



Forschungsbericht

Nr. 120

Faserqualität einheimischer Faserpflanzen,
die Bedeutung umweltbedingter Variabilität
für die Ertrags- und Qualitätsbildung
einheimischer Faserpflanzen, sowie
die Methodenentwicklung zur Qualitätsprüfung

Verfasser:

Prof. Dr. Jens Léon (Projektleitung)

Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze Lammers (Projektbetreuer)

Dipl.-Biol. Michaela Haverkamp (Projektbearbeitung)

Dipl.-Ing. agr. Olaf Roller (Projektbearbeitung)

Institut für Pflanzenbau
Professur für Speziellen Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
Institut für Landtechnik
Professur für Systemtechnik in der Pflanzenproduktion

Herausgeber: Lehr- und Forschungsschwerpunkt „Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft“, Landwirtschaftliche Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Endenicher Allee 15, 53115 Bonn
Tel.: 0228 – 73 2297; Fax.: 0228 – 73 1776
www.usl.uni-bonn.de

Forschungsvorhaben im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
Bonn, November 2004

ISSN 1610-2460

Projektleitung: Prof. Dr. Jens Léon
Projektbetreuung: Prof. Dr. Peter Schulze Lammers
Projektbearbeitung: Dipl.-Biol. Michaela Haverkamp
Dipl.-Ing. agr. Olaf Roller

1 Einleitung	1
1.1 Stand des Wissens	2
1.1.1 Produktion: Pflanzenbauliche Faktoren	2
1.1.2 Verarbeitung: Qualitäts- und verarbeitungstechnischen Faktoren	5
2 Zielsetzung	7
3 Material und Methoden	9
3.1 Versuche in Ostwestfalen-Lippe	9
3.1.1 Versuchsstandorte	9
3.1.2 Durchführung der Feldversuche	10
3.2 Versuche auf dem Dikopshof	11
3.2.1 Durchführung der Feldversuche	12
3.3 Durchführung der Feldbonituren an allen Standorten	13
3.3.1 Messungen während der Vegetationsperiode/Prüfmerkmale	13
3.3.2 Messungen und Berechnungen nach der Ernte	14
3.4 Methoden zur Bestimmung der Faserqualitätsparameter	15
3.4.1 Der Feuchtegehalt des Hanfstrohs	16
3.4.2 Der Röstgrad des Hanfstrohs	16
3.4.3 Fasergehalt des Hanfstrohs	17
3.4.4 Bewertung der Laborentholzungsmaschine „Flaksy“	19
3.4.5 Feinheit der Fasern, Faserbündel	20
3.4.6 Festigkeit	21
3.5 Ansätze der Schnelltests	23
3.6 Biometrische Auswertung	25
4 Ergebnisse	26
4.1 Einfluss des Standortes auf die ertragsbestimmenden Faktoren	26
4.1.1 Bedeutung des Faktors Standort	26
4.1.2 Einfluss der Wechselwirkung von Standort * Jahresniederschlag	27
4.2 Einfluss von Standort und Saatstärke	28
4.2.1 Jahreseinfluss auf die Wirkung der Saatstärke am Standort Dikopshof	32
4.3 Einfluss von Standort und Stickstoff-Düngung	35
4.3.1 Jahreseinfluss auf die Wirkung der Stickstoffgabe am Standort Dikopshof	38
4.4 Einfluss der Wechselwirkung von Saatstärke * Stickstoffgabe in OWL	39
4.5 Einfluss des Genotyps	44
4.5.1 Wechselwirkung zwischen Versuchsjahr * Genotyp	46
4.6 Mechanische Bewertung der Untersuchungsgeräte	49
4.6.1 Bewertung der Laborentholzungsmaschine	49

4.6.2 Freilegbarkeit.....	51
4.7 Qualitätsbestimmung	53
4.7.1 Freilegbarkeit.....	53
4.7.2 Reißfestigkeit.....	56
4.7.3 E-Modul	62
5 Diskussion.....	66
5.1 Pflanzenbauliche Einflussfaktoren.....	66
5.1.1 Standort.....	66
5.1.2 Standort und Niederschlag	67
5.1.3 Standort und Saatstärke.....	67
5.1.3.1 Standort Dikopshof und Saatstärke	68
5.1.4 Standort und Stickstoffdüngung	68
5.1.4.1 Standort Dikopshof und Stickstoffdüngung	69
5.1.5 Wechselwirkung von Saatstärke und Stickstoffgabe in OWL.....	69
5.1.6 Sortenversuch	70
5.2 Voruntersuchungen zur Bestimmung der Faserqualität	73
5.2.1 Freilegbarkeit.....	73
5.2.2 Entholungsgrad.....	73
5.3 Qualitätsbestimmung der Fasern.....	74
5.3.1 Freilegbarkeit.....	74
5.3.2 Festigkeit und Feinheitsbezogene Höchstzugkraft.....	75
5.3.3 Elastizitäts-Modul.....	77
5.4 Schnellprüfverfahren zur Qualitätsbestimmung.....	77
5.5 Vergleichende Bewertung.....	79
6 Zusammenfassung	83
7 Übertragung der Ergebnisse in die landwirtschaftliche Praxis	85
8 Literaturverzeichnis.....	86
9 Konsequenzen für weitere Forschungsaktivitäten.....	89
10 Liste über Präsentationen und Vorträge	91
11 Kurzfassung	93

Abbildung 3-1: Monatliche Niederschläge der Standorte in OWL für das Versuchsjahr 2001.....	10
Abbildung 3-2: Monatliche Niederschläge der Standorte in OWL für das Versuchsjahr 2002.....	10
Abbildung 3-3: Monatliche Niederschlagsverteilung des Standortes Dikopshof für die Versuchsjahre 2002 und 2003.	12
Abbildung 4-1: Bestandesdichte (Pfl/m ²) in Abhängigkeit von der Saatstärke an den verschiedenen Standorten.....	28
Abbildung 4-2: Stängeldurchmesser (mm) in Abhängigkeit von der Saatstärke an den verschiedenen Standorten.....	29
Abbildung 4-3: Wuchshöhe (cm) in Abhängigkeit von der Saatstärke an den verschiedenen Standorten.....	29
Abbildung 4-4: Strohertrag (dt/ha) in Abhängigkeit von der Saatstärke an den verschiedenen Standorten.....	30
Abbildung 4-5: Fasergehalt (%) in Abhängigkeit von der Saatstärke an den verschiedenen Standorten.....	31
Abbildung 4-6: Holzgehalt (%) in Abhängigkeit von der Saatstärke an den verschiedenen Standorten.....	31
Abbildung 4-7: Stängeldurchmesser (mm) im Jahresvergleich in Abhängigkeit von der Saatstärke für den Standort Dikopshof.....	33
Abbildung 4-8: Wuchshöhen (cm) im Jahresvergleich in Abhängigkeit von der Saatstärke für den Standort Dikopshof.....	33
Abbildung 4-9: Stroherträge im Jahresvergleich in Abhängigkeit von der Saatstärke für den Standort Dikopshof.....	34
Abbildung 4-10: Fasergehalte (%) im Jahresvergleich in Abhängigkeit von der Saatstärke für den Standort Dikopshof.....	34
Abbildung 4-11: Bestandesdichte (Pfl/m ²) in Abhängigkeit von der N-Düngung an den verschiedenen Standorten.	35
Abbildung 4-12: Wuchshöhe (cm) in Abhängigkeit von der Saatstärke an den verschiedenen Standorten.....	36
Abbildung 4-13: Stängeldurchmesser (mm) in Abhängigkeit von der N-Düngung an den verschiedenen Standorten.....	36
Abbildung 4-14: Strohertrag (dt/ha) in Abhängigkeit von der N-Düngung an den verschiedenen Standorten.....	37
Abbildung 4-15: Fasergehalt (%) in Abhängigkeit von der N-Düngung an den verschiedenen Standorten.....	37
Abbildung 4-16: Stängeldurchmesser (mm) im Vergleich der beiden Versuchsjahre für die Standorte in OWL (Saatstärke 216 kK/m ² und 60 kg/ha N).....	40
Abbildung 4-17: Wuchshöhe (cm) im Vergleich der beiden Versuchsjahre für die Standorte in OWL (Saatstärke 216 kK/m ² und 60 kg/ha N).....	41
Abbildung 4-18: Strohertrag (dt/ha) im Vergleich der beiden Versuchsjahre für die Standorte in OWL (Saatstärke 216 kK/m ² und 60 kg/ha N).....	41
Abbildung 4-19: Stängeldurchmesser (mm) im Vergleich der beiden Versuchsjahre für die Standorte in OWL (Saatstärke 108 kK/m ² und 120 kg/ha N).....	42
Abbildung 4-20: Wuchshöhe (cm) im Vergleich der beiden Versuchsjahre für die Standorte in OWL (Saatstärke 108 kK/m ² und 120 kg/ha N).....	42
Abbildung 4-21: Strohertrag (dt/ha) im Vergleich der beiden Versuchsjahre für die Standorte in OWL (Saatstärke 108 kK/m ² und 120 kg/ha N).....	43
Abbildung 4-22: Strohertrag (dt/ha) in Abhängigkeit von verschiedenen Genotypen.	45

Abbildung 4-23: Phänomen der Selbstausdünnung in Abhängigkeit von den verschiedenen Genotypen. Die Genotypen sind in allen folgenden Abbildungen anhand ihres Strohertrages (Abbildung 4-22) sortiert.	45
Abbildung 4-24: Zunahme des Stängelwachstums im Verlauf der Vegetationsperiode in Abhängigkeit von den verschiedenen Genotypen.	46
Abbildung 4-25: Stängeldurchmesser der Genotypen in Abhängigkeit von den Versuchsjahren auf dem Dikopshof.	47
Abbildung 4-26: Wuchshöhe (cm) der Genotypen in Abhängigkeit von den Versuchsjahren auf dem Dikopshof.	47
Abbildung 4-27: Strohertrag (dt/ha) der Genotypen in Abhängigkeit von den Versuchsjahren auf dem Dikopshof.	48
Abbildung 4-28: Verteilung der Restschäbengehalte prozentual zum Gesamtschäbengehalt.	49
Abbildung 4-29: Restschäbengehalte der 74 untersuchten Entholzungsproben aufsteigend sortiert.	51
Abbildung 4-30: Voruntersuchungen der Freilegbarkeit in drei Größenklassen nach Methode Heyland und Kromer des <i>Methodenbuch Industriefaserleins</i>	52
Abbildung 4-31: Voruntersuchungen der Freilegbarkeit in drei Größenklassen nach Methode Faserinstitut Bremen (FIBRE).	52
Abbildung 4-32: Freilegbarkeit aller entholzten Proben aus den Jahren 2001 bis 2003.	53
Abbildung 4-33: Freilegbarkeit der entholzten Proben vom Dikopshof (Wesseling).	54
Abbildung 4-34: Freilegbarkeit der verschiedenen Praxisstandorte vom Anbaujahr 2001 und 2002 mit der Anbauvariante 108 kK/m ² und 120 kg N/ha.	54
Abbildung 4-35: Freilegbarkeit der verschiedenen Praxisstandorte vom Anbaujahr 2001 und 2002 mit der Anbauvariante 216 kK/m ² und 60 kg N/ha.	55
Abbildung 4-36: Freilegbarkeit der verschiedenen Sorten Versuchsstandort Dikopshof; Wesseling.	55
Abbildung 4-37: Feinheitsbezogene Höchstzugkraft bei der Sorte Fedora 17 über drei Jahre mit einer Stickstoffdüngung von 120 kg/ha.	56
Abbildung 4-38: Feinheitsbezogene Höchstzugkraft bei der Sorte Fedora 17 über drei Jahre mit einer Saatstärke von 216 kK/m ²	57
Abbildung 4-39: Vergleich der feinheitsbezogenen Höchstzugkraft verschiedener Praxisschläge im Jahr 2001 mit 216 kK/m ² und 60 kg N/ha.	58
Abbildung 4-40: Vergleich der feinheitsbezogenen Höchstzugkraft verschiedener Praxisschläge im Jahr 2002 mit 108 kK/m ² und 120 kg N/ha.	58
Abbildung 4-41: Vergleich der feinheitsbezogenen Höchstzugkraft verschiedener Praxisschläge im Jahr 2002 mit 216 kK/m ² und 60 kg N/ha.	59
Abbildung 4-42: Vergleich der feinheitsbezogenen Höchstzugkraft verschiedener Praxisschläge im Jahr 2002 mit 108 kK/m ² und 120 kg N/ha.	59
Abbildung 4-43: Sortenvergleich bezüglich der feinheitsbezogenen Höchstzugkraft im Jahr 2001.	60
Abbildung 4-44: Sortenvergleich bezüglich der feinheitsbezogenen Höchstzugkraft im Jahr 2002.	61
Abbildung 4-45: Sortenvergleich bezüglich der feinheitsbezogenen Höchstzugkraft im Jahr 2003.	61
Abbildung 4-46: E-Modul in Abhängigkeit vom Standort bei einer Aussaatstärke von 108 kK/m ² und einer Düngung von 120 kg N/ha.	62

Abbildung 4-47: E-Modul in Abhängigkeit vom Standort bei einer Aussaatstärke von 216 kK/m ² und einer Düngung von 60 kg N/ha.	63
Abbildung 4-48: Sortenvergleich bezüglich des E-Moduls im Jahr 2001.	64
Abbildung 4-49: Sortenvergleich bezüglich des E-Moduls im Jahr 2002.	64
Abbildung 4-50: Sortenvergleich bezüglich des E-Moduls im Jahr 2003.	65

Tabelle 3-1:	Charakterisierung der Versuchsflächen in OWL.....	9
Tabelle 3-2:	Hanfsorten und ihre Eigenschaften	13
Tabelle 3-3:	Technische Daten der Laborentholzungsmaschine „Flaksy“	18
Tabelle 4-1:	Darstellung der im Mittel erreichten ertragsbestimmenden Parameter für die jeweiligen Standorte.....	27
Tabelle 4-2:	Darstellung der Signifikanzen in Abhängigkeit von der Saatstärke.....	32
Tabelle 4-3:	Darstellung der Signifikanzen im Jahresvergleich in Abhängigkeit von der Stickstoffgabe für den Standort Dikopshof.	38
Tabelle 4-4:	Darstellung der zwischen Aussaat und Ernte gefallenen Niederschlagsmengen für die jeweiligen Standorte der beiden Versuchsjahre.	39
Tabelle 4-5:	Darstellung der im Mittel erreichten ertragsbestimmenden Parameter für die verschiedenen Genotypen.	44
Tabelle 4-6:	Anteil der an den Fasern anhaftenden Restschäben am Gesamtschäbengehalt bei Unterteilung in zwei Durchmesserklassen.	50
Tabelle 4-7:	Anteil der an den Fasern anhaftenden Restschäben am Gesamtschäbengehalt bei Unterteilung in drei Durchmesserklassen.	50
Tabelle 4-8:	Freilegbarkeit der Methoden FIBRE und <i>Methodenbuch Industriefaserlein</i>	53
Tabelle 4-9:	Feinheitsbezogene Höchstzugkraft der Sorte Fedora 17 über alle Anbaujahre und Standorte.....	56
Tabelle 5-1:	Wuchshöhen der verschiedenen Hanfsorten für die Versuche des Dikopshof und der LWK Hannover.	71
Tabelle 5-2:	Vergleichende Darstellung der Leistungen im Jahr 2001 für die Behandlung A: 108 kK/m ² und 120 kg/ha Stickstoffgabe und B: 216 kK/m ² und 60 kg/ha Stickstoffgabe (grau unterlegt).	79
Tabelle 5-3:	Vergleichende Darstellung der Leistungen im Jahr 2002 für die Behandlung A: 108 kK/m ² und 120 kg/ha Stickstoffgabe und B: 216 kK/m ² und 60 kg/ha Stickstoffgabe (grau unterlegt).....	80
Tabelle 5-4:	Vergleichende Darstellung der Leistungen der untersuchten Sorten in den Jahren 2001 bis 2003 im Bezug auf den E-Modul und die feinheitsbezogene Höchstzugkraft.....	81
Tabelle 5-5:	Vergleichende Darstellung der Leistungen der untersuchten Sorten in den Jahren 2002 und 2003 im Bezug auf die Wachstumsparameter, Strohertrag und Festigkeit.	82

1 Einleitung

Für die einheimische Landwirtschaft bietet der Anbau von Faserpflanzen als nachwachsende Rohstoffe zur Produktion von z. B. Faserverbundwerkstoffen und Dämmstoffen eine Vielzahl von Vorteilen. Neben der Erweiterung von Fruchtfolgen im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung und der Erhöhung der Biodiversität im ländlichen Raum ergeben sich Einkommensalternativen, durch die in der Landwirtschaft Arbeitsplätze geschaffen werden und die Funktion des ländlichen Raumes erhalten bleibt. Auch ist der Anbau von Faserhanf aus ökologischer Sicht positiv zu bewerten, weil Hanf gegenüber anderen Kulturpflanzen einen deutlich verminderten Stickstoff-Bedarf aufweist, den Boden unkrautfrei hinterlässt und der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln nicht nötig ist (DIEPENBROCK et al. 1999). Auch das Spritzen mit anderen künstlichen Pflanzenschutzmitteln kann weitgehend unterbleiben, da die Hanfpflanze den meisten Schädlingen wie Viren, Bakterien, Pilzen, Nematoden und Insekten aus eigener Kraft überdurchschnittlich gut widerstehen kann.

Der Hanf ist eine hervorragende Pionierpflanze nach dem Umbruch von Ödland und bietet Vorteile für eine extensive und ökologische Landwirtschaft, da er organischen Dünger gut verwertet und kein Pflanzenschutzmitteleinsatz notwendig ist (HÜTTL 2001). In diesem Zusammenhang ist auch der N-Entzug aus dem Boden in Wasserschutzgebieten, als auch das CO₂-Fixierungsvermögen aus ökologischen Gründen ein wichtiger Bewertungsmaßstab, wodurch die starke ökologische Anpassungsfähigkeit dieser Kulturpflanze zum Ausdruck kommt.

Das Forschungsprojekt *„Vergleichende Bewertung der Leistungspotentiale und Faserqualität verschiedener Faserpflanzen und Entwicklung von umweltverträglichen Anbauverfahren zur Produktion von qualitativ hochwertigen Industriefasern“* (USL Forschungsbericht Nr. 82 PNr. 33105) zeigte standortbedingte Differenzen im Entwicklungs- und Abreifeverlauf des Hanfes auf. Auch die Fortführung der Versuche des einjährigen Forschungsprojekts *„Faserqualität einheimischer Faserpflanzen (Hanf) – Bewertung von Rohstoff und Endprodukt“* lieferten keine eindeutigen Aussagen zu dieser Frage. Der Zusammenhang von Standort und Rohstoffqualität soll nun durch mehrjährige Arbeiten in der Bedeutung für die Ertragssicherheit überprüft werden. Dabei ist nur durch die Erfassung exakter Anbaudaten und die Analyse von Pflanzenentwicklung, Ertrags- und Qualitätsbildung eine Abstimmung zwischen Erzeuger, Zwischenverarbeiter und Endprodukthersteller im Hinblick auf die Produktion hochwertiger Fasern und Faserprodukte möglich.

1.1 Stand des Wissens

Nachwachsende Rohstoffe gehören zu den wichtigsten Themen unserer Zeit. Als einheimische Faserpflanzen kommen unter den Klimabedingungen Deutschlands Faserhanf, Faser- und Industrielein sowie Nessel für die Landwirtschaft in Betracht (VON FRANKEN-WELZ 2003), wobei Faserhanf das größte Potential für NRW aufweist. Unabhängig von den Importen aus Übersee könnte die heimische Landwirtschaft mit kurzen Transportwegen und damit verminderten Kosten bei gleich bleibender Qualität die Industrie mit Fasern beliefern und sich so neue Einkommensalternativen sichern. Jedoch ist für die Etablierung des Rohstoffes Hanf besonders die Kenntnis der Ursachen für Ertrags- und Qualitätsdifferenzen die Voraussetzung für die Optimierung des Anbaus und damit die Erweiterung der Produktion von qualitativ hochwertigen Naturfasern.

Der Hanfanbau in Deutschland ist erst seit 1996 wieder erlaubt, sodass jahrzehntelange Erfahrungen für Anbau, Ernte und Verarbeitung nicht vorliegen. Doch ist Hanf eine interessante alternative Faserpflanze für die einheimische Landwirtschaft, da die Ansprüche an die Bestandesführung ebenso wie die Anfälligkeit gegenüber Krankheiten und unerwünschten Beikräutern im Allgemeinen niedriger als die des Faserleins eingestuft werden.

Neben den Untersuchungen an landwirtschaftlichen Instituten sind Erfahrungen im Praxisanbau außerordentlich wichtig, welche im Rahmen dieses Projektes in Kooperation mit der Erzeugergemeinschaft für Öl- und Faserpflanzen zur technischen Verwendung w. V. gewonnen werden sollen.

1.1.1 Produktion: Pflanzenbauliche Faktoren

Obwohl Hanf auch als Pionierpflanze, ohne große Ansprüche wachsen kann, benötigt er dennoch für eine ertragsreiche Ernte und die Erzeugung einer hervorragenden Faserqualität einen nährstoffreichen Standort (JAHN-DEESBACH 1965, BASSETTI et al. 1998, BÓCSA et al. 2000). KÖRBER-GROHNE (1987) und BÓCSA et al. (2000) geben als Voraussetzungen für einen erfolgreichen Hanfanbau tiefgründige, humose Böden mit einer ausreichenden Wasserversorgung an. Das pflanzenverfügbare Wasser ist für das Wachstum der Pflanze unabdingbar, daher ist für die Bewertung sowohl die Summe als auch die Häufigkeit und Verteilung der Niederschlagsereignisse zu berücksichtigen.

Das Saatbett muss aufgrund der Saatgutgröße feinkrümelig sein. Die Aussaat erfolgt Ende April bis Mitte Mai, wenn die durchschnittliche Bodentemperatur 8-10 °C beträgt. Dies ermöglicht eine gleichmäßige Keimung und eine Förderung der Jungpflanzenentwicklung. Eine späte Aussaat nach Ende Mai bewirkt einen Ertragsrückgang (BÓCSA et al. 2000), u. a. weil

Hanf eine Kurztagspflanze ist und somit beim Übergang von längeren zu kürzeren Tagen mit einsetzender Blüte (MASTEL et al. 1998) reagiert und infolge das Größenwachstum einstellt (MEDIAVILLA et al. 1998).

Neben den Bodenverhältnissen und den Klimabedingungen haben die pflanzenbaulichen Faktoren einen prägenden Einfluss auf den Hanfanbau.

Das Nährstoffangebot hat einen wesentlichen Einfluss auf das vegetative Wachstum der Hanfpflanzen. Infolge der kurzen Vegetationsdauer, werden schnell große Mengen an Biomasse gebildet, sodass alle notwendigen Nährstoffe, im Besonderen **Stickstoff** ausreichend vorliegen müssen. Hanf verwertet Stickstoff bis kurz vor der Reife (BÓCSA et al. 2000). RÖRICH et al (1997) hat infolge einer verdoppelten Stickstoffgabe (60 kg/ha auf 120 kg/ha) einen ertragswirksamen Einfluss festgestellt. Demnach bestimmt das Angebot des Nährstoffes Stickstoff die Blattmasse, das Wachstum mit Stängeldicke und Größenzunahme und hat somit einen bedeutenden Effekt auf den Ertrag und die Qualität von Hanf (VAN DER WERF 1994 und JAHN-DEESBACH 1965). Ein geringes Stickstoffangebot führt zu einem rascheren Übergang in die generative Phase und reduziert in der Folge den Ertrag. Ein Stickstoffüberangebot führt hingegen zu einer geringeren Stängelzahl in Kombination mit größerem Stängeldurchmesser (HÖPPNER & MENGE-HARTMANN 1994, MEDIAVILLA et al. 1998), einer Verlängerung der Vegetationszeit und Qualitätseinbußen bei der Faserqualität (MASTEL et al. 1998). Faserhanf kann deutlich mehr Stickstoff in Ertrag überführen als Lein (PÖRKSEN 1991), was auf den teilweise sehr stickstoffreichen Böden im Ostwestfälischen (Tabelle 3-1, S. 9) von Vorteil ist.

Die Ertrags- und Qualitätsbildung wird neben der Stickstoffdüngung sowohl durch die Wahl der Saatstärke als auch durch die Sorte beeinflusst.

Die Auswahl der **Saatstärke** ist von vielen Faktoren u. a. der Bodenbeschaffenheit, dem Unkrautdruck und der Verwendungsrichtung abhängig. LOHMEYER (1997) geht bei der Anbauempfehlung für NRW von einer Aussaatmenge von 40 kg/ha zur Fasernutzung aus. Eine Erhöhung der Saatstärke führte in Untersuchungen von KRÜGER (2000) nicht zu Ertragsunterschieden, auch wurden bei MÜNZER (1999) keine ansteigenden Erträge erzielt. Jedoch wirkt sich die Saatstärke auf die Stängeldurchmesser der Hanfpflanzen aus. Mit Zunahme der Bestandesdichte werden schlankere Stängel ausgebildet (KRÜGER 2000, LISSON & MENDHAM 2000). Der Stängeldurchmesser wird mit 4-9 mm angegeben (Bócsa et al. 2000). Als erstklassiger, den industriellen Anforderungen entsprechender Stängeldurchmesser werden Stängel ≤ 10 mm definiert (KARUS et al. 2000). Um den Stängeldurchmesser dementsprechend zu gewährleisten, gibt der Erstverarbeiter in NRW (NafiTech jetzt

HAV NafiTech GmbH) eine Empfehlung der Saatmenge von 35 – 40 kg/ha an die Landwirte weiter.

Im Zusammenhang mit der Saatstärke zeigt Hanf das Phänomen der **Selbstauddünnung** (engl.: Self-thinning), welches bei steigender Bestandesdichte zu einer Reduktion der Pflanzenanzahl im Laufe der Vegetationsperiode führt (VAN DER WERF 1994, MEIJER 1995, LISSON & MENDHAM 2000). Untersuchungen von MEDIAVILLA et al. (1998) ermittelten einen Rückgang der Pflanzen um bis zu 60 %, was auch durch die Arbeiten von VON FRANKENWELZ (2003) bestätigt wurde. Neben der Saatstärke scheint auch eine erhöhte Stickstoffdüngung die Selbstauddünnung zu verstärken (MEDIAVILLA et al. 1998, STRUIK et al. 2000).

Ein besonderes Augenmerk sollte auch auf die Wahl der **Hanfsorte** gelegt werden. Die Sorten weisen eine sehr große genetische Variabilität auf, daher muss bereits vor der Auswahl der Sorte die spätere Verwendungsrichtung bedacht werden. Für die in NRW angestrebte Faserproduktion sollte die angebaute Sorte durch einen hohen Stängelерtrag mit hohem Fasergehalt sowie niedrigem Stängeldurchmesser charakterisiert sein (BÓCSA et al. 2000). Die Hanfsorten unterscheiden sich aus pflanzenbaulicher Sicht jedoch vor allem durch ihr zeitlich unterschiedliches Abreifeverhalten, womit der Zeitpunkt der Samenreife definiert ist. Folglich lassen sich frühe, mittelfrühe, mittelspäte, späte und sehr späte Sorten unterscheiden. (MEDIAVILLA et al. 1999, HÖPPNER & MENGE-HARTMANN 2000). Dementsprechend muss bei der Sortenwahl auch das herrschende Klima des Anbaugebietes, vor allem zum Zeitraum der Ernte (August - September) beachtet werden.

Die Hauptphase des Wachstums liegt bei Hanf im Juni und Juli, sodass ein früher Reifezeitpunkt vor allem die Pflanzenhöhe und die Biomasseproduktion beeinflusst. Folglich weisen frühreife Sorten wie **Uso 31** geringere Wuchshöhen als spätreife Sorten (**Epsilon 68**) auf, was die Untersuchungen von HÖPPNER & MENGE-HARTMANN (2000) und MEDIAVILLA et al. (1999) bestätigen. Die Trockenmasse-Erträge der Hanfsorten schwanken zwischen 72 dt/ha und 180 dt/ha wobei die hohen Erträge von spätreifen Sorten erreicht wurden (HÖPPNER & MENGE-HARTMANN 1996, 1999, 2000, KRÜGER et al. 2000, STRUIK et al. 2000). Es wurden für den Ertrag sogar Unterschiede von bis zu 50 % ermittelt (VON BUTTLAR et al. 1997). Dementsprechend wurden in den Versuchen von VON BUTTLAR et al. (1997) und MÜNZER (1999) die Standort- und Jahreseinflüsse übereinstimmend von den Unterschieden zwischen den Sorten übertroffen.

Mit der Variation und der Einflussnahme durch die pflanzenbaulichen Faktoren auf die qualitätsbestimmenden Faktoren der angebauten Kulturpflanze versucht der Landwirt ein optimales Kosten-Nutzen-Verhältnis mit möglichst hohem Ertrag zu erwirtschaften. Die Größe „Ertrag“ beinhaltet den Fasergehalt, welcher bei Hanf zwischen 26 % und 36 % des

Ertrages ausmacht (HÖPPNER & MENGE-HARTMANN 2000). Weitaus niedrigere Fasergehalte von 19 % bis 30 % sind allerdings durchaus möglich (HÖPPNER & MENGE-HARTMANN 1995, LÉON et al. 2000). Der Fasergehalt wird ebenfalls durch die pflanzenbaulichen Maßnahmen beeinflusst. Die höchsten Fasergehalte liefern die spätreifen Sorten. Eine Erhöhung der Saatstärke lässt den Fasergehalt ansteigen (VAN DER WERF 1991) ebenso eine optimierte Stickstoffgabe (HÖPPNER & MENGE-HARTMANN 1994, MEDIIVILLA 1998). Jedoch führen laut KRÜGER et al. (2000) überhöhte Stickstoffgaben zu einem Rückgang der Fasergehalte.

Hanffasern zeichnen sich vor allem durch eine hohe Reißfestigkeit aus, die in nassem Zustand sogar noch höher ist. Obwohl Hanffasern oft nur als grobes Seil oder schwerer Stoff bekannt sind, stellte man früher auch sehr feine Hanfgewebe her. Heute wird diese Faserpflanze zu verschiedenen Baumaterialien verarbeitet, wobei aber der wichtigste Einsatzbereich der in Deutschland produzierten Hanffasern nach wie vor die Automobilindustrie ist. In diesem Bereich ist der Naturfasereinsatz seit 1996 von 4.000 t auf 13.000 t angestiegen und für das Jahr 2004 wird der Einsatz von 18.000 t erwartet (KARUS et al. 2004). Als neuer Absatzmarkt ist in dieser Studie auch der Bioplastiksektor prognostiziert worden.

Obwohl die Vorteile des Anbaus und des Einsatzes der vielfältig verwendbaren Kulturpflanze Hanf einst sehr geschätzt wurde, ist die Produktion momentan rückläufig. Die Faseraufschlussanlagen für Flachs und Hanf sind in Deutschland von 30 erstverarbeitenden Betrieben (KARUS 2000) auf heute nur noch wenige zurückgegangen. Auch der Kooperationspartner dieses Projektes, die NafiTech GmbH hat zum Jahr 2003 den Aufschluss von Hanffasern im Kalletal eingestellt. Jedoch ist mittlerweile die HAV NafiTech GmbH in Werther/Westf. mit dem Ziel, die Faserproduktion in NRW zu übernehmen, im Aufbau.

Der aufgezeigte multifaktorielle Einfluss der Sorte, des Standortes und der Stickstoffdüngung wurde bisher innerhalb mehrjähriger Versuche auf die Ertragsbildung und damit auf eine beständige Faserqualität kaum erforscht. Welche Bedeutung die pflanzenbaulichen Einflussfaktoren auf die Ausprägung der Qualitätseigenschaften haben, konnte durch die wenigen vorliegenden Untersuchungen noch nicht ausreichend geklärt werden.

1.1.2 Verarbeitung: Qualitäts- und verarbeitungstechnischen Faktoren

Die **Hanfernte** erfolgt in Deutschland ausschließlich als Trockengutkette. Dafür wird der Bestand mit einem reihenunabhängigen Maisschneidwerk gemäht und einer modifizierten Häckseltrommel zugeführt, die die Stängel auf ca. 60 cm einkürzt. Um die Körner mitnutzen zu können, wurde von den Firmen Deutz-Fahr Erntesysteme GmbH und Gerhard Götz GmbH ein Prototyp eines Hanfvollernters entwickelt. Hierbei wird lediglich der Gutstrom,

bevor er abgelegt wird, durch einen Mähdrescher geführt, der nach herkömmlichem Schüttlersystem die Körner ausdrischt.

Das Stroh wird auf dem Feld getrocknet und je nach Witterung ein- bis zweimal mit einem Schwader gewendet.

Zum Teil wurde versucht, Hanf aufgrund des hohen Witterungsrisikos feucht als Silage zu konservieren. Die Faserqualität wird bei der Feuchtkonservierung nach bisherigem Kenntnisstand gemindert. In wie weit dies sich auf die Verwendbarkeit der Fasern und Schäben auswirkt, befindet sich zurzeit noch in Klärung (GUSOVIVUS 2002). Im Bezug auf das Qualitätsmanagement im Naturfaseranbau ist dies in Gebieten mit hoher Niederschlags-erwartung während der Ernteperiode ebenfalls von großem Interesse.

Am Institut für Landtechnik laufen in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Bingen und dem Dienstleistungs-Zentrum Ländlicher Raum Hunsrück-Nahe Versuche zur Feuchtentholzung auf dem Feld mit anschließender Trocknung und Trennung von Fasern und Schäben.

Dieses Verfahren wird als eine weitere Möglichkeit angesehen, entweder die Kosten der Ernte zu reduzieren oder dem Landwirt die erste Stufe der Veredelung des Hanfstrohs zu überlassen. Dies bedeutet, dass der Landwirt zum Faser- und Schäbenverkäufer wird. Da hier allerdings noch umfangreiche Untersuchungen erforderlich sind, müssen sich die Aussagen dieses Berichtes wie im Forschungsantrag beschrieben auf die Standorte, Umwelteinflüsse, Wahl der Sorten und die Möglichkeiten der Variation in der Saatstärke und Stickstoffdüngung begrenzen.

2 Zielsetzung

Die im Rahmen des Forschungsprojektes „*Faserqualität einheimischer Faserpflanzen (Hanf) – Bewertung von Rohstoff und Endprodukt*“ gewonnenen Erkenntnisse zur Optimierung der Rohstoffproduktion der Faserpflanze Hanf sollen überprüft und ergänzt werden.

Anhand der mehrjährigen Versuchsdauer sollen mit Hilfe von Analysen Zusammenhänge zwischen Rohstoffproduktion und Faserqualität beurteilt werden, um so durch eine umweltverträgliche, standortgerechte Anbauoptimierung die Produktion von optimalen Rohstoffqualitäten zu gewährleisten.

Die folgenden Fragenkomplexe wurden im Einzelnen bearbeitet:

Optimierung der Anbauverfahren zur Produktion hochwertiger Industriefasern aus einheimischem Hanf

a) Einfluss des Standortes

Es ist davon auszugehen, dass die Ertrags- und Qualitätsbildung deutlich durch den Einfluss des Standortes bestimmt wird. Zur Beurteilung dieser Parameter werden identische pflanzenbauliche Maßnahmen an den verschiedenen Standorten angewandt, um so die Auswirkungen der Jahreswitterung und des Standorteinflusses zu untersuchen.

b) Einfluss der Saatstärke

Es soll die Frage geklärt werden, ob eine Reduzierung der Saatmenge einen Einfluss auf die Ertrags- und Qualitätsbildung hat. Insbesondere die Entwicklung der Pflanzen und deren optimale Weiterverarbeitung stehen dabei im Vordergrund. Eine Einsparung von Saatgutkosten bei gleich bleibender Qualität hätte betriebliche Vorteile.

c) Einfluss der Stickstoffdüngung

Eine Stickstoffdüngung erfolgt in Abhängigkeit der standortspezifischen Gegebenheiten. Hierbei sollen sowohl die Auswirkungen auf die Trockenmassebildung, als auch die Kombination von unterschiedlichen Stickstoffgaben und Saatstärken untersucht werden.

d) Einfluss der Sorte

Durch den Vergleich der Sorten ist es möglich zu klären, ob die Ertragsbildung von Faserhanf durch sortenspezifisches Verhalten bestimmt wird.

e) Einfluss der pflanzenbaulichen Parameter auf die Faserqualität

Wie wirken sich die Standorte, Stickstoffdüngung und Sorten auf die Faserqualität aus?

f) Entwicklung von Schnellprüfverfahren

Welche Möglichkeiten gibt es, die bestehenden Qualitätskriterien von Naturfasern schneller zu bestimmen als bisher?

3 Material und Methoden

Für die Untersuchungen des Einflusses der umweltbedingten Variabilität von Faserhanf auf die Ertrags- und Qualitätsbildung sind mehrjährige und mehrortige Versuche durchgeführt worden, die in diesem Kapitel näher beschrieben werden.

