfest,
- deutlich bessere Primärenergiebilanz und Ressourcenschonung als Mineralfaser,
- CO₂-Neutralität über den Lebenszyklus sowie langfristige CO₂-Speicherung,
- Schonung nicht regenerierbarer Rohstoffe durch Nutzung nachwachsender Rohstoffe,
- Reduzierung von Emissionen bei der Herstellung von Thermo-Hanf gegenüber konventionellen Dämmmaterialien,
- Förderung der Biodiversität in der Landwirtschaft.

7.5.2 Anwendungsgebiete

Basierend auf den relevanten Normprüfungen zur Bestimmung der Anwendbarkeit für das jeweilige Anwendungsgebiet (sh. Kap. 7.2) können Hanf-Dämmstoffe in folgenden Bereichen Verwendung finden:

Tab. 7.5: Verwendungsgebiete von Hanf-Dämmstoffprodukten

Anwendungsgebiet	Anwendungstyp*	Material	Form
Dachdämmung: Steildachdämmung zwischen den Sparren	W, WL	Hanffaser	Platten
Wanddämmung: Innendämmung	W, WL	Hanffaser	Platten
Decken- und Fußbodendämmung	W, WL	Hanffaser	Platten, Filz
Decken- und Fußbodendämmung: Hohlraumdämmung		Hanffasern Hanfschäben	Platten, Filz Flocken/Lose

*W: nicht druckbelastbar (Wände, Decken, belüftete Dächer)

WL: nicht druckbelastbar (zwischen Sparren und Balkenlagen)

Quelle: Murphy et al. (1999).

7.5.3 Ökonomische Ziele

Nach Hock-Heyl (1998) verfolgt der KMU-Verbund neben den o. a. ökologischen vor allem die nachhaltige Plazierung des Dämmstoffs am Markt. Langfristig soll mit Thermo-Hanf 1 % Marktanteil des Gesamtdämmstoffmarktes erreicht werden. Es sollen langlebige Materialien entwickelt werden, deren Entsorgung sich in den natürlichen Kreislauf einfügt. Für die Herstellung und Nutzung soll so wenig Energie wie möglich verbraucht werden. Neben dem konstanten Aufbau des Vertriebsnetzes im In- und Ausland sowie der Weiterentwicklung bestehender und neuer Produktlinien werden folgende Ziele verfolgt:

- Sicherung und Schaffung von Arbeitsplätzen in der Landwirtschaft regional und überregional,
- Sicherung und Schaffung von Arbeitsplätzen in der Faseraufbereitung von Hanf regional und überregional,
- Sicherung und Schaffung von Arbeitsplätzen in der Herstellung der Produkte,
- Sicherung und Schaffung von Arbeitsplätzen im Verkauf,
- Sicherung und Schaffung von Arbeitsplätzen bei verarbeitenden Betrieben.

8 Bilanzierung der Produktlinie Hanf-Dämmvliese

8.1 Ökobilanzierung

Seit der Umweltkonferenz von Rio de Janeiro 1992 ist die Entwicklung einer zukunftsfähigen Wirtschaftsweise (sustainable development) zum übergreifenden Kriterium für menschliches Handeln geworden (sh. Kap. 2). Wichtige Maßnahmen, mit denen die Ziele der Umweltkonferenz von Rio erreicht werden sollen, sind Ressourcenschonung, Reduzierung der CO₂-Emissionen und Kreislaufwirtschaften. Die Durchführung dieser Maßnahmen ist ohne Kenntnis der ökologischen Zusammenhänge nicht möglich. Ökobilanzen sind ein wichtiges Instrument, mit dem prinzipiell die Umweltwirkungen des wirtschaftlichen Handelns erfaßt werden können (Enquete-Kommission, 1994). Die vergleichende Ökobilanzierung von herkömmlichen Dämmmaterialien mit denen aus Hanffasern hergestellten ermöglicht es, die bedeutende Rolle von Hanf als nachwachsendem Rohstoff und als Nutzpflanze im Bereich der Dämmstoffindustrie sämtliche umweltrelevante Kenndaten zu dokumentieren.

Eine Ökobilanz hat zum Ziel, die Umweltverträglichkeit einer Untersuchungseinheit (z. B. ein Produkt) zu analysieren (Produktbilanz). Hierzu werden die Energie-, Emissions-, Güter- und / oder Stoffströme entlang des gesamten, festgeschriebenen Lebenswegs ermittelt. Anschließend werden sie entsprechend ihrer ökologischen Wirkung aufsummiert, gewichtet und letztlich einer abschließenden Bewertung zugeführt. Eine ökologische Bewertung von Stoff- und Energiebilanzen führt zur „Ökobilanz“. Es handelt sich somit um eine Analyse, die nicht nur das vermarktete Produkt, sondern auch die entstehenden Nebenprodukte, Abfälle sowie stoffliche und

energetische Emissionen erfaßt (Braunschweig, 1992; Jasch, 1992; Kytzia, 1995; Reinhardt, 1996; UBA, 1997). Man unterscheidet die eigentliche Ökobilanz von der sog. *vergleichenden Ökobilanz*. Bei der vergleichenden Ökobilanz werden zwei oder mehrere äquivalente Untersuchungseinheiten (Prozesse, Systeme, Dienstleistungen etc.) in ihrer Umweltverträglichkeit einander gegenübergestellt. Befürworter von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen (z. B. Dämmmaterialien) sehen diese als ökologisch vorteilhaft gegenüber Produkten aus herkömmlich produziertem Material (z. B. beim Primärenergieeinsatz) an. Um in diesem Sinne die Umweltverträglichkeit von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen zu bestimmen, muß demnach grundsätzlich eine vergleichende Ökobilanz „Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen versus herkömmlich produzierte Produkte“ angefertigt werden (Reinhardt, 1996).

Wesentliches Element einer Ökobilanz ist – und das gilt für die Ökobilanz ebenso wie für die vergleichende Ökobilanz –, daß der gesamte Lebensweg der betrachteten Produkte analysiert wird, damit die ökologische Bewertung des Produkts nicht zu verzerrten Aussagen führt. Die Abb. 8.1 zeigt den Lebenszyklus der Produktlinie Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen.

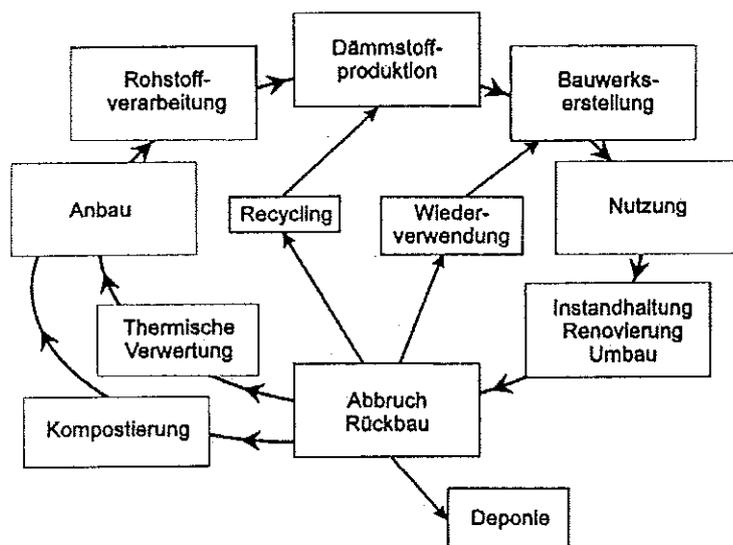


Abb. 8.1:
Lebenszyklus von Dämmmaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen

Quelle: Murphy et al. (1999).

Der Begriff der „Bilanz“ suggeriert oft eine Gegenüberstellung von Vermögensbeständen, der hier aber nicht wie im betrieblichen Rechnungswesen als Bezeichnung einer Bestandsrechnung verwendet wird, sondern er bezeichnet eine (energetische und/oder stoffliche) Flußrechnung, vergleichbar mit der Erfolgsrechnung im betrieblichen Rechnungswesen. Im Unterschied zur Erfolgsrechnung aber werden die Stoff-, Energie- und Güterflüsse in physikalischen Maßeinheiten (z. B. kWh, J/m³) erfaßt (Jasch, 1992).

Um eine konkrete Aussage über die Umweltbelastung bzw. die ökologische Verträglichkeit eines Produktes treffen zu können, müssen Mindestanforderungen an das notwendige Datenmaterial gestellt werden. Die Bewertungskriterien sind eindeutig zu

definieren und die Herleitung muß nachvollziehbar und schlüssig sein (Jasch, 1992; Kytzia, 1995; UBA, 1997).

In der vorliegenden Arbeit soll vornehmlich eine Produktbilanz (auch Produktökobilanz genannt, als ein Element der Ökobilanz (sh. dazu Jasch, 1992)) erstellt werden. Unterschiedliche Untersuchungsobjekte werden dabei verglichen, wobei hier der Vergleich der Wärmedämmung durch Hanfdämmstoffe mit einer solchen aus Mineralwolle oder Dämmschaum bilanziert wird. Die Bewertung des Produkts Dämmmaterialien aus Hanf erfolgt dabei über den gesamten Produktlebenszyklus hinaus.

Ökobilanzen stellen ausschließlich ökologisch relevante Parameter wie Schadstoffemissionen, Biodiversität, Abfallaufkommen etc. dar, womit sich dementsprechend die Standardliste der Wirkungskategorien nur auf ökologische Kenngrößen bezieht. Bei anderen Bilanzierungsarten wie der Produktlinienanalyse oder der Technikfolgenabschätzung werden darüber hinaus auch nichtökologische Parameter wie Sozialverträglichkeit, Sicherheit, Verfügbarkeit etc. in die Bilanzierung mit eingeschlossen.

8.1.1 Sinn und Nutzen

Nach (Jasch, 1992) erfüllen ökologische Produktbilanzen folgenden Nutzen:

- Aufzeigen des Zusammenhangs zwischen Umweltbelastung und Produkten,
- Verknüpfung verschiedener Lebenszyklusstufen von Produkten, womit ökologische Problemverlagerungen aufgedeckt werden können.

Daneben können Produktbilanzen Einfluß nehmen auf die Umsetzung von umweltpolitischen Entscheidungen, um die Verbraucher dahingehend zu unterstützen, ihnen umfassende Informationen als Entscheidungsgrundlage für ihren Einkauf zu geben. Umweltpolitische Maßnahmen können ergriffen werden, um die untersuchten Produkte zu bewerten, indem die Transparenz der Umweltbelastungen z. B. durch ein Umweltzeichen sichtbar gemacht werden. Die Zielsetzung des Zeichens ist die Sensibilisierung des Käufers hinsichtlich der Umweltbeeinflussung durch Produkte an sich bzw. durch ihren Gebrauch und ihre Entsorgung. Die damit angestrebte Veränderung des Nachfrageverhaltens scheint geeignet, die Angebotsstruktur positiv zu beeinflussen und über die Marktmechanismen Konkurrenz und Wettbewerb einen dynamischen Prozeß in Richtung umweltfreundlicher Prozesse auszulösen (Jasch, 1992; Kirchgäßner, 1995).

„Ökobilanzen sind ein Umweltschutz-Instrument“ (UBA, 1997). Angestrebt wird, aus der Sicht eines ganzheitlichen Umweltschutzes nachvollziehbare Bewertungen über konkurrierende Alternativen zur Lösung von Umweltproblemen (Treibhauseffekt) vorzunehmen und Optimierungsmöglichkeiten in einem Lebensweg zu erschließen. Dies soll zunächst aus der Sicht des Umweltschutzes ohne Abwägung von ökonomischen und sozialen Auswirkungen geschehen.

8.1.2 Methoden

Nach der Definition von ISO 14040 von 1997 ist die Ökobilanz eine Methode, mit der Umweltbeeinflussungen und produktspezifische potentielle Umweltwirkungen abgeschätzt werden können. Um die Vergleichbarkeit der durchgeführten Ökobilanzstudien zu gewährleisten, ist es notwendig, die Bilanzmethodik zu vereinheitlichen. Innerhalb der Normierungsausschüsse von DIN und ISO besteht Konsens, daß eine Ökobilanz aus den vier Teilbereichen (Quack, 1997; Saykowski et al., 1997; Scharai-Rad et al., 1997, UBA, 1997):

- Zieldefinition (Definition des Ziels und des Bilanzraumes),
- Sachbilanz (Zusammenstellung umweltrelevanter Inputs und Outputs),
- Wirkungsbilanz (Abschätzung der potentiellen Umweltbeeinflussungen auf Basis der Sachbilanzdaten),
- Interpretation (Synthese der Ergebnisse aus Sach- und Wirkungsbilanz) bestehen.

