

**Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz**

**Bereich Nutzpflanzengenetik und -biotechnologie**

**Professur Pflanzenzüchtung**

**Prof. Dr. J. Léon**

---

**Einfluss der agronomischen Maßnahmen, Umwelt und  
Sorte auf die wertbestimmenden Eigenschaften  
von Faserhanf (*Cannabis sativa* L.)  
in Nordrhein-Westfalen**

**Inaugural-Dissertation**

**zur**

**Erlangung des Grades**

**Doktor der Agrarwissenschaften**

**(Dr. agr.)**

**der**

**Landwirtschaftlichen Fakultät**

**der**

**Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn**

**von**

**Dipl.-Biol. Michaela Haverkamp**

**aus**

**Bielefeld**

**1. Berichtstatter:** Prof. Dr. Jens Léon

**2. Berichtstatter:** Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze Lammers

**Tag der mündlichen Prüfung:** 23. Mai 2014

**Erscheinungsjahr:** 2014

Diese Dissertation ist auf dem Hochschulschriftenserver der ULB Bonn [http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss\\_online/](http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online/) elektronisch publiziert.

Nichts ist so mächtig wie eine Idee,  
deren Zeit gekommen ist.

VICTOR HUGO

## Kurzfassung

### **Einfluss der agronomischen Maßnahmen, Umwelt und Sorte auf die wertbestimmenden Eigenschaften von Faserhanf (*Cannabis sativa* L.) in Nordrhein-Westfalen**

Seit einigen Jahren gewinnt die Faserpflanze Hanf (*Cannabis sativa* L.) in der Diskussion um nachwachsende Rohstoffe und den Klima- und Umweltschutz in der Landwirtschaft als alternative Kulturpflanze in Deutschland immer mehr an Bedeutung.

Diese Arbeit hatte zum Ziel, den Einfluss verschiedener agronomischer Maßnahmen, der standortbedingten Umweltvariabilität sowie der Sortenwahl auf die wertbestimmenden Eigenschaften (Strohertrag und Fasergehalt) von Faserhanf in Nordrhein-Westfalen zu untersuchen. Von dieser Zielsetzung ausgehend, wurde in zweijährigen Anbauversuchen mit der in Deutschland meistangebauten Hanfsorte Fedora 17 sowohl unter Versuchs- als auch unter Praxisbedingungen der Einfluss von zwei Aussaatstärken (108 und 216 kK/m<sup>2</sup>) und zwei Stickstoffstufen (60 und 120 kg/ha) getestet. Um den Einfluss dieser agronomischen Maßnahmen auf das Ertragspotenzial von Hanf genauer analysieren zu können, wurde die Versuchsanordnung unter Versuchsbedingungen um eine Saatstärke (162 kK/m<sup>2</sup>) und zwei Stickstoffstufen (0 und 40 kg/ha) erweitert. Zudem wurde im Versuchsanbau das Ertragspotenzial eines Sortenspektrums ermittelt.

Ein Umwelteinfluss auf die wertbestimmenden Eigenschaften konnte zwar nachgewiesen werden, allerdings war es nicht möglich, die Bedeutung dieses Parameters im Vergleich zum Einfluss der Saatstärke oder Stickstoffdüngung eindeutig zu quantifizieren. Die ansteigende Saatstärke wies einen tendenziell – aber nicht statistisch nachweisbaren – negativen Einfluss auf die Ertragsleistung auf. Hinsichtlich der ansteigenden Stickstoffdüngung zeigte sich ein ausgeprägter Einfluss auf das Pflanzenwachstum, welcher sich jedoch kaum auf die wertbestimmenden Eigenschaften auswirkte. Eine Erkenntnis in diesem Zusammenhang war, dass das Düngungsoptimum häufig niedriger liegt als erwartet. Die Auswahl der Sorte hatte aufgrund des unterschiedlichen Reifeverhaltens einen Einfluss auf die wertbestimmenden Eigenschaften; spätreife Sorten erzielten im Mittel höhere Stroherträge als frühreife Sorten. Allerdings ist dieser Zusammenhang nicht direkt auf den Fasergehalt übertragbar, da auch frühreife Sorten vergleichbare Fasergehalte lieferten. Nach jetzigem Kenntnisstand, d. h. unter Berücksichtigung der Ergebnisse der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Anbauversuche und der verwendeten Literatur können folgende Aussagen für den Hanfanbau gemacht werden: Mit einer Aussaatstärke von 30-40 kg/ha, Stickstoffgaben zwischen 80-120 kg/ha und den Sorten Beniko (frühreifend), Bialobrzeskie (mittel-frühreifend), Fedora 17 (mittelreifend) oder Epsilon 68 (spätreifend) können beim Hanfanbau in Nordrhein-Westfalen hohe Strohertragsleistungen bei mittlerem Fasergehalt erzielt werden.

Die Bewertung des Hanfanbaus im Versuchsanbau und auf Praxisstandorten ergab, dass Hanf als Kulturpflanze unter den Bedingungen in Nordrhein-Westfalen anbauwürdig ist. Neben der Erweiterung der Fruchtfolge, den positiven Vorfruchteigenschaften und den vielfältigen Verwendungsmöglichkeiten bietet der Anbau von Hanf als nachwachsender Rohstoff eine vielversprechende Alternative zu anderen Sonderkulturen. Allerdings wird Faserhanf nur dauerhaft in der heimischen Landwirtschaft als Kulturpflanze etabliert werden können, wenn durch den Vertragsanbau angemessene Erzeugerpreise im Vergleich zu herkömmlichen Kulturpflanzen erzielt werden können.

## Abstract

### **Influence of agronomic measures, environment and variety on traits defining the value of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.) in North Rhine-Westphalia**

In the last few years fibre hemp (*Cannabis sativa* L.) has been gaining more and more importance as an alternative crop in the ongoing discussion on renewable resources and the protection of the climate and the environment in agriculture.

The aim of this study was to analyse the influence of varying agronomic measures, environmental variability determined by site as well as the choice of variety on the traits defining the value of hemp (straw yield and fibre content) with a focus on hemp cultivation in North Rhine-Westphalia. For this purpose Fedora 17, the hemp variety most often cultivated in Germany, was tested in two-year field trials under experimental conditions as well as in field cultivation with varying sowing densities (20 and 40 kg/ha) and levels of nitrogen fertilization (60 and 120 kg/ha). To analyse the influence of agronomic measures on the yield potential of hemp in more detail, an additional sowing density (30 kg/ha) and two further levels of nitrogen fertilization (0 and 40 kg/ha) were tested under experimental conditions. Furthermore the yield potential of a number of varieties was evaluated.

Even though it was possible to verify an environmental influence on the traits defining the value of hemp, it was not possible to quantify the relevance of this parameter in comparison to the influence of the sowing density or the nitrogen fertilizer rate. Increasing the sowing density showed a tendency – not statistically proven – to have a negative influence on the yield. Higher levels of nitrogen fertilization showed a strong influence on plant growth, which however, hardly affected the traits defining the value of hemp. A conclusion was that the optimal level of nitrogen fertilization is often lower than anticipated. The choice of variety had an influence on the traits defining the value of hemp with regard to the maturation rate. As a rule, late maturing varieties achieved a higher yield than early maturing varieties. However, this result cannot be directly applied to the fibre content, as early maturing varieties also achieved comparable fibre contents.

According to present knowledge, taking the results of the field trials conducted in this study and the literature evaluated into consideration, the following statement regarding cultivation of hemp can be made: high straw yield and fibre content can be achieved for hemp cultivation in North Rhine-Westphalia with sowing densities between 30-40 kg/ha, nitrogen fertilizer rates between 80-120 kg/ha and the varieties Beniko (early maturing), Bialobrzeshire (middle early maturing), Fedora 17 (middle maturing) or Epsilon 68 (late maturing).

The comparative assessment of hemp cultivation under experimental conditions and in field cultivation showed that hemp can be recommended for cultivation under the conditions in North Rhine-Westphalia. In addition to diversification of crop rotation, the positive effects as a preceding crop and the large range of applications, the cultivation of hemp as a renewable resource offers a promising alternative to other specialised crops. However, hemp will only be successfully established as a crop in local agriculture if contract farming guarantees adequate predetermined returns in comparison to traditional crops.

# INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS .....	III
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....	VI
ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	VIII
TABELLENVERZEICHNIS .....	XI
VERZEICHNIS DER VARIANZANALYSE-TABELLEN .....	XV
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Literaturübersicht</b> .....	<b>5</b>
2.1 Botanik und Kultur von Hanf .....	5
2.2 Verwendungsmöglichkeiten von Hanf .....	7
2.3 Wertbestimmende Eigenschaften .....	8
2.4 Umweltbedingungen .....	9
2.4.1 Ansprüche an Bodenverhältnisse .....	10
2.4.2 Wasserbedarf .....	11
2.4.3 Wärme- und Lichtbedarf .....	12
2.5 Agronomische Maßnahmen .....	13
2.5.1 Saatstärke .....	13
2.5.2 Düngung .....	14
2.6 Hanfsorten .....	16
<b>3 Zielsetzung</b> .....	<b>18</b>
3.1 Ziele der Arbeit .....	18
<b>4 Material und Methoden</b> .....	<b>20</b>
4.1 Versuchsstandorte .....	20
4.2 Durchführung der Feldversuche .....	33
4.2.1 Saatstärkenversuch .....	34
4.2.1 Stickstoffdüngungsversuch .....	35
4.2.2 Sortenversuch .....	36
4.3 Durchführung der Feldbonituren .....	38
4.3.1 Messungen während der Vegetationsperiode .....	38
4.3.2 Messungen und Berechnungen nach der Ernte .....	39
4.4 Analyse der Stickstoffgehalte .....	41
4.5 Biometrische Auswertung .....	42

---

<b>5 Ergebnisse</b> .....	<b>44</b>
5.1 Standardumwelt Dikopshof.....	44
5.1.1 Bestandesentwicklung.....	44
5.1.1.1 Einfluss des Jahres auf die Bestandesentwicklung .....	44
5.1.2 Einfluss der Saatstärke.....	45
5.1.3 Einfluss des Jahres auf die Wirkung der Saatstärke.....	47
5.1.4 Einfluss der Stickstoffdüngung .....	49
5.1.5 Einfluss des Jahres auf die Wirkung der Stickstoffgabe.....	55
5.1.5.1 Stickstoffgehalte der Hanfpflanzen .....	56
5.1.6 Wechselwirkung Saatstärke und Stickstoffgabe .....	58
5.2 Praxisanbau in Ostwestfalen-Lippe .....	62
5.2.1 Bestandesentwicklung.....	63
5.2.2 Einfluss des Jahres .....	65
5.2.3 Einfluss von Umwelt und Saatstärke .....	66
5.2.3.1 Vergleich der Praxisflächen innerhalb der Saatstärken .....	76
5.2.4 Einfluss der Stickstoffdüngung .....	78
5.2.4.1 Stickstoffgehalte der Hanfpflanzen .....	84
5.2.5 Wechselwirkung Saatstärke und Stickstoffgabe .....	89
5.3 Vergleichende Betrachtung der Prüffaktoren Umwelt, Saatstärke und Stickstoffdüngung.....	91
5.3.1 Einfluss der Umwelt.....	91
5.3.2 Einfluss der Saatstärke.....	94
5.3.3 Einfluss der Stickstoffdüngung .....	96
5.4 Einfluss der Hanfsorte .....	101
5.4.1 Einfluss des Jahres auf die Ertragsleistung der untersuchten Hanfsorten .	108
<b>6 Diskussion</b> .....	<b>116</b>
6.1 Einfluss der Umwelt.....	116
6.1.1 Standardumwelt Dikopshof und Umwelten in Ostwestfalen-Lippe .....	116
6.1.2 Einfluss des Jahreseffektes .....	117
6.2 Einfluss der Saatstärke.....	120
6.2.1 Standardumwelt Dikopshof.....	121
6.2.2 Umwelten in Ostwestfalen-Lippe .....	122

---

6.3 Einfluss der Stickstoffdüngung .....	126
6.3.1 Standardumwelt Dikopshof.....	127
6.3.2 Umwelten in Ostwestfalen-Lippe .....	128
6.3.3 Stickstoffgehalte in Abhängigkeit von den untersuchten Umwelten .....	132
6.3.3.1 Standardumwelt Dikopshof .....	132
6.3.3.2 Umwelten in Ostwestfalen-Lippe.....	132
6.4 Einfluss der Wechselwirkung von Saatstärke und Stickstoffdüngung .....	134
6.4.1 Standardumwelt Dikopshof.....	135
6.4.2 Umwelten in Ostwestfalen-Lippe .....	135
6.5 Vergleichende Betrachtungen zum Hanfanbau in Nordrhein-Westfalen.....	136
6.5.1 Umwelten .....	137
6.5.2 Saatstärkenversuch.....	137
6.5.3 Stickstoffdüngungsversuch.....	138
6.6 Einfluss der Sortenwahl.....	140
6.6.1 Stickstoffgehalte in Abhängigkeit von den untersuchten Hanfsorten.....	146
<b>7 Zusammenfassung.....</b>	<b>149</b>
<b>8 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>154</b>
<b>9 Anhang.....</b>	<b>163</b>
9.1 Zugelassene Hanfsorten des gemeinsamen Sortenkatalogs für landwirtschaftliche Pflanzenarten für die Jahre 2001-2003 und 2012 .....	163
9.2 Ergänzende Informationen zum Stickstoffdüngungsversuch auf dem Dikopshof .....	164
9.3 Ergänzende Informationen zum Saatstärkenversuch in Ostwestfalen-Lippe.....	166
9.4 Ergänzende Informationen zum Stickstoffdüngungsversuch in Ostwestfalen-Lippe .....	169
9.5 Ergänzende Informationen zur vergleichenden Betrachtung der Prüffaktoren Umwelt, Saatstärke und Stickstoffdüngung .....	173
9.6 Ergänzende Informationen zum Sortenversuch .....	177



## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ALG	Gesetz über die Alterssicherung der Landwirte	
BD	Bestandesdichte (Anzahl Pflanzen/m <sup>2</sup> )	[Pfl/m <sup>2</sup> ]
BD Ernte	Bestandesdichte zur Ernte (Anzahl Pflanzen/m <sup>2</sup> )	[Pfl/m <sup>2</sup> ]
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung	
BRD	Bundesrepublik Deutschland	
Ca	Calcium	
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid	
DDR	Deutsche Demokratische Republik	
Dikopshof	Lehr- und Forschungsstation Dikopshof	
DSV	Deutsche Saatgutveredlung AG	
DWD	Deutscher Wetterdienst	
EG	Europäische Gemeinschaft	
EU	Europäische Union	
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft	
EZG	Erzeugergemeinschaft für Öl- und Faserpflanzen zur technischen Verwendung w. V.	
FG	Freiheitsgrade	
FR	Frankreich	
GDD	<i>Growing Degree Days</i> (Wärmesumme)	[°C]
INRES	Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz der Universität Bonn	
K	Kalium	
k. A.	keine Angabe	
KAS	Kalkammonsalpeter	
kK	keimfähige Körner	
KD	Keimdichte (Anzahl aufgelaufener Pflanzen/m <sup>2</sup> )	[Pfl/m <sup>2</sup> ]
KWS	Kleinwanzlebener Saatzucht	
LAP	Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim	
LLG	Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (Sachsen-Anhalt)	
LWK	Landwirtschaftskammer	
Mg	Magnesium	
MQ	Mittel der Quadrate	
N	Stickstoff	
NN	Normal Null	
NRW	Nordrhein-Westfalen	

---

OWL	Ostwestfalen-Lippe
P	Phosphat
PL	Polen
Pfl	Pflanzen
Universität Bonn	Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
THC	Tetrahydrocannabinol
TKG	Tausendkorngewicht
TLL	Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
TM	Trockenmasse
UA	Ukraine
VA	Varianzanalyse
w. V.	wirtschaftlicher Verein
Westf.	Westfalen

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1: Ausgewählte Verwendungsmöglichkeiten für die Bestandteile der Hanfpflanze (modifiziert nach CARUS et al. 2008). .....	7
Abbildung 4-1: Lage der untersuchten Standorte in Nordrhein-Westfalen (Standardumwelt Dikopshof bei Bonn und den Versuchsstandorten in OWL) © Geodaten: Land NRW, Bonn. .	20
Abbildung 4-2: Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode 2002 (1. April - 31. August) der Standardumwelt Dikopshof. ....	21
Abbildung 4-3: Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode 2003 (1. April - 31. August) der Standardumwelt Dikopshof. ....	22
Abbildung 4-4: Niederschlagsverteilung (l/m <sup>2</sup> ) der Vegetationsperioden 2002 und 2003 (1. April - 31. August) der Standardumwelt Dikopshof. ....	23
Abbildung 4-5: Kartenausschnitt der Region Ostwestfalen-Lippe mit Darstellung der Versuchsstandorte (Quelle: Google Maps). ....	23
Abbildung 4-6: Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode 2001 (1. April - 31. August) am Praxisstandort Delbrück. ....	24
Abbildung 4-7: Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode 2001 (1. April - 31. August) am Praxisstandort Detmold. ....	25
Abbildung 4-8: Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode 2002 (1. April - 31. August) am Praxisstandort Detmold. ....	25
Abbildung 4-9: Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode 2001 (1. April - 31. August) am Praxisstandort Haus Düsse. ....	26
Abbildung 4-10: Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode 2002 (1. April - 31. August) am Praxisstandort Haus Düsse. ....	27
Abbildung 4-11: Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode 2001 (1. April - 31. August) am Praxisstandort Vermold. ....	28
Abbildung 4-12: Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode 2002 (1. April - 31. August) am Praxisstandort Vermold. ....	28
Abbildung 4-13: Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode 2001 (1. April - 31. August) am Praxisstandort Werther. ....	29
Abbildung 4-14: Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode 2002 (1. April - 31. August) am Praxisstandort Werther. ....	30
Abbildung 4-15: Niederschlagsverteilung der Vegetationsperiode 2001 (1. April - 31. August) der Praxisstandorte in OWL. ....	31
Abbildung 4-16: Niederschlagsverteilung der Vegetationsperiode 2002 (1. April - 31. August) der Praxisstandorte in OWL. ....	32
Abbildung 4-17: Vergleichende Darstellung der Niederschlagsmengen der Vegetationsperiode 2002 (1. April - 31. August) für die Standorte in OWL und dem Dikopshof als Standardumwelt .....	32
Abbildung 4-18: Feldversuchsplan des Saatstärken- und Stickstoffdüngungsversuchs auf dem Dikopshof am Beispiel des Versuchsjahres 2002. ....	33
Abbildung 4-19: Darstellung des Feldversuchsplanes für den Saatstärken- und Stickstoffdüngungsversuch der Praxisstandorte in OWL am Beispiel des Versuchsjahres 2001. ....	34
Abbildung 4-20: Schematische Darstellung der Anordnung des Sortenversuches mit fünf Sorten (2003) auf dem Dikopshof. ....	37
Abbildung 5-1: Stängeldurchmesser (mm; MEANS über 4 Stickstoffstufen) im Jahresvergleich in Abhängigkeit von der Saatstärke für den Standort Dikopshof. ....	48
Abbildung 5-2: Wuchshöhe (cm; MEANS über 4 Stickstoffstufen) im Jahresvergleich in Abhängigkeit von der Saatstärke für den Standort Dikopshof. ....	48
Abbildung 5-3: Stroherträge (dt/ha; MEANS über 4 Stickstoffstufen) im Jahresvergleich in Abhängigkeit von der Saatstärke für den Standort Dikopshof. ....	49
Abbildung 5-4: Bestandesdichte (Pfl/m <sup>2</sup> ; MEANS über 3 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung für den Standort Dikopshof. ....	50

Abbildung 5-5: Stängeldurchmesser (mm; MEANS über 3 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung für den Standort Dikopshof.....	51
Abbildung 5-6: Wuchshöhe (cm; MEANS über 3 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung für den Standort Dikopshof.....	52
Abbildung 5-7: Strohertrag (dt/ha; MEANS über 3 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung für den Standort Dikopshof.....	53
Abbildung 5-8: Stängeldurchmesser (mm; MEANS über 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung und Saatstärke für den Standort Dikopshof.....	61
Abbildung 5-9: Korrelation zwischen Wuchshöhe (cm) und Stängeldurchmesser (mm) zum Zeitpunkt der Ernte mit Darstellung des Bestimmtheitsmaßes für die Standorte in OWL (Einzelwerte von 2 Saatstärken, 2 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahren).....	64
Abbildung 5-10: Bestandesdichte (Pfl/m <sup>2</sup> ; MEANS über 2 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Saatstärke für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL.....	68
Abbildung 5-11: Stängeldurchmesser (mm; MEANS über 2 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Saatstärke für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL.....	70
Abbildung 5-12: Wuchshöhe (cm; MEANS über 2 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Saatstärke für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL.....	71
Abbildung 5-13: Strohertrag (dt/ha; MEANS über 2 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Saatstärke für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL.....	73
Abbildung 5-14: Bestandesdichte (Pfl/m <sup>2</sup> ; MEANS über 2 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL.....	79
Abbildung 5-15: Wuchshöhe (cm) und Stängeldurchmesser (mm; MEANS über 2 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL.....	81
Abbildung 5-16: Strohertrag (dt/ha; MEANS über 2 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL.....	82
Abbildung 5-17: Fasergehalt (%; MEANS über 2 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL.....	84
Abbildung 5-18: Bestandesdichte (Pfl/m <sup>2</sup> ; MEANS über 2 Stickstoffstufen) für die Praxisstandorte Detmold, Haus Düsse, Werther in OWL und die Standardumwelt Dikopshof in Abhängigkeit von der Saatstärke.....	95
Abbildung 5-19: Strohertrag (dt/ha; MEANS über 2 Stickstoffstufen) für die Praxisstandorte Detmold, Haus Düsse, Werther in OWL und die Standardumwelt Dikopshof in Abhängigkeit von der Saatstärke.....	96
Abbildung 5-20: Bestandesdichte (Pfl/m <sup>2</sup> ; MEANS über 2 Saatstärken) der Praxisstandorte Detmold, Haus Düsse, Vermold, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung.....	97
Abbildung 5-21: Strohertrag (dt/ha; MEANS über 2 Saatstärken) der Praxisstandorte Detmold, Haus Düsse, Vermold, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung.....	98
Abbildung 5-22: Stickstoffgehalt in den Hanfstängeln (%; MEANS über 2 Saatstärken) der Praxisstandorte Detmold, Haus Düsse, Vermold, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung.....	100
Abbildung 5-23: Stickstoffgehalt in den Hanfpflanzen (%; MEANS über 2 Saatstärken) der Praxisstandorte Detmold, Haus Düsse, Vermold, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung.....	101
Abbildung 5-24: Schematische Darstellung des Reifeverhaltens der geprüften Hanfsorten modifiziert nach BÓCSA et al. (2000) und KARUS et al. (1999).....	102

---

Abbildung 5-25: Strohertrag (dt/ha; MEANS über 2 Versuchsjahre) der geprüften Hanfsorten auf dem Dikopshof.....	103
Abbildung 5-26: Entwicklung der im Mittel erzielten Bestandesdichte (Pfl/m <sup>2</sup> ; MEANS über 2 Versuchsjahre) im Verlauf der Vegetationsperiode (T1-T6) für alle untersuchten Sorten auf dem Dikopshof.....	104
Abbildung 5-27: Selbstausdünnung (%; MEANS über 2 Versuchsjahre) zum Zeitpunkt der Ernte für die untersuchten Hanfsorten auf dem Dikopshof.....	105
Abbildung 5-28: Wuchshöhe (cm; MEANS über 2 Versuchsjahre) der Hanfsorten im Verlauf der Vegetationsperiode auf dem Dikopshof. ....	107
Abbildung 5-29: Stängeldurchmesser (mm; MEANS) der Hanfsorten Uso 31, Fedora 17, Futura 75 und Epsilon 68 in Abhängigkeit von den Versuchsjahren auf dem Dikopshof. ....	109
Abbildung 5-30: Wuchshöhe (cm; MEANS) der Hanfsorten Uso 31, Fedora 17, Futura 75 und Epsilon 68 in Abhängigkeit von den Versuchsjahren auf dem Dikopshof.....	110
Abbildung 5-31: Strohertrag (dt/ha; MEANS) der Hanfsorten Uso 31, Fedora 17, Futura 75 und Epsilon 68 in Abhängigkeit von den Versuchsjahren auf dem Dikopshof.....	110

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1-1: Nutzanfanbau in Deutschland (schriftliche Mitteilung M. KULICKE, BLE 2013). .....	2
Tabelle 2-1: Zusammenfassung der Ansprüche an die Umweltbedingungen für den Nutzanfanbau in Deutschland. GDD = <i>Growing Degree Days</i> (°C). .....	13
Tabelle 2-2: Düngbedarf von Hanf und anderen Kulturpflanzen (BÓCSA et al. 2000, LOHMEYER 1997, KÖCHL 1994, HERER & BRÖCKERS 1993).....	15
Tabelle 4-1: Charakterisierung der Versuchsflächen der Praxisstandorte in OWL. ....	30
Tabelle 4-2: Angaben zu den agronomischen Maßnahmen, Faktorstufen, Umweltbedingungen und Vegetationstagen für die Standardumwelt Dikopshof und die Praxisstandorte in OWL. ...	36
Tabelle 4-3: Untersuchte Hanfsorten und ihre Eigenschaften (modifiziert nach BÓCSA et al. 2000, KARUS et al. 1999, MASTEL et al. 1998). .....	37
Tabelle 5-1: Darstellung der im Mittel (MEANS über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen) erreichten Ergebnisse der ertragsbestimmenden Parameter und der Witterungsbedingungen für die Versuchsjahre 2002 und 2003 sowie die Mittelwerte über alle Faktoren (MEANS über 3 Saatstärken, 4 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) auf dem Dikopshof. ....	45
Tabelle 5-2: Darstellung der im Mittel (MEANS über 4 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) erreichten Ergebnisse der ertragsbestimmenden Parameter in Abhängigkeit von der Saatstärke sowie der Mittelwerte über alle Faktoren (MEANS über 3 Saatstärken, 4 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) auf dem Dikopshof. ....	46
Tabelle 5-3: Fasergehalt (%; MEANS über 3 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung für den Standort Dikopshof.....	53
Tabelle 5-4: Korrelationskoeffizienten des Stickstoffdüngungsversuchs für den Standort Dikopshof zwischen den Mittelwerten (MEANS über 3 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) der ertragsbestimmenden Parameter Stängeldurchmesser (mm) und Wuchshöhe (cm).....	54
Tabelle 5-5: Mittelwerte (MEANS über 3 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) der erreichten Ergebnisse für die ertragsbestimmenden Parameter BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> ) und Strohertrag (dt/ha) für den Standort Dikopshof in Bezug zur Stickstoffdüngung und der Ertragsleistung je Pflanze (g) sowie die Darstellung der Gewichtung dieses Parameters.....	54
Tabelle 5-6: Darstellung der Signifikanzen für die Mittelwerte (MEANS über 3 Saatstärken) der ertragsbestimmenden Parameter im Jahresvergleich in Abhängigkeit von der Stickstoffgabe sowie die Mittelwerte über alle Faktoren (MEANS über 3 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) für den Standort Dikopshof.....	55
Tabelle 5-7: Stickstoffgehalte in den Hanfstängeln (%; MEANS über 3 Saatstärken) für die Versuchsjahre 2002 und 2003 sowie der Mittelwert über alle Faktoren (MEANS über 3 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) für den Standort Dikopshof in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung.....	57
Tabelle 5-8: Korrelationskoeffizienten zwischen dem Mittelwert (MEANS über 3 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) des Stickstoffgehalts im Hanfstängel (%; N-Gehalt im Stängel) und verschiedenen ertragsbestimmenden Parametern in Abhängigkeit von der Stickstoffgabe für den Standort Dikopshof.....	57
Tabelle 5-9: Stickstoffgehalte in den Hanfpflanzen (%; MEANS über 3 Saatstärken) für die Versuchsjahre 2002 und 2003 sowie der Mittelwert über alle Faktoren (MEANS über 3 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) für den Standort Dikopshof in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung.....	58
Tabelle 5-10: Einfluss der Stickstoffdüngung auf den Strohertrag (dt/ha; MEANS über 2 Versuchsjahre) der untersuchten Saatstärken für den Standort Dikopshof.....	59
Tabelle 5-11: Darstellung der Signifikanzen für die Wuchshöhe (cm; MEANS über 2 Versuchsjahre) für den Einfluss der Stickstoffdüngung in Abhängigkeit von der Saatstärke für den Standort Dikopshof.....	60
Tabelle 5-12: Einfluss der Stickstoffdüngung auf die Wuchshöhe (cm; MEANS über 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Saatstärke für den Standort Dikopshof.....	62
Tabelle 5-13: Darstellung der im Mittel (MEANS über 2 Saatstärken, 2 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) erreichten Ergebnisse der ertragsbestimmenden Parameter für die Standorte in	

OWL sowie die Mittelwerte über alle Faktoren (MEANS über 5 Standorte, 2 Saatstärken, 2 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre).....	63
Tabelle 5-14: Mittelwerte (MEANS über 2 Saatstärken, 2 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) der erreichten Ergebnisse für die ertragsbestimmenden Parameter BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> ) und Strohertrag (dt/ha) der Standorte in OWL mit Darstellung der Ertragsleistung je Pflanze (g) sowie die Darstellung der Gewichtung dieses Parameters.....	64
Tabelle 5-15: Gesamtniederschlag (l/m <sup>2</sup> ) und Wärmesummen (°C; als GDD = <i>Growing Degree Days</i> ) der Vegetationsperioden 2001 und 2002 (Aussaat bis Ernte) für die Standorte in OWL.....	65
Tabelle 5-16: Mittelwerte (MEANS über 2 Saatstärken und 2 Stickstoffstufen) der erreichten Ergebnisse der ertragsbestimmenden Parameter in Abhängigkeit vom Versuchsjahr für die Standorte in OWL.....	66
Tabelle 5-17: Mittelwert (MEANS über 2 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) der Selbstausdünnung (%) in Abhängigkeit vom Standort (Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther) und der Saatstärke in OWL.....	69
Tabelle 5-18: Fasergehalte (%; MEANS über 2 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Saatstärke der Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL.....	73
Tabelle 5-19: Korrelationskoeffizienten zwischen den Mittelwerten (MEANS über 2 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) von verschiedenen ertragsbestimmenden Parametern bei einer Saatstärke von 108 kK/m <sup>2</sup> der Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL.....	74
Tabelle 5-20: Korrelationskoeffizienten zwischen den Mittelwerten (MEANS über 2 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) von verschiedenen ertragsbestimmenden Parametern bei einer Saatstärke von 216 kK/m <sup>2</sup> der Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL.....	75
Tabelle 5-21: Mittelwerte (MEANS über 2 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) der ertragsbestimmenden Parameter BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> ) und Strohertrag (dt/ha) der Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL mit Darstellung der Ertragsleistung je Pflanze (g) sowie die Darstellung der Gewichtung dieses Parameters in Bezug zur Saatstärke.....	76
Tabelle 5-22: Mittelwerte (MEANS über 2 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) der Bestandesdichte (Pfl/m <sup>2</sup> ), dem Strohertrag (dt/ha) und Fasergehalt (%) in Abhängigkeit von der Saatstärke für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL.....	78
Tabelle 5-23: Mittelwerte (MEANS über 2 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) der erreichten Ergebnisse für die ertragsbestimmenden Parameter BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> ) und Strohertrag (dt/ha) für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL bezogen auf eine Stickstoffdüngung von 60 kg/ha und die Ertragsleistung je Pflanze (g) sowie die Darstellung der Gewichtung dieses Parameters.....	83
Tabelle 5-24: Mittelwerte (MEANS über 2 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) der erreichten Ergebnisse für die ertragsbestimmenden Parameter BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> ) und Strohertrag (dt/ha) für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL bezogen auf eine Stickstoffdüngung von 120 kg/ha und die Ertragsleistung je Pflanze (g) sowie die Darstellung der Gewichtung dieses Parameters.....	83
Tabelle 5-25: Mittelwerte (MEANS über 2 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) der Stickstoffgehalte in den Hanfstängeln (%) in Abhängigkeit von der Düngung für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL.....	85
Tabelle 5-26: Stickstoffgehalte (MEANS über 2 Saatstärken) in den Hanfstängeln (%) für das Versuchsjahr 2001 und 2002 in Abhängigkeit von der Düngung sowie Darstellung der Signifikanzen für die Jahresmittelwerte der Stickstoffgehalte im Hanfstängel (%) für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL.....	85
Tabelle 5-27: Korrelationskoeffizienten zwischen den Mittelwerten (MEANS über 2 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) des Stickstoffgehalts im Hanfstängel (%) und verschiedenen ertragsbestimmenden Parametern bei einer Stickstoffdüngung von 60 kg/ha für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL.....	86
Tabelle 5-28: Korrelationskoeffizienten zwischen den Mittelwerten (MEANS über 2 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) des Stickstoffgehalts im Hanfstängel (%) und verschiedenen ertragsbestimmenden Parametern bei einer Stickstoffdüngung von 120 kg/ha für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL.....	87

Tabelle 5-29: Stickstoffgehalt (MEANS über 2 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) in den Hanfpflanzen (%) in Abhängigkeit von der Düngung für die Standorte Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL. ....	88
Tabelle 5-30: Korrelationskoeffizienten zwischen dem Mittelwert (MEANS über 2 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) des Stickstoffgehalts in der Hanfpflanze (%) und verschiedenen ertragsbestimmenden Parametern bei einer Stickstoffdüngung von 60 kg/ha für die Standorte Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL.....	88
Tabelle 5-31: Korrelationskoeffizienten zwischen dem Mittelwert (MEANS über 2 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) des Stickstoffgehalts in der Hanfpflanze (%) und verschiedenen ertragsbestimmenden Parametern bei einer Stickstoffdüngung von 120 kg/ha für die Standorte Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL. ....	89
Tabelle 5-32: Einfluss der Stickstoffdüngung auf den Strohertrag (dt/ha; MEANS über 2 Versuchsjahre) der untersuchten Saatstärken für die Standorte Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL. ....	90
Tabelle 5-33: Einfluss der Stickstoffdüngung auf die Wuchshöhe (cm; MEANS über 2 Versuchsjahre) in Bezug auf die untersuchten Saatstärken für die Standorte Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL.....	90
Tabelle 5-34: Mittelwerte (MEANS über 2 Saatstärken und 2 Stickstoffstufen) der erreichten Ergebnisse der ertragsbestimmenden Parameter für die Praxisstandorte Detmold, Haus Düsse, Vermold, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof und deren Witterungsbedingungen sowie die Mittelwerte über alle Faktoren (MEANS über 2 Saatstärken, 2 Stickstoffstufen und 5 Standorte). ....	93
Tabelle 5-35: Darstellung der signifikanten Unterschiede für die Bestandesdichte (Pfl/m <sup>2</sup> ) in Abhängigkeit vom Boniturtermin und der Sorte am Standort Dikopshof.....	104
Tabelle 5-36: Mittelwerte (MEANS über 2 Versuchsjahre) der erreichten Ergebnisse der ertragsbestimmenden Parameter für die verschiedenen Sorten auf dem Dikopshof sowie das Sortenmittel (MEANS über 6 Sorten und 2 Versuchsjahre). ....	106
Tabelle 5-37: Darstellung der Signifikanzen für die Wuchshöhe (cm; MEANS über 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit vom Boniturtermin und der Sorte am Standort Dikopshof. ....	108
Tabelle 5-38: Strohertrag (dt/ha; MEANS) der geprüften Sorten Fedora 17, Uso 31, Futura 75 und Epsilon 68 für das Versuchsjahr 2002 sowie für die Sorten Fedora 17, Uso 31 Beniko, Bialobrzeskie, Futura 75 und Epsilon 68 für das Versuchsjahr 2003 und Darstellung des prozentualen Strohertrages (%; Bezugsgröße Fedora 17) auf dem Dikopshof. ....	111
Tabelle 5-39: Vergleich der im Mittel (MEANS) erzielten Stickstoffgehalte in den Hanfstängeln (%) der Hanfsorten Uso 31, Fedora 17, Futura 75 und Epsilon 68 für das Versuchsjahr 2002 und für die Hanfsorten Uso 31 Bialobrzeskie, Beniko, Fedora 17, Futura 75 und Epsilon 68 für das Versuchsjahr 2003 sowie Darstellung der Mittelwerte (MEANS über 2 Versuchsjahre) auf dem Dikopshof.....	112
Tabelle 5-40: Vergleich der im Mittel (MEANS) erzielten Stickstoffgehalte in der Hanfpflanze (%) zwischen den Hanfsorten Uso 31, Fedora 17, Futura 75 und Epsilon 68 für das Versuchsjahr 2002 und zwischen den Hanfsorten Uso 31, Beniko, Bialobrzeskie, Fedora 17, Futura 75 und Epsilon 68 für das Versuchsjahr 2003 sowie Darstellung des Mittelwertes (MEANS über 2 Versuchsjahre) auf dem Dikopshof. ....	113
Tabelle 5-41: Bewertung des Leistungspotenzials der Hanfsorten auf dem Dikopshof nach Höhe des Strohertrages (dt/ha) getrennt nach Versuchsjahren sowie im Mittel der Versuchsjahre. ....	114
Tabelle 5-42: Bewertung des Leistungspotenzials der Hanfsorten auf dem Dikopshof anhand des Fasergehaltes (%) getrennt nach Versuchsjahren sowie im Mittel der Versuchsjahre.....	114
Tabelle 6-1: Einfluss der Erhöhung der Stickstoffdüngung von 60 kg/ha auf 120 kg/ha auf die Bestandesdichte (Pfl/m <sup>2</sup> ), die Wuchshöhe (cm) und den Strohertrag (dt/ha) – ausgedrückt in der prozentualen Ab- oder Zunahme für den Parameter bei der Verdoppelung Stickstoffgabe von 60 kg/ha (= 100 %) auf 120 kg/ha (= +/- x %) – für die untersuchten Saastärken (108 und 216 kK/m <sup>2</sup> ) sowie die Mittelwerte über beide Faktorstufen der Saatstärken im Anbaujahr 2002 in NRW. ....	139
Tabelle 6-2: Wuchshöhen der verschiedenen Hanfsorten (Dikopshof, LWK Hannover, TLL Dornburg, LAP Forchheim und der LLG Sachsen-Anhalt).....	142



Tabelle 9-1: Zugelassene Hanfsorten für die Jahre 2001-2003 und 2012 sowie nur für die jeweiligen Wirtschaftsjahre zugelassene Faserhanfsorten (modifiziert nach BLE). .....	163
Tabelle 9-2: Korrelationskoeffizienten zwischen verschiedenen ertragsbestimmenden Parametern am Standort Dikopshof ohne Stickstoffgabe (0 kg/ha; Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken). .....	164
Tabelle 9-3: Korrelationskoeffizienten zwischen verschiedenen ertragsbestimmenden Parametern am Standort Dikopshof bei einer Stickstoffgabe von 40 kg/ha (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken). .....	165
Tabelle 9-4: Korrelationskoeffizienten zwischen verschiedenen ertragsbestimmenden Parametern am Standort Dikopshof bei einer Stickstoffgabe 60 kg/ha (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken). .....	165
Tabelle 9-5: Korrelationskoeffizienten zwischen verschiedenen ertragsbestimmenden Parametern am Standort Dikopshof bei einer Stickstoffgabe von 120 kg/ha (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken). .....	165
Tabelle 9-6: Korrelationskoeffizienten zwischen dem Stickstoffgehalt der Hanfpflanze (%) und verschiedenen ertragsbestimmenden Parametern bei steigenden Stickstoffgaben am Standort Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken)., .....	166
Tabelle 9-7: Darstellung der Mittelwerte (MEANS über 2 Stickstoffdüngungen) erreichten ertragsbestimmenden Parameter des orthogonalen Kerns für zwei Saatstärken (108 und 216 kK/m <sup>2</sup> ) im Versuchsjahr 2002. ....	173
Tabelle 9-8: Darstellung der Mittelwerte (MEANS) der ertragsbestimmenden Parameter des orthogonalen Kerns für zwei Stickstoffvarianten (60 und 120 kg/ha) im Versuchsjahr 2002 für die Standorte Detmold, Haus Düsse, Vermold, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof. ....	175

## VERZEICHNIS DER VARIANZANALYSE-TABELLEN

VA-Tabelle 1: Prüfglieder in Abhängigkeit vom Versuchsjahr auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen).....	45
VA-Tabelle 2: Prüfglieder in Abhängigkeit von der Saatstärke auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen).....	46
VA-Tabelle 3: Prüfglieder in Abhängigkeit von der Saatstärke auf dem Dikopshof für das Versuchsjahr 2002 (Ergebnisse über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen).....	47
VA-Tabelle 4: Prüfglieder in Abhängigkeit von der Saatstärke auf dem Dikopshof für das Versuchsjahr 2003 (Ergebnisse über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen).....	47
VA-Tabelle 5: Bestandesdichte (Pfl/m <sup>2</sup> ) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen). .....	50
VA-Tabelle 6: Stängeldurchmesser (mm) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen). .....	51
VA-Tabelle 7: Wuchshöhe (cm) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken).....	52
VA-Tabelle 8: Strohertrag (dt/ha) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen). .....	52
VA-Tabelle 9: Fasergehalt (%) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen). .....	53
VA-Tabelle 10: Stickstoffgehalt im Hanfstängel (%) auf dem Dikopshof (Ergebnis einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen).....	56
VA-Tabelle 11: Stickstoffgehalt in der Hanfpflanze (%) auf dem Dikopshof (Ergebnis einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen).....	56
VA-Tabelle 12: Strohertrag (dt/ha) im Mittel der Saatstärken in Abhängigkeit von der Stickstoffstufe auf dem Dikopshof (Ergebnis einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen). .....	59
VA-Tabelle 13: Wuchshöhe (cm) im Mittel der Saatstärken in Abhängigkeit von der Stickstoffstufe auf dem Dikopshof (Ergebnis einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen). .....	59
VA-Tabelle 14: Stängeldurchmesser (mm) im Mittel der Stickstoffgaben in Abhängigkeit von der Saatstärke auf dem Dikopshof (Ergebnis einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen).....	60
VA-Tabelle 15: Wuchshöhe (cm) im Mittel der Stickstoffgaben in Abhängigkeit von der Saatstärke auf dem Dikopshof (Ergebnis einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen). .....	61
VA-Tabelle 16: Bestandesdichte (Pfl/m <sup>2</sup> ) in Abhängigkeit von der Saatstärke der Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL (Ergebnis einer zweijährigen Feldprüfung (Delbrück einjährig) über 2 Saatstärken, 2 Stickstoffstufen und 4 Standorte).....	67
VA-Tabelle 17: Stängeldurchmesser (mm) in Abhängigkeit von der Saatstärke für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung (Delbrück einjährig) über 2 Saatstärken, 2 Stickstoffstufen und 4 Standorte).....	69
VA-Tabelle 18: Wuchshöhe (cm) in Abhängigkeit von der Saatstärke für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung (Delbrück einjährig) über 2 Saatstärken, 2 Stickstoffstufen und 4 Standorte). .....	71
VA-Tabelle 19: Strohertrag (dt/ha) in Abhängigkeit von der Saatstärke für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung (Delbrück einjährig) über 2 Saatstärken, 2 Stickstoffstufen und 4 Standorte). .....	72
VA-Tabelle 20: Bestandesdichte (Pfl/m <sup>2</sup> ) und Strohertrag (dt/ha) für die Saatstärke 108 kK/m <sup>2</sup> der Praxisstandorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung (Delbrück einjährig) über 2 Stickstoffstufen).....	77