3.1 Versuche in Ostwestfalen-Lippe

Durch die Zusammenarbeit mit der „Erzeugergemeinschaft für Öl- und Faserpflanzen zur technischen Verwendung w. V.“ (EZG) war es möglich, Versuche auf Praxisschlägen im Raum Ostwestfalen-Lippe (OWL) durchzuführen.

3.1.1 Versuchsstandorte

Die Standorte in Ostwestfalen-Lippe sind in den Versuchsjahren 2001 und 2002 untersucht worden (Tabelle 3-1, grau unterlegt), auch sollen die Ergebnisse des Forschungsprojektes „Faserqualität einheimischer Faserpflanzen (Hanf) – Bewertung von Rohstoff und Endprodukt“ des Jahres 2000 mit berücksichtigt werden.

Tabelle 3-1: Charakterisierung der Versuchsflächen in OWL.

Standort	Versuchsjahr	Höhe über NN (m)	Ø Jahresniederschlag (mm)	Bodenart	Ackerzahl
Delbrück	2000	100	750	Sand	20
Delbrück	2001	100	725	Sand	24
Detmold	2001 + 2002	136	720	Sand	35
Haus Düsse	2001 + 2002	70	770	Lehmiger Schluff	67
Kalletal	2000	300	850	Lehm	50
Steinhagen	2000	137	890	Sand	13
Versmold	2001 + 2002	70	750	Humoser Sand	26
Werther	2000	130	890	Sandiger Lehm	69
Werther	2001 + 2002	130	850	Lehmiger Sand	69

Legende: Der Standort Delbrück stand aufgrund von Änderungen in den rechtlichen Rahmenbedingungen für den Faserhanfanbau auf Stilllegungsflächen im Jahr 2002 nicht mehr zur Verfügung.

In den folgenden zwei Graphiken ist ein Vergleich der monatlichen Niederschläge der Versuchsjahre bzw. Vegetationsperioden 2001 und 2002 für die Standorte in OWL wiedergegeben.

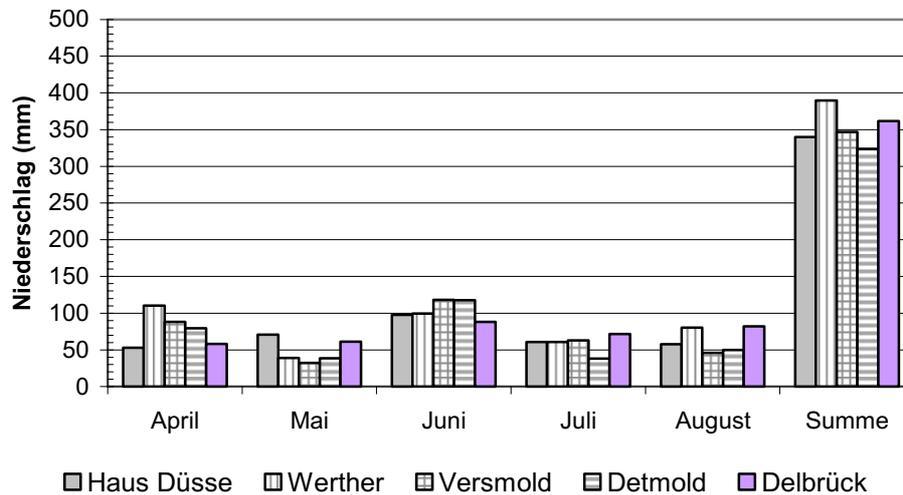


Abbildung 3-1: Monatliche Niederschläge der Standorte in OWL für das Versuchsjahr 2001.

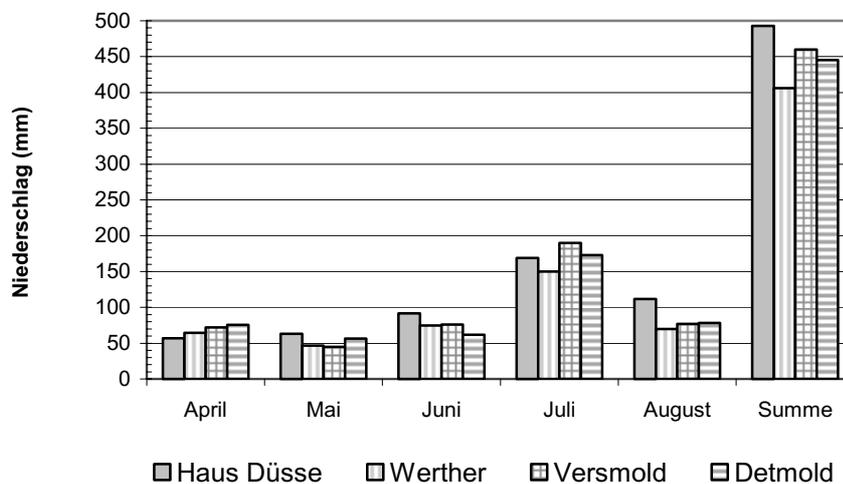


Abbildung 3-2: Monatliche Niederschläge der Standorte in OWL für das Versuchsjahr 2002.

3.1.2 Durchführung der Feldversuche

Als Versuchsparameter sind auf den verschiedenen Standorten die Versuchsjahre, die Saatstärke und die Stickstoffdüngung untersucht worden. Dazu wurden Versuchsquadratmeter angelegt. Aufgrund der Größe der Praxisschläge wurde auf den Standorten in OWL jeweils ein Quadratmeter an jeder Feldseite angelegt, um die Heterogenität des Schlages

berücksichtigen zu können. Die Versuchsquadrate lagen mindestens 15 m vom Rand des Schlages entfernt.

Saatstärkenversuch

Zur Erfassung der umweltspezifischen Variabilität in der Entwicklung der Faserpflanze Hanf wurde auf allen Standorten in OWL die Sorte **Fedora 17** angebaut.

Um den Einfluss der Pflanzenanzahl auf das Wachstumsverhalten und damit auf die Ausbildung der Faser und ihrer Qualität beurteilen zu können, sind 108 kK/m² (keimfähige Körner pro Quadratmeter) und 216 kK/m² auf den Standorten in OWL ausgesät worden. Dies entspricht einer praktikablen Aussaatmenge von 20 kg/ha und 40 kg/ha, wobei sowohl die Keimfähigkeit des Saatgutes als auch der zu erwartende Feldaufgang mit einbezogen ist.

N-Düngungsmanagement

Die Einflussnahme der variierenden Stickstoffgaben auf die Pflanzenentwicklung und damit auf die Homogenität des Pflanzenbestandes sowie die Ertragsbildung und die Faserqualität wurde mit diesem Versuchsansatz untersucht. Die Stickstoffdüngungen wurden in den Stufen 60 kg/ha und 120 kg/ha für die Standorte in OWL variiert und in einer Gabe nach dem Auflauf verabreicht. Als Versuchsdesign ist eine Blockanlage ohne Wiederholung gewählt worden.

3.2 Versuche auf dem Dikopshof

Als zusätzliche Umwelt wurde in den Versuchsjahren 2002 und 2003 die Lehr- und Versuchsanstalt Dikopshof der Universität Bonn genutzt.

Der Dikopshof der Universität Bonn ist in der Köln-Aachener Bucht auf einer Mittelterrasse des Rheins bei Wesseling zu finden. Er befindet sich auf einer Höhe von 62 m über NN. Die einheitlichen Böden bestehen aus Parabraunerde auf umgelagertem Löß und haben im Durchschnitt eine Ackerzahl von 80. Das Niederschlagsmittel liegt bei 634 mm bei einer durchschnittlichen Temperatur von 9,7 °C. In Abbildung 3-3 sind vergleichend die Niederschlagsmengen innerhalb der Vegetationsperioden der beiden Versuchsjahre dargestellt. In der Niederschlagssumme unterscheiden sich die Versuchsjahre kaum, auch wenn die monatliche Verteilung der Niederschlagsmengen deutlich variiert.

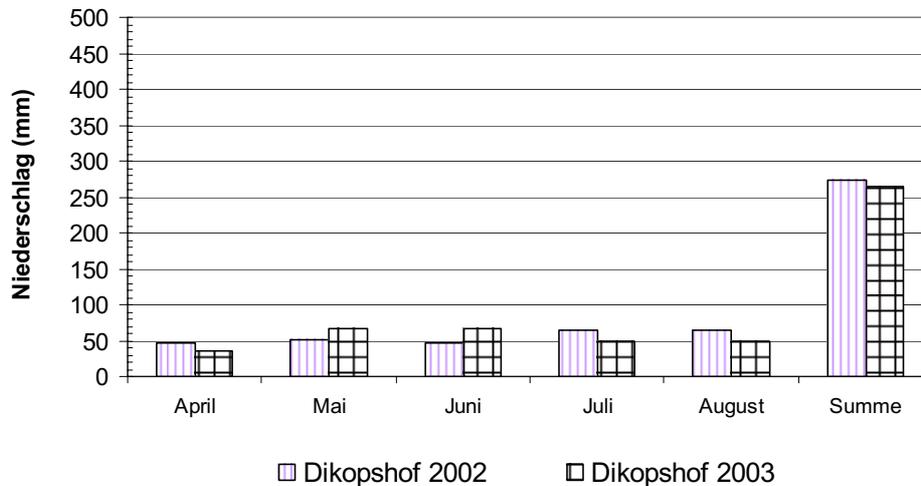


Abbildung 3-3: Monatliche Niederschlagsverteilung des Standortes Dikopshof für die Versuchsjahre 2002 und 2003.

3.2.1 Durchführung der Feldversuche

Bei den Flächen auf dem Dikopshof handelt es sich um 12 m² große Parzellen mit 10,5 m² Saatfläche, in die jeweils ein Versuchsquadratmeter gelegt wurde.

Saatstärkenversuch

Für die Beurteilung der Kontinuität des Saatstärkeneinflusses auf die Faserentwicklung und dem Phänomen der Selbstausdünnung ist auf dem Standort Dikopshof zusätzlich die Saatstärke von 162 kK/m² (30 kg/ha) ausgebracht worden. Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit dem Stickstoffdüngungsversuch zu gewährleisten, wurde dieser Versuch mit der gleichen Sorte der Standorte in OWL (**Fedora 17**) durchgeführt.

N-Düngungsmanagement

Die Stickstoffvarianten (60 kg/ha N & 120 kg/ha N) der Standorte in OWL sind zum Vergleich auch auf dem Dikopshof zum Einsatz gekommen. Als weitere Variation der Stickstoffgaben wurden auf dem Dikopshof eine Kontrollvariante und 40 kg/ha angelegt. Die Versuche sind in einer Spaltanlage mit einer Wiederholung durchgeführt worden.

Sortenversuch

In diesem Versuch sollte die Leistung von verschiedenen Sorten an einem Standort (Dikopshof) untersucht werden. Im Vordergrund stand dabei der Einfluss des Klimas auf die

Faserquantität und –qualität, sowie die Ertragslage in Abhängigkeit vom Reifeverhalten. Nachfolgende Sorten (Tabelle 3-2) wurden im Rahmen der Arbeiten verwendet.

Tabelle 3-2: Hanfsorten und ihre Eigenschaften

Sorte	Herkunft	Bezugsquelle	Reifeverhalten
Fedora 17 (A)	Frankreich	EZG	Mittel
Futura 75 (B)	Frankreich	KWS	Mittelspät
Uso 31 (C)	Ukraine	DSV	Sehr früh
Beniko (D)	Polen	Natural Fibre Poszan	Früh
Epsilon 68 (E)	Frankreich	KWS	Spät
Bialobrzeskie (F)	Polen	Natural Fibre Poszan	Mittelfrüh

Zur Durchführung dieser Versuche wurde in den Jahren 2002 und 2003 auf dem Dikopshof eine Spaltanlage mit zweifacher Wiederholung angelegt. Die Aussaat mit 216 kK/m² (40 kg/ha) folgte in beiden Jahren in der zweiten Maiwoche. Nach dem Auflauf wurde die Stickstoffdüngung mit 120 kg/ha in Form von Kalkammonsalpeter (27 %) ausgebracht.

3.3 Durchführung der Feldbonituren an allen Standorten

Zur Bestimmung der agronomischen Parameter sind verschiedene Messungen durchgeführt und Methoden angewandt worden.

3.3.1 Messungen während der Vegetationsperiode/Prüfmerkmale

Die im Folgenden aufgeführten phänologischen Daten sind während der Vegetationsperiode regelmäßig bonitiert worden.

Keimdichte KD [Pfl/m²]

Die Anzahl des Feldaufganges bezeichnet man als Keimdichte, welche durch Auszählung der Versuchsquadratmeter während der ersten Bonitur ermittelt wurde.

Bestandesdichte BD [Pfl/m²]

Die Ermittlung der Bestandesdichte erfolgte durch Zählung der Pflanzen in jedem der angelegten Versuchsquadratmeter zu einem bestimmten Zeitpunkt, hier den Boniturterminen.

Bestandesdichte_{veg} BD_{veg} [Pfl/m²]

Nach Auszählung der Bestandesdichte an den verschiedenen Boniturterminen im Laufe der Vegetationsperiode wurde die durchschnittliche Bestandesdichte_{veg} errechnet, da die Hanfbestände starken Schwankungen in der Anzahl der Pflanzen aufweisen. Diese Größe dient somit als Maß für das Verhältnis zwischen den ausgesäten keimfähigen Körnern und der Anzahl der Pflanzen zum Erntezeitpunkt. Wenn im weiteren Verlauf dieses Berichtes von Bestandesdichten gesprochen wird, ist immer diese Definition der Bestandesdichte_{veg} gemeint.

Wuchshöhe [cm] und Stängeldurchmesser [mm]

Für die Ermittlung der **Wuchshöhe** und des Stängeldurchmessers sind nach der Aussaat zufällig 10 Pflanzen ausgewählt und markiert worden. Die Gesamtpflanzenhöhe und damit der Größenzuwachs der Hanfpflanzen wurden jeweils an diesen 10 Pflanzen erfasst.

Der **Stängeldurchmesser** wurde jeweils an denselben 10 markierten Pflanzen mit einem digitalen Messschieber gemessen. Bis zu einer Wuchshöhe von 200 cm ist die tatsächliche Stängelmittte erfasst worden. Danach wurde der Durchmesser als Brusthöhendurchmesser (BHD) in einer Höhe von 140-150 cm ermittelt.

3.3.2 Messungen und Berechnungen nach der Ernte

Die **Ernte** der Versuchsquadratmeter erfolgte per Hand. Zunächst wurden die 10 markierten Pflanzen mit Rosenschere ca. 5 cm über dem Boden abgeschnitten und gewogen. Abschließend wurden alle lebenden Pflanzen des Quadratmeters geerntet. Bezüglich der Handernte ist zu beachten, dass die ermittelten Frischen Biomassewerte und folglich der Strohertrag höher ausfällt, als für den Praxisanbau üblich.

Frische Biomasse [g]

Die Bestimmung der Frischmasse erfolgte auf dem Feld. Dazu ist das Gewicht der gesamten Pflanzen eines Versuchsquadratmeters erfasst worden.

Biomasse (Trocken) [kg]

Für die Bestimmung der Trockenmasse sind 3 Pflanzen zerkleinert und auf dem Feld gewogen worden. Anschließend wurden diese im Trockenschrank bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und erneut gewogen. Aus der Gewichts Differenz lässt sich die Größe Biomasse (Trocken) errechnen.

Bereinigter Strohertrag [dt/ha]

Der Parameter wird aus der Frischen Biomasse und der Biomasse (trocken) bezogen auf den korrigierten Trockenmasseanteil von 85 % berechnet. Die Landwirte sollen ihr Stroh mit einem maximalen Feuchtegehalt von 14 % an den Erstverarbeiter liefern, sodass in dieser Arbeit mit einem Trockenmasseanteil von 85 % gerechnet wurde.

$$\text{Bereinigter Strohertrag} = \frac{mA_{\text{Stroh}}}{A_{\text{Parz}}} * \frac{Z}{85\%} * 100 \quad [\text{dt/ha}]$$

A_{Parz} : Fläche der Parzelle (m^2)

mA_{Stroh} : Masse Stroh der Parzelle (kg)

Z : Trockenmasseanteil (%)

Selbstausdünnung (Self-thinning) [%]

Das von VAN DER WERF (1994) beschriebene Phänomen der Selbstausdünnung gibt den Anteil der im Laufe der Vegetationsperiode abgestorbenen Pflanzen im Verhältnis zum Feldaufgang (Keimdichte) wieder.

$$\text{Selbstausdünnung} = 100 - \left(\frac{BD_{\text{veg}}}{KD} \right) * 100$$

BD_{veg} : Bestandesdichte (Pfl/ m^2)

KD : Keimdichte (Pfl/ m^2)

3.4 Methoden zur Bestimmung der Faserqualitätsparameter

Nach DIN 55 350 (1989) bzw. ISO 8402 (1994) wird Qualität definiert als die Gesamtheit der Merkmale und Merkmalswerte einer Einheit bezüglich ihrer Eignung, festgelegte und vorausgesetzte Erfordernisse zu erfüllen. Die Beziehung zwischen realisierter Beschaffenheit und Einzelanforderungen steht also stets im Mittelpunkt der Qualitätsbetrachtung.

Bei der industriellen Hanffaserveredelung steigen die Anforderungen an das Produkt, deren Erfüllung über entsprechende Tests abzuprüfen ist. Charakteristisch für Bastfasern ist die hohe Variabilität ihrer Beschaffenheit. Dies erschwert die Qualitätskontrolle erheblich. Aus diesem Grunde können keine so genannten High Volume Instruments (HVI) wie in der Baumwolluntersuchung eingesetzt werden.

Da die Bastfasern aufgrund ihrer Eigenschaften zunehmend für industrielle Zwecke verwendet werden, stellen sich hier andere Qualitätsanforderungen an die Fasern als in der Bekleidungsindustrie.

So müssen z.B. die Fasern zur textilen Nutzung vornehmlich sehr fein und lang sein, damit sie mit den Spinnereimaschinen verarbeitet werden können. Für den Verbundwerkstoffsektor müssen sie, da sie nicht mehr chemisch behandelt werden, frei von Gerüchen, trocken und reißfest sein, sowie eine gute Faser-Matrix-Haftung aufweisen.

Folgende Eigenschaften sind von der Ernte bis hin zur Verarbeitung in allen Anwendungsgebieten gleich:

- Feuchtegehalt des Hanfstrohs
- Röstgrad des Hanfstrohs
- Fasergehalt des Hanfstrohs
- Feinheit der Fasern, Faserbündel
- Festigkeit (Höchstzugkraft, Bruchkraft, Bruchdehnung, E-Modul)

Im Folgenden sollen die gängigen und allgemein anerkannten Mess- und Prüfmethode für den mechanischen Trockenaufschluss vorgestellt werden und somit z. T. die Problematik einer Chargen-Untersuchung aufgezeigt werden.

3.4.1 Der Feuchtegehalt des Hanfstrohs

Bei den bisherigen in Deutschland bevorzugten Ernteverfahren zur Industriefasernutzung wird das Stroh unaufgeschlossen geborgen. Um einen gleichmäßigen Aufschluss in der Anlage zu gewährleisten und das Material zwischenlagern zu können ist es wichtig, dass das Material eine homogene Feuchte von 14 – 18 % besitzt. Der Feuchtegehalt des Strohs wird bei Anlieferung in der Regel über die elektrische Leitfähigkeit ermittelt. Durch die einfache Methode ist hierbei eine Chargenuntersuchung ohne Probleme durchführbar.

Bei den durchgeführten Versuchen war eine Feuchtigkeitsbestimmung zur Ermittlung der Lagerfähigkeit nicht notwendig, da das Versuchsmaterial unter Dach in ungepresstem Zustand getrocknet wurde.

3.4.2 Der Röstgrad des Hanfstrohs

Unter Röste von Hanfstroh versteht man den biologischen und z. T. chemischen Abbau der Elementarfasern verkittenden Substanzen. Diese bestehen zum überwiegenden Teil aus

Pektinen und Ligninen. Mit der Röste geht eine Farbveränderung des Stängels einher. Je nach Röstgrad variiert die Farbe von hellbeige bis zu dunkelbraun (schwarzbraun). Die Beurteilung des Röstgrades wurde bisher bei Hanf lediglich visuell subjektiv vorgenommen. Dazu vertreibt das NOVA-INSTITUT¹⁾ Bonitierungskarten, anhand derer die Farbe des Strohs bestimmt wird. Da diese Methode sehr von der subjektiven Einschätzung der durchführenden Person abhängt und das menschliche Auge von der Sonneneinstrahlung beeinflusst wird, entwickelte QUINT (1996) eine reproduzierbare Messmethode zur Bestimmung des Röstgrades von Flachs. BLUHM UND MÜSSIG (1999) entwickelten Ansätze, die Messmethode von QUINT (1996) auf Hanf zu übertragen. Die Messung basiert auf einer spektroskopischen Untersuchung im nahen infraroten Bereich. Bei den durchgeführten Versuchen war aufgrund der Trocknung unter Dach keine Röstgradmessung notwendig. Aufgrund der guten Witterung in den Jahren 2002 und 2003 konnte der Hanf in den Praxisschlägen auch ohne einsetzende Röste gepresst werden.

3.4.3 Fasergehalt des Hanfstrohs

Bei der Fasergehaltsuntersuchung wird das Prinzip des mechanischen Aufschlusses angewandt. Hierzu werden die Stängel stark geknickt, so dass der Holzteil der Stängel sich von den Fasern löst. BECKMANN (1998) entwickelte am Institut für Landtechnik Bonn eine Methode zur Bestimmung der technisch verwertbaren Faser von Flachs. Diese Methode kann auf Hanfstroh angewendet werden. Die Hanfstängel werden mit Hilfe von vier geriffelten Walzenpaaren geknickt. Die Walzen besitzen eine Zahnung zwischen 4,5 und 10 mm. Die Federkraft, die auf die Walzen einwirkt, beträgt 40 N, die von jeweils 2 Federn pro Walzenpaar ausgeübt wird.

Die Drehfrequenz [1 min^{-1}] nimmt von der ersten bis zur vierten Walze zu, so dass ein gleichmäßiger Durchzug der Stängel durch die Maschine gewährleistet ist. Das standardisierte Verfahren sieht vor, dass für Lein die Stängel zunächst drei mal durch den Flachsbrecher („Flaksy“) geführt und ein Zwischenergebnis durch Bezug auf das Ausgangsgewicht erzeugt wird. Anschließend werden noch weitere sieben Durchgänge ausgeführt, so dass schließlich zehn Entholzungsvorgänge vorgenommen werden. Das Gewicht der Fasern wird dann ebenfalls auf das Ausgangsgewicht bezogen.



Bild 3-1: Aufsicht Flachsbrecher



Bild 3-2: Frontansicht des Flachsbrechers

Tabelle 3-3: Technische Daten der Laborentholzmaschine „Flaksy“

Anzahl der Walzenpaare	4			
Walzenpaar	1	2	3	4
Zähnezahl der Antriebsritzeln	18	18	15	13
Walzendrehfrequenz n_{\max} [1 min^{-1}]	80	80	96	110
Zähnezahl der Walzen	9	12	11	12
Walzenaußendurchmesser [mm]	57	55	52,5	51
Zahnhöhe [mm]	10	8	6,5	4,5
Federkraft F_{Fe} [N] (2 Federn pro Walzenpaar)	40	40	40	40

Am Institut für Landtechnik Bonn wurden nach dieser Methode Untersuchungen zur mechanischen Entholzung von Hanf durchgeführt. Bei den Vorversuchen konnte festgestellt werden, dass die Bahmer Laborentholzmaschine für eine Entholzung des Hanfstrohs nur bei höchster Drehzahl der Brechwalzen die Stängel durchzieht.

Der Anteil der technisch nutzbaren Faser wird berechnet nach:

$$w_{mF} = \frac{m_{4 \times 10}}{m_E} \cdot 100 [\%]$$

m_E = Masse der Einwaage

$m_{4 \times 10}$ = Masse nach Entholzung nach 10 Durchläufen mit 4 Walzenpaaren

Die Freilegbarkeit wird nach folgender Formel berechnet und ist definiert als das Maß für die mechanische Entholzbarkeit, da es erwünscht ist, die Fasern möglichst schnell freizulegen. Damit ist die Freilegbarkeit der technisch nutzbaren Faser ein wesentlicher

Qualitätsparameter auch zur Selektion in der Sortenzüchtung. Je mehr Schäben schon bis zum 3. Durchlauf in Bezug auf die Gesamtschäben bis zum 10. Durchlauf abfallen, desto besser ist die Freilegbarkeit der technisch nutzbaren Faser (bei konstantem Trockenmasseanteil der unterschiedlichen Proben) nach HEYLAND UND KROMER (1995).

$$\eta_{\text{tnF}} = \frac{m_E - m_{4*3}}{m_E - m_{4*10}} \cdot 100$$

m_{4*3} = Masse nach 3 Durchläufen

m_{4*10} = Masse nach 10 Durchläufen Flachsbrecher mit 4 Walzenpaaren.

tnF = technisch nutzbare Faser

Da die Methode für kürzere Leinpflanzen entwickelt wurde, war es notwendig, die Hanfpflanzen einzukürzen. Die Stängel wurden in drei Abschnitte geteilt. Zuerst wurde der Blütenstand abgeschnitten und entholzt. Der Blütenstand enthält nur minderwertige Fasern. Anschließend wurde der Rest des Stängels in der Mitte geteilt und ebenfalls entholzt. Bei dieser Methode wird der technisch nutzbare Faseranteil bezogen auf die trockene Ausgangsmasse ermittelt. Unter technisch nutzbarem Faseranteil wird der Teil der technisch nutzbaren Kurzfasern verstanden, die noch Verunreinigungen enthalten, wie z.B. Schäben, die für viele technische Anwendungen keine negativen Auswirkungen haben (BECKMANN 1998).

MÜSSIG (2001) beschreibt in seiner Arbeit, dass es ausreicht, nach zwei und sechs Durchgängen das Fasermaterial rückzuwiegen, um eine Aussage über die Entholzbarkeit machen zu können.

3.4.4 Bewertung der Laborentholzungsmaschine „Flaksy“

Bei der Untersuchung des technischen nutzbaren Fasergehaltes fiel auf, dass bei den ersten beiden Durchläufen durch die Laborentholzungsmaschine die Stängel hauptsächlich nur flachgedrückt wurden. Aus diesem Grund wurden aus den Versuchsjahren 2001, 2002 und 2003 nochmals Stängel entholzt, um die Freilegbarkeit nach dem System des Faserinstitut Bremen (FIBRE) und des *Methodenbuch Industriefaserlein* zu vergleichen. Bei der Auswahl des Probematerials wurde darauf geachtet, dass aus jeder Probe jeweils dickere und dünnere Stängel zur Untersuchung herangezogen wurden. Diese wurden getrennt entholzt. Zusätzlich wurden die Restschäben aus den Fasern entfernt und ihre Masse bestimmt. Um eine Aussage über die Freilegbarkeit treffen zu können, wurden die Stängel in Dickenfraktionen unterteilt. Diese konnten in zwei Größenklassen bis 6,5 mm und über 6,5 mm bzw. drei Größenklassen bis 5,79 mm, ab 5,8 bis 7,2 mm und über 7,2 mm unterteilt werden. Bei

jeder Probe wurden je Entholzungsdurchgang drei Stängel durch die Maschine geführt und der Mittelwert der Stängeldurchmesser den jeweiligen Größenklassen zugeordnet. Um eine Aussage über den erreichbaren Entholungsgrad machen zu können, wurden bei jeder Probe die noch anhaftenden Restschäben von Hand erfasst und ihr Gewicht ermittelt und auf den Gesamtschäbengehalt bezogen.

3.4.5 Feinheit der Fasern, Faserbündel

Die Feinheit einer Faser oder eines Faserbündels ist der Quotient aus der Masse und der Länge der zu prüfenden Faser oder Faserbündel.

Bei der Bestimmung der Feinheit geht man von einer gleich bleibenden Dichte und gleich bleibendem Querschnitt der Faser aus. Die Einheit der Feinheit ist tex [$\text{g } 1000\text{m}^{-1}$]. Die Feinheit wird vorwiegend durch zwei Messmethoden ermittelt. Zum einen gravimetrisch und zum anderen über das Airflow-Verfahren.

Beim gravimetrischen Verfahren wird das Gewicht der Fasern ermittelt und auf deren Länge bezogen. Für Elementarfasern ist diese Methode aufgrund ihrer geringen Größe kaum anwendbar. Bei Festigkeitsuntersuchungen mittels Zugversuch wird für jedes zu reißen Faserbündel die Feinheit bestimmt HEYLAND (1995), da je nach Feinheit andere Werte beim Zugversuch zustande kommen. Deshalb ist es sinnvoll, die unten beschriebene feinheitbezogene Zugkraft als Maß zu verwenden. Für die reine Bestimmung der Faserfeinheit ist es sinnvoll, mehrere Faserbündel gleichzeitig zu wiegen, um den Wägefehler zu minimieren MÜSSIG (2001).

Das Airflow-Verfahren ist eine indirekte Methode. Dabei macht man sich den Zusammenhang zwischen der Feinheit der Fasern und dem Widerstand der durch sie durchströmenden Luftmenge zu nutze. Bei der Durchströmung einer Kammer mit einer definierten Menge an Fasern wird ein konstanter dynamischer Luftdruck eingestellt. Der Strömungswiderstand der Fasern bewirkt einen Druckabfall. Aus dem Differenzdruck zwischen Eintritt in die Kammer und Austritt wird die Faseroberfläche bestimmt.

Weitere Methoden zur Feinheitbestimmung beruhen auf der Vermessung von Fasern und Faserbündeln mittels optischer Verfahren. Dazu werden lichtmikroskopische Projektionen und automatisierte Bildanalyseverfahren eingesetzt. Diese Verfahren sind sehr zeitaufwändig und werden deshalb wenig angewandt.

Die Feinheit ist in den meisten Verarbeitungsprozessen ein Qualität beeinflussender Faktor. Ebenso dient die Feinheit dazu, die Festigkeit der Fasern auf einen vergleichbaren

Bezugspunkt zu bringen. Für alle am Institut für Landtechnik erfolgten Prüfungen zur Feinheit und Festigkeitsuntersuchung wurden aus allen Versuchspartikeln die Faserbündel von Hand auf ein Längenmaß von 100 mm und eine Dicke zwischen 0,1 und 0,05 mm konditioniert. Die Dicke unterliegt der oben beschriebenen Schwankung, da die Dicke bei der Aufarbeitung nur geschätzt werden konnte. Auf unter 0,05 mm konditionierte Faserbündel fielen aus der Prüfung heraus, da sie von dem im folgenden Kapitel beschriebenen Laserdiameter nicht erfasst werden konnten. Wie bereits erläutert ist die Feinheit das auf die Länge bezogene Gewicht. Deshalb wurden die konditionierten Faserbündel entsprechend dem *Methodenbuch Industriefaserlein* mit einer Exaktwaage mit einer Genauigkeit auf 10 µg gewogen, anschließend mit einem Anhänger mit fortlaufender Nummer versehen, um die Feinheit der späteren Zugprobe zuordnen zu können. Der Anhänger diente ebenfalls zur Befestigung des unten beschriebenen Gewichtes zur Zugprüfung.

3.4.6 Festigkeit

Die mechanischen Eigenschaften von Fasern können sich auf verschiedene Parameter beziehen. Die Zugfestigkeit ist definiert als die maximale Kraft bezogen auf die Ausgangsquerschnittsfläche.

Bei der feinheitbezogenen Höchstzugkraft wird die Kraft auf die Feinheit der Stängel bzw. Faserbündel bezogen. Eine weitere wichtige Messgröße ist die Dehnung bei Höchstzugkraft. Sie beschreibt die prozentuale Längenänderung der Probe bei maximaler Kraft. Aus der Steigung im Spannungs-Dehnungs-Diagramm lässt sich der Elastizitäts-Modul (E-Modul) errechnen. Er beschreibt den Widerstand der Zugprobe gegen die Längenänderung. Dazu ist jedoch ein ausreichend linearer Abschnitt des Anstieges im Spannungs-Dehnungsdiagramm notwendig, um den E-Modul zu berechnen.

Bei der dem Institut für Landtechnik zur Verfügung stehenden Prüfmaschine handelt es sich um eine Universal Zug- und Druckprüfmaschine der Firma Zwick.

Nach MÜSSIG (2001) ist die Einzelfaserfestigkeit größer als die der Faserkollektive. Die Einzelfaser selbst kann allerdings nur sehr schwierig auf ihre Festigkeit überprüft werden. In der Textilindustrie werden dafür Elementarfasern nach chemischem Aufschluss zu Garn versponnen und anschließend geprüft. Bastfasern werden in der Regel nach einer möglichst feinen Auflösung im Faserbündel auf die Zugfestigkeit geprüft. Auch bei sehr feiner „Vereinzelung“ können in Zugversuchen nur Einzelfaserbündel getestet werden. MÜSSIG (2001) bezeichnet diese Faserbündel als Einzelfaserelement. Er grenzt mit diesem Begriff die einzelnen Methoden der Festigkeitsuntersuchung von einander ab. In Deutschland werden zwei Arten der Festigkeitsüberprüfung angewandt. Einmal die Einzelfaserelement-

prüfung und die Kollektivprüfung. Bei der Kollektivprüfung werden mehrere Einzelfaserelemente bzw. Faserbündel gleichzeitig auf ihre Kollektivfestigkeit geprüft. Bei der Faserbündelprüfung besteht ein erheblicher Aufwand der Faserbündelvorbereitung. Diese Vorbereitung besteht darin, dass von Hand die Faserbündelkollektive auf einen Durchmesser von ca. 0,1 bis 0,05 mm und eine Länge von 100 mm gebracht werden. Dabei müssen Brüche der Faserbündel vermieden werden. Um eine statistisch vertrauenswürdige Aussage zu erhalten, muss nach FUNDER (1973) eine erhebliche Anzahl an Messungen durchgeführt werden. Pro Probe müssen laut *Methodenbuch Industriefaserlein* 24 auswertbare Einzeluntersuchungen verfügbar sein. Das entspricht einem Testaufwand von ca. 50 Einzeluntersuchungen.



Bild 3-3: Laserdiameter zur Querschnittsmessung der Faserbündel

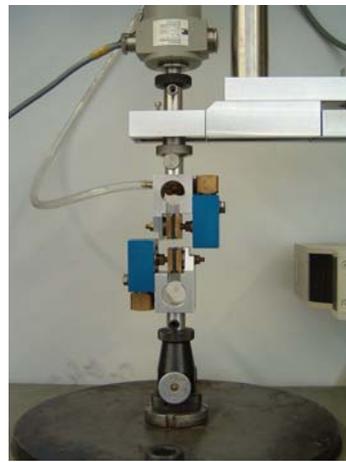


Bild 3-4: Zugprüfungseinrichtung für Faserbündel

Hierzu wird das Faserbündel in ein Klemmbackenpaar eingespannt und mit einem Gewicht von 2 g versehen, damit eine konstante Vorkraft erzeugt wird und somit die Fasern nicht locker zwischen den Klemmbacken hängen. Danach wird mit einem Laserdiameter um das Faserbündel im Abstand von 30° der Durchmesser bestimmt. Aus dem Mittelwert der 6 Einzelwerte wird die theoretische Querschnittsfläche des Bündels berechnet. Anschließend wird das Faserbündel in einer zweiten Klemmbacke eingespannt und das Gewicht entfernt.

Der hohe Probenaufwand kommt dadurch zu Stande, dass bestimmte Zugversuche verworfen werden müssen. Dazu zählen

1. Glatte Brüche: Sie sind auf eine vorherige mechanische Verletzung zurückzuführen.
2. Brüche die direkt an den Klemmbacken auftreten. Sie werden verworfen, damit ein Einfluss der Klemmbacken ausgeschlossen werden kann.
3. Zugversuche, bei denen das Bündel durch die Klemmbacken rutscht.

So bleiben zur Auswertung nur die Zugversuche, die beim Bruch aufspießen.

Um diesen Aufwand zu umgehen, kann mit dem für Baumwoll-Fasern entwickelten Strength-Elongation-Meter (Stelometer) ein Faserbündelkollektiv geprüft werden. Aufgrund unterschiedlicher Festigkeitswerte je nach Messmethode muss man bei veröffentlichten Werten sehr genau darauf achten, mit welcher Methode geprüft wurde.

Bei allen Untersuchungen sind auch die Raumbedingungen, unter denen geprüft wird, wie z. B. die Raumtemperatur und die Luftfeuchtigkeit, von großer Bedeutung.

Da der Aufwand für eine Zugfestigkeitsprüfung mit einzelnen Faserbündeln sehr aufwändig ist, wurden lediglich Proben aus vom Institut für Pflanzenbau vorselektierten statistisch relevanten Versuchspartzen nach dem oben beschriebenen Verfahren getestet.