Nach diesem Schema der vier Teilbereiche baut die folgende Hochrechnung für Münster auf. Da der Einfluß auf das Klima in dieser Arbeit vom primären Interesse ist, wird sich der Bilanzraum auf die klimarelevanten Kenngrößen wie Primärenergieaufwand und CO₂-Emission bei Anbau, Ernte und Produktion konzentrieren. Es sollen die unterschiedlichen klimarelevanten Eigenschaften zwischen herkömmlichen und alternativen Dämmmaterialien herausgearbeitet werden.

Abb. 8.2 veranschaulicht die CO₂-Bilanzen wichtiger Dämm- und Baustoffe. Es zeigt die CO₂-Mengen, die bei ihrer Erzeugung emittiert werden. Mineralische Dämm- und Baustoffe sowie synthetische Schäume emittieren CO₂ in beachtlichen Mengen. Holz und Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen bauen dagegen CO₂ ab. Die Säulen oberhalb der Abszisse zeigen die CO₂-Emissionen. Die Säulen unterhalb verdeutlichen die Netto-Reduktion an CO₂, welche durch die Assimilation während der Wachstumsphase bewirkt wird.

Anschließend werden die untersuchten Lebenswege und die umweltrelevanten Kenngrößen dargestellt. Es ist jedoch nicht der Platz für eine ausführliche Beschreibung vorhanden, die alle umweltbeeinflussenden Faktoren von der „Wiege bis zur Bahre“ (UBA, 1997) betrachtet, da die Bilanzierungstiefe und die Dokumentation der einzelnen Bilanzierungsschritte des Lebenswegs (sh. Abb.8.1) den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde. Siehe hierzu nova (1996) und Patyk u. Reinhardt (1996). Die Werte für die Ökobilanzierung stammen aus nova et al. (1996), andere Quellen sind angegeben. Die Ergebnisse beziehen sich auf das jeweils betrachtete Gesamtnutzungskonzept der Hanfpflanzen.

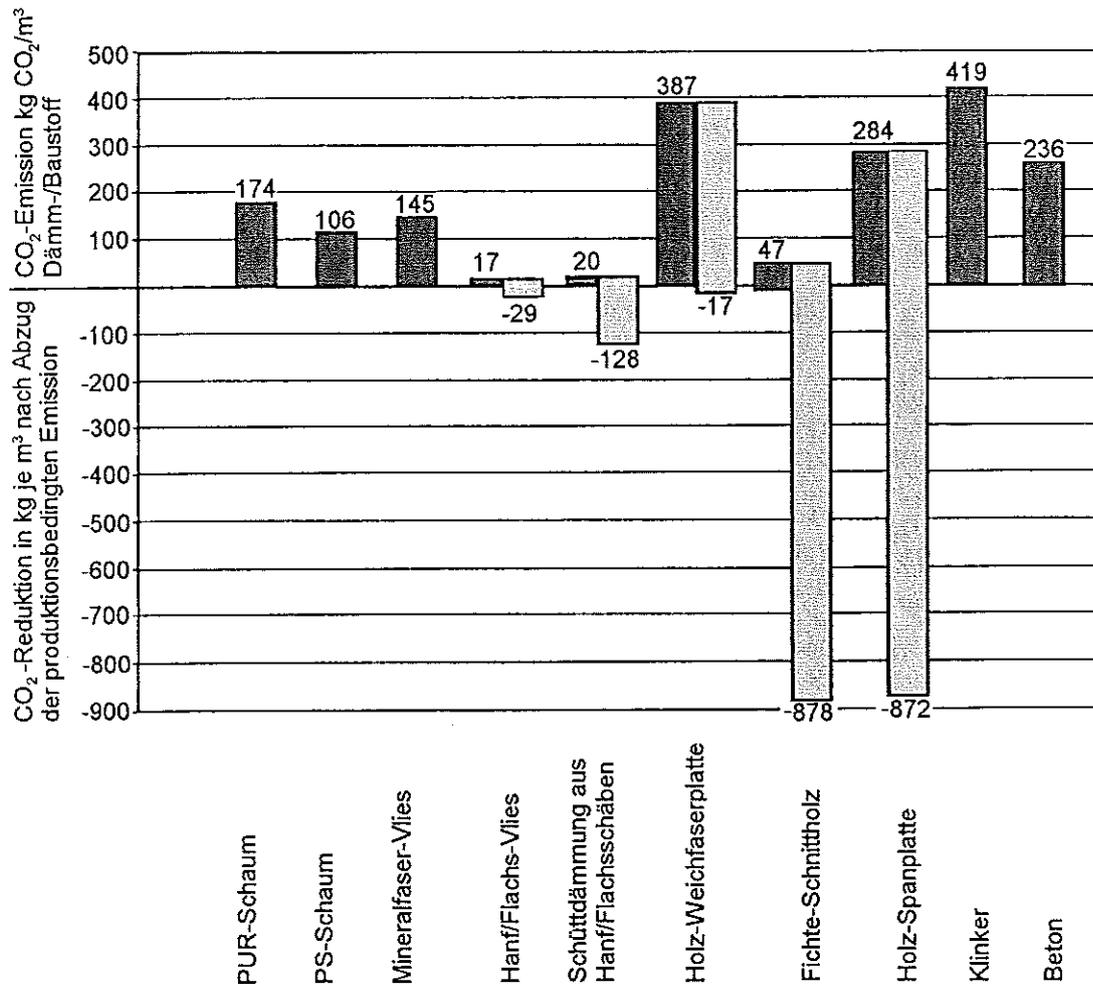


Abb. 8.2: Produktionsbedingte CO₂-Emissionen synthetischer und mineralischer Dämmstoffe im Vergleich zu den CO₂-Reduktionen von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen

Quelle: Hesch et al. (1996).

8.2 Umweltrelevante Kenngrößen von Dämmmaterialien (Sachbilanz)

Die Auswahl und Beschreibung der umweltrelevanten Kenngrößen ist ein zentraler Punkt bei der Erstellung von Ökobilanzen. Da letztendlich Umweltwirkungen beschrieben werden sollen, müssen diese zuerst einmal definiert und anschließend die dafür notwendigen Kenngrößen bestimmt werden. In der Sachbilanz werden dabei alle ökologisch relevanten Stoff- und Energieströme entlang der untersuchten Lebenswege bilanziert.

8.2.1 Beschreibung der Lebenswege

Es sollen in diesem Kapitel die hier bilanzierten Hanflebenswege unter verschiedenen ökologischen Aspekten dargestellt werden, wobei das Produkt der Hanfdämmvliese im Vordergrund stehen wird. Es wird von einer gleichzeitigen Nutzung von Hanfsamen und Hanfstroh ausgegangen und als Faserprodukt Dämmvlies betrachtet. Die Abb. 8.2 zeigt die bilanzierten Hanf-Lebenswege samt Äquivalenzprodukte. Die durchgeführte Bilanzierung beruht auf Literaturangaben von nova et al. (1996).

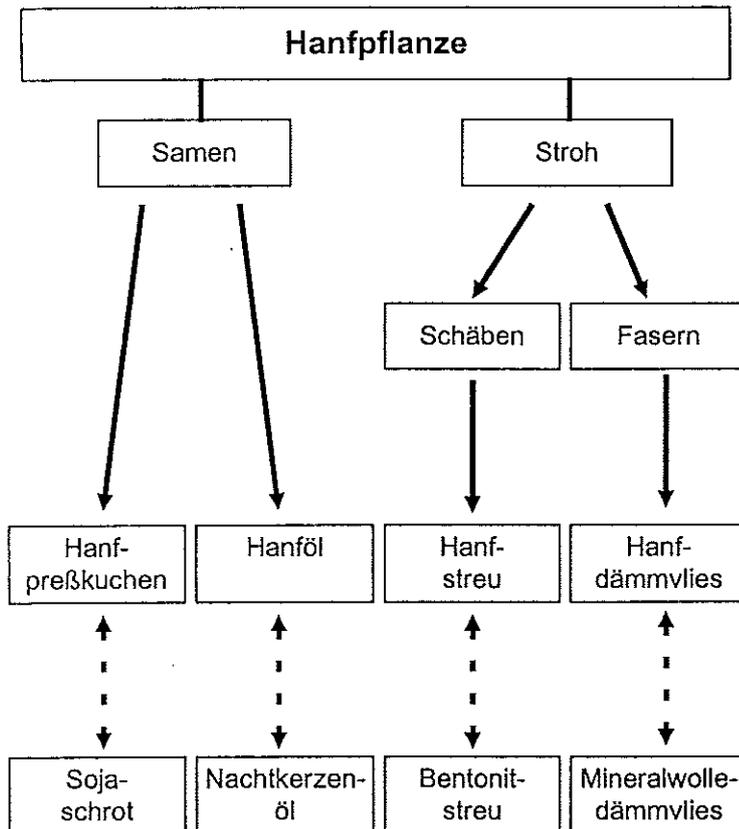


Abb. 8.3: Schematische Darstellung der bilanzierten Hanf-Lebenswege samt Äquivalenzprodukten

Quelle: nova (1996), gekürzt.

Anbau und Ernte

Der Lebenswegabschnitt Landwirtschaft umfaßt alle Prozesse, die auf der Anbaufläche stattfinden. Dazu gehören Pflügen, Saatbettbereitung, Düngen und der gesamte Ablauf der Ernte (Dreschen, Mähen, Einkürzen der Hanfpflanzen, Pressen der Ballen und Weiterverarbeitung). Als Referenzsystem werden sowohl die Rotationsbrache als auch die zusätzliche Inanspruchnahme von Ackerboden betrachtet.

Samenverarbeitung

Beim (elektrischen) Pressen der Hanfsamen entstehen Hanföl und Hanfpreßkuchen. Dem Hanföl wird das Nachtkerzenöl als Äquivalenzprodukt angesetzt und dem Hanfpreßkuchen (verwendbar als eiweißreiches Viehfutter) wird Sojaextraktionsschrot gegengerechnet.

Entholzung des Strohs

Die Entfernung der Holzanteile des Strohs erfolgt maschinell, wobei pro t Stroh 0,25 t Abfall anfallen, die aus Schäbenresten besteht. Hierfür wird eine energetische Nutzung unterstellt.

Schäbennutzung

Die Schäben werden zu Tierstreu verarbeitet, wobei mineralisches Katzenstreu aus Bentonit substituiert wird. Die Sachbilanzdaten für Bentonitstreu stellen eine untere Abschätzung dar, weil nicht alle energieaufwendigen Prozesse bekannt sind.

Dampfdruckaufschluß der entholzten Fasern

Für den Faseraufschluß wurde hier die Methode des Dampfdruckaufschlusses gewählt. Als Energieträger werden Heizöl und Strom eingesetzt.

Transport

In näherungsweise Bilanzierungen werden vor allem Transporte zwischen deutlich verschiedenen Produktionsstufen berücksichtigt.

Faserprodukt Dämmvlies

Das Hanffaserprodukt ersetzt in dieser Bilanzierung das Dämmmaterial aus Mineralwolle. Ein basaltisches Vulkangestein (Diabas) wird zusammen mit Kalkstein geschmolzen, und diese Schmelze wird zu Fasern verarbeitet. Bei der Entsorgung der gebrauchten Dämmmaterialien wird beim Hanfvlies eine energetische Nutzung (Verbrennung) unterstellt, während das mineralische Dämmvlies deponiert wird. Als funktionelle Einheit wird massenbezogene Äquivalenz zwischen Hanf- und Steinwolle-dämmvlies und gleiche Lebensdauer unterstellt.

8.2.2 Umweltwirkungskriterien

Im Rahmen der hier durchgeführten größenordnungsmäßigen Ersteinschätzung ökologischer Auswirkungen bei einer Gesamtnutzung der Hanfpflanze wurde die Auswahl getroffen, die auf die Standardliste der Wirkungskategorien des UBA basiert.