VA-Tabelle 21: Bestandesdichte (Pfl/m <sup>2</sup> ) und Strohertrag (dt/ha) für die Saatstärke 216 kK/m <sup>2</sup> der Praxisstandorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung (Delbrück einjährig) über 2 Stickstoffstufen).....	77
VA-Tabelle 22: Bestandesdichte (Pfl/m <sup>2</sup> ) in Abhängigkeit von der Stickstoffgabe für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung (Delbrück einjährig) über 2 Saatstärken, 2 Stickstoffstufen und 5 Standorte).....	79
VA-Tabelle 23: Wuchshöhe (cm) in Abhängigkeit von der Stickstoffgabe der Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung (Delbrück einjährig) über 2 Saatstärken, 2 Stickstoffstufen und 5 Standorte).....	80
VA-Tabelle 24: Strohertrag (dt/ha) in Abhängigkeit von der Stickstoffgabe der Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung (Delbrück einjährig) über 2 Saatstärken, 2 Stickstoffstufen und 5 Standorte).....	81
VA-Tabelle 25: Ertragsbestimmende Parameter in Abhängigkeit von den Praxisstandorten Detmold, Haus Düsse, Vermold, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof (Ergebnisse einer einjährigen Feldprüfung über 2 Saatstärken und 2 Stickstoffstufen).....	91
VA-Tabelle 26: Bestandesdichte (Pfl/m <sup>2</sup> ) in Abhängigkeit von der Saatstärke im Vergleich der Praxisstandorte Detmold, Haus Düsse, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof (Ergebnisse einer einjährigen Feldprüfung über 2 Stickstoffstufen).....	94
VA-Tabelle 27: Strohertrag (dt/ha) in Abhängigkeit von der Saatstärke im Vergleich der Praxisstandorte Detmold, Haus Düsse, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof (Ergebnisse einer einjährigen Feldprüfung über 2 Stickstoffstufen).....	95
VA-Tabelle 28: Bestandesdichte (Pfl/m <sup>2</sup> ) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung im Vergleich der Praxisstandorte Detmold, Haus Düsse, Vermold, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof (Ergebnisse einer einjährigen Feldprüfung über 2 Saatstärken).....	97
VA-Tabelle 29: Strohertrag (dt/ha) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung im Vergleich der Praxisstandorte Detmold, Haus Düsse, Vermold, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof (Ergebnisse einer einjährigen Feldprüfung über 2 Saatstärken).....	98
VA-Tabelle 30: Stickstoffgehalt im Hanfstängel (%) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung im Vergleich der Praxisstandorte Detmold, Haus Düsse, Vermold, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof (Ergebnisse einer einjährigen Feldprüfung über 2 Saatstärken).....	99
VA-Tabelle 31: Stickstoffgehalt in der Hanfpflanze (%) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung im Vergleich der Praxisstandorte Detmold, Haus Düsse, Vermold, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof (Ergebnisse einer einjährigen Feldprüfung über 2 Saatstärken).....	100
VA-Tabelle 32: Strohertrag (dt/ha) in Abhängigkeit von den Sorten auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung).....	102
VA-Tabelle 33: Selbstausdünnung (%) zum Zeitpunkt der Ernte in Abhängigkeit von der Sorte auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung).....	105
VA-Tabelle 34: Stängeldurchmesser (mm), Wuchshöhe (cm) und Strohertrag (dt/ha) in Abhängigkeit von den Sorten Uso 31, Fedora 17, Futura 75 und Epsilon 68 auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung).....	108
VA-Tabelle 35: Stickstoffgehalt im Hanfstängel (%) der Sorten auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung).....	112
VA-Tabelle 36: Stickstoffgehalte in den Hanfpflanzen (%) in Abhängigkeit von den Versuchsjahren auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 6 Sorten).....	113
VA-Tabelle 37: Ertragsbestimmende Parameter in Abhängigkeit von den Umwelten in OWL (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung (Delbrück einjährig) über 2 Saatstärken, 2 Stickstoffstufen und 5 Standorte).....	166
VA-Tabelle 38: Strohertrag (dt/ha) in Abhängigkeit von der Saatstärke für die einzelnen Praxisstandorte in OWL (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung (Delbrück einjährig) über 2 Saatstärken und 2 Stickstoffstufen).....	168
VA-Tabelle 39: Bestandesdichte (Pfl/m <sup>2</sup> ) in Abhängigkeit von der Stickstoffgabe der Praxisstandorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung (Delbrück einjährig) über 2 Saatstärken und 2 Stickstoffstufen).....	169

VA-Tabelle 40: Wuchshöhe (cm) in Abhängigkeit von der Stickstoffgabe der Praxisstandorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung (Delbrück einjährig) über 2 Saatstärken und 2 Stickstoffstufen)..	170
VA-Tabelle 41: Stängeldurchmesser (mm) in Abhängigkeit von der Stickstoffgabe der Praxisstandorte in OWL (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung (Delbrück einjährig) über 2 Saatstärken, 2 Stickstoffstufen und 5 Standorte).	172
VA-Tabelle 42: Strohertrag (dt/ha) in Abhängigkeit von der Stickstoffgabe der Praxisstandorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung (Delbrück und Vermold einjährig) über 2 Saatstärken und 2 Stickstoffstufen).	172
VA-Tabelle 43: Feldaufgang (%), Stängeldurchmesser (mm), Wuchshöhe (cm), Fasergehalt (%), Stickstoffgehalt (%) im Hanfstängel und in der Hanfpflanze in Abhängigkeit von der Saatstärke im Vergleich der Standorte Detmold, Haus Düsse, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof (Ergebnisse einer einjährigen Feldprüfung).	174
VA-Tabelle 44: Feldaufgang (%), Stängeldurchmesser (mm), Wuchshöhe (cm) und Fasergehalt (%) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung im Vergleich der Standorte Detmold, Haus Düsse, Vermold, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof (Ergebnisse einer einjährigen Feldprüfung über 2 Saatstärken).	176
VA-Tabelle 45: Anzahl der Pflanzen pro Quadratmeter an den Boniturterminen T1, T2, T3, T4, T5 und T6 in Abhängigkeit von der Sorte auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 6 Sorten).	177
VA-Tabelle 46: Wuchshöhe (cm) zum Zeitpunkt der Ernte in Abhängigkeit von den Sorten auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 6 Sorten).	178
VA-Tabelle 47: Feldaufgang (%), Stängeldurchmesser (mm) und Fasergehalt (%) zum Zeitpunkt der Ernte in Abhängigkeit von den Sorten auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 6 Sorten).	178
VA-Tabelle 48: Stickstoffgehalt im Hanfstängel (%) der Sorten in Abhängigkeit von den Versuchsjahren auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 4 (2002) bzw. 6 Sorten (2003)).	179
VA-Tabelle 49: Stickstoffgehalte in der Hanfpflanze (%; mit Blätter und Samen) der Sorten in Abhängigkeit von den Versuchsjahren auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 4 (2002) bzw. 6 Sorten (2003)).	179

## 1 Einleitung

Nachwachsende Rohstoffe sind seit Mitte der 1990er Jahre aufgrund von veränderten agrarökonomischen Rahmenbedingungen wie einem Preisanstieg bei Mineralöl, einer zunehmenden Bedeutung von Klima- und Umweltschutz und veränderten Tätigkeitsfeldern im ländlichen Raum wieder verstärkt ins Blickfeld gerückt. Vor allem die Diskussion um die Nutzung alter Kulturpflanzen als nachwachsende Rohstoffe wird hierbei, auch im Kontext der Frage nach der Bewältigung der Folgen des Klimawandels und der Ausgestaltung einer nachhaltigen Landwirtschaft, geführt. In diesem Zusammenhang spielen sogenannte Faserpflanzen – Pflanzen, die in der Landwirtschaft hauptsächlich zur Gewinnung von Fasern angebaut werden – als, historisch gesehen, sehr alte Rohstofflieferanten für verschiedenste Produkte eine besondere Rolle. Als einheimische Faserpflanzen kommen in Deutschland Faserhanf (*Cannabis sativa* L.), Faser- und Industrielein (*Linum usitatissimum* L.) sowie Nessel (*Urtica dioica* L.) für die landwirtschaftliche Nutzung in Betracht (ORDON & FRIEDT 2000, SCHEER-TRIEBEL & LÉON 2000). Hanf und Lein machen den Hauptanteil der angebauten einheimischen Faserpflanzen aus; der Faserneselanbau spielt derzeit nur eine untergeordnete Rolle. Darüber hinaus werden in kleinem Umfang auch die Fasern von Gräsern, Schilf oder Miscanthus (*Miscanthus x giganteus* J.M.Greef & Deuter ex Hodk. & Renvoize) genutzt. Aufgrund ihrer unterschiedlichen Qualitätseigenschaften hält VON FRANKEN-WELZ (2003) die drei oben genannten einheimischen Faserpflanzenarten für unterschiedliche Einsatzbereiche geeignet. Allerdings wird die Leistungsfähigkeit von Hanf für die Faserproduktion in Deutschland am günstigsten bewertet (CARUS et al. 2008, VON FRANKEN-WELZ 2003). Betrachtet man im weltweiten Vergleich die Anbauflächen von Faserpflanzen, hier im Speziellen der Bastfaserpflanzen, zählt Hanf nach Jute (*Corchorus spec.*), Jute-ähnlichem z. B. Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) und Lein zu den Wichtigsten (CARUS et al. 2008).

Im letzten Jahrhundert wurde der Anbau der Hanfpflanze global jedoch durch die Drogen- und Handelspolitik stark eingeschränkt, obwohl Faserhanfsorten kaum einen Gehalt an Rauschmittel (Tetrahydrocannabinol, THC) aufweisen. Dabei wurde Hanf in Deutschland (BRD) noch bis 1955 (STATISTISCHES JAHRBUCH FÜR DIE BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND 1956) und in der ehemaligen DDR sogar bis 1972 angebaut (STATISTISCHES JAHRBUCH DER DDR 1974). 1982 wurde mit Änderung des Betäubungsmittelgesetzes der Hanfanbau in (West-)Deutschland generell verboten. Mit Umsetzung einer entsprechenden Verordnung<sup>1</sup> der Europäischen Union (EU) ist seit 1996 der Anbau bestimmter THC-armer Nutz-

---

<sup>1</sup> VO (EWG) Nr. 1164/89 der Kommission vom 28. April 1989 (ABl. EG Nr. L 121 S. 4). Geändert durch: VERORDNUNG (EG) Nr. 73/2009 DES RATES vom 19. Januar 2009 mit gemeinsamen Regeln für Direktzahlungen im Rahmen der gemeinsamen Agrarpolitik und mit bestimmten Stützungsregelungen für Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 1290/2005, (EG) Nr. 247/2006, (EG) Nr. 378/2007 sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1782/2003 (ABl. L 30 vom 31.1.2009, S. 16).

hanfsorten (derzeit  $\leq 0,2$  % THC) zur Faser- und Samenproduktion in Deutschland wieder zugelassen. Allerdings wird die Etablierung der alten Kulturpflanze durch die strenge Reglementierung des Nutzhanfanbaus in Deutschland nicht unbedingt erleichtert. Der Anbau ist nach wie vor genehmigungspflichtig und nur Unternehmen der Landwirtschaft im Sinne des § 1 des Gesetzes über die Alterssicherung der Landwirte (ALG)<sup>2</sup> erlaubt. Entsprechend dieser Voraussetzungen können landwirtschaftliche Unternehmen nach den geltenden EU-Regelungen Nutzhanf anbauen. Für die rechtskonforme Durchführung des Hanfanbaus in Deutschland einschließlich der THC-Kontrollen ist die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)<sup>3</sup> zuständig.

Die Faserproduktion insgesamt nimmt heute in Deutschland lediglich eine Marktnische ein. Verstärkt wird das Nischendasein nach CARUS et al. (2013) durch den Umstand, dass der größte Erstverarbeiter von Hanffasern die Produktion aufgrund starker Flächenkonkurrenz und den Subventionen für den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen zur Produktion von Bioenergie und -gas nach Frankreich verlegt hat. Die Anbaufläche von Faserhanf liegt – nach einer kurzzeitigen Erhöhung nach seiner Wiedereinführung als Kulturpflanze – inzwischen sogar unterhalb des Niveaus von 1996 (Tabelle 1-1). Noch drastischer gestaltet sich die Entwicklung beim Anbau von Faser- und Industrielein (1996: 4.589 ha, 2002: 306 ha, 2009: 30 ha; BLE 2013). Damit hat sich das Anbauverhältnis zwischen den beiden Hauptfaserpflanzen in Deutschland, wenn auch auf niedrigem Niveau, zugunsten des Hanfes verschoben.

**Tabelle 1-1: Nutzhanfanbau in Deutschland (schriftliche Mitteilung M. KULICKE, BLE 2013).**  
k. A. = keine Angaben.

JAHR	FLÄCHE (ha)	ANZAHL ANBAUER	ANZAHL ERSTVERARBEITER
1996	1.419	573	k. A.
2001	1.993	271	13
2002	2.104	306	k. A.
2003	2.710	390	7
2010	1.196	141	6
2012	424	95	k. A.

Für die Landwirtschaft in Deutschland mit ihren engen Fruchtfolgen ist Hanf eine interessante alternative Kulturpflanze, zumal die Ansprüche an die Bestandesführung sowie die Wasser- und Stickstoffversorgung als auch die Anfälligkeit gegenüber Krankheiten und unerwünschten Beikräutern beim Anbau von Faserhanf im Allgemeinen niedriger als beispielsweise beim Faserlein eingestuft werden (BÓCSA et al. 2000). Für die heimische Landwirtschaft bietet der Anbau von Faserpflanzen als nachwachsende Rohstoffe zur

<sup>2</sup> <http://www.gesetze-im-internet.de/alg/>

<sup>3</sup> [http://www.ble.de/DE/01\\_Markt/02\\_Beihilfen/03\\_Hanf/hanf\\_node.html](http://www.ble.de/DE/01_Markt/02_Beihilfen/03_Hanf/hanf_node.html)

Produktion z. B. von Faserverbundwerkstoffen und Dämmstoffen infolge der damit verbundenen Einkommensdiversifizierung betriebswirtschaftlich neue Chancen. Zudem können durch die Landwirtschaft auf diese Weise auch in anderen Bereichen Arbeitsplätze geschaffen und damit ein Beitrag zur Aufrechterhaltung des ländlichen Raumes geleistet werden.

Darüber hinaus ist Hanf nicht nur hervorragend als Pionierpflanze nach dem Umbruch von Ödland geeignet; vielmehr weist der Hanfanbau gerade unter dem Gesichtspunkt einer umweltverträglichen, nachhaltigen Landbewirtschaftung große komparative Vorteilhaftigkeit auf. Der Anbau von Hanf ist neben der Erweiterung von Fruchtfolgen und einer Erhöhung der Biodiversität im ländlichen Raum, auch durch ein hohes CO<sub>2</sub>-Fixierungsvermögen charakterisiert. Zudem weist Hanf gegenüber anderen Kulturpflanzen einen deutlich verminderten Stickstoffbedarf auf und ist überdies in der Lage, dem Boden in hohem Maße Stickstoff zu entziehen (RÖHRICHT et al. 1997a), was seinen Anbau insbesondere in Wasserschutzgebieten empfehlenswert macht. Ferner ist der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (HÜTTL 2001, BÓCSA et al. 2000, DIEPENBROCK et al. 1999) entbehrlich, da die Hanfpflanze den meisten Schaderregern wie Viren, Bakterien, Pilzen, Nematoden und Insekten aus eigener Kraft überdurchschnittlich gut widerstehen kann (CARUS et al. 2013, MCPARTLAND & HILLIG 2006). In Kombination mit seinem Vermögen, organischen Dünger gut zu verwerten, prädestiniert ihn dies auch für eine Verwendung im ökologischen Landbau (BERENDONK et al. 2007).

Obwohl die Vorteile des Anbaus und des Einsatzes der Kulturpflanze Hanf einst sehr geschätzt wurden, ist die Produktion in Deutschland seit 2006 stark rückläufig (CARUS et al. 2008). Die Faseraufschlussanlagen für Flachs und Hanf sind von über 30 erstverarbeitenden Betrieben im Jahr 2000 (KARUS et al. 2000) auf heute nur noch wenige (6 für Hanf, Tabelle 1-1) zurückgegangen; in Nordrhein-Westfalen ist derzeit kein Erstverarbeiter mehr zugelassen (Kapitel 6.1.1).

Das Anbaupotenzial von einheimischen Faserpflanzen im Allgemeinen und von Faserhanf im Besonderen hängt in erster Linie von der Wirtschaftlichkeit des Anbaus – und somit indirekt von der monetären Anbauförderung – sowie der Marktlage ab. Trotz der in den letzten Jahren stabilen Preislage für Hanffasern (CARUS 2010), hat sich gezeigt, dass die Ausweitung des Hanfanbaus in Deutschland auch davon abhängig ist, ob die Absatzprobleme und die ernte- und verarbeitungstechnischen Schwierigkeiten gelöst werden können (PUDE 2001). Das viel grundsätzlichere Problem ist aber, dass der Anbau von Faserhanf im direkten Vergleich von Marktleistung und Deckungsbeitrag derzeit mit anderen Fruchtarten nicht konkurrieren kann, für den landwirtschaftlichen Betrieb mithin nicht rentabel ist (CARUS et al. 2008, RÖHRICHT & SCHULZ 2000). Dass bei einer vollständigen ökonomischen Bewertung des Faserhanfanbaus auch die gesamten Fruchtfolgeleistungen

sowie die ökologischen Effekte einbezogen werden müssten (VETTER et al. 2006), erweist sich in der Praxis regelmäßig als wenig relevant.

Bereits 1997 prognostizierten RÖHRICHT et al. (1997a, 1997b), dass die Wettbewerbsfähigkeit des Hanfanbaus stärker als bei anderen Kulturarten von der Höhe der Erträge und dem Erreichen der geforderten Qualitäten abhängen wird. Diese Einschätzung trifft nach Ansicht von STEGER (2004) nach wie vor zu, da ein langfristiger Anbau von Hanf (dasselbe gilt für Lein) nur dann erfolgreich etabliert werden könne, wenn im Bereich der Landwirtschaft diesbezüglich eine ausreichende Wertschöpfung stattfindet.

Grundlegende Voraussetzung für die Optimierung des Anbaus und damit für die Etablierung und Erweiterung der Produktion von qualitativ hochwertigen Naturfasern sind Kenntnisse über die Ursachen der – vor allem beim Hanfanbau immer wieder festgestellten – Ertrags- und Qualitätsdifferenzen (RÖHRICHT & SCHULZ 2003, LÉON & VON FRANKEN-WELZ 2000, HÖPPNER & MENGE-HARTMANN 1999). Jedoch wurden in Folge der rückläufigen Anbauflächen, Verarbeitung und Verwendung von Faserhanf die Forschungsaktivitäten in Deutschland wie auch in Europa stark eingeschränkt.

Im Jahr 2000 wurden im Rahmen eines Forschungsprojekts (LÉON & VON FRANKEN-WELZ 2000) erhebliche Differenzen im Entwicklungs- und Abreifeverlauf von Hanfpflanzen in Bezug auf die agronomischen Maßnahmen als auch durch den Umwelteinfluss nachgewiesen. Die im Versuchsanbau erzielten Erkenntnisse wurden innerhalb eines weiteren einjährigen Forschungsprojekts (LÉON & VON FRANKEN-WELZ 2003) im Praxisanbau in Ostwestfalen-Lippe (OWL) überprüft. Zusammengefasst ist festzuhalten, dass der einjährige Versuch keine signifikanten Aussagen hinsichtlich Ertragssicherheit und Ertragsleistung des Hanfanbaus an den ostwestfälischen Standorten lieferte.

Der Zusammenhang von Umwelteinfluss, Ertragsleistung und Rohstoffqualität sowohl unter Versuchsbedingungen als auch im Praxisanbau sollte daher durch ein zweijähriges Forschungsvorhaben (LÉON et al. 2004) verifiziert werden. Denn nur durch die Erfassung exakter Anbaudaten und die Analyse von Pflanzenentwicklung, Ertrags- und Qualitätsbildung ist eine Abstimmung zwischen Erzeugern, Erstverarbeitern und Endproduktherstellern im Hinblick auf die Produktion hochwertiger Fasern und Faserprodukte möglich. Neben Untersuchungen an landwirtschaftlichen Instituten sind hierbei Erfahrungen im Praxisanbau außerordentlich wichtig. Vor diesem Hintergrund wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit Zusammenhänge zwischen den agronomischen Maßnahmen, den Umwelteffekten und der Sortenwahl auf die wertbestimmenden Eigenschaften Strohertrag und Fasergehalt von Faserhanf untersucht und beurteilt. Auf dieser Grundlage sind Anbauempfehlungen zur Optimierung der Rohstoffproduktion der Faserpflanze Hanf wichtig. Die in diesem Verbundvorhaben erzielten Erkenntnisse hinsichtlich der Rohstoffproduktion und Faserqualität sind bereits veröffentlicht (LÉON et al. 2004).



## 2 Literaturübersicht

Faserpflanzen gehören mit zu den ältesten Kulturpflanzen. Durch Selektion wurden sie nach den Vorstellungen des Menschen weiterentwickelt und insbesondere im Zuge der Industrialisierung der Landwirtschaft in den letzten zwei Jahrhunderten hinsichtlich klimatischer Anpassung, Ertrag und Faserqualität züchterisch immer weiter optimiert (BÓCSA et al. 2000, MEDIAVILLA et al. 1999). Im Vergleich zu anderen Kulturpflanzen stehen Faserpflanzen ihren Wildformen jedoch immer noch sehr nahe.

### 2.1 Botanik und Kultur von Hanf

Hanf ist eine einjährige Kulturpflanze der gemäßigten Breiten mit der Art Gewöhnlicher Hanf (Genus *Cannabis*) und der Unterart Indischer Hanf (*Cannabis sativa* var. *indica* Lam.). Botanisch gesehen gehört *Cannabis sativa* L. zur Familie der *Cannabinaceae* und ist mit Hopfen (*Humulus lupulus* L.) verwandt (BÓCSA et al. 2000, CLARKE 1997, STRASBURGER et al. 1991, HEGI 1975). Hanf stammt aus Zentralasien und kann als eine der ältesten und vielseitig verwendbarsten Kulturpflanzen angesehen werden (BÓCSA et al. 2000, DEMPSEY 1975). Ursprünglich ist Hanf diözisch, allerdings wurden auch einige monözische Sorten gezüchtet. Hanf zählt zu den Fremdbefruchtern, wobei die Bestäubung über den Wind erfolgt.

Die Kulturführung von Faserhanf ist für den Landwirt als vorteilhaft zu bezeichnen, da sie nur wenig Arbeitszeit bindet. Die Aussaat in ein lockeres Saatbett erfolgt zwischen Ende April und Mitte Mai, wenn die durchschnittliche Bodentemperatur 8-10 °C beträgt. Dies ermöglicht eine gleichmäßige Keimung und fördert die Jungpflanzenentwicklung. Eine späte Aussaat nach Ende Mai bewirkt aufgrund der verkürzten Vegetationsperiode einen Ertragsrückgang (BÓCSA et al. 2000, HONERMEIER et al. 2000), u. a. weil Hanf eine Kurztagpflanze ist, die beim Übergang von längeren zu kürzeren Tagen mit einsetzender Blüte reagiert (MASTEL et al. 1998) und infolgedessen das Längenwachstum einstellt, was wiederum auch auf die Ertragsbildung Einfluss nimmt (MEDIAVILLA et al. 1998).

Die Wachstumszeit der europäischen Hanfsorten liegt bei etwa 100-120 Tagen (CARUS et al. 2008, BÓCSA et al. 2000) und ist mit der von Lein und Sommerraps vergleichbar (RÖHRICHT et al. 1997b). Allerdings divergiert das Abreifeverhalten, d. h. das Erreichen der vollen Blüte, von weiblichen und männlichen Pflanzen stark (ZATTA et al. 2012, BÓCSA et al. 2000). Die weiblichen Pflanzen reifen etwa 2-3 Wochen später als die männlichen, was regelmäßig zu Problemen im Anbau und bei der Ernte eines dadurch inhomogenen Bestandes führt. Um ein gleichmäßiges Abreife zu erreichen, wurden monözische Formen gezüchtet, die in einem optimalen Reifezustand geerntet werden können (BÓCSA et al. 2000, DIEPENBROCK et al. 1999). Je nach Sorte wird eine Wuchshöhe von bis zu fünf

Metern erreicht, wobei der Stängeldurchmesser in Abhängigkeit vom Standraum zwischen 4-26 mm liegt (BÓCSA et al. 2000). Allerdings sind beide Merkmale (Stängeldurchmesser und Wuchshöhe) von verschiedenen Faktoren wie Bodentyp, dem Nährstoff-, Wasser- und Standraumangebot, der Sorte und der Bestandesführung abhängig (BÓCSA et al. 2000, DEMPSEY 1975).

Hanf ist mit sich selbst verträglich und stellt nur geringe Ansprüche an die Vorrucht. Zudem weist Hanf vorteilhafte Vorruchteffekte auf, die für Folgefrüchte das Risiko spezifischer Pflanzenkrankheiten mindern (MCPARTLAND & HILLIG 2006, VETTER et al. 2002, GEISLER 1988, HOFFMANN 1957) und den Ertrag um 10-20 % verbessern können (RANALLI & VENTURI 2004, BÓCSA et al. 2000). Insofern ist Faserhanf in praxisübliche Fruchtfolgen einfach integrierbar. Als Ursachen für die positive Vorruchtwirkung werden die Reduzierung des Unkrautes und die aufgrund von intensiver Durchwurzelung erzielte Verbesserung der Bodenstruktur genannt, so dass nach Hanf auch anspruchsvollere Feldfrüchte (z. B. Winterweizen, Kartoffeln) angebaut werden können. Zudem wird durch den hohen Bedeckungsgrad des Bodens über die gesamte Vegetationsperiode und der sich anschließenden Feldröste des Hanfstrohs die Bodenerosion weitestgehend verhindert (LOHMEYER 1997).

Hanf zeichnet sich durch eine ausgeprägte Schnellwüchsigkeit in der Jugendentwicklung aus (BÓCSA et al. 2000). Gleichzeitig oder unmittelbar mit dem Hanf auflaufende Unkräuter werden vom Hanf überwachsen und beschattet, so dass sie insbesondere infolge Lichtmangels spätestens dann absterben, wenn die Hanfpflanze eine Höhe von 1,5 m erreicht (CARUS et al. 2008, BERENDONK et al. 2007, BÓCSA et al. 2000, DIEPENBROCK et al. 1999, HÖPPNER & MENGE-HARTMANN 1996b). Aufgrund dieser starken Konkurrenzkraft kann beim Hanfanbau auf den Einsatz von Herbiziden verzichtet werden (BÓCSA et al. 2000, GEISLER 1988). Durch die Beschattung des Bodens werden nicht nur Beikräuter, sondern Ausfallgetreide und teilweise auch Rapsdurchwuchs ohne chemische Bekämpfung unterdrückt und zudem der Boden in einem guten Garezustand hinterlassen (HEYLAND et al. 2006, GEISLER 1988, DEMPSEY 1975). In Deutschland ist Hanf im Anbau aktuell – 17 Jahre nach Wiedereinführung der Kulturpflanze in die landwirtschaftliche Praxis – weitgehend als krankheitsfrei zu bezeichnen. Mit einem Anstieg der Anfälligkeit ist nicht zu rechnen, was durch den langjährigen Hanfanbau in Frankreich bestätigt wird. Selbst bei jahrzehntelangem Anbau in den größten europäischen Hanfanbaugebieten (Frankreich, Großbritannien und den Niederlanden; CARUS et al. 2013) hat sich gezeigt, dass der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln kaum notwendig und der zu erwartende Schaden bei einem auftretenden Befall als wirtschaftlich gering einzustufen ist.

## 2.2 Verwendungsmöglichkeiten von Hanf

Nach HESCH et al. (1996) liegt die Besonderheit der Hanfpflanze in der Tatsache begründet, dass – im Gegensatz zu den meisten anderen Nutzpflanzen – alle Pflanzenteile wirtschaftlich verwertet werden können. Diese Vielseitigkeit in der Verwendung spiegelt sich in der Produktpalette wider: Hanfsamen und -öl in der Lebensmittel- und Kosmetikindustrie sowie die industrielle Verwertung der einzelnen Fraktionen des Hanfstängels (Abbildung 2-1).

Verwendungsmöglichkeiten der Hanfpflanze			
Blüten/Samen	Blätter	Fasern	Schäben
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Lebensmittel</b> Speiseöl, Backwaren</li> <li>• <b>Technische Produkte</b> Öl- u. Druckfarben, Kosmetika, Schmierstoffe</li> <li>• <b>Vogel- und Fischfutter</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Lebensmittel</b> Tee, Konfekt</li> <li>• <b>Lifestyle-Produkte</b> Duftkissen</li> <li>• <b>Tiereinstreu und Futtermittel</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Industriewerkstoffe</b> Verbundwerkstoffe, naturfaserverstärkte Kunststoffe, Spezialpapiere</li> <li>• <b>Technische Produkte</b> Bremsbeläge, Dichtungsmaterial, Anzuchtfilter</li> <li>• <b>Technische Textilien</b> Seile, Leinwand</li> <li>• <b>Textilien</b> Bekleidung, Stoffe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Baumaterial</b> Schütt- u. Trittschalldämmung, Leichtbau- und Spanplatten</li> <li>• <b>Papiere</b> Zigaretten- u. Spezialpapiere</li> <li>• <b>Tiereinstreu</b> z. B. für Kleintiere und Pferde</li> </ul>

**Abbildung 2-1: Ausgewählte Verwendungsmöglichkeiten für die Bestandteile der Hanfpflanze (modifiziert nach CARUS et al. 2008).**

Aus dem Stängel wird das Hauptprodukt des Hanfanbaus, die Hanffasern und das Nebenprodukt, die Hanfschäben, der holzige Kern des Hanfstängels, gewonnen. Die breite Nutzung der Hanffasern reicht von der Verwendung als Zigarettenpapier, Vliesen oder Dämmstoffen über Hartfaserplatten, Spanplatten oder Schalbrettern, bis hin zu Pressformteilen, Bremsscheiben oder Kupplungsbelägen, um nur einige Beispiele der Faserhanfnutzung zu nennen.

Naturfasern werden in der Automobilindustrie bereits serienmäßig als Karosserieverstärkung und Verkleidung verwendet. Im Jahr 2005 wurden in der deutschen Automobilindustrie beispielsweise 30.000 t (EU: 40.000-50.000 t) Naturfaser-Verbundwerkstoffe eingesetzt (ohne Holz) und hierfür ca. 19.000 t (EU: 30.000 t) Naturfasern benötigt. Zum Einsatz kamen europäischer Flachs (ca. 65 %) und Hanf (ca. 10 %), die übrigen 25 % wurden durch Importe aus Asien (Jute, Kenaf, Kokosfasern, Abaca) gedeckt. Begünstigt

wurde diese Entwicklung durch die Rücknahmeverpflichtung der Automobilindustrie (CARUS 2010). Obwohl der wichtigste Abnehmer der in Deutschland produzierten Hanffasern nach wie vor die Automobilindustrie ist, werden die Fasern auch verstärkt zu verschiedenen Baumaterialien (z. B. Dämmstoffen) verarbeitet. Der Naturfasereinsatz ist seit 1996 von 4.000 t auf 30.000 t angestiegen (2005), und für das Jahr 2015 wird unter bestimmten Voraussetzungen, u. a. dem Umdenken der Automobilbauer hinsichtlich der verwendeten Biowerkstoffe und die Unterstützung der Politik von bio-basierten Produkten, der Einsatz von bis zu 50.000 t prognostiziert (CARUS 2010).

Der Holzanteil der Hanfpflanzen, die Hanfschäben, werden als Isoliermaterial im Bausektor, in Spanplatten, Möbeln, Pappe, Karton und Füllstoffen sowie als Einstreumaterial für Tiere, z. B. für Pferde, genutzt.

Weitere Einsatzmöglichkeiten von Fasern und Schäben könnten zukünftig in der Papierherstellung liegen (BURCZYK et al. 2009). Wahrscheinlicher ist jedoch der Einsatz von Hanfpflanzenbestandteilen in den Bereichen Bioplastik und Bioenergie (CARUS 2010). Dabei stellt die Reststoffverwertung als Pellets bzw. Briketts zum Heizen eine relativ neue Nutzungsrichtung dar (ALARU et al. 2013, ALARU et al. 2011), mit einem in Deutschland jährlichen Produktions- und Absatzvolumen von 800-1.000 t Hanfbriketts (CARUS et al. 2008).

### **2.3 Wertbestimmende Eigenschaften**

Die Ertragsleistung und die Qualität des Erntegutes haben einen entscheidenden Einfluss auf die Konkurrenzfähigkeit von Hanf im Wettbewerb mit anderen Kulturpflanzen, denn das Verhältnis von Aufwendungen zu Erlösen entscheidet über die Anbauwürdigkeit einer Kulturart. Derzeit orientiert sich die Entlohnung der Landwirte durch den Erstverarbeiter ausschließlich am Strohertrag und an der Strohqualität, d. h. konkret am Röstgrad des Erntegutes und nicht an der Faserqualität. Mit der Variation und der Einflussnahme durch die agronomischen Maßnahmen auf die ertrags- und qualitätsbestimmenden Parameter der angebauten Kulturpflanze versucht der Landwirt, ein optimales Kosten-Nutzen-Verhältnis mit möglichst hohem Ertrag zu erwirtschaften.

In der Landwirtschaft wird unter dem Ertrag die Ernteeinfuhr pro Flächeneinheit verstanden. Durch agronomische Maßnahmen kann das Wachstum und damit der Ertrag der Kulturpflanzen beeinflusst und gefördert werden. Nach DIEPENBROCK et al. (2005) ist die potenzielle Ertragsleistung als umweltunabhängige Größe in der genetischen Information verankert, wird konkret aber durch die Konstellation der Umwelteffekte bestimmt. Mit der Optimierung der agronomischen Maßnahmen werden die Umweltbedingungen derart modifiziert, dass das Ertragspotenzial der jeweiligen Kulturart möglichst weit ausgeschöpft werden kann.

## **Strohertrag**

Bei der Faserhanfproduktion beinhaltet die Größe „Ertrag“ den Strohertrag, ohne Differenzierung nach Faser- und/oder Schäbengehalt, da der Landwirt für den Strohertrag, unabhängig vom Fasergehalt, bezahlt wird. Bei der Anbau- und Sortenprüfung von Faserhanf der Landwirtschaftskammern Hannover, Weser-Ems, Schleswig-Holstein und Westfalen-Lippe wurde 1996 im Mittel aller Standorte ein Strohertrag von 118,5 dt/ha erreicht (ROTTMANN-MEYER & FREIMANN 1997). Im Versuchsanbau wurden Erträge von 80-100 dt/ha (GOTTWALD et al. 1995) und bei Versuchen der Landesanstalt für Pflanzenbau in Forchheim von 110-140 dt/ha erzielt (SCHWEIGER et al. 1996). Entsprechend wird in der Literatur eine große Schwankungsbreite hinsichtlich des Strohertrages von Faserhanf zwischen 70 dt/ha und 140 dt/ha beschrieben (RÖHRICHT & SCHULZ 2003, ROTTMANN-MEYER 2001, VOGL 1997, SCHWEIGER et al. 1996, GOTTWALD et al. 1995). BÓCSA et al. (2000) weisen ausdrücklich darauf hin, dass der Strohertrag in erster Linie von der Stickstoffdüngung und der Wasserverfügbarkeit beeinflusst wird. Weiter ist die gewählte Hanfsorte hierfür wesentlich (SCHWEIGER et al. 1996).

## **Fasergehalt**

Auch der Fasergehalt wird durch agronomische Maßnahmen beeinflusst. Die höchsten Fasergehalte liefern die spätreifen Sorten. Eine Erhöhung der Saatstärke lässt den Fasergehalt ebenso ansteigen (VAN DER WERF 1991) wie eine optimierte Stickstoffgabe (MEDIIVILLA et al. 1998, HÖPPNER & MENGE-HARTMANN 1994). Überhöhte Stickstoffgaben führen jedoch zu einem Rückgang der Fasergehalte (KRÜGER 2000).

Die Qualität des Erntegutes wird beim Hanf derzeit vom Röstgrad des Erntegutes und nicht von den Fasereigenschaften bestimmt. Jedoch ist für den Erstverarbeiter der Fasergehalt die wichtigste Größe. RÖHRICHT et al. (1997a) geben die Fasergehalte mit Größenordnungen von 10-25 % an, die in einem weiten Bereich entsprechend der Sorte und den Umweltbedingungen variieren. Weitere Untersuchungen liefern Fasergehalte, welche zwischen 23 % und 36 % des Erntegutes ausmachen (SCHÄFER 2003, HÖPPNER & MENGE-HARTMANN 2000). Aufgrund der Schwankungsbreite (19-30 %) sind niedrigere Fasergehalte jedoch durchaus möglich (LÉON & VON FRANKEN-WELZ 2000, HÖPPNER & MENGE-HARTMANN 1995). Belegt ist, dass durch Züchtung der Primärfaseranteil von weniger als 10 % auf bis zu 40 % gesteigert wurde (BÓCSA et al. 2000, MENGE-HARTMANN & HÖPPNER 1995, DE MEIJER 1994).

## **2.4 Umweltbedingungen**

Kulturpflanzen stehen sowohl mit den Umweltbedingungen als auch mit der Anbaupraxis in einer Wechselbeziehung. Mit den Umwelt- oder auch Witterungsbedingungen des

Standortes werden die Parameter beschrieben (z. B. Boden- und Lichtverhältnisse, Temperatur und Niederschlag), die der Landwirt beim Hanfanbau berücksichtigen muss, ohne Option einer direkten Einflussnahme. Daraus folgend bestimmen im Laufe der Vegetationsperiode neben den agronomischen Maßnahmen die Umweltbedingungen des Standortes die Leistung der angebauten Feldfrucht. Deren Eigenschaften sind ein wesentlicher Faktor im Pflanzenbau, denn sie entscheiden mit über die Rentabilität des Anbaus einer Kulturpflanze und der produzierten Ertragsqualität.

#### **2.4.1 Ansprüche an Bodenverhältnisse**

In der Landwirtschaft wird zur Charakterisierung des Leistungsvermögens des Bodens die sogenannte Boden- oder Ackerzahl herangezogen. Danach steigt die Ertragsfähigkeit der Kulturpflanzen mit der Höhe der Ackerzahl. Allerdings ist durch optimale agronomische Maßnahmen ein Anbau innerhalb bestimmter Grenzen auch an weniger geeigneten Standorten möglich.

Nach KÖCHL (1994) stellt Hanf keine besonderen Ansprüche an die Bodenverhältnisse und ist daher auf Grenzertragsböden (KÖCHL 1994, GEISLER 1988) sowie zur Niedermoor- und Ödlanderschließung und für den Grünlandumbruch (HOFFMANN 1957) geeignet. LANDGRAF et al. (2003) haben gezeigt, dass der Hanfanbau auf natürlichen Böden und Böden der Bergbaufolgelandschaften in der Niederlausitz eine Alternative zum in der Region üblichen Roggenanbau darstellt. Zudem hat sich der Hanfanbau auch auf schwermetallbelasteten Böden bewährt (ALARU et al. 2011, LANDGRAF et al. 2003, LINGER et al. 2001). Aufgrund dieser Eigenschaften kann Hanf auch zur Charakterisierung von Böden genutzt werden (HÜTTL 2001). Als Zeigerpflanze weist die Leistung des Hanfbestandes auf Verdichtungen, Staunässe und andere Störungen (z. B. auf Stickstoffvorkommen und -verteilung) im Bodengefüge hin. Obwohl Hanf auch als Pionierpflanze ohne große Ansprüche wachsen kann, benötigt Hanf im landwirtschaftlichen Anbau für eine ertragreiche Ernte und die Erzeugung einer adäquaten Faserqualität jedoch einen nährstoffreichen Standort (BÓCSA et al. 2000, BASSETTI et al. 1998, JAHN-DEESBACH 1965) oder eine zusätzliche Nährstoffversorgung.

BÓCSA et al. (2000) und KÖRBER-GROHNE (1987) geben als Voraussetzungen für einen erfolgreichen Hanfanbau neben tiefgründigen, humosen Böden eine ausreichende Wasserversorgung an. Dabei ist sowohl die Summe als auch die Häufigkeit und Verteilung der Niederschlagsereignisse von Bedeutung. Bevorzugt werden mittelschwere Böden, aber auch Sandböden werden mit entsprechender Düngung toleriert (BÓCSA et al. 2000, HÖPPNER & MENGE-HARTMANN 1999). Das heißt, Hanf gedeiht bei entsprechender Düngung auch auf kargen Böden (z. B. nährstoffarme Sandböden oder schwere Tonböden). Auf verdichteten Böden reagiert die Hanfsaat jedoch oft mit verzögertem und unregelmäßigem Auflaufen (SCHULZ 1999, VOGL 1997). Zudem neigt die Hanfpflanze auf verdichte-

tem Boden zu starken Wachstumsdepressionen (CARUS et al. 2008, HEYLAND et al. 2006, VETTER et al. 2002, BÓCSA et al. 2000), die u. a. durch Staunässe hervorgerufen werden (CARUS et al. 2008, CLARKE 1997). Daher kommt es auf Praxisschlägen oft zu heterogenen Pflanzenbeständen.

#### **2.4.2 Wasserbedarf**

Auch wenn Hanf im Anbau als genügsame Kultur beschrieben wird, sollten eine gleichmäßige Wasserversorgung und ein ausreichendes Nährstoffnachlieferungsvermögen des Bodens während der Hauptwachstumszeit gegeben sein. Für einen erfolgreichen Hanfanbau stellt vor allem die Wasserversorgung einen besonders relevanten Einflussfaktor dar (BÓCSA et al. 2000, KRÜGER 2000, DAMBROTH & SEEHUBER 1988). In andauernden niederschlagsarmen Phasen sind das Wachstum und damit die Produktivität der Pflanzen gefährdet. Daher ist die Wasserverfügbarkeit des Bodens bei der Charakterisierung der Standorte zu berücksichtigen. Laut HERER & BRÖCKERS (1993) reagiert Hanf auf eine zu geringe Wasserversorgung rasch mit Welkeerscheinungen und Wachstumsdepression. Innerhalb der Vegetationsperiode (Ende April - August) sollte der Niederschlag 250-300 l/m<sup>2</sup> nicht unterschreiten (COSENTINO et al. 2013, BÓCSA et al. 2000, LOHMEYER 1997). Auf sandigen Böden sind sogar Niederschlagsmengen von über 300 l/m<sup>2</sup> notwendig. Allerdings nutzt Hanf im geschlossenen Pflanzenbestand aufgrund sehr geringer Evaporation die vorhandene Feuchtigkeit im Bestand optimal aus (BÓCSA et al. 2000).

Die Hanfpflanze bildet eine Pfahlwurzel aus, welche bis zu 2-3 m tief wurzeln kann und mit zahlreichen Nebentrieben ausgestattet ist (DEMPSEY 1975, HEGI 1975). Hinsichtlich der hanftypischen, intensiven Durchwurzelung der Bodenoberfläche (BÓCSA et al. 2000) konnten AMADUCCI et al. (2008b) nachweisen, dass sich 50 % der Wurzelmasse in den oberen 20 cm des Bodens befinden. Der spezifische Wasserbedarf ist trotz des ausgeprägten Wurzelsystems verhältnismäßig groß. Im Wesentlichen kann dies auf die starke Biomasseentwicklung in der 4.-10. Woche der Vegetationsperiode zurückgeführt werden (BÓCSA et al. 2000, HÖPPNER & MENGE-HARTMANN 1994). Verglichen mit anderen wirtschaftlich bedeutsamen Kulturpflanzen ist das Wurzelsystem jedoch schwach entwickelt, was besonders den hohen Nährstoff- und Wasserbedarf zu Beginn der Wachstumsphase erklärt (BÓCSA et al. 2000).

Die Ertragsleistung von Kulturpflanzen steht im Zusammenhang mit dem Wasserverbrauch. Der Transpirationskoeffizient gibt das Verhältnis zwischen dem benötigten Wasser zu produzierter Trockenmasse (Menge an verbrauchtem Wasser (in Liter) zur Erzeugung von 1 kg Trockenmasse) wieder. Zudem ist die Temperatur maßgeblich mit dem Transpirationskoeffizienten verknüpft.

Hanf hat einen hohen Transpirationskoeffizienten, der bei 300-500 l/kg gebildeter Trockenmasse (TM) liegt (BÓCSA et al. 2000, CLARKE 1997, GEISLER 1988). STEGER (2004) ermittelt mit Hilfe einer Literaturrecherche und der Auswertung von verschiedenen Versuchen einen Transpirationskoeffizienten von 447 l/kg TM. Dieser entspricht dem von Gerste und Roggen (400-500 l/kg TM). Der Bedarf an pflanzenverfügbarem Wasser ist bei Hanf laut GEISLER (1988) höher als der von Miscanthus (200-250 l/kg TM) oder Zuckerrüben (300-400 l/kg TM) und niedriger als der von Weizen und Sonnenblumen (500-600 l/kg TM), Raps (600-700 l/kg TM) und Lein (>700 l/kg TM).

Wie mehrjährige Untersuchungen von KRÜGER (2000) in Brandenburg zeigten, ist eine optimale Niederschlagsverteilung besonders auf sandigen Standorten Voraussetzung für einen erfolgreichen Hanfanbau. Auch die Arbeiten von HÖPPNER & MENGE-HARTMANN (1996b) bestätigen, dass die Höhe des Ertrages maßgeblich von der im Juni und Juli gefallenen Niederschlagsmenge beeinflusst wird. Bereits die 1975 von DEMPSEY durchgeführten Untersuchungen ergaben, dass in den Wachstumsphasen ein monatlicher Niederschlag von 125 l/m<sup>2</sup> notwendig ist.