Da sich die Fasern bei Ausübung von Zugspannungen dehnen ist es für viele Bereiche, in denen Naturfasern in Werkstoffen eingesetzt werden wichtig, wie sich die Dehnung im Bezug auf die ausgeübte Spannung verhält. Hierzu wurde wie bei allen Werkstoffen das Elastizitätsmodul (E-Modul; Young's Modulus) als ein Materialkennwert definiert. Dabei handelt es sich um den Zusammenhang zwischen Spannung und Verformung bei der mechanischen Beanspruchung eines festen Körpers. Der Zahlenwert ist umso größer, je mehr Widerstand ein Material seiner Verformung entgegensetzt. Ein Material mit hohem E-Modul ist also als steif zu bezeichnen und ein Material mit tiefem E-Modul als weich.

Der E-Modul ist als Steigung des Graphen im Spannungs-Dehnungs-Diagramm innerhalb des Elastizitätsbereichs (zwischen dem Schnittpunkt bei 40 % von σ (F_{max}) und ε (Dehnung)) und dem Schnittpunkt bei 60 % (von σ und ε) mit der Einheit MPa definiert.

In den durchgeführten Zugversuchen wurde der E-Modul aus dem Spannungs-Dehnungsdiagramm abgelesen und automatisch von der Software der Zugprüfmaschine gespeichert.

3.5 Ansätze der Schnelltests

In den letzten Jahren zeigt sich ein verstärkter Einsatz der Nahinfrarotspektroskopie (NIR-S) bei der Qualitätsanalytik landwirtschaftlicher Produkte. Der Vorteil dieses Analyseverfahrens liegt darin, dass es im Vergleich zu anderen Verfahren schneller ist. EULENSTEIN (1997) bemisst die Zeitersparnis für die Untersuchung des Fasergehaltes von Flachs mittels NIR-S mit 60 %. Außerdem ist es von Vorteil, dass mittels der NIR-S mehrere Inhaltsstoffe gleichzeitig in ihrer Konzentration erfasst werden können.

NIR-Spektren sind verursacht durch Molekülschwingungen, deren Kombinationen und deren Oberschwingungen mit Absorptionen im Nah-Infrarot-Bereich von ca. 800 bis 2500 nm registriert werden (BÜNING-PFAUE, mündliche Mitteilung 2002). Vereinfacht ausgedrückt beruht das Prinzip der NIR-S auf dem frequenzspezifischen Absorptionsverhalten bestimmter Molekülstrukturen EULENSTEIN (1997).

Um aussagekräftige Werte zu erlangen, muss eine Kalibrationsreihe mit 50 bis 150 Einzelproben erstellt werden, um die einzelnen NIR-Spektren zu erfahren und die Konzentrationen der Probeninhaltsstoffe mit referenzanalytischen (nasschemischen) Verfahren ermittelt werden. Nach REINHARDT (1992) kann die Anzahl der Kalibrationsproben lediglich bei sehr guten Ergebnissen der Kalibrationsreihe auf 50 reduziert werden.

Da bei der Zugfestigkeitsprüfung nur die Faserbündel in die Bewertung eingehen, die aufgesplissen sind, ist davon auszugehen, dass die Festigkeit der Faserbündel von der Beschaffenheit der Elementarfasern verkittenden Substanzen abhängt. Diese bestehen bei Hanffasern überwiegend aus Pektinen mit einem Gehalt von 4,4 bis 7,6 % (STEFFES 2004). MÜSSIG (2001) stellt ebenfalls heraus, dass die Elementarfestigkeit höher ist als die des Faserbündels, bzw. -kollektivs. Um den Pektingehalt in den Faserbündeln zu bestimmen, muss zuerst eine Kalibrationsreihe erstellt werden. Bei der Konzipierung dieser Referenzreihe fiel auf, dass dies kaum zu schaffen ist. Bei den Versuchen zur Reißfestigkeit der Faserbündel stellte sich heraus, dass die natürliche Streuung der Werte der einzelnen getesteten Faserbündel sehr groß ist. Außerdem ist es abzusehen, dass es nicht möglich ist, eine Abstufung des Pektingehaltes in der benötigten Menge von 100 Proben zu erzielen. Des Weiteren ist zu überlegen, wie weit die Festigkeit der Faserbündel mit der Lage der einzelnen Elementarfasern zusammenhängt. Lässt man die Fasern für eine Referenzprobe im ursprünglichen Zustand, ist damit zu rechnen, dass der Störfaktor durch Beugung, Brechung und teilweiser direkter Reflexion innerhalb der zu untersuchenden Schichtdicke von mehreren mm zu groß wird. Durch eine Vermahlung des Substrates zerstört man den natürlichen Verbund der Elementarfasern und greift in die Pektin-Zellulose-Haftung mechanisch ein, so dass die Ergebnisse verfälscht werden. Der Ansatz der NIR-Spektroskopie scheiterte also an der Herstellung einer geeigneten Kalibrationsreihe.

3.6 Biometrische Auswertung

Die Rohdaten der Versuche wurden in Excel2000 vorbereitet. Zur Auswertung der pflanzenbaulichen Parameter wurde das Statistik-Programm SAS Version 8.02 verwendet.

Die Varianzanalysen erfolgten unter Verwendung der SAS-Prozedur GLM. Die Grenzdifferenzen ($GD_{5\%}$) der Mittelwertsvergleiche werden für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % angegeben.

Ansonsten bezeichnen die Signifikanzschwellen folgende Irrtumswahrscheinlichkeiten:

ns	=	nicht signifikant
$\alpha \leq 0,05$	= *	signifikant
$\alpha \leq 0,01$	= **	hoch signifikant
$\alpha \leq 0,001$	= ***	sehr hoch signifikant

Mittelwertsvergleiche wurden mit Hilfe des Tukey-Tests durchgeführt.

4 Ergebnisse

Im Rahmen der vorgelegten Arbeit wurden zweijährige Versuche an vier bzw. fünf Standorten in OWL (Tabelle 3-1) und auf dem Dikopshof mit dem Genotyp **Fedora 17** untersucht. Der Versuchsaufbau sollte Aufschluss über den Einfluss verschiedener Standorte auf den Ertrag und die Faserqualität liefern. Des Weiteren wurden auf den verschiedenen Standorten pflanzenbauliche Fragen bzgl. der optimalen Saatstärke und N-Düngung analysiert, mit dem Ziel Empfehlungen für Praxisbetriebe in den Versuchsregionen zu entwickeln.

Die Auswirkungen des Genotyps auf den Ertrag und die Faserqualität wurden durch den Anbau verschiedener Hanfgenotypen am Standort Dikopshof untersucht.

Die Ergebnisse der Untersuchungen werden in den folgenden Unterkapiteln vorgestellt:

4.1 Einfluss des Standortes auf die ertragsbestimmenden Faktoren

Die dargestellten Ergebnisse zeigen, ob sich die untersuchten Standorte der Region OWL und dem Dikopshof als Vergleichsstandort in Bezug auf die ertragsbestimmenden Merkmale unterscheiden.

4.1.1 Bedeutung des Faktors Standort

Hinzuweisen ist an dieser Stelle auf das Fehlen der Ertragsdaten des Standortes Versmold für das Jahr 2001, folglich beziehen sich die dargestellten Ergebnisse dieses Standortes nur auf ein Versuchsjahr. Des Weiteren sind die Ergebnisse des Standortes Versmold für das Versuchsjahr 2002 mit Bedacht zu bewerten, da lt. Aussagen des Landwirtes ein Fehler der Sämaschine festgestellt worden ist. Folglich sind die tatsächlichen Aussaatstärken nicht mit den geplanten Aussaatstärken identisch.

Zur Darstellung der Bedeutung des Faktors „Standort“ sind die Ergebnisse über die Versuchsjahre und ihre Bedingungen gemittelt. Die Standorte unterscheiden sich signifikant und zwar von der Anzahl der aufgelaufenen Pflanzen bis hin zur durchschnittlichen Bestandesdichte (Definition Kap. 3.3.1). Lediglich für die Größe „Stängeldurchmesser“ wurden keine Unterschiede zwischen den Standorten Detmold und Haus Düsse gefunden. Am Standort Werther wurden die signifikant dicksten und höchsten Stängel gemessen, was sich auch im Strohertrag widerspiegelt.

Die Bestandesentwicklung von Hanf unterliegt dem Phänomen der Selbstausdünnung, d.h. einer Reduktion der Pflanzenanzahl im Laufe der Vegetationsperiode. Wie in Tabelle 4-1 abzulesen, betrug die Ausdünnung im Mittel 21,8 %. Das Maximum der Ausdünnung (42,8 %) war am Standort Delbrück und das Minimum (16,1 %) am Standort Versmold zu verzeichnen. Dieser Verlust an Pflanzen zeigte jedoch keine Wirkung auf die ermittelten Stroherträge.

Tabelle 4-1: Darstellung der im Mittel erreichten ertragsbestimmenden Parameter für die jeweiligen Standorte.

STANDORT	AUFLAUF (%)		BESTANDES-DICHTE (Pfl/m ²)		AUSDÜNNUNG (%)		STÄNGEL-DURCHMESSER (mm)		WUCHSHÖHE (cm)		STROHERTRAG (dt/ha)		FASERGEHALT (%)		HOLZGEHALT (%)	
Delbrück*	38,7	e	50	f	42,8	a	8,27	b	186	d	148	d	35,1	ab	64,9	dc
Detmold	45,8	f	81	d	17,0	d	6,23	e	135	f	123	e	34,2	c	65,8	b
Haus Düsse	63,2	b	92	b	19,8	c	6,49	e	179	e	148	d	35,3	ab	64,7	dc
Versmold	57,8	c	87	c	16,1	d	7,37	c	198	b	167*	b	33,1*	d	66,9*	a
Werther	51,8	d	72	e	28,6	b	8,62	a	205	a	223	a	35,6	a	64,4	d
Dikopshof	74,9	a	110	a	16,9	d	6,78	d	194	c	156	c	34,7	cb	65,3	bc
Mittel	57,9		86		21,8		7,18		183		161		34,8		65,2	
Min	38,7		50		16,1		6,23		135		123		33,1		64,4	
Max	74,9		110		42,8		8,62		205		223		35,6		66,9	
GD _{5%}	1,9		3,0		1,6		0,24		4,4		4,3		0,55		0,55	

Legende: Die Buchstaben zeigen die Signifikanzen für das jeweilige Merkmal der Standorte auf, wobei Werte mit gleichen Buchstaben nicht signifikant verschieden sind. Standorte sowie Daten die mit einem * gekennzeichnet sind beziehen sich ausschließlich auf eine Vegetationsperiode (siehe Tabelle 3-1).

4.1.2 Einfluss der Wechselwirkung von Standort * Jahresniederschlag

Die Variation der Standorte wurde im vorherigen Kapitel analysiert. In diesem Kapitel wird dargestellt, ob die Niederschlagsmenge der Vegetationsperioden einen Einfluss auf die ertragsbestimmenden Faktoren nimmt.

Die Differenz der Niederschlagsmengen (Tabelle 4-4) der beiden Versuchsjahre beträgt im Mittel 72 mm. Dieser Unterschied könnte durch das Auftreten eines Starkregenereignisses zustande gekommen sein. Die Jahresniederschläge sind für die Versuchsjahre demnach als homogen zu bezeichnen. Betrachtet man die **Bestandesdichte** so lassen sich die Unter-

schiede hauptsächlich durch andere Standortfaktoren und der Wechselwirkung Saatstärke * Standort als den Niederschlag erklären. Das Phänomen der **Selbstaussdünnung** (Self-thinning) wird durch den Niederschlag nicht beeinflusst. Der **Stängeldurchmesser** lässt sich zu einem sechstel durch die Standortfaktoren erklären. Die Niederschlagsmengen spielen dabei nur eine untergeordnete Rolle, was auch für die Auswirkungen auf die **Wuchshöhe** gilt. Neben den Standortfaktoren beeinflusst vor allem die Wechselwirkung Stickstoffgabe * Standort den **Strohertrag**, die Niederschlagsmengen hingegen kaum. Obwohl die Unterschiede bei den Niederschlägen sehr hoch signifikant sind, liefern sie keine weiteren Erklärungen für die ertragsbestimmenden Faktoren. Die Effekte werden zumeist durch den Standort, durch die Wechselwirkung mit den pflanzenbaulichen Maßnahmen und andere Faktoren determiniert.

4.2 Einfluss von Standort und Saatstärke

Die Wahl der Saatstärke ist sowohl für den Landwirt aus ökonomischer, als auch für den Erstverarbeiter hinsichtlich der zu erwartenden Qualität ein entscheidender Faktor.

Ertragsbestimmende Faktoren

Die Bestandesdichte_{veg} ist ein Maß für das Verhältnis von Aussaatstärke zur Anzahl der Pflanzen zur Ernte, die im Folgenden der Arbeit als Größe „Bestandesdichte“ angegeben wird (Kap. 3.3.1). Bei erhöhter Aussaatstärke wurden auf allen Standorten, außer dem Standort Delbrück, den Erwartungen entsprechend sehr hoch signifikante Unterschiede in den Bestandesdichten ermittelt (Abbildung 4-1). Jedoch fällt auf, dass eine erhebliche Differenz zwischen den ausgesäten 108 kK/m² und 216 kK/m² und den berechneten durchschnittlichen Bestandesdichten besteht.

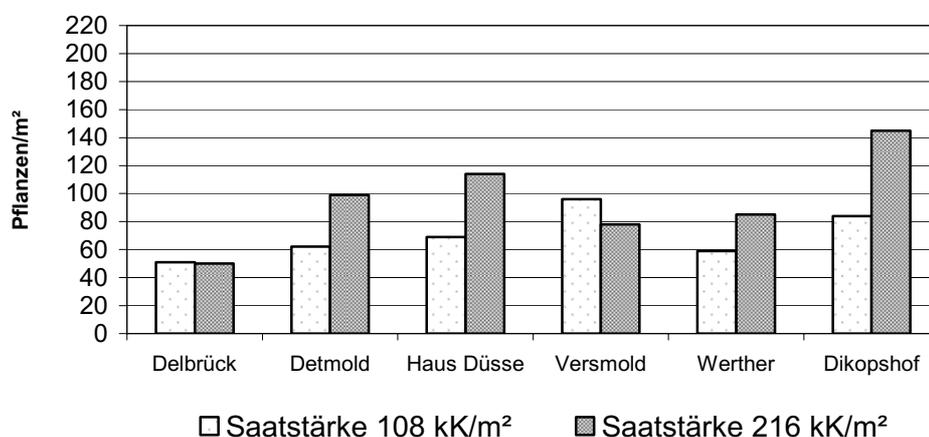


Abbildung 4-1: Bestandesdichte (Pfl/m²) in Abhängigkeit von der Saatstärke an den verschiedenen Standorten.

Dass am Standort Vermold bei einer geplanten Saatstärke von 216 kK/m² (= Saatmenge 40 kg/ha) geringere Bestandesdichten ermittelt wurden, liegt laut Landwirt an einem Fehler der Sämaschine und ist bei der weiteren Auswertung der Ergebnisse für diesen Standort stets zu berücksichtigen.

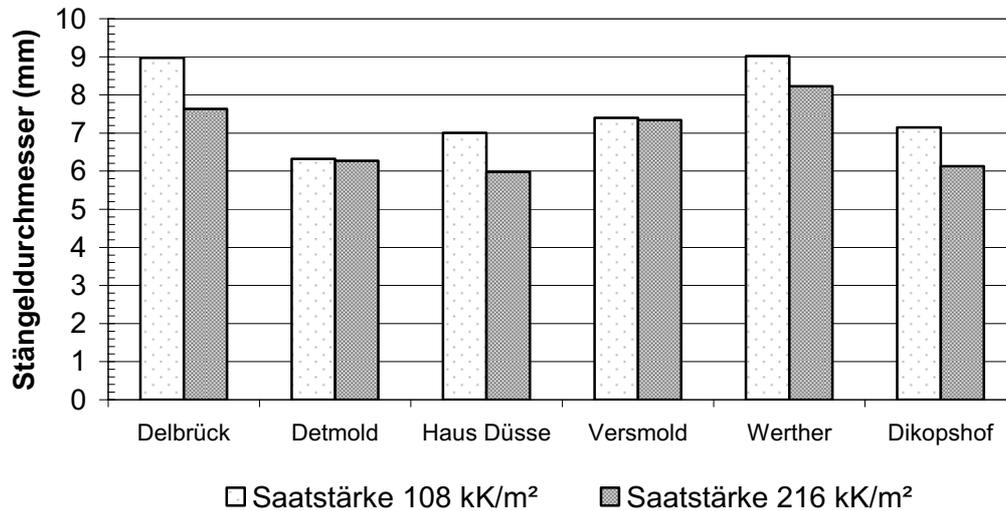


Abbildung 4-2: Stängeldurchmesser (mm) in Abhängigkeit von der Saatstärke an den verschiedenen Standorten.

Entsprechend des optischen Eindrucks der Säulen in Abbildung 4-2 sind die Stängeldurchmesser außer an den Standorten Detmold und Vermold, sehr hoch signifikant unterschiedlich. In der Folge einer geringeren Bestandesdichte werden bei der niedrigeren Saatstärke die höheren Stängeldurchmesser ausgebildet.

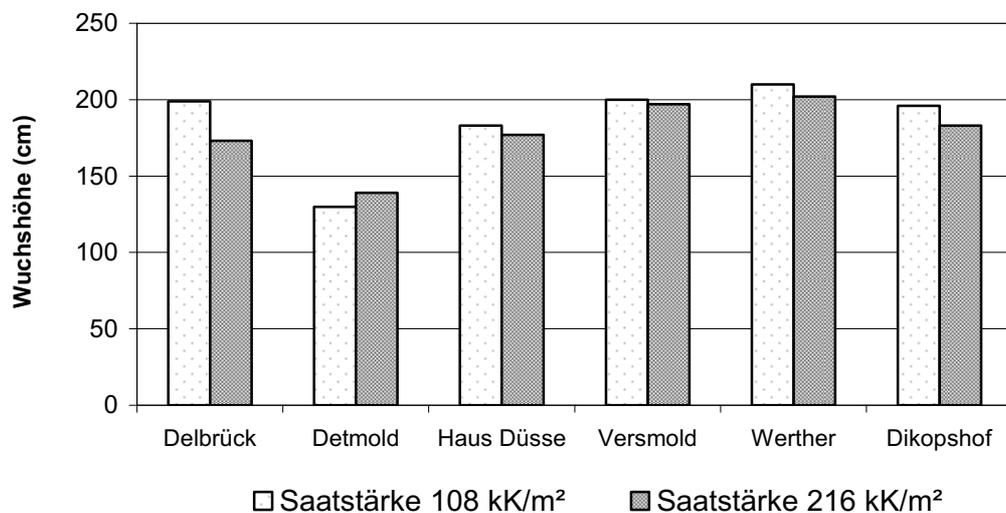


Abbildung 4-3: Wuchshöhe (cm) in Abhängigkeit von der Saatstärke an den verschiedenen Standorten.

Die Wuchshöhe (Abbildung 4-3) wird nicht in dem Maße durch die Veränderung der Saatstärke beeinflusst wie der Stängeldurchmesser. Nur für die Standorte Delbrück und Dikopshof konnten signifikante Unterschiede zwischen den Wuchshöhen bei unterschiedlicher Aussaatstärke festgestellt werden.

In Abbildung 4-4 sind die Stroherträge der verschiedenen Standorte in Abhängigkeit von der Saatstärke dargestellt. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die Verdopplung der Saatstärke (108 kK/m² auf 216 kK/m²) nicht zwangsläufig zu einer Erhöhung der Stroherträge führt.

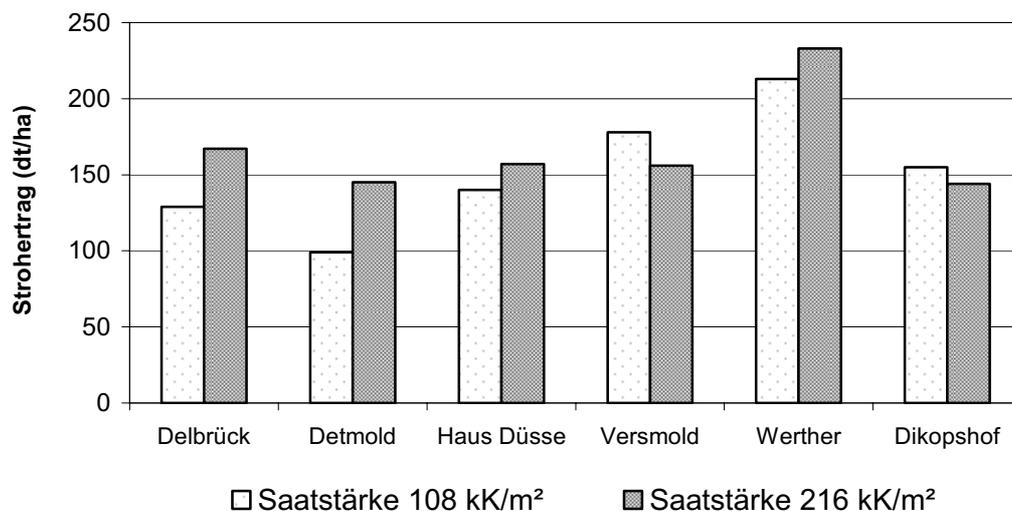


Abbildung 4-4: Strohertrag (dt/ha) in Abhängigkeit von der Saatstärke an den verschiedenen Standorten.

Die Stroherträge unterscheiden sich für die verschiedenen Saatstärken an allen Standorten sehr hoch signifikant. Vermold und Dikopshof liefern entgegen den Erwartungen niedrigere Erträge bei erhöhter Saatstärke.

Auch der Fasergehalt (Abbildung 4-5) wird nur teilweise von der Erhöhung der Saatstärke beeinflusst. Die dargestellten Unterschiede sind, außer für den Standort Delbrück, sehr hoch signifikant.

Entsprechend dem niedrigen Strohertrag bei einer Saatstärke von 216 kK/m² (= Saatmenge 40 kg/ha) fallen auch die Fasergehalte am Standort Vermold geringer aus. Im Gegensatz dazu liefern die signifikanten, aber geringen Unterschiede im Strohertrag (Abbildung 4-4) am Standort Dikopshof einen um 4% erhöhten Fasergehalt.

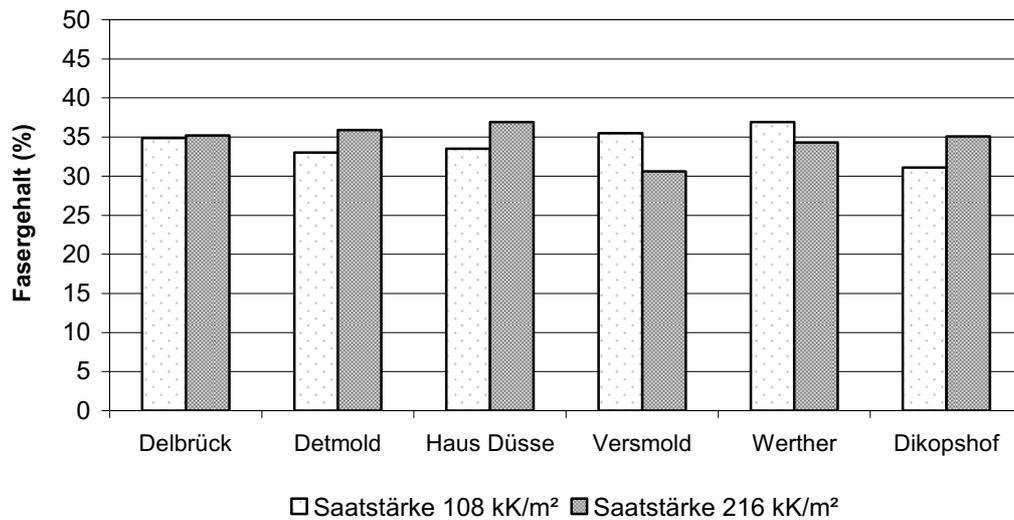


Abbildung 4-5: Fasergehalt (%) in Abhängigkeit von der Saatstärke an den verschiedenen Standorten.

Der Wert des Faseranteils und des Holzanteils (Abbildung 4-5) zusammen ergeben 100 %, sodass sich diese Werte gegenseitig bedingen.

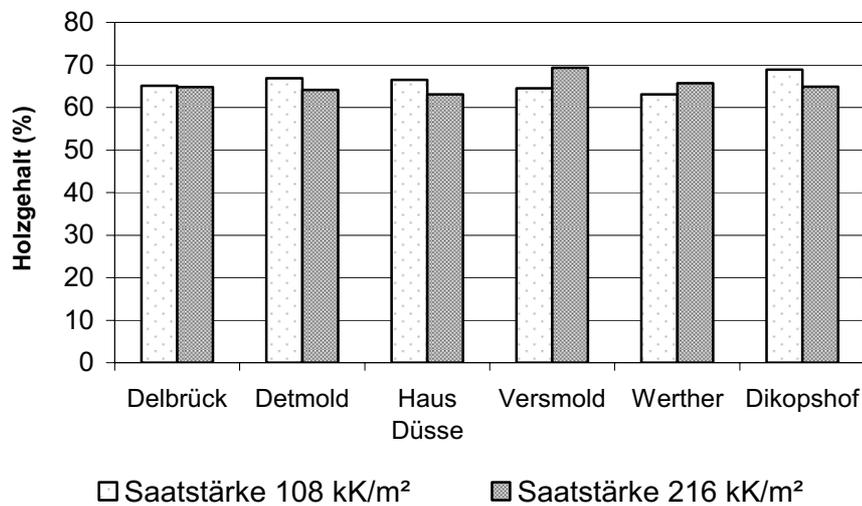


Abbildung 4-6: Holzgehalt (%) in Abhängigkeit von der Saatstärke an den verschiedenen Standorten.

Am Standort Dikopshof war es möglich die Auswirkungen einer weiteren dritten Saatstärke (162 kK/m²), wie in Kap 3.2.1 beschrieben, zu testen. In Tabelle 4-2 sind die Verhältnisse zwischen den Saatstärken für die ertragsbestimmenden Parameter wiedergegeben.

Die Leistungen der Hanfpflanzen unterscheiden sich bei der geringsten Aussaatstärke (108 kK/m²) in allen Parametern signifikant von den beiden höheren Saatstärken (162 kK/m² & 216 kK/m²).

Tabelle 4-2: Darstellung der Signifikanzen in Abhängigkeit von der Saatstärke.

SAATSTÄRKE (kK/m ²)	AUFLAUF (%)	BESTANDES- DICHTE (Pff/m ²)	AUSDÜNNUNG (%)	STÄNGEL- DURCHMESSER (mm)	WUCHSHÖHE (cm)	STROHERTRAG (dt/ha)	FASERGEHALT (%)	HOLZGEHALT (%)
108 zu 162	***	***	***	***	***	***	***	***
108 zu 216	***	***	***	***	***	***	***	***
162 zu 216	ns	***	***	ns	ns	ns	***	***

Legende: Irrtumswahrscheinlichkeit $p = 0,05$

Im Gegensatz dazu lieferten die mit einer Saatstärke von 162 kK/m² ausgebrachten Pflanzen in Bezug auf die höhere Saatstärke nur für die Parameter Bestandesdichte, Ausdünnung, Faser- und Holzgehalt signifikante Unterschiede.

4.2.1 Jahreseinfluss auf die Wirkung der Saatstärke am Standort Dikopshof

Zur Überprüfung des Jahreseffektes sind die ertragsbestimmenden Parameter (Abbildung 4-7, Abbildung 4-8, Abbildung 4-9 und Abbildung 4-10) für den Standort Dikopshof nach Versuchsjahren getrennt dargestellt.

In beiden Versuchsjahren wurde ermittelt, dass sich die dicksten Stängel bei der niedrigsten Saatstärke ausbildeten. Die Stängeldurchmesser bei niedriger Saatstärke sind hoch signifikant unterschiedlich zu denen der beiden höheren Saatstärken. Jedoch unterscheiden sich die erreichten Durchmesser auch signifikant innerhalb der Saatstärken im Jahresvergleich.

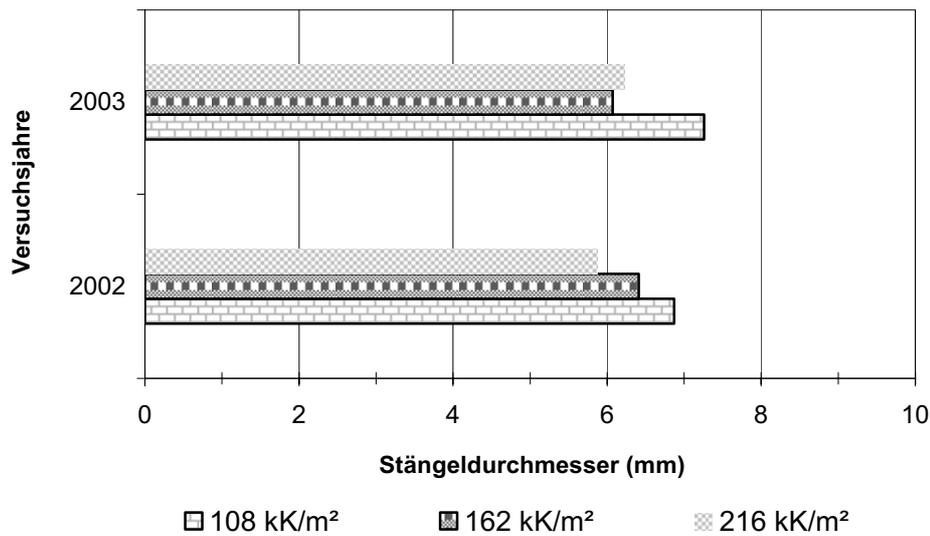


Abbildung 4-7: Stängeldurchmesser (mm) im Jahresvergleich in Abhängigkeit von der Saatstärke für den Standort Dikopshof.

Die Wuchshöhe wird, wie zuvor beschrieben, kaum von den unterschiedlichen pflanzenbaulichen Maßnahmen beeinflusst (Abbildung 4-8).

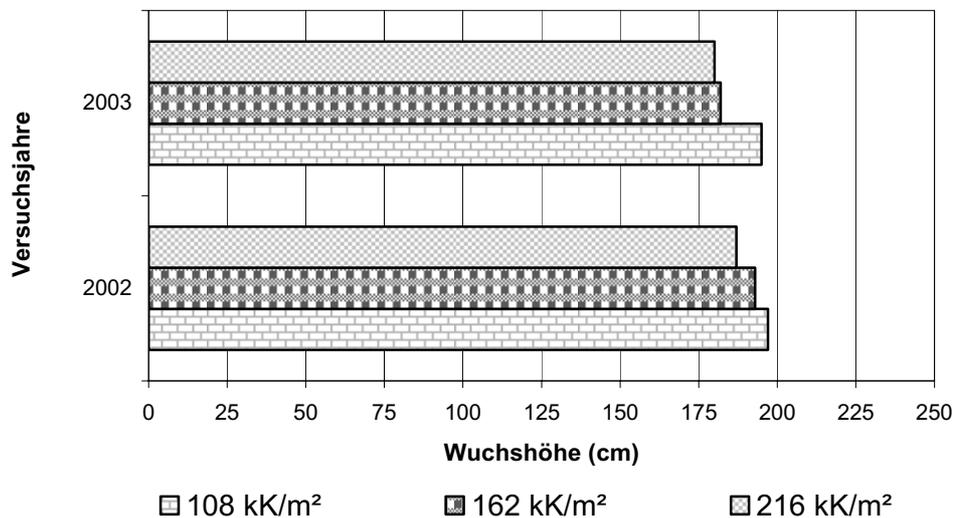


Abbildung 4-8: Wuchshöhen (cm) im Jahresvergleich in Abhängigkeit von der Saatstärke für den Standort Dikopshof.

Die Wuchshöhen unterscheiden sich signifikant bei der mittleren Saatstärke von 162 kK/m² (= Saatmenge 30 kg/ha), nur schwach signifikant innerhalb der höchsten Saatstärke von 216 kK/m² (= Saatmenge 40 kg/ha) und sind für die niedrigste Saatstärke (= Saatmenge 20 kg/ha) nicht signifikant im Vergleich der beiden Versuchsjahre zueinander.

Der Strohertrag (Abbildung 4-9) hingegen zeigt innerhalb der jeweiligen Saatstärke hoch signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsjahren. Im Jahr 2003 wurde der höchste Ertrag mit einer Aussaatstärke von 108 kK/m² erzielt.

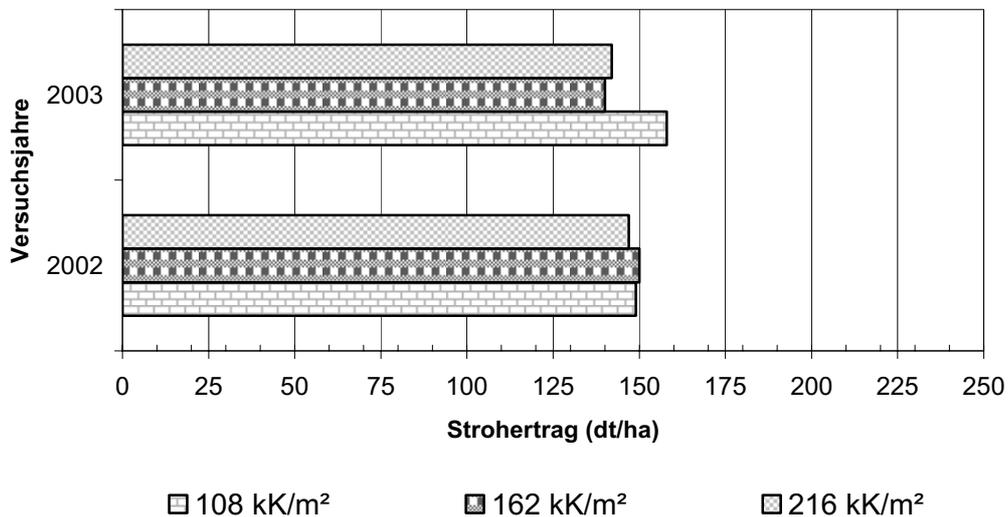


Abbildung 4-9: Stroherträge im Jahresvergleich in Abhängigkeit von der Saatstärke für den Standort Dikopshof.

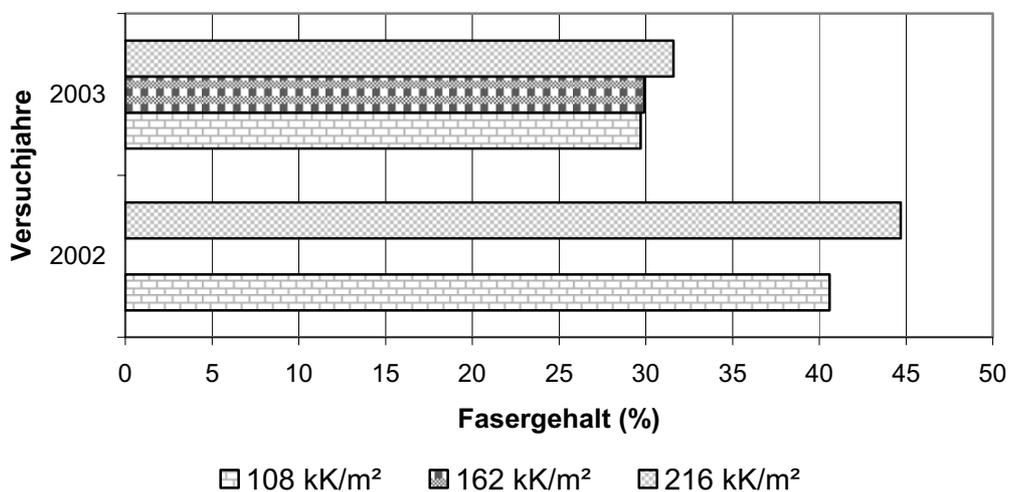


Abbildung 4-10: Fasergehalte (%) im Jahresvergleich in Abhängigkeit von der Saatstärke für den Standort Dikopshof.

Im Vergleich der Saatstärken unterscheiden sich die Fasergehalte hoch signifikant voneinander. Die erreichte Biomasse im Jahr 2003 bei einer Saatstärke von 108 kK/m² liefert nicht die höchsten Fasergehalte. Die höchste Faserausbeute wurde trotz geringerer Biomasse bei einer Saatstärke von 216 kK/m² erzielt.

4.3 Einfluss von Standort und Stickstoff-Düngung

Die Entwicklung der Hanfpflanzen wird im Verlauf der Vegetationsperiode sowohl von den Bedingungen am Standort als auch durch die pflanzenbaulichen Maßnahmen beeinflusst. Im Folgenden wird die Einflussnahme der Stickstoffdüngung von 60 kg/ha und 120 kg/ha auf die ertragsbestimmenden Parameter dargestellt.

Ertragsbestimmende Faktoren

Die Verdopplung der N-Gabe führt an den Standorten Delbrück, Versmold und Dikopshof zu einer hoch signifikanten Abnahme der Bestandesdichte (Abbildung 4-11).