Tab. 8.1: Auswahl der hier berücksichtigten Umwelt-Wirkungskategorien

Umwelt-wirkungs-kategorie	Beschreibung / Handhabung / Bemerkungen
Ressourcen-verbrauch	Die wichtigsten stofflichen (mineralischen) Ressourcen und alle Energieträger (Kohle, Erdöl, etc.) werden hier bilanziert. Letztere werden im Sinne des sog. „kumulierten Energieaufwandes“ (KEA) ausgewiesen, in dem alle Energieträger aufaddiert werden.
Naturraum-beanspruchung	Hier wird qualitativ die Flächeninanspruchnahme beim landwirtschaftlichen Anbau des Produkts und des Substitutionsprodukts sowie die Biodiversität und Eutrophierung betrachtet.
Treibhauseffekt	Der anthropogene Treibhauseffekt wird vor allem durch CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O und den FCKW verursacht. Letztere kommen hier nicht vor. Für die Berechnung der Gesamtklimawirkung in Form von Treibhauspotentialen wird das CO ₂ -Äquivalent der relevanten Gase (sh. Kap. 2.) angegeben (CO ₂ :1, N ₂ O:320, CH ₄ : 24,5).
Ozonabbau	Für den stratosphärischen Ozonabbau ist in dieser Betrachtung lediglich das Lachgas relevant, FCKW tritt hier nicht auf.
Versauerung	Eine Vielzahl verschiedener Schadstoffe tragen zum sauren Regen bei. Die mengenmäßig wichtigsten sind Stickoxide (NO _x) und SO ₂ . Die Gesamtsäurewirkung ergibt sich in Form von SO ₂ -Äquivalenten (SO ₂ : 1 ; NO _x : 0,7).
Eutrophierung	Für die Belastung von Oberflächengewässern mit Pflanzennährstoffen kommen hauptsächlich Stickstoffverbindungen und Phosphate in Betracht. Als Kenngröße für die Eutrophierung von Landflächen dient die NO _x -Bilanz.
Öko- und Humantoxizität	Aus der Vielzahl von Substanzen, die für den Menschen und den Ökosystemen schädlich sind, werden hier die besonders wichtigen Stoffe NO _x und SO ₂ quantitativ sowie die Pflanzenschutzmittel qualitativ betrachtet.

Quelle: Extrahiert aus nova et al. (1996).

Neben der Betrachtung des Anbaus von Hanf, wird die Produktion von Produkten auf der Basis von Hanfstroh und -samen entsprechend dem Ertrag eines Hektars und deren Entsorgung nach Ende der Nutzungsphase berücksichtigt. Die Bezugsgröße ist dabei t Hanffasern/ha (bei 6 t Strohertrag/ha).

8.2.3 Bilanzierung

Der Sachbilanz liegen die o. a. Lebenswege, die entsprechenden Rahmenannahmen, Basisdaten usw. zugrunde. Die hier wichtigen und relevanten Kenngrößen und Annahmen sind in folgender Tabelle dargestellt. Bilanziert werden hier alle quantifizierbaren Parameter.

Tab. 8.2: Auswahl wichtiger Basisdaten und Annahmen bei der Bilanzierung der Hanflebenswege; Bezug: 1 ha

Lebenswegabschnitte	Basisdaten / Bemerkungen
Abau und Ernte	Ertrag: 6 t Stroh, 600 kg Samen; Dünger: 100 kg N, 80 kg P ₂ O ₅ , 100 kg K ₂ O, 120 kg CaO; 0,3 kg Pflanzenschutzmittel; 68,5 l Dieselkraftstoff
Samenverarbeitung	0,25 t Hanföl/t Samen; Energieeinsatz: 75 kWh Strom/t Samen
Hanfölnutzung	Funktionale Äquivalenz: Ölausbeute 20 % aus 0,6 t Samen; Dünger: 80 kg N, 40 kg P ₂ O ₅ , 60 kg K ₂ O, 200 kg CaO; 4,5 kg Pflanzenschutzmittel; 49 l Dieselkraftstoff
Hanf-kuchennutzung	Funktionale Äquivalenz: Eiweißgehalt; Hanfkuchen: 32 %, Sojaschrot: 41,6 % mit 1,65 t Sojaschrot; Dünger: 30 kg N, 25 kg P ₂ O ₅ , 75 kg K ₂ O, 170 kg CaO; 5 kg Pflanzenschutzmittel, 50 l Dieselkraftstoff
Strohverarbeitung	Energieeinsatz: 65 kWh Strom/t Stroh; 0,5 t Schäben; 0,25 t Fasern/t Stroh
Schäbennutzung	Funktionale Äquivalenz: Massenbezogen Bentonit-Katzenstreu; 1,2 t Bentonit in der Lagersäcke pro t Bentonit-Streu; 1,4 GJ Schweröl/t Bentonit-Streu
Dampfdruckaufschluß	Energieeinsatz: 1,5 GJ Heizöl leicht, 100 kWh Strom/t Rohfaser; 0,64 t Feinfaser/t Rohfaser
Hanf-Dämmvliesproduktion	Energieeinsatz: 1,3 GJ Erdgas, 220 kWh Strom/t Dämmvlies
Hanf-Dämmvliesnutzung	Funktionale Äquivalenz: Massenbezogen Mineralwolle: 2,5 GJ Heizöl leicht; 5,6 GJ Steinkohle/t Mineralwolle

Quelle: nova (1996), gekürzt.

Die Ergebnisse der Bilanzen beziehen sich auf einen ha angebauten Hanf, der in dieser Arbeit auf die Einheit (t) umgerechnet wurde (Grundlage: 0,25 t Fasern/t Stroh (Tab. 8.2)). Erhalten wurden sie durch Addition aller Emissionen und energetischen Aufwendungen auf Seiten des Hanflebenswegnetzes und Gegenrechnung aller Emissionen und energetischen Aufwendungen der konventionellen Produkte (Äquivalenzprodukte). Dabei repräsentieren negative Zahlen Einsparungen, bzw. Gutschriften, während positive Zahlen Aufwendungen für den Hanf bedeuten. Die Ergebnisse der Bilanzierung für das Produkt Hanf-Dämmvliese sind in Tab. 8.3 differenziert nach Lebenswegabschnitten zusammengefaßt. Die Transportaufwendungen sind in den

Datensätzen enthalten (Transport des Produktes eines Lebenswegabschnitts für Hanf, für die substituierten Produkte: alle Transporte). Die Daten zum Rohstoffeinsatz und zu den Emissionen berücksichtigen bereits die Bereitstellung der Energieträger und wichtiger Einsatzstoffe wie Düngemittel. In der Rubrik CO₂ werden nur die Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger erfaßt; die Verbrennung von Pflanzenabfall und Schäben ist klimaneutral, da das freigesetzte CO₂ eine gleich große Menge an Kohlenstoff enthält, wie durch Fixierung von Luft-CO₂ zuvor in das Pflanzenmaterial eingebaut wurde.

Es wird in Tab. 8.3 der Saldo der Sachbilanz unter Bezugnahme der Wirkungskategorien aus Tab. 8.1 und der Basisdaten aus Tab. 8.2 für Hanfdämmvliese zusammengestellt.

Tab. 8.3: Sachbilanz (Energieeinsatz und Emissionen) des Lebensweges Dämmvlies aus Hanf, bezogen auf 1 t Hanffasern

Hanf	Energie (GJ)	CO ₂ (kg)	N ₂ O (kg)	CO ₂ -Äq. (kg)	SO ₂ (kg)	NO ₂ (Kg)	SO ₂ -Äq. (kg)
Anbau u. Ernte	8,2	544	1,26	947	1,2	4,52	4,37
Ölpresen	0,46	30,8	0,001	31,13	0,025	0,12	0,11
Entholzung	3,83	256,7	0,01	260	0,21	0,94	0,87
Dampfdruck-aufschluß	3,01	214	0,007	216	0,18	0,46	0,5
Dämmvlies-herstellung	2,7	172	0,01	174,1	0,13	0,16	0,25
Summe	18,2	1217	1,29	1628	1,75	6,2	6,1
Gutschriften							
Nachtkerzenöl	-1,57	-99,3	-0,25	-180	-0,2	-0,64	-0,64
Sojaschrot	-1,27	-86	-0,06	-103	-0,65	-0,89	-1,27
Bentonit-Streu	-4,56	-353	-0,01	-357	-1,59	-1,71	-2,79
Mineralfaser-Dämmstoff	-31,4	-1967,7	-0,137	-2010	-0,53	0,37	-0,25
Verbrennung der Produktionsabfälle	-2,1	-119	0,007	-117	0,03	0,2	0,13
Summe	-40,9	-2626	-0,45	-2.767	-2,94	-2,67	-4,82
Saldo (insges.)	-22,7	-1.408	0,84	-1.139	-1,19	3,53	1,28

Quelle: nova et al. (1996), gekürzt, umgerechnet

8.2.4 Darstellung der Ergebnisse

Durch den Hanfanbau entstehen Produkte, die die oben aufgeführten Äquivalenzprodukte ersetzen. Im folgenden werden die Ergebnisse der Bilanzierung getrennt nach der in Tab. 8.1 aufgestellten Wirkungskategorien dargestellt.

Energetische Ressourcen

Die Bereitstellung des Hanfproduktes Dämmvlies erfordert nur geringe Energieeinsätze (2,7 GJ); der größte Energieverbrauch ist mit 8,2 GJ im Lebenswegabschnitt in der Landwirtschaft (Pflanzenbau zusammen mit Düngung und Ernte) zu verzeichnen.

Mineralische Ressourcen

Mineralische Ressourcen werden im Laufe der Lebenswege in Form von Dünger (Phosphaterz, Kalk, Kalisalz) in der Landwirtschaft und in Form von Mineralien bei den Substituten (Bentonit, Diabas, Quarzsand, Kochsalz, Kalkstein) eingesetzt. Allein durch die Hanfschäben werden ca. 3,6 t Bentonit substituiert. Hinzu kommen bei den Dämmvliesen weitere Einsparungen von ca. 1 t (0,9 t Diabas + 0,1 t Kalkstein). Demgegenüber steht ein Mehrverbrauch an Rohstoffen für Mineraldüngemittel zuungunsten von Hanf in der Größenordnung von 0,7 t Rohkali und 0,3 t Phosphaterz.

Naturraumbeanspruchung und Biodiversität

Mit der Einsparung der Äquivalenzprodukte werden auch diejenigen Flächen eingespart, auf denen diese angebaut werden. Es werden z. B. bei einem Hanfanbau weniger Nachtkerzen angebaut, weil Hanföl Nachtkerzenöl ersetzt. Bezogen auf einen Hektar Hanfanbau ergeben sich die in Tab. 8.4 ausgewiesenen Einsparungen. Bei der Bewertung dieser Einsparungen ist zwischen zwei Fällen zu unterscheiden: Hanf wird auf Flächen der Flächenstilllegung oder auf extra für den Hanf bereitgestellten Flächen angebaut.

Tab. 8.4: Flächenbelegung landwirtschaftl. Nutzflächen der betrachteten Substitute

Lebenswegabschnitt	Substituierte Fläche*
Nachtkerzenöl	- 0,25 ha
Sojaschrot	- 0,14 ha
Mineralwolle	0 ha

*bezogen auf 1 ha Hanfanbau

Quelle: nova (1996), gekürzt.

Ein Hanfanbau auf Stilllegungsflächen erfordert keine zusätzlichen Ackerflächen, so daß hier keine Landschaftsversiegelung stattfindet und sogar knapp 0,4 ha weniger bewirtschaftet wird. Wird Hanf auf bereitgestellten Flächen angebaut, so ergibt sich nur knapp 0,4 ha Ersparnis (bezogen auf 1 ha), weshalb Hanf in diesem Fall mit einer Flächenbelegung belastet wird (ca. 0,6 ha Ackerfläche werden mehr beansprucht).

In Bezug auf die Biodiversität (Artenvielfalt und Biotopschutz) kann man allgemein sagen: Eine langfristige landwirtschaftliche Neubelegung einer Fläche ist i. d. R. mit einem Rückgang der Biodiversität verbunden, während ein Hanfanbau auf einer Stilllegungsfläche mit kaum feststellbaren Veränderungen verbunden ist. Unter ökologischen Aspekten ist er als nachteilig einzustufen, wenn somit zusätzliche Flächen belegt werden.