### 2.4.3 Wärme- und Lichtbedarf

Für die Pflanzenentwicklung ist die Temperatur eine der wichtigsten Steuerungsgrößen. Das Temperaturoptimum wird im Allgemeinen sowohl durch die Sorte als auch durch das Nutzungsziel bestimmt. Um das Temperaturgefüge eines Standortes besser zu charakterisieren, werden im Pflanzenbau Wärmesummen verwendet (GEISLER 1988). Die Wärmesumme bzw. der in dieser Arbeit verwendete Begriff der *Growing Degree Days* (GDD) nach RUSSELLE et al. (1984) ist ein Maß für den optimalen Wärmebedarf der Pflanzenentwicklung.

Grundsätzlich gedeiht Hanf am besten in gemäßigten, feuchten Klimaten (19-25 °C; BÓCSA et al. 2000, DEMPSEY 1975). Der Anbau ist aber auch in weniger günstigen Regionen wie im Mittelmeergebiet (DI BARI et al. 2004) und in den Subtropen möglich, da die verschiedenen Hanfsorten sowohl niedrigere als auch höhere Temperaturen vertragen (CLARKE 1997, KÖRBER-GROHNE 1987). Infolge zu niedriger Temperaturen wird jedoch die Photosyntheserate gehemmt und der Stoffwechsel verlangsamt, wodurch das Wachstum der Hanfpflanzen stark eingeschränkt wird (CLARKE 1997).

In der Literatur werden für den Hanfanbau die nachfolgend aufgeführten Wärmesummen zum Erreichen der Faser- oder Samenreife angegeben (ohne Angabe des zum Vergleich notwendigen Schwellenwertes für die Berechnung der GDD): Die Wärmesumme ist nach GEISLER (1988) und HOFFMANN (1957) vergleichbar mit der anderer Sommerungen (Sommergerste: GDD 1.700-2.500 °C; Sommermais: GDD 1.500-1.700 °C). Nach ARLITT et al. (1969) bedarf Hanf für einen ertragreichen Anbau in 100-130 Vegetationstagen eine



Wärmesumme von 1.800-2.000 °C bei einem Niederschlag (Mai bis August) von 300-500 l/m<sup>2</sup>. Innerhalb einer Vegetationsperiode von 100-115 Tagen geht LOHMEYER (1997) für frühreife Sorten von einer Wärmesumme von 1.600-1.700 °C (bis zur Faserreife) aus, was auch von BÓCSA et al. (2000) bestätigt wurde. Nach HÖPPNER & MENGE-HARTMANN (2002) benötigen frühreife Sorten sogar nur 1.000 °C GDD, wohingegen Sorten der mittleren und späten Reifegruppe einen Bedarf von 1.800-2.000 °C GDD bis zur Faserreife (SCHÄFER 2003, HÖPPNER & MENGE-HARTMANN 2002, VETTER et al. 2002, BÓCSA et al. 2000, LOHMEYER 1997 SCHMIDT & VETTER 1997) und sogar von 2.700-3.000 °C GDD bis zur Samenproduktion haben (BÓCSA et al. 2000).

Die dargestellten Ansprüche an die Umweltbedingungen für den Hanfanbau können wie folgt zusammengefasst werden:

**Tabelle 2-1: Zusammenfassung der Ansprüche an die Umweltbedingungen für den Nutzanfanbau in Deutschland. GDD = Growing Degree Days (°C).**

UMWELTBEDINGUNGEN	ANSPRÜCHE
Boden	nährstoffreiche, tiefgründige, nicht verdichtete Böden mit hoher Wasserspeicherkapazität
Niederschlag	von Mai bis Juli: 300-500 l/m <sup>2</sup>
GDD	ca. 1.600-2.000 °C (Faserreife; je nach Reifegruppe der Hanfsorte)

## 2.5 Agronomische Maßnahmen

Neben den nicht zu beeinflussenden Umweltbedingungen kann mit Hilfe der agronomischen Maßnahmen ein fördernder Einfluss auf die Stängelmorphologie und den Ertrag ausgeübt werden. Die wichtigsten agronomischen Maßnahmen sind die Saatstärke und die Düngung.

### 2.5.1 Saatstärke

Im Verhältnis zum Deckungsbeitrag stellen die Saatgutkosten für die Hanffaserproduktion einen beachtlichen Kostenfaktor beim Anbau dieser Kulturpflanze dar. Kosten von ca. 3,30 € pro Kilogramm für ungebeiztes Saatgut (GRAF et al. 2005) bzw. 4,40 € für gebeiztes Saatgut (B. FRANK, Bafa Malsch, mündlich 2012) spielen daher im Zusammenhang mit der Frage nach der optimalen Saatstärke eine besondere Rolle, zumal BÓCSA et al. (2000) den Kostenanteil des Saatgutes mit 20 % der Gesamtkosten beziffert. Darüber hinaus ist die optimale Saatstärke von vielen Faktoren – u. a. der Bodenbeschaffenheit, dem Unkrautdruck und der Verwendung – abhängig (BÓCSA et al. 2000, DEMPSEY 1975). LOHMEYER (1997) geht bei der Anbauempfehlung für Nordrhein-Westfalen von einer Aussaatmenge von 40 kg/ha zur Fasernutzung aus. Dieses entspricht Saatgutkosten von 132 €/ha für ungebeiztes und 176 €/ha für gebeiztes Saatgut.

Eine Erhöhung der Saatstärke von 100 kK/m<sup>2</sup> auf 300 kK/m<sup>2</sup> führte in Untersuchungen von KRÜGER (2000) nicht zu Ertragsunterschieden, auch bei MÜNZER (1999) wurden hierdurch keine höheren Erträge erzielt. Jedoch wirkt sich die Saatstärke auf die Wuchshöhe und Stängeldurchmesser der Hanfpflanzen aus (MEDIIVILLA et al. 1998). Mit Zunahme der Bestandesdichte werden die Stängeldurchmesser der Hanfpflanzen geringer (KRÜGER 2000, LISSON & MENDHAM 2000), wobei die ausgebildeten Stängeldurchmesser bei dicht gesäten Reihen (12-20 cm) mit 4-9 mm angegeben werden (BÓCSA et al. 2000).

Als erstklassige, den industriellen Anforderungen entsprechende Stängeldurchmesser, werden Stängel  $\leq 10$  mm und mit einer Wuchshöhe von mindestens 150 cm definiert (BÓCSA et al. 2000, KARUS et al. 2000). Nach Angaben von VETTER et al. (2002) bevorzugen die meisten Betreiber von Faseraufschlussanlagen homogene Hanfpflanzen mit Stängeldicken von 5-8 mm.

In der Literatur werden unterschiedliche Saatstärken für den Hanfanbau angegeben. Praxisüblich wird der Hanfanbau für die technische Fasernutzung mit einer Saatstärke von 30-40 kg/ha betrieben (CARUS et al. 2008). Eine optimale Aussaatstärke wird neben den pflanzenbaulichen Parametern aber auch durch das Nutzungsziel bestimmt. Sowohl die pflanzenbauliche Literatur (GEISLER 1988, KÖRBER-GROHNE 1987) als auch die Auswertung von Versuchen (SCHÄFER 2003, DE MEIJER 1994, PITTET 1994 und VAN DER WERF 1994) zeigt, dass die Aussaatstärke in der Praxis für die Faser-, Samen- oder Doppelnutzung von 20 kg/ha bis 60 kg/ha variiert.

Bei der Saatstärkenwahl besonders zu berücksichtigen ist die Tatsache, dass der Hanfbestand dazu neigt, sich infolge von Bestandeskonkurrenz um Nährstoffe, Strahlung und Wasser auszudünnen. Dieses Phänomen der intraspezifischen Konkurrenz wurde von VAN DER WERF (1991) mit dem Begriff *self thinning effect* benannt: Im Zusammenhang mit der Saatstärke zeigt Hanf ein Wuchsverhalten, das bei steigender Bestandesdichte zu einer Reduktion der Pflanzenanzahl im Laufe der Vegetationsperiode führt (LISSON & MENDHAM 2000, MEIJER et al. 1995, VAN DER WERF et al. 1995c). MEDIIVILLA et al. (1998) ermittelten im Rahmen ihrer Untersuchungen einen Rückgang der Pflanzenanzahl um bis zu 60 % (bezogen auf die Aussaatstärke), was auch durch VON FRANKEN-WELZ (2003) bestätigt wurde. Neben der Saatstärke scheint auch eine erhöhte Stickstoffdüngung die Selbstausdünnung zu verstärken (STRUJK et al. 2000, MEDIIVILLA et al. 1998).

## 2.5.2 Düngung

Die Düngung von Kulturpflanzen dient allgemein zur Optimierung der Nährstoffversorgung, mit deren Hilfe das Wachstum der Pflanzen gefördert, der Ertrag erhöht, die Qualität gesteigert und die Bodenfruchtbarkeit erhalten oder verbessert werden soll. Die Düngung gehört somit zu den Grundlagen der landwirtschaftlichen Praxis und setzt sich ent-

sprechend der angebauten Kulturpflanze aus dem Nährstoffentzug, dem Wirkungsgrad der eingesetzten Düngemittel und den aus dem Boden nachgelieferten Nährstoffen zusammen. Über die Düngungsmaßnahmen werden den Pflanzen in der Regel Stickstoff, Phosphat, Kalium, Calcium und Magnesium als Nährelemente zugeführt.

Hanf hat infolge seiner ausgeprägten Schnellwüchsigkeit, die in der Jugendentwicklung sogar die von Mais übertrifft (MEDIIVILLA et al. 1998), einen relativ hohen Bedarf an leicht verfügbaren Nährstoffen. Die Untersuchungen von HÖPPNER & MENGE-HARTMANN (1994) zeigen, dass besonders die Nährstoffverfügbarkeit in der 4.-10. Wachstumswoche entscheidend für einen ertragreichen Hanfanbau ist. Darüber hinaus stellten IVÁNYI & IZSÁKI (2000) fest, dass Hanf die benötigten Nährstoffe (89 % N, 70 % P, 86 % K, 100 % Ca und 95 % Mg) bis Mitte Juni, d. h. bis zum Zeitpunkt der Blüte, aufgenommen hat. Allerdings bleibt der Bedarf an leichtverfügbaren Nährstoffen, besonders an Stickstoff, bestehen, da Hanf diesen bis kurz vor der Reife verwertet (BÓCSA et al. 2000). In Tabelle 2-2 wird der durchschnittliche Düngebedarf für verschiedene Kulturpflanzen dargestellt.

**Tabelle 2-2: Düngebedarf von Hanf und anderen Kulturpflanzen (BÓCSA et al. 2000, LOHMEYER 1997, KÖCHL 1994, HERER & BRÖCKERS 1993).**

PFLANZE	N (kg/ha)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	K <sub>2</sub> O (kg/ha)
Baumwolle	80-120	20-40	0
Hanf	85-150	40-120	70-200
Lein	0-60	70-100	80-120
Raps	180-220	120	140-180
Silomais	180	100	210

Das Nährstoffangebot hat einen wesentlichen Einfluss auf das vegetative Wachstum der Hanfpflanzen. Mit der Variierung der Stickstoffdüngung sind, ähnlich wie bei anderen Kulturpflanzen, die stärksten Ertragsbeeinflussungen zu erreichen (GOTTWALD et al. 1995, VAN DER WERF 1994, JAHN-DEESBACH 1965). RÖHRICHT et al. (1997a) stellten bei einer verdoppelten Stickstoffgabe (120 statt 60 kg/ha) einen ertragswirksamen Einfluss fest. Ein geringes Stickstoffangebot hat einen rascheren Übergang in die generative Phase zur Folge, was zu unterentwickelten Hanffasern führt und somit den Ertrag reduziert. Ein Stickstoffüberangebot bewirkt hingegen eine geringere Stängelzahl in Kombination mit größeren Stängeldurchmessern (MEDIIVILLA et al. 1998, HÖPPNER & MENGE-HARTMANN 1994), sowie einer Verlängerung der Vegetationszeit und Einbußen bei der Faserqualität (MASTEL et al. 1998). Faserhanf kann jedoch deutlich mehr Stickstoff in Ertrag überführen als Lein, bevor die unerwünschten Auswirkungen des Stickstoffüberangebotes einsetzen (PÖRKSEN 1991).

Der Einsatz von Stickstoff hat einen großen Einfluss auf das vegetative Wachstum – Blattmasse, Stängeldicke und Größe – und ist somit in hohem Maße für den Gesamter-

trag und die Faserqualität der Hanfpflanze verantwortlich (VAN DER WERF 1994, JAHN-DEESBACH 1965). Auch die Faserproduktion kann durch das optimale Angebot von Stickstoff gesteigert werden. Bereits 1945 zeigten die Ergebnisse von BLACK & VESSEL, dass bei einer Gabe von 45 kg/ha Stickstoff eine Ertragssteigerung um 2,4 t/ha möglich ist.

Für eine bestmögliche Entwicklung und zur Ausschöpfung des Ertragspotenzials benötigen die Hanfpflanzen somit eine optimierte Menge an Stickstoff. Im Wesentlichen bestimmen das zügige Wuchsverhalten und die damit verbundenen hohen Trockenmasseerträge den Stickstoffbedarf der Hanfpflanzen. Der in der Literatur genannte Bedarf an Stickstoff ist, unabhängig vom Bodentyp, recht einheitlich (80-150 kg/ha LOHMEYER 1997, 80-100 kg/ha HANSEN & SUHR 1998 sowie GEISLER 1988 und 60-120 kg/ha HEYLAND et al. 2006). Und selbst auf anlehmigen Sanden reichen laut Untersuchungen von HÖPPNER & MENGE-HARTMANN (1999) Stickstoffgaben von 60-100 kg/ha aus. Nach STEGER (2004) und LOHMEYER (1997) eignet sich aufgrund der stickstoffzehrenden Eigenschaft von Hanf auch der Einsatz von Gülle und Mist als organischer Dünger, wobei zu beachten ist, dass innerhalb des intensiven Wachstumsschubs (4.-10. Wachstumswoche) ausreichend Nährstoffe verfügbar sind. Hanf nimmt während der Vegetationsperiode erhebliche Stickstoffmengen auf, die er größtenteils für den Aufbau der vegetativen Masse verwendet. Sowohl aus Gründen der Umweltverträglichkeit als auch hinsichtlich der ökonomischen Bewertung ist anzustreben, dass der Hanfbestand zur Ernte das Ertragsoptimum erreicht hat. Die Eigenschaft, den zur Verfügung stehenden Stickstoff sehr gut zu verwerten, erlaubt einen Hanfanbau auch in Wasserschutzgebieten, da nach der Ernte nur vergleichsweise geringe Nitratrestmengen im Boden verbleiben (RÖHRICHT et al. 1997a).

## 2.6 Hanfsorten

Die in Europa verwendeten Hanfsorten sind zumeist zwei großen Formenkreisen, dem südlichen (mediterranen) und dem mittlrussischen Formenkreis zuzuordnen, die ihre geografische Herkunft beschreiben. Zudem sind Übergangstypen zwischen den Formenkreisen bekannt, welche durch Kreuzungen zwischen dem südlichen und mittlrussischen Formenkreis entstanden sind (BÓCSA et al. 2000).

Durch Züchtung sind monözische Sorten entstanden (Kapitel 2-1), die an die jeweiligen Standorte angepasst sind und gleichmäßig abreifen (HEYLAND et al. 2006). Für eine dem Standort angepasste Landbewirtschaftung ist eine geeignete Sortenwahl mit entscheidend. Hanfsorten unterscheiden sich aus pflanzenbaulicher Sicht vor allem durch ihr zeitlich unterschiedliches Abreifeverhalten, definiert als Zeitpunkt der vollen Blüte (BÓCSA et al. 2000). Es lassen sich frühe, mittelfrühe, mittlere, mittelspäte, späte und sehr späte Sorten unterscheiden (BÓCSA et al. 2000, HÖPPNER & MENGE-HARTMANN 2000, MEDIA-VILLA et al. 1999). Die Hauptphase des Wachstums liegt im Juni und Juli, so dass ein früher Reifezeitpunkt beim Hanfanbau zur Faserproduktion in Deutschland vor allem die

Biomasseproduktion negativ beeinflusst. Daher weisen sehr frühreife Sorten wie **Uso 31** geringere Wuchshöhen als spätreife Sorten (z. B. **Epsilon 68**) auf, was die Untersuchungen von HÖPPNER & MENGE-HARTMANN (2000) und MEDIAVILLA et al. (1999) bestätigen. Die Trockenmasseerträge der Hanfsorten schwanken zwischen 72 dt/ha und 180 dt/ha, wobei die hohen Erträge von spätreifen Sorten erreicht werden (KRÜGER 2000, STRUIK et al. 2000, HÖPPNER & MENGE-HARTMANN 2000, 1999, 1996a, VON BUTTLAR et al. 1997). Die Standort- und Jahreseinflüsse wurden sowohl in den Versuchen von MÜNZER (1999) als auch in denen von VON BUTTLAR et al. (1997) von den Unterschieden zwischen den angebauten Sorten übertroffen. Zahlreiche Untersuchungen haben eine breite genetische Variabilität für das Merkmal Reifezeitpunkt nachgewiesen (MEDIAVILLA et al. 1999, DE MEIJER & KEIZER 1996, DE MEIJER 1995). Da das Reifeverhalten Ertrags- und Qualitätsparameter stark beeinflusst, sind bereits bei der Auswahl der Sorte die Anforderungen der späteren Verwendung des Rohstoffes zu berücksichtigen.

Ein wichtiges Kriterium, das durch die Sortenwahl beeinflusst wird, ist für den verwendungsorientierten Anbau das Ertragspotenzial. Es ist ein Kompromiss zwischen Reifeverhalten und Ertragsleistung, da beide Merkmale in antagonistischer Beziehung stehen. Aufgrund des unterschiedlichen Reifeverhaltens sollte bei der Sortenwahl auch die vorherrschende Witterung des Anbaugesbietes beachtet werden, um das Risiko ungeeigneter Wetterbedingungen für die Ernte, anschließende Feldröste und das Bergen des Erntegutes zu minimieren. Allerdings ist die Sortenwahl in Deutschland dadurch eingeschränkt, dass ohnehin nur die von der EU zugelassenen Sorten (Tabelle 9-1, S. 163ff) mit einem THC-Gehalt  $\leq 0,2$  % angebaut werden dürfen.

### 3 Zielsetzung

Der vielfältige Einfluss von agronomischen Maßnahmen (Saatstärke und Stickstoffdüngung), der standortbedingten Umweltvariabilität und der Sortenwahl auf die Ertragsbildung soll durch diese Untersuchungen geprüft werden.

Da die Ergebnisse von LÉON & VON FRANKEN-WELZ (2000) bereits das Leistungspotenzial des Faserhanfanbaus unterstreichen und LÉON & VON FRANKEN-WELZ (2003) erste Tendenzen für standortspezifische Unterschiede sowohl hinsichtlich der Ertragsstruktur als auch der Faserqualität aufzeigten, sollte mit Hilfe des Forschungsvorhabens „Faserqualität einheimischer Faserpflanzen, die Bedeutung umweltbedingter Variabilität für die Ertrags- und Qualitätsbildung einheimischer Faserpflanzen, sowie die Methodenentwicklung zur Qualitätsprüfung“ ein weiterer Erkenntnisgewinn zur Wechselwirkung von Ertragspotenzial und Faserqualität erzielt werden. Das Vorhaben wurde im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (NRW) gefördert, u.a. um die Anbauwürdigkeit des Hanfanbaus und Einkommensalternativen für Landwirte in NRW aufzuzeigen. Hierzu wurde der Hanfanbau in OWL mit seinem Erstverarbeiter NafiTech GmbH (Kalletal) ausgewählt, denn nur in räumlicher Nähe und Kooperation mit einem Erstverarbeiter kann der Anbau und die Verarbeitung rentabel gestaltet werden. Begleitend wurde im Vergleich zum Praxisanbau in OWL das Potenzial des Hanfanbaus auf der Lehr- und Forschungsstation Dikopshof des Institutes für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz (INRES) der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn (Universität Bonn) ermittelt. In NRW waren als Erzeuger die Landwirte der Erzeugergemeinschaft für Öl- und Faserpflanzen zur technischen Verwendung w. V., als Industriepartner die NafiTech GmbH und zur wissenschaftlichen Begleitung die Universität Bonn in das Forschungsvorhaben eingebunden.

#### 3.1 Ziele der Arbeit

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden anhand von zweijährigen Versuchen (durchgeführt in den Jahren 2001 und 2002 in OWL und 2002 und 2003 auf dem Dikopshof) Zusammenhänge zwischen den wertbestimmenden Eigenschaften (Strohertrag und Fasergehalt), agronomischen Maßnahmen und der Umweltvariabilität beurteilt, um so Anbauempfehlungen geben zu können. Infolge dieser Anbauoptimierung soll eine umweltverträgliche, standortgerechte Produktion von bestmöglichen Rohstoffmengen und -qualitäten zur dauerhaften Etablierung des Hanfanbaus sowie zur Nutzung als Industriefaser gewährleistet werden. Die Ergebnisse des o.g. Vorhabens hinsichtlich der Faserqualität wurden bereits veröffentlicht (LÉON et al. 2004). Die vorliegende Arbeit umfasst, ergänzend zu LÉON et al. (2004), eine ausführliche Analyse der agronomischen Maßnahmen und des standortbedingten Umwelteinflusses auf die wertbestimmenden Eigenschaften

anhand der in Deutschland meistangebauten Hanfsorte **Fedora 17** in Bezug auf eine Optimierung der Anbauwürdigkeit von Faserhanf in NRW. Dazu wurden die folgenden Fragenkomplexe untersucht:

**a) Einfluss der Umwelt**

Der Einfluss der standortbedingten Umweltvariabilität (Bodenqualität und Witterungsparameter) auf die Ertragsbildungsprozesse ist meist bedeutender als der Saatstärken- oder Düngungseffekt. Zur Überprüfung werden identische agronomische Maßnahmen in verschiedenen Umwelten angewandt, um so zu analysieren, welche Differenzen zwischen den Umwelten auftreten.

**b) Einfluss der Saatstärke**

Das wichtigste Mittel zum Bestandesaufbau ist die Saatstärke. Sie hat Einfluss auf die Ertragsstruktur: Hohe Aussaatstärken fördern die innerartliche Konkurrenz u. a. um Strahlung und Nährstoffe und beeinflussen die Ertragsleistung hinsichtlich der Weiterverarbeitung (z. B. Stängeldurchmesser) negativ. Hierzu soll geprüft werden, ob es ein betriebswirtschaftliches Optimum der Saatstärke im Faserhanfanbau in NRW gibt.

**c) Einfluss der Stickstoffdüngung**

Die Stickstoffdüngung wirkt intensiv auf das Pflanzenwachstum, aber weniger auf die ertragsbestimmenden Eigenschaften der Hanfpflanzen ein. Folglich ist durch Verringerung der kostenintensiven, mineralischen Stickstoffdüngung nur mit geringen Ertrags-einbußen zu rechnen. Es soll festgestellt werden, ob die Festlegung von Düngungsstufen (hier die Empfehlungen des Erstverarbeiters für die Region NRW) ohne Einbeziehung der standortspezifischen Gegebenheiten für den Faserhanfanbau keine Ertragsnachteile bietet. Mit der Untersuchung der Düngewirkung bei optimaler Bestandesführung sollen schließlich Empfehlungen für ein umweltverträgliches Düngungsregime ermöglicht werden.

**d) Einfluss der Sorte**

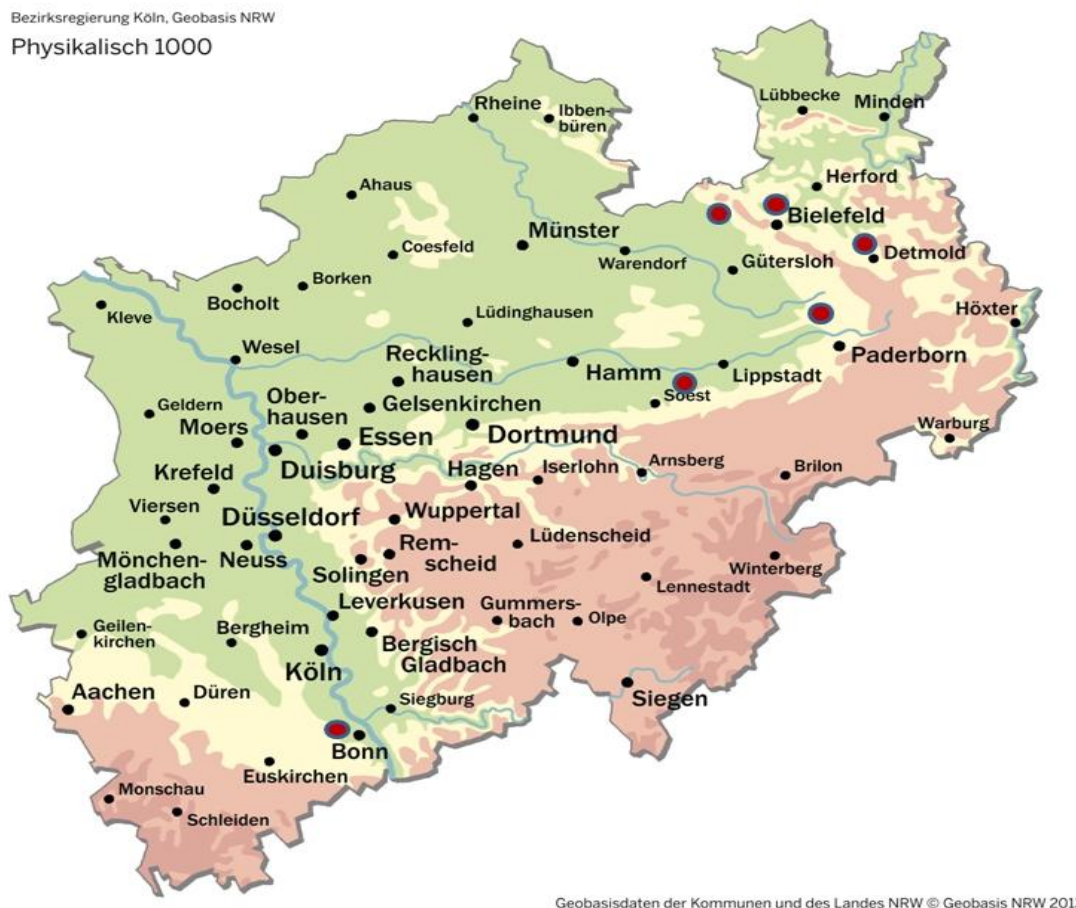
Sortenspezifische Eigenschaften wie das Reifeverhalten haben einen großen Einfluss auf das Ertragspotenzial. Im Rahmen eines Sortenversuches soll geklärt werden, ob es einen sortenspezifischen Einfluss auf das Dicken- und Höhenwachstum und somit auf die wertbestimmenden Eigenschaften von Faserhanf gibt.

## 4 Material und Methoden

In diesem Kapitel werden die Versuchsstandorte und Prüffaktoren sowie die angewandten Methoden vorgestellt.

### 4.1 Versuchsstandorte

Als Standardumwelt wurde in den Versuchsjahren 2002 und 2003 die Lehr- und Forschungsstation Dikopshof (im Folgenden Dikopshof genannt) des Institutes für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz (INRES) der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn (Universität Bonn) genutzt.



**Abbildung 4-1:** Lage der untersuchten Standorte in Nordrhein-Westfalen (Standardumwelt Dikopshof bei Bonn und den Versuchsstandorten in OWL) © Geodaten: Land NRW, Bonn. Details zur räumlichen Lage der Versuchsstandorte in OWL sind Abbildung 4-5 zu entnehmen.

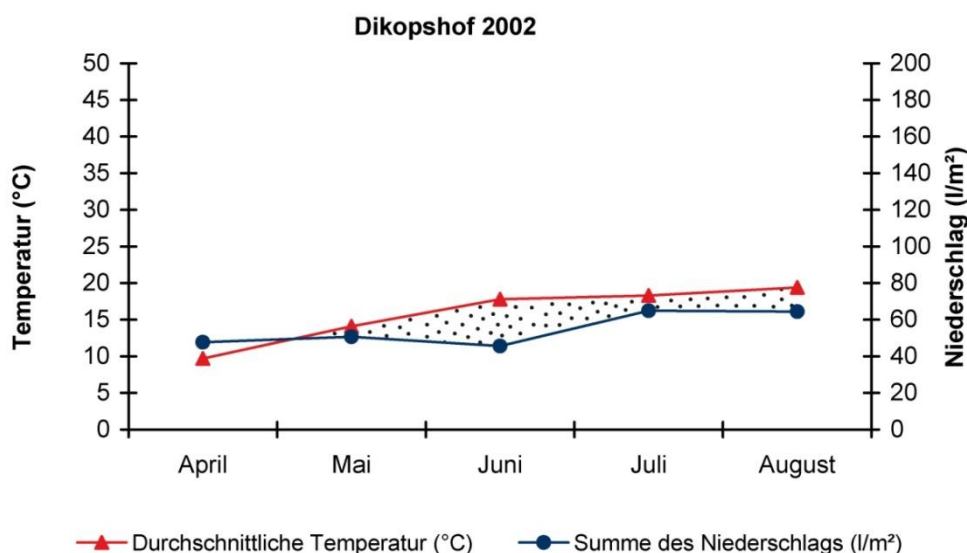
Zur Verifizierung der Übertragbarkeit der Ergebnisse in die landwirtschaftliche Praxis wurden die entsprechenden Versuche in den Jahren 2001 und 2002 in Zusammenarbeit mit der Erzeugergemeinschaft für Öl- und Faserpflanzen zur technischen Verwendung w. V.



(EZG) auf Praxisschlägen im Raum OWL durchgeführt. Dazu wurden Praxisflächen von Landwirten genutzt, die im vorgegebenen Versuchsdesign der Standardumwelt Dikopshof bestellt waren und wo die Versuche im Übrigen unter üblichen Praxisbedingungen stattfanden. Die Witterung der Versuchsstandorte wird als ein Umwelteinfluss anhand der durchschnittlichen monatlichen Temperatur (gemessen als Lufttemperatur in einer Höhe von 2 Metern) und des durchschnittlichen monatlichen Niederschlags dargestellt. Zur Charakterisierung der Wasserversorgung von Kulturpflanzen innerhalb der Vegetationsperiode kann das Verhältnis von Lufttemperatur zu Niederschlag herangezogen werden. WALTER & LIETH (1960) entwickelten mit den Klimadiagrammen eine Methode, um ökologisch wichtige Daten übersichtlich und vergleichbar darzustellen. In Anlehnung an diese Klimadiagramme wurde nach HEYLAND (1991) ein Diagramm im Verhältnis von 10°C zu 40 l/m<sup>2</sup> für Nutzpflanzen erstellt. Mit Hilfe dieser Darstellungsweise werden Phasen der zu geringen Wasserversorgung, d. h. Zeiten, in denen die Temperaturkurve über der Niederschlagskurve liegt, sichtbar gemacht.

### Standardumwelt Dikopshof

Die Lehr- und Forschungsstation Dikopshof der Universität Bonn liegt in der Köln-Aachener Bucht auf einer Mittelterrasse des Rheins bei Wesseling. Der Dikopshof 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.

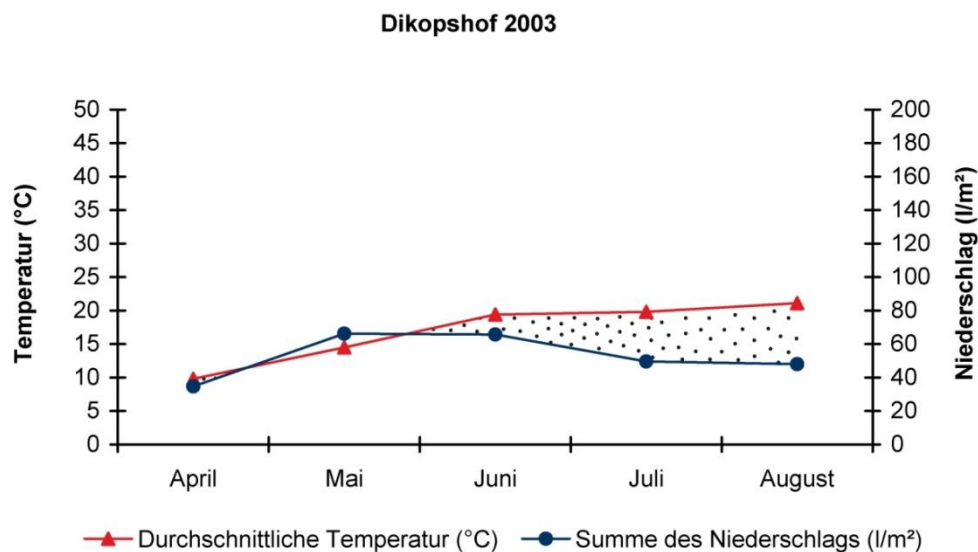


**Abbildung 4-2:** Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode 2002 (1. April - 31. August) der Standardumwelt Dikopshof. Neben der durchschnittlichen Monats-temperatur ist die Summe der Niederschläge pro Monat angegeben. Zeiten mit geringem pflanzenverfügbarem Wasser sind gepunktet.

Das jährliche Niederschlagsmittel liegt bei 634 l/m<sup>2</sup>, bei einer durchschnittlichen Temperatur von 9,7 °C. Der Dikopshof besitzt eine eigene Wetterstation, so dass die Witterungs-

daten direkt vor Ort erfasst wurden. Der Verlauf der Witterungsbedingungen während der Vegetationsperioden wird in Abbildung 4-2 und Abbildung 4-3 gezeigt.

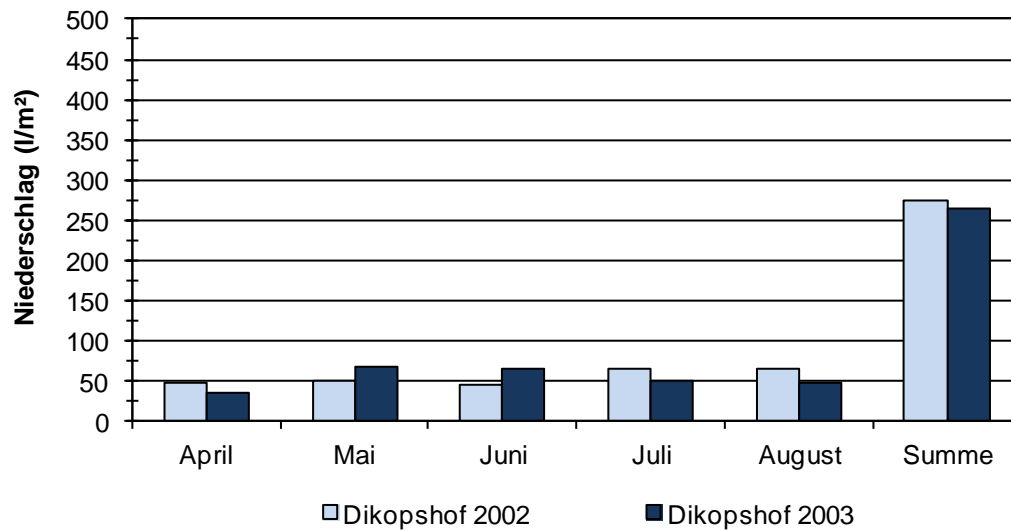
Für das Versuchsjahr 2002 (Abbildung 4-2) ist zu erkennen, dass eine optimale Wasserversorgung der Pflanzen nur bis Mitte Mai gegeben war. In den Folgemonaten lag die Niederschlagskurve bis zur Ernte unter der kontinuierlich ansteigenden Temperaturkurve. Zum Zeitpunkt der größten Wachstumsraten im Juni 2002 fielen bei einer Temperatur von 18 °C nur 46 l/m<sup>2</sup> Niederschlag. Diese Relation kann nach den Klimadiagrammen von HEYLAND (1991) als Indiz für eine ungünstige Wasserversorgung gehalten werden kann.



**Abbildung 4-3: Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode 2003 (1. April - 31. August) der Standardumwelt Dikopshof.** Neben der durchschnittlichen Monats-temperatur ist die Summe der Niederschläge pro Monat angegeben. Zeiten mit geringem pflanzenverfügbarem Wasser sind gepunktet.

Die Witterungsbedingungen des Versuchsjahres 2003 (Abbildung 4-3) ähneln stark den Verhältnissen von 2002. Allerdings setzt die Phase der wachstumshemmenden Wasserversorgung erst Mitte Juni mit einer Temperatur von 19 °C bei 66 l/m<sup>2</sup> Niederschlag ein. Danach nahm die Diskrepanz zwischen Temperatur und Niederschlag jedoch stärkere Ausmaße als 2002 an.

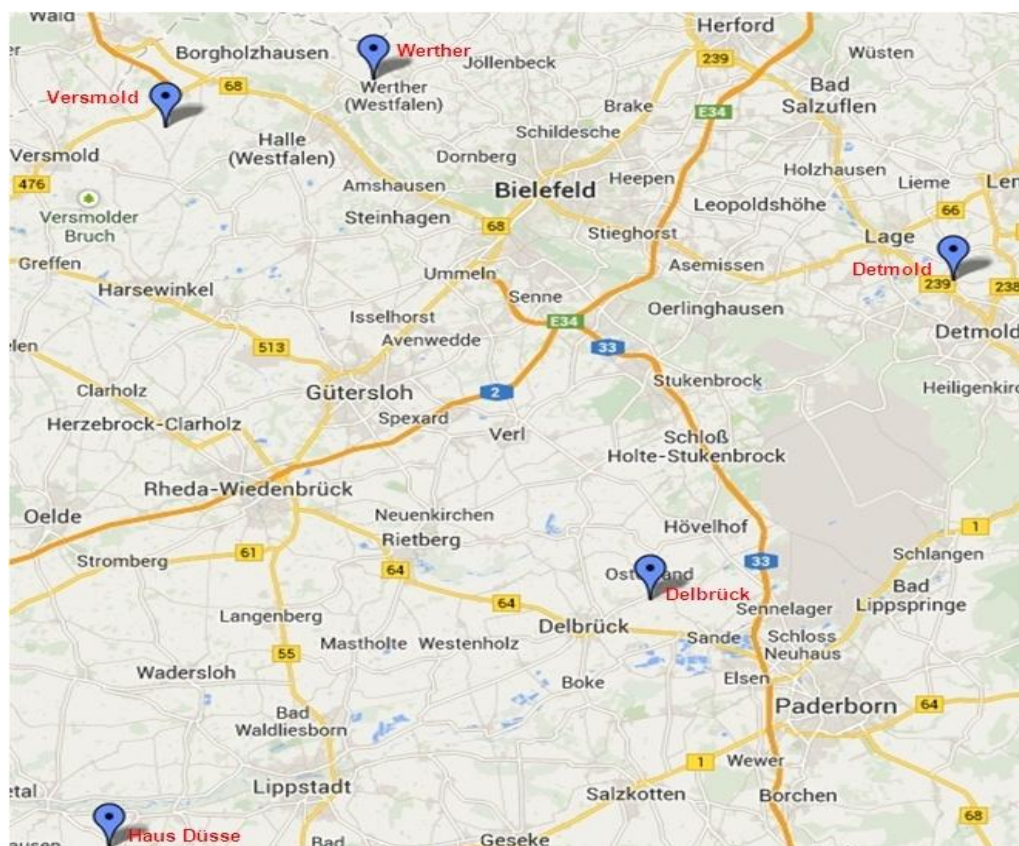
Im Detail betrachtet ergibt sich die folgende Verteilung der Niederschläge in den Versuchsjahren 2002 und 2003 für den Dikopshof (Abbildung 4-4).



**Abbildung 4-4: Niederschlagsverteilung (l/m<sup>2</sup>) der Vegetationsperioden 2002 und 2003 (1. April - 31. August) der Standardumwelt Dikopshof.** Neben den monatlichen Niederschlagssummen ist die Gesamtniederschlagsmenge des Vegetationszeitraumes angegeben.

Es wird deutlich, dass sich die Gesamtsumme der Niederschläge zwischen den Versuchsjahren kaum unterscheidet, jedoch variierte die Verteilung der Niederschläge.

#### Praxisstandorte in Ostwestfalen-Lippe

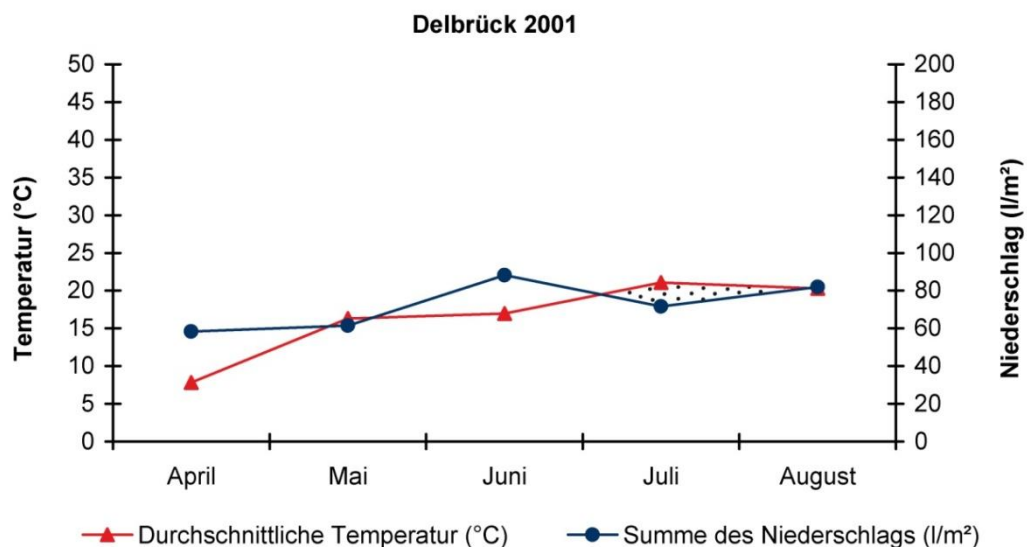


**Abbildung 4-5: Kartenausschnitt der Region Ostwestfalen-Lippe mit Darstellung der Versuchsstandorte (Quelle: Google Maps).**

Die Versuche auf den Standorten OWL wurden in den Versuchsjahren 2001 und 2002 zur Verifizierung von Forschungsergebnissen in der Praxis und zur Untersuchung der Umweltwirkung durchgeführt. Im Folgenden werden die Praxisstandorte näher beschrieben.

### Delbrück

In Delbrück-Ostenland ist die Umwelt Delbrück auf dem Delbrücker Rücken auf 100 m über NN zu finden. Der sandige Boden wird durch eine Ackerzahl von 24 charakterisiert. Die Niederschlagsmenge beträgt im Jahresmittel 725 l/m<sup>2</sup> und die Jahresdurchschnittstemperatur liegt bei 8,9 °C. Die Klimadaten für diesen Standort wurden von der Wetterstation (www.dieter-bolte.de) im Ortsteil Delbrück-Boke erfasst. Die Witterungsbedingungen des Versuchsjahres 2001 sind in Abbildung 4-6 dargestellt. Die Temperatur stieg von April (8 °C) langsam bis auf ein Maximum von 21 °C im Juli, wobei im August im Mittel 20 °C erreicht wurden. Die Wasserversorgung der Pflanzen war nach HEYLAND (1991) nur im Juli mit 70 l/m<sup>2</sup> bei Temperaturen von 21 °C als kritisch zu bezeichnen.



**Abbildung 4-6:** Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode 2001 (1. April - 31. August) am Praxisstandort Delbrück. Neben der durchschnittlichen Monatstemperatur ist die Summe der Niederschläge pro Monat angegeben. Zeiten mit geringem pflanzenverfügbarem Wasser sind gepunktet.

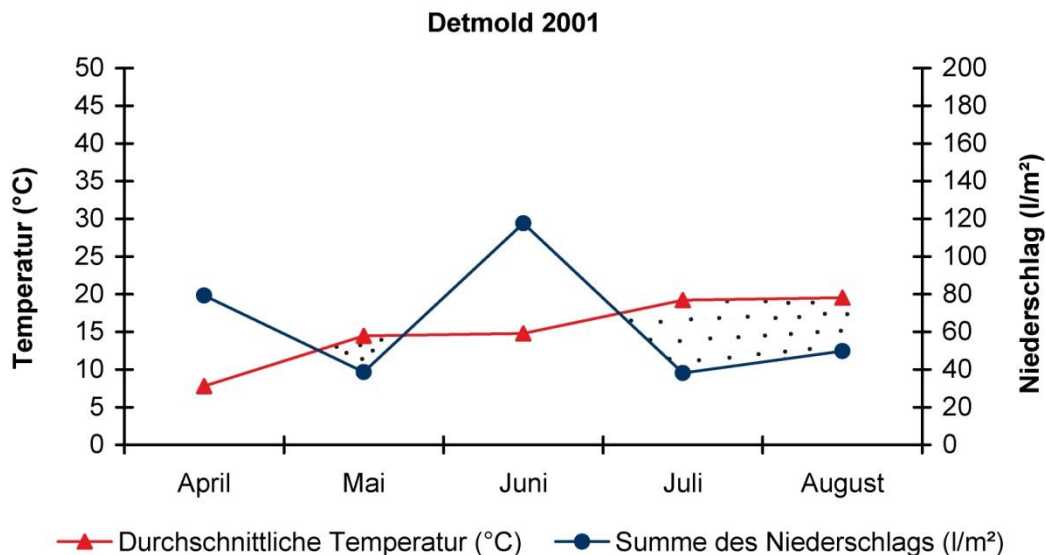
Am Standort Delbrück wurde aufgrund der veränderten gesetzlichen Rahmenbedingungen für Stilllegungsflächen nur im Versuchsjahr 2001 Hanf angebaut und untersucht.