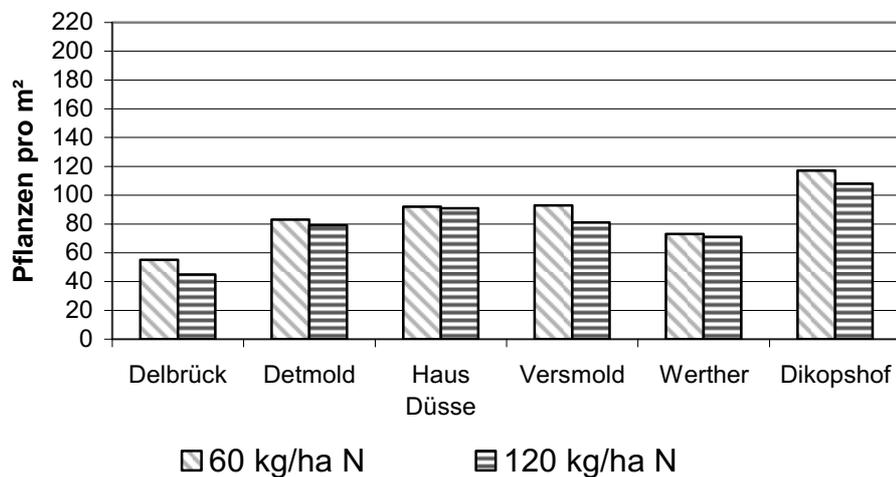


Abbildung 4-11: Bestandesdichte (Pfl/m²) in Abhängigkeit von der N-Düngung an den verschiedenen Standorten.

An den Standorten Detmold, Haus Düsse und Werther sind die Bestandesdichten trotz der erhöhten Stickstoffgabe fast identisch.

Die reduzierten Bestandesdichten (Abbildung 4-11) führen an den Standorten Delbrück und Versmold bei erhöhter Stickstoffdüngung zu einer hoch signifikanten Zunahme der Stängel­länge. Weiter wird ein schwach signifikanter Unterschied in der Wuchshöhe am Standort Haus Düsse und Dikopshof festgestellt. Im Gegensatz dazu hat die Stickstoffgabe an den Standorten Detmold und Werther keinen Einfluss auf die Wuchshöhe.

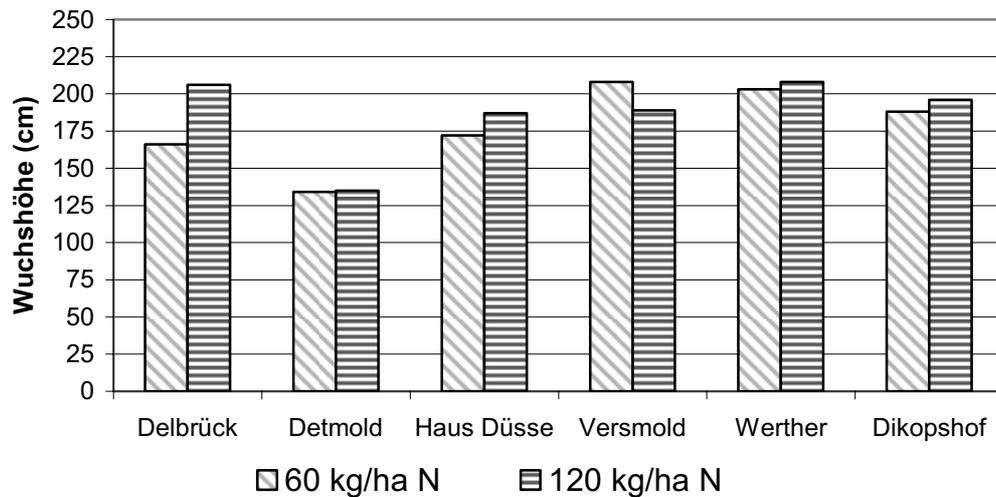


Abbildung 4-12: Wuchshöhe (cm) in Abhängigkeit von der Saatstärke an den verschiedenen Standorten.

Nur an den Standorten Delbrück, Haus Düsse und Dikopshof wird die Wuchshöhenzunahme von einer sehr hoch signifikanten Erhöhung des Stängeldurchmessers begleitet (Abbildung 4-13). Am Standort Werther ist diese Beziehung von Wuchshöhe und Stängeldurchmesser noch schwach signifikant.

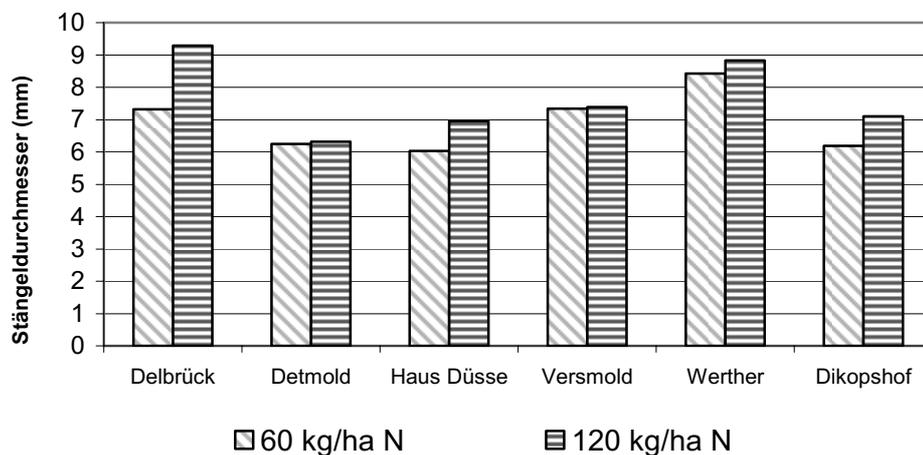


Abbildung 4-13: Stängeldurchmesser (mm) in Abhängigkeit von der N-Düngung an den verschiedenen Standorten.

Die Stängeldurchmesser der Standorte Detmold und Vermold zeigen keine Beeinflussung durch eine Erhöhung der N-Gabe.

Eine Verdopplung der Stickstoff-Düngung führte, außer am Standort Vermold, zu einer sehr hoch signifikanten Zunahme des Strohertrages (Abbildung 4-14). Die Unterschiede im

Strohertrag in Abhängigkeit von der Stickstoffgabe sind auch am Standort Vermold sehr hoch signifikant, doch führt die erhöhte Nährstoffgabe zu einer Abnahme im Strohertrag.

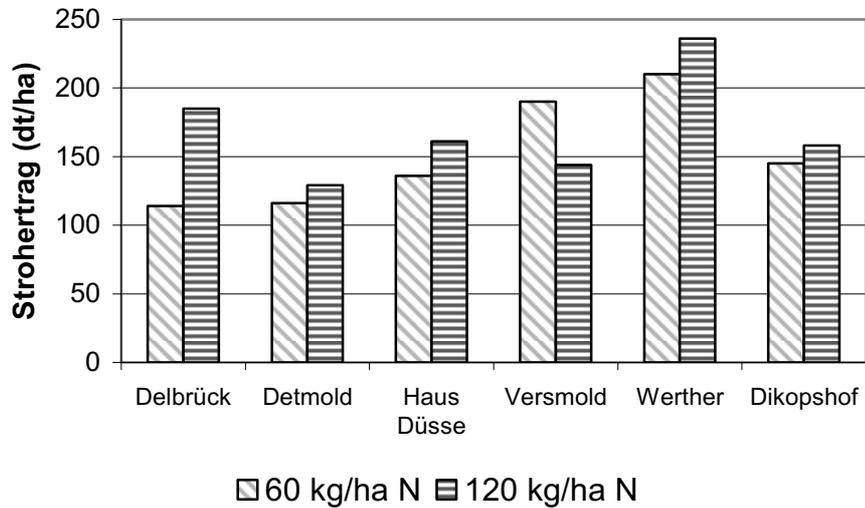


Abbildung 4-14: Strohertrag (dt/ha) in Abhängigkeit von der N-Düngung an den verschiedenen Standorten.

Die Erwartung, dass bedingt durch eine Zunahme des Strohertrags (Abbildung 4-14) mit einer erhöhten Faserausbeute zu rechnen ist, wird in Abbildung 4-15 für den Standort Delbrück widerlegt. Der in Delbrück stark erhöhte Strohertrag zeigt trotz variiertes Stickstoffgabe keinen Unterschied im Fasergehalt auf.

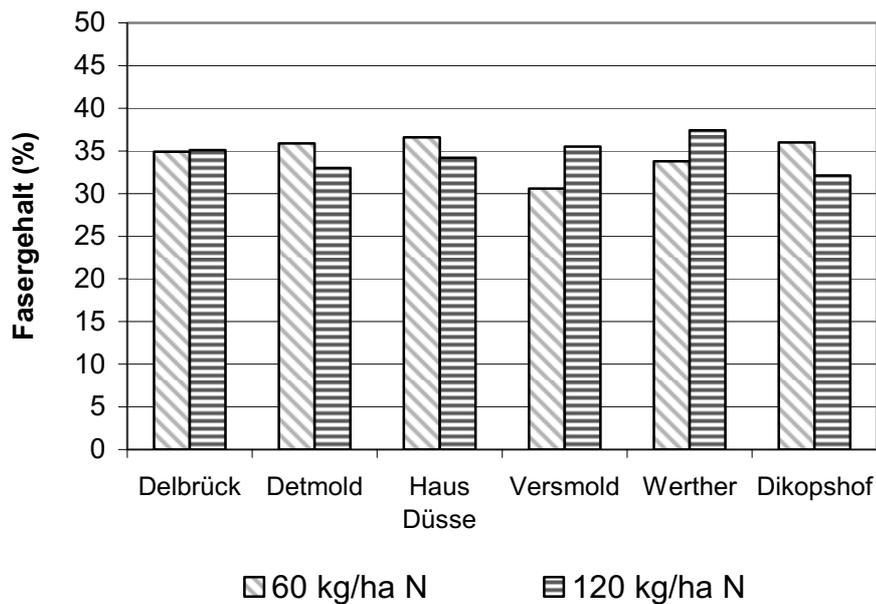


Abbildung 4-15: Fasergehalt (%) in Abhängigkeit von der N-Düngung an den verschiedenen Standorten.

Demgegenüber sind an allen anderen Standorten die Fasergehalte in Abhängigkeit von der Stickstoffgabe sehr hoch signifikant unterschiedlich, wobei die Erhöhung der Stickstoffgabe in Werther und Versmold zu einem Anstieg im Faseranteil im Stroh führte. Andererseits wurde an den Standorten Detmold, Haus Düsse und dem Dikopshof eine Reduktion im Fasergehalt bei verstärkter Stickstoffdüngung ermittelt.

4.3.1 Jahreseinfluss auf die Wirkung der Stickstoffgabe am Standort Dikopshof

Da es sich beim Standort Dikopshof um die Lehr- und Versuchsanstalt des Institutes für Pflanzenbau handelt, war eine weitere Differenzierung der Stickstoffgaben (keine N-Gabe, 40 kg/ha, 60 kg/ha & 120 kg/ha), anders als auf den landwirtschaftlichen Betrieben in OWL, möglich. In Tabelle 4-3 sind die Beziehungen zwischen den Stickstoffdüngungen und den ertragsbestimmenden Parametern in Abhängigkeit vom Jahreseinfluss als Signifikanzen wiedergegeben. Ein signifikanter Unterschied ($p = 0,05$) liegt vor, wenn sich die Buchstaben unterscheiden.

Tabelle 4-3: Darstellung der Signifikanzen im Jahresvergleich in Abhängigkeit von der Stickstoffgabe für den Standort Dikopshof.

NGABE	AUFLAUF (%)		BESTANDES-DICHTE (Pfl/m ²)		AUSDÜNNUNG (%)		STÄNGEL-DURCHMESSER (mm)		WUCHSHÖHE (cm)		STROHERTRAG (dt/ha)		FASERGEHALT (%)		HOLZGEHALT (%)	
	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003
1	c	b	B	a	c	c	c	b	b	a	c	b	b	b	b	a
2	b	a	A	a	b	b	b	b	a	a	b	b	--	b	--	a
3	a	b	A	b	a	b	b	b	a	b	b	b	a	b	c	a
4	d	c	C	c	a	a	a	a	a	c	a	a	c	a	a	b
Mittel	80,5	84,2	103	125	12,3	13,8	6,39	6,59	192	186	149	148	43,5	30,5	56,4	69,5
GD _{5%}	1,45	1,9	4,9	5,8	1,53	1,7	0,26	0,25	7,3	5,1	2,9	2,8	0,58	0,38	0,58	0,38

Legende: Die verschiedenen Buchstaben zeigen die signifikanten Unterschiede für das jeweilige Merkmal auf, wobei Merkmale mit gleichen Buchstaben nicht signifikant unterschiedlich sind. Die grau unterlegten Spalten zeigen die Werte für das Versuchsjahr 2002, die weißen Spalten 2003. Für den Faser- und Holzgehalt liegen zwei Werte nicht vor, die mit – gekennzeichnet sind. N-Gabe 1 = keine Stickstoffgabe; 2 = 40 kg/ha N, 3 = 60 kg/ha N, 4 = 120 kg/ha N.

Die unterschiedlichen Stickstoffgaben führen nicht zu einem einheitlichen Ergebnis. Im ersten Versuchsjahr 2002 ist lediglich die Tendenz zu erkennen, dass es kaum Differenzen der ertragsbestimmenden Faktoren (Bestandesdichte, Stängeldurchmesser, Wuchshöhe und Strohertrag) zwischen der Düngermenge von 40 kg/ha und 60 kg/ha Stickstoff zu geben scheint. Demgegenüber sind im zweiten Versuchsjahr 2003 die Ähnlichkeiten in der Ausprägung der Bestandesdichte, Wuchshöhe und Strohertrag zwischen den niedrigsten Düngergaben am größten. Weiter ist abzulesen, dass die Wuchshöhe im Allgemeinen auch in diesem Versuch am wenigsten durch die Stickstoffmengen beeinflusst wird.

4.4 Einfluss der Wechselwirkung von Saatstärke * Stickstoffgabe in OWL

Die Versuche in Ostwestfalen (OWL) wurden in den Jahren 2001 und 2002 auf fünf bzw. vier Versuchsstandorten durchgeführt. Auch wenn in den folgenden Abbildungen alle Standorte präsentiert werden, wird darauf hingewiesen, dass vollständig auswertbare Datensätze für die ertrags- und qualitätsbestimmenden Faktoren nur für die Standorte Detmold, Haus Düsse und Werther vorliegen.

In Tabelle 4-4 sind die Niederschlagsmengen der Vegetationsperioden für die beiden Versuchsjahre wiedergegeben. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Versuchsjahre, außer für den Standort Detmold, sehr homogene Verhältnisse in den Niederschlagsmengen innerhalb der Vegetationsperioden aufweisen.

Tabelle 4-4: Darstellung der zwischen Aussaat und Ernte gefallenen Niederschlagsmengen für die jeweiligen Standorte der beiden Versuchsjahre.

STANDORT	NIEDERSCHLAG 2001 (mm)	NIEDERSCHLAG 2002 (mm)	DIFFERENZ DER JAHRES- NIEDERSCHLÄGE (MM)
Delbrück	219,7	-----	-----
Detmold	209,2	311,5	102,3
Haus Düsse	279,1	326,2	47,1
Versmold	244	310	66
Werther	254,7	319,2	64,5

Legende: Der Standort Delbrück stand im Jahr 2002 auf grund von Änderungen in den rechtlichen Rahmenbedingungen für den Faserhanfanbau auf Stilllegungsflächen nicht mehr zur Verfügung.

Die ab Kapitel 4.7 analysierten Parameter für die Faserqualität beziehen sich zum einen auf die Saatstärke von 216 kK/m² kombiniert mit einer Stickstoffgabe von 60 kg/ha und zum anderen auf die niedrige Saatstärke (108 kK/m²) und der höchsten Stickstoffdüngung von 120 kg/ha. Zum besseren Verständnis wurden auch die ertragsbestimmenden Faktoren für diese Anbauvarianten in den folgenden Abbildungen ausgewertet.

Saatstärke 216 kK/m² & Stickstoff 60 kg/ha

In Abbildung 4-16 sind die erreichten Stängeldicken für die jeweiligen Standorte in OWL wiedergegeben. Die Stängeldurchmesser der Standorte Vermold und Werther weisen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Jahren auf. In Detmold wurden im Jahr 2002 signifikant dünnere Stängel ausgebildet als im Jahr zuvor. Am Standort Haus Düsse ist dieses Verhältnis umgekehrt.

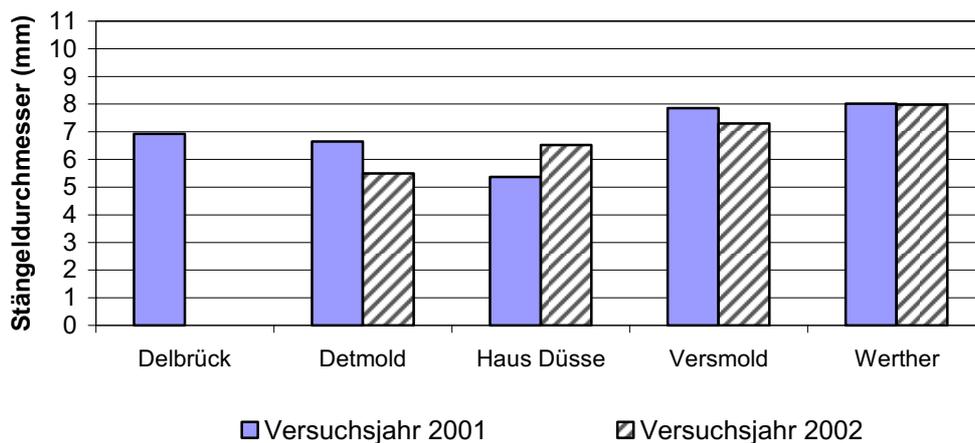


Abbildung 4-16: Stängeldurchmesser (mm) im Vergleich der beiden Versuchsjahre für die Standorte in OWL (Saatstärke 216 kK/m² und 60 kg/ha N).

Obwohl die Unterschiede in den Stängeldicken auf eine Zunahme in den Wuchshöhen schließen lassen, sind keine signifikanten Unterschiede der Pflanzengröße festzustellen. Jedoch ist auffällig, dass an den drei auswertbaren Standorten (Detmold, Haus Düsse und Werther) die Tendenz eines Anstiegs in der Pflanzenlänge im zweiten Versuchsjahr (= Zunahme der Niederschlagssummen) vorliegt.

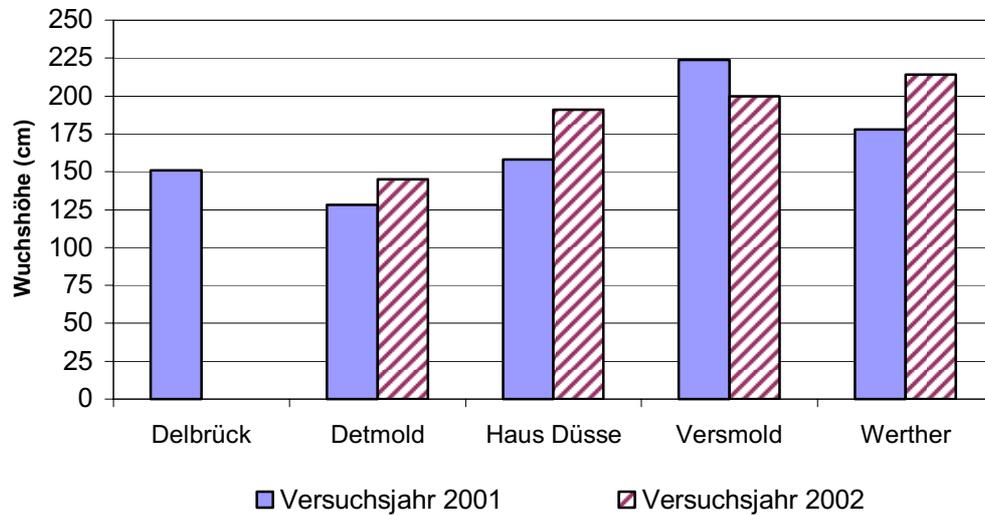


Abbildung 4-17: Wuchshöhe (cm) im Vergleich der beiden Versuchsjahre für die Standorte in OWL (Saatstärke 216 kK/m² und 60 kg/ha N).

Auswertbare Strohertragswerte (Abbildung 4-18) beider Versuchsjahre liegen für drei Versuchsstandorte vor. Der Strohertrag des Standortes Detmold zeigt im Jahr 2002, trotz geringerer Stängeldicken, einen sehr hoch signifikanten Zuwachs. Am Standort Werther hingegen liegen die hoch signifikanten Ertragszunahmen im Jahr 2001. Für den Standort Haus Düsse liegen keine signifikanten Unterschiede im Strohertrag vor.

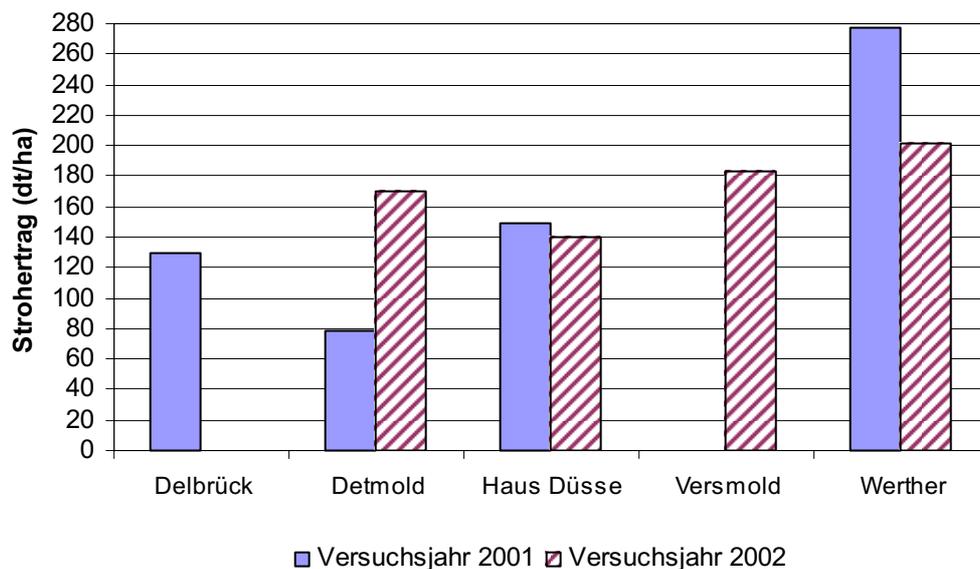


Abbildung 4-18: Strohertrag (dt/ha) im Vergleich der beiden Versuchsjahre für die Standorte in OWL (Saatstärke 216 kK/m² und 60 kg/ha N).

Saatstärke 108 kK/m² & Stickstoff 120 kg/ha

Die ermittelten Stängeldurchmesser (Abbildung 4-19) der Standorte Vermold und Werther unterscheiden sich zwischen den Versuchsjahren sehr hoch signifikant.

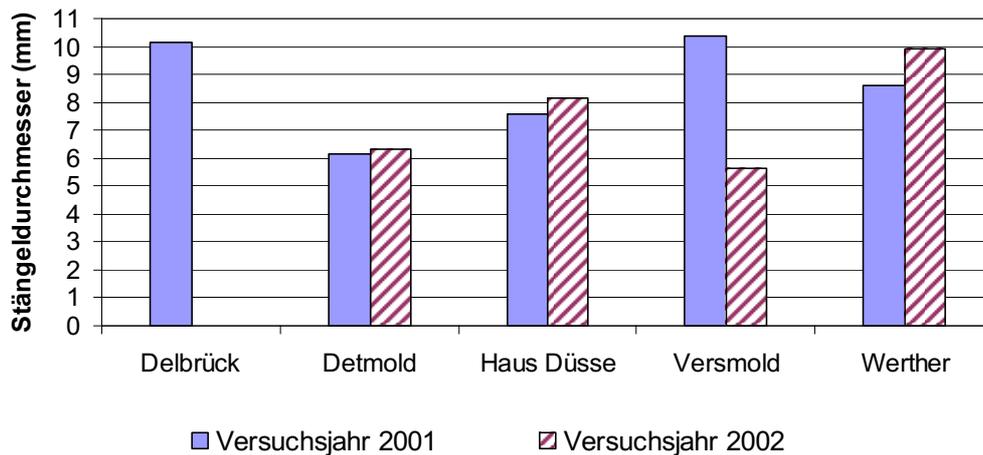


Abbildung 4-19: Stängeldurchmesser (mm) im Vergleich der beiden Versuchsjahre für die Standorte in OWL (Saatstärke 108 kK/m² und 120 kg/ha N).

Jedoch wurden in Vermold in 2001 und in Werther in 2002 die dickeren Stängel ausgebildet. Die Stängeldurchmesser an den Standorten Detmold und Haus Düsse weisen keine signifikanten Unterschiede auf.

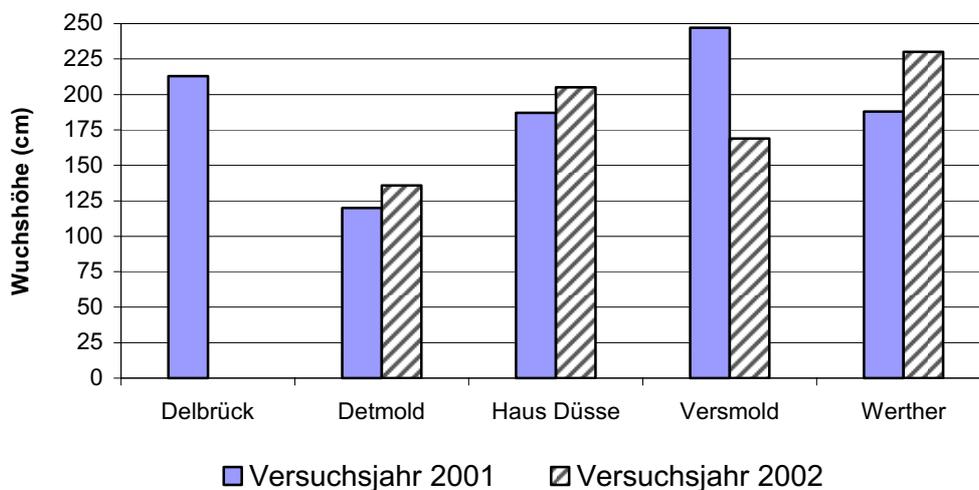


Abbildung 4-20: Wuchshöhe (cm) im Vergleich der beiden Versuchsjahre für die Standorte in OWL (Saatstärke 108 kK/m² und 120 kg/ha N).

Die statistische Auswertung der Wuchshöhe (Abbildung 4-20) liefert ein dem Stängeldurchmesser identisches Ergebnis.

Die Pflanzenlängen der Standorte Detmold und Vermold sind nicht signifikant unterschiedlich zwischen den Versuchsjahren. Dagegen ist die Wuchshöhe in Vermold und Werther sehr hoch signifikant unterschiedlich.

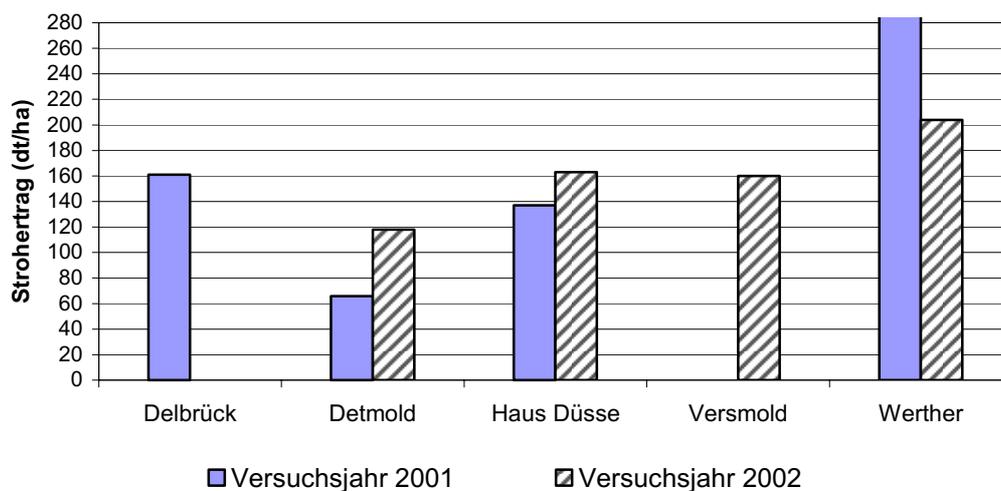


Abbildung 4-21: Strohertrag (dt/ha) im Vergleich der beiden Versuchsjahre für die Standorte in OWL (Saatstärke 108 kK/m² und 120 kg/ha N).

Für den Vergleich der Stroherträge (Abbildung 4-21) liegen drei auswertbare Standorte vor. Obwohl an den Standorten Vermold und Haus Düsse weder die Stängeldurchmesser noch die Wuchshöhe signifikante Unterschiede aufweisen, sind die Stroherträge der beiden Versuchsjahre an den jeweiligen Standorten sehr hoch signifikant verschieden. Für den Standort Werther ist eine sehr hoch signifikante Zunahme im Strohertrag im Versuchsjahr 2001 zu verzeichnen, obwohl die dickeren und höheren Hanfstängel im Jahr 2002 ausgebildet wurden.

Inwieweit die Auswertung der Ergebnisse des Standortes Vermold ein realistisches Bild präsentiert, ist im Rahmen dieser Untersuchung auf Grund der in Kap. 4.1.1 beschriebenen Problematik schwer zu klären. Dass sich die erzielten Ergebnisse auf den Fehler der Sämaschine zurückführen lassen, scheint möglich, da in Vermold die Verhältnisse immer konträr der anderen auswertbaren Standorte sind.

4.5 Einfluss des Genotyps

Die Untersuchung der Genotypen ist ausschließlich auf dem Standort Dikopshof in zwei aufeinander folgenden Versuchsjahren (2002 & 2003) durchgeführt worden. Wie in Tabelle 3-2 dargestellt handelt es sich um Genotypen unterschiedlicher Herkunft und verschiedenen Reifeverhaltens.

Tabelle 4-5: Darstellung der im Mittel erreichten ertragsbestimmenden Parameter für die verschiedenen Genotypen.

GENOTYP	AUFLAUF (%)		BESTANDES- DICHTE (Pfl/m ²)		AUSDÜNNUNG (%)		STÄNGEL- DURCHMESSER (mm)		WUCHSHÖHE (CM)		STROHERTRAG (dt/ha)		FASERGEHALT (%)		HOLZGEHALT (%)	
Fedora 17	65,9	c	127	d	25,4	c	6,72	c	197	b	184	b	30,5	e	69,5	a
Futura 75	55,2	e	107	e	18,2	e	7,45	b	203	ab	176	c	34,8	d	65,2	b
Uso 31	72,7	b	136	b	38,3	a	6,83	c	194	b	165	d	44,9	a	55,2	e
Beniko *	65,7	c	132	c	29,9	b	7,3	ab	196	b	177	c	42,6	b	57,4	d
Epsilon 68	43,5	d	88	f	21,9	d	7,61	b	206	a	179	c	37,6	c	62,4	c
Bialobrzeskie *	74,1	a	147	a	18,4	e	7,03	ac	200	ab	191	a	37,4	c	62,6	c
Mittel	61,1		118		25,7		7,17		200		177		38,2		61,8	
min	43,5		88		18,2		6,72		194		165		30,5		55,2	
max	74,1		147		38,3		7,61		206		191		44,9		69,5	
GD _{5%}	1,2		2,3		2,1		0,3		6,6		2,3		0,3		0,3	

Legende: Die verschiedenen Buchstaben zeigen die signifikanten Unterschiede der Genotypen für das jeweilige Merkmal auf, wobei Merkmale mit gleichen Buchstaben nicht signifikant unterschiedlich sind. Die Daten der Genotypen, die mit einem * gekennzeichnet sind beziehen sich ausschließlich auf die Vegetationsperiode 2003.

Mit den folgenden graphischen Darstellungen werden die Unterschiede der Genotypen für einzelne Merkmale im Detail dargestellt. In Abbildung 4-22 ist der Strohertrag gezeigt. **Uso 31** als frühreife Sorte weist einen deutlich geringeren Strohertrag als alle anderen Genotypen auf. Obwohl **Bialobrzeskie** ein mittelfrühes Abreifeverhalten zeigt, hat sie die höchsten Stroherträge erzielt. Die Genotypen **Epsilon 68**, **Beniko** und **Futura 75** zeigen keine signifikanten Unterschiede in ihren Stroherträgen.

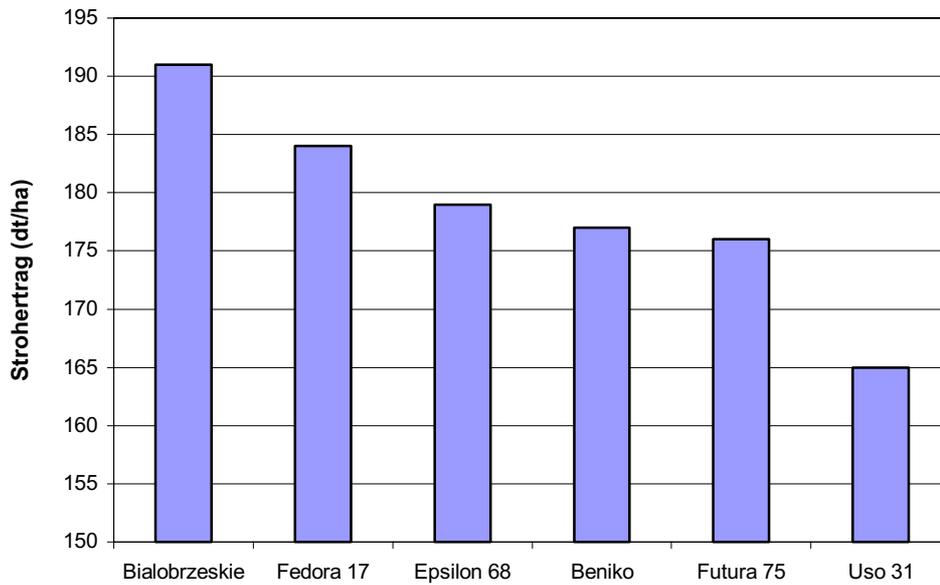


Abbildung 4-22: Strohertrag (dt/ha) in Abhängigkeit von verschiedenen Genotypen.

Eine Besonderheit beim Anbau von Hanf ist der Effekt der Selbstausdünnung (Self-thinning) der Pflanzen, die sich in einem Absterben der Pflanzen im Verlauf der Vegetationsperiode äußert.

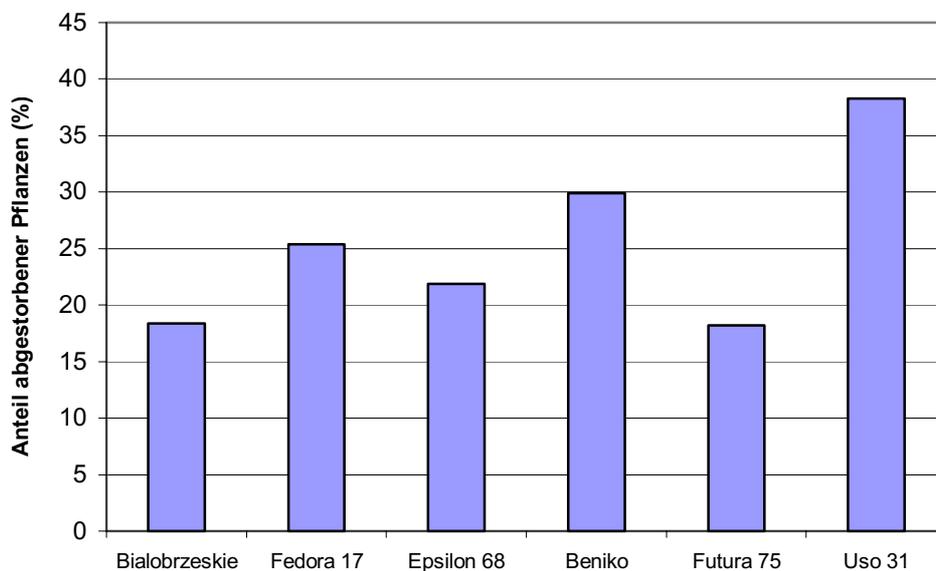


Abbildung 4-23: Phänomen der Selbstausdünnung in Abhängigkeit von den verschiedenen Genotypen. Die Genotypen sind in allen folgenden Abbildungen anhand ihres Strohertrages (Abbildung 4-22) sortiert.

Die Selbstausdünnung reicht von 18,2 % bei **Futura 75** bis zu 38,3 % bei **Uso 31**. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Ausdünnung nicht unbedingt einen Einfluss auf den Strohertrag

bzw. Faserertrag hat. Für die Genotypen **Bialobrzeskie** und **Futura 75** wurden die signifikant niedrigsten Ausdünnungsraten ermittelt, jedoch zeigt sich dies im Faserertrag von **Futura 75** nicht.