Klimaauswirkungen

Eine Bilanzierung von N₂O-Freisetzungen ist nach Flessa et al. (1998) überaus schwierig. Vorgenommen können lediglich Schätzungen, die auf Langzeituntersuchungen zur Freisetzung aus landwirtschaftlich genutzten Böden basiert.

Ausschlaggebend für die Ergebnisse der Klimagasbilanzen sind neben den energiebedingten Frachten an Kohlendioxid aus fossilen Energieträgern hauptsächlich die Lachgasfrachten und hierbei die Hauptquellen Düngerproduktion und Landwirtschaft (sh. Kap. 2). Der Lebenswegabschnitt Landwirtschaft der Äquivalenzprodukte hat beim Soja- und Nachtkerzenanbau nur geringen Einfluß auf die Treibhausbilanz, weshalb bei der Emission von Lachgas die Bilanz für Hanf im positiven Bereich ist (also ungünstiger Einfluß auf das Klima). Die klimawirksamen CO₂-Emissionsbeträge über dem gesamten Lebensweg steigen analog dem Energiebedarf, der bei den Hanfdämmvliesen relativ gering ausfällt. Die Werte des Äquivalenzproduktes der Mineralfaser liegen um ein vielfaches höher als beim Hanfprodukt (sh. Abb. 8.2). Die CO₂-Äquivalenz des Hanfproduktes Dämmvlies erreicht alles in allem eine Gutschrift (also Entlastung des Klimas) von 1.139 kg CO₂-Äquivalent/t Hanffaser.

Die dominierende Quelle an ozonzerstörendem Lachgas ist im gesamten untersuchten Lebensweg die Landwirtschaft. Dies resultiert aus den erheblichen Lachgasemissionen der Produktion von Mineralstickstoffdüngemitteln und von den Anbauflächen infolge der Verwendung stickstoffhaltiger Düngemittel (sh. Kap. 2.2.1). Die Substitute Soja und Nachtkerze kompensieren den höheren Verbrauch (und somit die Emission) von Stickstoff nur zum Teil, so daß hier die Bilanz beim Hanf positiv (zuungunsten) der Hanflinie ausfällt (diese wird ja aber durch die CO₂-Einsparung wieder überkompensiert). Es muß angefügt werden, daß in Deutschland 2,4 Mio. t N als Mineraldünger ausgebracht wurden, was bezogen auf die landwirtschaftlich genutzte Fläche einen durchschnittlichen Düngereinsatz von 143 kg N/ha im Jahr bedeutet (EK, 1994). Der Hanfanbau trägt somit bei einer deutlich niedrigeren empfohlenen N-Düngung (sh. Kap. 4.1) zur Senkung des durchschnittlichen N-Austrags auf die Äcker bei.

Versauerung

Zur Bestimmung des Versauerungspotentials werden die beiden human- und ökotoxischen Schadstoffe (NO_x) und Schwefeldioxid (SO₂) einzeln bilanziert und schließlich miteinander als SO₂-Äquivalent verrechnet. Die SO₂-Bilanz fällt deutlich zugunsten von Hanf aus, während sich beim NO_x und somit beim Gesamtversauerungspotential deutliche Unterschiede auf tun. D. h., die für den Hanf ungünstige NO_x-Bilanz resultiert aus der energetischen Nutzung nach der Nutzungsphase des Hanfproduktes, die bei dem Äquivalenzprodukt Mineralwolle nicht anfällt (Deponierung). Der damit verbundene Vorteil einer deutlich besseren Energiebilanz wird infolgedessen durch deutliche Nachteile bei der NO_x-Bilanz erkaufte.

Eutrophierung

Als Index für die Gefahr der Eutrophierung der Gewässer durch die Landwirtschaft wird hier die von den verschiedenen Pflanzen ausgehende potentielle Gefahr der Bodenerosion als Bewertungsfaktor ausgewählt. Da keine einheitlich meßbaren Kriterien

vorliegen, kann keine quantitative Aussage getroffen werden. Als argumentative Aussage hilft hier die Bilanz der Flächenbelegung (sh. Tab. 8.4). Je nachdem, ob eine Stilllegungsfläche oder eine zusätzliche landwirtschaftliche Fläche für den Anbau genommen wurde, verringert sich, grob gesagt, im ersten Fall die Bodenerosion. Im 2. Fall erhöht sie sich durch die größere Flächeninanspruchnahme. Allerdings sind die ökologischen Eigenschaften von Hanf im Vergleich zu anderen landwirtschaftlich angebauten Pflanzen wesentlich günstiger (sh. Kap. 4.2). Wird Hanf also lediglich mit einer anderen Kulturpflanze ersetzt, so fällt die Eutrophierungsbilanz für die Umwelt beim Hanfanbau günstiger aus (die Eutrophierung in Boden und Gewässer ist geringer). Die Gefahr der Eutrophierung von Gewässern durch ausgewaschene Salze, Dünger und Bodenpartikel nimmt mit folgender Reihenfolge ab: Baumwolle > Soja >> Nachtkerze > Raps \cong Hanf

Human- und Ökotoxizität

In der Produktbilanzierung werden Auswirkungen auf Umwelt und Mensch untersucht. Die toxischen Schadstoffe Stickoxide und Schwefeldioxid wurden bereits bei der Versauerung untersucht, so daß hier auf die Pflanzenschutzmittel Bezug genommen wird.

Gutschriften ergeben sich durch den Einsatz in der Landwirtschaft. Bei der Dämmvliesnutzung kommt die Gutschrift lediglich durch den biozidintensiven Anbau von Soja und Nachtkerze zustande; der Hanfanbau ist in der Regel eine biozidfreie Kultur (sh. Kap. 4.2). Die Minderung an toxischen Emissionen beträgt 1 kg/t Hanf. Unter diesen toxikologischen Gesichtspunkten ergibt sich im Vergleich zu anderen landwirtschaftlichen Kulturen folgende Rangfolge:

Baumwolle > Soja >> Nachtkerze \cong Raps > Hanf

Die bei vielen Dämmmaterialien als Zusatzstoffe verwendeten Borverbindungen (als Brandschutz) stellen kein Problem dar. Beim bestimmungsgemäßen Umgang mit borhaltigen Dämmstoffen ist nicht mit einer gesundheitlichen Gefährdung zu rechnen, und die eingesetzten Borverbindungen stellen kein potentielles Umweltgift dar (Murphy et al., 1999).

Entsorgung

Obwohl in der Sachbilanz nicht aufgeführt, soll hier der Aspekt der Entsorgung kurz genannt werden. Da auch Hanf-Dämmstoffe geringe Mengen an Zusätzen aufweisen, kommen sie für eine Kompostierung nicht in Frage. Die thermische Verwertung von biogenen Altdämmstoffen wird von Murphy et al. (1999) favorisiert. Aufgrund fehlender Versuchsdaten kann jedoch noch keine Aussage darüber getroffen werden, welchen Einfluß die Zusatzstoffe auf das Brandverhalten, die Aschebildung und den Schadstoffausstoß besitzen. In modernen Müllverbrennungsanlagen dürften sich jedoch keine Probleme ergeben (Murphy et al., 1999).

8.3 Ökologische Bewertung

Nachdem die ökologisch relevanten Parameter bestimmt worden sind, erfolgt die ökologische Bewertung, um eine Beurteilung des untersuchten Produktes auf seine ökologischen Eigenschaften vornehmen zu können. Es werden also die betrachteten Umweltauswirkungen zueinander in Relation gesetzt, um zu einer Gesamtbewertung zu kommen.

In dieser Ökobilanz für Hanfprodukte wurden 7 Umweltwirkungen bestimmt und sowohl quantitativ als auch qualitativ analysiert und ausgewertet. Beim **Ressourceneinsatz** schneiden sowohl in energetischer als auch in materieller Hinsicht die Hanfnutzung ökologisch günstiger ab als der Lebensweg des zu ersetzenden Materials (Mineralwolle). Der hohe Energiegewinn bei der Schäbenverbrennung wird allerdings mit einem geringen Mehrverbrauch an mineralischen Ressourcen für die Düngemittelproduktion leicht kompensiert; andererseits wird ein Vielfaches an Rohstoffen eingespart.

In bezug auf die Naturraumbeanspruchung ist Hanf und seine Nutzung bei Anbau in Fruchtfolgen auf Rotationsbrachen in allen Szenarien als eindeutig positiv zu bezeichnen. Wird er nicht auf Brachflächen angebaut, sondern beansprucht zusätzliches Kulturland, so ist er im Hinblick auf die vermehrte Landschaftsbeanspruchung und die damit zusammenhängende Biodiversität als negativ zu bewerten.

Analog zum Einsatz der energetischen Ressourcen verhält sich der Beitrag zum **Treibhauseffekt**, ausgedrückt in CO₂-Äquivalenten. Insgesamt wirkt Hanf beim Anbau und in der Produktion treibhausentlastend, was unter der hiesigen Problemstellung zur Minderung der CO₂-Emissionen als besonders positiv zu bewerten ist. Im Saldo erfolgt eine Gutschrift des Substitutionsprodukts Hanfdämmvliese von 1.139 kg CO₂-Äquivalent pro produzierter t Hanffaser. Hesch et al. erhielten produktionsbedingte CO₂-Reduktionen von 29 kg/m³ Hanf-Dämmstoff (sh. Abb. 8.2).

Als Indikator des **Ozonabbaupotentials** dient Lachgas. Hier weist die Hanfnutzung eine ökologisch negative Bewertung auf, der vor allem auf den Bereich des Pflanzenbaus zurückzuführen ist (Kap. 2.2.1). Allerdings ist zu bedenken, daß dieser Wert eine Obergrenze darstellt, da mit den angenommenen Düngungen mit 100 kg N/ha ein sehr hoher Wert angenommen wurde. Geht man heute doch eher von einer empfohlenen Menge von 60 - 80 kg N/ha aus (Kap. 4 u. 5), so reduziert sich dementsprechend auch die Lachgasemissionen, beim ökologischen Anbau fällt diese Emissionsrate fast auf Null.

Das **Versauerungspotential** weist einen positiven Saldo auf, der hauptsächlich auf die NO₂-Emissionen zurückzuführen ist, was eine negative ökologische Bewertung bedeutet. Diese ist ähnlich wie beim Ozonabbau auf die hohen N-Gaben in der Landwirtschaft zurückzuführen; auch hier gibt es ein nicht zu vernachlässigendes Verringerungspotential der N-Emissionen, so daß hier bei entsprechend geringerer N-Gabe

die Versauerung eingeschränkt, wenn nicht sogar mit Vorzeichenwechsel versehen werden kann.

Tab. 8.5: Zusammenfassung zur Bewertung der untersuchten Wirkungskategorien

Wirkungskategorie	Hanffaser Dämmvlies
Ressourcen: energetische materielle	++ *
Naturraumbeanspruchung: Rotationsbrache Kulturland	+ -
Treibhauseffekt	+
Ozonabbau	-
Versauerung	-
Eutrophierung	*
Toxizität: NO _x SO ₂ Biozid	- + +

+ = Bewertung zugunsten Hanf
- = Bewertung zuungunsten Hanf
* = ausgeglichene Bewertung

Quelle: nova et al. (1996).

Die **toxikologischen Wirkungen** im Bezug auf Schwefeldioxidbelastung und Pflanzenschutzmitteleinsatz ergeben durchweg ein positives Bild in Bezug auf die Hanfnutzung. Es ergeben sich sowohl quantitative als auch qualitative Vorteile (positive gesundheitliche Eigenschaften des Hanfprodukts) durch den Einsatz von Hanfdämmvliesen. Im Falle der Stickoxide müssen jedoch ähnlich wie beim Ozonabbau und der Eutrophierung, leichte Nachteile beim Einsatz als Mineralwolle hingenommen werden, bei denen jedoch durchaus Potentiale zur Minderung bzw. Beseitigung dieser Nachteile bestehen.