### Detmold

Die Umwelt Detmold ist in Detmold-Nienhagen angesiedelt. Die Versuchsflächen liegen auf einer Höhe von 136 m über NN. Die Ackerzahl beträgt 35. Das Niederschlagsmittel liegt bei 720 l/m<sup>2</sup> pro Jahr bei einer Jahresdurchschnittstemperatur von 7,5 °C. Die verwendeten Klimadaten wurden von zwei Wetterstationen in Detmold erfasst und abgegli-

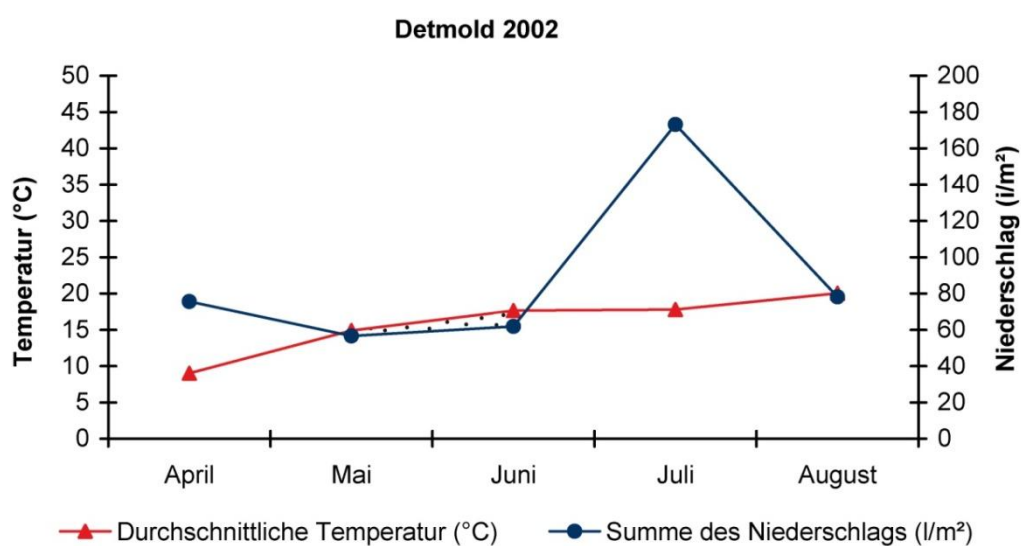
chen. In Abbildung 4-7 und Abbildung 4-8 ist der Verlauf der Durchschnittstemperatur und der monatlichen Niederschläge der Versuchsjahre 2001 und 2002 wiedergegeben.

Die Niederschlagsmengen variierten im Versuchsjahr 2001 stark, d. h. Wassermangelperioden (Mai und Juli je 40 l/m<sup>2</sup>) wechselten sich mit einer Phase guter Wasserverfügbarkeit (Juni 120 l/m<sup>2</sup>) in der Zeit der Hauptwachstumsphase ab.



**Abbildung 4-7:** Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode 2001 (1. April - 31. August) am Praxisstandort Detmold. Neben der durchschnittlichen Monatstemperatur ist die Summe der Niederschläge pro Monat angegeben. Zeiten mit geringem pflanzenverfügbarem Wasser sind gepunktet.

Im Jahr 2002 zeigte sich an diesem Standort eine Erhöhung der Niederschlagsmenge von 60 l/m<sup>2</sup> im Juni auf 170 l/m<sup>2</sup> im Juli.

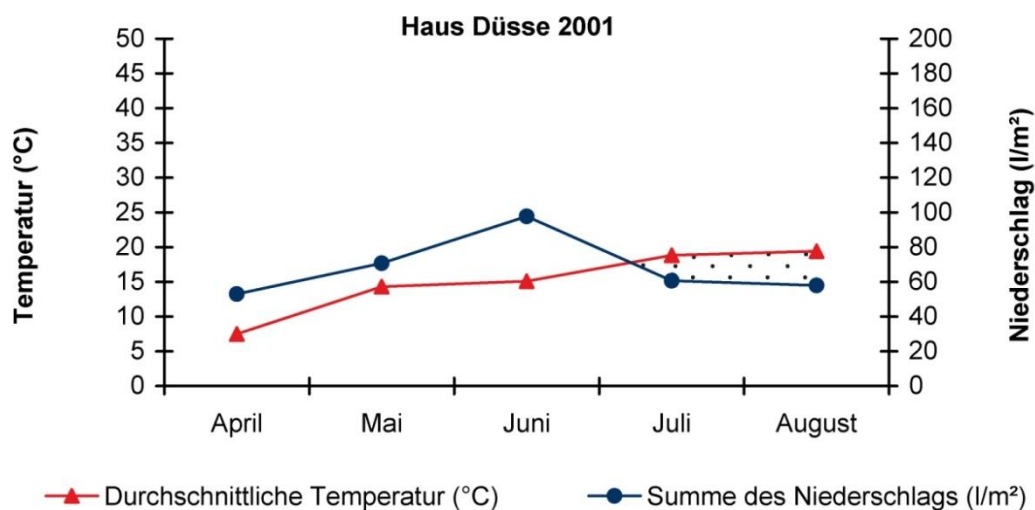


**Abbildung 4-8:** Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode 2002 (1. April - 31. August) am Praxisstandort Detmold. Neben der durchschnittlichen Monatstemperatur ist die Summe der Niederschläge pro Monat angegeben. Zeiten mit geringem pflanzenverfügbarem Wasser sind gepunktet.

Mit 80 l/m<sup>2</sup> kann die im August 2002 zur Verfügung stehende Wassermenge als optimal für die Wasserversorgung der Pflanzen angesehen werden. Die Temperaturkurve stieg sowohl 2001 als auch 2002 langsam von 8 °C bis auf 20 °C an.

### Haus Düsse

Das Landwirtschaftszentrum Haus Düsse (Umwelt Haus Düsse) liegt in der Soester Börde in Bad Sassendorf-Ostringhausen auf einer Höhe von 70 m über NN. Die geologische Herkunft des Bodentyps ist eine Pseudoglaziale-Parabraunerde aus Löß. Die Ackerzahl von 67 charakterisiert den lehmigen Schluff.

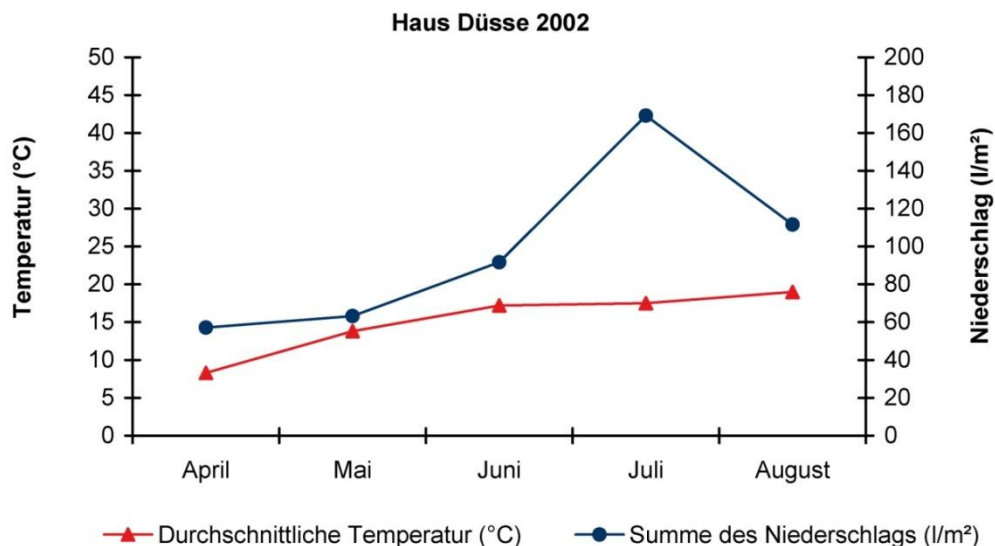


**Abbildung 4-9: Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode 2001 (1. April - 31. August) am Praxisstandort Haus Düsse.** Neben der durchschnittlichen Monatstemperatur ist die Summe der Niederschläge pro Monat angegeben. Zeiten mit geringem pflanzenverfügbarem Wasser sind gepunktet.

Die Niederschlagsmenge beträgt im langjährigen Mittel 770 l/m<sup>2</sup> bei einer durchschnittlichen Jahrestemperatur von 9,2 °C. Haus Düsse verfügt über eine eigene Wetterstation, so dass die Witterungsparameter direkt vor Ort erfasst wurden. Der Witterungsverlauf der durchschnittlichen Monatstemperatur und der monatlichen Niederschläge für die Vegetationsperioden 2001 und 2002 sind in Abbildung 4-9 und Abbildung 4-10 wiedergegeben.

Im Anbaujahr 2001 (Abbildung 4-9) ist zu erkennen, dass die Pflanzen bis Anfang Juli (>60 l/m<sup>2</sup>) immer ausreichend mit Wasser versorgt waren, danach fiel die Niederschlagsmenge unter die Temperaturkurve, so dass sie nach HEYLAND (1991) nicht mehr den Wachstumsanforderungen der Pflanzen entspricht. Die langsam ansteigende Temperatur innerhalb der Vegetationsperiode von 7 °C (April) auf 20 °C (August) ist für den Hanfanbau als günstig zu beschreiben.

Dagegen war die Wasserverfügbarkeit während der Vegetationsperiode 2002 zu keinem Zeitpunkt gefährdet (Abbildung 4-10). Ab Mitte Juni war sogar ein starker Anstieg der Niederschlagsmenge von 90 l/m<sup>2</sup> über 170 l/m<sup>2</sup> (Juli) auf 110 l/m<sup>2</sup> (August) zu verzeichnen. Im Allgemeinen erschweren hohe Niederschlagsmengen zur Ernte (August) die Bergung des Hanfstrohs. Der Temperaturverlauf zeichnete sich wie schon 2001 auch in 2002 durch einen kontinuierlichen und pflanzenverträglichen Anstieg der Temperatur von 8 °C (April) auf 20 °C im August aus.



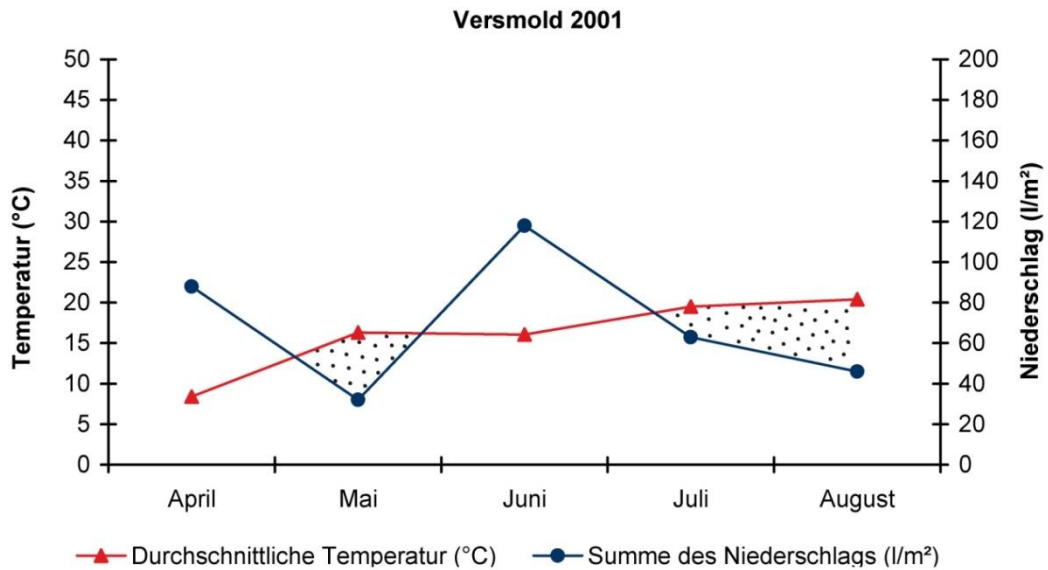
**Abbildung 4-10: Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode 2002 (1. April - 31. August) am Praxisstandort Haus Düsse.** Neben der durchschnittlichen Monats-temperatur ist die Summe der Niederschläge pro Monat angegeben. Zeiten mit geringem pflanzenverfügbarem Wasser sind gepunktet.

### Versmold

In Versmold-Bockhorst, 70 m über NN, befindet sich die Umwelt Versmold. Humoser Sand und eine Ackerzahl von 26 beschreiben den Boden dieses Standortes. Der Niederschlag liegt im langjährigen Mittel bei 750 l/m<sup>2</sup> und die Jahresdurchschnittstemperatur bei 10,5 °C. Die Wetterstation der Realschule in Halle/Westf. lieferte die Witterungsdaten für diesen Standort. Die Niederschlagsmengen wurden zudem mit den im nahegelegenen Versmold gemessenen Werten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) abgeglichen.

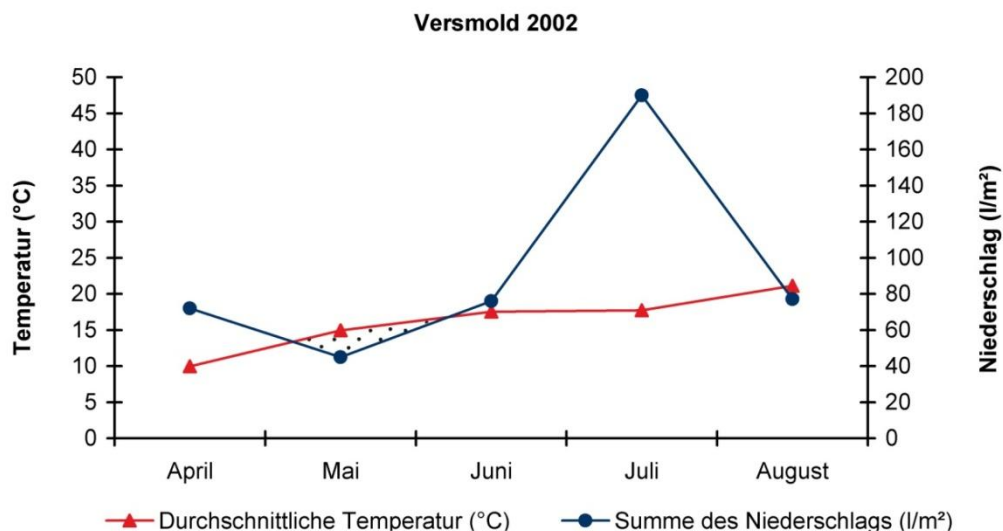
Der Verlauf der Temperaturkurve und die Verteilung des monatlichen Niederschlags innerhalb der Vegetationsperiode am Standort Versmold sind in Abbildung 4-11 und Abbildung 4-12 zu finden.

Im Jahr 2001 war die Verteilung der Niederschlagsmengen als sehr wechselhaft zu bezeichnen. Eine Phase des Trockenstresses im Mai (30 l/m<sup>2</sup> bei 17 °C) wurde von ergiebigen Niederschlägen im Juni (118 l/m<sup>2</sup>) abgelöst, wonach die Regenmenge im August wieder auf knapp 50 l/m<sup>2</sup> sank.



**Abbildung 4-11: Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode 2001 (1. April - 31. August) am Praxisstandort Versmold.** Neben der durchschnittlichen Monatstemperatur ist die Summe der Niederschläge pro Monat angegeben. Zeiten mit geringem pflanzenverfügbarem Wasser sind gepunktet.

Im Gegensatz dazu waren die Niederschlagsverhältnisse 2002 von einer gemäßigten Wasserversorgung von April bis Juni geprägt.



**Abbildung 4-12: Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode 2002 (1. April - 31. August) am Praxisstandort Versmold.** Neben der durchschnittlichen Monatstemperatur ist die Summe der Niederschläge pro Monat angegeben. Zeiten mit geringem pflanzenverfügbarem Wasser sind gepunktet.

Danach war ein starker Anstieg der Regenmenge im Juli mit 190 l/m<sup>2</sup> bei durchschnittlichen 17,7 °C zu verzeichnen, gefolgt von einer Abnahme auf ein pflanzen- und ernteverträgliches Maß von 80 l/m<sup>2</sup> im August. Der Verlauf der Temperatur über die Vegetations-

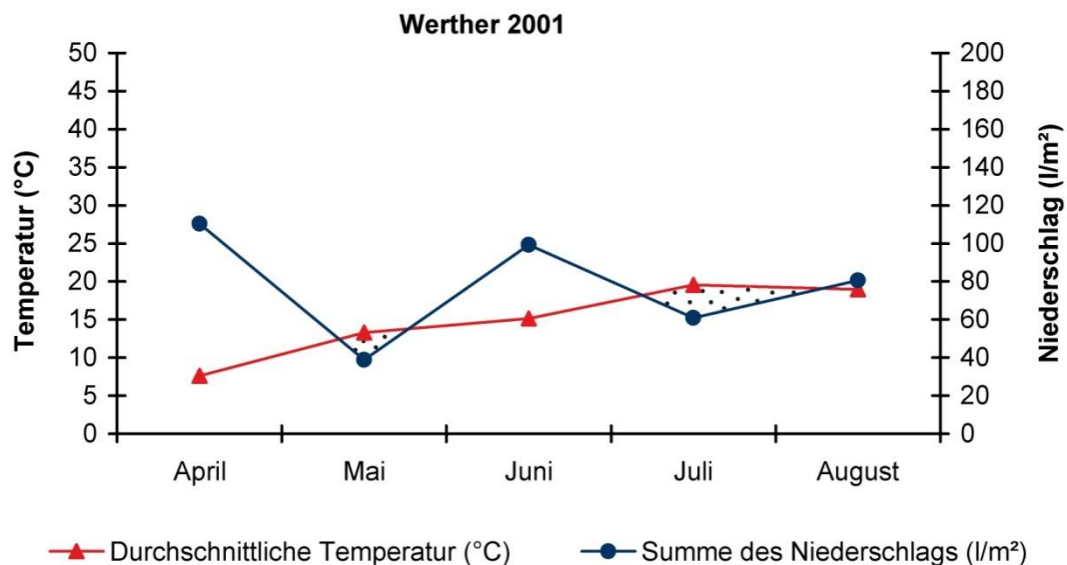


periode war für das Pflanzenwachstum ideal und in beiden Versuchsjahren als ähnlich zu beschreiben.

Für die Umwelt Versmold ist zu beachten, dass aufgrund vorzeitiger maschineller Ernte der Hanfanbaufläche im Jahr 2001 für die Auswertung der ertragsbestimmenden Parameter nach der Ernte nur einjährige Daten (2002) zur Verfügung standen.

### Werther

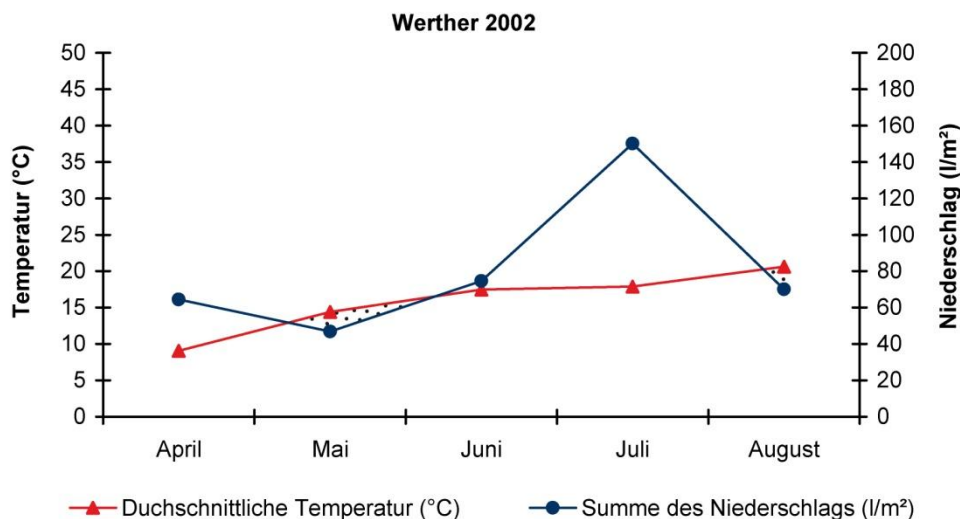
Die Umwelt Werther liegt im Ortsteil Theenhausen von Werther/Westf. in der Ravensberger Mulde auf einer Höhe von 130 m über NN. Der lehmige Sand mit einer Ackerzahl von 69 beschreibt den Bodentyp dieses Versuchsstandortes. Das Niederschlagsmittel wird mit 850 l/m<sup>2</sup> im Jahr bei einer Jahresdurchschnittstemperatur von 10,0 °C angegeben. Bezugsquelle für die Witterungsdaten war die Wetterstation Bielefeld-Jöllenbeck (meteocontrol GmbH). Die Niederschlagsmengen wurden zudem mit den Daten des DWD abgeglichen.



**Abbildung 4-13: Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode 2001 (1. April - 31. August) am Praxisstandort Werther.** Neben der durchschnittlichen Monatstemperatur ist die Summe der Niederschläge pro Monat angegeben. Zeiten mit geringem pflanzenverfügbarem Wasser sind gepunktet.

Die durchschnittliche Monatstemperatur und die monatlichen Niederschläge für den Vegetationszeitraum der Jahre 2001 und 2002 sind in Abbildung 4-13 und Abbildung 4-14 dargestellt.

Am Standort Werther sind nach HEYLAND (1991) während der Vegetationsperiode 2001 zwei Phasen von möglichem Trockenstress zu erkennen (Abbildung 4-13), wobei die Niederschlagsmenge auf 40 l/m<sup>2</sup> bei 13 °C im Monat Mai und auf 60 l/m<sup>2</sup> bei 19 °C im Juli (andauernd bis zur Ernte) sank.



**Abbildung 4-14: Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode 2002 (1. April - 31. August) am Praxisstandort Werther.** Neben der durchschnittlichen Monatstemperatur ist die Summe der Niederschläge pro Monat angegeben. Zeiten mit geringem pflanzenverfügbarem Wasser sind gepunktet.

Insgesamt betrachtet wurde der Wasserhaushalt der Pflanzen jedoch durch diese kurzen Trockenphasen kaum beeinträchtigt, sondern kann als ausgeglichen bezeichnet werden.

In der Vegetationsperiode 2002 fiel in Werther nur ein sehr kurzer Zeitraum im Mai von möglichem Trockenstress mit einem Niederschlag von 50 l/m<sup>2</sup> bei einer Temperatur von 15°C auf. Von Mitte Juni (80 l/m<sup>2</sup>) über den Monat Juli (160 l/m<sup>2</sup>) bis Ende August (70 l/m<sup>2</sup>) waren auch an diesem Standort ergiebige Niederschläge zu verzeichnen. Demgegenüber waren die Jahre 2001 und 2002 in ihrem Temperaturverlauf sehr ähnlich.

### Standortvergleich in Ostwestfalen-Lippe

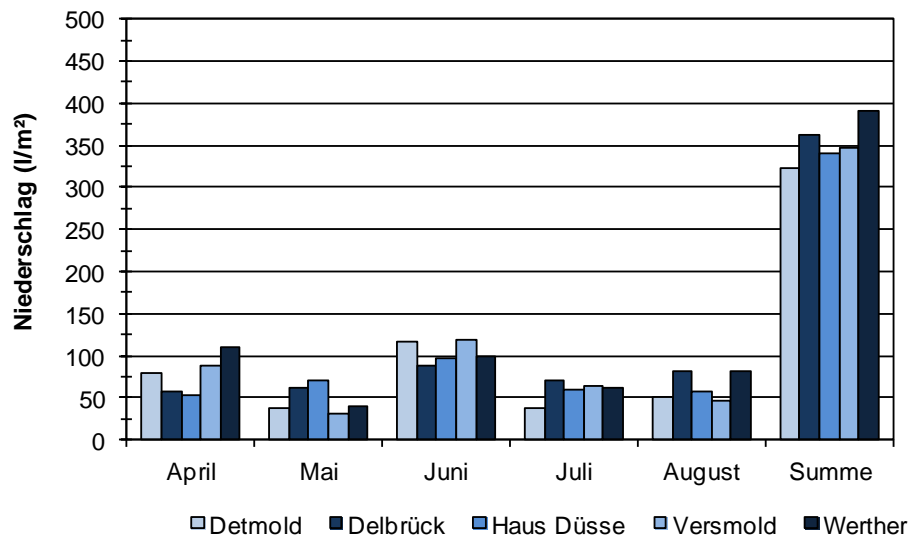
In Tabelle 4-1 sind die wesentlichen Kenngrößen der Versuchsstandorte in OWL zusammengefasst dargestellt.

**Tabelle 4-1: Charakterisierung der Versuchsflächen der Praxisstandorte in OWL.** Der Standort Delbrück stand aufgrund von Änderungen in den rechtlichen Rahmenbedingungen für den Faserhanfanbau auf Stilllegungsflächen im Jahr 2002 nicht mehr zur Verfügung.

STANDORT	VERSUCHS-JAHR	HÖHE ü. NN (m)	Ø JAHRESNIEDERSCHLAG (l/m <sup>2</sup> )	BODENART	ACKER-ZAHL
Delbrück	2001	100	725	Sand	24
Detmold	2001 + 2002	136	720	Sand	35
Haus Düsse	2001 + 2002	70	770	Lehmiger Schluff	67
Versmold	2001 + 2002	70	750	Humoser Sand	26
Werther	2001 + 2002	130	850	Lehmiger Sand	69

### Vergleich der Witterungsbedingungen an den Standorten in Ostwestfalen-Lippe

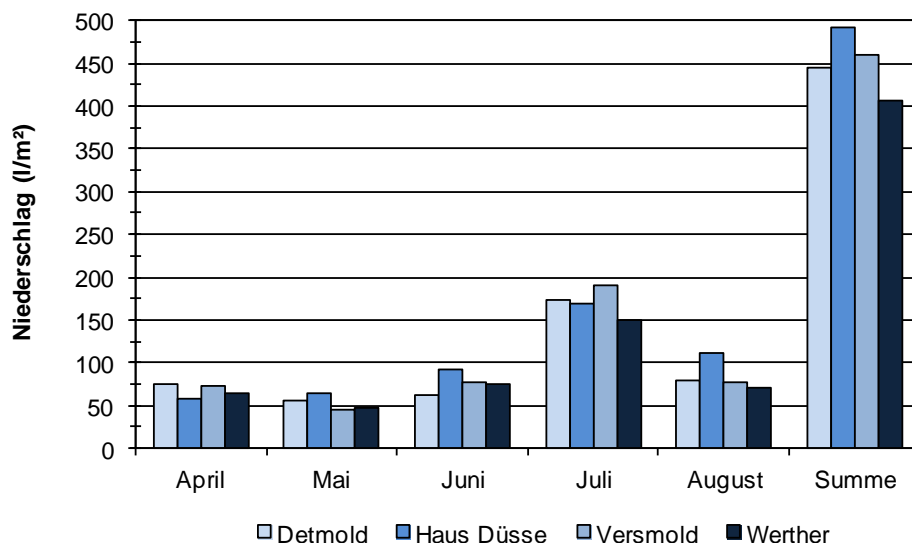
In den folgenden zwei Graphiken (Abbildung 4-15 und Abbildung 4-16) sind der Vergleich der Wetterbedingungen bzgl. der Niederschlagsverteilung für die Standorte in OWL für die Versuchsjahre 2001 und 2002 dargestellt.



**Abbildung 4-15: Niederschlagsverteilung der Vegetationsperiode 2001 (1. April - 31. August) der Praxisstandorte in OWL.** Neben den monatlichen Niederschlagssummen ist die Gesamtniederschlagsmenge angegeben.

Im Versuchsjahr 2001 fielen die höchsten Niederschlagsmengen, entsprechend der Hauptwachstumsphase des Hanfes (Ende Mai bis Juni), im Juni. Weiter wurde das Bergen des Hanfstrohs durch die geringen Niederschlagsmengen im August begünstigt. Zusammengefasst betrachtet wurde die geringste Niederschlagsmenge während der Vegetationsperiode 2001 in Detmold (323,6 l/m<sup>2</sup>) gefolgt von Haus Düsse, Versmold, Delbrück und die höchste mit 389,9 l/m<sup>2</sup> in Werther gemessen.

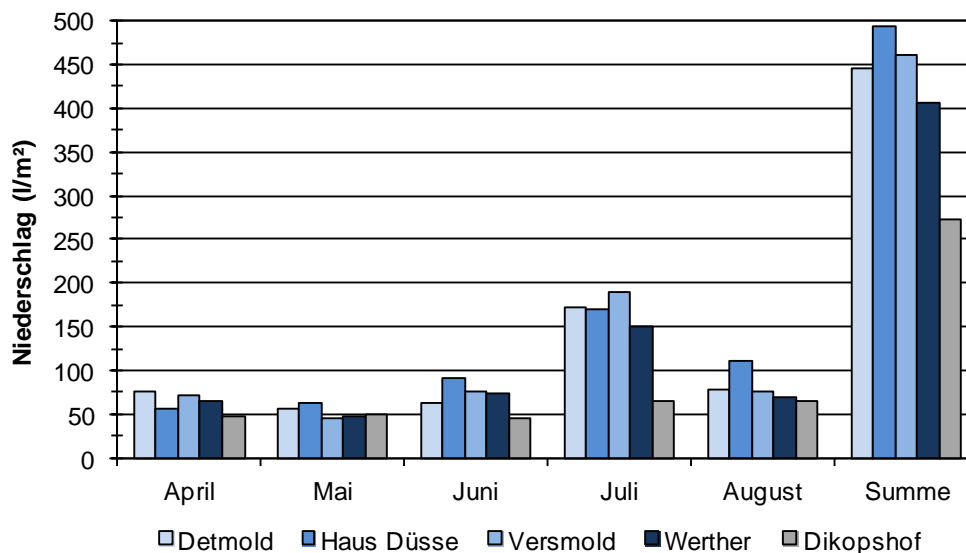
Allgemein ist festzustellen, dass die Niederschlagsmengen 2002 gegenüber dem Vorjahr deutlich erhöht waren und eine andere Verteilung aufwiesen. Die maximale Niederschlagsmenge 2001 lag bei 389,9 l/m<sup>2</sup> (Werther) und damit unter der niedrigsten (Werther 406,1 l/m<sup>2</sup>) im Jahr 2002. Die Regenmengen und damit das pflanzenverfügbare Wasser fielen 2002 für den Standort Werther (406,1 l/m<sup>2</sup>) am niedrigsten aus. Die Standorte Detmold, Versmold und Haus Düsse (492,8 l/m<sup>2</sup>) folgten mit ansteigenden Niederschlagsmengen. Die Verteilung des Niederschlags stellte an allen Versuchsstandorten in den Jahren 2001 und 2002 für die Bergung des Hanfstrohs keine Beeinträchtigung dar.



**Abbildung 4-16: Niederschlagsverteilung der Vegetationsperiode 2002 (1. April - 31. August) der Praxisstandorte in OWL.** Neben den monatlichen Niederschlagssummen ist die Gesamtniederschlagsmenge angegeben.

### Vergleich der Niederschlagsmengen zwischen der Standardumwelt Dikopshof und den Praxisflächen in Ostwestfalen-Lippe

Abschließend werden für das Versuchsjahr 2002 die Niederschläge aller Versuchsstandorte (Dikopshof und OWL) vergleichend in Abbildung 4-17 wiedergegeben.



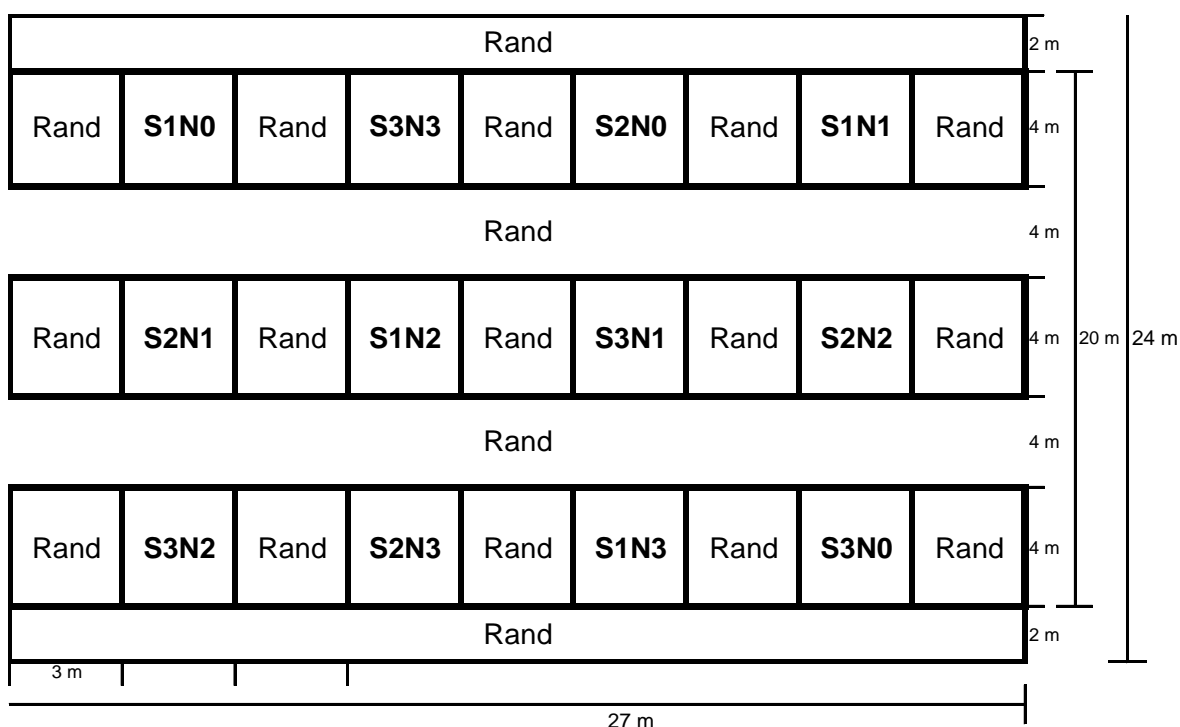
**Abbildung 4-17: Vergleichende Darstellung der Niederschlagsmengen der Vegetationsperiode 2002 (1. April - 31. August) für die Standorte in OWL und dem Dikopshof als Standardumwelt.** Neben den monatlichen Niederschlagssummen ist die Gesamtniederschlagsmenge angegeben.

Der Standort Dikopshof wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit als Standardumwelt betrachtet. Es war deutlich zu erkennen, dass sich die Witterungsbedingungen des Dikopshof – hier in Form der Niederschläge - stark von allen Standorten in OWL unterschied. Besonders die intensiven Niederschläge des Monats Juli in OWL fanden auf dem Dikopshof nicht statt, so dass der Gesamtniederschlag dort mit 273 l/m<sup>2</sup> weit unterhalb der

Standorte in OWL lag. Ein möglicher Grundwasserzugang ist auf dem Dikopshof auszuschließen, da das Grundwasser erst in ca. 19 Metern Tiefe ansteht (SCHELLBERG & HÜGING 1997).

## 4.2 Durchführung der Feldversuche

Als Prüffaktoren wurden an den verschiedenen Standorten die Versuchsjahre, die Saatstärke und die Stickstoffdüngung untersucht. In der Standardumwelt Dikopshof wurden darüber hinaus zusätzliche Stufen der Prüffaktoren Saatstärke und Stickstoffdüngung sowie ergänzend verschiedene Sorten geprüft.

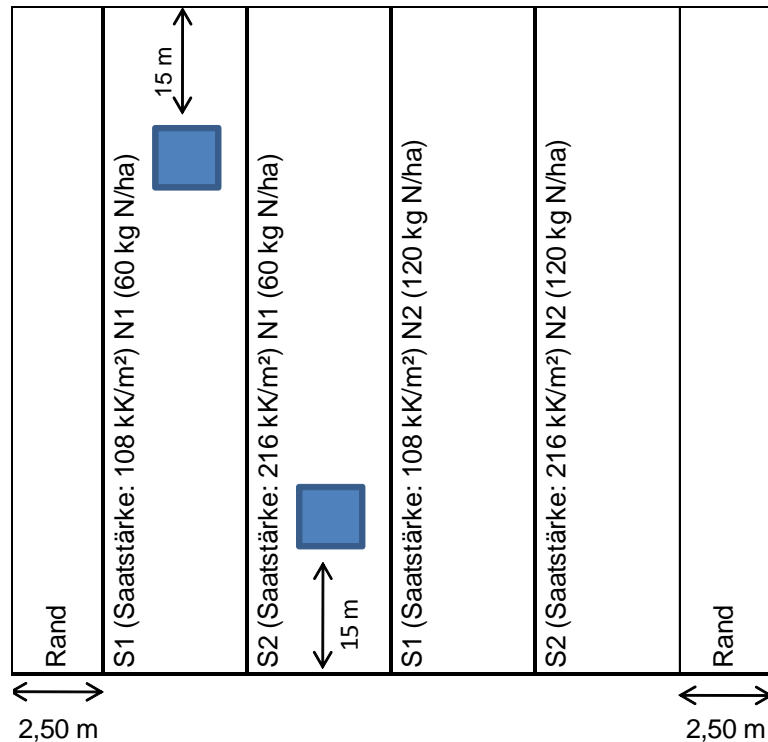


**Abbildung 4-18:** Feldversuchsplan des Saatstärken- und Stickstoffdüngungsversuchs auf dem Dikopshof am Beispiel des Versuchsjahres 2002. (S = Saatstärke, kK = keimfähige Körner: S1 = 108 kK/m<sup>2</sup>, S2 = 163 kK/m<sup>2</sup> und S3 = 216 kK/m<sup>2</sup>, N = Stickstoffgabe: N0 = 0 kg N/ha, N1 = 40 kg N/ha, N2 = 60 kg N/ha und N3 = 120 kg N/ha).

Bei den Versuchsflächen auf dem Dikopshof handelt es sich um 12 m<sup>2</sup> große Anbauflächen, in der nach dem Auflaufen der Pflanzen ein markierter Bereich von 1 m<sup>2</sup> als Versuchsparzelle festgelegt wurde. Das Versuchsdesign des Saatstärken- und Stickstoffdüngungsversuchs auf dem Dikopshof ist in Abbildung 4-18 beispielhaft für das Versuchsjahr 2002 dargestellt.

Das Versuchsdesign für die Praxisstandorte der hier vorliegenden Untersuchung entspricht den im Jahr 2000 in OWL (Delbrück, Kalletal, Steinhagen und Werther) durchgeführten Versuchen von LÉON & VON FRANKEN-WELZ (2003). Aufgrund der Größe der Praxis schläge (Abbildung 4-19) wurden an den Standorten in OWL nach dem Auflaufen

jeweils Flächen von 1 m<sup>2</sup> Größe als Versuchsparzelle zur Erhebung der Untersuchungsparameter an jeder Feldseite markiert, um die Heterogenität des Schlages berücksichtigen zu können. Dabei lagen die Versuchsparzellen mindestens 15 m vom Rand des Schlages entfernt.



**Abbildung 4-19:** Darstellung des Feldversuchsplanes für den Saatstärken- und Stickstoffdüngungsversuch der Praxisstandorte in OWL am Beispiel des Versuchsjahres 2001. Die Quadrate symbolisieren beispielhaft die Untersuchungsflächen von 1 m<sup>2</sup> Größe. (kK = keimfähige Körner, N = Stickstoff, S = Saatstärke).

#### 4.2.1 Saatstärkenversuch

Um den Einfluss der Pflanzenanzahl pro Fläche auf das Wachstumsverhalten und damit auf die ertragsbestimmenden Eigenschaften beurteilen zu können, wurden an allen Standorten 108 keimfähige Körner pro Quadratmeter (kK/m<sup>2</sup>) und 216 kK/m<sup>2</sup> der in Deutschland meistangebauten Sorte **Fedora 17** ausgesät. Dieses entspricht im landwirtschaftlichen Maßstab einer Saatstärke von 20 kg/ha und 40 kg/ha, wobei sowohl die Keimfähigkeit des Saatgutes als auch der Fehler der Sämaschine bei der Bestimmung der Aussaatmenge mit einbezogen wurde. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird die Saatstärke mit der Größe keimfähige Körner pro Quadratmeter (kK/m<sup>2</sup>) angegeben. Um den Saatstärkeneinfluss auf die Ertragsentwicklung und das Phänomen der Selbstausdünnung (*self thinning effect*) detaillierter beurteilen zu können, wurde in der Standardumwelt Dikopshof eine zusätzliche Saatstärke von 162 kK/m<sup>2</sup> (entsprechend 30 kg/ha) ausgebracht.

#### 4.2.1 Stickstoffdüngungsversuch

Mit diesem Versuchsansatz wurde der Einfluss variierender Stickstoffgaben auf die Pflanzenentwicklung und damit auf die Homogenität des Pflanzenbestandes sowie die Ertragsleistung untersucht. Besonderes Augenmerk lag in diesem Zusammenhang auf einer optimalen Stickstoffzufuhr, die während der Hauptwachstumsphase genau an den Pflanzenbedarf angepasst ist. Bei einer suboptimalen Stickstoffversorgung wird das standortspezifische Ertragspotenzial nicht vollständig ausgeschöpft, während eine überzogene Stickstoffgabe häufig nicht zu höheren Erträgen führt. Als Hanfsorte wurde in beiden Versuchsjahren und auf allen Standorten **Fedora 17**, die in Deutschland meistangebaute Hanfsorte, verwendet.

Die Stickstoffdüngung mittels Kalkammonsalpeter (KAS) wurde, unter Berücksichtigung der  $N_{\min}$ -Gehalte, in den Stufen 60 kg/ha und 120 kg/ha – bezogen auf den Stickstoffgehalt – für alle Standorte variiert und in einer Gabe nach dem Auflaufen verabreicht. Als weitere Variation der Stickstoffgaben wurde in der Standardumwelt Dikopshof eine Kontrollvariante (0 kg/ha bezogen auf den Stickstoff) und eine zusätzliche Stickstoffdüngungsstufe von 40 kg/ha geprüft. Die Versuche wurden hierbei in einer Spaltanlage mit zweifacher Wiederholung durchgeführt.

Auf den Praxisflächen in OWL wurde als Versuchsdesign sowohl für den Saatstärken- als auch den Stickstoffdüngungsversuch eine Spaltanlage ohne Wiederholung gewählt. Bei diesem Versuchsaufbau auf Flächen im landwirtschaftlichen Maßstab, wurden an den gegenüberliegenden Seiten des Feldes Versuchspartzellen (1 m<sup>2</sup>) angelegt, um z. B. heterogene Bodenverhältnisse wie Verdichtung und/oder Beschattung zu berücksichtigen (Abbildung 4-19).

Zusammenfassend sind in Tabelle 4-2 die Details der Versuchsanordnungen aller Standorte dargestellt.

**Tabelle 4-2: Angaben zu den agronomischen Maßnahmen, Faktorstufen, Umweltbedingungen und Vegetationstagen für die Standardumwelt Dikopshof und die Praxisstandorte in OWL.** Fehlende Angaben ist mit einem „-“ gekennzeichnet. GDD = *Growing Degree Days* (°C).