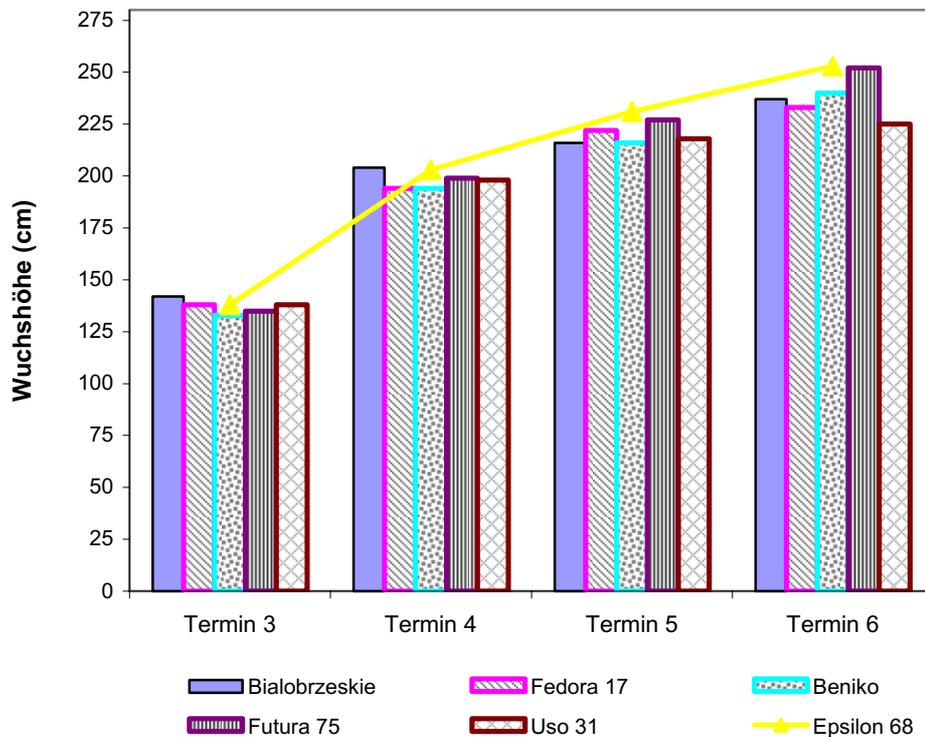


Abbildung 4-24: Zunahme des Stängelwachstums im Verlauf der Vegetationsperiode in Abhängigkeit von den verschiedenen Genotypen.

Das Wuchsverhalten der Genotypen im Verlauf der Vegetationsperiode ist in Abbildung 4-24 wiedergegeben. Deutlich erkennbar ist, dass eine Differenzierung im Wuchsverhalten erst ab Termin 5 eintritt. Zum Zeitpunkt der Ernte (Termin 6) liegt **Uso 31** als frühreife Sorte mit der geringsten Wuchshöhe bei 225 cm, ist jedoch signifikant gleich hoch mit **Fedora 17** (233 cm), sowie den einjährigen Versuchsergebnissen der Sorten **Bialobrzeskie** (237 cm) und **Beniko** (240 cm). **Epsilon 68** hat ein spätes Reifeverhalten und hat dem entsprechend mit 253 cm die größere Wuchshöhe erreicht, was signifikant gleich ist mit der Wuchshöhe (252 cm) von **Futura 75** (mittel-spätes Reifeverhalten).

4.5.1 Wechselwirkung zwischen Versuchsjahr * Genotyp

Zur Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen den Genotypen und den Versuchsjahren, werden die ertragsbestimmenden Faktoren von **Fedora 17**, **Epsilon 68**, **Futura 75** und **Uso 31** analysiert. **Bialobrzeskie** und **Beniko** wurden nur im Versuchsjahr 2003 angebaut und sind somit nicht aussagekräftig verwertbar.

Die Stängeldurchmesser (Abbildung 4-25) von **Epsilon 68** weisen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsjahren auf. **Fedora 17** (sehr hoch signifikant) und **Uso 31** (hoch signifikant) haben im Jahr 2002 die dicksten Stängel ausgebildet. Auch **Futura 75** weist im Stängeldurchmesser sehr hoch signifikante Unterschiede auf, jedoch wurden diese nur im Jahr 2003 gemessen.

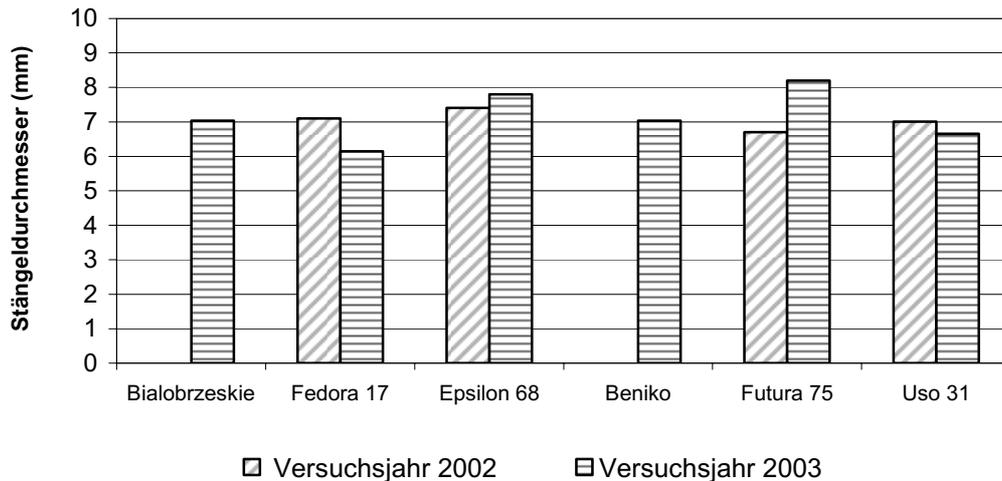


Abbildung 4-25: Stängeldurchmesser der Genotypen in Abhängigkeit von den Versuchsjahren auf dem Dikopshof.

Für die in Abbildung 4-26 dargestellten Wuchshöhen liegt nur für **Fedora 17** ein sehr hoch signifikanter Unterschied dieses Parameters zwischen den Versuchsjahren vor.

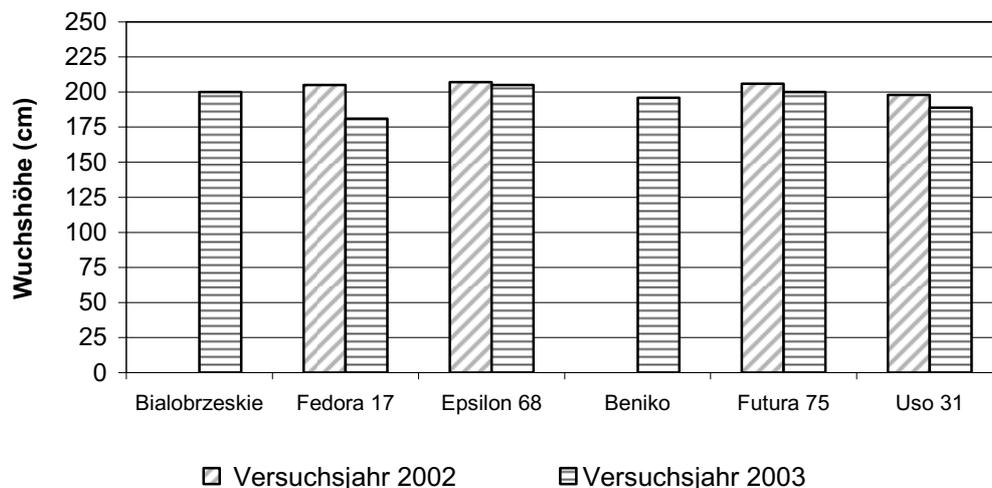


Abbildung 4-26: Wuchshöhe (cm) der Genotypen in Abhängigkeit von den Versuchsjahren auf dem Dikopshof.

Die Stroherträge (Abbildung 4-27) von **Fedora 17** und **Futura 75** zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsjahren. **Uso 31** hat einen sehr hohen signifikanten Zuwachs des Strohertrages in 2002. Im Gegensatz dazu ist der Strohertrag von **Epsilon 68** im Jahr 2003 sehr hoch signifikant größer, obwohl die Stängeldicke und –länge keine Unterschiede zwischen den Jahren aufweisen.

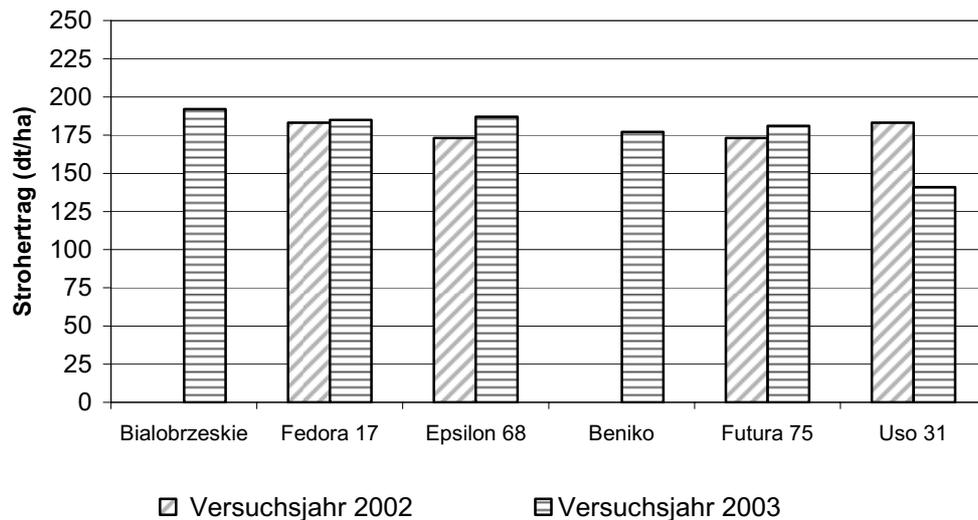


Abbildung 4-27: Strohertrag (dt/ha) der Genotypen in Abhängigkeit von den Versuchsjahren auf dem Dikopshof.

Es ist jedoch bei **Fedora 17**, **Futura 75** und **Epsilon 68** eine positive Tendenz für eine Zunahme des Strohertrags im zweiten Versuchsjahr zu erkennen.

4.6 Mechanische Bewertung der Untersuchungsgeräte

4.6.1 Bewertung der Laborentholungsmaschine

Wie der Name „Flaksy“ der Laborentholungsmaschine besagt, wurde sie für Flachs entwickelt. Um die Laborentholungsmaschine „Flaksy“ für Hanf zu bewerten, wurden wie im Kapitel 3.4.3 (S.17ff) beschriebene Entholungsversuche durchgeführt. Aus mehreren Jahren wurden verschiedene Stängelteile und Stängeldicken analysiert. Um zu sehen, ob die Laborentholungsmaschine eine ausreichende Entholung der Stängel bewirkt, wurden die Restschäben aus den Proben entnommen und auf den Gesamtschäbengehalt bezogen.

Betrachtet man die Werte der Restschäben aller durchgeführten Entholungsproben so fällt auf, dass die Entholungsgrade nicht normalverteilt sind. Wie aus Abbildung 4-28 hervorgeht, ergibt sich eine Häufung im Bereich mit geringem Restschäbenanteil.

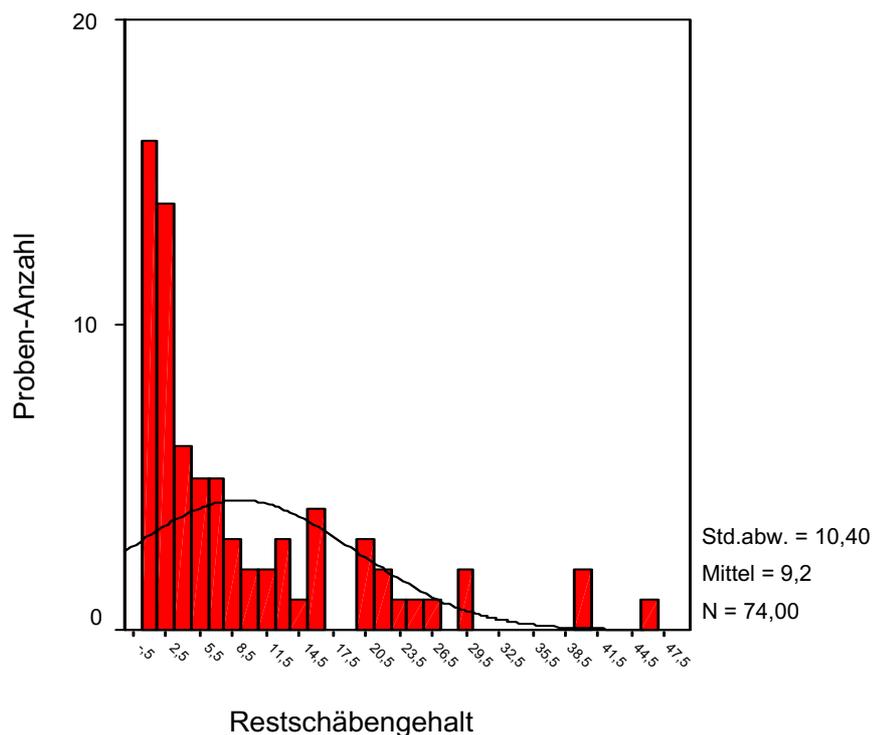


Abbildung 4-28: Verteilung der Restschäbengehalte prozentual zum Gesamtschäbengehalt.

Beim Vergleich der verschiedenen Anbaujahre ergab sich beim Levene-Test eine Normalverteilung der Restschäbengehalte. Die Restschäbengehalte zeigten signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 2001 und 2002. Unterschiede zwischen den Jahren 2002 und 2003 sowie 2001 und 2003 waren nicht nachzuweisen.

Beim Vergleich der Entholungsgrade zwischen den Stängelabschnitten konnte ebenfalls eine Normalverteilung festgestellt werden, jedoch ergaben sich keine signifikanten Unterschiede in der Entholung des Mittelteils und Unterteils der Pflanze.

Über die Entholungsgrade bei verschiedenen Stängeldicken können ebenfalls keine statistisch abgesicherten Aussagen gemacht werden. Bei der Einteilung in zwei Stängeldickenfraktionen (bis 6,5 mm und über 6,5 mm) ist der Restschäbengehalt zwar normalverteilt, aber es können keine signifikanten Unterschiede in den Ergebnissen festgestellt werden. Bei der Einteilung der Stängel in drei Fraktionen (bis 5,79 mm; 5,8 mm bis 7,19 mm und über 7,19 mm) ist der Restschäbengehalt zusätzlich nicht normalverteilt.

Im Folgenden sind die Schätzwerte für die Parameter der Grundgesamtheit und Maßzahlen für die Variabilität dargestellt.

Tabelle 4-6: Anteil der an den Fasern anhaftenden Restschäben am Gesamtschäbengehalt bei Unterteilung in zwei Durchmesserklassen.

Stängeldurchmesser	Mittelwert Restschäbengehalt [%]	Standardabweichung	Variationskoeffizient
≤ 6,5 mm	10,07	11,65	115,70
> 6,5 mm	7,94	8,41	105,92

Tabelle 4-7: Anteil der an den Fasern anhaftenden Restschäben am Gesamtschäbengehalt bei Unterteilung in drei Durchmesserklassen.

Stängeldurchmesser	Mittelwert Restschäbengehalt [%]	Standardabweichung	Variationskoeffizient
< 5,8 mm	12,15	13,25	109,05
5,8 - 7,19 mm	5,38	6,59	122,43
> 7,19 mm	9,31	8,83	94,88

Die hohen Standardabweichungen und Variationskoeffizienten rühren daher, dass in jeder Gruppe starke Ausreißer vorhanden sind. Wie mit diesen Werten umzugehen ist, muss noch diskutiert werden. Die Darstellung im obigen Histogramm (Tabelle 4-6 und Tabelle 4-7) zeigt jedoch, dass in der Regel nur wenige Restschäben in der Probe vorhanden sind.

Im nachfolgenden Diagramm ist zu erkennen, dass die Hälfte der Proben einen Restschäbengehalt von unter 5 % aufweist. Etwa ein Viertel liegt im Bereich von 5 bis 15 % Restschäben.

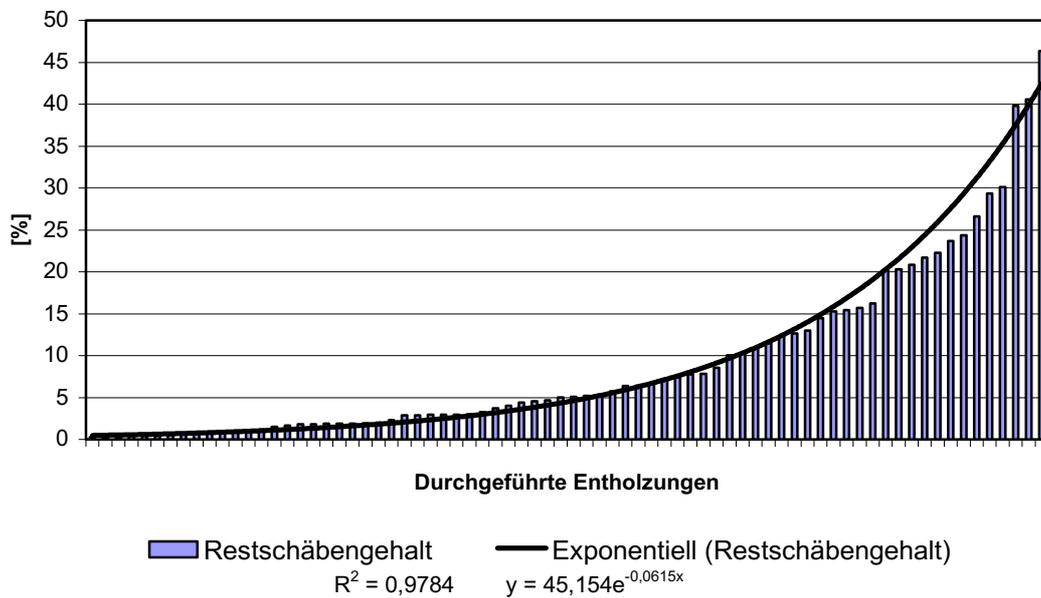


Abbildung 4-29: Restschäbengehalte der 74 untersuchten Entholungsproben aufsteigend sortiert.

4.6.2 Freilegbarkeit

Die Freilegbarkeit ist ein Maß dafür, wie leicht sich das Holz von den Fasern trennen lässt. Um eine Aussage über die Freilegbarkeit nach zwei und drei Entholungsvorgängen treffen zu können, wurden die Proben nach dem *Methodenbuch Industriefaserlein* nicht nur nach 3 und 10 Durchläufen (Freilegbarkeit_{3;10}), sondern ebenfalls nach 2 und 6 Durchläufen (Freilegbarkeit_{2;6}) gewogen.

Bei dem Vergleich von drei Stängeldickenfraktionen konnte durch den Levene-Test lediglich bei der Freilegbarkeit nach drei Entholungsdurchläufen eine Normalverteilung festgestellt werden. Der anschließende Tuckey-Test zeigte signifikante Unterschiede zwischen der oberen Stängeldicke und den beiden anderen dünneren Stängeldurchmessern.

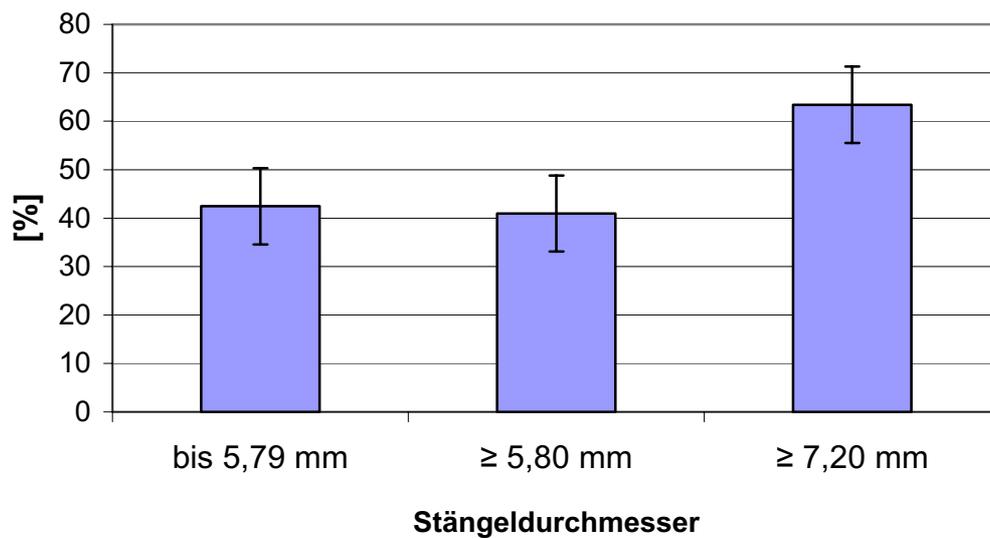


Abbildung 4-30: Voruntersuchungen der Freilegbarkeit in drei Größenklassen nach Methode Heyland und Kromer des *Methodenbuch Industriefaserleins*.

Bei der Freilegbarkeit nach zwei Durchläufen zeigte der Levene-Test keine Normalverteilung, doch die trotzdem zur Kontrolle durchgeführte Varianzanalyse zeigte den gleichen Effekt wie die bei Freilegbarkeit nach drei Durchläufen. Hier ist allerdings noch ein etwas größerer Unterschied zwischen den beiden unteren Klassen zu erkennen.

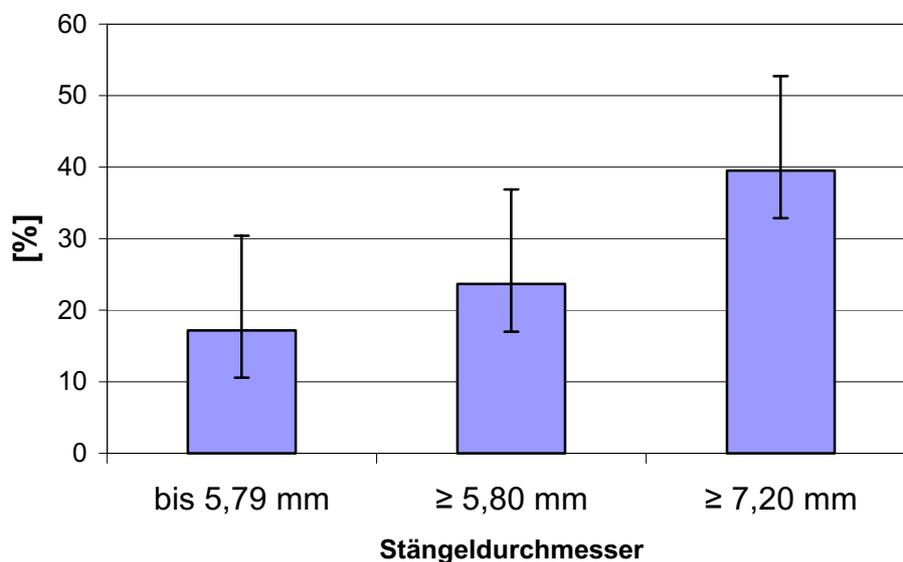


Abbildung 4-31: Voruntersuchungen der Freilegbarkeit in drei Größenklassen nach Methode Faserinstitut Bremen (FIBRE).

Vergleicht man die verschiedenen Methoden Freilegbarkeit nach HEYLAND & KROMER (1995) und nach FIBRE, so ist zu erkennen, dass die Standardabweichung bei der Freilegbarkeit_{2,6} zwar geringer ist als bei der Freilegbarkeit_{3,10}, aber der Variationskoeffizient zeigt eine andere Tendenz. Es bleibt also festzuhalten, dass die Freilegbarkeit_{3,10} geringere

Schwankungen in der Methode aufweist, als die Methode des FIBRE mit weniger Entholzungsvorgängen.

Tabelle 4-8: Freilegbarkeit der Methoden FIBRE und *Methodenbuch Industriefaserlein*.

	Freilegbarkeit Mittelwert [%]	Standardabweichung [%]	Variationskoeffizient [%]
Freilegbarkeit _{2;6}	26,63	21,29	79,94
Freilegbarkeit _{3;10}	49,09	24,83	50,58

Aus den obigen Daten geht hervor, dass als Referenzmethode für Schnelltests und auch für die im Forschungsantrag geforderten Untersuchungen die Labor-Entholzungsmaschine „Flaksy“ geeignet ist und dass die Freilegbarkeit nach dem *Methodenbuch Industriefaserlein* durchgeführt werden soll.

4.7 Qualitätsbestimmung

4.7.1 Freilegbarkeit

Die Freilegbarkeit ist eine Maßzahl zur Beurteilung der Entholzungsgeschwindigkeit. Nachfolgend werden die Ergebnisse bezüglich der Jahres-, Sorten- und Standortunterschiede dargestellt.

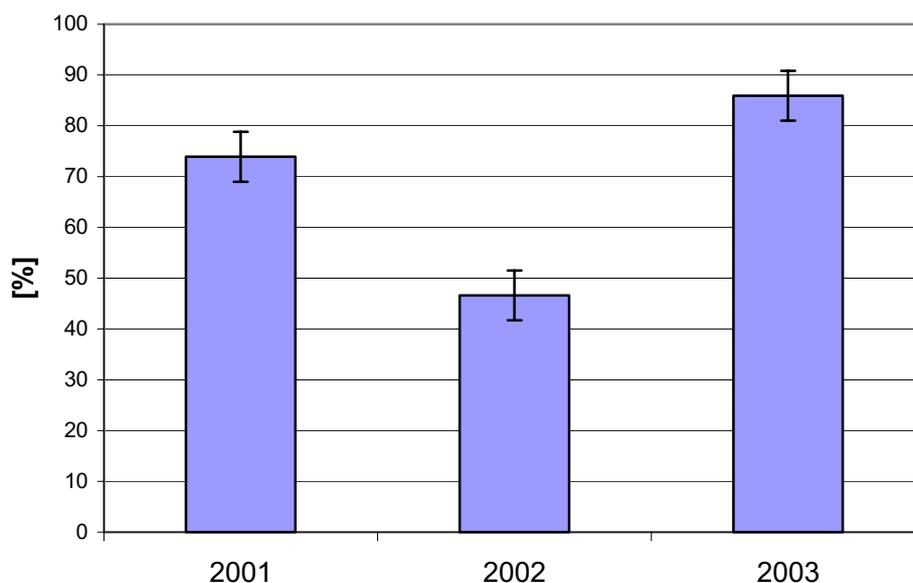


Abbildung 4-32: Freilegbarkeit aller entholzten Proben aus den Jahren 2001 bis 2003.

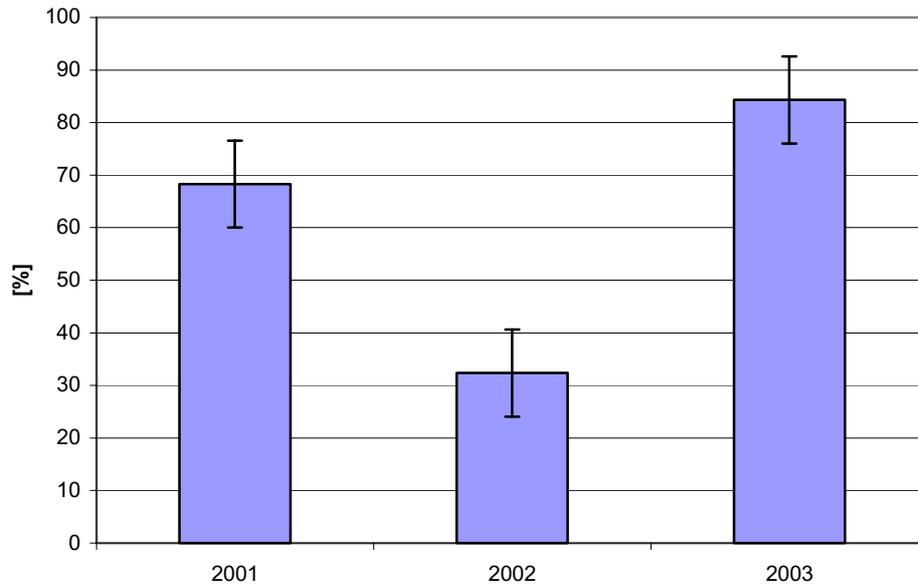


Abbildung 4-33: Freilegbarkeit der entholzten Proben vom Dikopshof (Wesseling).

Es ist auffällig, dass die Werte auf der Lehr- und Forschungsstation Dikopshof für die Freilegbarkeit für das Versuchsjahr 2002 sehr viel geringer waren, als auf den Praxis-schlägen in Ostwestfalen-Lippe. Diese liegen, wie die nachfolgenden Abbildungen zeigen ebenfalls im Bereich von etwa 70 cN/tex.

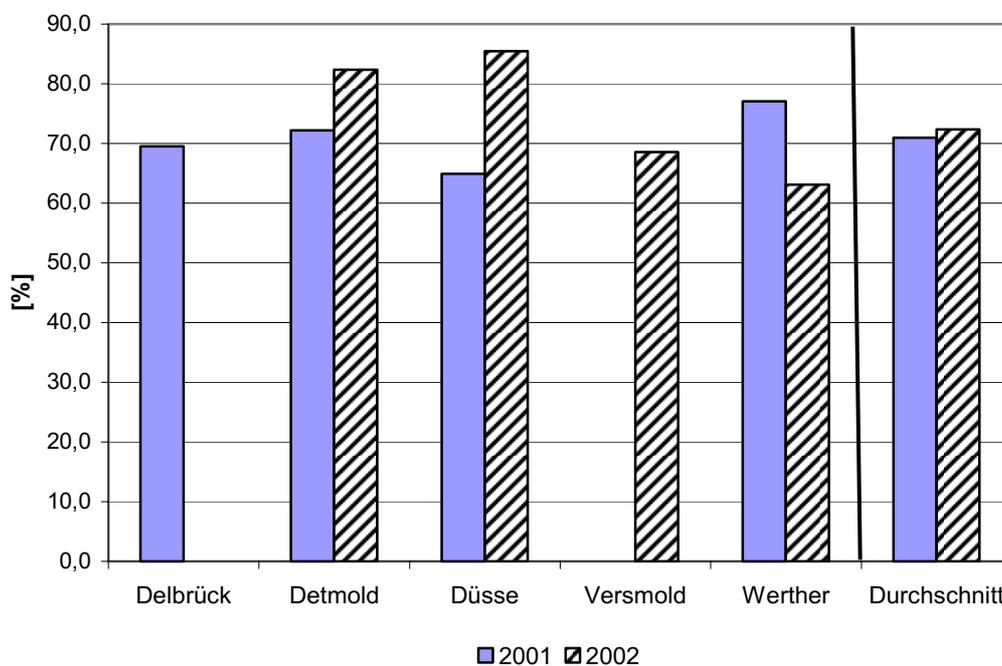


Abbildung 4-34: Freilegbarkeit der verschiedenen Praxisstandorte vom Anbaujahr 2001 und 2002 mit der Anbauvariante 108 kK/m² und 120 kg N/ha.

Im Mittel von allen Proben unterschied sich die Freilegbarkeit des Hanfes in allen Anbau-jahren. Betrachtet man den Dikopshof alleine, so unterscheidet sich lediglich das Jahr 2002 von den beiden anderen Jahren.

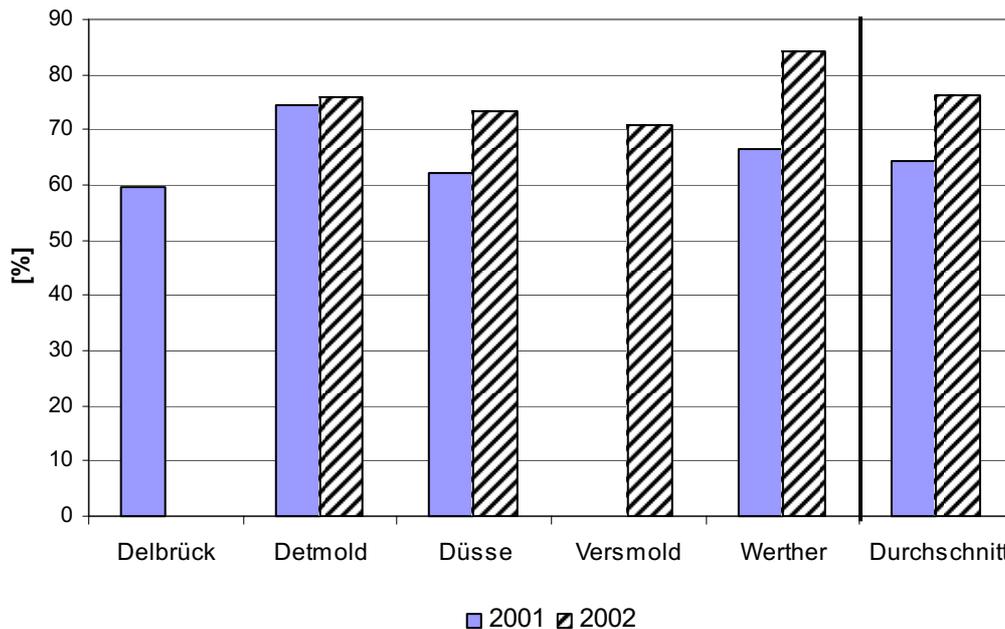


Abbildung 4-35: Freilegbarkeit der verschiedenen Praxisstandorte vom Anbaujahr 2001 und 2002 mit der Anbauvariante 216 kK/m² und 60 kg N/ha.

Aus Abbildung 4-34 und Abbildung 4-35 ist zu erkennen, dass bei beiden Anbauvarianten keine Zusammenhänge zwischen dem Standort und der Freilegbarkeit ersichtlich sind. Lediglich fällt bei der Variante mit der höheren Saatstärke auf, dass auf allen Standorten die Freilegbarkeit im Jahr 2002 höher war.

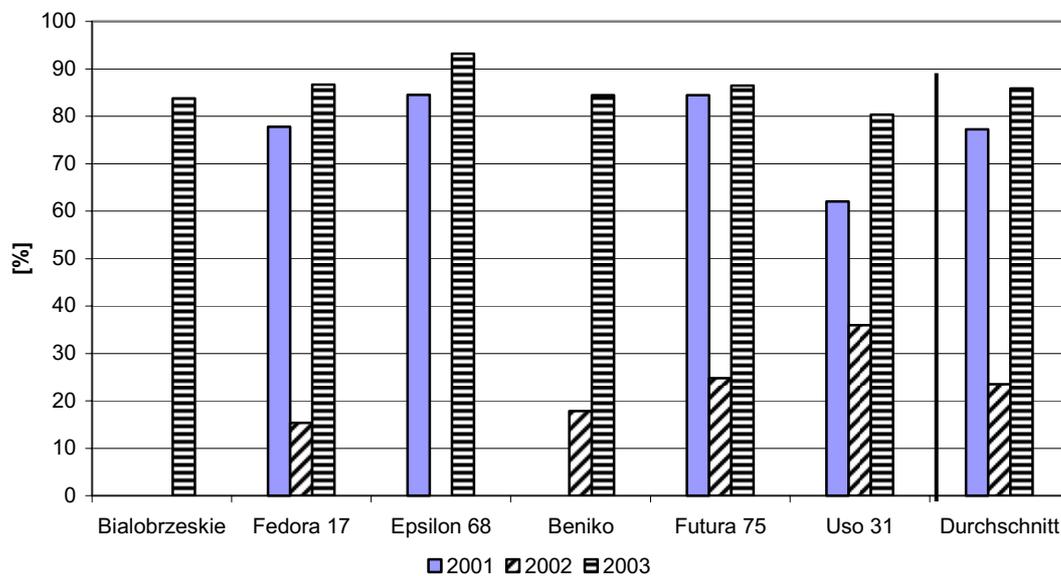


Abbildung 4-36: Freilegbarkeit der verschiedenen Sorten Versuchsstandort Dikopshof; Wesseling.

In Abbildung 4-36 ist erkennbar dass die Freilegbarkeit der Hanffasern auf dem Dikopshof auch sortenunabhängig im Jahr 2002 um ein Vielfaches geringer ist, als in den beiden anderen Jahren.

4.7.2 Reißfestigkeit

Stickstoff-Einfluss und Saatstärken-Einfluss auf die Faserfestigkeit

Um die Anbaukosten von Hanf zu senken, ist es zum einen denkbar die Saatgutkosten zu senken und zum anderen die Düngekosten. Im Folgenden sind die Daten aus der Reduzierung der Saatstärke und der Stickstoffdüngung bei der Sorte **Fedora 17** dargestellt. Bei den Jahren 2001 und 2002 handelt es sich um die Mittelwerte von allen Standorten. Im Jahr 2003 erfolgten außer auf dem Versuchsgut Dikopshof in Wesseling keine Untersuchungen von Praxis schlägen.