Die Gefahr der **Eutrophierung** (Nährstoffeintrag) kann nicht genau abgeschätzt werden, da hier nur eine qualitative Aussage gemacht werden kann; eine Quantifizierung unter Berücksichtigung auch der anderen Lebenswegabschnitte wären für eine abgesicherte Aussage daher vonnöten. Auf die positiven Eigenschaften gegenüber anderen Kulturpflanzen hinsichtlich der Eutrophierung, die im Kap. 4.2 aufgeführt sind, sei hingewiesen.

8.4 Zahlengrundlage und CO₂-Bilanzierung für Münster

8.4.1 Voraussetzungen

Ca. 23.000 Häuser werden pro Jahr in Deutschland gebaut – Tendenz steigend mit einem mittleren Dämmstoffbedarf von mind 60 m³ (Dach, Wände, Trennwände) je Objekt. Dies ergibt ein Volumen von mind. 1.400.000 m³. Daneben bietet sich die Altbausanierung als Einsatzgebiet dieser Produkte zur Wärme- und Schalldämmung an. Die Stilllegungsfläche der Landwirtschaft in Höhe von über einer Million ha würde ausreichen, um 48.000.000 m³ Pflanzenfaser-Dämmstoffe herzustellen. Bei einem Gesamtdämmstoffbedarf von über 32.000.000 m³/a könnte also innerhalb kurzer Zeit und auf Dauer der gesamte Dämmstoffbedarf – da, wo er technisch eingesetzt werden kann – mit pflanzlichen Produkten gedeckt werden (Brandhorst, 1998).

Aufgrund des höheren Wärmeleitfähigkeitswertes wird dafür die gleiche Dämmleistung wie bei KMF etwa das 1,12-fache Volumen an Hanffasern bzw. das 1,5 fache Volumen an Hanfschäben benötigt (wegen der unterschiedlichen WLG, sh. Kap. 7.3). Aus 8 t Hanfstroh lassen sich ca. 2,0 t Hanffasern sowie etwa 4,8 t Hanfschäben gewinnen. Bei einem spezifischen Gewicht von 40 kg Hanffasern/m³ Vliesdämmstoff und 100 kg Hanfschäben/m³ Schüttdämmung lassen sich daraus ca. 100 m³ Hanfdämmstoffe gewinnen. Diese Menge eignet sich zur Substitution von 75 m³ KMF, wenn man eine gleich hohe Dämmung unterstellt. Zur Substitution von 0,3 Mio. m³ KMF durch Hanf-Dämmstoffe wäre eine Anbaufläche von 4000 ha nötig (Murphy et al., 1999).

Folgende Zahlen sind für die Errechnung der CO₂-Bilanzierung für Münster relevant:

Tab. 8.6: Grundlagen für die klimaökologische Hochrechnung Münsters

Zahlen	Quelle
Saldo für das CO ₂ -Äquivalent in der Ökobilanzierung: - 1.139 kg CO ₂ /t Faser	nova et al. (1996)
aus 2,5 t geerntete Hanffasern/ha werden 100 m ³ Dämmvliese (bezogen auf 1ha) produziert ⇒ 1 t Fasern entspricht 40 m ³ Vliese	gemittelter Wert aus: Eicke-Hennig (1997), Murphy et al. (1999), Brandhorst (1998)
durchschnittl. Menge Dämmmaterial (KMF), die für die Größe eines Einfamilienhauses verbaut wird: 60 m ³	Lippert (2000), Brandhorst (1998)
Verhältnis (Faktor) Dämmmaterial Hanffaser: Dämmmaterial aus KMF = 1,12; bezogen auf WLG (k-Wert)	Brandhorst (1998)
Baubeantragte Einfamilienhäuser in Münster: 941 (Bezugsjahr 1999)	Lippert (2000)
CO ₂ -Gesamtemissionen in Münster (1990): 2,26 Mio. t	Stadt Münster (1995)
Mögliche CO ₂ -Reduktion für den Wohnbereich (vorgelegt vom Klimabeirat) in Münster: 158 kt CO ₂ /a	Stadt Münster (1995)

In der Sachbilanz der Ökobilanzierung (Tab. 8.3) für Dämmvliese aus Hanffasern erhielten wir den Saldo für das CO₂-Äquivalent, der für die Treibhauswirksamkeit relevant ist, von - 1.139 kg CO₂/t Faser. D. h., daß der Einsatz von Hanffaser bei der Verwendung von Dämmvliesen statt Mineraldämmstoffe 1.139 kg CO₂/t Hanffaser an CO₂-Äquivalent-Emissionen eingespart werden (über den gesamten Lebensweg betrachtet).

- Bezogen auf das Volumen der produzierten Hanffaser entspricht das:
-1.139 kg CO₂/t Faser = -1.139 kg CO₂/40 m³ Dämmvliese = -28,48 kg CO₂/m³ Dämmvlies

Der hier ermittelte Wert (-28,48 kg CO₂/m³) stimmt sehr gut mit den erzielten produktionsbedingten CO₂-Reduktionen von 29 kg CO₂ /m³ Hanf-Dämmstoff bei Hesch

et al. (1996) überein (sh. Abb. 8.2), so daß dieser Wert eine gesicherte Rechengrundlage bildet.

Da die bauphysikalische Größe, der Wärmedurchgangskoeffizient k , bei den zwei betrachteten Dämmstoffen unterschiedlich ist, muß dieser Unterschied in die Berechnung miteinfließen. Soll die Wärmedämmleistung von Thermo-Hanf nicht geringer sein als das Substitut Mineraldämmstoff, so muß bei Thermo-Hanf eine um den Faktor 1,12 mächtigere Dämmschicht verwendet werden, da Thermo-Hanf einen ungünstigeren Wert in der Wärmeleitung aufweist als sein Kontrahent. Für die Substitution von Mineralfaserdämmstoffen durch Thermo-Hanf wird in der Berechnung das Potential für die Größe eines durchschnittlich großen Einfamilienhauses zur Grundlage genommen (Werte sh. Tab. 8.6). Das eingesparte CO_2 -Äquivalent eines durchschnittlich großen Einfamilienhauses beträgt somit:

- $-28,48 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3 \text{ Faser} \cdot 60 \text{ m}^3 \cdot 1,12 = -1.913,86 \text{ kg CO}_2$;

Bezogen auf die Annahme, daß alle Neubauten von Einfamilienhäusern in Münster mit Thermo-Hanf ausgekleidet werden, ergibt sich:

- $-1.913,86 \text{ kg CO}_2 \cdot 941 \text{ neu gebaute Einfamilienhäuser} = -1800,94 \text{ t CO}_2$

Unter Berücksichtigung der 941 neu gebauten Einfamilienhäuser in 1999 ergäbe sich somit eine Gesamteinsparung von 1800,94 t CO_2 -Äq.-Emissionen für die Stadt Münster, wenn allein die neu gebauten Einfamilienhäuser mit Thermo-Hanf statt mit herkömmlicher Mineralwolle gedämmt werden.

Dieser Betrag entspricht 1,14 % einer möglichen Reduktion der CO_2 -Emissionen in Münster im Bereich B (Wohnungsbereich) der vom Klimabeirat der Stadt Münster vorgeschlagenen Maßnahmen (sh. Tab. 2.3). Dieses Szenario kann also zur Verwirklichung des CO_2 -Reduktionsziels für Münster – wenn auch nur im kleinen Rahmen – beitragen. Würde die Hanfdämmung z. B. auf Altbausanierung ausgeweitet werden – dieser Bereich wird bereits mit Förderprogrammen unterstützt – so stellen sich hier noch größere Potentiale zur Reduktion der Klimagase dar.

Es muß überdies angefügt werden, daß, je nach Hersteller, die Hanfprodukte zu einem Teil mit künstlichen Fasern durchsetzt sind. Da hierüber jedoch die Angaben schwanken, wurde in der vorangegangenen Rechnung von einem Hanfprodukt ausgegangen, das zu 100 % aus Hanffasern besteht.

9 Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse

Ziel der hier erstellten Ökobilanz war es, eine Einschätzung über die ökologischen Vor- und Nachteile des Produktes Dämmvlies aus Hanffasern zu erhalten. Verbunden war damit notwendigerweise die Betrachtung der vollständigen Lebenswege, also die Produktion, Nutzung und Entsorgung des Hanfproduktes wie auch dem mit diesem verglichenen konventionellen Produkt. Es wurde dabei von einer Gesamtnutzung der Hanfpflanzen von Samen und Stroh (Fasern und Schäben) ausgegangen. Betrachtet wurde die Mehrzahl der bei Ökobilanzen derzeit üblicherweise bilanzierten Umweltwirkungen. Es wurde eine möglichst vollständige Erfassung der derzeit diskutierten Umweltwirkungen untersucht, wobei das Hauptmerkmal des Hanfprodukts im energetischen und im Klimabereich lag. Die Ergebnisse der hier vorgenommenen größenordnungsmäßigen Einschätzung der Umweltauswirkungen vom Hanfprodukt Dämmvlies im Vergleich zum Dämmmaterial aus Mineralfaser zeigen, daß es umweltrelevante Größen gibt, – wie z. B. die Unterschiede im Energieaufwand und die Klimaauswirkungen zeigen – die zugunsten von Hanf ausfallen. (nova, 1996).

Insgesamt fällt die ökologische Beurteilung sowohl im Hinblick der Einflüsse auf die Umwelt, als auch des Vergleiches mit anderen nachwachsenden Rohstoffen sehr positiv aus. Niederländische Studien belegen daneben, daß die Kulturpflanze Hanf sich gerade aus ökologischen Gesichtspunkten heraus als neue Agrarfrucht hervorragend eignet (Böcsa et al., 1997).

Es zeigt sich, daß es einige umweltrelevante Größen gibt, die tendenziell für Hanf sprechen, und daß einige Größen eher eingeschränkt für das betrachtete Produkt sprechen. Tendenziell für Hanf sprechen die Ergebnisse der Schwefeldioxidbilanzen und auch die Gefährdung durch Pflanzenschutzmittel. Hier treten eindeutige Vorteile für das Hanfprodukt auf. Tendenziell gegen Hanf sprechen die Ergebnisse bei der Naturraumbeanspruchung, wenn auf extra angelegten landwirtschaftlichen Flächen Hanf angebaut wird. Ebenso spricht die Emission vom ozonzerstörenden Lachgas eher gegen den Hanfanbau, dieser kann aber im konventionellen Landbau durch geringere N-Gaben bei der Düngung (60 - 80 kg N/ha statt der angegebenen 100 kg N/ha) deutlich verringert werden.

Das Katalyse Institut (1998) stellt fest, daß die Landwirtschaft als größter Flächennutzer Deutschlands (rd. ein Drittel der Gesamtfläche) mitverantwortlich ist für den Rückgang der biologischen Vielfalt, der Bodenerosion und der Belastung von Grund- und Trinkwasser. Unter den derzeitigen politischen Rahmenbedingungen scheint aber nur ein Intensivanbau wirtschaftlich arbeiten zu können, und auch hier hat Hanf gegenüber anderen Kulturpflanzen einige ökologische Vorteile aufzuweisen.

Auch das Umweltbundesamt (1997) stellt fest, daß die heutige konventionelle Landwirtschaft und Nahrungsmittelproduktion nicht einer nachhaltigen Wirtschaftsweise entspricht, die über Generationen hinweg umwelt- und sozialverträglich geführt

werden könnte. *Cannabis sativa* ist für den Ökologischen Landbau durchaus geeignet, so daß ein Anbau in diesem Bereich nur ein Frage der Zeit zu sein scheint.

Eine sinnvolle Nutzung der Stilllegungsflächen aus volkswirtschaftlicher Sicht scheint sinnvoller zu sein, da hier die Subventionen nutzbringend eingesetzt werden, zusätzliche Arbeitsplätze geschaffen werden, und durch den Hanfanbau keine zusätzliche Landschaftsversiegelung stattfindet. Auch steht dieser Rohstoff in keiner Konkurrenz zu anderen Rohstoffpflanzen, und die Stilllegungsflächen in Deutschland reichen aus, um Hanf-Dämmprodukte am deutschen Markt zu etablieren und auszubauen, da diese Produkte zudem gewisse Umwelt- und Gesundheitsvorteile aufweisen.