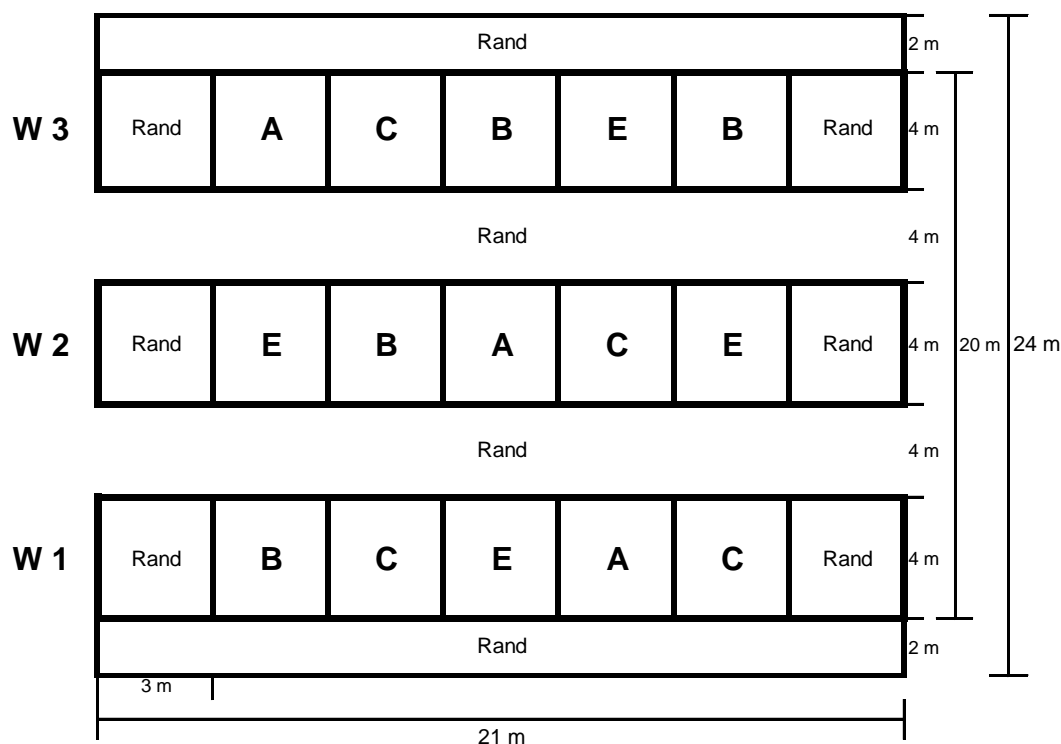
STANDORT	VERSUCHSJAHR	VORFRUCHT	AUSSAATTERMIN	VEGETATIONSTAGE BIS ZUR ERNTE	GDD °C	SAATSTÄRKEN-VERSUCH (kK/m <sup>2</sup> )	Nmin-GEHALT (kg/ha)	STICKSTOFFDÜNGUNGSVERSUCH (kg/ha)
Dikopshof	2002	Sommergerste	09. Mai	93	1619	108	27	0
	2003	Sommergerste	10. Mai	87	1583	162	27	40
						216		60
								120
Delbrück	2001	Triticale	04. Mai	109	1917	108	-	60
		-				216		120
Detmold	2001	Weizen	09. Mai	102	1686	108	37	60
	2002	-	24. April	96	1533	216	-	120
Haus Düsse	2001	Silomais	02. Mai	110	1855	108	40	60
	2002	-	22. April	98	1523	216	84	120
Vermold	2001	Wintergerste	29. April	114	2028	108	33	60
	2002	-	24. April	96	1546	216	-	120
Werther	2001	Weizen	03. Mai	110	1810	108	23	60
	2002	Weizen	12. April	108	1645	216	-	120

#### 4.2.2 Sortenversuch

In diesem Versuch wurde die Leistung von verschiedenen Hanfsorten in der Standardumwelt Dikopshof untersucht. Im Vordergrund stand dabei der Einfluss der sortenspezifischen Eigenschaften auf die ertragsbestimmenden Parameter in Abhängigkeit vom Reifeverhalten.

Zur Durchführung dieses Versuches wurde in den Jahren 2002 und 2003 auf dem Dikopshof eine randomisierte Blockanlage mit dreifacher Wiederholung angelegt (Abbildung 4-20), um eine repräsentative Aussage über die Anbaueignung der Hanfsorten in der Köln-Aachener Bucht zu erhalten. Die Aussaat mit 216 kK/m<sup>2</sup> erfolgte in beiden Versuchsjahren in der zweiten Maiwoche. Nach dem Auflaufen wurde die Düngung mit 120 kg/ha Stickstoff in Form von KAS ausgebracht. Ergänzend wurden für die Auswertung des Sortenversuches die erhobenen Daten der Sorte **Fedora 17** aus den entsprechenden Parzellen des auf demselben Schlag angelegten Saatstärken- und Stickstoffdüngungsversuches (216 kK/m<sup>2</sup> und 120 kg/ha) verwendet.





**Abbildung 4-20:** Schematische Darstellung der Anordnung des Sortenversuches mit fünf Sorten (2003) auf dem Dikopshof. Die Buchstaben entsprechen den untersuchten Sorten (A = Bialobrzeskie, B = Futura 75, C = Uso 31, D = Beniko, E = Epsilon 68).

Nachfolgende Sorten (Tabelle 4-3) wurden im Rahmen der Untersuchung geprüft.

**Tabelle 4-3:** Untersuchte Hanfsorten und ihre Eigenschaften (modifiziert nach Bócsa et al. 2000, KARUS et al. 1999, MASTEL et al. 1998). Herkünfte der Hanfsorten: FR = Frankreich, UA = Ukraine, PL = Polen. Bezugsquellen: DSV = Deutsche Saatveredlung AG, EZG = Erzeugergemeinschaft für Öl- und Faserpflanzen zur technischen Verwendung w. V, KWS = Kleinwanzlebener Saatucht.

SORTE	VERSUCHSJAH R	VEGETATIONS- TAGE (Aussaat bis Ernte)	REIFE- VERHALTEN	WUCHSHÖHE (cm)	STROHERTRAG (t/ha)	FASERGEHALT (%)	HERKUNFT	BEZUGS- QUELLE
Uso 31	2002 2003	115-120	Sehr früh	231	6-9	25-32	UA	DSV
Beniko	2003	100-110	Früh	275	8-10	25-37	PL	Natural Fibre Poszan
Bialobrzeskie	2003	100-110	Mittelfrüh	294	10-12	25-28	PL	Natural Fibre Poszan
Fedora 17	2002 2003	115-125	Mittel	249	5-7	30-36	FR	EZG
Futura 75	2002 2003	120-130	Mittelspät	272	7-8	30-35	FR	KWS
Epsilon 68	2002 2003	125-135	Spät	270	8-10	28-31	FR	KWS

### 4.3 Durchführung der Feldbonituren

Die Bestimmung der ertragsbestimmenden Parameter erfolgte anhand der nachfolgenden beschriebenen Messungen und Methoden.

#### 4.3.1 Messungen während der Vegetationsperiode

Die im Folgenden aufgeführten phänologischen Daten wurden während der Vegetationsperiode aufgenommen und die Merkmale Bestandesdichte, Wuchshöhe und Stängeldurchmesser regelmäßig gemessen.

##### **Keimdichte KD [Pfl/m<sup>2</sup>]**

Die Anzahl der Pflanzen pro Quadratmeter zu einem gewählten Zeitpunkt nach der Aussaat bezeichnet man als Keimdichte, welche durch Zählung aller Pflanzen ermittelt wurde.

##### **Feldaufgang [%]**

Mit dem Feldaufgang wird der relative Anteil der gekeimten Pflanzen (gemessen als KD) im Verhältnis zur Anzahl der ausgesäten Samen (Saatstärke) beschrieben.

##### **Bestandesdichte [Pfl/m<sup>2</sup>]**

Die Ermittlung der Pflanzenanzahl erfolgte durch Zählung der Pflanzen in jedem der markierten Versuchsquadratmeter. Dazu wurde die Bestandesdichte zu bestimmten Zeitpunkten, hier den Boniturterminen, erfasst um u.a. die Selbstausdünnung im Laufe der Vegetationsperiode zu ermitteln. Wenn nicht anders vermerkt bezieht sich der Parameter Bestandesdichte (BD Ernte) sich im Rahmen dieser Arbeit immer auf die Anzahl der lebenden Pflanzen zum Erntezeitpunkt, dem letzten Boniturtermin der Vegetationsperiode.

##### **Wuchshöhe [cm] und Stängeldurchmesser [mm]**

Für die Ermittlung der Wuchshöhe und des Stängeldurchmessers wurden 14-21 Vegetationsstage nach dem Auflaufen zufällig zehn Pflanzen ausgewählt und markiert. Die Gesamtpflanzenhöhe und damit der Größenzuwachs der Hanfpflanzen wurden jeweils an diesen zehn Pflanzen mit einem handelsüblichen Zollstock erfasst.

Zudem wurde der Stängeldurchmesser an diesen zehn markierten Pflanzen mit einer digitalen Schieblehre gemessen. Bis zu einer Wuchshöhe von 200 cm wurde der Durchmesser auf halber Stängelhöhe erfasst. Danach wurde der Durchmesser in einer Höhe zwischen 140-150 cm, in Anlehnung an den Brusthöhendurchmesser, ermittelt.

### Growing Degree Days (GDD) [°C]

Da das Pflanzenwachstum von der Witterung beeinflusst wird, ist neben der Wasserversorgung auch der Wärmebedarf für die Pflanzenentwicklung von Faserhanf während der Vegetationsperiode für das Erntergebnis zu berücksichtigen. Bei mitteleuropäischen Kulturpflanzen (z. B. Weizen und Raps) fängt aus pflanzenphysiologischen Gründen nennenswertes Pflanzenwachstum erst zwischen 3 °C und 5 °C an (GEISLER 1988). In der vorliegenden Arbeit wurde als Basistemperatur für Hanf nach RANALLI (1999) 0 °C verwendet und auch COSENTINO et al. (2012) nutzt eine Basistemperatur von 1,9 °C für die Ermittlung der Wärmesumme im Hanfanbau. Zur Beschreibung der Standorteignung für den Hanfanbau wurden die erreichten Wärmesummen, hier als *Growing Degree Days* (GDD, RUSSELLE et al. 1984), durch Verwendung der Tagesminima und Tagesmaxima ermittelt.

$$\text{GDD} = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} - \text{TBasis}$$

$T_{\max}$ : tägliches Temperaturmaximum  
 $T_{\min}$ : tägliches Temperaturminimum  
TBasis: Basistemperatur 0°C

Vom Mittel der täglichen Maximal- und Minimaltemperatur ( $T_{\max}$  bzw.  $T_{\min}$ ) wurde die Basistemperatur, hier 0 °C abgezogen. Die so errechneten täglichen Temperatursummen wurden kumulativ für die jeweiligen Vegetationsperioden (Aussaat bis Ernte) zu GDD aufsummiert.

#### 4.3.2 Messungen und Berechnungen nach der Ernte

Die Ernte der Versuchsparzelle erfolgte per Hand. Zunächst wurden die 10 markierten Pflanzen mit Rosenschere ca. 5 cm über dem Boden abgeschnitten und sofort gewogen. Abschließend wurden alle lebenden Pflanzen des Quadratmeters geerntet und das Gesamtgewicht ermittelt.

#### Frische Biomasse [g]

Die Bestimmung der Frischmasse erfolgte auf dem Feld. Dazu wurde das Gewicht aller Pflanzen (der zehn markierten sowie aller übrigen Pflanzen) einer Versuchsparzelle direkt nach der Handernte erfasst.

#### Biomasse (trocken, TM) [kg]

Für die Bestimmung der Trockenmasse wurden je 3 Pflanzen zerkleinert und auf dem Feld gewogen. Anschließend wurde die Probe im Trockenschrank bei 105 °C bis zur Ge-

wichtskonstanz getrocknet, zurück gewogen und die Größe „Biomasse (trocken)“ bestimmt.

### Bereinigter Strohertrag [dt/ha]

Der Parameter wurde aus der frischen Biomasse und der Biomasse (trocken) bezogen auf einen Trockenmasseanteil von 87 % berechnet, da vom Erstverarbeiter nur ein maximaler Feuchtegehalt von 13 % im Erntegut toleriert wurde.

$$\text{Bereinigter Strohertrag} = \frac{mA_{\text{Stroh}}}{A_{\text{Parz}}} * \frac{Z}{87 \%} * 100 \text{ [dt/ha]}$$

A<sub>Parz</sub>: Fläche der Parzelle (m<sup>2</sup>)  
 mA<sub>Stroh</sub>: Masse Stroh der Parzelle (kg)  
 Z: Trockenmasseanteil (%)

### Selbstausdünnung [%]

Das von VAN DER WERF (1994, 1991) beschriebene Phänomen der Selbstausdünnung (*self thinning effect*), gibt den Anteil der im Laufe der Vegetationsperiode abgestorbenen Pflanzen im Verhältnis zur Keimdichte wieder.

$$\text{Ausdünnung} = 100 - \left( \frac{BD}{KD} \right) * 100$$

BD: Bestandesdichte zur Ernte (Pfl/m<sup>2</sup>)  
 KD: Keimdichte (Pfl/m<sup>2</sup>)

### Ertrag je Pflanze [g]

In pflanzenbaulichen Untersuchungen ist es häufig von Interesse, den Einfluss verschiedener Komponenten auf den Ertrag zu quantifizieren. Diese Berechnung soll die Frage klären, inwieweit die Bestandesdichte maßgeblich für einen möglichen Ertragsunterschied verantwortlich ist. Für die Größe „Ertrag je Pflanze“ wurde der Quotient aus bereinigtem Strohertrag und Bestandesdichte (BD Ernte) ermittelt.

$$\text{Ertrag je Pflanze (g)} = \frac{\text{Bereinigter Strohertrag (dt/ha)}}{\text{BD Ernte (Pfl/m}^2\text{)}}$$

Die Untersuchungen zur Analyse des Fasergehalts, Faserertrags und Holzanteils wurden vom Institut für Landtechnik der Universität Bonn durchgeführt. Die mechanische Entholzung zur Bestimmung des Faser- und Schäbengehaltes wurde mit dem Bahmer Labor-

Flachs-Brecher vom Typ Flaksy ermittelt. Zur Entholzung wurde die von HEYLAND & KROMER (1995) beschriebene Methodik und Berechnung der Parameter Fasergehalt, Faserertrag und Holzanteil verwendet.

### **Fasergehalt [%]**

Der Fasergehalt gibt die Menge an technisch nutzbaren Fasern bezogen auf das Stängelgewicht an.

### **Holzanteil [%]**

Das Stängelgewicht abzüglich des Fasergehaltes entspricht dem Holzanteil, der als Schäben bezeichnet wird.

### **Faserertrag [kg/ha]**

Der Faserertrag gibt den theoretischen Gesamtfaserertrag wieder. Er berechnet sich aus Fasergehalt und dem bereinigten Strohertrag.

Faserertrag (kg/ha) = Fasergehalt (%) \* Bereinigter Strohertrag (dt/ha)

## **4.4 Analyse der Stickstoffgehalte**

Diese Analyse gibt Aufschluss über den prozentualen Stickstoffgehalt der Hanfpflanzen in Abhängigkeit von den standortspezifischen Umweltbedingungen und der jeweiligen Behandlung. Es wurden zwei Varianten von Pflanzenproben für die Analyse der Stickstoffgehalte verwendet. Zum einen wurden die gesamten Pflanzen (Blätter, Samen und Stängel) und zum anderen nur die Hanfstängel (ohne Blätter und Samen) getrocknet, vermahlen und untersucht. Die Hanfproben wurden mit dem CHNS Elementaranalysator Euro-EA der Firma HEKAtech GmbH am Institut für Pflanzenernährung der Universität Bonn analysiert.

Zur Bestimmung des Stickstoffanteils in der Pflanze wurden die gemahlene Proben 24 Stunden bei 40 °C im Trockenschrank getrocknet, im Exsikkator ausgekühlt und dann in Zinncups (5 x 9 mm) eingewogen, wobei die Einwaage zwischen 5-6 mg lag. Als Standard zur Ermittlung des Stickstoff- und Kohlenstoffgehaltes diente BBOT (2,5-B(5tbb2yl)-thiophen), dessen definierter Kohlenstoffgehalt mit 72,53 % und Stickstoffgehalt mit 6,51 % angegeben wird. Um die Genauigkeit der Messung zu gewährleisten wurde nach jeder 10.-12. Probe ein Standard mitgeführt und die Proben in zweifacher Wiederholung gemessen. Die Stickstoffgehalte werden bezogen auf die Trockenmasse in Prozent angegeben.

## 4.5 Biometrische Auswertung

Zur Auswertung der pflanzenbaulichen Parameter wurde das Statistik-Programm SAS (Firma: SAS Institute Inc., USA) Version 9.1 verwendet.

Die Auswertungen erfolgten unter Verwendung der SAS-Prozedur GLM (*Generalized Linear Model*). Prüffaktoren waren die Umwelt, Saatstärke und Stickstoffdüngung sowie die Wechselwirkungen zwischen den Prüffaktoren. Als fixer Faktor wurden Umwelt, Saatstärke, Stickstoffdüngung und auch der Jahreseffekt betrachtet. Zudem wurde in der Standardumwelt Dikopshof der Faktor Sorte untersucht. Für die Berechnung der einzelnen Parameter wurde MEANS verwendet, die mit der SAS Prozedur GLM geschätzt wird (SAS Institute Inc., 2003).

Der Verrechnungskern der mehrfaktoriellen Varianzanalyse für den Umwelteinfluss und den Saatstärken- und Stickstoffdüngungsversuch lautet wie folgt:

$$y_{ijkl} = \mu + St_i + S_j + N_k + V_{jahr_l} + ww (St_i * S_j + St_i * N_k + St_i * V_{jahr_l} + S_j * N_k + S_j * V_{jahr_l} + N_k * V_{jahr_l} + St_i * S_j * N_k + St_i * S_j * V_{jahr_l} + S_j * N_k * V_{jahr_l} + V_{jahr_l} * St_i * N_k + St_i * S_j * N_k * V_{jahr_l}) + \text{Fehler}$$

Wobei:

$\mu$	= Allgemeiner Mittelwert	
N	= Effekt der Stickstoffgabe	k = 4
S	= Effekt der Saatstärke	j = 3
St	= Effekt der Umwelt	i = 6
Vjahr	= Effekt des Versuchsjahres	l = 2
ww	= Wechselwirkung	

Für die vergleichende Betrachtung der Prüffaktoren Umwelt, Saatstärke und Stickstoffdüngung wurde für die Ergebnisse des Versuchsjahres 2002 ein orthogonaler Kern gebildet und ausgewertet. Der Verrechnungskern der mehrfaktoriellen Varianzanalyse für diese Betrachtung lautet wie folgt:

$$y_{ijk} = \mu + St_i + S_j + N_k + ww (St_i * S_j + St_i * N_k + S_j * N_k + St_i * S_j * N_k) + \text{Fehler}$$

Wobei:

$\mu$	= Allgemeiner Mittelwert	
N	= Effekt der Stickstoffgabe	k = 2
S	= Effekt der Saatstärke	j = 2
St	= Effekt der Umwelt	i = 5-6

ww = Wechselwirkung

Der Verrechnungskern der zweifaktoriellen Varianzanalyse für den Sortenversuch lautet wie folgt:

$$y_{lm} = \mu + V_{\text{jahr}_l} + S_{o_m} + ww (S_{o_m} * V_{\text{jahr}_l}) + \text{Fehler}$$

Wobei:

$\mu$  = Allgemeiner Mittelwert

So = Effekt der Sorte  $m = 4-6$

Vjahr = Effekt des Versuchsjahres  $l = 2$

ww = Wechselwirkung

Die Signifikanzniveaus werden wie folgt angegeben:

Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha \leq 0,05$  = signifikant (\*)

Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha \leq 0,01$  = hoch signifikant (\*\*)

Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha \leq 0,001$  = sehr hoch signifikant (\*\*\*)

Zur Überprüfung der Normalverteilung wurde der Shapiro-Wilk-Test verwendet. Unterschiede zwischen den einzelnen Prüffaktoren und Faktorstufen der Prüffaktoren wurden mit Hilfe des multiplen Mittelwertvergleichs nach Tukey-Kramer berechnet. Die Kennzeichnung signifikanter Unterschiede für die Mittelwertvergleiche erfolgt bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha \leq 0,05$  mittels verschiedener Buchstaben. Die Korrelationskoeffizienten wurden nach Pearson berechnet.

Soweit signifikante Wechselwirkungen zwischen den Prüffaktoren auftreten, wurden diese kenntlich gemacht.

## 5 Ergebnisse

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde die Einflussnahme verschiedener agronomischer Maßnahmen auf die Bestandes- und Ertragsentwicklung von Faserhanf (*Cannabis sativa* L.) untersucht. Hierzu wurden unter Versuchsbedingungen in der Standardumwelt Dikopshof in der Köln-Aachener Bucht und an fünf (2002) bzw. vier (2003) Standorten in OWL unter Praxisbedingungen zweijährige Versuche mit der in Deutschland meistangebauten Hanfsorte **Fedora 17** durchgeführt. Nachfolgend werden Einflüsse der standortspezifischen Umweltvariabilität, der Saatstärke und der Stickstoffdüngung besprochen. Ergänzend wurden unter Versuchsbedingungen auf dem Dikopshof (2003 und 2004) verschiedene Hanfsorten angebaut, um den Einfluss des Faktors Sorte zu überprüfen. Die Ergebnisse dieser Versuche werden in den nachfolgenden Kapiteln dargestellt.

### 5.1 Standardumwelt Dikopshof

Zur ersten Charakterisierung der Umwelt wurden die erzielten Ergebnisse der ertragsbestimmenden Merkmale unabhängig von den Versuchsfaktoren, den pflanzenbaulichen Maßnahmen und den Versuchsjahren, gemittelt. Dies gibt Aufschluss, inwieweit sich der Standort für den Hanfanbau im Allgemeinen eignet. Des Weiteren sind die Ergebnisse für die einzelnen Versuchsjahre sowie die Umweltbedingungen des Prüfzeitraums für den Saatstärken- und Stickstoffdüngungsversuch dargestellt.

#### 5.1.1 Bestandesentwicklung

Der Feldaufgang erreicht im Mittel über zwei Versuchsjahre 76,2 %. Die Bestandesdichte wird, neben dem Feldaufgang, vom Phänomen der Selbstausdünnung (*self thinning effect*), d. h. der natürlichen Reduktion der Pflanzenanzahl im Laufe der Vegetationsperiode (Kapitel 2.5.1) beeinflusst. Wie in Tabelle 5-1 abzulesen, beträgt die Ausdünnung im Mittel 14,9 %. In der Folge konnten im Mittel 105 Pfl/m<sup>2</sup> geerntet werden. Obwohl dieses hinter dem erwarteten Zielwert von 162 kK/m<sup>2</sup> – dem Mittelwert der eingesetzten Saatstärken entsprechend – zurückbleibt, wird ein Strohertrag von 156 dt/ha mit einem Fasergehalt von 35,4 % erzielt.

##### 5.1.1.1 Einfluss des Jahres auf die Bestandesentwicklung

Die Betrachtung der Versuchsjahre, gemittelt über die Saatstärken- und Stickstoffdüngungsstufen, liefert ein differenzierteres Bild. In den jeweiligen Versuchsjahren liefen Pflanzen mit Aufgangsraten von 67,3 % bis 85,2 % auf (Tabelle 5-1). Zudem wird deutlich, dass die Versuchsjahre, außer für den Stängeldurchmesser, signifikante Unterschiede für alle ertragsbestimmenden Parameter aufweisen.



**VA-Tabelle 1: Prüfglieder in Abhängigkeit vom Versuchsjahr auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, Jahr = Versuchsjahr.

JAHR							
	Feldaufgang (%)	BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> )	Ausdünnung (%)	Stängeldurchmesser (mm)	Wuchshöhe (cm)	Strohertrag (dt/ha)	Fasergehalt (%)
FG	1	1	1	1	1	1	1
MQ	10710.5064	68107.5543	0.39699	2.1637645	11824.51786	1832.30774	7789.801735
F	43.07	343.24	0.01	1.30	10.73	7.92	2314.56
p-Wert	<.0001	<.0001	0.9188	0.2547	0.0011	0.0050	<.0001

**Tabelle 5-1: Darstellung der im Mittel (MEANS über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen) erreichten Ergebnisse der ertragsbestimmenden Parameter und der Witterungsbedingungen für die Versuchsjahre 2002 und 2003 sowie die Mittelwerte über alle Faktoren (MEANS über 3 Saatstärken, 4 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) auf dem Dikopshof.** Signifikante Unterschiede für einzelne Merkmale zwischen den Versuchsjahren sind nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet. BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, GDD = *Growing Degree Days* (°C).

VERSUCHSJAHR	FELDAUFGANG (%)	BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> )	AUSDÜNNUNG (%)	STÄNGELDURCHMESSER (mm)	WUCHSHÖHE (cm)	STROHERTRAG (dt/ha)	FASERGEHALT (%)	GDD (°C)	NIEDERSCHLAG (l/m <sup>2</sup> )
2002	67,3 b	98 b	10,1 b	6,56 a	225 a	149 a	43,53 a	1619 a	150,3 b
2003	85,2 a	120 a	13,1 a	6,54 a	218 b	146 b	30,24 b	1583 b	172,1 a
Mittel	76,2	105	14,9	6,65	224	156	35,4	1601	161,2

Des Weiteren unterscheiden sich die Witterungsbedingungen am Standort Dikopshof, bewertet anhand von GDD und Niederschlagsmenge für die Zeit von Aussaat bis zur Ernte signifikant zwischen den Versuchsjahren (Abbildung 4-2 und Abbildung 4-3, S. 21ff).

### 5.1.2 Einfluss der Saatstärke

Die Wahl der Saatstärke ist für den Landwirt sowohl aus ökonomischer und arbeitstechnischer Sicht, als auch für den Erstverarbeiter hinsichtlich der zu erwartenden Qualität ein entscheidender Faktor. Die ausgewählte Saatstärke hat einen Einfluss auf die ertragsbestimmenden Parameter und ist dem Verwendungszweck anzupassen. Als Maß zur Bewertung der agronomischen Maßnahmen kann zudem die Selbstaudünnung genutzt werden.

In der Standardumwelt Dikopshof ist es durch eine zusätzliche Variation des Faktors Saatstärke möglich die Auswirkungen dieser pflanzenbaulichen Maßnahme, wie in Kapitel 4.2.1 beschrieben, genauer auf die Leistung der ertragsbestimmenden Parameter zu untersuchen.

**VA-Tabelle 2: Prüfglieder in Abhängigkeit von der Saatstärke auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, Jahr = Versuchsjahr.

SAATSTÄRKE							
	Feldaufgang (%)	BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> )	Ausdünnung (%)	Stängeldurchmesser (mm)	Wuchshöhe (cm)	Strohertrag (dt/ha)	Fasergehalt (%)
FG	2	2	2	2	2	2	2
MQ	11.759152	143123.792	2912.64926	40.6927044	10632.8070	3329.97380	6.886000
F	0.13	747.53	107.33	24.36	9,67	16.82	2.56
p-Wert	0.8826	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0789

In Tabelle 5-2 ist der Einfluss der Saatstärke auf die Bestandes- und Ertragsentwicklung im Mittel über die Versuchsjahre wiedergegeben.

**Tabelle 5-2: Darstellung der im Mittel (MEANS über 4 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) erreichten Ergebnisse der ertragsbestimmenden Parameter in Abhängigkeit von der Saatstärke sowie der Mittelwerte über alle Faktoren (MEANS über 3 Saatstärken, 4 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) auf dem Dikopshof.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das Merkmal zwischen den untersuchten Saatstärken. BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, kK = keimfähige Körner.

SAATSTÄRKE (kK/m <sup>2</sup> )	FELDAUFGANG (%)			BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> )			AUSDÜNNUNG (%)			STÄNGEL-DURCHMESSER (mm)			WUCHSHÖHE (cm)			STROHERTRAG (dt/ha)			FASERGEHALT (%)		
108	77,49	a	82	c	7,78	c	7,11	a	230	a	153	a	31,3	b							
162	77,23	a	113	b	11,68	b	6,34	b	217	b	145	b	29,9	c							
216	77,29	a	138	a	16,59	a	6,15	b	214	b	144	b	34,5	a							
Mittel	77,34		111		12,02		6,55		221		147		32,5								

Es konnten statistisch keine Unterschiede beim Feldaufgang für die unterschiedlichen Saatstärken nachgewiesen werden. Demgegenüber weisen sowohl die Bestandesdichte (BD Ernte), als auch die im Laufe der Vegetationsperiode resultierende Ausdünnung signifikante Unterschiede zwischen den eingesetzten Saatstärken auf.

Die Parameter Stängeldurchmesser, Wuchshöhe und Strohertrag weisen zwischen den Saatstärken 162 kK/m<sup>2</sup> und 216 kK/m<sup>2</sup> keine signifikanten Unterschiede auf. Allerdings folgen die Werte dieser Parameter dem gleichen Trend: Mit Zunahme der Saatstärke zeigt sich ein tendenzieller Rückgang. Ein signifikanter Unterschied tritt nur zur niedrigsten Saatstärke hin auf. Trotz des signifikant höchsten Strohertrags bei 108 kK/m<sup>2</sup>, wird der signifikant höchste Fasergehalt bei 216 kK/m<sup>2</sup> erzielt. Dieses Ergebnis zeigt, dass für eine Erhöhung der Saatstärke der Verwendungszweck und damit die wertbestimmenden Eigenschaften (Strohertrag und Fasergehalt) zu berücksichtigen sind.

### 5.1.3 Einfluss des Jahres auf die Wirkung der Saatstärke

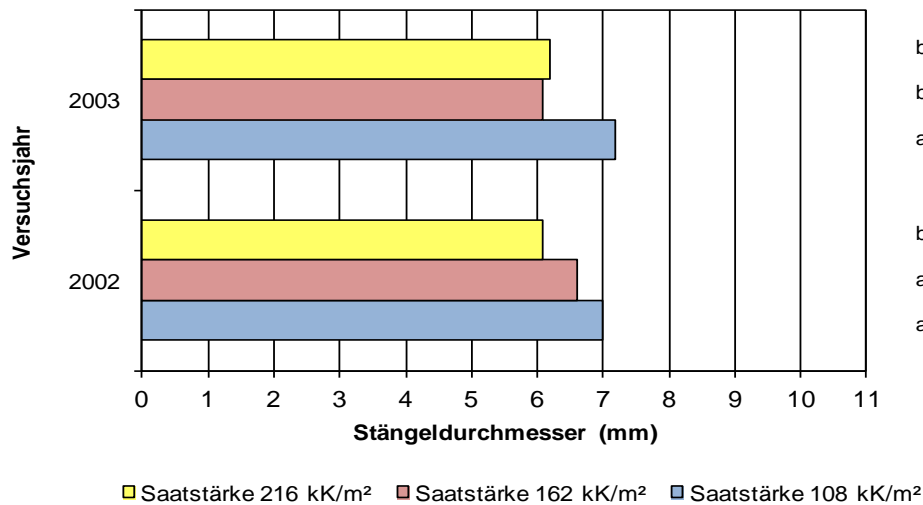
Zur Überprüfung des Jahreseffektes werden die ertragsbestimmenden Parameter Stängeldurchmesser (Abbildung 5-1), Wuchshöhe (Abbildung 5-2) und Strohertrag (Abbildung 5-3) für die Standardumwelt Dikopshof nach Versuchsjahren getrennt dargestellt.

**VA-Tabelle 3: Prüfglieder in Abhängigkeit von der Saatstärke auf dem Dikopshof für das Versuchsjahr 2002 (Ergebnisse über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen).**  
 FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Ngabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke.

SAATSTÄRKE				
Varianzursache Saat				
	Stängeldurchmesser (mm)	Wuchshöhe (cm)	Strohertrag (dt/ha)	Fasergehalt (%)
FG	2	2	2	1
MQ	17.29106375	3699.90417	257.67322	17.360643
F	11.22	5.03	1.16	2.30
p-Wert	<.0001	0.0073	0.3155	0.1342
Varianzursache Ngabe				
FG	3	3	3	2
MQ	17.31432153	6491.43750	4885.88171	2153.233396
F	11.23	8.83	21.98	285.25
p-Wert	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Varianzursache Saat*Ngabe				
FG	6	6	6	1
MQ	0.80996653	745.48750	4374.55467	165.680643
F	0.53	1.01	19.68	21.95
p-Wert	0.7888	0.4170	<.0001	<.0001

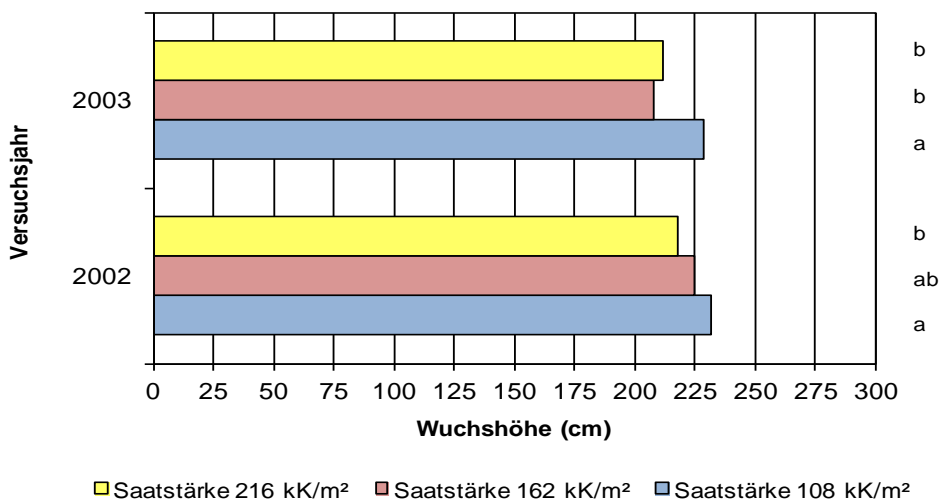
**VA-Tabelle 4: Prüfglieder in Abhängigkeit von der Saatstärke auf dem Dikopshof für das Versuchsjahr 2003 (Ergebnisse über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen).**  
 FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Ngabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke.

SAATSTÄRKE				
Varianzursache Saat				
	Stängeldurchmesser (mm)	Wuchshöhe (cm)	Strohertrag (dt/ha)	Fasergehalt (%)
FG	2	2	2	2
MQ	29.06235637	9040.47715	6696.53941	34.8361963
F	16.53	6.71	36.87	19.79
p-Wert	<.0001	0.0014	<.0001	<.0001
Varianzursache Ngabe				
FG	3	3	3	3
MQ	26.97449687	14028.29687	5329.85291	16.3131565
F	15.34	10.42	29.35	9.27
p-Wert	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Varianzursache Saat*Ngabe				
FG	6	6	6	6
MQ	2.17227620	1435.06029	2467.73998	29.9880559
F	1.24	1.07	13.59	17.03
p-Wert	0.2874	0.3829	<.0001	<.0001



**Abbildung 5-1: Stängeldurchmesser (mm; MEANS über 4 Stickstoffstufen) im Jahresvergleich in Abhängigkeit von der Saatstärke für den Standort Dikopshof.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das Merkmal zwischen den untersuchten Saatstärken des jeweiligen Versuchsjahres. kK = keimfähige Körner.

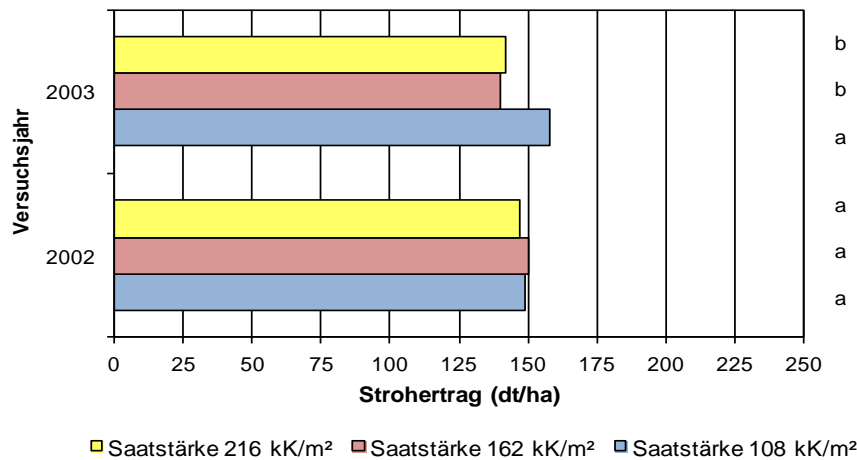
In beiden Versuchsjahren wird ermittelt, dass sich die dicksten Stängel bei den geringeren Saatstärken ausbilden. Die Stängeldurchmesser sind bei einer Saatstärke von 108 kK/m<sup>2</sup> signifikant verschieden zu denen der höchsten Saatstärke.



**Abbildung 5-2: Wuchshöhe (cm; MEANS über 4 Stickstoffstufen) im Jahresvergleich in Abhängigkeit von der Saatstärke für den Standort Dikopshof.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das Merkmal zwischen den untersuchten Saatstärken des jeweiligen Versuchsjahres. kK = keimfähige Körner.

Das Höhenwachstum der Hanfpflanzen wird, wie zuvor beschrieben, auch in der differenzierteren Abstufung der Saatstärke weniger ausgeprägt von dieser pflanzenbaulichen Maßnahme beeinflusst (Abbildung 5-2) als der Stängeldurchmesser. Jedoch werden ent-

sprechend des Stängeldurchmessers auch die signifikant größten Wuchshöhen bei niedriger Saatstärke nachgewiesen.



**Abbildung 5-3: Stroherträge (dt/ha; MEANS über 4 Stickstoffstufen) im Jahresvergleich in Abhängigkeit von der Saatstärke für den Standort Dikopshof.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das Merkmal zwischen den untersuchten Saatstärken des jeweiligen Versuchsjahres. kK = keimfähige Körner.

Für den Strohertrag (Abbildung 5-3) werden im Versuchsjahr 2002 keine signifikanten Unterschiede zwischen den ausgebrachten Saatstärken ermittelt. Im Vergleich der Saatstärken unterscheidet sich der Fasergehalt signifikant zwischen der höchsten und niedrigsten Saatstärke in beiden Versuchsjahren. Allerdings liefert der signifikant höchste Strohertrag im Jahr 2003 bei einer Saatstärke von 108 kK/m² nicht die höchsten Fasergehalte. Die höchste Faserausbeute wird in beiden Versuchsjahren bei einer Saatstärke von 216 kK/m² erzielt. Jedoch unterscheiden sich die absoluten Fasergehalte zwischen den Versuchsjahren (2002: 44,7 %; 2003: 30,9 %) um mehr als 10 %.

### 5.1.4 Einfluss der Stickstoffdüngung

Die Entwicklung der Hanfpflanzen wird im Verlauf der Vegetationsperiode sowohl von den standortspezifischen Bedingungen als auch durch die agronomischen Maßnahmen beeinflusst. Die Stickstoffdüngung erfolgte an allen Standorten jeweils in einer Applikation nach dem Auflaufen des Bestandes. Die Analyse der Auswirkungen der Stickstoffdüngung auf die ertragsbestimmenden Parameter ist im Folgenden dargestellt.

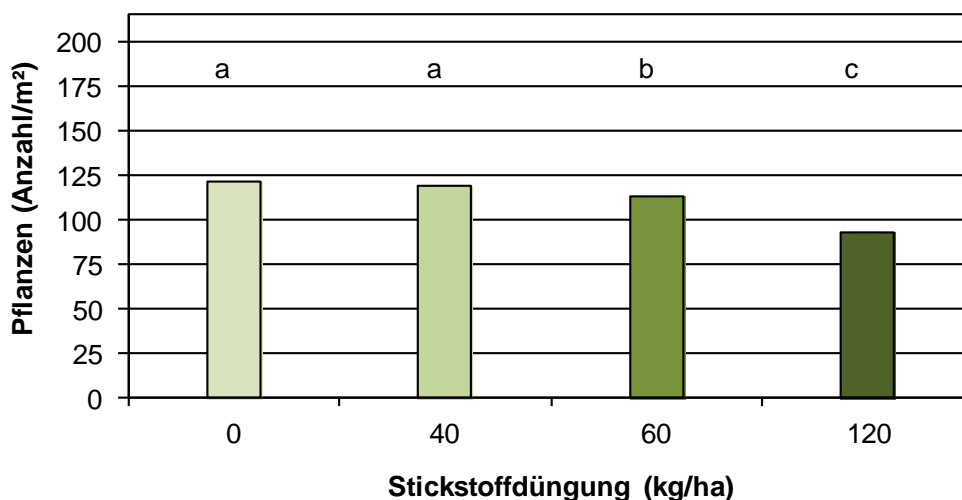
Da es sich bei der Standardumwelt Dikopshof um die Lehr- und Forschungsstation des Institutes INRES der Universität Bonn handelt, war eine weitere Differenzierung der Stickstoffgaben (0, 40, 60 & 120 kg/ha), anders als auf den landwirtschaftlichen Betrieben in OWL, möglich. Für die Stickstoffdüngung wurde KAS (Kapitel 4.2.1) verwendet. In den fol-

genden Abbildungen sind die Beziehungen zwischen den applizierten Stickstoffgaben und den ertragsbestimmenden Parametern wiedergegeben.

**VA-Tabelle 5: Bestandesdichte (Pfl/m<sup>2</sup>) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, Jahr = Versuchsjahr, Ngabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke.

BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> ) Varianzursache	FG	MQ	F	p-Wert
Ngabe	3	18423.8859	96.23	<.0001
Saat	2	143123.7924	747.53	<.0001
Jahr	1	68752.5562	359.09	<.0001
Ngabe*Saat	6	5620.3122	29.35	<.0001
Ngabe*Jahr	3	1498.5307	7.83	<.0001
Saat*Jahr	4	402.6344	2.10	0.1231
Ngabe*Saat*Jahr	6	855.3300	4.47	0.0002
Fehler	566	191.4635		

Für die Bestandesdichte (BD Ernte, Abbildung 5-4) konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Düngungsstufen 0 kg/ha und 40 kg/ha nachgewiesen werden.



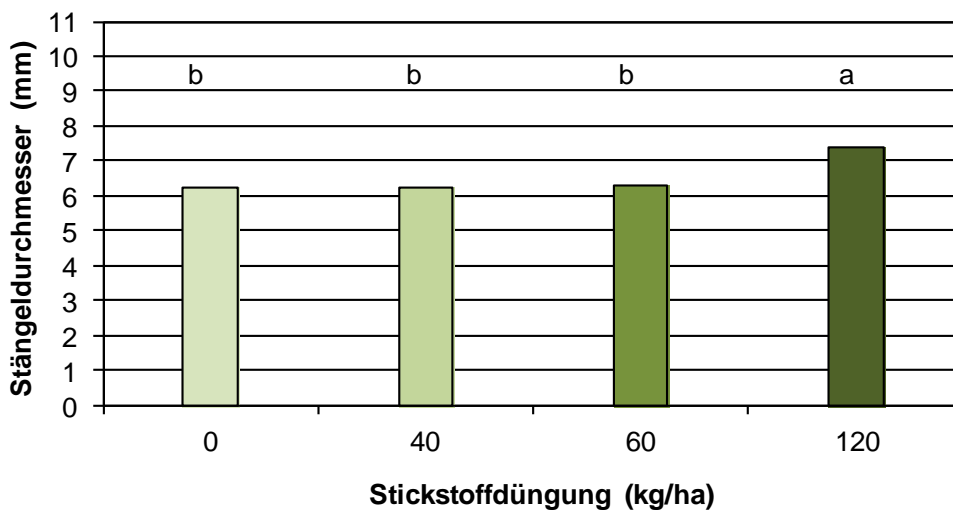
**Abbildung 5-4: Bestandesdichte (Pfl/m<sup>2</sup>; MEANS über 3 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung für den Standort Dikopshof.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das Merkmal zwischen den untersuchten Stickstoffdüngungen.

Der mit steigender Stickstoffgabe laut Literatur zu erwartende Effekt der Selbstaussdünnung trägt zu signifikant unterschiedlichen Bestandesdichten (BD Ernte) ab einer Stickstoffgabe von 60 kg/ha bei. Ein Anstieg des Stickstoffangebotes auf 120 kg/ha führt zu einer weiteren signifikanten Abnahme der Bestandesdichte (BD Ernte); auch hier unterscheidet sich die Pflanzenanzahl signifikant von allen anderen applizierten Stickstoffgaben. Die Selbstaussdünnung beträgt entsprechend mit steigender Stickstoffgabe (0, 40, 60 und 120 kg/ha) 5,2 %, 10,3 %, 12,2 % und 22,3 %.

Die Ergebnisse der ertragsbestimmenden Parameter Stängeldurchmesser (Abbildung 5-5) und Wuchshöhe (Abbildung 5-6) folgen in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung demselben Trend und nehmen mit höherer Düngergabe zu.

**VA-Tabelle 6: Stängeldurchmesser (mm) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr, Ngabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke.

Stängeldurchmesser (mm) Varianzursache	FG	MQ	F	p-Wert
Ngabe	3	41.7921558	25.02	<.0001
Saat	2	40.6927044	24.36	<.0001
Jahr	1	2.6476088	1.58	0.2086
Ngabe*Saat	6	1.8168023	1.09	0.3685
Ngabe*Jahr	3	1.5420496	0.92	0.4293
Saat*Jahr	4	4.6430313	2.78	0.0629
Ngabe*Saat*Jahr	6	1.0614569	0.64	0.7020
Fehler	565	1.670680		

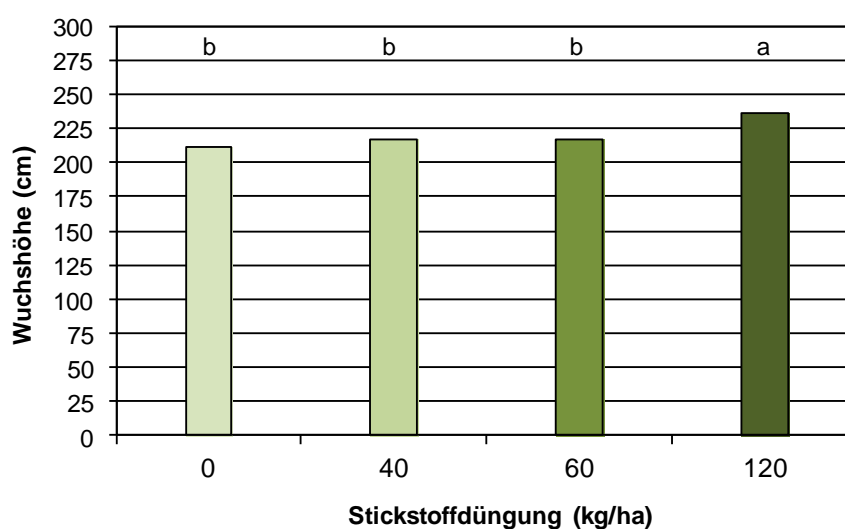


**Abbildung 5-5: Stängeldurchmesser (mm; MEANS über 3 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung für den Standort Dikopshof.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das Merkmal zwischen den untersuchten Stickstoffdüngungen.