Tabelle 4-9: Feinheitsbezogene Höchstzugkraft der Sorte Fedora 17 über alle Anbaujahre und Standorte.

Anbauvariante	2001 [cN/tex]	2002 [cN/tex]	2003 [cN/tex]
108 kK/m ² ; 120 kg N/ha	56,62	60,28	63,10
216 kK/m ² ; 120 kg N/ha	52,40	60,11	73,27
216 kK/m ² ; 60 kg N/ha	53,09	64,63	64,62

Im nachfolgenden Diagramm (Abbildung 4-37) ist der Einfluss einer Variation der Saatstärke auf die Festigkeit der Fasern dargestellt.

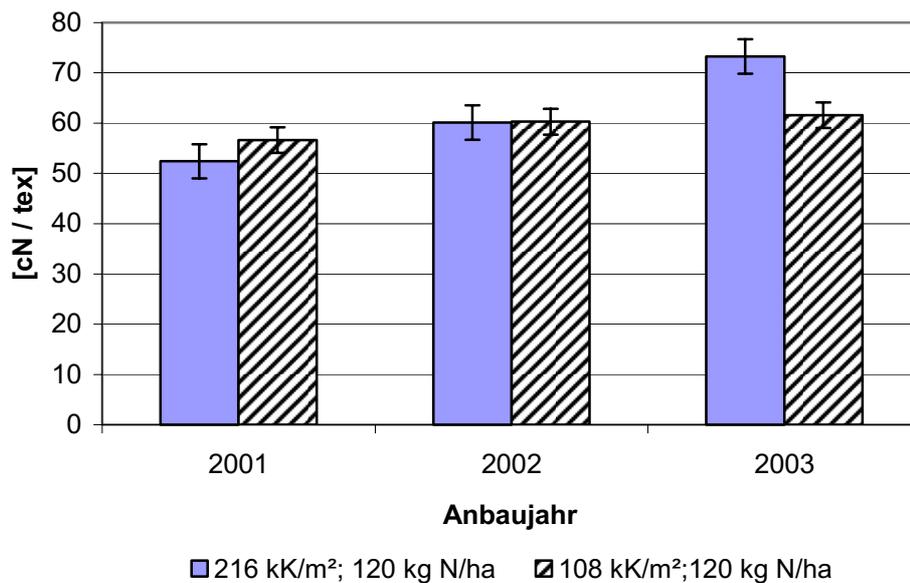


Abbildung 4-37: Feinheitsbezogene Höchstzugkraft bei der Sorte Fedora 17 über drei Jahre mit einer Stickstoffdüngung von 120 kg/ha.

Eine Reduzierung der Saatstärke hat keinen Effekt auf die feinheitsbezogene Höchstzugkraft der Sorte **Fedora 17**. Während 2001 die geringere Saatkichte einen höheren Festigkeitswert aufweist gleicht sich es im Jahre 2002 an und kehrt sich im Jahre 2003 um. Wobei festzuhalten bleibt, dass die Festigkeitswerte bei der reduzierten Saatstärke konstanter waren, als die der praxisüblichen Saatstärke.

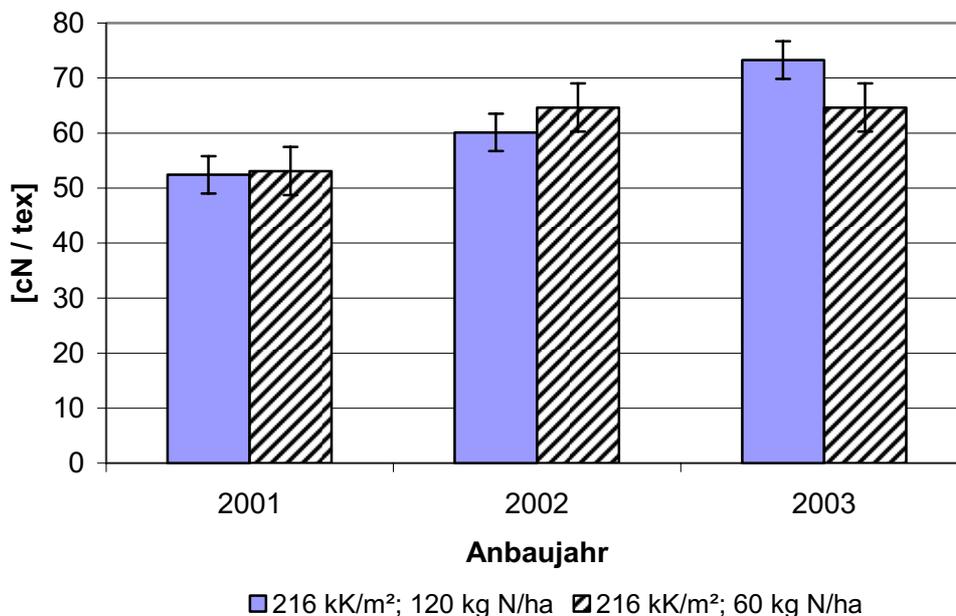


Abbildung 4-38: Feinheitsbezogene Höchstzugkraft bei der Sorte Fedora 17 über drei Jahre mit einer Saatstärke von 216 kK/m².

Die Graphik Abbildung 4-38 visualisiert den Einfluss einer Stickstoffreduzierung auf die feinheitsbezogene Höchstzugkraft der Hanffasern.

Durch die reduzierte Stickstoffdüngung stellte sich, wie bei der Saatstärkenreduzierung, kaum ein Effekt auf die Zugkraft der Fasern ein. Festzuhalten bleibt hier, dass die Variante mit der höheren Saatstärke und Stickstoffdüngung im Jahre 2003 sich von allen anderen Varianten signifikant unterscheiden.

Einfluss des Standortes auf die Faserfestigkeit

Inwieweit die Standorte einen Einfluss auf Festigkeit der Hanffasern haben, soll in den nächsten Abbildungen dargestellt werden.

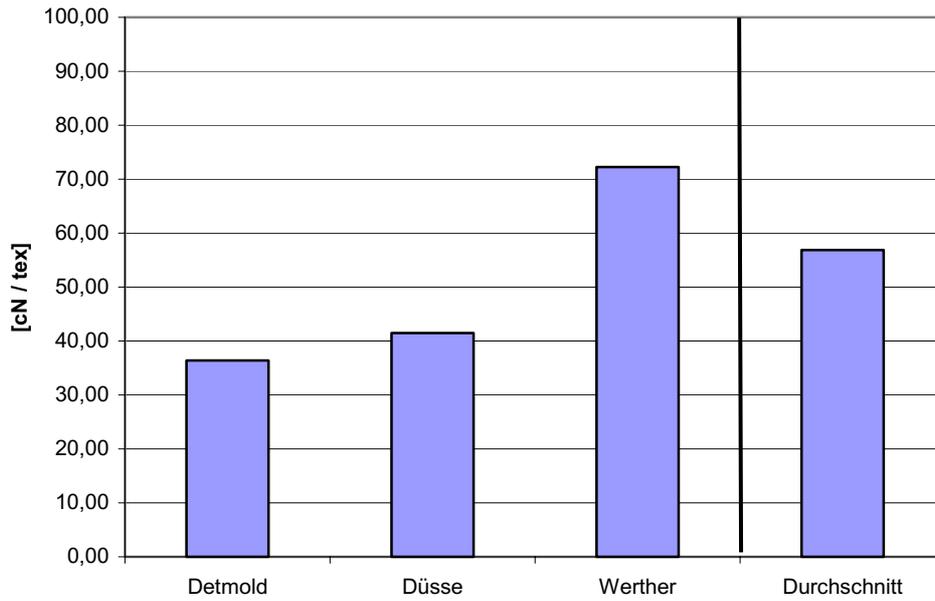


Abbildung 4-39: Vergleich der feinheitsbezogenen Höchstzugkraft verschiedener Praxis-schläge im Jahr 2001 mit 216 kK/m² und 60 kg N/ha.

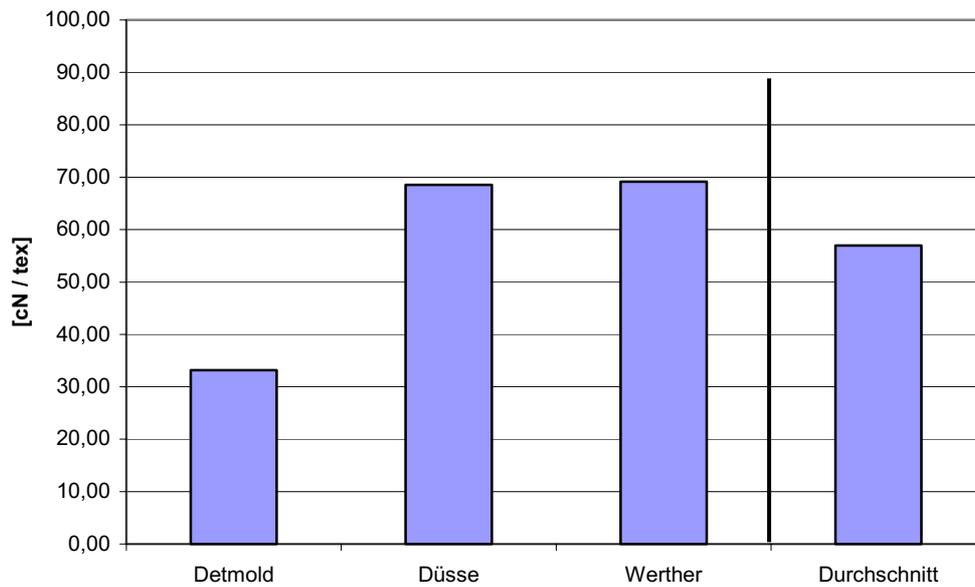


Abbildung 4-40: Vergleich der feinheitsbezogenen Höchstzugkraft verschiedener Praxis-schläge im Jahr 2002 mit 108 kK/m² und 120 kg N/ha.

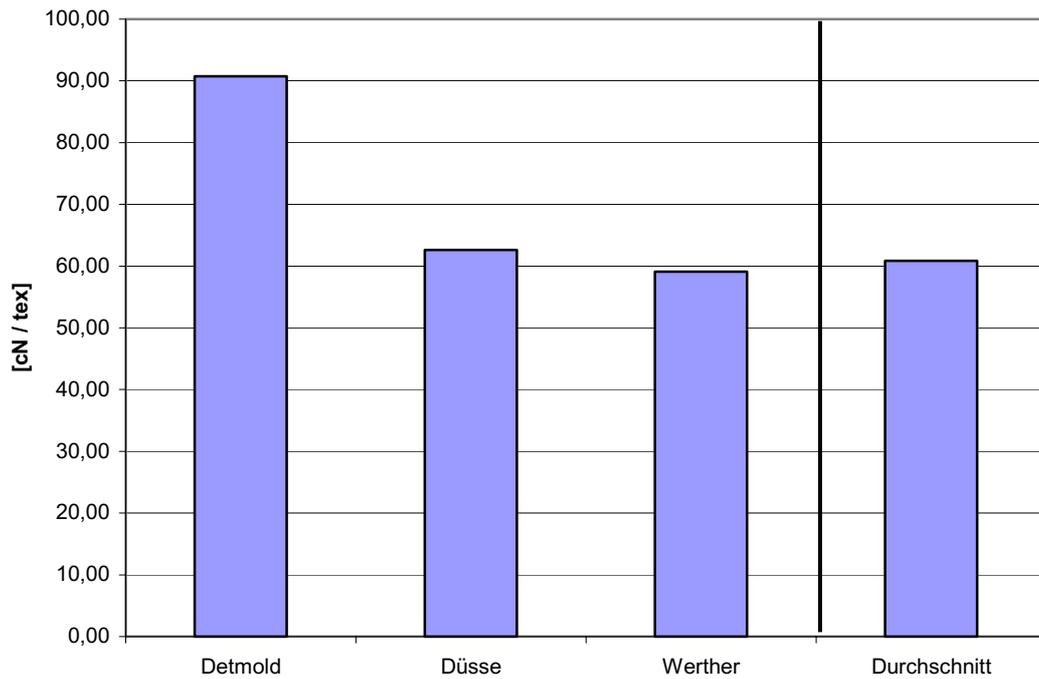


Abbildung 4-41: Vergleich der feinheitsbezogenen Höchstzugkraft verschiedener Praxis-schläge im Jahr 2002 mit 216 kK/m² und 60 kg N/ha.

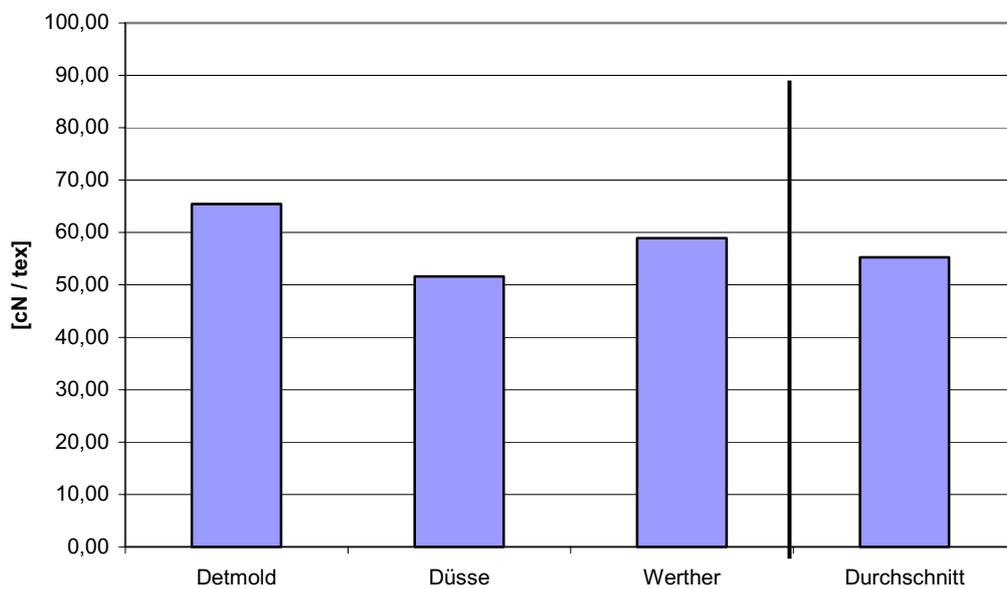


Abbildung 4-42: Vergleich der feinheitsbezogenen Höchstzugkraft verschiedener Praxis-schläge im Jahr 2002 mit 108 kK/m² und 120 kg N/ha.

Auffällig ist, dass der Standort Detmold im Versuchsjahr 2001 sehr geringe Festigkeitswerte aufweist und im folgenden Jahr höhere Werte als die beiden anderen Standorte Düsse und Werther.

Der Standort Werther zeigt nur wenige Schwankungen in den Festigkeitswerten auf. Bei der Variation der Saatstärke und Düngung weichen die Werte nur um ca. 3 cN/tex von einander ab. Zwischen den beiden Versuchsjahren besteht eine Abweichung von jeweils ca. 10 cN/tex.

Einfluss der Sorte auf die Faserfestigkeit

Die Sorten einer Pflanze zeichnen sich dadurch aus, dass sie unterschiedliche Eigenschaften hinsichtlich ihrer Verwendung und Qualität aufweisen.

Um herauszufinden wie sich bestimmte Sorten in der Faserfestigkeit bzw. in der Faserqualität unterscheiden, wurden innerhalb des Projektes mehrere Sorten auf dem Versuchsgut Dikopshof bei Wesseling angebaut und auf die Faserfestigkeit getestet. Wie weiter oben schon beschrieben, handelte es sich um die Sorten **Fedora 17**, **Futura 75**, **Uso 31**, **Beniko**, **Epsilon 68** und eine neue Sorte **Bialobrzeskie**. **Beniko** und **Bialobrzeskie** konnten lediglich im Versuchsjahr 2003 angebaut werden. In allen drei Anbaujahren konnten die Sorten **Fedora 17**, **Futura 75** und **Uso 31** wiederholt angebaut werden.

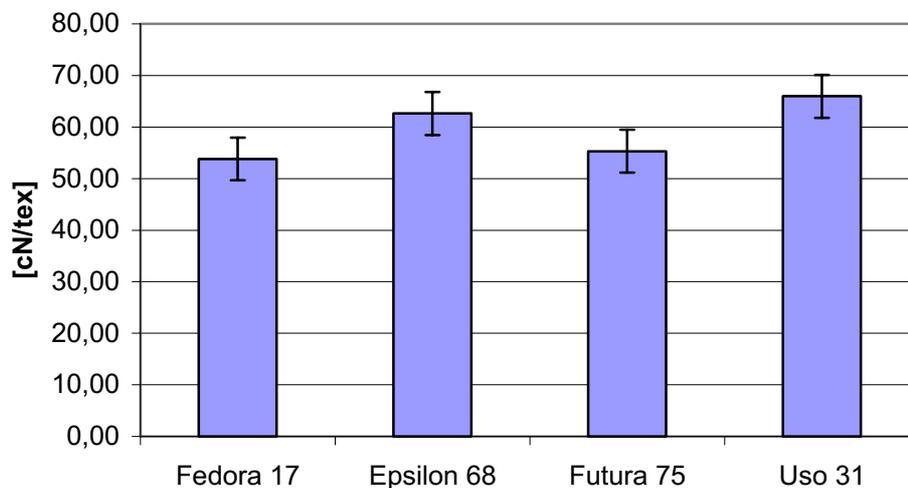


Abbildung 4-43: Sortenvergleich bezüglich der feinheitsbezogenen Höchstzugkraft im Jahr 2001.

Im Vergleich zu den Sorten **Fedora 17** und **Futura 75** wies die Sorte **Uso 31** in den beiden ersten Versuchsjahren eine signifikant und im letzten Versuchsjahr eine tendenziell höhere Reißfestigkeit auf.

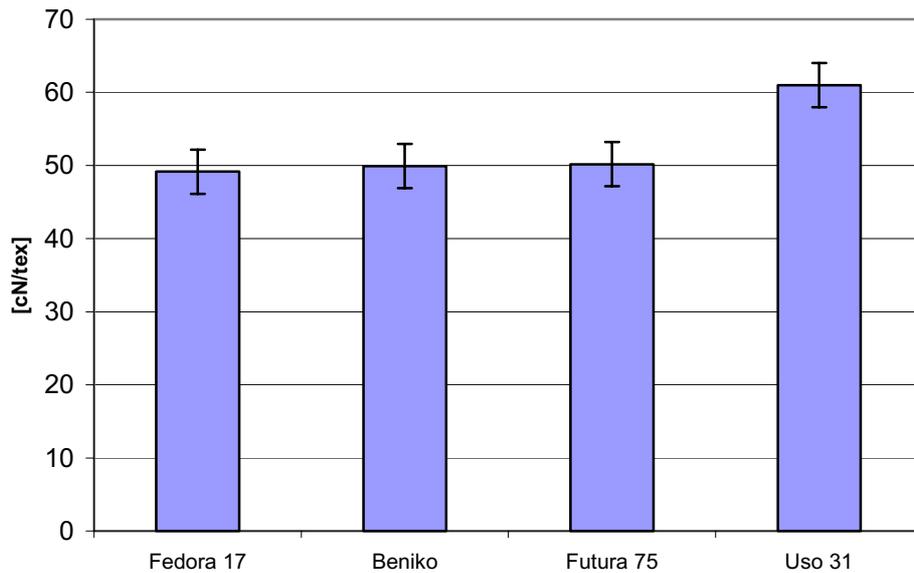


Abbildung 4-44: Sortenvergleich bezüglich der feinheitsbezogenen Höchstzugkraft im Jahr 2002.

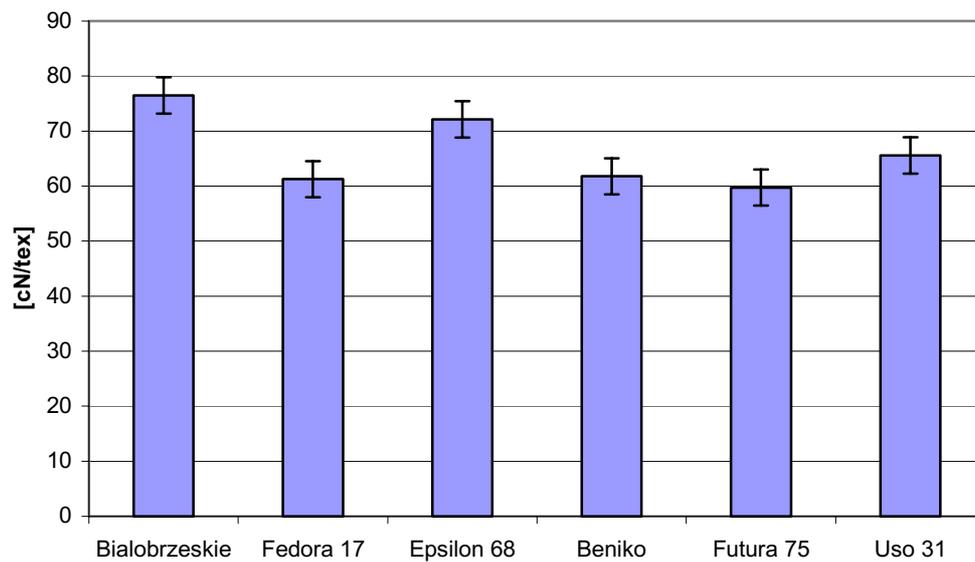


Abbildung 4-45: Sortenvergleich bezüglich der feinheitsbezogenen Höchstzugkraft im Jahr 2003.

Die Sorten **Fedora 17** und **Futura 75** schwankten in ihrer Reißfestigkeit um ca. 50 bis 60 cN/tex. Im letzten Anbaujahr war ihre Reißfestigkeit etwas höher, wodurch die Sorte **Uso 31** nicht signifikant besser war.

Bei der Sorte **Uso 31** schwankte die Reißfestigkeit der Fasern zwischen den Jahren kaum. Im letzten Anbaujahr wurde sie in Ihrer Reißfestigkeit lediglich tendenziell von **Epsilon 68** und signifikant von der Sorte **Bialobrzeskie** übertroffen.

4.7.3 E-Modul

Wie bereits im Material- und Methodenteil (Kapitel 3.4) beschrieben wurde, sagt der E-Modul aus, ob ein Werkstoff steif oder weich ist.

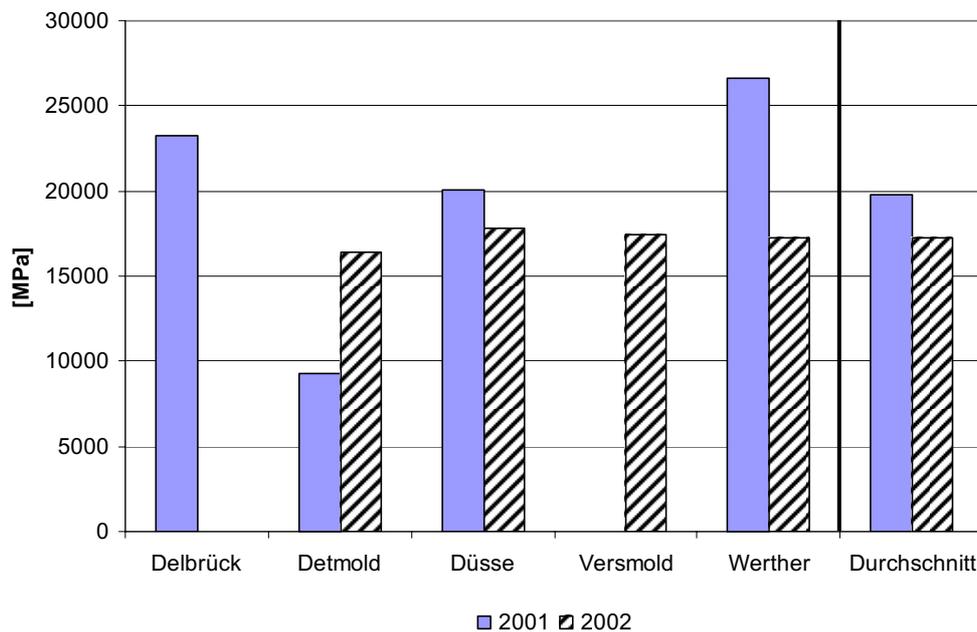


Abbildung 4-46: E-Modul in Abhängigkeit vom Standort bei einer Aussaatstärke von 108 kK/m² und einer Düngung von 120 kg N/ha.

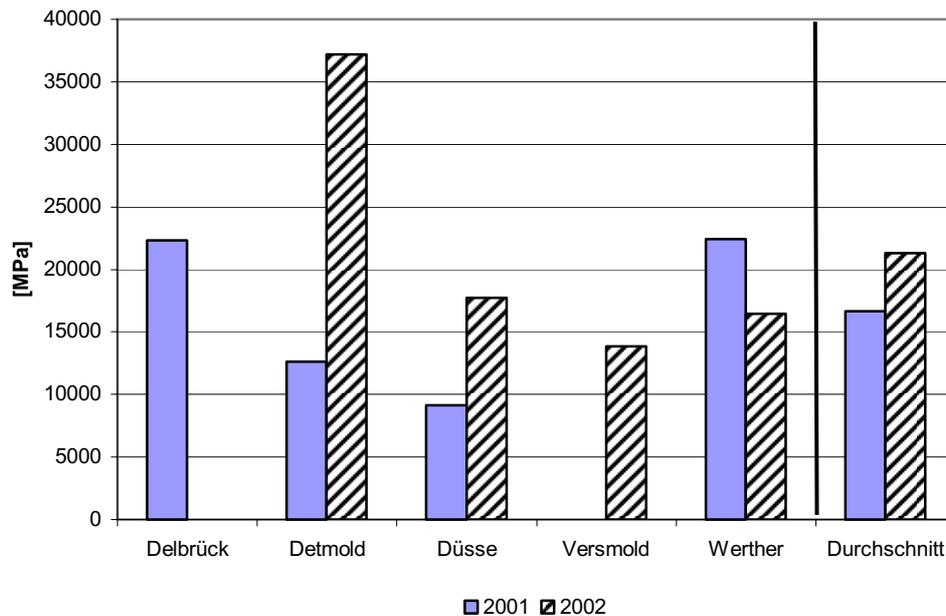


Abbildung 4-47: E-Modul in Abhängigkeit vom Standort bei einer Aussaatstärke von 216 kK/m² und einer Düngung von 60 kg N/ha.

Der E-Modul zeigt bei allen Versuchen eine sehr große Variabilität. Sehr auffällig ist, dass die Werte für den E-Modul für das Jahr 2002 und der geringeren Saatstärke sehr konstant sind. Im Mittel über die Jahre, Standorte und Anbaubedingungen sind die E-Moduli im Bereich zwischen 15.000 und 20.000 MPa anzusiedeln. Wie die nachfolgenden Abbildungen zeigen, liegen in diesen beiden Jahren die Werte der E-Moduli im gleichen Intervall.

Für Aussagen über bestimmte Zusammenhänge machen zu können, variieren die Werte zu stark.

Einfluss der Sorte auf den E-Modul

Die folgenden Graphiken geben die Ergebnisse vom Vergleich der E-Moduli der verschiedenen Sorten wieder.

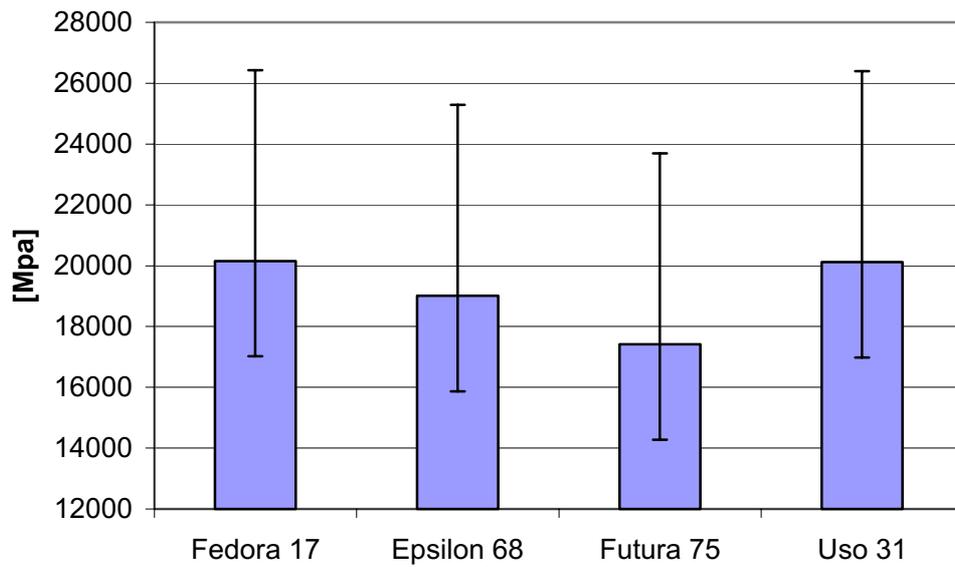


Abbildung 4-48: Sortenvergleich bezüglich des E-Moduls im Jahr 2001.

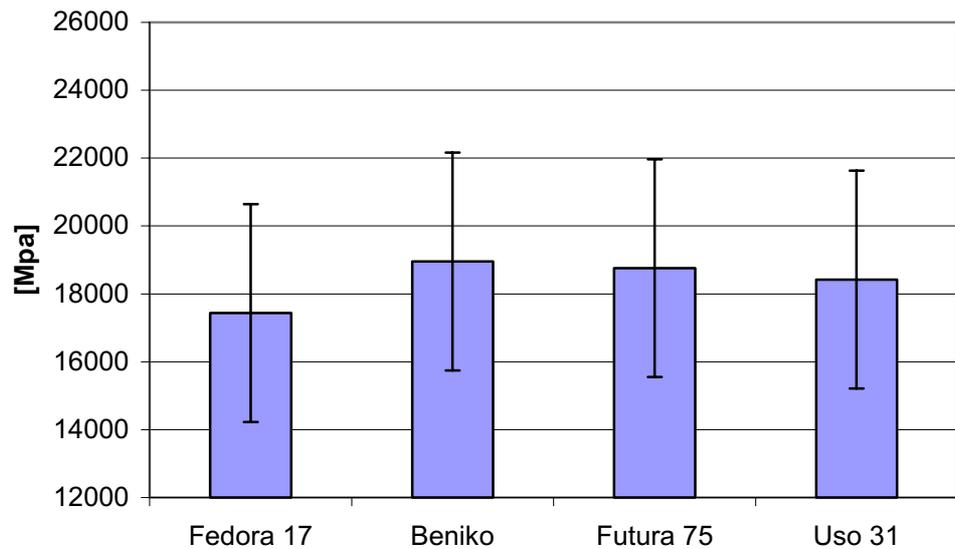


Abbildung 4-49: Sortenvergleich bezüglich des E-Moduls im Jahr 2002.

Die verschiedenen Sorten zeigen im E-Modul keine signifikanten Unterschiede. In den beiden Anbaujahren 2001 und 2002 liegen die E-Moduli im Mittel bei Werten um ca. 18 bis 20 tausend MPa.

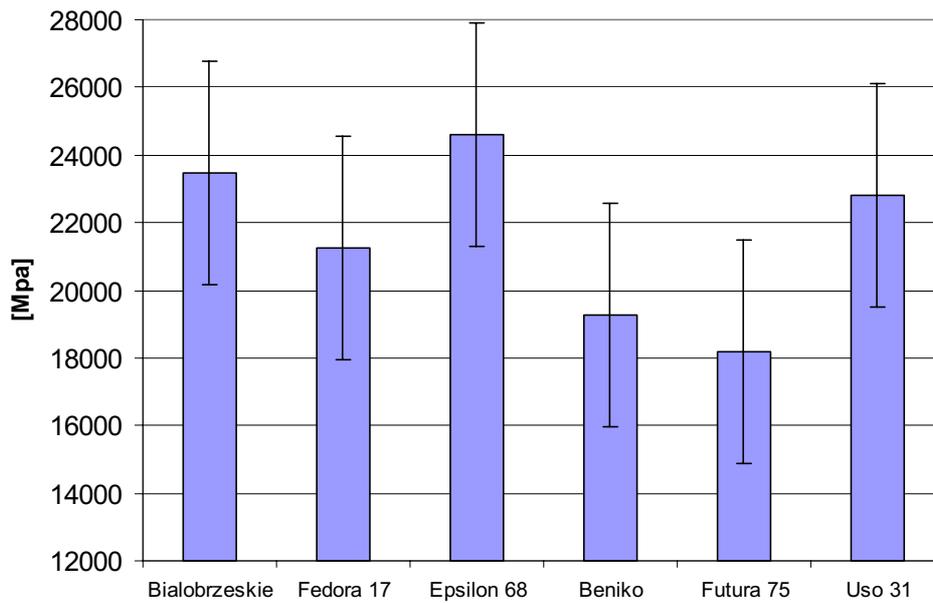


Abbildung 4-50: Sortenvergleich bezüglich des E-Moduls im Jahr 2003.

Im Jahr 2003 ist ein Anstieg der Sorten **Fedora 17** und **Uso 31** zu erkennen. Die beiden Sorten **Bialobrzeskie** und **Epsilon 68** zeigen wie bei der Zugfestigkeit höhere Werte als die anderen Sorten auf. Diese höheren Werte sind durch die hohe Schwankung innerhalb der Sorte jedoch nicht signifikant abzusichern. Außerdem fehlen zu diesen beiden Sorten Wiederholungsjahre.

5 Diskussion

Die Etablierung des Hanfanbaus in NRW ist von einer kontinuierlichen und homogenen Ertragsleistung und Faserqualität abhängig. Der Ertrag und die Qualität werden u. a. durch den Standort und produktionstechnische Maßnahmen, wie die Saatstärke, die Stickstoffdüngung und die Sortenwahl bestimmt. Die Auswirkungen der pflanzenbaulichen Einflussfaktoren sind im Ergebnissteil (Kap. 4.1 – 4.5.1) dargestellt und werden in Kap 5.1 – 5.1.6 zusammengefasst und diskutiert. Im Anschluss daran werden auch die qualitätsbestimmenden Parameter dargestellt und beurteilt.

5.1 Pflanzenbauliche Einflussfaktoren

Als pflanzenbauliche Maßnahmen wurden im Rahmen dieser Untersuchung die Faktoren Standort, Saatstärke, die Nährstoffgabe (Stickstoff) sowie die anzubauenden Sorten im Detail betrachtet. In den folgenden Kapiteln werden die Faktoren im Einzelnen und gegebenenfalls ihre Beziehung zueinander diskutiert.

5.1.1 Standort

Trotz der Heterogenität der Untersuchungsstandorte in OWL, besonders hinsichtlich der Bodenverhältnisse, wurden kaum signifikante Unterschiede in den ertragsbestimmenden Einflussfaktoren gefunden.

Die Standorte Detmold und Delbrück sind von der Bodenbeschaffenheit her als ähnlich und von niedrigem Nährstoffnachlieferungsvermögen zu bezeichnen. Beide Standorte sind durch einen Sandboden mit einer Ackerzahl von 35 (Detmold) bzw. 24 (Delbrück) charakterisiert und wiesen identische Niederschlagsmengen von 720 mm auf. Wie aufgrund dieser Standortverhältnisse angenommen, ist die Selbstausdünnung hoch. Der Hanfanbau auf diesen Standorten könnte bei einer Erhöhung der N-Gabe auf bis zu 160 kg/ha zu einer Ertragssteigerung führen, wie sie schon bei MASTEL et al. (1998) beschrieben wurde.

Die Niederschlagsverhältnisse in den Versuchsjahren waren jedoch an allen Standorten für den Hanfanbau günstig, sodass diesbezüglich keine Ertragseinbußen und Qualitätsminderungen zu erwarten waren.

Der Standort Werther ist durch einen für den Hanfanbau optimalen Boden (sandiger Lehm, Ackerzahl 69) charakterisiert. Die Rate der Ausdünnung liegt im Mittel (28,6 %) und die überdurchschnittlichen Leistungen der Merkmale „Stängellänge“ und „Wuchshöhe“ führen zu

besonders hohen Erträgen an diesem Standort. Auch wenn die Ergebnisse gezeigt haben, dass der Einfluss des Standortes im Allgemeinen gering ist, so schöpft die Hanfpflanze an den potentiell guten Standorten in diesem Versuchen ihr Ertragspotential aus.

Bei der Standortauswahl ist jedoch zu bedenken, dass die Unterschiede der Standorte nach verschiedenen Untersuchungen (VON BUTTLAR et al. 1997, MASTEL et al. 1998, VETTER & GRAF 1999) für das Ertragspotential eine weitaus geringere Bedeutung haben, als die Sortenunterschiede.