Wie in Kapitel 5.1 erläutert worden ist, können unter der Leitlinie einer nachhaltigen Entwicklung neue Produktideen nur entstehen, wenn eine Ressourcenschonung und ein möglichst geringer Energieeinsatz bei Produktion und Gebrauch realisiert werden. Beides *können* nachwachsende Hanfpflanzen leisten. Sie sind wichtige Elemente einer umweltaktiven Vorsorge, die sich durch Vermeidung von umwelt- und gesundheitlich bedenklichen Substanzen und Abfall sowie durch den Umstieg auf natürliche und naturnahe Rohstoffe auszeichnen. Nachwachsende Rohstoffe werden alleine die Ökologisierung der deutschen und europäischen Landwirtschaft nicht beschleunigen, um die heute immer noch erheblichen Umweltauswirkungen der Landwirtschaft zu vermeiden (überschüssiger Gebrauch von Phosphaten, Stickstoff und 30.000 t verschiedener Pflanzenschutzpräparate mit etwa 200 Wirkstoffen für die Nutzpflanzen; hohe Ammoniakemissionen).

Lt. Katalyse (1998) kann dieses Ziel nur durch ein innovatives Konzept im Zuge weitreichender politischer Entscheidungen auf europäischer und deutscher Ebene erreicht werden, und nicht dadurch, daß scheinbar willkürliche Kürzungen im Rahmen der Agenda 2000 bei Förder- und Flächenprämien vorgenommen werden. Damit werden auch die nachwachsenden Rohstoffe in ihrer Entwicklung zurückgeworfen. Es sei sinnvoller, die Finanzmittel aus den Subventionen auf Ziele der Umweltvorsorge in der Landwirtschaft umzuwidmen, was bedeutet, daß Naturschutz- und Umweltleistungen der Landwirtschaft zukünftig finanziell honoriert werden sollen. Im Rahmen eines solchen Modells kann sich die konventionelle Landwirtschaft immer mehr dem bereits bewährten System des ökologischen Landbaus nach IFOAM bzw. AGÖL-Richtlinien annähern. Mit Hilfe des ökologischen Landbaus kann ein Drittel der eingesetzten Energie des konventionellen Landbaus eingespart werden. Die Einführung einer Energie- bzw. CO₂-Steuer kann dabei den nachwachsenden Rohstoffen zu Wettbewerbsvorteilen und Marktfähigkeit gegenüber konventionellen Produkten verhelfen (Katalyse, 1998).

Es ist nicht zu erwarten, daß Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen allein über den Preis mit konventionellen Materialien erfolgreich konkurrieren können, obwohl Hesch (1998) für die Hanfdämmvliese davon ausgeht. Auch wenn die Produkti-

onskosten immer geringer werden, müssen diese Produkte gegenüber kostengünstigeren konventionellen Produkten weitere Vorteile aufweisen. Diese Vorteile bestehen hauptsächlich aus ökologischen und gesundheitlichen Vorteilen für Verbraucher, Produzent und Gesellschaft. Durch diese Eigenschaften steigt die Bereitschaft der Käufer, einen höheren Preis für umweltfreundliche Produkte zu zahlen. Eine weitere Möglichkeit, die Kostenlücke zu schließen, ist die Gewährung von Subventionen oder steuerlichen Vergünstigungen für Produkte, deren umweltschonende Eigenschaften die Kosten für die Gesellschaft reduzieren (Murphy et al., 1999). Als Beispiel sei hier das Förderprogramm der Stadt Münster für die Altbausanierung genannt, bei der Wärmedämmmaßnahmen gefördert werden. Diese Fördermaßnahme geht auf die Koordinierungsstelle für Klima und Energie der Stadt Münster (KLENKO) zurück, die Empfehlungen zur Energie- und CO₂-Emissions-Einsparungen herausgebracht hat. Als Klimahauptstadt sollte die Stadt Münster ein Interesse daran haben, auch die Hanf-Dämmung in Neubauten – bei der die Energie- und CO₂-Einsparpotentiale beträchtlich sind – dementsprechend zu fördern. Denn immerhin wird aus dieser Ökobilanzierung ersichtlich, daß ein – wenn auch nur bescheidener – Beitrag zur Senkung der Treibhausgas-Emissionen beigetragen werden kann, der somit auch einen entscheidenden Beitrag zur Lokalen Agenda 21 darstellt.

Durch eine Verbesserung des Qualitätsmanagements und eine Steigerung der Produktivität gelingt es langfristig, eine dauerhafte und nachhaltige deutsche Hanfwirtschaft zu etablieren, die einen wichtigen Teil des wachsenden industriellen Naturfaserbedarfs decken wird und zudem ihren Teil zur Entschärfung wichtiger Umweltprobleme beiträgt. Der Anfang hierzu ist bereits getan, es gilt jetzt aus den vorhandenen Nischenmärkten größere Märkte zu machen, die für den Großteil der Verbraucher akzeptabel ist.

Hanf als nachwachsender Rohstoff wird in Deutschland dann eine Zukunft haben, wenn kurz- bis mittelfristig Produktlinien - vom Anbau, Ernte, Faseraufschluß bis zum marktfähigen Endprodukt - realisiert werden können, die technisch machbar sind, eine hinreichende ökonomische Wertschöpfung aufweisen, ökologische Vorteile bieten und ihren Platz am Markt finden. Die Marktpotentiale sehen derzeit so aus, daß die realisierbare Hanfanbaufläche 30.000 ha beträgt, um den Bedarf nach Hanfprodukten voll zu decken.

Der politische Wille, die Potentiale in der Landwirtschaft auf Stilllegungsflächen und auch der (steigende) Bedarf nach Hanf-Dämmmaterialien sind da, so daß aus umweltpolitischer, ökologischer und auch wirtschaftlicher Sicht, die Hanfwirtschaft dazu beiträgt, Umweltprobleme lösen zu helfen.

Literaturverzeichnis

- Anonym, 1997: Konventionelle und alternative Dämmstoffe im Vergleich. In: Bau-Zeitung 51 (1998) 11, S. 52 - 54, Berlin.
- Anonym, 1999: Neues Verfahren zur Gewinnung von Hanf- und Flachsfasern, Pressemitteilung vom 21.7.99. In: nova-institut (Hrsg.): Markt-Innovation-Hanf, MIH-Internetdienstleistungszentrum (www.nova-institut.de/mih), Hürth.
- ATB, Inst. f. Agrartechnik Bornim (Hrsg.), 2000: Ernte, Konservierung und Erstverarbeitung von Hanf aus einer Feuchtgutlinie, Forschungsberichte des ATB, 2000/3, Potsdam-Bornim.
- Bach, W. (1994): Klimaschutzpolitik - Wie kann die Stadt Münster das Ziel der Bundesrepublik einer 25 - 30%igen CO₂-Emissionsreduktion bis zum Jahre 2005 realisieren ? - In: P. Felix-Henningsen, H. Heineberg u. A. Mayr (Hrsg.): Untersuchungen zur Landschaftsökologie und Kulturgeographie der Stadt Münster, Münstersche Geographische Arbeiten, Institut für Geographie, Westfälische Wilhelms Universität, 36, S. 3 - 32, Münster.
- Bach, W., 2000: Klimaschutz für das 21. Jahrhundert – Forschung, Lösungswege, Umsetzung, LIT-Verl., Münster.
- Baden, W., 1986: Hanf auf Niedermoor- und niedermoorartigen Anmoorböden – auch eine agrarpolitische und agrarwirtschaftliche Alternative ?. In: Telma, Bd. 16, S. 201 - 215, Hannover.
- Bassetti, P., V. Mediavilla, E. Spiess, H. Ammann, H. Strasser u. E. Mosimann, 1998: Hanfanbau in der Schweiz: Geschichte, aktuelle Situation, Sorten, Anbau- und Erntetechnik, wirtschaftliche Aspekte und Perspektiven. In: Eidg. Forschungsanst. f. Agrarwirtsch. u. Landtechnik, FAT (Hrsg.): FAT-Berichte Nr. 516, 1998, Tänikon, Schweiz.
- Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, 1996: Versuchsergebnisse aus Bayern: Hanf, Ertrag, Faserqualität, Inhaltsstoffe von Öl und Presskuchen, München.
- Beck, Klaus, 1998: Nachhaltige Baukultur - Leitbilder für das neue Jahrhundert. In: Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe, Zentrum für nachwachsende Rohstoffe in NRW (Hrsg.): NRW Hanftag 1998, Bauen mit Holz, Hanf und Co., Dokumentation der Fachtagung, Bad Sassendorf.
- Behrens, K., 1996: Leitfaden zum Hanfanbau in Haus, Hof und Garten, Eichborn-Verlag, Frankfurt.
- Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), 1999: Merkblatt zum Anbau von Nutzhanf und zur Gewährung einer Hanfbeihilfe im Wirtschaftsjahr 1999/2000 (Anbau und Ernte 1999), 3/99, Frankfurt a. M.
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BMELF), 1991: Forschungsdokumentation Produktions- und Verwendungsalternativen für die Land- und Forstwirtschaft Nachwachsende Rohstoffe, in Schriftenreihe des BMELF (Hrsg.), Reihe A: Angewandte Wissenschaften, Sonderheft, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup.
- BMELF, 1995: Bericht des Bundes und der Länder über Nachwachsende Rohstoffe 1995, Schriftenreihe des BMELF (Hrsg.), Reihe A: Angewandte Wissenschaften

- Sonderheft, Landwirtschaftsverl. Münster-Hiltrup.
- BMELF, 1996: Nachwachsende Rohstoffe. Konzept der Bundesregierung zur Förderung von Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben 1996 - 2000, Bonn.
- BMELF, 1998: Faserpflanzen – Bericht des Bundes und der Länder. BMELF (Hrsg.), Bonn.
- BMELF, 1999: Agrarbericht 1999, Bonn.
- BMUNR (Bundesminist. f. Umwelt, Naturschutz u. Reaktorsicherheit), 1994: Umwelt 1994. Politik für eine nachhaltige, umweltgerechte Entwicklung. (Umweltbericht 1994). Bundestags-Drucksache 12/8451, Bonn. Zitiert in: FNR, 1997.
- Böcsa, I. u. M. Karus, 1997: Der Hanfanbau. Botanik, Sorten, Anbau und Ernte. C. F. Müller Verlag, Heidelberg.
- Boisits, R., 1993: Dämmstoffe auf dem ökologischen Prüfstand – Eine vergleichende Darstellung der ökologischen Eigenschaften der Dämmstoffe. In: Österreichisches Inst. f. Baubiologie und -ökologie (Hrsg.): Forschungsberichte Baubiologie und Bauökologie, Wien, Österreich.
- Brand, C. 1994: Ökologisch Bauen - Gesund wohnen, Callwey, München.
- Brandhorst, J., 1998: Chancen und Risiken von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen. Seminar: Bau- und Dämmstoffe aus Hanf: Märkte & Ökonomie v. 16.12.1998 in Rheine. In: nova-Institut (Hrsg.): Markt Innovation Hanf, MIH-Internetdienstleistungszentrum (www.nova-institut.de/mih), 8/99, Hürth.
- Braunschweig, A., 1992: Ökobilanzen – „Streichhölzer gegen das ökologische Dunkel“. In: GAIA, 3/1992, S. 170 - 174, Schweiz.
- Buchgraber, H., P. Frühwirt, P. Köppl, B. Krautzer, 1997: Produktionsnischen im Pflanzenbau. Ginseng, Kümmel, Hanf & Co.
- BfN, 1995: Klimaänderungen und Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg.
- Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), 1997: Jahresbericht 1997, Braunschweig.
- Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), 1998: Jahresbericht 1998, Braunschweig.
- Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), 1999: Wissenschaftliche Mitteilungen, Möglichkeiten und Chancen von heimischen nachwachsenden Rohstoffen zur Nutzung als Dämm-Material, Braunschweig.
- Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (BMBau), 1995: Förderprogramm zur CO₂-Einsparung bei Wohngebäuden in den alten Bundesländern, Bonn.
- Burdick, B., 1994: Klimaänderung und Landbau, Die Agrarwirtschaft als Täter und Opfer, Verl. C. F. Müller, Heidelberg.
- Carmen e.V., 2000: Nachwachsende Rohstoffe, Überblick 2000. In: <http://www.carmen-ev.de/>.