Ein signifikanter Unterschied für die Parameter Stängeldurchmesser und Wuchshöhe tritt nur bei einer Stickstoffgabe von 120 kg/ha auf. Für die niedrigeren Stickstoffgaben können für diese Parameter keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

**VA-Tabelle 7: Wuchshöhe (cm) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr, Ngabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke.

Wuchshöhe (cm) Varianzursache	FG	MQ	F	p-Wert
Ngabe	3	15105.01595	13.73	<.0001
Saat	2	0.3130	9.67	<.0001
Jahr	1	12028.61080	10.94	0.0010
Ngabe*Saat	6	928.69789	0.84	0.5360
Ngabe*Jahr	3	4755.56828	4.32	0.0050
Saat*Jahr	2	1631.48844	1.48	0.2278
Ngabe*Saat*Jahr	6	1302.55183	1.18	0.3130
Fehler	565	1099.9811		



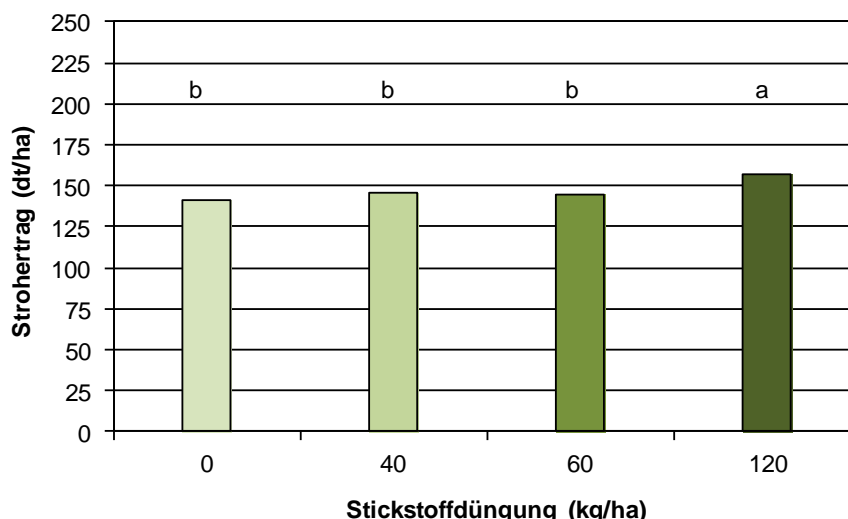
**Abbildung 5-6: Wuchshöhe (cm; MEANS über 3 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung für den Standort Dikopshof.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das Merkmal zwischen den untersuchten Stickstoffdüngungen.

Auch der signifikant höchste Strohertrag wird bei einer Stickstoffgabe von 120 kg/ha ausgebildet (Abbildung 5-7).

**VA-Tabelle 8: Strohertrag (dt/ha) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr, Ngabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke.

Strohertrag (dt/ha) Varianzursache	FG	MQ	F	p-Wert
Ngabe	3	8134.80435	41.09	<.0001
Saat	2	3329.97380	16.82	<.0001
Jahr	1	1782.65043	9.00	0.0028
Ngabe*Saat	6	4337.83676	21.91	<.0001
Ngabe*Jahr	3	2399.01432	12.12	<.0001
Saat*Jahr	2	2756.16080	13.92	<.0001
Ngabe*Saat*Jahr	6	3370.23297	17.02	<.0001
Fehler	566	197.9839		





**Abbildung 5-7:** Strohertrag (dt/ha; MEANS über 3 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung für den Standort Dikopshof. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das Merkmal zwischen den untersuchten Stickstoffdüngungen.

Das Ergebnis des Fasergehalts folgt nicht dem zuvor beschriebenen Trend (Tabelle 5-3, VA-Tabelle 9) und steigt mit zunehmender Stickstoffdüngung an.

**VA-Tabelle 9:** Fasergehalt (%) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen). FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr, Ngabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke.

Fasergehalt (%) Varianzursache	FG	MQ	F	p-Wert
Ngabe	3	635.578796	235.90	<.0001
Saat	2	6.886000	2.56	0.0789
Jahr	1	7662.484119	2844.03	<.0001
Ngabe*Saat	6	16.667131	6.19	<.0001
Ngabe*Jahr	3	1353.563803	502.39	<.0001
Saat*Jahr	2	33.269158	12.35	0.0005
Ngabe*Saat*Jahr	6	273.909234	101.66	<.0001
Fehler	403	2.69423		

**Tabelle 5-3:** Fasergehalt (%; MEANS über 3 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung für den Standort Dikopshof. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das Merkmal zwischen den untersuchten Stickstoffdüngungen.

STICKSTOFFGABE (kg/ha)	FASERGEHALT (%)
0	32,2 b
40	29,9 c
60	36,0 a
120	31,8 b

Der höchste Fasergehalt (36,0 %) wird bei einer Stickstoffgabe von 60 kg/ha und der niedrigste bei 40 kg/ha ermittelt. Für die Fasergehalte der nicht gedüngten Variante und die der höchsten Düngungsstufe können keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Zur weiteren Darstellung der Beziehung zwischen den erhobenen Merkmalen werden die entsprechenden Korrelationskoeffizienten je Stickstoffgabe berechnet (Tabelle 9-2 bis Tabelle 9-5, S. 164ff). Auffällig sind die hoch signifikanten, schwach negativen Korrelationen zwischen Bestandesdichte (BD Ernte) und Stängeldurchmesser sowie zwischen Bestandesdichte (BD Ernte) und Wuchshöhe. Auch werden für alle Stickstoffvarianten straffe, hoch signifikante Korrelationen zwischen Stängeldurchmesser und Wuchshöhe ermittelt (Tabelle 5-4).

**Tabelle 5-4: Korrelationskoeffizienten des Stickstoffdüngungsversuchs für den Standort Dikopshof zwischen den Mittelwerten (MEANS über 3 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) der ertragsbestimmenden Parameter Stängeldurchmesser (mm) und Wuchshöhe (cm).** Eine hoch signifikante Korrelation (\*\*\*) liegt bei  $\alpha \leq 0,001$  vor.

STICKSTOFFGABE		0 kg/ha	40 kg/ha	60 kg/ha	120 kg/ha
<b>Korrelation zwischen Stängeldurchmesser und Wuchshöhe</b>	<b>R =</b>	0,77603***	0,73504***	0,72684***	0,85561***

Neben der Bewertung des Strohertrags wird eine weitere Form der Auswertung mit dem berechneten Wert „Ertrag je Pflanze“ erreicht (Tabelle 5-5). Hierzu wurde der Quotient aus dem Strohertrag und der Anzahl der geernteten Pflanzen (BD Ernte) ermittelt. Dieser Wert verdeutlicht die Leistung der einzelnen Hanfpflanze am erzielten Strohertrag.

**Tabelle 5-5: Mittelwerte (MEANS über 3 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) der erreichten Ergebnisse für die ertragsbestimmenden Parameter BD Ernte (Pfl/m<sup>2</sup>) und Strohertrag (dt/ha) für den Standort Dikopshof in Bezug zur Stickstoffdüngung und der Ertragsleistung je Pflanze (g) sowie die Darstellung der Gewichtung dieses Parameters.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das Merkmal zwischen den untersuchten Stickstoffdüngungen (Abbildung 5-4 und Abbildung 5-7). BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte.

STICKSTOFFGABE (kg/ha)	BD ERNTE (Pfl/m <sup>2</sup> )		STROHERTRAG (dt/ha)		ERTRAG je PFLANZE (g)	RANGFOLGE „Ertrag je Pflanze“
0	121	a	141	b	11,7	4
40	119	a	146	b	12,3	3
60	113	b	145	b	12,8	2
120	92	c	157	a	17,1	1

Obwohl für die Stroherträge der Stickstoffvarianten 0 kg/ha, 40 kg/ha und 60 kg/ha keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden (Abbildung 5-7), liefert die Darstellung der Ertragsleistung je Pflanze ein differenzierteres Bild. Die Bewertung anhand des be-

rechneten Strohertrags als „Ertrag je Pflanze“ folgt der Erhöhung der Nährstoffgabe, d. h. den geringsten Einfluss hat das Leistungspotenzial der Einzelpflanze ohne zusätzliche Stickstoffgabe und die größte Ertragsleistung je Pflanze für den Strohertrag wird bei einer Stickstoffgabe von 120 kg/ha erzielt.

### 5.1.5 Einfluss des Jahres auf die Wirkung der Stickstoffgabe

In Tabelle 5-6 sind die signifikanten Unterschiede zwischen den Stickstoffdüngungen für die ertragsbestimmenden Parameter in Abhängigkeit vom Jahreseinfluss wiedergegeben.

**Tabelle 5-6: Darstellung der Signifikanzen für die Mittelwerte (MEANS über 3 Saatstärken) der ertragsbestimmenden Parameter im Jahresvergleich in Abhängigkeit von der Stickstoffgabe sowie die Mittelwerte über alle Faktoren (MEANS über 3 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) für den Standort Dikopshof.** Ein signifikanter Unterschied innerhalb eines Versuchsjahres zwischen den Stickstoffstufen liegt für das jeweilige Merkmal nach dem multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  vor, wenn sich die Buchstaben unterscheiden.  
Die grau unterlegten Spalten zeigen das Ergebnis für den Vergleich der ertragsbestimmenden Parameter je Stickstoffstufe zwischen den Versuchsjahren 2002 und 2003. Die Signifikanzniveaus entsprechen  $\alpha > 0,05$  = nicht signifikant (ns),  $\alpha \leq 0,05$  = signifikant (\*),  $\alpha \leq 0,01$  = hoch signifikant (\*\*),  $\alpha \leq 0,001$  = sehr hoch signifikant (\*\*\*). Für den Fasergehalt liegen die Ergebnisse für die Stickstoffgabe 40 kg/ha nicht vor und sind mit „-“ gekennzeichnet. BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte.

STICKSTOFF- GABE (kg/ha)	FELDAUFGANG (%)			BD ERNTE (Pfl/m <sup>2</sup> )			AUSDÜNNUNG (%)			STÄNGEL- DURCHMESSER (mm)			WUCHSHÖHE (cm)			STROHERTRAG (dt/ha)			FASERGEHALT (%)		
	2002	2003	Jahr	2002	2003	Jahr	2002	2003	Jahr	2002	2003	Jahr	2002	2003	Jahr	2002	2003	Jahr	2002	2003	Jahr
0	ns	bc	***	a	a	***	c	c	ns	b	b	ns	b	b	ns	c	b	***	b	ab	***
40	ns	a	***	a	a	***	b	b	***	b	b	ns	a	b	***	ba	b	***	-	a	-
60	ns	b	***	a	b	***	a	b	***	b	b	ns	a	b	***	b	b	***	c	a	***
120	ns	c	***	b	c	***	a	a	***	a	a	ns	a	a	ns	a	a	ns	a	b	***

Die Differenzierung der Stickstoffdüngung führt nicht zu einem einheitlichen Ergebnis. Die Bestandesdichten (BD Ernte) der nicht gedüngten und der mit 40 kg/ha Stickstoff gedüngten Variante weisen keine signifikanten Unterschiede in den einzelnen Versuchsjahren auf. Nur die höchste Düngungsstufe unterscheidet sich für die Bestandesdichte (BD Ernte) signifikant in beiden Versuchsjahren von allen anderen applizierten Stickstoffgaben. Dieses Ergebnis wird auch für den Stängeldurchmesser ermittelt, denn nur bei einer Stickstoffgabe von 120 kg/ha werden signifikant dickere Stängel ausgebildet.

Weiter ist festzuhalten, dass der Effekt des Jahres für die Parameter Feldaufgang, Ausdünnung (mit Ausnahme der nicht gedüngten Variante) und Bestandesdichte (BD Ernte) zu hoch signifikanten Unterschieden führt.

### 5.1.5.1 Stickstoffgehalte der Hanfpflanzen

Die Stickstoffgehalte wurden zum Zeitpunkt der Ernte zum einen für die Hanfstängel (Tabelle 5-7, ohne Blätter und Samen) und zusätzlich für die gesamte Hanfpflanze (Tabelle 5-9, mit Blätter und Samen), wie in Kapitel 3.5 beschrieben, ermittelt.

**VA-Tabelle 10: Stickstoffgehalt im Hanfstängel (%) auf dem Dikopshof (Ergebnis einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr, Ngabe = Stickstoffgabe, N-Gehalt = Stickstoffgehalt, Saat = Saatstärke.

Mittelwert über Versuchsjahre N-Gehalt im Hanfstängel (%) Varianzursache	FG	MQ	F	p-Wert
Ngabe	3	1.21567778	583.12	<.0001
Saat	2	0.05179771	24.85	<.0001
Jahr	1	0.35100083	168.36	<.0001
Ngabe*Saat	6	0.06215049	29.81	<.0001
Ngabe*Jahr	3	0.16112083	77.28	<.0001
Saat*Jahr	2	0.05670396	27.20	<.0001
Ngabe*Saat*Jahr	6	0.07794229	37.39	<.0001
Fehler	456	0.00208478		

**VA-Tabelle 11: Stickstoffgehalt in der Hanfpflanze (%) auf dem Dikopshof (Ergebnis einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr, Ngabe = Stickstoffgabe, N-Gehalt = Stickstoffgehalt, Saat = Saatstärke.

Mittelwert über Versuchsjahre N-Gehalt der Hanfpflanze (%) Varianzursache	FG	MQ	F	p-Wert
Ngabe	3	3.37384676	187.56	<.0001
Saat	2	0.07815077	4.34	0.0135
Jahr	1	3.50423360	194.81	<.0001
Ngabe*Saat	6	0.32063245	17.82	<.0001
Ngabe*Jahr	3	0.30866123	17.16	<.0001
Saat*Jahr	2	0.00008629	0.00	0.9952
Ngabe*Saat*Jahr	6	0.19943931	11.09	<.0001
Fehler	496	0.01798780		

Die Stickstoffgehalte in den Hanfstängeln (Tabelle 5-7) nehmen entsprechend der applizierten Düngungsstufe zu. Allerdings werden für die Stickstoffdüngung von 40 kg/ha und 60 kg/ha keine signifikanten Unterschiede ermittelt. Zudem wird kein Jahreseffekt für die Stickstoffgehalte in den Hanfstängeln beobachtet.

**Tabelle 5-7: Stickstoffgehalte in den Hanfstängeln (%; MEANS über 3 Saatstärken) für die Versuchsjahre 2002 und 2003 sowie der Mittelwert über alle Faktoren (MEANS über 3 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) für den Standort Dikopshof in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das untersuchte Merkmal innerhalb des jeweiligen Versuchsjahres.

STICKSTOFFGABE (kg/ha)	JAHR					
	2002		2003		Mittelwert	
0	0,34	c	0,33	c	0,34	c
40	0,37	b	0,34	cb	0,36	b
60	0,37	b	0,36	b	0,36	b
120	0,63	a	0,47	a	0,55	a

Die Korrelationskoeffizienten der Stickstoffgehalte im Hanfstängel und verschiedenen ertragsbestimmenden Parametern sind in Tabelle 5-8 wiedergegeben. Auffällig ist die lockere aber hoch signifikante negative Beziehung des Stickstoffgehaltes im Hanfstängel und der Bestandesdichte (BD Ernte) für drei der vier untersuchten Düngungsvarianten.

**Tabelle 5-8: Korrelationskoeffizienten zwischen dem Mittelwert (MEANS über 3 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) des Stickstoffgehalts im Hanfstängel (%; N-Gehalt im Stängel) und verschiedenen ertragsbestimmenden Parametern in Abhängigkeit von der Stickstoffgabe für den Standort Dikopshof.** Die Signifikanzniveaus entsprechen  $\alpha > 0,05$  = nicht signifikant,  $\alpha \leq 0,05$  = signifikant (\*),  $\alpha \leq 0,01$  = hoch signifikant (\*\*),  $\alpha \leq 0,001$  = sehr hoch signifikant (\*\*\*). BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, N = Stickstoff.

STICKSTOFFGABE (kg/ha)		N-GEHALT HANFPFLANZE (%)	BD ERNTE (Pfl/m <sup>2</sup> )	STÄNGELDURCHMESSER (mm)	WUCHSHÖHE (cm)	STROHERTRAG (dt/ha)
0	N-GEHALT IM STÄNGEL (%)	0,24281**	- 0,54681***	0,03140	0,21087*	0,26826**
40		0,37228***	0,07044	- 0,00805	0,14206	- 0,04817
60		0,15864	- 0,58836***	0,20487*	0,12161	- 0,38564***
120		- 0,24998**	- 0,63734***	0,19595*	0,11333	- 0,43687***

Zudem lassen sich für die höheren Stickstoffgaben (60 und 120 kg/ha) schwache, hoch signifikante negative Beziehungen zwischen dem Stickstoffgehalt im Hanfstängel und dem Strohertrag nachweisen.

Das Ergebnis der Stickstoffgehalte in der Hanfpflanze (Tabelle 5-9, VA-Tabelle 11) entspricht sowohl für die Versuchsjahre als auch für das Mittel der Versuchsjahre dem der Stickstoffgehalte im Hanfstängel.

**Tabelle 5-9: Stickstoffgehalte in den Hanfpflanzen (%; MEANS über 3 Saatstärken) für die Versuchsjahre 2002 und 2003 sowie der Mittelwert über alle Faktoren (MEANS über 3 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) für den Standort Dikops-hof in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung.** Ein signifikanter Unterschied liegt für das untersuchte Merkmal nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  innerhalb des jeweiligen Versuchsjahrs vor, wenn sich die Buchstaben unterscheiden.

STICKSTOFFGABE (kg/ha)	JAHR					
	2002		2003		Mittel	
0	0,58	d	0,74	b	0,67	c
40	0,65	c	0,79	b	0,72	b
60	0,72	b	0,78	b	0,75	b
120	0,87	a	1,17	a	1,05	a

Die Betrachtung der Korrelationskoeffizienten liefert keine weiteren Hinweise bzgl. der Einflussnahme des Stickstoffgehaltes der Hanfpflanze auf die ertragsbestimmenden Parameter (Tabelle 9-6, S. 166).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass der Hanfbestand bei einer Stickstoffgabe von 120 kg/ha die geringsten Bestandesdichten (BD Ernte) ausbildet und dementsprechend bei geringer intraspezifischer Konkurrenz die höchsten Stickstoffgehalte in den Pflanzen, sowohl im Hanfstängel als auch in den Hanfpflanzen (mit Blätter und Samen), akkumuliert werden.

### 5.1.6 Wechselwirkung Saatstärke und Stickstoffgabe

In insgesamt 24 Versuchspartzellen mit einer Größe von jeweils 1 m<sup>2</sup> wurde der Einfluss der Prüffaktoren Saatstärke und Stickstoffdüngung auf die ertragsbestimmenden Eigenschaften von Hanf untersucht. Zur Klärung dieses Einflusses auf den Strohertrag kamen drei Saatstärken und vier Varianten der Stickstoffdüngung zur Prüfung. Die Ergebnisse der Versuche werden im folgenden Kapitel zusammenfassend dargestellt. Dazu wurden die Wechselwirkungen zwischen Saatstärke und Stickstoffdüngung und deren Einfluss auf das Ertragspotenzial analysiert.


Wie die Ergebnisse des zweijährigen Anbauversuchs (Tabelle 5-10) belegen, ist zu erkennen, dass die Stickstoffdüngung einen wesentlichen Einfluss auf die Ertragsbildung von Hanf hat. Dazu wird der Strohertrag der nicht gedüngten Variante (0 kg/ha) je Saatstärke mit 100 % gleichgesetzt, so dass sich die ermittelten Ergebnisse als relativ erzielter Strohertrag (%) darstellen lassen. Mit steigendem Stickstoffangebot erhöht sich der Strohertrag, wobei jedoch die Erhöhung von 40 kg/ha auf 60 kg/ha im Mittel der Saatstärken keinen Ertragszuwachs bringt. Die Verdopplung der Stickstoffdüngung auf 120 kg/ha führt, über alle Saatstärken gemittelt, zu einem Anstieg des Strohertrages um 11 % gegenüber der nicht gedüngten Kontrollvariante.

**VA-Tabelle 12: Strohertrag (dt/ha) im Mittel der Saatstärken in Abhängigkeit von der Stickstoffstufe auf dem Dikopshof (Ergebnis einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr, Ngabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke.

Mittel der Jahre über drei Saatstärken Strohertrag (dt/ha) Varianzursache	FG	MQ	F	p-Wert
Ngabe	3	8134.80435	41.09	<.0001
Saat	2	3329.97380	16.82	<.0001
Jahr	1	1782.65043	9.00	0.0028
Ngabe*Saat	6	4337.83676	21.91	<.0001
Ngabe*Jahr	3	2399.01432	12.12	<.0001
Saat*Jahr	2	2756.16080	13.92	<.0001
Ngabe*Saat*Jahr	6	3370.23297	17.02	<.0001
Fehler	566	197.9839		

**Tabelle 5-10: Einfluss der Stickstoffdüngung auf den Strohertrag (dt/ha; MEANS über 2 Versuchsjahre) der untersuchten Saatstärken für den Standort Dikopshof.** Zur Berechnung des relativen Strohertrags wird der Strohertrag der nicht gedüngten Variante je Saatstärke mit 100 % gleichgesetzt. Ein signifikanter Unterschied liegt für das untersuchte Merkmal nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  zwischen den Düngungsstufen (innerhalb der jeweiligen Saatstärke) vor, wenn sich die Buchstaben unterscheiden. kK = keimfähige Körner.

STICKSTOFF-DÜNGUNG (kg/ha)	SAATSTÄRKE (kK/m <sup>2</sup> )							
	108		162		216		Mittel	
	dt/ha	%	dt/ha	%	dt/ha	%	dt/ha	%
0	149 b	100	140 b	100	135 c	100	141 b	100
40	141 c	95	154 a	110	142 b	105	146 b	104
60	159 a	107	130 c	93	148 ab	110	146 b	104
120	161 a	108	158 a	113	153 a	113	157 a	111




**VA-Tabelle 13: Wuchshöhe (cm) im Mittel der Saatstärken in Abhängigkeit von der Stickstoffstufe auf dem Dikopshof (Ergebnis einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr, Ngabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke.

Mittel der Jahre über drei Saatstärken Wuchshöhe (cm) Varianzursache	FG	MQ	F	p-Wert
Ngabe	3	15105.01595	13.73	<.0001
Saat	2	10632.80700	9.67	<.0001
Jahr	1	12028.61080	10.94	0.0010
Ngabe*Saat	6	928.69789	0.84	0.5360
Ngabe*Jahr	3	4755.56828	4.32	0.0050
Saat*Jahr	2	1631.48844	1.48	0.2278
Ngabe*Saat*Jahr	6	1302.55183	1.18	0.3130
Fehler	565	1099.9811		

Bei der Betrachtung des Einflusses der Stickstoffgabe auf das Wuchsverhalten (Tabelle 5-11) fällt auf, dass zwischen der natürlich im Boden verfügbaren Menge an Stickstoff (nicht gedüngte Kontrollvariante) bis zu einer Düngung von 60 kg/ha kaum ein Größenunterschied festgestellt werden konnte.

**Tabelle 5-11: Darstellung der Signifikanzen für die Wuchshöhe (cm; MEANS über 2 Versuchsjahre) für den Einfluss der Stickstoffdüngung in Abhängigkeit von der Saatstärke für den Standort Dikopshof.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das untersuchte Merkmal. Die dargestellten Signifikanzen beziehen sich auf die Wuchshöhen bei steigender Stickstoffdüngung (innerhalb der jeweiligen Saatstärke). kK = keimfähige Körner.

STICKSTOFF-DÜNGUNG (kg/ha)	SAATSTÄRKE (kK/m <sup>2</sup> )			
	108	162	216	Mittel
0	b	a	b	b
40	b	a	b	b
60	b	a	ab	b
120	a	a	a	a



Erst die Erhöhung der Stickstoffdüngung auf 120 kg/ha führt zu einem deutlichen Anstieg der Wuchshöhe (+12 bzw. +23 cm), welcher bei den Saatstärken 108 kK/m<sup>2</sup> und 216 kK/m<sup>2</sup> sowie im Mittel der Saatstärken auch statistisch nachweisbar ist.

Allerdings besteht mit steigender Stickstoffverfügbarkeit die Gefahr der Ausbildung zu starker Hanfstängel, die im Verarbeitungsprozess zu technischen Problemen führen könnten.

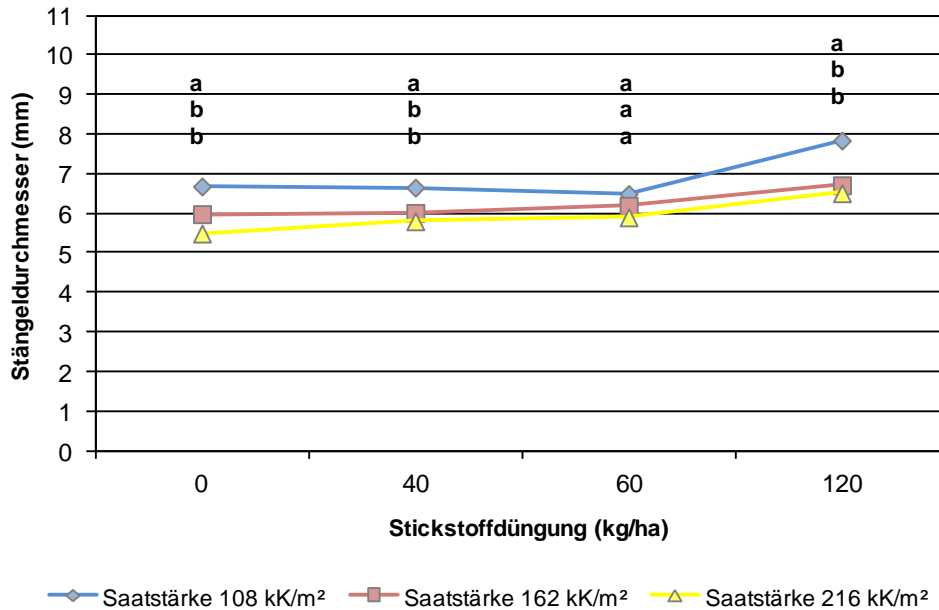
**VA-Tabelle 14. Stängeldurchmesser (mm) im Mittel der Stickstoffgaben in Abhängigkeit von der Saatstärke auf dem Dikopshof (Ergebnis einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr, Ngabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke.

Mittel der Jahre über vier Stickstoffgaben Stängeldurchmesser (mm) Varianzursache	FG	MQ	F	p-Wert
Ngabe	3	41.7921558	25.02	<.0001
Saat	2	40.6927044	24.36	<.0001
Jahr	1	2.6476088	1.58	0.2086
Ngabe*Saat	6	1.8168023	1.09	0.3685
Ngabe*Jahr	3	1.5420496	0.92	0.4293
Saat*Jahr	2	4.6430313	2.78	0.0629
Ngabe*Saat*Jahr	6	1.0614569	0.64	0.7020
Fehler	565	943.933995	1.670680	

Bei der Betrachtung des Zusammenwirkens von Saatstärke und Stickstoffgabe (Abbildung 5-8) fällt jedoch auf, dass für drei der vier Stickstoffvarianten ein statistisch, signifikanter Unterschied für den Stängeldurchmesser in Abhängigkeit von der Saatstärke vorliegt: Je



weniger Pflanzen mit dem verfügbaren Stickstoffangebot auskommen müssen umso größer ist der ausgebildete Stängeldurchmesser. In der Folge sind die ausgebildeten Stängeldurchmesser der niedrigen Saatstärke bei allen Düngungsstufen, mit Ausnahme der Stufe von 60 kg/ha, signifikant verschieden von den übrigen Saatstärken. Allerdings konnte kein Unterschied zwischen den weiteren Saatstärkenvarianten (162 und 216 kK/m<sup>2</sup>) nachgewiesen werden. Dieses Ergebnis trifft auch für den Parameter Wuchshöhe zu (Tabelle 5-12).



**Abbildung 5-8: Stängeldurchmesser (mm; MEANS über 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung und Saatstärke für den Standort Dikopshof.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede der Stängeldurchmesser bei steigender Saatstärke (innerhalb der jeweiligen Düngungsvariante). kK = keimfähige Körner.

**VA-Tabelle 15: Wuchshöhe (cm) im Mittel der Stickstoffgaben in Abhängigkeit von der Saatstärke auf dem Dikopshof (Ergebnis einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken und 4 Stickstoffstufen).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr, Ngabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke.

Mittel Stickstoffgabe	FG	MQ	F	p-Wert
Wuchshöhe (cm)				
Varianzursache				
Ngabe	3	15105.01595	13.73	<.0001
Saat	2	10632.80700	9.67	<.0001
Jahr	1	12028.61080	10.94	0.0010
Ngabe*Saat	6	928.69789	0.84	0.5360
Ngabe*Jahr	3	4755.56828	4.32	0.0050
Saat*Jahr	2	1631.48844	1.48	0.2278
Ngabe*Saat*Jahr	6	1302.55183	1.18	0.3130
Fehler	565	1099.9811		

Die Untersuchungen zur Wuchshöhe (Tabelle 5-12) belegen, dass sowohl die Saatstärke als auch die Stickstoffgabe einen starken Einfluss auf das Größenwachstum hat.

**Tabelle 5-12: Einfluss der Stickstoffdüngung auf die Wuchshöhe (cm; MEANS über 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Saatstärke für den Standort Dikopshof.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das untersuchte Merkmal. Die dargestellten Signifikanzen beziehen sich auf die Wuchshöhen bei steigender Saatstärke (innerhalb der jeweiligen Düngungsvariante). kK = keimfähige Körner.  
 Die horizontal angegebenen Änderungen (hier Abnahmen) beziehen sich ebenfalls auf die Wuchshöhen innerhalb der jeweiligen Düngungsvariante aber steigender Saatstärke.  
 Die vertikalen Änderungen (hier Zunahmen) beziehen sich auf die Wuchshöhen innerhalb der jeweiligen Saatstärkenvariante aber variierenden Stickstoffgabe.

STICKSTOFFDÜNGUNG (kg/ha)	SAATSTÄRKE (kK/m <sup>2</sup> )			Änderung der Wuchshöhe (cm) von 108 zu 216 kK/m <sup>2</sup>	Mittelwert Wuchshöhe (cm)
	108	162	216		
0	222 a	213 ab	202 a	-20	212
40	226 a	214 ba	211 b	-15	217
60	224 a	210 a	218 a	-6	217
120	247 a	229 a	230 a	-17	236
Änderung der Wuchshöhe in cm von 0 bis 120 kg/ha N	+25	+16	+28		+24

Die Erhöhung der Saatstärke von 108 kK/m<sup>2</sup> auf 216 kK/m<sup>2</sup> führt zu einer signifikanten Abnahme der Wuchshöhe bei einer Stickstoffdüngung von 0 kg/ha und 40 kg/ha. Mit der Zunahme der Stickstoffgabe von 60 kg/ha auf 120 kg/ha sind keine signifikanten Veränderungen der Wuchshöhe in Abhängigkeit von der Saatstärke nachweisbar. Allerdings führt die Erhöhung der Saatstärke allgemein zu einer Reduzierung der Wuchshöhe, wohingegen die Stickstoffdüngung eine Zunahme der Wuchshöhe begünstigt.

## 5.2 Praxisanbau in Ostwestfalen-Lippe

Die dargestellten Ergebnisse zeigen, ob sich die untersuchten Praxisflächen in der Region OWL für den Hanfanbau eignen und ob sie sich voneinander unterscheiden. Hierzu wurden die ertragsbestimmenden Parameter von zwei Untersuchungszeiträumen (2001 und 2002) analysiert. Es ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass der Standort Versmold wegen vorzeitiger Ernte im Jahr 2001 ausfiel. Die bis dahin erhobenen Daten sind in die Auswertung eingeflossen. Somit standen für die Auswertung der wertbestimmenden Eigenschaften (Strohertrag und Fasergehalt) in OWL vier Standorte und für die Auswertung aller weiteren Merkmale fünf Standorte zur Verfügung. Zudem beziehen sich die Daten für den Standort Delbrück nur auf einjährige Versuchsergebnisse (Kapitel 4.1).

### 5.2.1 Bestandesentwicklung

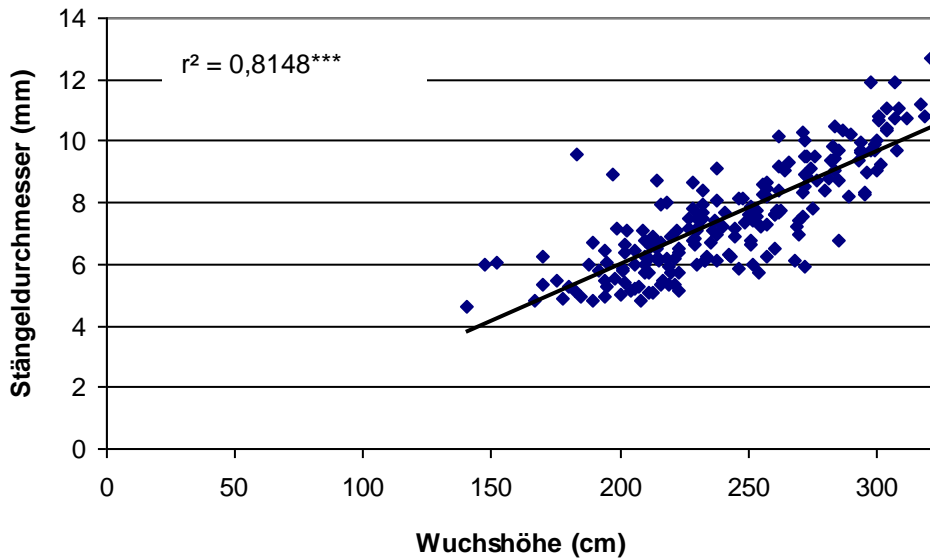
Bei der Auswertung der Bestandesentwicklung der Praxisflächen in OWL fällt auf, dass der Feldaufgang wesentlich hinter dem Zielwert zurück bleibt. Im Vergleich zum erwarteten Zielwert von 162 kK/m<sup>2</sup> liefern nur Pflanzen auf, die Aufgangsraten von 39,1 % bis 62,7 % entsprechen (Tabelle 5-13). Zudem kommt das Phänomen der Selbstausdünnung auf den Praxisflächen stärker zum Tragen als in der Standardumwelt (14,9 %, S. 45).

**Tabelle 5-13: Darstellung der im Mittel (MEANS über 2 Saatstärken, 2 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) erreichten Ergebnisse der ertragsbestimmenden Parameter für die Standorte in OWL sowie die Mittelwerte über alle Faktoren (MEANS über 5 Standorte, 2 Saatstärken, 2 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre).** Signifikante Unterschiede für einzelne Merkmale zwischen den Standorten sind nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet. Werte, die sich ausschließlich auf eine Vegetationsperiode beziehen sind grau unterlegt. BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte. Die Varianzanalyse wird im Anhang (VA-Tabelle 37, S. 166ff) gezeigt.

STANDORT	FELDAUFGANG (%)		BD ERNTE (Pfl/m <sup>2</sup> )		AUSDÜNNUNG (%)		STÄNGEL-DURCHMESSER (mm)		WUCHSHÖHE (cm)		STROHERTRAG (dt/ha)		FASERGEHALT (%)	
Delbrück	39,1	c	42	d	44,3	a	8,91	a	250	b	108	d	35,2	c
Detmold	42,8	bc	111	a	11,2	c	6,53	c	210	c	146	c	33,4	d
Haus Düsse	62,7	a	90	b	17,5	bc	7,53	b	255	b	155	bc	35,2	b
Versmold	56,5	ab	96	b	17,3	bc	6,56	c	227	c	167	b	29,7	e
Werther	52,3	abc	62	c	22,6	b	9,47	a	283	a	210	a	37,0	a
Mittel	51,7		89		18,9		7,60		244		168		31,2	

Wie in Tabelle 5-13 abzulesen, beträgt die Ausdünnung im Mittel der Standorte 18,9 %, wobei das signifikante Maximum der Ausdünnung (44,3 %) in Delbrück und das signifikante Minimum (11,2 %) in Detmold zu verzeichnen ist. Neben der stark reduzierten Bestandesdichte zur Ernte (BD Ernte) werden in Delbrück ausgeprägte Stängeldurchmesser sowie Wuchshöhen erzielt. Obwohl in Werther die Ausdünnungsrate nur halb so hoch ist wie in Delbrück, werden dort die signifikant dicksten Stängel und die signifikant größte Wuchshöhe ermittelt. Die für die Standorte Versmold, Detmold und Haus Düsse gemessenen Stängeldurchmesser und Wuchshöhen liegen verglichen mit Delbrück und Werther im mittleren Bereich. Zudem konnten für die übrigen ertragsbestimmenden Parameter in vielen Fällen signifikante Unterschiede bei der Merkmalsausprägung in den verschiedenen Umwelten festgestellt werden.

Im Detail betrachtet zeigt sich zwischen Stängeldurchmesser und Wuchshöhe für alle Standorte eine straffe, hoch signifikante Korrelation (Abbildung 5-9).



**Abbildung 5-9:** Korrelation zwischen Wuchshöhe (cm) und Stängeldurchmesser (mm) zum Zeitpunkt der Ernte mit Darstellung des Bestimmtheitsmaßes für die Standorte in OWL (Einzelwerte von 2 Saatstärken, 2 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahren).

Der Strohertrag hingegen ist in Delbrück der niedrigste der untersuchten Standorte. Entsprechend sind die erzielten Stroherträge in Vermold, Detmold und Haus Düsse signifikant höher als in Delbrück. In Werther wird neben den signifikant dicksten und höchsten Stängeln auch der signifikant höchste Strohertrag sowie Fasergehalt ermittelt. Alle anderen Standorte in OWL zeigen keinen Zusammenhang zwischen Strohertrag und Fasergehalt.

Neben der Bewertung des Strohertrags wird eine weitere Form der Auswertung mit dem berechneten Wert „Ertrag je Pflanze“ erreicht (Tabelle 5-14).

**Tabelle 5-14:** Mittelwerte (MEANS über 2 Saatstärken, 2 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) der erreichten Ergebnisse für die ertragsbestimmenden Parameter BD Ernte (Pfl/m²) und Strohertrag (dt/ha) der Standorte in OWL mit Darstellung der Ertragsleistung je Pflanze (g) sowie die Darstellung der Gewichtung dieses Parameters. Signifikante Unterschiede für einzelne Merkmale zwischen den Versuchsstandorten sind nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet (Tabelle 5-13). Werte, die sich ausschließlich auf eine Vegetationsperiode beziehen sind grau unterlegt. BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte.

STANDORT	BD ERNTE (Pfl/m²)		STROHERTRAG (dt/ha)		ERTRAG je PFLANZE (g)	RANGFOLGE „Ertrag je Pflanze“
Delbrück	42	d	108	d	25,7	2
Detmold	111	a	146	c	13,2	4
Haus Düsse	90	b	155	bc	17,2	3
Vermold	96	b	167	b	17,4	3
Werther	62	c	210	a	33,9	1

Hierzu wurde der Quotient aus dem Strohertrag und der Anzahl der geernteten Pflanzen (BD Ernte) ermittelt. Dieser Wert verdeutlicht die Leistung der einzelnen Hanfpflanze am erzielten Strohertrag.

In Werther ist die Leistung der Einzelpflanze am erzielten Ertrag am größten und führt zum höchsten Strohertrag. Obwohl in Delbrück der niedrigste Strohertrag ermittelt wurde, ist die Leistung der Einzelpflanze die zweithöchste. In Detmold, Haus Düsse und Versmold zeigt sich, dass die Ertragsleistung pro Pflanze mit der Anzahl der Pflanzen pro Quadratmeter abnimmt. Im Vergleich mit der Standardumwelt wird ein ähnlich niedriger Wert für die Leistung der Einzelpflanze (1,48 dt/ha) ermittelt wie in Detmold, Haus Düsse und Versmold.

### 5.2.2 Einfluss des Jahres

Die möglichen Auswirkungen der Niederschlagsverteilung und -mengen sowie der Wärmesummen auf das Dicken- und Höhenwachstum und damit auf die Bestandesentwicklung werden in diesem Kapitel für die Praxisflächen in OWL detailliert dargestellt. Die Witterungsbedingungen zwischen den Versuchsjahren, bewertet anhand von GDD und Niederschlagsmenge, werden für die Praxisstandorte in OWL in Tabelle 5-15 vorgestellt und beziehen sich jeweils auf die in Tabelle 4-2 (S. 36) genannten Details zur Vegetationsperiode. Für die Witterungsparameter werden hoch signifikante Unterschiede zwischen allen Standorten innerhalb des jeweiligen Versuchsjahres nachgewiesen.

**Tabelle 5-15: Gesamtniederschlag (l/m<sup>2</sup>) und Wärmesummen (°C; als GDD = *Growing Degree Days*) der Vegetationsperioden 2001 und 2002 (Aussaat bis Ernte) für die Standorte in OWL.** Die Witterungsparameter unterscheiden sich zwischen den Standorten innerhalb des Versuchsjahres bei folgenden Signifikanzniveaus:  $\alpha > 0,05$  = nicht signifikant,  $\alpha \leq 0,05$  = signifikant (\*),  $\alpha \leq 0,01$  = hoch signifikant (\*\*),  $\alpha \leq 0,001$  = sehr hoch signifikant (\*\*\*).

STANDORT	VERSUCHSJAHR 2001		VERSUCHSJAHR 2002	
	GDD (°C)	Niederschlag (l/m <sup>2</sup> )	GDD (°C)	Niederschlag (l/m <sup>2</sup> )
Delbrück	1917***	219***	--	--
Detmold	1686***	209***	1533***	311***
Haus Düsse	1855***	279***	1523***	326***
Versmold	2028***	244***	1546***	310***
Werther	1810***	254***	1645***	319***

Betrachtet werden die Ergebnisse der ertragsbestimmenden Parameter für die Praxisstandorte in OWL (Tabelle 5-16). Die in OWL untersuchten Umwelten weisen keine signifikanten Unterschiede für die Parameter Wuchshöhe und Stängeldurchmesser auf. Lediglich die Standorte Detmold und Versmold ordnen sich nicht vollständig in diesen Trend

ein, d. h. im Versuchsjahr 2002 werden signifikant kleinere Stängeldurchmesser nachgewiesen.

Die Stroherträge in Detmold und Werther zeigen jahresbedingte Schwankungen. Der niedrige Ertrag Detmolds im Jahr 2001 ist ggf. auf die geringe Bestandesdichte zu Ernte und/oder auf ein Niederschlagsdefizit in Kombination mit geringer Wärmesumme zurückzuführen, da an diesem Standort niedrige Werte für diese Faktoren gemessen wurden. In Werther wird im Jahr 2001 ein höherer Strohertrag als 2002 erzielt, wo dem Bestand während der Vegetationsperiode eine höhere Wärmesumme zur Verfügung stand.

**Tabelle 5-16: Mittelwerte (MEANS über 2 Saatstärken und 2 Stickstoffstufen) der erreichten Ergebnisse der ertragsbestimmenden Parameter in Abhängigkeit vom Versuchsjahr für die Standorte in OWL.** Signifikante Unterschiede für das jeweilige Merkmal zwischen den Versuchsjahren je Standort sind nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet. Für die grau hinterlegten Felder am Standort Vermold liegen im Jahr 2001 keine Ertragsdaten vor. BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte.