5.1.2 Standort und Niederschlag

Trotz der geringen Aussagekraft bzgl. des Einflusses des Niederschlags, stellt die Witterung einen wichtigen Faktor für den Hanfanbau dar, was auch durch die signifikanten Ergebnisse bestätigt wird. Besonders für das Ertragspotential ist eine ausreichende Wasserversorgung von Bedeutung (HÖPPNER & MENGE-HARTMANN 1994). Ein Ergebnis welches auch durch die Untersuchungen von KRÜGER et al. (2000) bestätigt wurde. Die Niederschlagszunahme von 160 mm auf 300 mm während der Vegetationsperioden führte in den zwei Versuchsjahren zu einer Ertragssteigerung um 23 %.

Zur detaillierteren Beurteilung der Einflussnahme durch den Niederschlag müssten im Rahmen von Versuchen jedoch verlässlich die täglichen Niederschlagsmengen für jeden Standort zur Verfügung stehen, um weitere Aussagen machen zu können.

5.1.3 Standort und Saatstärke

Die Bestandesdichte gibt im Rahmen dieses Versuches die durchschnittliche Anzahl der Pflanzen/m² über die Vegetationsperiode hinweg wieder. An den verschiedenen Standorten führen die ausgebrachten Saatstärken zu unterschiedlichen Bestandesdichten. Besonders deutlich fällt jedoch der geringe Feldaufgang im Verhältnis zur Aussaatmenge auf (BASSETTI et al. 1998). Die geringe Anzahl der Pflanzen pro Quadratmeter führte an vier von sechs Standorten zu größeren Stängeldurchmessern, da den einzelnen Pflanzen mehr Platz zur Verfügung stand und somit die intraspezifische Konkurrenz reduziert war. Jedoch kann der Stängeldurchmesser für die Verarbeitung von Grünhanf ein bestimmendes Maß sein, wenn Durchmesser von über 20 mm verarbeitet werden müssen (mündliche Mitteilung BECKMANN 2002 NafiTech). Auf Standorten mit geringeren Bestandesdichten wachsen tendenziell Pflanzen mit höherer Stängellänge, obwohl die Größenzunahme nur für zwei Standorte signifikant belegt werden konnte (Abbildung 4-3). Die erhöhte Bestandesdichte führt zu höheren Erträgen, trotz der Kombination mit geringeren Stängeldurchmessern bzw. Wuchshöhen. Der Ertrag ist für den Landwirt momentan der Maßstab der Hanfproduktion, da

der Erstverarbeiter den Landwirt nach Strohgewicht bei ca. 12 % Feuchte bezahlt. Für den Erstverarbeiter stehen derzeit beim Hanfanbau der Fasergehalt und die Qualität des Hanfstrohs im Vordergrund. Jedoch ist die positive Beziehung zwischen der Erhöhung des Strohertrages und dem Fasergehalt ist nicht immer gegeben (Abbildung 4-5). Am Standort Dikopshof war für die Fasergehalte trotz geringerem Strohertrages sogar ein leichter Anstieg zu verzeichnen. Eine Erhöhung der Wertschöpfung wird für den Erstverarbeiter durch die Vermarktung der Hanfschäben, die aus dem Holzteil der Hanfpflanze bestehen, erreicht. Der Holzanteil scheint unabhängig vom Standort durch eine geringe Bestandesdichte begünstigt zu werden (Abbildung 4-6).

5.1.3.1 Standort Dikopshof und Saatstärke

Die Auswertung des Einflusses der Saatstärke auf dem Dikopshof zeigt einen deutlichen Trend. Es wurden drei Saatstärken (108 kK/m², 162 kK/m² & 216 kK/m²) untersucht. Zwischen den Saatstärken 108 und 162 kK/m² wurden signifikante Unterschiede gefunden, wohingegen die Erhöhung von 162 kK/m² auf 216 kK/m² nur noch für vier (BD, Ausdünnung, Faser- und Holzgehalt) von acht Merkmalen eine hoch signifikante positive Beziehung zeigte. Die Kosten-Nutzen-Rechnung zwischen Erhöhung der Saatstärke mit verbundener Steigerung der Saatgutkosten führt demnach nicht immer zu einem erhöhten Nutzen in Form eines Anstieges des Strohertrages. Die Erstverarbeiter in der BRD geben die Größenordnung der Saatmenge allerdings entsprechend ihrer Aufschlusstechnik vor, mit dem Ziel, eine optimale Faserqualität für ihre Verarbeitung zu erhalten.

5.1.4 Standort und Stickstoffdüngung

Die Ergebnisse dieses Versuches zeigen deutlich, dass eine Erhöhung des Nährstoffangebotes in Form von Kalkammonsalpeter an keinem der untersuchten Standorte zu einer Zunahme in den Bestandesdichten führte. Die Wuchshöhe wurde entweder nicht, oder positiv durch die Stickstoffgabe beeinflusst. Inwieweit die hoch signifikante Reduzierung der Stängellänge in Versmold auf den in Kap 4.1.1 beschriebenen oder einen anderen Versuchsfehler zurückzuführen ist, kann aufgrund der vorliegenden Daten nicht abschließend geklärt werden. Auch die Stängeldurchmesser wurden entweder nicht oder positiv (Zunahme) durch das erhöhte Nährstoffangebot beeinflusst. Eine fördernde Einflussnahme auf die Stängellänge und Wuchshöhe resultierte in einem zum Teil deutlich erhöhten Strohertrag. Die hoch signifikante Abnahme im Strohertrag am Standort Versmold, ist dagegen sehr wahrscheinlich auf Fehler bei der Versuchsdurchführung zurückzuführen.

Die Ergebnisse bzgl. des Fasergehaltes bei erhöhter Stickstoffgabe sind im Rahmen dieses Versuchs als sehr variabel zu bezeichnen. In Werther (und Versmold) ist der Fasergehalt erhöht, in Delbrück liefern beide Stickstoffgaben identische Fasergehalte und in Detmold, Haus Düsse und auf dem Dikopshof liegen sogar reduzierte Fasergehalte vor. Dieses entspricht den von LÉON et al. (2000) dargestellten Ergebnissen, bei denen für Lein und Hanf weder durch eine Erhöhung der Bestandesdichte noch der Stickstoffdüngung der Faserertrag gesteigert werden konnte.

5.1.4.1 Standort Dikopshof und Stickstoffdüngung

Für eine detailliertere Betrachtung des Einflusses der Stickstoffmenge sind die Versuche auf dem Dikopshof um zwei Varianten erweitert worden. Die Versuche wurden mit Stickstoffdüngergaben von 40 kg/ha, 60 kg/ha, 120 kg/ha und keiner Stickstoffgabe durchgeführt. Der feinsandige Lehmboden des Versuchsfeldes auf dem Dikopshof hat eine Ackerzahl von 80. Die Niederschlagsmengen innerhalb der Vegetationsperioden waren in den Versuchsjahren homogen und lagen 2002 bei 273 mm und 2003 bei 264 mm.

Der Jahreseinfluss der Wirkung der Stickstoffgabe auf die ertragsbestimmenden Parameter ist in Tabelle 4-3 dargestellt. Der Einfluss der Stickstoffgabe lässt sich nur tendenziell bestimmen. Im Versuchsjahr 2002 zeigt das Ergebnis kaum Unterschiede zwischen der Stickstoffgabe von 40 kg/ha und 60 kg/ha. Demgegenüber scheinen sich im zweiten Versuchsjahr (2003) die Varianten ohne Düngung und mit 40 kg/ha am Ähnlichsten zu sein. Es scheint, als wenn die ertragsbestimmenden Parameter auf einem so gut versorgten Standort, wie dem Dikopshof, nur mit geringer Sensibilität auf die sich ändernden Bedingungen reagieren. Wahrscheinlich wäre ein Sandstandort zum Aufzeigen von Unterschieden besser geeignet gewesen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass für eine optimale Düngergabe neben den pflanzenbaulichen Faktoren auch der Standort mit seinen Boden- und Klimabedingungen besonders berücksichtigt werden müssen.

5.1.5 Wechselwirkung von Saatstärke und Stickstoffgabe in OWL

Im Folgenden werden verschiedene Kombinationen von Saatstärke und Nährstoffangebot detailliert betrachtet und erörtert.

Saatstärke 216 kK/m² und Stickstoff 60 kg/ha

Die Kombination von hoher Saatstärke mit einer geringen Stickstoffgabe von 60 kg/ha zeigte keinen eindeutigen Trend zwischen den Versuchsjahren. Der Strohertrag am Standort

Detmold war im zweiten Versuchsjahr durch eine deutliche Zunahme gekennzeichnet. Demgegenüber wurde am Standort Werther trotz der geringeren Niederschlagsmengen und Wuchshöhen im Versuchsjahr 2001 deutlich höhere Stroherträge ermittelt. Der Hanfanbau auf Haus Düsse zeigte keinen Unterschied im Strohertrag zwischen den Versuchsjahren. Dass die Erträge auf dem Standort Haus Düsse kontinuierlich auf hohem Niveau liegen, bestätigen auch die auf Haus Düsse durchgeführten Sortenversuche von ROTTMANN-MEYER (2001). In Detmold zeigten die Hanfpflanzen im Jahr 2001 über Wochen keine Größenzunahme, ganz anders im Jahr 2002, was die bessere Strohausbeute erklären könnte. Auch für den Standort Werther gibt es einen gravierenden Unterschied zwischen den Hanfanbauflächen. Im Jahr 2001 wurde der Hanf auf einer leichten Hanglage angebaut. Der Hanfanbau 2002 fand in einer Senke statt, was zu Staunässe im Wurzelbereich führte und somit den Strohertrag negativ beeinflusst haben könnte.

Saatstärke 108 kK/m² und Stickstoff 120 Kg/ha

Die Kombination der niedrigen Saatstärke (108 kK/m²) mit der höchsten Düngegabe (120 Kg/ha N) liefert für die Standorte in OWL kein einheitliches Bild, weder über die Versuchsjahre noch über die Standorte. Es lassen sich jedoch Tendenzen erkennen. So hatte die Stickstoffgabe einen Einfluss auf den Stängeldurchmesser. An den Standorten Delbrück, Werther und Detmold lagen die Stängeldurchmesser über denen der zuvor diskutierten Kombination. Das gleiche Verhältnis zeigten die Werte für die Wuchshöhen, die eindeutig über denen der hohen Saatstärke bei gleichzeitig niedriger Stickstoffgabe liegen, mit Ausnahme des Standortes Detmold. Besonders deutlich ist an den Stroherträgen zu erkennen, dass eine erhöhte Düngergabe die reduzierte Saatstärke nicht aufwiegen kann.

Zwar ist bei niedriger Saatstärke die intraspezifische Konkurrenz um Licht, Nährstoffe und Wasser vermindert, doch wird die Biomasseproduktion von der Anzahl der Pflanzen pro Quadratmeter und dem Bestandesschluss zur Unterdrückung von auflaufenden Unkräutern definiert (VETTER 2002). Folglich muss bei der Wahl der Saatstärke ein Kompromiss zwischen diesen gegensätzlichen Anforderungen gefunden werden.

5.1.6 Sortenversuch

Der Sortenversuch wurde ausschließlich auf dem Standort Dikopshof, mit einer Saatstärke (216 kK/m²) und einer Stickstoffgabe (120 kg/ha) in den Versuchsjahren 2002 und 2003 durchgeführt. Wie in Abbildung 4-22 zu sehen unterscheiden sich die Hanfsorten stark in den Ertragsleistungen. Besonders auffällig waren in den durchgeführten Versuchen die geringen Auflafraten von 43,5 % (**Epsilon 68**) bis zu 72,7 % (**Uso 31**). Nur **Bialobrzeskie** konnte im einjährigen Versuch eine Auflafrate von 74,1 % aufweisen. Die Differenz zwischen den

potentiell ausgesäten 216 kK/m² und dem im Mittel erreichten 61,1 % aufgelaufener Pflanzen ist erheblich. Es ist bekannt, dass Hanf einen problematischen Feldaufgang haben kann (VETTER 2002), welcher stark von der Qualität des Saatgutes beeinflusst wird. Es ist besonders auf eine ausreichende Keimfähigkeit zu achten, welche nach Lagerung schnell abnimmt (BASSETTI et al. 1998). Zusätzlich wird der Feldaufgang stark von den Boden- und Klimabedingungen nach der Aussaat bestimmt (VAN DER WERF 1996). Warum jedoch die Auflaufraten in diesem Versuch massiv hinter den Erwartungen zurückblieben, konnte abschließend nicht geklärt werden.

Betrachtet man im Vergleich mit den Sortenversuchen der LWK Hannover (ROTTMANN-MEYER 2001) und der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) (VETTER 2002) die Sorteneigenschaft Wuchshöhe im Detail, so ist ein deutlicher Unterschied zwischen den Pflanzenlängen der drei Sortenversuche der zu erkennen.

Tabelle 5-1: Wuchshöhen der verschiedenen Hanfsorten für die Versuche des Dikopshof und der LWK Hannover.

	VERSUCH DIKOPSHOF (2002-2003)	VERSUCH LWK HANNOVER (2000)	VERSUCH THÜRINGEN (1998-2000)	<u>MITTELWERT</u> SORTE
Sorte				
Uso 31	225 cm	251 cm	252,5 cm	243 cm
Futura 75	252 cm	289 cm	262 cm	268 cm
Epsilon 68	253 cm	283 cm		268 cm
Fedora 17	233 cm	265 cm	234 cm	244 cm
<u>Mittelwert</u> Standort	240,75 cm	272 cm	249,5 cm	

Trotzdem sind ähnliche Tendenzen sichtbar. **Uso 31** weist in zwei Versuchen die geringsten Wuchshöhen auf. Auch ist das Größenverhältnis der Sorten **Futura 75** und **Epsilon 68** zueinander in den Versuchen gleich, was durch den identischen Mittelwert der Sorten bestätigt wird. Nur die Leistung der Sorte **Fedora 17** bleibt in beiden Versuchen hinter ihrem Potential zurück, wobei dieses auf dem Dikopshof noch stärker ausgeprägt ist als in den Versuchen der TLL und der LWK.

Da das vegetative Wachstum nach HÖPPNER & MENGE-HARTMANN (1996) mit dem Einsetzen der Blüte eingestellt wird, sind die Erträge durch das Reifeverhalten der Sorten bestimmt. Das bedeutet, dass die Biomassebildung von frühreifen Sorten (z. B. **Uso 31**) geringer

ausfällt, als die von spätreifen Sorten (z. B. **Futura 75** und **Epsilon 68**). Die vorliegende Untersuchung zeigt jedoch, dass die Pflanzen nach dem Blühbeginn sehr wohl noch an Höhe und Stängeldurchmesser zunehmen (Abbildung 4-24). Inwieweit dadurch die Ertragsleistungen beeinflusst werden, konnte mit Hilfe dieses Versuchsansatzes nicht beantwortet werden.

Die erzielten Stroherträge, der frühen Sorten **Uso 31** und **Bialobrzeskie** sind sehr hoch signifikant verschieden voneinander, obwohl beide Sorten ein frühes Abreifeverhalten zeigen. **Uso 31** (165 dt/ha) liefert dabei den geringsten Strohertrag unter allen untersuchten Sorten, **Bialobrzeskie** hingegen (191 dt/ha) den Höchsten. **Fedora 17**, die bevorzugte Sorte im Praxisanbau in Deutschland und auch die Versuchspflanze in OWL konnte die zweithöchsten Stroherträge (184 dt/ha) aufweisen. Vergleicht man diese Ergebnisse mit den Landessortenversuchen der LWK Hannover von 2001, so fällt auf, dass **Fedora 17** mit 153 dt/ha nur im unteren Ertragsbereich zu finden war. Im Gegensatz dazu realisierten, die im Reifeverhalten nahe beieinander liegenden Sorten **Epsilon 68** und **Futura 75** mit über 160 dt/ha die höchsten Stroherträge. **Uso 31** lieferte auch in den Landessortenversuchen das niedrigste Ertragsniveau mit 87 dt/ha. Die Untersuchungen von MÜNZER (1999) und SCHEER-TRIEBEL & LÉON (2000) bestätigen, dass die Differenzen in den Ertragsleistungen verschiedener Sorten größer sein können, als die zwischen den geprüften Orten.

Das für den Hanf typische Phänomen der Selbstausdünnung (Self-thinning) ist bei verschiedenen Sorten unterschiedlich stark ausgeprägt. Die Ausdünnung kann bis über 50 % betragen (MEDIÁVILLA et al. 1998, VON FRANKEN-WELZ 2003) und führt damit auch zu Ertragseinbußen. Es lässt sich jedoch kein eindeutiger Einfluss der Selbstausdünnungsrate auf die zu erwartenden Stroherträge aufgrund der vorliegenden Versuche ableiten. Obwohl **Futura 75** mit 18,2 % den geringsten Verlust an Pflanzen im Laufe der Vegetationsperiode aufweist, liegt der Strohertrag nur bei 175 dt/ha. Mit über 25 % liegt die Ausdünnung von **Fedora 17** im Mittel, die Sorte liefert aber trotzdem den zweithöchsten Strohertrag. Nur für **Uso 31** ist die Beziehung zwischen höherer Rate der Selbstausdünnung und geringerem Strohertrag proportional.

Die sortenabhängige Variabilität der Leistungsmerkmale ist von besonderer Bedeutung für die Stroh- bzw. Faserproduktion unter den gegebenen Klimabedingungen, auch wenn sie ein schwer zu beurteilender Faktor bei der Auswahl der in der EU-Sortenliste zugelassenen THC-armen Sorten für den Praxisanbau ist.

5.2 Voruntersuchungen zur Bestimmung der Faserqualität

5.2.1 Freilegbarkeit

Wie der Vergleich der Freilegbarkeit zeigt, liegen die Werte beim Bezug auf drei Entholzungsdurchläufe im Schnitt etwa doppelt so hoch wie bei zwei Durchläufen. Dies kann auf die mechanischen Eigenschaften der Pflanzen und konstruktionsbedingte Eigenschaften der Laborentholzungsmaschine zurückgeführt werden.

Aufgrund der Ergebnisse und der geforderten Aussagekraft einer solchen Qualitätskontrolle stellt sich die Frage, ob man die Freilegbarkeit mit 2 und 6 Durchläufen berechnet, oder mit 3 und 10 Durchläufen. Die Freilegbarkeit_{3;10} kommt sicherlich dem mechanischen Aufschluss in der Praxis näher als die Freilegbarkeit_{2;6}. Der Zeitaufwand für die Freilegbarkeit_{2;6} unterscheidet sich lediglich in der Anzahl der Entholzungsdurchläufe. Die Ermittlung der Massen, die den größten Anteil an der Messung haben, bleiben gleich. Da bei den ersten beiden Durchläufen eher nur ein Flachdrücken der Stängel zu beobachten war und ein weiterer Entholzungsdurchgang sicherlich die Aussagekraft über stärker anhaftende Schäbenteile erhöht, ist eine Freilegbarkeit mit mehr Entholzungsdurchläufen gerechtfertigt.

Bei der Betrachtung der Freilegbarkeit der verschiedenen Stängeldicken ist zu erkennen, dass die dickeren Stängel sich schneller bzw. einfacher entholzen lassen. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass durch die ersten mechanischen Belastungen größere Schäbenteile entfernt werden, die einen größeren Masseverlust bedeuten. Diese Aussage wird durch die Ergebnisse der Freilegbarkeit_{2;6} bestätigt, da hierbei auch zwischen den beiden dünneren Stängelfraktionen ein tendenzieller Unterschied erkennbar ist.

Wie im Ergebnisteil berichtet wurde, ist aufgrund der geringeren Schwankungen im Ergebnis der Bezug der Freilegbarkeit auf drei Entholzungsvorgänge mit Labor-Entholzungsmaschine sinnvoll.

5.2.2 Entholungsgrad

Die Ergebnisse der Restschäbenermittlung aus den einzelnen Proben zeigen auch eher die Tendenz, dass es günstiger ist, die Proben 10 mal durch die Laborentholzungsmaschine zu führen, denn es zeigte sich, dass verschiedene Proben nach 10 Durchläufen noch einen erheblichen Anteil an anhaftenden Schäben aufwiesen. Die Hälfte der Proben wies einen Restschäbenanteil von unter 5 % auf. Ein weiteres Viertel der Proben besaß einen Restschäbenanteil von 5 bis 15 %. Inwieweit diese bei der Produktion von Hanffaserteilen geduldet werden können, unterliegt den einzelnen Verfahren.

Nun stellt sich die Frage, inwieweit die testende Person den Schäbengehalt schätzen kann und entscheidet, auch über die 10 Entholzungsdurchgänge weitere Durchläufe auszuführen und die Anzahl als Bewertungskriterium mit aufführt. Somit könnten die bei der Entholzung auftretenden Ausreißerwerte eliminiert und durch eine Bewertung zur Qualitätsaussage hinzugezogen werden.

5.3 Qualitätsbestimmung der Fasern

5.3.1 Freilegbarkeit

Wie in vorausgegangenen Kapiteln beschrieben wurde, ist die Freilegbarkeit des Hanfstrohs eine Maßzahl für die Schnelligkeit der Entholzung des Strohs. BECKMANN (1998) untersuchte eine Methode der Leinstrohentholzung mittels des Labor-Flachs-Brechers „Flaksy“. Diese Methode konnte auf Hanf übertragen werden, wobei man noch eine sinnvolle Unterteilung der Stängel in mehrere Fraktionen vornehmen muss. BECKMANN (1998) stellte bei der Freilegbarkeit, auf drei Entholzungsvorgänge bezogen, einen Grad der Freilegbarkeit von ca. 60 % fest. Betrachtet man die dargestellten Ergebnisse so bleibt festzuhalten, dass lediglich der Standort Dikopshof bei Wesseling in der Köln-Aachener Bucht im Jahre 2002 eine Freilegbarkeit von unter 40 % aufweist. Daraus ist zu schließen, dass der Standort in Wechselwirkung mit der Witterung einen Einfluss auf die Bildung der Faser mit dem Holzteil verkittenden Substanzen hat. Die Wuchsgeschwindigkeit der Pflanzen auf dem Dikopshof war im Jahr 2002 nicht von dem im Folgejahr zu unterscheiden. Somit kann man ebenfalls davon ausgehen, dass eine schnellere oder langsamere Zellbildung zugunsten verschiedener Pflanzenteile nicht zustande kam und somit auch keinen Einfluss haben kann.

Ein alleiniger Einfluss der Temperatur ist ebenfalls auszuschließen, da das Jahr 2002 keine besonderen Vorkommnisse bezüglich des Temperaturverlaufes aufwies.

Im Allgemeinen ist festzuhalten, dass die Freilegbarkeit in der Regel bei allen Varianten über 60 % lag.

Die Voruntersuchungen zeigten eine signifikant schnellere Entholzung bei einer Stängeldicke von $\geq 7,2$ mm. Dies kann der Landwirt durch eine geringere Saatstärke und höhere Stickstoffdüngung realisieren. Da aber die Weiterverarbeiter des Hanfstrohs aufgrund der Aufschlusstechnik dünne und gleichmäßige Stängel fordern, ist weiterhin eine Saatstärke von ca. 200 kK/m² erforderlich.

Zusätzlich bleibt zu diskutieren, ob die Ermittlung der Freilegbarkeit einen Zugewinn für den Ver- oder Ankäufer von Stroh darstellt. In wie weit sich eine etwas bessere oder schlechtere Freilegbarkeit auf die Produktionskosten auswirkt, kann von dieser Seite nicht beurteilt werden. Dies hängt vom Umsatz der Aufschlussanlage und der vom Verkäufer angelieferten Menge ab. Sicherlich wäre ein Vergleich der Kosten für die Ermittlung der Freilegbarkeit und der Aufschlusskosten in Abhängigkeit von der Freilegbarkeit interessant. Hier stellt sich jedoch das Problem, dass die ursprünglich im Forschungsantrag involvierte Aufschlussanlage aufgrund ihrer Dimension keine Differenzierung des eingegebenen Strohs zuließ.

Laut BECKMANN (1998) spielt die Freilegung eher bei der Vorentholzung auf dem Feld eine Rolle, da sich hierdurch entscheidet, wie oft das Stroh bearbeitet werden muss. Da sich ein lukrativer Schäbenmarkt entwickelt hat, ist man davon abgekommen, das Stroh zur besseren Trocknung auf dem Feld vorzuentholzen. Interessant wird dies bei einem weiterführenden Forschungsvorhaben des Instituts für Landtechnik bei der Grüentholzung auf dem Feld mit anschließender Trocknung. Hierzu werden später noch weitere Veröffentlichungen gemacht.

5.3.2 Festigkeit und Feinheitsbezogene Höchstzugkraft

Vergleicht man die feinheitsbezogene Höchstzugkraft der Sorte **Fedora 17** über die drei Versuchsjahre, so bleibt festzuhalten, dass eine Variation der Saatstärke oder Stickstoffdüngung jeweils keinen oder nur einen sehr geringen Einfluss auf die Faserfestigkeit hat. Herausragend war jedoch die Variante mit der höheren Saatstärke und Düngungsstufe im Jahr 2003.

Eine Aussage über den Einfluss der Saatstärke kann auch nur getroffen werden, indem man die Ausdünnung des Bestandes berücksichtigt. Also die Festigkeit der Fasern in Bezug auf die Bestandesdichte bringt. Eine Verdoppelung der Saatstärke bedingt nicht zwangsläufig Verdoppelung der Bestandesdichte. Daher ist davon auszugehen, dass die Saatstärke nur indirekt einen geringeren Einfluss auf die Qualität hat. Bei der Variation der Stickstoffmenge war eher davon auszugehen, dass sie einen Effekt auf die Zugkraft der Fasern hat, da normalerweise Pflanzen mit einem höheren Stickstoffangebot ein weiches Gewebe ausbilden und im Wuchs höher werden und mit dem höheren Wuchs eine festere Struktur der stützenden Fasern zu erwarten wäre. Aus den Abbildung 4-1 bis Abbildung 4-3 lässt sich jedoch auch kein Zusammenhang zwischen Bestandesdichte, Stängeldurchmesser und Wuchshöhe herleiten. Nach VETTER et al. (2002) ist für die Textil- und Geotextilnutzung eine Faserfestigkeit von mehr als 40 cN/tex erforderlich. Diese Werte wurden bis auf eine Ausnahme bei allen untersuchten Varianten und Standorten erreicht. Lediglich der Standort Detmold konnte im Jahr 2001 diesen Wert nicht erreichen. Dies kompensierte er allerdings

im darauf folgenden Jahr mit sehr hohen Werten. Bei der höheren Saatstärke erreichte er sogar Werte von ca. 90 cN/tex. Auffällig ist auch, dass Detmold im Jahr 2001, wie aus den Abbildung 4-16 bis Abbildung 4-21 hervorgeht, bei allen Varianten die geringsten Werte bei der Wuchshöhe, Stängeldurchmesser und Strohertrag aufwies. Dies kann eigentlich nur auf den bestimmten Standort zurückzuführen sein. Da keine genaueren Daten über Bodenbearbeitung und täglich Niederschlagsmengen und Temperaturverlauf vorliegen, aus denen man Rückschlüsse auf das Wuchsverhalten dieses Standortes schließen könnte. In der Summe gesehen, hatte der Standort Detmold im Unterschied zum Folgejahr weniger Niederschlag. Dies ist allerdings bei allen anderen Standorten genau so der Fall. Es könnte höchstens darauf zurück zu schließen sein, dass der Standort Detmold die Differenz in der Wasserversorgung nicht durch Kapillarwasser kompensieren konnte, da es hier wie beim Standort Delbrück um einen reinen Sandboden handelt. Da das Versuchsmaterial auf gleiche Weise geerntet wurde, kann ein mechanischer Einfluss auf das Erntegut im Hinblick auf die schlechte Zugkraft des beschriebenen Standortes ausgeschlossen werden.

Da sich Sorten um eine Zulassung zu bekommen von einander in verschiedenen Merkmalen unterscheiden müssen, ist bei der Prüfung der Faserfestigkeit eher davon auszugehen, dass signifikante Unterschiede zu finden sind. Dies wurde durch die Untersuchungen der verschiedenen Sorten bestätigt.

Hierbei ist auffällig, dass sich die sehr frühe Sorte **Uso 31**, wie in Abbildung 4-43 und Abbildung 4-44 ersichtlich ist, in den beiden Jahren 2001 und 2002 sich von **Futura 75** und **Fedora 17** positiv in der Festigkeit unterscheidet.

Die mittelfrühe Sorte **Bialobrzeskie** unterschied sich ebenfalls signifikant positiv von den anderen Sorten. Erstaunlich ist das deshalb, da wie die MASTEL et al. (1998) und BOCSA (2000) beschreiben, dass sich die Faserfestigkeit mit zunehmendem Alter nach der Blüte verschlechtert. Die verschiedenen Sorten wurden jedoch zum gleichen Zeitpunkt geerntet. Deshalb ist eigentlich zu erwarten, dass die früheren Sorten in der Festigkeit abnehmen. Die Sorte **Epsilon 68** hob sich ebenfalls etwas positiv aus den anderen Sorten hervor. Dies war allerdings nur im Jahr 2003 signifikant. Es bleibt also festzuhalten, dass die Sorten **Epsilon 68** und **Bialobrzeskie** bei der Verwendung der Fasern als stärkendes Element zu bevorzugen sind. Die Sorte **Uso 31** sticht in der Festigkeit zwar hervor, liegt aber im Strohertrag weit unter den vorgenannten Sorten.

5.3.3 Elastizitäts-Modul

Über den Vergleich der E-Module der verschiedenen Standorte kann keine Aussage getroffen werden. Die Unterschiede sind alle stark signifikant, es können allerdings keine Zusammenhänge hergeleitet werden. Weder die Betrachtung verschiedener Saatstärken noch der verschiedenen Stickstoffmenge folgt irgendeiner Regelmäßigkeit.

Bei den Sorten erkennt man ein erhöhtes E-Modul bei den Sorten mit der höheren Zugkraft. Allerdings konnte ein Unterschied aufgrund der großen Schwankungen innerhalb der Varianten keine statistisch abgesicherte Aussage gemacht werden. Wie in den Abbildung 4-48 bis Abbildung 4-50 zu erkennen ist spielen die Sorten **Bialobrzeskie** und **Epsilon 68** wieder eine übergeordnete Rolle. Sie zeichnen sich über eine höhere Steifigkeit aus. Die Werte müssten allerdings durch weitere Wiederholungen abgesichert werden, da die Sorte **Epsilon 68** nur zweijährig und die Sorte **Bialobrzeskie** sogar nur einjährig angebaut wurde.

5.4 Schnellprüfverfahren zur Qualitätsbestimmung

Aufgrund der hohen Streuungen der relevanten Qualitätsparameter ist die Entwicklung von Schnellprüfverfahren bisher nicht erfolgreich.

Es bleibt zu dem noch zu diskutieren, in wie weit diese Prüfmethode erforderlich sind. Nach Rücksprache mit mehreren Fasern verarbeitenden Firmen, kam immer wieder zum tragen, dass die Festigkeit der Fasern eine untergeordnete Rolle spielt. Dies widerspricht jedoch der im Projekt eingebunden Firma NafiTech nach deren Aussage die Festigkeit der Fasern eine wesentliche Rolle spielt.

In der Regel wird die Ware lediglich visuell und per Reißprüfung von Hand getestet, wobei sich die Firmen beim Ankauf von Fasern auf ihre Erfahrung bei der Beurteilung der Chargen verlassen.

Um die qualitätsrelevanten Parameter zu identifizieren, wurde vom Deutschen Naturfaserverband eine Umfrage gemacht. Dabei stellte sich heraus, dass sich die Verarbeiter mehr auf die Qualität des Endproduktes konzentrieren, über das sich die Wertschöpfung wesentlich höher beeinflussen lässt.

Bei Stroh verarbeitenden Betrieben bleibt allerdings eine andere Sichtweise zu berücksichtigen. Hier spielen die Stängeldicke und damit auch die Gleichmäßigkeit der Partie eine übergeordnete Rolle, da hier die Beschickung der Entholzungsmaschine den Produktionsprozess wesentlich beeinflusst.

Der größte Qualitätsparameter in der Naturfaserproduktion ist, wenn man dies so nennen darf, der Preis. Zurzeit liegt der Preis für Hanffasern im Einkauf bei einem Preis von 0,62 Euro je Kilogramm und die Schäben werden einmal vorgereinigt aus Frankreich für 155 Euro je Tonne gehandelt. Derzeit spielt beim Einkauf der Preis für das Stroh die maßgebliche Rolle. Qualitätseigenschaften des Strohs sind dabei in der Regel unbekannt.

5.5 Vergleichende Bewertung

In den Kapiteln 4.1 bis 4.4 und Kapitel 4.7 sind die Ergebnisse der pflanzenbaulichen und qualitätsbestimmenden Faktoren für die **Standort**versuche in OWL dargestellt. Im Folgenden werden die erreichten Ertragsleistungen und Faserqualitäten miteinander verglichen und diskutiert. In Tabelle 5-2 sind die Leistungen für das Versuchsjahr 2001, für die Saatstärke 108 kK/m² bei einer Stickstoffdüngung von 120 kg/ha (Behandlung A) und die Saatstärke 216 kK/m² und 60 kg/ha (Behandlung B) wiedergegeben. Entsprechend sind in Tabelle 5-3 die erzielten Ergebnisse des Versuchsjahres 2002 aufgeführt.

Es fällt für das Versuchsjahr 2001 (Tabelle 5-2) auf, dass das erreichte Leistungsniveau (Mittelwert) für die niedrige Saatstärke durchgängig auf einem qualitativ höheren Niveau liegt als das der anderen Kombination. Die Betrachtung der einzelnen Standorte liefert kein so einheitliches Bild: Das Leistungspotential der Pflanzen auf dem sandigen Standort Delbrück entspricht den dargestellten Mittelwerten. Andererseits liegen die Ergebnisse des ebenfalls sandigen Standorts Detmold kontinuierlich unter den Mittelwerten. Die ermittelten Leistungen der Pflanzen auf Haus Düsse weisen eine leicht positive Tendenz bei einer Saatstärke von 108 kK/m² auf. Der mit Haus Düsse vergleichbare Standort Werther zeigt jedoch allgemein gute Ertragsleistungen, wobei eine leichte positive Tendenz bei der hohen Saatstärke (216 kK/m²) zu erkennen ist.

Tabelle 5-2: Vergleichende Darstellung der Leistungen im Jahr 2001 für die Behandlung A: 108 kK/m² und 120 kg/ha Stickstoffgabe und B: 216 kK/m² und 60 kg/ha Stickstoffgabe (grau unterlegt).

	MITTELWERT		DELBRÜCK		DETMOLD		HAUS DÜSSE		WERTHER	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Behandlung	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Wuchshöhe (cm)	185	160	+	-	--	-	~	-	~	++
Stängeldurchmesser (mm)	8,38	6,86	+	~	--	~	-	-	-	+
Strohertrag (dt/ha)	163	155	+	-	--	--	-	~	++	++
E-modul (MPa)	20.000	16.000	+	++	--	--	~	--	++	+
Feinheitsbezog. Höchstzugkraft (cN/tex)	57	55	~	++	--	--	+	-	+	+
Freilegbarkeit (%)	70	63	~	~	~	+	-	~	+	+

Legende: Die Daten, die dem Mittelwert entsprechen sind mit ~ gekennzeichnet, Werte unterhalb des Mittelwertes mit - und Werte über dem Mittelwert mit einem +. Dort wo die Leistung besonders stark abweichend vom Mittelwert ist, sind die Zeichen doppelt genutzt. Der Standort Vermold fehlt in dieser Tabelle, da keine qualitätsbestimmenden Parameter ermittelt werden konnten.

Demgegenüber wurde im Versuchsjahr 2002 das bessere Leistungspotential (Mittelwert) bei einer Saatstärke von 216 kK/m² und 60 Kg/ha ausgeschöpft. Die einzige Ausnahme spiegelt sich im erzielten Stängeldurchmesser wieder. Im Detail zeigt sich für die Versuchsstandorte das folgende Bild. Die erzielten Leistungen der Standorte Detmold und Versmold weisen eine Tendenz zum Mittelwert hin auf. Entgegen dem Trend der Mittelwerte zeigen die auf Haus Düsse ermittelten Ergebnisse ein höheres Leistungsniveau bei einer Saatstärke von 108 kK/m². Am Standort Werther weisen beide Kombinationen ein hohes Leistungspotential auf, wobei sich ein geringer Vorteil bei der Saatstärke mit 108 kK/m² und einer Düngung von 120 Kg/ha Stickstoff zeigt.

Tabelle 5-3: Vergleichende Darstellung der Leistungen im Jahr 2002 für die Behandlung A: 108 kK/m² und 120 kg/ha Stickstoffgabe und B: 216 kK/m² und 60 kg/ha Stickstoffgabe (grau unterlegt).