- CMA Centrale Marketing-Gesellschaft der deutschen Agrarwirtschaft mbH (Hrsg.), 1998: Dämmstoffe aus der heimischen Natur, Informationsblatt. Bonn
- CMA (Hrsg.), FNR, C.A.R.M.E.N., 1999: Dämmstoffe au der heimischen Natur, Bonn.
- Clasen, E. u. A. Piesch, 1996: Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen (Grundlagen). In: Innovations- und Bildungszentrum Hohen Luckow, IBZ (Hrsg.): Berichte des IBZ 1/1996, Hohen Luckow.
- Dambroth, M., 1993: Hanfanbau nicht weiter verteufeln. In: Hannoversche Land- und Forstwirtschaftliche Zeitung, Vol. 146, H 47 v. 27.11.93, S. 32 - 33, Hannover.
- Dambroth, M., 1994: Hanf - Eine Pflanze für Nordwestdeutschland. In: Landwirtschaftsblatt Weser-Ems, Vol. 141, H 5 v. 4.2.94, S. 23 - 24, Oldenburg.
- Donath, D., 1998: Grundlegende Betrachtung der technischen Anforderungen an Dämmstoffe. Seminar: Bau- und Dämmstoffe aus Hanf: Technik, 09.12.98 in Bremen. In: nova-Institut (Hrsg.): Markt Innovation Hanf, MIH-Internetdienstleistungszentrum (www.nova-institut.de/mih), Hürth.
- Eicke-Hennig, W., 1997: Neue Dämmstoffe – (k)eine Alternative ?. In: Bau-Zeitung, H51, 5/1997, S. 61 - 63, Berlin.
- Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (Hrsg.), 1999: Marktanalyse für Faserprodukte aus Chinaschilf, Flachs, Hanf und Kenaf in der Schweiz. In: Schriftenreihe der FAL 29, Zürich-Reckenholz.
- EK, Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des Dt. Bundestages (Hrsg.), 1994: Schutz der Grünen Erde – Klimaschutz durch umweltgerechte Landwirtschaft und Erhalt der Wälder, Economica-Verl., Bonn.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), 1995: Die Stellung der Biomasse im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieträgern aus ökologischer, ökonomischer und technischer Sicht, in Schriftenreihe des FNR „Nachwachsende Rohstoffe“, Vol. 3, Münster.
- Flemming, M., G. Ziegmann, S. Roth, 1995: Faserverbundbauweisen – Fasern und Matrices, Springer-Verl., Berlin.
- Flessa, H., F. Beese, R. Brumme, E. Priesack, E. Przemeczek und J. P. Lay (Hrsg.), 1998: Freisetzung und Verbrauch der klimarelevanten Spurengase N₂O und CH₄ beim Anbau nachwachsender Rohstoffe. Schriftenreihe Deutsche Bundesstiftung Umwelt: Initiativen zum Umweltschutz, Bd. 11, Zeller Verlag, Osnabrück.
- FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe), 1995: Symposium Miscanthus, Biomassebereitstellung, energetische und stoffliche Nutzung, in: Schriftenreihe des FNR „Nachwachsende Rohstoffe“, Vol. 2, Münster-Hiltrup.
- FNR, 1997: Anbau, Ernte und Aufbereitung sowie Verwendung von Hanf, Teil 1 u. Teil 2, in: Schriftenreihe des FNR „Nachwachsende Rohstoffe“ Vol. 7, Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup.
- FNR, 1999a: Informationen zur Fachagentur Rohstoffe e.V., Gülzow.
- FNR, 1999b: Nachwachsende Rohstoffe - alter Hut auf neuen Köpfen. In: www.fnr.de.

- FNR, 1998: Biokonversion nachwachsender Rohstoffe, Workshop, in: Schriftenreihe des FNR „Nachwachsende Rohstoffe“, Vol. 10, Münster-Hiltrup.
- Grashorn, C., 1998: Hanffasern, Der verblasbare Dämmstoff. In: Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe, Zentrum für nachwachsende Rohstoffe in NRW (Hrsg.): NRW Hanftag 1998, Bauen mit Holz, Hanf und Co., Dokumentation der Fachtagung, Bad Sassendorf.
- Gröbl, W., 1997: Politische Rahmenbedingungen zur Förderung nachwachsender Rohstoffe. In: Schriftenreihe des BMELF (Hrsg.), Reihe A: Angewandte Wissenschaften, Sonderheft: 5. Symposium Nachwachsende Rohstoffe – Perspektiven für die Chemie, Tagungsband, S. 5 - 11, Köllen Druck+Verlag GmbH, Bonn.
- Hallay, H., 1989: Transparente Bewertungsmaßstäbe wünschenswert – Ökobilanz und Öko-Controlling können ein geeignetes Mittel unternehmerischer Umweltvorsorge darstellen. In: Müllmagazin 1/1989, S. 14 - 15, Berlin.
- Hartmann, H.-B., 1999: Bauen mit Holz, Hanf und Co. In: Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe, Zentrum für nachwachsende Rohstoffe in NRW (Hrsg.): NRW Hanftag 1998, Dokumentation der Fachtagung, Bad Sassendorf, 1998
- Hartmann, H.-B., 2000: Persönliche Mitteilung vom 22.6.2000.
- Heereman von Zuydtwyck, C. F., 1997: Nachwachsende Rohstoffe - Perspektiven für die Landwirtschaft. In: Schriftenreihe des BMELF (Hrsg.), Reihe A: Angewandte Wissenschaften, Sonderheft: 5. Symposium Nachwachsende Rohstoffe - Perspektiven für die Chemie, Tagungsband, S. 19 - 24, Köllen Druck+Verlag GmbH, Bonn.
- Herlyn, J. W. u. L. Mehlhorn: Wärmedämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen: Kennwerte, Anwendung und Feuchteverhalten. In: WKSB 41/1998, S. 12 - 19, Ludwigshafen.
- Hesch, R., 1994: Nachwachsende Rohstoffe und Energieträger - Ihr Potential für Wirtschaft und Umwelt - Ein kritische Betrachtung, Schriftenreihe der FH Lippe, Lippe.
- Hesch, R., A. Meyer, F. Beckmann, K. Hesch, 1996: Hanf - Perspektiven für eine ökologische Zukunft, Eine realistische Betrachtung, Taoasis-Verl., Lemgo.
- Hesch, R., 1998: Dämmstoffe aus Öl-Lein und Hanf um 100,-- DM/m³. In: Wohnung + Gesundheit, 6/98 Nr. 87, S. 39 - 41, Neubeuern.
- Hock-Heyl, C., 1998: Rückblick, Ausblick und Vertriebsstrategie. Aus der Idee zur Strategie – Von der Forschung zur Umsetzung. Symposium: Bau- und Dämmstoffe aus Hanf: Marketing, 03.12.1998 in Hürth. In: nova-Institut (Hrsg.): Markt Innovation Hanf, MIH-Internetdienstleistungszentrum (www.nova-institut.de/mih), Hürth.
- Hock Vertriebs-GmbH (Hrsg.), 1998: Thermo Hanf - Dämmung, die auf deutschen Feldern wächst. Stutensee-Spöck.
- Höppner, F., 1996: Hanf: woher Saatgut nehmen ? Erste Erfahrungen zur Produktion von Faserhanf. In: dlz - agrarmagazin, H2 (1996), S. 38 - 42, München.
- Höppner, F. u. U. Menge-Hartmann, 1996: Hanf – alte Kulturpflanze mit neuen Chancen ?. In: BMELF (Hrsg.): Forschungs Report, Ernährung Landwirtschaft Forsten, H 2/96, Bonn.

- Höppner, F., 1997: Hanfanbau und Hanfverarbeitung in Deutschland. In: Wissenschaftliche Berichte, Vorträge der Arbeitstagung Nachwachsende Rohstoffe in der Regionalentwicklung. Zittau.
- Höppner, F. u. U. Menge-Hartmann, 1999: Einfluß der Bestandesführung auf die Erträge und Qualität von Hanf. In: Arbeiten aus dem Institut für Landtechnik (Hrsg.): Leistungs- und Qualitätspotentiale von Naturfasern zur technischen Verwertung, 4. Bonner Naturfasertag, Tagungsband, Heft 28/1999, S. 6 - 13, Bonn.
- Institut für Landtechnik, 1999: Leistungs- und Qualitätspotentiale von Naturfasern zur technischen Verwertung, Tagungsband, Arbeiten aus dem IfL, H 28, Bonn.
- International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM), 1993: Basisrichtlinien der IFOAM für den ökologischen Landbau. SÖL-Sonderausgabe Nr. 16, Stiftung Ökologie und Landbau, Bad Dürkheim, 1993.
- Jasch, C., 1992: Was ist und kann eine Ökobilanz ? Ökobilanz, Umweltcontrolling und Environmental auditing. In: Inst. f. Ökologische Wirtschaftsforschung (Hrsg.), Schriftenreihe 8/1992 des IÖW, Wien.
- Jux, O., 1998: Politische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen des Hanfanbaus in Deutschland und der EU. Auftaktveranstaltung „Marktinnovation Hanf“ vom 14.4.1998 in Köln. In: nova-institut (Hrsg.): Markt-Innovation-Hanf, MIH-Internetdienstleistungszentrum (www.nova-institut.de/mih), Hürth.
- Kaltschmitt, M. u. G. A. Reinhardt : Nachwachsende Energieträger – Grundlagen, Verfahren, ökologische Bilanzierung, Vieweg Verl., Braunschweig.
- Karus, M., 1998: Bau- und Dämmstoffe aus Hanf. In: nova-institut (Hrsg.): Markt-Innovation-Hanf, MIH-Internetdienstleistungszentrum (www.nova-institut.de/mih), Hürth.
- Karus, M. u. D. Lohmeyer, 1999: Nutzhanf im vierten Jahr. In: nova-institut (Hrsg.): Markt-Innovation-Hanf, MIH-Internetdienstleistungszentrum (www.nova-institut.de/mih), Hürth.
- Karus, M., M. Kaup u. T. David, 1999: Volumina, Strukturen und Ökonomie der Hanf- und Flachsfasermärkte in der EU. In: nova-Institut (Hrsg.): Markt Innovation Hanf, MIH-Internetdienstleistungszentrum (www.nova-institut.de/mih), Hürth.
- Karus, M, M. Kaup, D. Lohmeyer, 2000: Studie zur Markt- und Preissituation bei Naturfasern (Deutschland und EU). In: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.): Gülzower Fachgespräche, Gülzow.
- Katalyse e.V. (Institut für angewandte Umweltforschung), 1996: Nutzhanf - vom konventionellen zum ökologischen Anbau, SÖL-Sonderausgabe Nr. 67, Deukalion-Verl., Holm.
- Kaup, M., 1999: Wettbewerbsfähige und ökologische Produkte aus Nachwachsenden Rohstoffen ?! In: nova-Institut (Hrsg.): Markt Innovation Hanf, MIH-Internetdienstleistungszentrum (www.nova-institut.de/mih), 8/99, Hürth.
- Kirchgäßner, H., 1995: Informationsinstrumente einer ökologieorientierten Unternehmensführung, Ökobilanz – EU-Öko-Audit – Industrielle Kostenrechnung, Gabler-Verl., Wiesbaden.