STANDORT	DELBRÜCK	DETMOLD		HAUS DÜSSE		VERSMOLD		WERTHER	
JAHR	2001	2001	2002	2001	2002	2001	2002	2001	2002
Feldaufgang (%)	39,1	21,0 b	64,6 a	59,2 b	66,3 a	40,6 b	64,4 a	55,6 a	49,0 b
BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> )	42	26 b	120 a	76 b	92 a	56 b	98 a	52 b	63 a
Stängeldurchmesser (mm)	8,91	7,91 a	6,25 b	7,02 a	7,63 a	8,81 a	6,33 b	9,22 a	9,52 a
Wuchshöhe (cm)	250	201 a	212 a	241 a	258 a	291 a	221 a	275 a	284 a
Strohertrag (dt/ha)	108	85 b	152 a	138 a	157 a	-	167	246 a	207 b
Fasergehalt (%)	35,2	31,6 b	33,8 a	36,0 a	35,1 b	-	29,7	35,0 b	37,4 a

Neben dem Strohertrag ist auch für den Fasergehalt kein Trend erkennbar. Allerdings ist der Fasergehalt im Jahr 2002 in Detmold und Werther signifikant höher, obwohl die Stroherträge an den Standorten Unterschiede aufweisen. In Haus Düsse sind keine Unterschiede im Strohertrag nachweisbar, doch wird im Versuchsjahr 2002 ein signifikant höherer Fasergehalt ermittelt.

### 5.2.3 Einfluss von Umwelt und Saatstärke

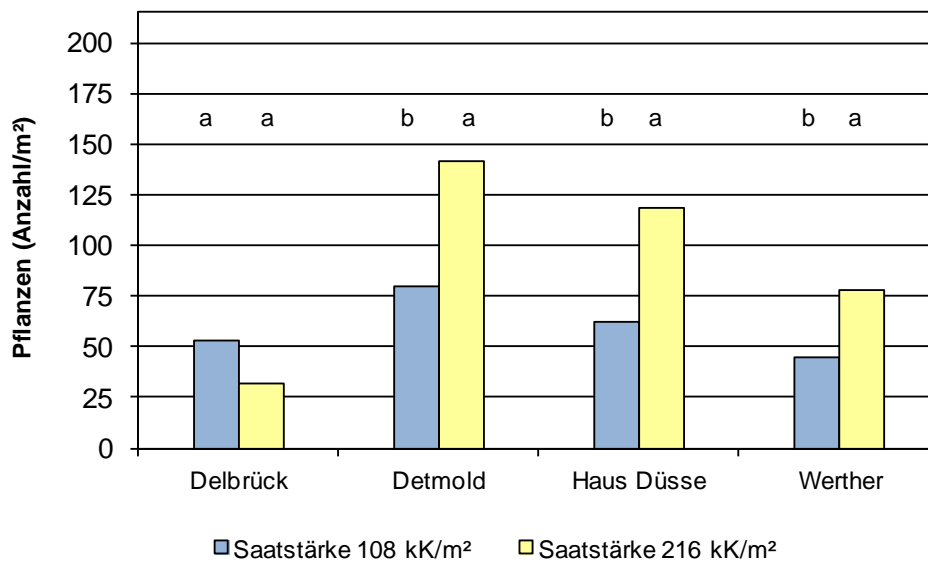
Neben der Anwendung agronomischer Maßnahmen ist der Landwirt bestrebt die Leistungsfähigkeit der Kulturart durch die optimale Auswahl der Saatstärke voll auszuschöpfen. Zudem ist für den Landwirt als auch für den Verarbeiter die Saatstärke aus ökonomischer als auch arbeitstechnischer Sicht ein wichtiges Kriterium des Hanfanbaus. Mit der Untersuchung des Faktors Saatstärke wurde der Einfluss dieser agronomischen Maßnahme auf die ertragsbestimmenden Parameter ermittelt. Neben der Saatstärke wirkt sich das sogenannte Phänomen der Selbstausdünnung (*self thinning effect*), die Reduzierung der Pflanzenanzahl innerhalb der Vegetationsperiode, auf die Bestandesdichte aus.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther für den Faktor Saatstärke präsentiert. Zu beachten ist dabei, dass für Delbrück nur einjährige Versuchsergebnisse vorliegen. Zudem wird bei der Darstellung der Ergebnisse auf den Standort Vermold verzichtet, da nach Auswertung der Versuche die Möglichkeit besteht, dass die ausgebrachten Saatstärken nicht der vorgegebenen Versuchsanordnung entsprachen.

**VA-Tabelle 16: Bestandesdichte (Pfl/m<sup>2</sup>) in Abhängigkeit von der Saatstärke der Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL (Ergebnis einer zweijährigen Feldprüfung (Delbrück einjährig) über 2 Saatstärken, 2 Stickstoffstufen und 4 Standorte).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, Jahr = Versuchsjahr, Ngabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke.

Mittel der Standorte in OWL BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> ) Varianzursache	FG	MQ	F	p-Wert
Standort	3	3626.40751	17.26	<.0001
Saat	1	22179.59852	105.59	<.0001
Ngabe	1	101.68263	0.48	0.4872
Jahr	1	35566.70455	169.32	<.0001
Standort*Saat	3	2460.30145	11.71	<.0001
Standort*Ngabe	3	146.26862	0.70	0.5551
Standort*Jahr	2	15653.29545	74.52	<.0001
Saat*Ngabe	1	355.14992	1.69	0.1947
Saat*Jahr	1	3854.58333	18.35	<.0001
Ngabe*Jahr	1	313.67424	1.49	0.2229
Standort*Saat*Ngabe	3	118.34438	0.56	0.6397
Standort*Saat*Jahr	2	1775.71970	8.45	0.0003
Standort*Ngabe*Jahr	2	504.12879	2.40	0.0929
Saat*Ngabe*Jahr	1	356.40152	1.70	0.1940
Standort*Saat*Ngabe*Jahr	2	786.85606	3.75	0.0250
Fehler	244	210.0594		

In Abbildung 5-10 fallen besonders die zur Ernte geringen Bestandesdichten im Verhältnis zu den Aussaatstärken von 108 kK/m<sup>2</sup> und 216 kK/m<sup>2</sup> auf. Hervorzuheben ist dabei, dass in Delbrück trotz einer Aussaatstärke von 216 kK/m<sup>2</sup> innerhalb der Versuchsquadratmeter im Mittel nur 32 Pflanzen geerntet werden. Dieses Ergebnis ist ggf. jedoch nicht repräsentativ, da, wie einleitend beschrieben, es sich auf eine einjährige Versuchsdauer am Standort Delbrück bezieht und/oder durch eine Wechselwirkung des sandigen Standorts und der geringen Niederschlagsmenge im Jahr 2001 begründet sein könnte.



**Abbildung 5-10: Bestandesdichte (Pfl/m<sup>2</sup>; MEANS über 2 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Saatstärke für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das Merkmal innerhalb des jeweiligen Standortes. Die Ergebnisse von Delbrück beziehen sich auf einen einjährigen Versuch. kK = keimfähige Körner.

Für alle anderen Standorte werden den Erwartungen entsprechend signifikante Unterschiede zwischen den Bestandesdichten (BD Ernte) der niedrigen und hohen Aussaatstärke ermittelt. Im Vergleich zur Standardumwelt Dikopshof werden dort sowohl bei niedriger (82 Pflanzen) als auch bei hoher Saatstärke (138 Pflanzen) mehr Pflanzen geerntet als auf den Praxisflächen in OWL. Die erzielte Bestandesdichte zur Ernte wird neben den pflanzenbaulichen Maßnahmen und Witterungsbedingungen zusätzlich durch das Phänomen der Selbstausdünnung beeinflusst.

Die Selbstausdünnung ist in Tabelle 5-17 als Differenz (in %) zwischen den aufgelaufenen Hanfpflanzen und der Bestandesdichte zum Zeitpunkt der Ernte wiedergegeben. Die Reduzierung der Pflanzenanzahl ist in Delbrück bei der hohen Saatstärke mit 46,67 % am stärksten ausgeprägt und führt dazu, dass bei der niedrigeren Aussaatstärke mehr Pflanzen geerntet werden (Abbildung 5-10). Des Weiteren fällt auf, dass in Werther die Selbstausdünnung bei einer Aussaatstärke von 108 kK/m<sup>2</sup> einen stärkeren Einfluss auf die Bestandesdichte (BD Ernte) hat als bei einer Saatstärke von 216 kK/m<sup>2</sup>. Demgegenüber konnte für Detmold keine Selbstausdünnung ermittelt werden, da im Laufe der Versuchsperiode deutlich wurde, dass zum Zeitpunkt der Feststellung der Keimdichte die Keimung der Hanfsaat noch nicht abgeschlossen war. Im Vergleich zu den Praxisflächen wird die verhältnismäßig niedrige Ausdünnung der Standardumwelt Dikopshof für beide untersuchten Saatstärken deutlich.



**Tabelle 5-17: Mittelwert (MEANS über 2 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) der Selbstausdünnung (%) in Abhängigkeit vom Standort (Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther) und der Saatstärke in OWL.** In Detmold konnte keine Ausdünnung des Bestandes ermittelt werden, da der Zeitpunkt der Datenaufnahme des Parameters „Keimdichte“ für diesen Standort zu früh gewählt war. Die Ergebnisse von Delbrück (grau hinterlegt) beziehen sich auf einen einjährigen Versuch. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das Merkmal zwischen den Standorten je Saatstärke. Ergänzend sind die Ergebnisse der Standardumwelt Dikopshof angeführt, welche für die statistische Auswertung hier nicht berücksichtigt wurden. BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, kK = keimfähige Körner.

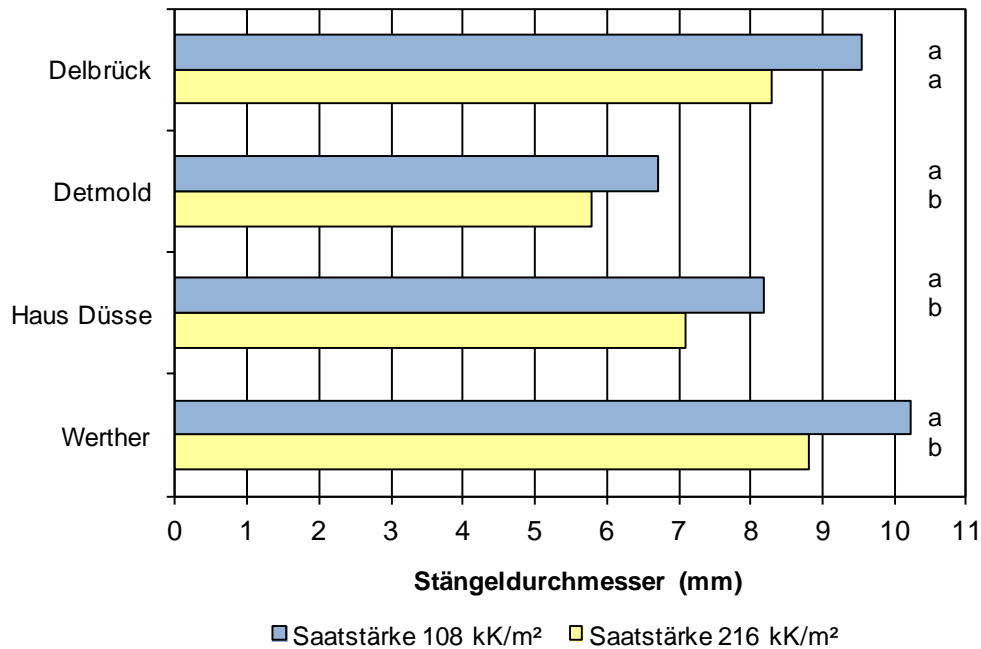
SAATSTÄRKE [kK/m²]	STANDORT	KEIMDICHTER [Pfl/m²]	BD ERNTE [Pfl/m²]		AUSDÜNNUNG [%]
108	Delbrück	55	53	c	3,64
	Detmold	52	80	a	*
	Haus Düsse	74	62	b	16,22
	Werther	64	45	d	29,69
	Standardumwelt		82		7,78
216	Delbrück	60	32	d	46,67
	Detmold	80	142	a	*
	Haus Düsse	124	119	b	4,03
	Werther	97	78	c	19,59
	Standardumwelt		138		16,59

**VA-Tabelle 17: Stängeldurchmesser (mm) in Abhängigkeit von der Saatstärke für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung (Delbrück einjährig) über 2 Saatstärken, 2 Stickstoffstufen und 4 Standorte).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr, Ngabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke.

Mittel der Standorte in OWL	FG	MQ	F	p-Wert
Stängeldurchmesser (mm)				
<b>Varianzursache</b>				
Standort	3	29.59954250	18.43	<.0001
Saat	1	21.51275228	13.39	0.0004
Ngabe	1	11.15705128	6.95	0.0095
Jahr	1	1.19886722	0.75	0.3893
Standort*Saat	3	2.52341954	1.57	0.1998
Standort*Ngabe	3	3.41723667	2.13	0.1001
Standort*Jahr	2	10.07510889	6.27	0.0025
Saat*Ngabe	1	0.27800698	0.17	0.6781
Saat*Jahr	1	1.70333389	1.06	0.3051
Ngabe*Jahr	1	0.25013389	0.16	0.6938
Standort*Saat*Ngabe	3	1.87951593	1.17	0.3240
Standort*Saat*Jahr	2	2.12371056	1.32	0.2703
Standort*Ngabe*Jahr	2	2.03031056	1.26	0.2861
Saat*Ngabe*Jahr	1	1.31926722	0.82	0.3666
Standort*Saat*Ngabe*Jahr	2	1.59000722	0.99	0.3745
Fehler	124	199.1794400		

Analog zu den Ergebnissen der Bestandesdichten (BD Ernte) sind die Stängeldurchmesser für die Standorte Werther, Haus Düsse und Detmold signifikant unterschiedlich

(Abbildung 5-11). Die signifikant größten Stängeldurchmesser werden bei niedriger Saatstärke und demzufolge geringeren Bestandesdichten ermittelt. Andererseits können in Delbrück keine signifikanten Unterschiede für die Parameter Bestandesdichte (BD Ernte) und Stängeldurchmesser nachgewiesen werden.



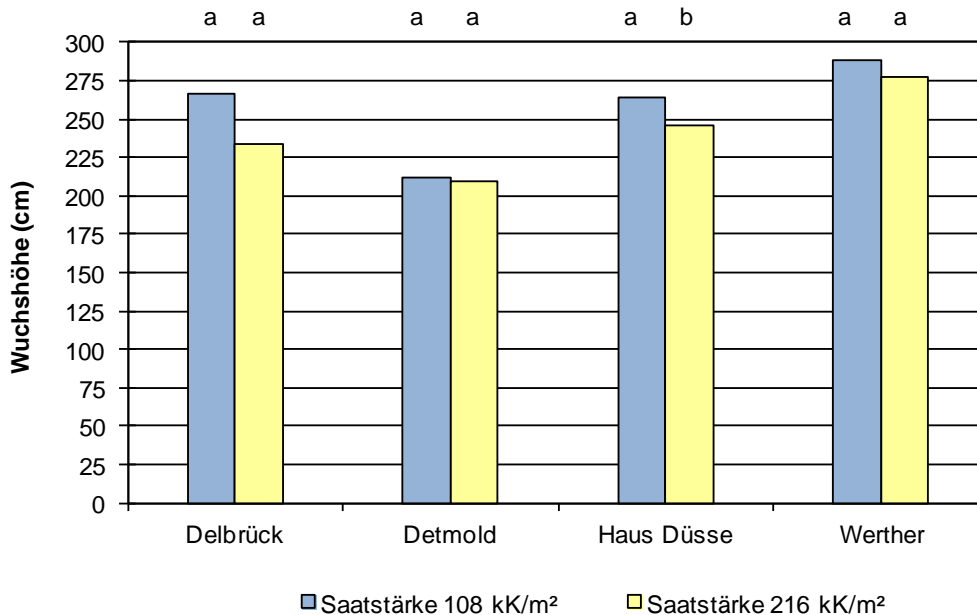
**Abbildung 5-11: Stängeldurchmesser (mm; MEANS über 2 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Saatstärke für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das Merkmal innerhalb des jeweiligen Standortes. Die Ergebnisse von Delbrück beziehen sich auf einen einjährigen Versuch. kK = keimfähige Körner.

Verglichen mit der Standardumwelt Dikopshof (7,11 mm bei 108 kK/m<sup>2</sup> und 6,15 mm bei 216 kK/m<sup>2</sup>) werden auf den Praxisflächen zumeist stärkere Stängeldurchmesser ausgebildet.

**VA-Tabelle 18: Wuchshöhe (cm) in Abhängigkeit von der Saatstärke für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung (Delbrück einjährig) über 2 Saatstärken, 2 Stickstoffstufen und 4 Standorte).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr, Ngabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke.

Mittel der Standorte in OWL Wuchshöhe (cm) Varianzursache	FG	MQ	F	p-Wert
Standort	3	23898.90995	31.89	<.0001
Saat	1	3601.28205	4.80	0.0302
Ngabe	1	7522.51282	10.04	0.0019
Jahr	1	3034.00556	4.05	0.0464
Standort*Saat	3	1088.27847	1.45	0.2310
Standort*Ngabe	3	1497.98958	2.00	0.1176
Standort*Jahr	2	96.90139	0.13	0.8788
Saat*Ngabe	1	56.41168	0.08	0.7843
Saat*Jahr	1	429.35556	0.57	0.4506
Ngabe*Jahr	1	206.93889	0.28	0.6002
Standort*Saat*Ngabe	3	1743.34884	2.33	0.0780
Standort*Saat*Jahr	2	630.13472	0.84	0.4338
Standort*Ngabe*Jahr	2	933.99306	1.25	0.2912
Saat*Ngabe*Jahr	1	25.68889	0.03	0.8534
Standort*Saat*Ngabe*Jahr	2	128.55972	0.17	0.8426
Fehler	124	749.4960		

Die Wuchshöhe (Abbildung 5-12) wird nicht in dem Maße durch die Veränderung der Saatstärke und damit der Bestandesdichte (BD Ernte) beeinflusst wie der Stängeldurchmesser.



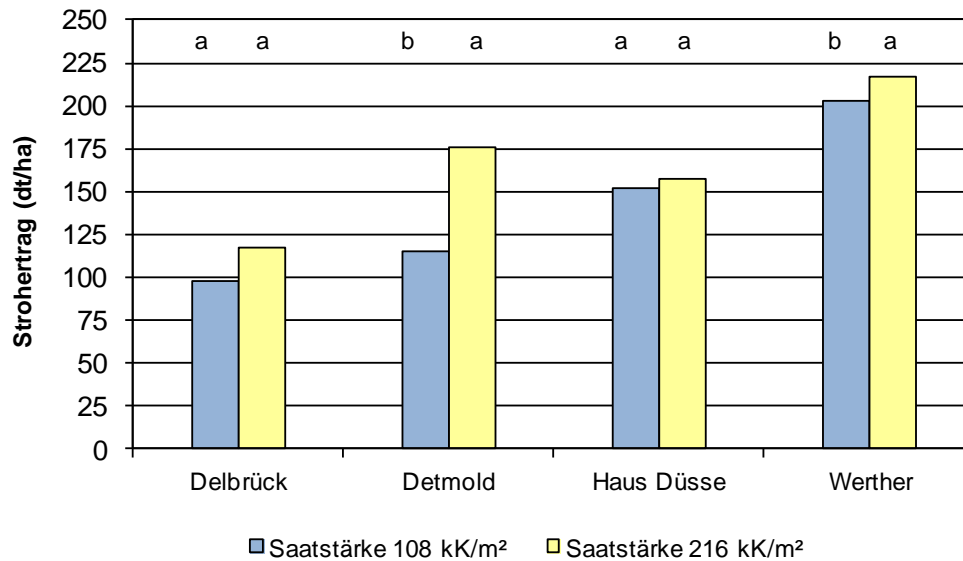
**Abbildung 5-12: Wuchshöhe (cm; MEANS über 2 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Saatstärke für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das Merkmal innerhalb des jeweiligen Standortes. Die Ergebnisse von Delbrück beziehen sich auf einen einjährigen Versuch. kK = keimfähige Körner.

Ein signifikanter Unterschied zwischen den Wuchshöhen bei unterschiedlicher Aussaatstärke wird nur für Haus Düsse festgestellt. Dieses entspricht dem Ergebnis der Standardumwelt Dikopshof für diesen Parameter. Allerdings liegen die Wuchshöhen, mit Ausnahme von Detmold, alle über denen der Standardumwelt von 230 cm (108 kK/m<sup>2</sup>) und 214 cm (216 kK/m<sup>2</sup>).

**VA-Tabelle 19: Strohertrag (dt/ha) in Abhängigkeit von der Saatstärke für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL (Ergebnisse einer zwei-jährigen Feldprüfung (Delbrück einjährig) über 2 Saatstärken, 2 Stickstoffstufen und 4 Standorte).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr, Ngabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke. Die Ergebnisse der Varianzanalyse für die einzelnen Standorte ist im Anhang (VA-Tabelle 38, S. 168ff) zu finden.

Mittel der Standorte in OWL Strohertrag (dt/ha) Varianzursache	FG	MQ	F	p-Wert
Standort	3	64949.2458	157.40	<.0001
Saat	1	16947.1289	41.07	<.0001
Ngabe	1	17812.8024	43.17	<.0001
Jahr	1	5059.7937	12.26	0.0005
Standort*Saat	3	1084.4418	2.63	0.0509
Standort*Ngabe	3	598.6064	1.45	0.2287
Standort*Jahr	2	20389.2605	49.41	<.0001
Saat*Ngabe	1	56.4891	0.14	0.7117
Saat*Jahr	1	35.8811	0.09	0.7683
Ngabe*Jahr	1	322.9298	0.78	0.3772
Standort*Saat*Ngabe	3	3961.7364	9.60	<.0001
Standort*Saat*Jahr	2	2636.5853	6.39	0.0020
Standort*Ngabe*Jahr	2	335.7282	0.81	0.4445
Saat*Ngabe*Jahr	1	4848.9923	11.75	0.0007
Standort*Saat*Ngabe*Jahr	2	4089.5240	9.91	<.0001
Fehler	244	412.6451		

In Abbildung 5-13 sind die Stroherträge der verschiedenen Standorte in Abhängigkeit von der Saatstärke dargestellt. Die Stroherträge unterscheiden sich innerhalb eines Standortes zwischen den Saatstärken an zwei (Detmold und Werther) von vier Standorten signifikant. Obwohl die wenigen Pflanzen der niedrigen Aussaatstärke (108 kK/m<sup>2</sup>) von Haus Düsse stärkere Stängel und eine größere Wuchshöhe als die Pflanzen der Aussaatstärke von 216 kK/m<sup>2</sup> erzielen, wird dieses nicht entsprechend in einen höheren Strohertrag umgesetzt. Auch die Stroherträge der Standardumwelt Dikopshof unterscheiden sich signifikant, doch wird der höhere Strohertrag bei niedriger Saatstärke (108 kK/m<sup>2</sup>: 153 dt/ha und 216 kK/m<sup>2</sup>: 144 dt/ha) erzielt.



**Abbildung 5-13: Strohertrag (dt/ha; MEANS über 2 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Saatstärke für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das Merkmal innerhalb des jeweiligen Standortes. Die Ergebnisse von Delbrück beziehen sich auf einen einjährigen Versuch. kK = keimfähige Körner.

Ein ähnliches Ergebnis wird auch für den Fasergehalt (Tabelle 5-18) erzielt: Delbrück und Haus Düsse weisen signifikant höhere Fasergehalte bei hoher Saatstärke auf, obwohl sich die Stroherträge zwischen den Saatstärken nicht unterscheiden. In Detmold und Werther hingegen werden signifikant höhere Fasergehalte bei niedriger Saatstärke und geringeren Stroherträgen erzielt. Insgesamt bestätigt dieses Ergebnis, dass die Auswirkungen der Saatstärke auf die wertbestimmenden Eigenschaften (Strohertrag und Fasergehalt) nicht immer gleich gerichtet verlaufen.

**Tabelle 5-18: Fasergehalte (%; MEANS über 2 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Saatstärke der Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das Merkmal innerhalb des Standortes zwischen den untersuchten Saatstärken. Die grau hinterlegten Angaben beziehen sich auf ein Versuchsjahr. kK = keimfähige Körner.

STANDORT	SAATSTÄRKE 108 kK/m²		SAATSTÄRKE 216 kK/m²	
Delbrück	34,3	b	36,2	a
Detmold	33,6	a	32,1	b
Haus Düsse	32,0	b	38,4	a
Werther	41,2	a	32,8	b

Zur Darstellung der Beziehungen zwischen den erhobenen Merkmalen werden die entsprechenden Korrelationskoeffizienten für die Mittelwerte der ertragsbestimmenden Pa-

parameter, jeweils getrennt für die Standorte und die geprüften Saatstärken von 108 kK/m<sup>2</sup> (Tabelle 5-19) und 216 kK/m<sup>2</sup> (Tabelle 5-20), berechnet.

Der Hanfanbau mit niedriger Saatstärke (108 kK/m<sup>2</sup>, Tabelle 5-19) führt an allen Standorten zu einer signifikanten Korrelation zwischen Wuchshöhe und Stängeldurchmesser.

**Tabelle 5-19: Korrelationskoeffizienten zwischen den Mittelwerten (MEANS über 2 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) von verschiedenen ertragsbestimmenden Parametern bei einer Saatstärke von 108 kK/m<sup>2</sup> der Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL.** Die Signifikanzniveaus entsprechen  $\alpha > 0,05$  = nicht signifikant,  $\alpha \leq 0,05$  = signifikant (\*),  $\alpha \leq 0,01$  = hoch signifikant (\*\*),  $\alpha \leq 0,001$  = sehr hoch signifikant (\*\*\*). Die Ergebnisse von Delbrück beziehen sich auf einen einjährigen Versuch. BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, kK = keimfähige Körner.

DELBRÜCK	STÄNGELDURCHMESSER (mm)	WUCHSHÖHE (cm)	STROHERTRAG (dt/ha)	FASERGEHALT (%)
BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> )	0,13915	-0,00700	0,34755	0,48556
Stängeldurchmesser (mm)		<b>0,98913*</b>	<b>0,95442*</b>	0,79965
Wuchshöhe (cm)			0,91586	0,74371
Strohertrag (dt/ha)				0,94086
DETMOLD	STÄNGELDURCHMESSER (mm)	WUCHSHÖHE (cm)	STROHERTRAG (dt/ha)	FASERGEHALT (%)
BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> )	<b>-0,47799**</b>	0,17773	<b>0,89866***</b>	<b>0,85357***</b>
Stängeldurchmesser (mm)		<b>0,55484*</b>	-0,38721	-0,53473
Wuchshöhe (cm)			0,22236	0,22544
Strohertrag (dt/ha)				
HAUS DÜSSE	STÄNGELDURCHMESSER (mm)	WUCHSHÖHE (cm)	STROHERTRAG (dt/ha)	FASERGEHALT (%)
BD Ernte Pfl/m <sup>2</sup> )	-0,06095	-0,05777	<b>0,81475***</b>	<b>-0,88357***</b>
Stängeldurchmesser (mm)		<b>0,75370***</b>	0,03662	0,05170
Wuchshöhe (cm)			0,10684	-0,30411
Strohertrag (dt/ha)				<b>-0,47384*</b>
WERTHER	STÄNGELDURCHMESSER (mm)	WUCHSHÖHE (cm)	STROHERTRAG (dt/ha)	FASERGEHALT (%)
BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> )	-0,09273	-0,05400	<b>0,48447**</b>	-0,16556
Stängeldurchmesser (mm)		<b>0,76716***</b>	-0,12503	0,17749
Wuchshöhe (cm)			-0,05915	0,10340
Strohertrag (dt/ha)				-0,22885

An zwei der vier Praxisstandorte (Detmold und Haus Düsse) wird zudem eine starke, hoch signifikante Korrelation zwischen Bestandesdichte (BD Ernte) und Strohertrag sowie zwischen Bestandesdichte (BD Ernte) und Fasergehalt ermittelt. Allerdings handelt es sich hierbei um eine positive (Detmold) und eine negative (Haus Düsse) Korrelation.

Zudem konnte eine weitere starke, hoch signifikante Korrelation zwischen Stängeldurchmesser und Strohertrag am Standort Delbrück nachgewiesen werden.

Die Korrelationen zwischen den ertragsbestimmenden Parametern bei einer Saatstärke von 216 kK/m<sup>2</sup> sind in Tabelle 5-20 wiedergegeben. Für die Merkmale Stängeldurchmesser und Wuchshöhe werden signifikante Korrelationen für alle Versuchsstandorte ermittelt. Dabei handelt es sich, im Gegensatz zur starken Korrelation in Delbrück, an den Standorten Detmold, Haus Düsse und Werther um eine lockere Beziehung zwischen den Merkmalen.

**Tabelle 5-20: Korrelationskoeffizienten zwischen den Mittelwerten (MEANS über 2 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) von verschiedenen ertragsbestimmenden Parametern bei einer Saatstärke von 216 kK/m<sup>2</sup> der Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL.** Die Signifikanzniveaus entsprechen  $\alpha > 0,05$  = nicht signifikant,  $\alpha \leq 0,05$  = signifikant (\*),  $\alpha \leq 0,01$  = hoch signifikant (\*\*),  $\alpha \leq 0,001$  = sehr hoch signifikant (\*\*\*). Die Ergebnisse von Delbrück beziehen sich auf einen einjährigen Versuch. BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, kK = keimfähige Körner.

DELBRÜCK	STÄNGELDURCHMESSER (mm)	WUCHSHÖHE (cm)	STROHERTRAG (dt/ha)	FASERGEHALT (%)
BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> )	-0,38764	-0,23279	0,61018	-0,60157
Stängeldurchmesser (mm)		<b>0,98580*</b>	0,46054	-0,38166
Wuchshöhe (cm)			0,60305	-0,52735
Strohertrag (dt/ha)				<b>-0,97533*</b>
DETMOLD	STÄNGELDURCHMESSER (mm)	WUCHSHÖHE (cm)	STROHERTRAG (dt/ha)	FASERGEHALT (%)
BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> )	<b>-0,79955***</b>	-0,02149	<b>0,50554**</b>	-
Stängeldurchmesser (mm)		<b>0,50064*</b>	<b>-0,54505**</b>	-
Wuchshöhe (cm)			-0,18198	-
Strohertrag (dt/ha)				-
HAUS DÜSSE	STÄNGELDURCHMESSER (mm)	WUCHSHÖHE (cm)	STROHERTRAG (dt/ha)	FASERGEHALT (%)
BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> )	0,24686	0,24480	<b>0,82032***</b>	0,19345
Stängeldurchmesser (mm)		<b>0,54992**</b>	0,26022	0,35299
Wuchshöhe (cm)			0,04747	0,43827
Strohertrag (dt/ha)				-0,17811
WERTHER	STÄNGELDURCHMESSER (mm)	WUCHSHÖHE (cm)	STROHERTRAG (dt/ha)	FASERGEHALT (%)
BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> )	0,01845	0,10765	-0,22762	<b>-0,82238***</b>
Stängeldurchmesser (mm)		<b>0,55564**</b>	-0,01595	0,15746
Wuchshöhe (cm)			-0,15860	0,02526
Strohertrag (dt/ha)				<b>0,79913***</b>

In Detmold und Haus Düsse liefern zusätzlich die Merkmale Bestandesdichte (BD Ernte) und Strohertrag eine signifikante Korrelation. Eine solche Beziehung der Parameter konnte auch bei niedriger Saatstärke nachgewiesen werden. Die stark negative, hoch signifikante Korrelation zwischen Bestandesdichte (BD Ernte) und Stängeldurchmesser in Detmold bestätigt, dass in der Folge einer geringeren intraspezifischen Konkurrenz bei abnehmender Bestandesdichte zur Ernte stärkere Stängeldurchmesser ausgebildet werden können. Entsprechendes gilt für die stark negative, hoch signifikante Korrelation zwischen Bestandesdichte (BD Ernte) und Fasergehalt in Werther.

**5.2.3.1 Vergleich der Praxisflächen innerhalb der Saatstärken**

Zur Klärung, welchen Einfluss die Saatstärke auf den Ertrag und damit auf die Leistungsfähigkeit im Hinblick auf die Praxisstandorte in OWL besitzt, werden verschiedene ertragsbestimmende Parameter hier gesondert betrachtet.

Neben der Bewertung des Strohertrags kann eine weitere Form der Auswertung mit der Darstellung des berechneten Wertes „Ertrag je Pflanze“ und deren Gewichtung Aufschluss über die Leistung der einzelnen Hanfpflanze am erzielten Strohertrag liefern. Hierzu wurde der Quotient aus dem Strohertrag und der Anzahl der geernteten Pflanzen (BD Ernte) ermittelt. In Tabelle 5-21 wird besonders bei der hohen Saatstärke (216 kK/m<sup>2</sup>) deutlich, dass in Delbrück zwar der niedrigste Strohertrag aber die größte Ertragsleistung je Einzelpflanze erreicht wird.

**Tabelle 5-21: Mittelwerte (MEANS über 2 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) der ertragsbestimmenden Parameter BD Ernte (Pfl/m<sup>2</sup>) und Strohertrag (dt/ha) der Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL mit Darstellung der Ertragsleistung je Pflanze (g) sowie die Darstellung der Gewichtung dieses Parameters in Bezug zur Saatstärke.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das Merkmal zwischen den Standorten. Die grau hinterlegten Angaben beziehen sich auf ein Versuchsjahr. BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, kK = keimfähige Körner.

SAATSTÄRKE (kK/m <sup>2</sup> )	STANDORT	BD ERNTE (Pfl/m <sup>2</sup> )		STROHERTRAG (dt/ha)		ERTRAG je PFLANZE (g)	RANGFOLGE „Ertrag je Pflanze“
108	Delbrück	53	bc	98	d	18,5	3
	Detmold	80	a	115	c	14,4	4
	Haus Düsse	62	b	152	b	24,5	2
	Werther	45	c	203	a	45,1	1
216	Delbrück	32	d	117	c	36,6	1
	Detmold	142	a	176	b	12,4	4
	Haus Düsse	119	b	158	b	13,3	3
	Werther	78	c	217	a	27,8	2



**VA-Tabelle 20: Bestandesdichte (Pfl/m<sup>2</sup>) und Strohertrag (dt/ha) für die Saatstärke 108 kK/m<sup>2</sup> der Praxisstandorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung (Delbrück einjährig) über 2 Stickstoffstufen).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr, BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, kK = keimfähige Körner, Ngabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke.

BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> ) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Standort	3	103.7763131	1.22	0.3066
Jahr	1	140.0242424	1.64	0.2025
Ngabe	1	38.3831776	0.45	0.5036
Standort*Jahr	2	115.6606061	1.36	0.2615
Ngabe*Jahr	1	0.6818182	0.01	0.9289
Ngabe*Standort	3	115.2594697	1.35	0.2610
Standort*Jahr*Ngabe	2	178.1818182	2.09	0.1282
Fehler	122	85.29098		
Strohertrag (dt/ha) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Standort	1	856.331205	3.77	0.0126
Jahr	1	4765.927630	20.96	<.0001
Ngabe	1	9937.755798	43.71	<.0001
Standort*Jahr	1	2051.589374	9.02	0.0002
Ngabe*Jahr	1	3837.313920	16.88	<.0001
Ngabe*Standort	1	2926.190575	12.87	<.0001
Standort*Jahr*Ngabe	1	3273.816186	14.40	<.0001
Fehler	122	227.3456		

**VA-Tabelle 21: Bestandesdichte (Pfl/m<sup>2</sup>) und Strohertrag (dt/ha) für die Saatstärke 216 kK/m<sup>2</sup> der Praxisstandorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung (Delbrück einjährig) über 2 Stickstoffstufen).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr, BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, kK = keimfähige Körner, Ngabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke.

BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> ) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Standort	3	325.701818	0.97	0.4080
Jahr	1	2568.490909	7.67	0.0065
Ngabe	1	418.449377	1.25	0.2658
Standort*Jahr	2	2447.581818	7.31	0.0010
Ngabe*Jahr	1	669.393939	2.00	0.1599
Ngabe*Standort	3	149.353535	0.45	0.7205
Standort*Jahr*Ngabe	2	1112.803030	3.32	0.0393
Fehler	122	334.8279		
Strohertrag (dt/ha) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Standort	3	4018.63371	6.72	0.0003
Jahr	1	879.17630	1.47	0.2276
Ngabe	1	7931.53573	13.26	0.0004
Standort*Jahr	2	2660.03728	4.45	0.0137
Ngabe*Jahr	1	1334.60819	2.23	0.1378
Ngabe*Standort	3	1634.15219	2.73	0.0467
Standort*Jahr*Ngabe	2	1151.43595	1.93	0.1502
Fehler	122	597.9446		

In Tabelle 5-22 werden die Bestandesdichte zur Ernte (BD Ernte), Stroherträge und die Fasergehalte der beiden Saatstärkenversuche dargestellt.

**Tabelle 5-22: Mittelwerte (MEANS über 2 Stickstoffstufen und 2 Versuchsjahre) der Bestandesdichte (Pfl/m<sup>2</sup>), dem Strohertrag (dt/ha) und Fasergehalt (%) in Abhängigkeit von der Saatstärke für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für den Vergleich der Standorte innerhalb der jeweiligen Saatstärke für die angegebenen Merkmale. Die grau hinterlegten Ergebnisse von Delbrück beziehen sich auf einen einjährigen Versuch. BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, kK = keimfähige Körner.

SAATSTÄRKE (kK/m <sup>2</sup> )	STANDORT	BD ERNTE (Pfl/m <sup>2</sup> )		STROHERTRAG (dt/ha)		FASERGEHALT (%)	
108	Delbrück	53	bc	98	d	34,3	b
	Detmold	80	a	115	c	33,6	c
	Haus Düsse	62	b	152	b	32,0	d
	Werther	45	c	203	a	41,2	a
216	Delbrück	32	d	117	c	36,2	b
	Detmold	142	a	176	b	32,1	d
	Haus Düsse	119	b	158	b	38,4	a
	Werther	78	c	217	a	32,8	c

Hinsichtlich der niedrigen Saatstärke zeigt sich für den Strohertrag und den Fasergehalt ein einheitliches Bild. Für beide Parameter konnten zwischen den Standorten signifikante Unterschiede festgestellt werden. Trotz niedrigster Bestandesdichte (BD Ernte) wird in Werther der signifikant höchste Strohertrag und Fasergehalt ermittelt. Auffallend ist hier jedoch besonders der Fasergehalt von Delbrück. Trotz geringer Bestandesdichte (BD Ernte) und signifikant geringstem Strohertrag wird hier der zweithöchste Fasergehalt ausgebildet. Für die hohe Saatstärke konnten für die Standorte Detmold und Haus Düsse keine signifikanten Unterschiede des Strohertrages festgestellt werden. Allerdings unterscheiden sich die Fasergehalte an diesen Standorten signifikant: In Haus Düsse werden die signifikant höchsten und in Detmold die signifikant niedrigsten Fasergehalte nachgewiesen. Des Weiteren ist anzumerken, dass die ermittelten Fasergehalte an allen Standorten außerordentlich hoch sind. Dieses trifft auch für den Vergleich mit den Fasergehalten der Standardumwelt Dikopshof (108 kK/m<sup>2</sup>: 31,3 % und 216 kK/m<sup>2</sup>: 34,5 %) zu.

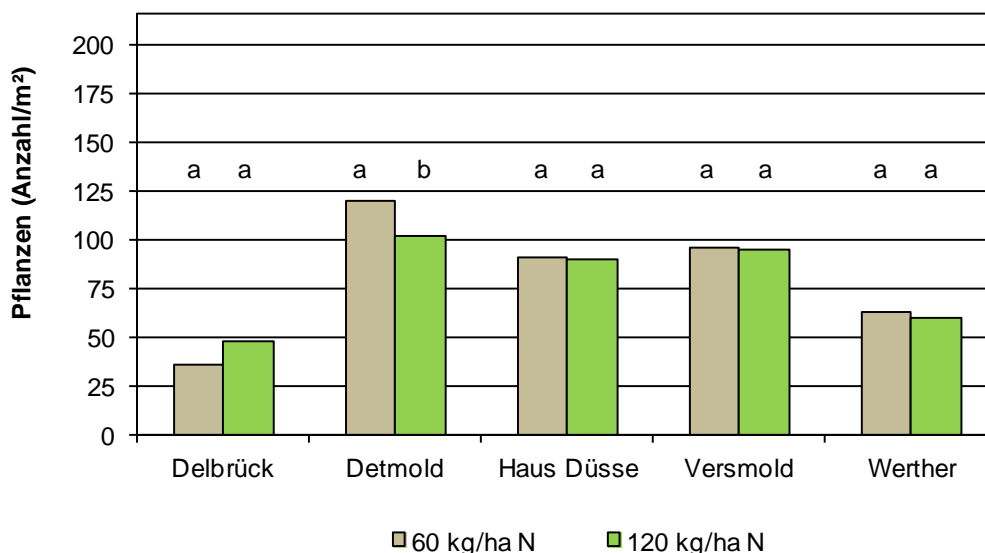
#### 5.2.4 Einfluss der Stickstoffdüngung

Die Entwicklung der Hanfpflanzen wird im Verlauf der Vegetationsperiode sowohl von den Bedingungen am Standort als auch durch die pflanzenbaulichen Maßnahmen beeinflusst. Die Stickstoffdüngung (KAS) erfolgte an allen Standorten jeweils in einer Applikation nach dem Auflaufen des Bestandes. Die Analyse der Auswirkungen der Stickstoffdüngung auf die ertragsbestimmenden Parameter ist im Folgenden dargestellt. Bezogen auf den Faktor Stickstoffdüngung werden die Ergebnisse aller Praxisstandorte (Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther) in OWL präsentiert.

**VA-Tabelle 22: Bestandesdichte (Pfl/m<sup>2</sup>) in Abhängigkeit von der Stickstoffgabe für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung (Delbrück einjährig) über 2 Saatstärken, 2 Stickstoffstufen und 5 Standorte).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, Jahr = Versuchsjahr, Ngabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke. Die Ergebnisse der Varianzanalyse für die einzelnen Standorte sind im Anhang (VA-Tabelle 39, S. 169ff) zu finden.

Mittel der Standorte in OWL BD Ernte(Pfl/m <sup>2</sup> ) Varianzursache	FG	MQ	F	p-Wert
Standort	4	2822.82489	14.27	<.0001
Saat	1	11637.58017	58.85	<.0001
Ngabe	1	518.60111	2.62	0.1063
Jahr	1	39361.48148	199.05	<.0001
Standort*Saat	4	4226.12526	21.37	<.0001
Standort*Ngabe	4	270.85573	1.37	0.2442
Standort*Jahr	3	10437.96274	52.78	<.0001
Saat*Ngabe	1	73.69274	1.38	0.2403
Saat*Jahr	1	700.83333	3.54	0.0607
Ngabe*Jahr	1	33.42593	0.17	0.6812
Standort*Saat*Ngabe	4	94.37383	0.48	0.7524
Standort*Saat*Jahr	3	2250.84767	11.38	<.0001
Standort*Ngabe*Jahr	3	764.92219	3.87	0.0097
Saat*Ngabe*Jahr	1	379.25926	1.92	0.1671
Standort*Saat*Ngabe*Jahr	3	524.60074	2.65	0.0487
Fehler	320	197.7484		

Die Verdopplung der Stickstoffgabe hat auf die Bestandesdichte (BD Ernte, Abbildung 5-14) in Delbrück, Haus Düsse, Vermold und Werther keinen signifikanten Einfluss.



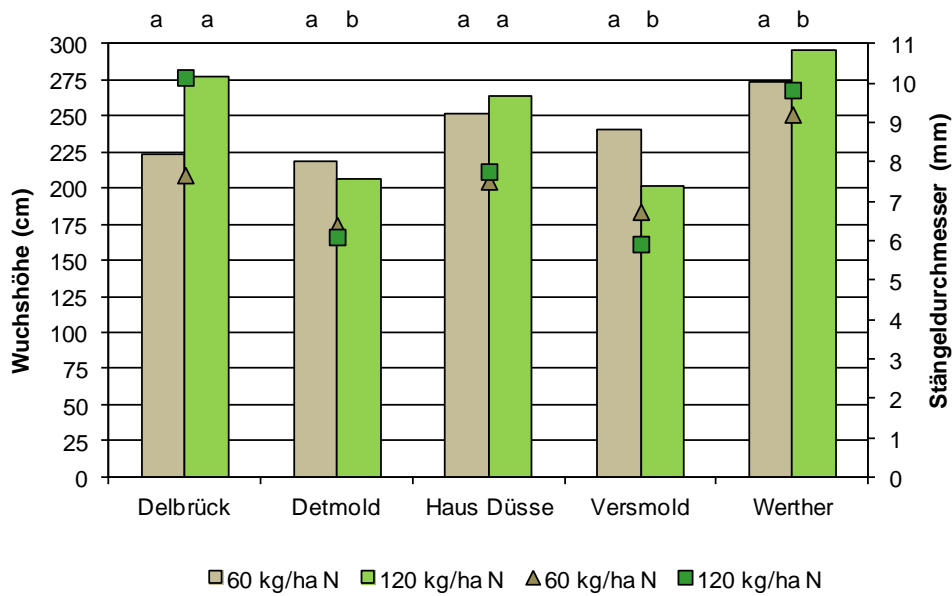
**Abbildung 5-14: Bestandesdichte (Pfl/m<sup>2</sup>; MEANS über 2 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das Merkmal zwischen den untersuchten Stickstoffdüngungen. Die Ergebnisse von Delbrück beziehen sich auf einen einjährigen Versuch.