	MITTELWERT		DETMOLD		HAUS DÜSSE		VERSMOLD		WERTHER	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Versuchsjahr	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Wuchshöhe (cm)	177	182	--	--	~	+	-	++	++	++
Stängeldurchmesser (mm)	7,56	6,79	-	-	+	~	--	+	++	+
Strohertrag (dt/ha)	161	174	-	~	~	-	~	+	++	++
E-modul (MPa)	17.000	21.000	-	++	~	-	~	-	~	-
Feinheitsbezog. Höchstzugkraft (cN/tex)	55	70	+	++	-	-	-	-	~	-
Freilegbarkeit (%)	70	75	+	~	+	-	-	-	-	+

Legende: Die Daten, die dem Mittelwert entsprechen sind mit ~ gekennzeichnet, Werte unterhalb des Mittelwertes mit - und Werte über dem Mittelwert mit einem +. Dort wo die Leistung besonders stark abweichend vom Mittelwert ist, sind die Zeichen doppelt genutzt. Der Standort Delbrück stand im Jahr 2002 nicht zur Verfügung (Kap. 3.1.1).

Aus den in Tabelle 5-2 und Tabelle 5-3 dargestellten Ergebnissen ist ersichtlich, dass das Anbaujahr und damit die Klimabedingungen sowie der Versuchsstandort einen sehr großen Einfluss auf die Entwicklung der Hanfbestände und die erreichbare Leistung haben. Jedoch führt die Einflussnahme durch pflanzenbauliche Maßnahmen auf die ertrags- und qualitätsbestimmenden Faktoren zu einer Optimierung der Standortbedingungen und kann somit zur Steigerung der Ertragsleistung beitragen.

In den Kapiteln 4.5 bis 4.6 und Kapitel 4.7 sind die Ergebnisse der pflanzenbaulichen und qualitätsbestimmenden Faktoren für die **Sortenversuche** auf dem Dikopshof dargestellt. Im Folgenden werden die erreichten Ertragsleistungen und Faserqualitäten miteinander verglichen und diskutiert. Die folgende Tabelle 5-4 beinhaltet eine Übersicht der geprüften Festigkeitswerte für die untersuchten Sorten. Entsprechend sind in Tabelle 5-5 die Wachstumsparameter, der Strohertrag und die Festigkeiten der Sorten zusammengefasst. Für einige Sorten (**Bialobrzeskie** und **Beniko**) können keine Angaben gemacht werden, da in verschiedenen Jahren diese Sorten nicht für den Anbau zur Verfügung standen.

Tabelle 5-4: Vergleichende Darstellung der Leistungen der untersuchten Sorten in den Jahren 2001 bis 2003 im Bezug auf den E-Modul und die feinheitbezogene Höchstzugkraft.

	E-Modul [MPa]	Feinheitbez. F _{max} [cN/tex]	E-Modul [MPa]	Feinheitbez. F _{max} [cN/tex]	E-Modul [MPa]	Feinheitbez. F _{max} [cN/tex]
Jahr	2001	2001	2002	2002	2003	2003
Mittelwert	19173	59,42	18390	52,56	21602	66,16
Bialobrzeskie					++	++
Fedora 17	~	-	~	-	~	-
Epsilon 68	~	+			++	+
Beniko			~	-	-	-
Futura 75	-	-	~	-	--	-
Uso 31	~	++	~	++	+	~

Legende: Die Daten, die dem Mittelwert entsprechen sind mit ~ gekennzeichnet, Werte unterhalb des Mittelwertes mit - und Werte über dem Mittelwert mit einem +. Dort wo die Leistung besonders stark abweichend vom Mittelwert ist, sind die Zeichen doppelt genutzt.

Beim Vergleich der Sorten, die in mehreren Jahren angebaut wurden, fallen die Sorten **Fedora 17** und besonders **Futura 75** negativ auf. Die Leistungen von **Fedora 17** waren in beiden Versuchsjahren nur durchschnittlich, wohingegen die Leistungen der Sorte **Futura 75** zumeist schlechter als der Durchschnitt waren. Dies gilt sowohl für die Reißfestigkeit als auch für die Elastizität. Positiv tat sich die Sorte **Uso 31** hervor. Ebenso kann man aus den vorliegenden Daten den Schluss ziehen, dass die Sorten **Epsilon 68** und **Bialobrzeskie** sich von den anderen untersuchten Sorten positiv unterscheiden. Bei **Epsilon 68** fehlt allerdings das Versuchsjahr 2002 und bei **Bialobrzeskie** liegen lediglich die Daten eines Versuchsjahres vor, welche sich jedoch deutlich von den anderen Sorten abheben.

Aus Qualität beurteilender Sicht sind die Sorten **Uso 31**, **Epsilon 68** und **Bialobrzeskie** vorzuziehen.

Um die Entscheidung der richtigen Sortenwahl für den Erstverarbeiter sowie Landwirt zu vereinfachen, werden im folgenden Teil die entsprechenden Parameter zusammengefasst. In der nachfolgenden Tabelle 5-5 sind wertfrei die Aufwuchsleistungen mit der Festigkeit im Vergleich dargestellt. Unter Festigkeit wird dabei die feinheitsbezogene Höchstzugkraft und der E-Modul kombiniert dargestellt. Aufgrund statistischer Auswahlverfahren vor Beginn der Festigkeitsprüfung steht für **Epsilon 68** im Versuchsjahr 2002 keine Bewertung zur Verfügung. Die anderen fehlenden Werte resultieren daraus, dass in dem jeweiligen Versuchsjahr diese Sorten nicht zur Verfügung standen.

Tabelle 5-5: Vergleichende Darstellung der Leistungen der untersuchten Sorten in den Jahren 2002 und 2003 im Bezug auf die Wachstumsparameter, Strohertrag und Festigkeit.

	Wuchshöhe (cm)		Stängeldurchmesser (mm)		Strohertrag (dt/ha)		Festigkeit	
	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003
Mittelwert	204	196	7,1	7,3	178	177		
Bialobrzeskie		+		~		++		+
Fedora 17	~	--	~	--	+	+	~	~
Epsilon 68	+	+	+	+	-	++		+
Beniko		~		~		~		-
Futura 75	~	+	-	++	-	+	~	-
Usó 31	-	-	~	-	+	--	+	+

Legende: Die Daten, die dem Mittelwert entsprechen sind mit ~ gekennzeichnet, Werte unterhalb des Mittelwertes mit - und Werte über dem Mittelwert mit einem +. Dort wo die Leistung besonders stark abweichend vom Mittelwert ist, sind die Zeichen doppelt genutzt. Die grau unterlegten Sorten wurden in zwei aufeinander folgenden Versuchsjahren untersucht.

Aus Tabelle 5-5 kann entnommen werden, dass sich im Versuchsjahr 2002 der Anbau von **Futura 75** aus qualitativer sowie quantitativer Sicht nicht gelohnt hat. Die anderen Sorten sind als neutral einzustufen.

Aus vorangestellter Tabelle 5-4 ist ersichtlich, dass sich die Sorten **Bialobrzeskie** und **Epsilon 68** sowohl in qualitativer als quantitativer Sicht als positiv herausstellen. Bei den anderen Sorten muss ein Kompromiss zwischen Qualität und Quantität eingegangen werden.

Abschließend können die Sorten **Bialobrzeskie** und **Epsilon 68** als favorisierte Sorten empfohlen werden. Bei Verwendung des Erntegutes in Produkten mit untergeordnetem Anspruch an die Reißfestigkeit kann die Sorte **Fedora 17** mit einem guten Strohertrag empfohlen werden.

6 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, den Einfluss der verschiedenen Faktoren auf die Qualitäts- und Ertragsleistungen von *Cannabis sativa* L. zu ermitteln.

Unter Ertragsleistung ist der pflanzliche Aufwuchs in Form von Hanfstroh zu verstehen. Aus Sicht des Anbaus wird ein möglichst hoher auf die Masse bezogener Ertrag angestrebt. Unter Qualitätsleistung sind die Anforderungen der verarbeitenden Industrie gemeint. Diese müssen im Einklang mit dem Ziel eines hohen Ertrages gebracht werden. Die Qualitätsansprüche des zu Anfang im Projekt eingebundenen Hanfverarbeiters NafiTech lagen darin, ausgehend vom einem möglichst homogenen faserreichen Ausgangsmaterial durch den Aufschluss der Fasern ein hochwertiges Endprodukt zu erhalten. In dieser Hinsicht ist ein gleichmäßiges, dünnstängeliges und sauberes Material erforderlich, bei dem sich die Faser möglichst leicht trennen vom Holzteil lässt.

Im vorliegenden Projekt wurden in den Jahren 2001 und 2002 Versuche durchgeführt, die durch die Variation des Standortes in Ostwestfalen-Lippe (OWL; Detmold, Delbrück, Haus Düsse, Versmold und Werther), der Stickstoffdüngung und der Saatstärke die Zusammenhänge von Anbauparametern mit dem Ertrag und Qualität aufzeigen sollten. Zur Ergänzung der Untersuchungen wurden verschiedene Genotypen (Tabelle 3-2) an einem Standort in den Jahren 2002 (**Epsilon 68**, **Fedora 17**, **Futura 75** und **Usó 31**) und 2003 (**Epsilon 68**, **Fedora 17**, **Futura 75**, **Usó 31** sowie **Beniko** und **Bialobrzieszka**) untersucht.

Auf den Praxisschlägen der **Standorte** in OWL sind zwei Saatstärken (108 kK/m² und 216 kK/m²) sowie die Stickstoffdüngungsstufen 60 kg/ha und 120 g/ha getestet worden.

Fasst man die Ergebnisse der beiden Versuchsjahre zusammen, so unterscheiden sich die Standorte signifikant voneinander (vgl. Kap. 4.1.1). Jedoch fallen bei der getrennten Betrachtung der Versuchsjahre deutliche Unterschiede hinsichtlich der ertragsbestimmenden Leistungsmerkmale auf.

Im Hinblick auf den Stängeldurchmesser konnte für das Versuchsjahr 2001 festgestellt werden, dass entsprechend der Erwartung bei niedriger Saatstärke im Mittel dickere Stängel (8,38 mm) als bei hoher Saatstärke (6,86 mm) ausgebildet wurden. Auch die größte Wuchshöhe (185 cm) wurde in diesem Versuchsjahr bei der niedrigen Saatstärke ermittelt, welche durch den Wuchs am Standort Delbrück noch übertroffen wurde. Demgegenüber lag die Wuchshöhe am Standort Werther bei einer Saatstärke von 216 kK/m² deutlich über dem Mittel von 160 cm. Das gleiche Bild lieferten auch die Daten für den Strohertrag. Im

Fasergehalt zeigten wieder die Standorte Delbrück, Werther und auch Haus Düsse eine überdurchschnittliche Leistung.

Die analysierten Daten des Versuchsjahres 2002 zeigen ein anderes Bild. Für den Stängeldurchmesser, die Wuchshöhe und den Strohertrag liegen alle gemessenen Werte im Mittel, mit Ausnahme des Standortes Werther. Alle ermittelten Werte liegen deutlich über dem Mittelwert an diesem Standort.

Beim Vergleich der Freilegbarkeit, als Maß der Entholzungsgeschwindigkeit, wurde festgestellt, dass diese beim Anbau von Grünhanf durch pflanzenbauliche Maßnahmen nur bedingt zu beeinflussen ist. Bemerkenswert ist, dass die Freilegbarkeit des Materials vom Standort Dikopshof im Jahr 2002 sehr viel geringer ausfiel, als in den anderen Jahren und den anderen Standorten. Daraus ist zu schließen, dass die Wechselwirkungen von Standort und Witterungseinfluss einen wesentlichen Einfluss auf die Verarbeitung des Hanfstrohs haben.

Dass die Saatstärke und die Stickstoffdüngung einen Einfluss auf die Zugkraft der Fasern hatte, konnte nicht festgestellt werden. Ebenso konnte an keinem Standort ein bestimmter Einfluss auf die Faserfestigkeit nachgewiesen werden. Hier dominiert wiederum das Zusammenspiel vieler verschiedener Faktoren, die zum größten Teil nicht beeinflussbar sind, die Festigkeiten. Dieses Phänomen kann für den E-Modul analog ausgesagt werden.

Bei den **Sorten** stellte sich die Zugfestigkeit der Sorten **Uso 31** und **Epsilon 68** mit einer Wiederholung als reißfester als die übrigen heraus. Der höchste Strohertrag wurde für die Sorte **Bialobrzeskie** ermittelt. Für die Sorte **Epsilon 68** lag der Strohertrag im Mittel, wohingegen **Uso 31** den geringsten Strohertrag lieferte. Jedoch beinhaltet das Stroh der Sorte **Uso 31** mit 44,9 % höchsten Fasergehalt. Der Fasergehalt von **Epsilon 68** und **Bialobrzeskie** entspricht dem Mittelwert. Die Sorten unterscheiden sich in ihrer Wuchshöhe nur geringfügig. **Epsilon 68**, **Futura 75** und **Bialobrzeskie** erreichten mit knapp über 200 cm die größte Stängellänge. Die geringste Wuchshöhe (194 cm) wurde für die sehr frühreife Sorte **Uso 31** ermittelt. Im Hinblick auf den Stängeldurchmesser konnte festgestellt werden, dass die Mittelwerte aller untersuchten Sorten nah beieinander liegen, jedoch einzeln betrachtet stark schwanken können.

Aus den gewonnenen Daten kann der Schluss gezogen werden, dass der Landwirt über die Saatstärke die Stängeldicke beeinflussen kann. Des Weiteren kann er über die Sortenwahl einen Einfluss auf den Fasergehalt und die Festigkeit nehmen. Mit der Stickstoffdüngung optimiert er die Wachstumsbedingungen.

7 Übertragung der Ergebnisse in die landwirtschaftliche Praxis

Die erneute Etablierung von *Cannabis sativa* L. als Kulturpflanze und als nachwachsenden Rohstoff in die heutigen engen Fruchtfolgen bietet die Etablierung einer alternativen Einkommensquelle für die Landwirtschaft.

Der Untersuchung zeigte deutlich, dass für einen ertragreichen Hanfanbau mit einer qualitativ hochwertigen Faserproduktion vielfältige Faktoren beachtet werden müssen. Die agronomischen Einflussfaktoren müssen genau an die Standortbedingungen (Boden und Klima) angepasst werden. Auf guten tiefgründigen Böden mit einem gesicherten Auflauf kann mit einer verhaltenen Stickstoffdüngung ein guter Ertrag erzielt werden, während an ungünstigeren Standorten eine höhere Saatstärke unumgänglich ist, um die Forderungen der abnehmenden Hand bezüglich dünner und gleichmäßiger Stängel zu gewährleisten.

Die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit des Hanfanbaues ist nach Reduzierung der Flächenprämie verstärkt von den erzielten Stroherträgen und dem Rohstoffpreis je Tonne abhängig. Die Erfahrungen und Daten der letzten Jahre haben gezeigt, dass der Strohertrag im Mittel bei 6 - 8 t/ha Grünstroh liegt. Die HAV NafiTech GmbH bezahlte den Landwirt im Jahr 2004 mit einer Grundvergütung von 100 € (+ MwSt) je Tonne bei einem Feuchtegehalt von 14 %. Der so erzielbare Ertrag kommt gerade dem von Körnermais nah. Zurzeit wurden und werden weitere Qualitätsforderungen seitens des Erstverarbeiters nicht formuliert. Längerfristig kann eine Qualitätsdefinition mit Auswirkung auf die Preisgestaltung nicht ausgeschlossen werden. Bei der Formulierung von Qualitätszielen liefert die Reanalyse der hier vorgestellten Untersuchungsergebnisse wertvolle Hinweise auf angepasste Produktionstechniken.

Die Rentabilität des Hanfanbaus ist für den Landwirt aufgrund dieses niedrigen und somit kaum konkurrenzfähigen Rohstoffpreises jedoch kaum gegeben. Daher ist es wichtig, die Anbaukosten so stark zu senken, wie möglich. Potential hierbei liegt zurzeit lediglich in der Reduzierung der Saatstärke auf guten Böden. Zudem ist es wichtig bei der Ernte so wenige Arbeitsschritte wie möglich durchzuführen. Dies bedeutet, dass Flächen in Gebieten mit einem erhöhten Niederschlagsrisiko während der Erntezeit vermieden werden müssen. Dadurch wird zusätzlich das Risiko eines Überröstens und den daraus folgenden Qualitätseinbußen bis hin zur Unverkäuflichkeit des Strohs reduziert.

8 Literaturverzeichnis

- BASSETTI, P., MEDIAVILLA, V., SPIESS, E., AMMANN, H., STRASSER, H. UND MOSIMANN, E.** (1998): Hanfanbau in der Schweiz – Geschichte, aktuelle Situation, Sorten, Anbau- und Erntetechnik, wirtschaftliche Aspekt und Perspektiven. FAT-Berichte Nr. 516. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (Hrsg.).
- BECKMANN, A.** (1998): Methoden zur Messung physikalischer Eigenschaften von Industriefaser-Lein (Flachs) und damit verstärkten Kunststoffen; Diss. RWTH Aachen.
- BLUHM, C. und MÜSSIG J.** (1999): Ansätze zur reproduzierbaren Röstgradmessung mit dem Ziel der Bereitstellung einheitlicher Hanffasern. Themenkonferenz Ermittlung von Qualifizierungsbedarf für den Hanfanbau (Haus Düsse).
- BÓCSA, I., KARUS M. UND LOHMEYER, D.** (2000): Der Hanfanbau: Botanik, Sorten, Anbau und Ernte, Märkte und Produktlinien. Landwirtschaftsverlag Münster, 2. Auflage.
- DIEPENBROCK, W., FISCHBECK, G., HEYLAND, K.-U. UND KNAUBER, N.** (1999): Spezieller Pflanzenbau. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, UTB für Wissenschaft. 3. Auflage, 297-302.
- EULENSTEIN, S.** (1997): Untersuchungen zur Bedeutung der Nutzung als Industriefaser für die Züchtung, Qualitätsbeurteilung und Produktionstechnik des Leins (*Linum usitatissimum* L.).
- FUNDER, A.** (1973): Die Qualitätsbeurteilung von Bastfasern mittels Bündelfestigkeitsprüfung. Textil Praxis International.
- GUSOVIVUS, H.-J.** (2002): Stoffwandlungen und Umwelteinflüsse in Verfahrensketten für Faserhanf; Dissertation Cuvillier Verlag Göttingen.
- HEYLAND K.-U. UND KROMER K.-H.** (1995): Methodenbuch Industriefaser Lein; Arbeiten aus dem Institut für Landtechnik der Rheinischen Friedrich-Wilhelms Universität Bonn Heft 18.
- HÖPPNER, F. & MENGE-HARTMANN, U.** (2000): Cultivation strategies of hemp cultivars on yield and quality of fibres and oil. 3rd International Crop Science Congress, European Society of Agronomy (Hrsg.).
- HÖPPNER, F. & MENGE-HARTMANN, U.** (1999): Einfluss der Bestandesführung auf Erträge und Qualität von Hanf. Arbeiten aus dem Institut für Landtechnik der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität 28, 6-12.
- HÖPPNER, F. & MENGE-HARTMANN, U.** (1996): Hanf – alte Kulturpflanze mit neuen Chancen? Forschungsreport 2, 12-15.
- HÖPPNER, F. & MENGE-HARTMANN, U.** (1995): Cultivation experiments with two fibre varieties. Journal of International Hemp Association 2, 18-22.

- HÖPPNER, F. & MENGE-HARTMANN, U.** (1994): Anbauversuche zur Stickstoffdünnung und Bestandesdichte von Faserhanf. *Landbauforschung Völkenrode* 44, 314-324.
- HÜTTL, R. F.** (2001): Rekultivierung im Braunkohletagebau – Fallbeispiel Niederlausitzer Bergbaufolgelandschaften. *Akademie-Journal* 1, Alpha, Lampertsheim.
- JAHN-DEESBACH, W.** (1965): Die Düngung des Hanfes. In: *Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung*. Axel Springer Verlag.
- KRAUS, M., ORTMANN, S. UND VOGT, D.** (2004): Marktstudie – Naturfasereinsatz in Verbundwerkstoffen der deutschen Automobilproduktion (1996-2003). Nova-Institut (Hrsg.).
- KÖRBER-GROHNE, U.** (1987): *Nutzpflanzen in Deutschland – Kulturgeschichte und Biologie*. Konrad-Theiss Verlag.
- KRÜGER, K.** (2000): Mehrjährige Untersuchungen zum Hanfanbau in Brandenburg. Online-Proceedings der Biorohstoff Hanf 2000 (www.biorohstoff-hanf.de), Nova-Institut (Hrsg.).
- LÉON, J. & VON FRANKEN-WELZ, H.** (2000): Vergleichende Bewertung der Leistungspotentiale und Faserqualität verschiedener Faserpflanzen und Entwicklung von umweltverträglichen Anbauverfahren zur Produktion von qualitativ hochwertigen Industriefasern, *Forschungsberichte Heft 82*. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn (Hrsg.).
- LISSON, S. N. & MENDHAM, N. J.** (2000): Cultivar, sowing date and plant density studies of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.) in Tasmania. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 40, 975-989.
- LOHMEYER, D.** (1997): Hanf im ökologischen Anbau. Online-Proceedings des 2. Biorohstoff Hanf (www.biorohstoff-hanf.de). Nova-Institut (Hrsg.).
- MASTEL, K., Stolzenburg, K. und Seith, B.** (1998): Informationen für die Pflanzenproduktion – Untersuchungen zu pflanzenbaulichen, erntetechnischen und ökonomischen Fragen des Anbaus von Faser- und Körnerhanf. Heft 7/1998. Landesanstalt für Pflanzenbau, Frochheim (Hrsg.).
- MEDIAVILLA, V., BASSETTI, P. UND LEUPIN, M.** (1999): Agronomische Eigenschaften von Hanfsorten. *Agrarforschung* 6(10), 393-396.
- KONERMANN, M. UND SCHMID-SELMBROUCK, I.** (1998): Optimierung der Stickstoffdüngung und Saatmenge im Hanfanbau. *Agrarforschung* 5, 241-244.
- MEIJER, W. J. M., VAN DER WERF, H. M. G., MATHEJSEN, E. W. J. M. UND VAN DEN BRINK, P. W. M.** (1995): Constraints to dry matter production in fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). *European Journal of Agronomy* 4, 109-117.
- MÜNZER, W.** (1999): Zusammenfassende Ergebnisse aus Forschungsvorhaben mit ausgewählten Rohstoffpflanzen. 7. Symposium: Im Kreislauf der Natur – Naturstoffe für die moderne Gesellschaft. CARMEN e.V., 6/1999, 95-113.
- MÜSSIG J.** (2001): Untersuchung heimischer Pflanzenfasern für die Herstellung von naturfaserverstärkten Duroplasten – vom Anbau zum Verbundwerkstoff- Bremen Fortschritt-Berichte VDI Reihe 5 Nr. 630.

- Röricht, C., Schulz, J. und Rexroth, E.** (1997): Einfluss anbautechnischer Maßnahmen auf Ausbeute und Qualität der Fasern von Faserlein (*Linum usitatissimum* L.) und Hanf (*Cannabis sativa* L.). In: Erzeugung, Aufbereitung und Verarbeitung von Naturfasern für nichttextile Zwecke. VDI Kolloquium Agrartechnik, Bonn, Heft 22, 166-182.
- ROTTMANN-MEYER, M.-L.** (2001): Hanfsorten zeigen gutes Ertragspotential. LSV Hanf 2001. Landwirtschaftskammer Hannover.
- SCHEER-TRIEBEL, M. & LÉON, J.** (2000): Industriefaser – Qualitätsbeschreibung und pflanzenbauliche Beeinflussungsmöglichkeiten bei Faserpflanzen: ein Literaturreview. Pflanzenbauwissenschaften 4(2), 91-102.
- STEFFES, E.** (2004): Die Renaissance der europäischen Bastfaser­spinnerei von Hanffasern auf AUTOCORO Rotorspinnmaschinen; Schlafhorst Autocoro GmbH, Mönchengladbach.
- STRUİK, P. C., Amaducci, S., Bullard, M. J., Stutterheim, N. C., Venturi, G. und Cromaci, H. T. H.** (2000): Agronomy of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). European Industrial Crops and Products 11, 107-118.
- QUINT, B.** (1996): Information zur Qualifizierung von Röste; IAF Reutlingen.
- VAN DER WERF, H. M. G.** (1994): Crop physiology of fiber hemp (*Cannabis sativa* L.). Diss. Univ. Wageningen (NL).
- VAN DER WERF, H. M. G.** (1991): Agronomy and crop physiology of fibre hemp: A literature review. CABO Report 142, CABO-DLO, Wageningen NL.
- VETTER A.** (2002): Abschlußbericht - Anbau und Verwertung von Faserpflanzen in Thüringen. Teilbericht: Einfluss agrotechnischer Maßnahmen und die Sortenwahl auf Ertrag und Qualität. Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt.
- VETTER, A. & GRAF, T.** (1999): Ausgangssituation, Markt und Innovationspotential pflanzlicher Inhaltsstoffe für die Landwirtschaft und die Industrie. Tagungsband 2. Internationales Symposium: Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen, Erfurt.
- VON BUTTLAR, H.-B., HÖPPNER, F., MENGE-HARTMANN, U. SCHEFFER, K. UND MISPELHORN, B.** (1997): Europäische Hanfsorten im Standortvergleich zweier deutscher Anbauregionen. Online-Proceedings des 2. Biorohstoff Hanf (www.biorohstoff-hanf.de), Nova-Institut (Hrsg.).
- VON FRANKEN-WELZ, H.** (2003): Vergleichende Bewertung der Ertragsfähigkeit und Faserqualität von Lein (*Linum usitatissimum* L.), Hanf (*Cannabis sativa* L.) und Fasernessel (*Urtica dioica* L.) zur Produktion hochwertigen Industriefasern. Schriftenreihe des Institutes für Pflanzenbau, Diss. Universität Bonn.

9 Konsequenzen für weitere Forschungsaktivitäten

Wie in der Literatur beschrieben hat Hanf (*Cannabis sativa* L.) als Kulturpflanze und damit auch als nachwachsender Rohstoff in der vorliegenden Arbeit sein Potential als anbauwürdige Pflanze in NRW mehr als verdeutlicht.

In der Literatur sind eine Vielzahl von Anbauversuchen dokumentiert. Jedoch gibt es kaum zwei vergleichbar durchgeführte Versuche. Die Ergebnisse dieser Untersuchung haben gezeigt, dass das Leistungspotential von Hanf stark von den klimatischen Faktoren beeinflusst wird. Daher ist es sinnvoll, landes- oder auch bundesweit standardisierte, mehrjährige Versuche zur Optimierung der pflanzenbaulichen Einflussfaktoren durchzuführen, um so umfassende und vergleichbare Ergebnisse zu erhalten. Hinzugezogen werden sollten die Erstverarbeiter, damit auch die Rohstoffqualitäten in Abhängigkeit von den Anbaufaktoren untersucht und über einen längeren Zeitraum analysiert werden.

Betrachtet man den Handel und die Beurteilung des Hanfstrohs bzw. der Hanffasern, so bleibt die Schlussfolgerung übrig, dass der Landwirt über ackerbauliche Maßnahmen den Hanfertrag und seine Qualität nur bedingt beeinflussen kann. Um die Rentabilität zu steigern, müssen Kosten gesenkt werden, oder es stellt sich die Frage, inwieweit der Landwirt die erste Veredelungsstufe in Form des Hanfstrohaufschlusses selbst durchführt, um die Vorzüglichkeit des Hanfanbaus zu steigern.

Zurzeit läuft am Institut für Landtechnik eine weitere Forschungsarbeit im Bereich der Erntetechnik von Hanf. In dieser soll geklärt werden, inwieweit der Landwirt seine Erntekosten reduzieren und den Strohaufschluss günstig realisieren kann.

Wenn der Landwirt als Faser- und Schäbenverkäufer fungiert, dann sind sicherlich wieder Verfahren zur Prüfung der Faserqualität notwendig, die dem Landwirt eine qualitative Aussage über sein Verkaufsprodukt ermöglichen. Im Hanfanbau steckt bei weiter steigenden Energiekosten sicherlich ein großes Potential mineralische Werkstoffe zu ersetzen. Auch wenn zurzeit der Hanfanbau die Rentabilitätsschwelle nur selten übersteigt, ist es interessant zu erfahren, ab welchem Energiepreis die Nachfrage nach nachwachsenden Rohstoffen in der Art steigt, dass die Hanferzeugung die Rentabilitätsschwelle überschreitet. Hierbei wird die Entwicklung betriebswirtschaftlicher Modelle hilfreich sein.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass zur langfristigen Etablierung und Ausweitung des Hanfanbaus in NRW, die Kooperation mit den verarbeitenden Betrieben verstärkt werden muss. Die Produktionskette muss von Anfang bis Ende erfasst und analysiert werden, damit

qualitativ hochwertige Fasern zu einem, für alle Beteiligten, angemessenen Preis produziert werden können.

10 Liste über Präsentationen und Vorträge

2003

Posterpräsentation:

Nachwachsende Rohstoffe – Qualitätsmanagement bei der Naturfasererzeugung. Abschlusskonferenz „Agenda 21 des Landes NRW“ im Projekt: Unterstützung einer innovativen Hanfwirtschaft in NRW.

Qualitätsmanagement im Hanfanbau in NRW. Agritechnica 2003 Hannover in Zusammenarbeit mit dem Institut für Landtechnik

Die Arbeiten des Institutes für Landtechnik im Bereich Nachwachsender Rohstoffe wurden auf der Agritechnica 2003 als Poster dargestellt und durch einen Mitarbeiter präsentiert.

Die Messmethoden und das Materialprüflabor wurden verschiedenen Gastwissenschaftlern am Institut für Landtechnik gezeigt und erläutert.

2002

Posterpräsentation:

Nachwachsende Rohstoffe – Qualitätsmanagement bei der Naturfasererzeugung. Eröffnung des Informationszentrums Hanf in Werther/Westf.

Die Arbeiten des Institutes für Landtechnik im Bereich Nachwachsender Rohstoffe wurden bei einer Ausschusssitzung der DLG als Poster präsentiert und die Qualitätsprüfung im Labor vorgeführt und am Tag der Fakultät ausgestellt.

Vortrag:

VON FRANKEN-WELZ, H & LÉON, J. (2000): Vergleichende Bewertung der Ertragsfähigkeit und Faserqualität von Lein, Hanf und Fasernessel zur Produktion hochwertiger Industriefasern. 45. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e.V. Berlin

2001

Posterpräsentation:

Functional Genomics (Tagung)

100-Jahrfeier des Institutes für Pflanzenbau

Tagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften in Bonn

Die Arbeiten des Instituts für Landtechnik im Bereich Nachwachsender Rohstoffe wurden auf der AGRITECHICA präsentiert, darunter die Ziele des Projektes *Faserqualität heimischer Faserpflanzen*.

Auf der Internationalen VDI-Tagung Landtechnik wurde ein Vortrag zur Eignung von Naturfasern für Kompositwerkstoffe gehalten, der die Aufgabenstellung des Projekts mit angesprochen hat.

11 Kurzfassung

Faserqualität einheimischer Faserpflanzen, die Bedeutung umweltbedingter Variabilität für die Ertrags- und Qualitätsbildung einheimischer Faserpflanzen, sowie die Methodenentwicklung zur Qualitätsprüfung

M. Haverkamp, J. Léon, Institut für Pflanzenbau und O. Roller, P. Schulze Lammers, Institut für Landtechnik, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

Einleitung

Infolge der Wiedertzulassung der einheimischen Faserpflanze Hanf (*Cannabis sativa* L.) im Jahr 1996 hat neben der Landwirtschaft auch die Industrie großes Interesse am Rohstoff Hanf entwickelt. Zur dauerhaften Etablierung des Rohstoffes in der Industrie sind jedoch bestimmte Qualitätskriterien zu erfüllen. Die vorliegende Untersuchung beschäftigt sich mit der Einflussnahme durch pflanzenbauliche Faktoren auf die erzielten Qualitäten und der Entwicklung von Methoden zur einfachen und schnellen Überprüfung der Faserqualität.

Material und Methoden

Die Untersuchungen fanden im Rahmen von zweijährigen Feldversuchen (2001-2002) in Ostwestfalen-Lippe (OWL) an fünf Standorten der „Erzeugergemeinschaft für Öl- und Faserpflanzen zur technischen Verwendung w. V.“ auf Praxisschlägen statt. Die Landwirte variierten innerhalb der Versuche zwei Saatstärken (108 keimfähige Körner/m² (kK/m²) & 216 kK/m²) und zwei Stickstoffstufen (60 kg/ha & 120 kg/ha). Als Versuchsflächen wurden jeweils zwei Quadratmeter abgesteckt auf welchen die Pflanzenanzahl, der Stängeldurchmesser und die Wuchshöhe kontinuierlich im Laufe der Vegetationsperiode ermittelt wurden. Die Pflanzen dieser Versuchsflächen wurden von Hand geerntet, die Biomasse bestimmt und weiter für die Untersuchungen zur Faserqualität genutzt. Die Aufarbeitung der Pflanzenproben für die Qualitätsanalysen wurde nach der von HEYLAND & KROMER (1995) beschriebenen Methodik durchgeführt.

Zudem wurden verschiedene Sorten (**Bialobrzeskie**, **Beniko**, **Fedora 17**, **Epsilon 68**, **Futura 75** und **Uso 31**) mit einer Saatstärke von 216 kK/m² und 120 kg/ha Stickstoffgabe auf dem Dikopshof bei Köln/Wesseling in den Jahren 2002-2003 hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit und Qualitäten untersucht. Diese Versuche wurden in Kleinparzellen von 12 m² durchgeführt. Die Bonituren wurden entsprechend den Versuchen in OWL ausgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Trotz der Heterogenität der **Standorte** in OWL lieferten die Ergebnisse kaum signifikante Unterschiede in den ertragsbestimmenden Faktoren.

Die niedrige Saatstärke (108 kK/m²) führt zu sehr geringen Bestandesdichten, wodurch die Pflanzen eine deutlich erhöhte Stängellänge ausbildeten. Demgegenüber lieferte die hohe Saatstärke (216 kK/m²) dichtere Bestände, welche tendenziell in eine höhere Ertragsleistung umgesetzt werden konnten. Der Fasergehalt korrelierte jedoch kaum mit dem ansteigenden Strohertrag.

An den Versuchsstandorten in OWL führte ein Anstieg in der Stickstoffgabe eindeutig zu kontinuierlich höheren Bestandesdichten über die Vegetationsperiode gesehen. Weiter konnte gezeigt werden, dass die Einflussnahme der Stickstoffgabe sich meist auf die Stängeldicke und Wuchshöhe auswirkt und auch höhere Erträge die Folge waren. Allerdings war der Einfluss der Düngung nicht immer statistisch zu erfassen.

Der auf dem Dikopshof durchgeführte **Sortenversuch** liefert ein anderes Ergebnis hinsichtlich der Ertragsleistungen. Die untersuchten Hanfsorten unterscheiden sich stark in der gebildeten Biomasse. Betrachtet man den Stängeldurchmesser, so bilden **Epsilon 68** und **Futura 75** die dicksten Stängel aus. Demgegenüber wurden die dünnsten Stängeldurchmesser bei **Fedora 17** und **Uso 31** gemessen. Die ermittelten Wuchshöhen entsprechen dieser Verteilung. Obwohl die Stängeldurchmesser von **Beniko** und **Bialobrzeskie** im Mittel liegen, wurde von **Bialobrzeskie** die Wuchshöhe von **Epsilon 68** und **Futura 75** erreicht. Die Pflanzenhöhe von **Beniko** entspricht der von **Fedora 17**.

Die frühreife Sorte **Bialobrzeskie** erzielt trotz ihrer kurzen Vegetationszeit die höchsten Stroherträge, wohingegen für die ebenfalls frühe Sorte **Uso 31** die niedrigsten Stroherträge ermittelt wurden. **Fedora 17**, die momentan in Deutschland primär im Praxisanbau verwendet wird, lieferte die zweithöchsten Stroherträge. Für die im Reifeverhalten ähnlichen Sorten **Epsilon 68** und **Futura 75** wurden mittlere Stroherträge nachgewiesen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass vorrangig die Wechselwirkungen zwischen Standort und Klimabedingungen die bestimmenden Einflussfaktoren des Ertrages sind. Die Wahl der Sorte und die pflanzenbaulichen Maßnahmen, wie Saatstärke und Düngung spielen eine untergeordnete Rolle. Qualitative Unterschiede im Erntematerial konnten durch die verschiedenen Anbauvarianten nicht festgestellt werden. Ebenfalls konnten aufgrund der multiplen Zusammensetzung und Wechselwirkungen der Pflanzeninhaltsstoffe kein geeignetes schnelleres Prüfverfahren entwickelt werden, als die bisher bekannten. Den

höchsten Einfluss auf die Qualität des Erntegutes hat der Trocknungsprozess des Strohs auf dem Feld. Je schneller es trocknet und je weniger es wieder benetzt wird, desto höher ist der Qualitätserhalt des Grünhanfes. Insofern sollte beim Anbau von Grünhanf die Wetterprognose in besonderem Maße berücksichtigt, bzw. Grünhanf lediglich in Gebieten mit einem geringeren Niederschlagsrisiko in den Erntemonaten August/September, angebaut werden. Ebenfalls sind Felder im Regenschatten anderen Feldern vorzuziehen.