- Kohler, R., 1998: Bastfasern für technische Zwecke. In: E. Rottländer (Hrsg.): Praxis der Naturwissenschaften – Biologie, H 2/47, 3/98, S. 22 - 26, Aulis Verl. Deubner & Co., Köln.
- Kytzia, S., 1995: Die Ökobilanz als Bestandteil des betrieblichen Informationsmanagements, Verl. Rüegger, Chur/Zürich.
- Landesanstalt für Pflanzenbau, 1998: Untersuchungen zu pflanzenbaulichen, erntetechnischen und ökonomischen Fragen des Anbaus von Faser - und Körnerhanf, H 7/98, Forchheim.
- Landesinstitut für Bauwesen des Landes NRW (Hrsg.), 1999: Neue Holzbauweisen in NRW, Ratgeber 10 des Ministeriums für Bauen und Wohnen, NRW, Aachen.
- Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe, 1993: Nachwachsende Rohstoffe statt Stilllegung ? Rentabilität, Vorschriften, Anbau und Verwertung, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup.
- Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe, 1998: Berichte und Versuchsergebnisse der Lehr- und Versuchsanstalt für Tier- und Pflanzenproduktion Haus Düsse, Bad Sassendorf.
- Leistungszentrum Haus Düsse, Projektbüro Hanf, 2000: Anbauempfehlungen für Faserhanf 2000, 3/2000, Bad Sassendorf.
- Linden, W., 1998: Zukunft ökologischer Dämmstoffe. In: nova-institut (Hrsg.): Markt-Innovation-Hanf, MIH-Internetdienstleistungszentrum (www.nova-institut.de/mih), Hürth.
- Lohmeyer, D. u. M. Karus, 2000: Hanfwirtschaft 2000. In: nova-institut (Hrsg.): Markt-Innovation-Hanf, MIH-Internetdienstleistungszentrum (www.nova-institut.de/mih), Hürth.
- Lück, G. u. R. Demuth, 1996: Nachwachsende Rohstoffe: Bedeutung für die Bundesrepublik Deutschland – Eine Übersicht. In: R. Demuth (Hrsg.): Praxis der Naturwissenschaften, Chemie, Nachwachsende Rohstoffe, H 6/45, Sept. 1996, S. 2 - 8, Aulis Verlag Deubner & Co. KG, Köln.
- Mann, S., 1998: Nachwachsende Rohstoffe, Ulmer-Verlag, Stuttgart (Hohenheim).
- Martens, R. u. J. Müssig, 1997: Faserhanf als Beitrag zur Agenda 21 ? – Anbau und regionale Verwertung von Nachwachsenden Rohstoffen. In: Bremer Umwelt Beiträge 6/97, Teil 1, S. 10-12, Bremen.
- Martens, R., 1998: Rohstoffbereitstellung und Faserqualität – Anbau und erntetechnische Einflußfaktoren auf die Faserqualität. Seminar: Bau- und Dämmstoffe aus Hanf: Technik, 30.09.1998 in Bremen. In: nova-institut (Hrsg.): Markt-Innovation-Hanf, MIH-Internetdienstleistungszentrum (www.nova-institut.de/mih), Hürth.
- Mastel, K., K. Stolzenburg, B. Seith, 1998: Untersuchungen zu pflanzenbaulichen, erntetechnischen und ökonomischen Fragen des Anbaus von Faser- und Körnerhanf. In: Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim, LAP (Hrsg.): Informationen für die Pflanzenproduktion, H7/1998, Eigenverlag, Forchheim.
- Mehlich, J. u. J. Müssig, 1998: Wiederentdeckt: Naturwerkstoffe. In: Neue Energien, Nr. 4 1998, H11507, S. 34 - 35.

- Menge-Hartmann, U. u. F. Höppner, 1995: Einfluß variierter Anbaubedingungen auf die Faserausbildung zweier Faserhanfsorten. In: *Landbauforschung Völkenrode*, Jahrg. 45 (1995), H. 4, S. 168 - 176.
- Menge-Hartmann, U. u. F. Höppner, 1997: Einflüsse pflanzenbaulicher Parameter auf Ertrag und Qualität von Faserhanf (*Cannabis sativa* L.). In: Spindler, H: *Ökologische Stoffverwertung*, Fördergemeinschaft Ökologische Stoffverwertung (Hrsg.), Berichte 2/97, S. 80 - 89, Halle (Saale).
- Menge-Hartmann, U. u. F. Höppner, 1999: Evaluierung verschiedener Hanfsorten auf ausgewählte Faserqualitätseigenschaften. In: *Mitt. d. Gesellsch. f. Pflanzenbauwissenschaften*, Bd. 12/1999, S. 179 - 180, Wissenschaftlicher Fachverlag, Giessen.
- Meyer, K.-M., 1999: Starker Zuwachs bei Anbaufläche nachwachsender Rohstoffe. In: nova-institut (Hrsg.): *Markt-Innovation-Hanf*, MIH-Internetdienstleistungszentrum (www.nova-institut.de/mih), 7.7.99, Hürth.
- Müller, R., 1996: Pflanzenschutz in nachwachsenden Rohstoffen. In: BMELF (Hrsg.): *Forschungs Report Ernährung Landwirtschaft Forsten*, 2/1996, Bonn
- Müller, R., A. Schütte und M. Welling, 1996: Nachwachsende Rohstoffe - Ein Überblick. In: BMELF (Hrsg.): *Forschungs Report Ernährung Landwirtschaft Forsten*, 2/1996, Bonn.
- Murphy, D. P., H. Behring, H. Wieland, F. Höppner, 1997: Hanf im Bauwesen. In: *Tagungsband zum NRW-Hanftag, Hanf & Co. – Rohstoffe für eine nachhaltige Entwicklung*, S. 50-59, Braunschweig.
- Murphy, D., 1998: Eignung unterschiedlicher biogener Fasern für die Wärmedämmung. Seminar: *Bau- und Dämmstoffe aus Hanf: Technik*, 09.12.1998 in Bremen. In: nova-institut (Hrsg.): *Markt-Innovation-Hanf*, MIH-Internetdienstleistungszentrum (www.nova-institut.de/mih), Hürth.
- Naturland (Hrsg.), 1997: *Gräfelfinger Thesen 1997: Artenschutz durch Ökologischen Landbau*, Gräfelfing.
- Nebel, K. u. W. Hoffmann, 1998: Gewinnung und Aufbereitung von Flachs- bzw. Hanffasern. In: E. Rottländer (Hrsg.): *Praxis der Naturwissenschaften – Biologie*, H 2/47, 3/98, S. 14 - 21, Aulis Verl. Deubner & Co., Köln.
- Nova-Institut (Hrsg.), IAF/FH Reutlingen, ifeu-Institut Reutlingen, 1996: *Das Hanfproduktlinienprojekt (HPLP): Erarbeitung von Produktlinien auf Basis von einheimischem Hanf – aus technischer, ökonomischer und ökologischer Sicht*. DBU-Projektnr. 07956, Hürth/Köln.
- Quack, D., 1997: Komplexe Zusammenhänge – Ökobilanzen von Gebäuden liefern wichtige Informationen für die Bauleitplanung. In: *Müllmagazin*, J10, N2, S. 11 - 14, Berlin.
- Quadbeck-Seeger, H.-J., 1997: Nachwachsende Rohstoffe – Perspektiven für die chemische Industrie. In: *Schriftenreihe des BMELF (Hrsg.), Reihe A: Angewandte Wissenschaften, Sonderheft: 5. Symposium Nachwachsende Rohstoffe - Perspektiven für die Chemie*, Tagungsband, S. 12 - 18, Köllen Druck+Verlag GmbH, Bonn.
- Reinhardt, G. A., 1996: Zur Ökobilanz von Verpackungen aus nachwachsenden Rohstoffen. In: R. Demuth (Hrsg.): *Praxis der Naturwissenschaften, Chemie, Nachwachsende Rohstoffe*, H 6/45, Sept. 1996, S. 8 - 15, Aulis Verl. Deubner, Köln.

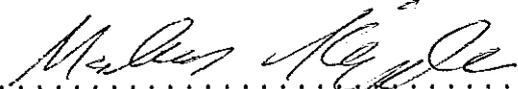
- Renz-Rathfelder, S., 1992: Palmengarten, Faserpflanzen; Graphik: Hr. Schäfer Senckenbergmuseum, Herausgeber Stadt Frankfurt a. M. Zitiert in: Flemming et al., 1995.
- Rottländer, E., 1998: Lein und Hanf. In: E. Rottländer (Hrsg.): Praxis der Naturwissenschaften – Biologie, H 2/47, 3/98, S. 1 - 13, Aulis Verl. Deubner & Co., Köln.
- Saykowski, F. u. M. Marsmann, 1997: Ökobilanzen – Fortschrittsbericht. In: Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung, Z. Umweltchem. Ökotox. 9 (2), S. 112 - 115, ???
- Scharai-Rad, M. und J. Hasch, 1997: Anleitung zum Handeln – Ökobilanzen bieten wichtige Grundlagen für Konzepte zur Altholzverwertung. In: Müllmagazin, J10, N3, S. 19 - 24, Berlin.
- Schilling, Ernst, 1936: Der Hanfbau: Seine wirtschaftliche Bedeutung, Anbau, Gewinnung und Verwertung, Berlin.
- Schnegelsberg, G., 1999: Handbuch der Faser: Theorie und Systematik der Faser, Dt. Fachverl., Frankfurt a.M.
- Schwarz, J., 1998: Ökologie im Bau: Entscheidungshilfen zur Beurteilung und Auswahl von Baumaterialien. Verl. Haupt, Bern, Schweiz.
- Sonnenberg, H., 1999: Pflanzliche Produktions- und Verwendungsalternativen im Nichtnahrungsbereich. In: Jahresbericht 1998 der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) (Hrsg.), S. 148 - 149, Braunschweig.
- Spangenberg, U., 1999: Startschuß zur Hanfernte. In: Landwirtschaftliches Wochenblatt, 34/99, S. 33
- Stadt Münster (Hrsg.), 1995: Endbericht des Beirates für Klima und Energie der Stadt Münster, Teil 1 u. 2, Werkstattberichte zum Umweltschutz 3/1995, Münster
- Stadt Münster, der Oberstadtdirektor, 1996: Bauen in Münster, Aktuelle Informationen zum Wohnungsbau in Münster, Münster.
- Stadt Münster, Die Oberbürgermeisterin, 1999: Öffentliche Beschlußvorlage an den Rat 393/99, Lokale Agenda 21, Münster.
- Städner, F., 1999: Hanf- und Flachsfasern zum halben Preis. In: nova-institut (Hrsg.): Markt-Innovation-Hanf, MIH-Internetdienstleistungszentrum (www.nova-institut.de/mih), 21.7.99, Hürth.
- STMLU (Bayer. Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen), 2000: Umweltlexikon. In: Internetdienstleistung (v. 1.6.00): <http://www.bayern.de/STMLU/lexikon/index.htm>
- Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), 1998: Anbautelegramm für Hanf (*Cannabis sativa* L.) zur Fasernutzung 05/98, Merkblatt der TLL, Jena.
- Tobler, F., 1938: Deutsche Faserpflanzen und Pflanzenfasern, Lehmanns-Verl, München.
- Umweltbundesamt (Hrsg.), 1997: Materialien zu Ökobilanzen und Lebensweganalysen – Aktivitäten und Initiativen des Umweltbundesamtes, Texte 26/97, Berlin.
- Vogl, C. R., J. Heß u. T. Lindenthal, 1997: Herausforderungen im Anbau von Hanf. In: Ökologie und Landbau, 25. Jg., 1/1997, S. 14 - 18, Wien.

- Waskow, F., 1996 Hanf & Co.: Die Renaissance der heimischen Faserpflanzen, Katalyse Institut (Hrsg.), Verlag Die Werkstatt, Göttingen.
- Weber-Heck, P., 1998: Hanfdämmung: Eigenschaften und Perspektiven. In: Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe, Zentrum für nachwachsende Rohstoffe in NRW (Hrsg.): NRW Hanftag 1998, Bauen mit Holz, Hanf und Co., Dokumentation der Fachtagung, Bad Sassendorf, 1998.
- Wenzel, S., 1995: Hanf – Cannabis – Haschisch – Marihuana. In: „Wohnung + Gesundheit“, 12/95, Nr. 77, S. 37 - 39, Neubeuern.
- Wintzer, D., B. Fürniß, S. Klein-Vielhauer, L. Leible, E. Nieke, C. Rösch und H. Tangen, 1993: Technikfolgenabschätzung zum Thema Nachwachsende Rohstoffe, in: Schriftenreihe des BMELF, Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Sonderheft, Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup.
- Zimmer, H., 1996: Wärmedämmstoffe im Vergleich, Umweltinstitut München e.V., München.

Erklärung

„Ich, Markus Küpker, versichere, daß ich die vorliegende Diplomarbeit einschließlich der Tabellen und Abbildungen unter Angabe der Literaturquelle selbst angefertigt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Alle Textstellen, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen sind, habe ich in jedem einzelnen Fall unter genauer Angabe der Quelle deutlich als Entlehnung kenntlich gemacht.“

Münster, 04. Oktober 2000


.....
(Unterschrift)