Im Vergleich mit der Standardumwelt Dikopshof wird auch dort, entsprechend dem Ergebnis in Detmold, eine signifikant niedrigere Bestandesdichte (BD Ernte) bei hoher Stickstoffgabe erzielt (Abbildung 5-4, S. 50). Die Pflanzenzahlen in Detmold sind in den Düngungsstufen signifikant verschieden; die meisten Pflanzen zur Ernte werden entgegen den Erwartungen bei der niedrigen Stickstoffdüngung von 60 kg/ha ausgebildet.

**VA-Tabelle 23: Wuchshöhe (cm) in Abhängigkeit von der Stickstoffgabe der Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung (Delbrück einjährig) über 2 Saatstärken, 2 Stickstoffstufen und 5 Standorte).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr, Ngabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke. Die Ergebnisse der Varianzanalyse für die einzelnen Standorte sind im Anhang (VA-Tabelle 40, S. 170ff) zu finden.

Mittel der Standorte in OWL Wuchshöhe (cm) Varianzursache	FG	MQ	F	p-Wert
Standort	4	18099.92929	27.33	<.0001
Saat	1	4002.16673	6.04	0.0150
Ngabe	1	4588.53194	6.93	0.0093
Jahr	1	1545.62155	2.33	0.1286
Standort*Saat	4	827.41943	1.25	0.2924
Standort*Ngabe	4	1020.67757	1.54	0.1929
Standort*Jahr	3	7086.32749	10.70	<.0001
Saat*Ngabe	1	62.94934	0.10	0.7583
Saat*Jahr	1	421.20776	0.64	0.4264
Ngabe*Jahr	1	3037.18017	4.59	0.0338
Standort*Saat*Ngabe	4	1320.29061	1.99	0.0981
Standort*Saat*Jahr	3	421.23860	0.64	0.5929
Standort*Ngabe*Jahr	3	1812.37493	2.74	0.0454
Saat*Ngabe*Jahr	1	38.38017	0.06	0.8101
Standort*Saat*Ngabe*Jahr	3	184.37664	0.28	0.8410
Fehler	160	662.3925		

Bei der Betrachtung des Pflanzenwachstums (Abbildung 5-15) fällt auf, dass die Düngung keinen direkten Einfluss auf die Wuchshöhe in Delbrück, Detmold und Werther hat. Nur in Haus Düsse wird eine signifikant größere Wuchshöhe bei hoher Stickstoffgabe ausgebildet. Im Gegensatz dazu wird die höhere Stickstoffgabe in Vermold nicht entsprechend in ein stärkeres Größenwachstum umgesetzt. Im Vergleich mit der Standardumwelt Dikopshof führt dort eine Erhöhung der Stickstoffdüngung zu einer signifikanten Zunahme der Wuchshöhe (Abbildung 5-6, S. 52). Allerdings konnte für die Stängeldurchmesser der Hanfpflanzen an allen Praxisstandorten in OWL keine statistische Beeinflussung durch die Erhöhung der Stickstoffgabe nachgewiesen werden (Abbildung 5-15, VA-Tabelle 41). Dagegen wird das erhöhte Nährstoffangebot in der Standardumwelt Dikopshof in stärkere Stängeldurchmesser überführt (Abbildung 5-5, S. 51).

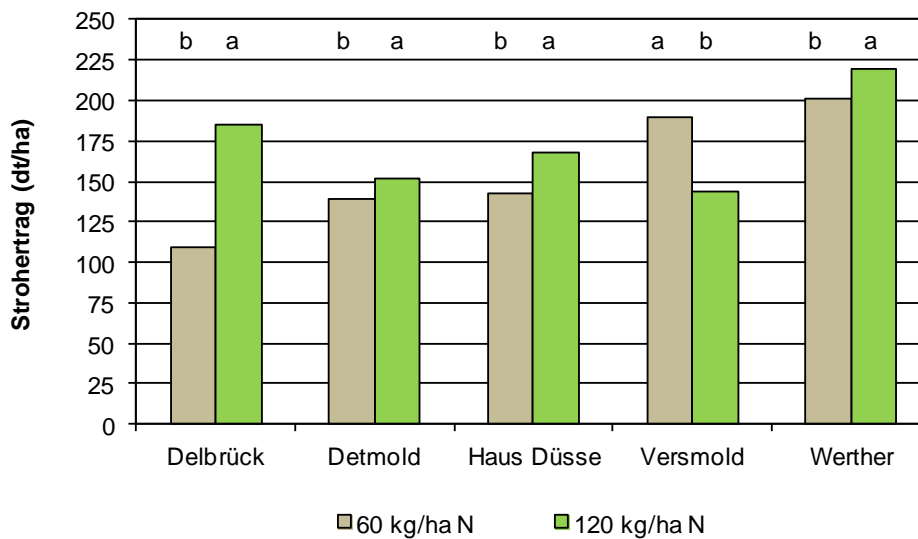


**Abbildung 5-15: Wuchshöhe (cm) und Stängeldurchmesser (mm; MEANS über 2 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das Merkmal Wuchshöhe zwischen den untersuchten Stickstoffdüngungen. Die Ergebnisse von Delbrück beziehen sich auf einen einjährigen Versuch. Die Säulen stehen für die Ergebnisse der Wuchshöhe und die Symbole (Dreieck und Quadrat) zeigen die Ergebnisse des Stängeldurchmessers in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung.

**VA-Tabelle 24: Strohertrag (dt/ha) in Abhängigkeit von der Stickstoffgabe der Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung (Delbrück einjährig) über 2 Saatstärken, 2 Stickstoffstufen und 5 Standorte).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr, Ngabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke. Die Ergebnisse der Varianzanalyse für die einzelnen Standorte sind im Anhang (VA-Tabelle 42, S. 172ff) zu finden.

Mittel der Standorte in OWL	FG	MQ	F	p-Wert
Strohertrag (dt/ha)				
<b>Varianzursache</b>				
Standort	4	49022.2688	121.37	<.0001
Saat	1	9272.2222	22.96	<.0001
Ngabe	1	6677.7714	16.53	<.0001
Jahr	1	5059.7937	12.53	0.0005
Standort*Saat	4	9909.9941	24.53	<.0001
Standort*Ngabe	4	15617.0897	38.66	<.0001
Standort*Jahr	3	20389.2605	50.48	<.0001
Saat*Ngabe	1	595.8072	1.48	0.2254
Saat*Jahr	1	35.8811	0.09	0.7659
Ngabe*Jahr	1	322.9298	0.80	0.3719
Standort*Saat*Ngabe	4	4556.2431	11.28	<.0001
Standort*Saat*Jahr	2	2636.5853	6.53	0.0017
Standort*Ngabe*Jahr	2	335.7282	0.83	0.4365
Saat*Ngabe*Jahr	1	4848.9923	12.01	0.0006
Standort*Saat*Ngabe*Jahr	1	4089.5240	10.12	<.0001
Fehler	320	403.9137		

Die Verdopplung der Stickstoffdüngung führt zu einer signifikanten Veränderung des Strohertrages an allen Standorten. Diese äußert sich in Delbrück, Detmold, Haus Düsse und Werther in einer Zunahme des Ertrages (Abbildung 5-16). In Vermold hingegen führt die erhöhte Nährstoffgabe nicht zu einem gesteigerten Strohertrag sondern zu einer Abnahme. Allerdings sind auch die Unterschiede im Strohertrag in Abhängigkeit von der Stickstoffgabe am Standort Vermold signifikant. Im Vergleich hierzu bestätigen die Ergebnisse der Standardumwelt Dikopshof, dass der Strohertrag mit einer signifikanten Zunahme auf ein erhöhtes Nährstoffangebot reagiert (Abbildung 5-7, S. 53).



**Abbildung 5-16: Strohertrag (dt/ha; MEANS über 2 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das Merkmal zwischen den untersuchten Stickstoffdüngungen. Die Stroherträge für die Standorte Delbrück und Vermold beziehen sich jeweils auf ein Versuchsjahr.

Neben der Bewertung des Strohertrags wird eine weitere Form der Auswertung, mit dem berechneten Wert „Ertrag je Pflanze“, erreicht. Hierzu wurde der Quotient aus dem Strohertrag und der Anzahl der geernteten Pflanzen (BD Ernte) ermittelt. Dieser Wert verdeutlicht die Leistung der einzelnen Hanfpflanze am erzielten Strohertrag. Die Analyse der Ertragsleistung durch die Bestandesdichte (BD Ernte), Strohertrag und den Wert „Ertrag je Pflanze“ führt bei einer Stickstoffdüngung von 60 kg/ha an den Standorten in OWL (Tabelle 5-23) dazu, dass Delbrück trotz der niedrigsten Bewertung von Bestandesdichte (BD Ernte) und Strohertrag zusammengefasst die zweitbeste Bewertung der Ertragsleistung je Pflanze nach Werther erhält.

**Tabelle 5-23: Mittelwerte (MEANS über 2 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) der erreichten Ergebnisse für die ertragsbestimmenden Parameter BD Ernte (Pfl/m<sup>2</sup>) und Strohertrag (dt/ha) für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL bezogen auf eine Stickstoffdüngung von 60 kg/ha und die Ertragsleistung je Pflanze (g) sowie die Darstellung der Gewichtung dieses Parameters.** Die Bestandesdichte zur Ernte (BD Ernte) und der Strohertrag in Vermold sowie die Ergebnisse von Delbrück beziehen sich auf ein Versuchsjahr.

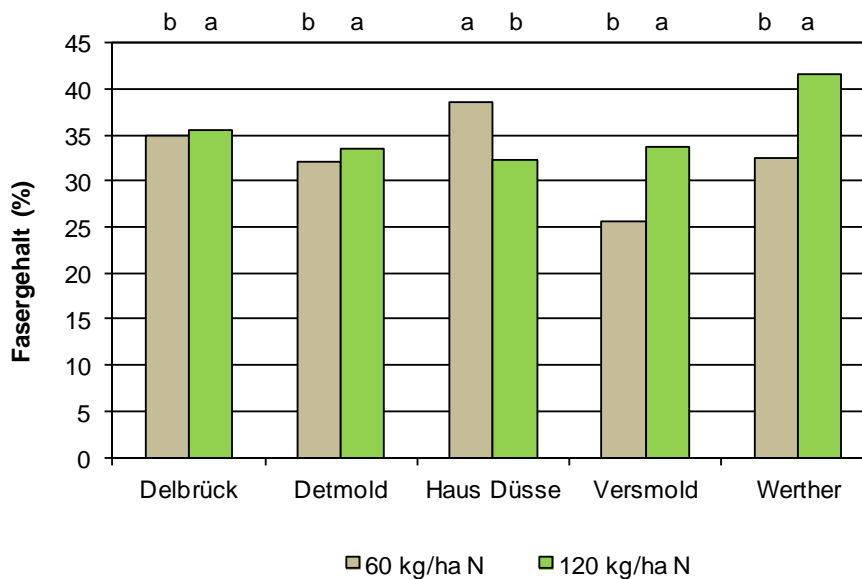
STANDORT	BD ERNTE (Pfl/m <sup>2</sup> )	STROHERTRAG (dt/ha)	ERTRAG je PFLANZE (g)	RANGFOLGE „Ertrag je Pflanze“
Delbrück	36	82	22,8	2
Detmold	120	139	11,6	5
Haus Düsse	91	143	15,7	4
Vermold	96	190	19,8	3
Werther	63	201	31,9	1

Dieses Ergebnis wird auch bei der hohen Stickstoffdüngungsstufe von 120 kg/ha bestätigt (Tabelle 5-24). Die Ergebnisse der Standardumwelt Dikopshof (Tabelle 5-5, S. 54) sind für den Parameter „Ertrag je Pflanze“ für beide Düngungsstufen (60 und 120 kg/ha) mit denen in Detmold, Haus Düsse und Vermold zu vergleichen.

**Tabelle 5-24: Mittelwerte (MEANS über 2 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) der erreichten Ergebnisse für die ertragsbestimmenden Parameter BD Ernte (Pfl/m<sup>2</sup>) und Strohertrag (dt/ha) für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL bezogen auf eine Stickstoffdüngung von 120 kg/ha und die Ertragsleistung je Pflanze (g) sowie die Darstellung der Gewichtung dieses Parameters.** Die Bestandesdichte zur Ernte (BD Ernte) und der Strohertrag in Vermold sowie die Ergebnisse von Delbrück beziehen sich auf ein Versuchsjahr.

STANDORT	BD ERNTE (Pfl/m <sup>2</sup> )	STROHERTRAG (dt/ha)	ERTRAG je PFLANZE (g)	RANGFOLGE „Ertrag je Pflanze“
Delbrück	48	133	27,7	2
Detmold	102	152	14,9	5
Haus Düsse	90	168	18,7	3
Vermold	95	144	15,2	4
Werther	60	219	36,5	1

In Abbildung 5-17 wird der Fasergehalt der Umwelten in OWL in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung dargestellt. Die Ergebnisse für Delbrück, Detmold und Werther verdeutlichen, dass durch eine Zunahme des Strohertrags nicht generell mit einer erhöhten Faserausbeute zu rechnen ist.



**Abbildung 5-17: Fasergehalt (%; MEANS über 2 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das Merkmal zwischen den untersuchten Stickstoffdüngungen. Der Fasergehalt für die Standorte Delbrück und Vermold bezieht sich jeweils nur auf ein Versuchsjahr.

So beinhaltet der hohe Strohertrag in Haus Düsse, erzielt mit einer Stickstoffgabe von 120 kg/ha, einen signifikant niedrigeren Fasergehalt; in Vermold liefert der signifikant niedrigere Strohertrag bei einer Stickstoffgabe von 120 kg/ha hingegen einen signifikant höheren Fasergehalt. Die Fasergehalte aller Standorte sind jeweils in Abhängigkeit von der Stickstoffgabe signifikant unterschiedlich, wobei die Erhöhung der Stickstoffgabe in Delbrück, Detmold, Vermold und Werther mit einem Anstieg des Faseranteils im Stroh verbunden ist. Das Verhältnis von Stickstoffdüngung und Fasergehalt am Standort Haus Düsse ist mit dem Ergebnis der Standardumwelt Dikopshof vergleichbar (60 kg/ha: 36,0 % und 120 kg/ha: 31,8 %).

#### 5.2.4.1 Stickstoffgehalte der Hanfpflanzen

Die Stickstoffgehalte in den Hanfstängeln (ohne Blätter und Samen) und in den gesamten Hanfpflanzen (mit Blätter und Samen) zum Zeitpunkt der Ernte wurden anhand der in Kapitel 3.5 beschriebenen Methode ermittelt.

Im Mittel unterscheiden sich die Stickstoffgehalte der Hanfstängel an allen Standorten signifikant zwischen den applizierten Düngungsstufen (Tabelle 5-25).



**Tabelle 5-25: Mittelwerte (MEANS über 2 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) der Stickstoffgehalte in den Hanfstängeln (%) in Abhängigkeit von der Düngung für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das Merkmal zwischen den untersuchten Stickstoffdüngungen. Felder bzw. Werte, die sich ausschließlich auf eine Vegetationsperiode beziehen sind grau unterlegt.

	DELBRÜCK		DETMOLD		HAUS DÜSSE		VERSMOLD		WERTHER	
STICKSTOFFGABE (kg/ha)										
60	0,37	b	0,50	b	0,60	a	0,56	a	0,58	b
120	0,50	a	0,56	a	0,51	b	0,50	b	0,76	a

Entsprechend wird in der Standardumwelt Dikopshof mit erhöhter Stickstoffverfügbarkeit auch ein signifikant höherer Stickstoffgehalt im Hanfstängel nachgewiesen (Tabelle 5-7, S. 57). Allerdings wird in Haus Düsse und Vermold ein signifikant höherer Stickstoffgehalt in den Hanfstängeln bei der niedrigen Stickstoffgabe von 60 kg/ha ermittelt. Dabei ist jedoch zu beachten, dass sich das Ergebnis für Vermold nur auf ein Versuchsjahr bezieht.

Zur besseren Einordnung dieser Ergebnisse sind in Tabelle 5-26 die Stickstoffgehalte in den Hanfstängeln getrennt für die Versuchsjahre und Düngungsstufen dargestellt. Im Versuchsjahr 2001 können keine signifikanten Unterschiede für die Stickstoffgehalte innerhalb der jeweiligen Düngungsstufe für alle Versuchsstandorte nachgewiesen werden.

**Tabelle 5-26: Stickstoffgehalte (MEANS über 2 Saatstärken) in den Hanfstängeln (%) für das Versuchsjahr 2001 und 2002 in Abhängigkeit von der Düngung sowie Darstellung der Signifikanzen für die Jahresmittelwerte der Stickstoffgehalte im Hanfstängel (%) für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das Merkmal zwischen den Versuchsstandorten. Signifikante Unterschiede bei  $\alpha \leq 0,05$  nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich für das Merkmal zwischen den Behandlungsstufen innerhalb des Versuchsjahres je Standort werden durch \* gekennzeichnet. Werte, die sich ausschließlich auf eine Vegetationsperiode beziehen sind grau unterlegt.

	2001				MITTEL 2001	2002				MITTEL 2002
	60 kg/ha		120 kg/ha			60 kg/ha		120 kg/ha		
DELBRÜCK	0,37	a	0,50	a	*	-		-		
DETMOLD	0,39	a	0,45	a		0,51	c	0,57	b	*
HAUS DÜSSE	0,35	a	0,44	a		0,63	a	0,52	c	*
VERSMOLD	-		-			0,56	bc	0,50	c	*
WERTHER	0,42	a	0,41	a		0,60	ba	0,79	a	*

Dieses Ergebnis kann im Versuchsjahr 2002 nicht bestätigt werden. Die Stickstoffgehalte unterscheiden sich signifikant sowohl innerhalb der jeweiligen Düngungsstufe als auch zwischen den Düngungsstufen in Abhängigkeit vom Standort.

Zur Darstellung der Beziehungen zwischen den erhobenen Merkmalen werden die entsprechenden Korrelationskoeffizienten, jeweils getrennt für die Standorte und die geprüften Stickstoffdüngungsstufen von 60 kg/ha (Tabelle 5-27) und 120 kg/ha (Tabelle 5-28), berechnet.

**Tabelle 5-27: Korrelationskoeffizienten zwischen den Mittelwerten (MEANS über 2 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) des Stickstoffgehalts im Hanfstängel (%) und verschiedenen ertragsbestimmenden Parametern bei einer Stickstoffdüngung von 60 kg/ha für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Versmold und Werther in OWL.** Die Signifikanzniveaus entsprechen  $\alpha > 0,05$  = nicht signifikant,  $\alpha \leq 0,05$  = signifikant (\*),  $\alpha \leq 0,01$  = hoch signifikant (\*\*),  $\alpha \leq 0,001$  = sehr hoch signifikant (\*\*\*). Werte, die sich ausschließlich auf eine Vegetationsperiode beziehen sind grau unterlegt. BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, N = Stickstoff.

STANDORT		N-GEHALT HANFPFLANZE (%)	BD ERNTE (Pfl/m <sup>2</sup> )	STÄNGEDURCHMESSER (mm)	WUCHSHÖHE (cm)	STROHERTRAG (dt/ha)	FASERGEHALT (%)
DELBRÜCK	N-GEHALT STÄNGEL (%)	-	0,52317	-0,46150	-0,51758	-0,09893	0,54938
DETMOLD		-0,71165***	0,25088	-0,36355	0,52926**	0,32509*	-
HAUS DÜSSE		0,39793*	0,00113	0,22814	0,42226*	-0,53255***	0,68957***
VERSMOLD		0,94053***	0,03599	0,27228	0,47598*	0,39340*	-
WERTHER		0,89717***	-0,65784***	0,35485	0,18800	-0,50098***	-0,50745*

In Tabelle 5-27 fällt zunächst auf, dass für den Standort Delbrück keine signifikante Korrelation zwischen dem Stickstoffgehalt im Hanfstängel und den verschiedenen ertragsbestimmenden Parametern ermittelt werden konnte. In Detmold, Versmold und Werther werden straffe, hoch signifikante Korrelationen zwischen dem Stickstoffgehalt im Hanfstängel und dem der gesamten Hanfpflanze (mit Blätter und Samen) festgestellt. Allerdings ist diese Beziehung in Detmold negativ. Entsprechend der Korrelationen der Standardumwelt Dikopshof (Tabelle 5-8, S. 57) sind die Bestandesdichte (BD Ernte) und der Stickstoffgehalt im Stängel auch in Werther negativ und hoch signifikant korreliert. Des Weiteren wird in Detmold eine signifikante mittlere, positive Korrelation für die Wuchshöhe ermittelt, was auch in abgeschwächter Form für Haus Düsse und Versmold zutrifft. Sowohl in Haus Düsse wie auch in Werther werden hoch signifikante schwach negative Korrelationen zwischen dem Stickstoffgehalt im Stängel und dem Strohertrag ermittelt. Der Fasergehalt ist in Haus Düsse hoch signifikant mit dem Stickstoffgehalt im Stängel korreliert, wohingegen diese Parameter in Werther eine negative, signifikante Korrelation aufweisen.

In Tabelle 5-28 sind die Korrelationskoeffizienten zwischen dem Stickstoffgehalt im Hanfstängel und den verschiedenen ertragsbestimmenden Parametern bei einer Stickstoff-

düngung von 120 kg/ha dargestellt. Entsprechend dem Ergebnis für die niedrige Stickstoffgabe können in Delbrück keine signifikanten Korrelationen festgestellt werden.

**Tabelle 5-28: Korrelationskoeffizienten zwischen den Mittelwerten (MEANS über 2 Saatkraftstärken und 2 Versuchsjahre) des Stickstoffgehalts im Hanfstängel (%) und verschiedenen ertragsbestimmenden Parametern bei einer Stickstoffdüngung von 120 kg/ha für die Standorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Versmold und Werther in OWL.** Die Signifikanzniveaus entsprechen  $\alpha > 0,05$  = nicht signifikant,  $\alpha \leq 0,05$  = signifikant (\*),  $\alpha \leq 0,01$  = hoch signifikant (\*\*),  $\alpha \leq 0,001$  = sehr hoch signifikant (\*\*\*). Werte, die sich ausschließlich auf eine Vegetationsperiode beziehen sind grau unterlegt. BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, N = Stickstoff.

STANDORT		N-GEHALT HANFPFLANZE (%)	BD ERNTE (Pfl/m <sup>2</sup> )	STÄNGELDURCHMESSER (mm)	WUCHSHÖHE (cm)	STROHERTRAG (dt/ha)	FASERGEHALT (%)
DELBRÜCK	N-GEHALT STÄNGEL (%)	-	-0,83995	0,29180	0,20648	-0,65600	0,26791
DETMOLD		-0,42256**	0,49748***	-0,69972***	-0,34180	0,14361	0,92244***
HAUS DÜSSE		0,63015***	-0,79772***	0,47076*	0,75287***	-0,50860***	-0,74253***
VERSMOLD		0,47403**	0,16530	-0,03838	-0,24872	-0,42729**	-
WERTHER		0,36779**	0,24123	0,16490	0,25619	-0,46293**	0,78278***

Der Fasergehalt in Detmold und Werther ist straff, hoch signifikant mit dem Stickstoffgehalt im Hanfstängel korreliert. Auch Haus Düsse zeigt eine hoch signifikante Korrelation für dieses Merkmal. Allerdings ist diese Beziehung im Gegensatz zu Detmold und Werther negativ korreliert. In Detmold weist der Stängeldurchmesser eine mittlere negative Beziehung zum Stickstoffgehalt in der Hanfpflanze auf. Eine starke negative Korrelation ist in Haus Düsse zwischen der Bestandesdichte (BD Ernte) sowie dem Strohertrag und dem Stickstoffgehalt im Stängel gegeben, welches den Korrelationen der Standardumwelt Dikopshof für diese Merkmale entspricht (Tabelle 5-8, S. 57). Darüber hinaus ist die Wuchshöhe in Haus Düsse straff, hoch signifikant mit dem Stickstoffgehalt im Hanfstängel korreliert.

Zum Vergleich mit den zuvor dargestellten Ergebnissen werden die Stickstoffgehalte in den Hanfpflanzen (mit Blätter und Samen, Tabelle 5-29) zum Zeitpunkt der Ernte anhand der in Kapitel 4.4 beschriebenen Methode präsentiert. Da für das Erntegut des Standortes Delbrück keine Stickstoffgehalte der Hanfpflanzen ermittelt wurden, wird auf die Darstellung des Standortes verzichtet.

Trotz der unterschiedlichen Stickstoffdüngungen sind für die in den Hanfpflanzen akkumulierten Mengen an Stickstoff keine signifikanten Unterschiede in Detmold und Versmold nachweisbar. Die Hanfpflanzen von Haus Düsse weisen signifikant unterschiedliche Stickstoffmengen auf, wobei der höhere Gehalt bei niedrigerer Düngung erzielt wird.

**Tabelle 5-29: Stickstoffgehalt (MEANS über 2 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) in den Hanfpflanzen (%) in Abhängigkeit von der Düngung für die Standorte Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das Merkmal zwischen den untersuchten Stickstoffdüngungen. Werte, die sich ausschließlich auf eine Vegetationsperiode beziehen sind grau unterlegt.

	DETMOLD		HAUS DÜSSE		VERSMOLD		WERTHER	
<b>STICKSTOFFGABE (kg/ha)</b>								
60	0,86	a	0,98	a	0,90	a	1,14	b
120	0,86	a	0,91	b	0,87	a	1,32	a

Auch in Werther sind die Stickstoffgehalte in den Hanfpflanzen signifikant unterschiedlich, doch führt hier die höhere Düngung erwartungsgemäß auch zu den höheren Stickstoffgehalten in den Pflanzen, welches durch die Ergebnisse der Standardumwelt Dikopshof bestätigt wird (Tabelle 5-9, S. 58).

Die hoch signifikanten und straffen Korrelationen, bei einer Stickstoffdüngung von 60 kg/ha (Tabelle 5-30), finden sich zwischen dem Stickstoffgehalt in den Hanfpflanzen und dem Stängeldurchmesser in Detmold sowie dem Stickstoffgehalt im Hanfstängel und dem Strohertrag in Vermold.

**Tabelle 5-30: Korrelationskoeffizienten zwischen dem Mittelwert (MEANS über 2 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) des Stickstoffgehalts in der Hanfpflanze (%) und verschiedenen ertragsbestimmenden Parametern bei einer Stickstoffdüngung von 60 kg/ha für die Standorte Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL.** Die Signifikanzniveaus entsprechen  $\alpha > 0,05$  = nicht signifikant,  $\alpha \leq 0,05$  = signifikant (\*),  $\alpha \leq 0,01$  = hoch signifikant (\*\*),  $\alpha \leq 0,001$  = sehr hoch signifikant (\*\*\*). Werte, die sich ausschließlich auf eine Vegetationsperiode beziehen sind grau unterlegt. BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, N = Stickstoff.

STANDORT		N-GEHALT STÄNGEL (%)	BD ERNTE (Pfl/m <sup>2</sup> )	STÄNGELDURCHMESSER (mm)	WUCHSHÖHE (cm)	STROHERTRAG (dt/ha)
DETMOLD	N-GEHALT HANFPFLANZE (%)	-0,71165***	-0,24232	0,79815***	0,43027	-0,33143*
HAUS DÜSSE		0,39193*	0,62838***	-0,36694	0,04894	-0,14590
VERSMOLD		0,94053***	0,37072*	0,27228	0,47598*	0,65438***
WERTHER		0,89717***	-0,89842***	0,52613*	0,24180	-0,41641**

Zudem sind in Haus Düsse und Werther die Bestandesdichten (BD Ernte) hoch signifikant mit dem Stickstoffgehalt der Hanfpflanze korreliert. Allerdings ist diese Korrelation in Haus Düsse positiv und in Werther negativ ausgeprägt. Auffallend sind die für alle Standorte signifikanten Korrelationen zwischen dem Stickstoffgehalt im Hanfstängel und in der Hanfpflanze. Jedoch handelt es sich um eine wenig gerichtete Beziehung dieser Merkmale. In Vermold und Werther liegt eine straffe positive Korrelation vor, welche in Haus Düsse nur schwach ausgeprägt ist. In Detmold hingegen ist das Verhältnis dieser Merkmale straff negativ korreliert.

Ein ähnliches Ergebnis zeigt sich für diese Merkmale (N-Gehalt Hanfpflanzen zu N-Gehalt im Stängel) auch bei einer Stickstoffdüngung von 120 kg/ha (Tabelle 5-31). Allerdings sind die Korrelationen hier schwächer ausgeprägt. Für den Strohertrag wird in Detmold eine straffe hoch signifikante Korrelation ermittelt, welche in Versmold nur als mittlere Korrelation nachzuweisen ist. Zudem sind in Detmold und Versmold die Bestandesdichte (BD Ernte) und in Haus Düsse die Wuchshöhe positiv, hoch signifikant mit dem Stickstoffgehalt in den Hanfpflanzen korreliert.

**Tabelle 5-31: Korrelationskoeffizienten zwischen dem Mittelwert (MEANS über 2 Saatstärken und 2 Versuchsjahre) des Stickstoffgehalts in der Hanfpflanze (%) und verschiedenen ertragsbestimmenden Parametern bei einer Stickstoffdüngung von 120 kg/ha für die Standorte Detmold, Haus Düsse, Versmold und Werther in OWL.** Die Signifikanzniveaus entsprechen  $\alpha > 0,05$  = nicht signifikant,  $\alpha \leq 0,05$  = signifikant (\*),  $\alpha \leq 0,01$  = hoch signifikant (\*\*),  $\alpha \leq 0,001$  = sehr hoch signifikant (\*\*\*). Werte, die sich ausschließlich auf eine Vegetationsperiode beziehen sind grau unterlegt. Da für das Erntegut des Standortes Delbrück keine Stickstoffgehalte der Hanfpflanzen ermittelt wurde, wird auf die Darstellung des Standortes verzichtet. BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, N = Stickstoff.

STANDORT		N-GEHALT IM STÄNGEL (%)	BD ERNTE (Pfl/m <sup>2</sup> )	STÄNGELDURCHMESSER (mm)	WUCHSHÖHE (cm)	STROHERTRAG (dt/ha)
DETMOLD	N-GEHALT HANFPFLANZE (%)	<b>-0,42256**</b>	<b>0,58234***</b>	-0,12865	-0,14001	<b>0,89967***</b>
HAUS DÜSSE		<b>0,63015***</b>	-0,15719	0,42060	<b>0,73239***</b>	0,36723
VERSMOLD		<b>0,47403***</b>	<b>0,90566***</b>	0,03838	0,24872	<b>0,56889***</b>
WERTHER		<b>0,36779*</b>	0,04121	-0,40746	-0,00161	<b>-0,34393*</b>

### 5.2.5 Wechselwirkung Saatstärke und Stickstoffgabe

In insgesamt 24 Versuchspartzellen mit einer Größe von jeweils 1 m<sup>2</sup> wird an drei Standorten (Detmold, Haus Düsse und Werther) auf Praxisflächen der Einfluss der Prüffaktoren Stickstoffdüngung als Faktor für die Nährstoffverfügbarkeit und der Saatstärke auf den Ertrag von Hanf untersucht. Die Ergebnisse der Versuche werden im folgenden Kapitel zusammenfassend dargestellt. Dazu wurden die Wechselwirkungen zwischen Saatstärke und Stickstoffdüngung und deren Einfluss auf das Ertragspotenzial analysiert.

In Tabelle 5-32 wird deutlich, dass mit steigendem Stickstoffangebot und in Kombination mit einer Erhöhung der Saatstärke der Strohertrag tendenziell zunimmt. Allerdings liegen die in Haus Düsse und Werther erzielten Stroherträge bei niedriger Stickstoffdüngung für beide Saatstärken unter dem Referenzwert von 100 %.

**Tabelle 5-32: Einfluss der Stickstoffdüngung auf den Strohertrag (dt/ha; MEANS über 2 Versuchsjahre) der untersuchten Saatstärken für die Standorte Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL.** Die Bezugsgröße (100 %) für die prozentuale Darstellung des erzielten Strohertrags des jeweiligen Standortes ist der Mittelwert des Strohertrags (gemittelt über 2 Saatstärken und 2 Stickstoffstufen) je Standort. kK = keimfähige Körner.

STICKSTOFF-DÜNGUNG (kg/ha)	STANDORT	SAATSTÄRKE 108 kK/m <sup>2</sup>		SAATSTÄRKE 216 kK/m <sup>2</sup>		MITTELWERT STROHERTRAG (dt/ha)
		Strohertrag	Strohertrag	Strohertrag	Strohertrag	
	<b>Detmold</b>	dt/ha	%	dt/ha	%	108
60		117	108	162	150	
120		113	104	191	177	
	<b>Haus Düsse</b>					155
60		144	93	141	91	
120		160	103	175	113	
	<b>Werther</b>					210
60		194	92	209	99	
120		212	101	226	108	

**Tabelle 5-33: Einfluss der Stickstoffdüngung auf die Wuchshöhe (cm; MEANS über 2 Versuchsjahre) in Bezug auf die untersuchten Saatstärken für die Standorte Detmold, Haus Düsse und Werther in OWL.** Ausgewertet wird die mittlere Wuchshöhe über die Saatstärken der jeweiligen Düngungsstufe (fett dargestellt). Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das Merkmal zwischen den Stickstoffstufen. Die Wuchshöhen der einzelnen Saatstärken in Bezug zur Stickstoffdüngung sind hier ergänzend dargestellt. kK = keimfähige Körner.

STANDORT	STICKSTOFF-DÜNGUNG (kg/ha)	SAATSTÄRKE (kK/m <sup>2</sup> )		ÄNDERUNG DER WUCHSHÖHE (cm) von 108 zu 216 kK/m <sup>2</sup>	MITTEL WUCHSHÖHE (cm) über SAATSTÄRKEN	Gesamt Mittel Wuchshöhe (cm)
		108	216			
		Wuchshöhe (cm)				
Detmold	60	217	206	-11	<b>215 a</b>	210
	120	212	212	0	<b>206 a</b>	
Änderung der Wuchshöhe (cm) von 60 zu 120 kg/ha N		-5	+6			
Haus Düsse	60	245	284	+39	<b>247 b</b>	255
	120	249	242	-7	<b>263 a</b>	
Änderung der Wuchshöhe (cm) von 60 zu 120 kg/ha N		+4	-42			
Werther	60	284	291	+7	<b>274 a</b>	283
	120	264	291	+27	<b>291 a</b>	
Änderung der Wuchshöhe (cm) von 60 zu 120 kg/ha N		-20	0			

Die Untersuchungen zur Wuchshöhe (Tabelle 5-33) in Kombination von Saatstärke und Stickstoffdüngung zeigen ein indifferentes Ergebnis. In Detmold und Werther ist kein Unterschied im Mittel zwischen den Prüfkombinationen erkennbar. Nur in Haus Düsse liegt ein statistisch abgesicherter Unterschied für die Wuchshöhe vor.

### 5.3 Vergleichende Betrachtung der Prüffaktoren Umwelt, Saatstärke und Stickstoffdüngung

Die Bewertung der einzelnen Prüffaktoren ist unter Berücksichtigung von *ceteris paribus* Bedingungen besonders aussagekräftig. Da bei den Versuchen in OWL kein einheitliches Versuchsdesign mit Randomisierung und Wiederholung angewendet werden konnte, werden nachfolgend Vergleiche zwischen den geprüften Umwelten dargestellt. Für diese Betrachtung wurden die Ergebnisse der Umwelten, des Saatstärken- und des Stickstoffdüngungsversuches der Standardumwelt Dikopshof in der Köln-Aachener Bucht und der Praxisstandorte in OWL (Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther) durch die Bildung eines orthogonalen Kerns für das Versuchsjahr 2002 analysiert.

#### 5.3.1 Einfluss der Umwelt

Mit Hilfe dieser vergleichenden Betrachtung sind Aussagen hinsichtlich der Leistungen zwischen dem Versuchsanbau unter Standardbedingungen und dem Praxisanbau möglich. Zudem können mit Hilfe dieser Zusammenfassung Angaben über die umweltbedingte Variabilität der Standorte gemacht werden.

Die Ergebnisse der Varianzanalyse sind in VA-Tabelle 25 und die ertragsbestimmenden Parameter im Vergleich der Praxisstandorte und der Standardumwelt sind in Tabelle 5-34 dargestellt.

**VA-Tabelle 25: Ertragsbestimmende Parameter in Abhängigkeit von den Praxisstandorten Detmold, Haus Düsse, Vermold, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof (Ergebnisse einer einjährigen Feldprüfung über 2 Saatstärken und 2 Stickstoffstufen).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, Jahr = Versuchsjahr, Ngabe = Stickstoffgabe, N-Gehalt = Stickstoffgehalt, Saat = Saatstärke.

Feldaufgang (%) Varianzursache	FG	MQ	F	p-Wert
Standort	4	4476.89750	57.81	<.0001
Saat	1	36214.09000	467.61	<.0001
Ngabe	1	750.76000	9.69	0.0020
Standort*Saat	4	12468.26500	161.00	<.0001
Standort*Ngabe	4	1479.82250	19.11	<.0001
Saat*Ngabe	1	600.25000	7.75	0.0056
Standort*Saat*Ngabe	4	749.37500	9.68	<.0001
Fehler	20	147.14450		

<b>BD Ernte (Pfl/m<sup>2</sup>)</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
<b>Varianzursache</b>				
Standort	4	32659.7500	194.01	<.0001
Saat	1	127449.0000	757.08	<.0001
Ngabe	1	9604.0000	57.05	<.0001
Standort*Saat	4	29669.0000	176.24	<.0001
Standort*Ngabe	4	2839.0000	16.86	<.0001
Saat*Ngabe	1	4489.0000	26.67	<.0001
Standort*Saat*Ngabe	4	2165.2500	12.86	<.0001
Fehler	380	168.3421		
<b>Ausdünnung (%)</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
<b>Varianzursache</b>				
Standort	4	642.809869	23.13	<.0001
Saat	1	333.696533	12.01	0.0006
Ngabe	1	109.686533	3.95	0.0481
Standort*Saat	4	1554.582533	55.95	<.0001
Standort*Ngabe	4	1002.234533	36.07	<.0001
Saat*Ngabe	1	281.882133	10.14	0.0016
Standort*Saat*Ngabe	4	701.544133	25.25	<.0001
Fehler	235	27.78539		
<b>Stängeldurchmesser (mm)</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
<b>Varianzursache</b>				
Standort	4	74.4576309	50.83	<.0001
Saat	1	46.9711250	32.06	<.0001
Ngabe	1	1.1233800	0.77	0.3821
Standort*Saat	4	1.6956718	1.16	0.3305
Standort*Ngabe	4	6.4121030	4.38	0.0020
Saat*Ngabe	1	1.3798756	0.94	0.3328
Standort*Saat*Ngabe	4	1.9282030	1.32	0.2648
Fehler	220	1.4648892		
<b>Wuchshöhe (cm)</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
<b>Varianzursache</b>				
Standort	4	35584.5177	55.15	<.0001
Saat	1	8228.2722	12.75	0.0004
Ngabe	1	93.8889	0.15	0.7032
Standort*Saat	4	308.5594	0.48	0.7517
Standort*Ngabe	4	5933.0802	9.19	<.0001
Saat*Ngabe	1	37.3556	0.06	0.8101
Standort*Saat*Ngabe	4	1564.4802	2.42	0.0491
Fehler	220	645.2555		
<b>Strohertrag (dt/ha)</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
<b>Varianzursache</b>				
Standort	4	40042.1260	118.02	<.0001
Saat	1	16378.3110	48.28	<.0001
Ngabe	1	341.3268	1.01	0.3165
Standort*Saat	4	20578.8435	60.66	<.0001
Standort*Ngabe	4	15611.6526	46.02	<.0001
Saat*Ngabe	1	6237.0962	18.38	<.0001
Standort*Saat*Ngabe	4	2179.8111	6.42	<.0001
Fehler	380	339.2704		
<b>Fasergehalt (%)</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
<b>Varianzursache</b>				
Standort	4	842.926842	309.23	<.0001
Saat	1	44.204167	16.22	<.0001
Ngabe	1	3270.672250	1199.85	<.0001
Fehler	180	2.72590		



<b>N-Gehalt Hanfstängel (%)</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
<b>Varianzursache</b>				
Standort	4	0.53277287	113.41	<.0001
Saat	1	0.16362025	34.83	<.0001
Ngabe	1	0.50765625	108.07	<.0001
Standort*Saat	4	0.07539462	16.05	<.0001
Standort*Ngabe	4	0.52608938	111.99	<.0001
Saat*Ngabe	1	0.00000625	0.00	0.9709
Standort*Saat*Ngabe	4	0.09438312	20.09	<.0001
Fehler	380	0.00469764		
<b>N-Gehalt Hanfpflanze (%)</b>				
<b>Varianzursache</b>				
Standort	4	2.45106975	257.52	<.0001
Saat	1	0.00319225	0.34	0.5628
Ngabe	1	0.17598025	18.49	<.0001
Standort*Saat	4	0.12881475	13.53	<.0001
Standort*Ngabe	4	0.25866400	27.18	<.0001
Saat*Ngabe	1	0.04774225	5.02	0.0257
Standort*Saat*Ngabe	4	0.19277850	20.25	<.0001
Fehler	380	0.00951809		

Für die Bestandesdichte zur Ernte (BD Ernte) werden statistisch nachweisbare Unterschiede festgestellt. Detmold erzielt die signifikant höchste und Werther die niedrigste Bestandesdichte (BD Ernte). Die Standardumwelt, Haus Düsse und Vermold zeigen ähnliche Werte für diesen Parameter.

**Tabelle 5-34: Mittelwerte (MEANS über 2 Saatstärken und 2 Stickstoffstufen) der erreichten Ergebnisse der ertragsbestimmenden Parameter für die Praxisstandorte Detmold, Haus Düsse, Vermold, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof und deren Witterungsbedingungen sowie die Mittelwerte über alle Faktoren (MEANS über 2 Saatstärken, 2 Stickstoffstufen und 5 Standorte).** Ein signifikanter Unterschied liegt für das untersuchte Merkmal nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  zwischen den Düngungsstufen vor, wenn sich die Buchstaben unterscheiden. Werte, die sich ausschließlich auf eine Vegetationsperiode beziehen sind grau unterlegt. BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, GDD = *Growing Degree Days* (°C).

<b>UMWELT</b>	<b>FELDAUFGANG (%)</b>	<b>BD Ernte (Pfl/m<sup>2</sup>)</b>	<b>AUSDÜNNUNG (%)</b>	<b>STÄNGELDURCHMESSER (mm)</b>	<b>WUCHSHÖHE (cm)</b>	<b>STROHERTRAG (dt/ha)</b>	<b>FASERGEHALT (%)</b>	<b>N-GEHALT STÄNGEL (%)</b>	<b>N-GEHALT HANFPFLANZE (%)</b>	<b>GDD (°C)</b>	<b>NIEDERSCHLAG (l/m<sup>2</sup>)</b>
Detmold	64,6 a	120 a	8,6 c	6,25 c	212 d	152 c	33,8 d	0,54 c	0,86 c	1533 d	312 c
Haus Düsse	66,3 a	92 c	16,9 b	7,63 b	258 b	157 c	35,1 c	0,57 b	0,94 b	1523 e	326 a
Vermold	64,4 a	98 b	17,9 ab	6,33 c	221 cd	167 b	29,7 e	0,53 c	0,88 c	1546 c	310 d
Werther	49,0 b	63 d	20,9 a	9,52 a	284 a	207 a	37,4 b	0,69 a	1,23 a	1650 a	319 b
Standardumwelt	66,9 a	92 bc	15,0 b	6,86 c	232 c	157 c	42,9 a	0,48 d	0,76 d	1619 b	150 e
Mittelwert	62,2	93	16,5	7,24	240	168	36,4	0,56	0,94	1574	283

Auch für die Wuchshöhen und die Stängeldurchmesser konnten statistische Unterschiede nachgewiesen werden, wobei in Werther die signifikant höchsten Ausprägungen für beide

Parameter ermittelt werden. Allerdings liefern die Ergebnisse der Standardumwelt, Versmold und Detmold keine statistisch nachweisbaren Unterschiede für den Stängeldurchmesser. Und auch für die Wuchshöhe konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen Versmold und der Standardumwelt sowie zwischen Versmold und Detmold ermittelt werden. In Werther wird der signifikant höchste Strohertrag erzielt, gefolgt von Versmold. Für die Stroherträge der Standardumwelt, Detmold und Haus Düsse konnten keine statistischen Unterschiede nachgewiesen werden, obwohl sich die Witterungsbedingungen, dargestellt anhand der Wärmesummen (GDD) und dem Niederschlag, zwischen allen untersuchten Umwelten signifikant unterscheiden.

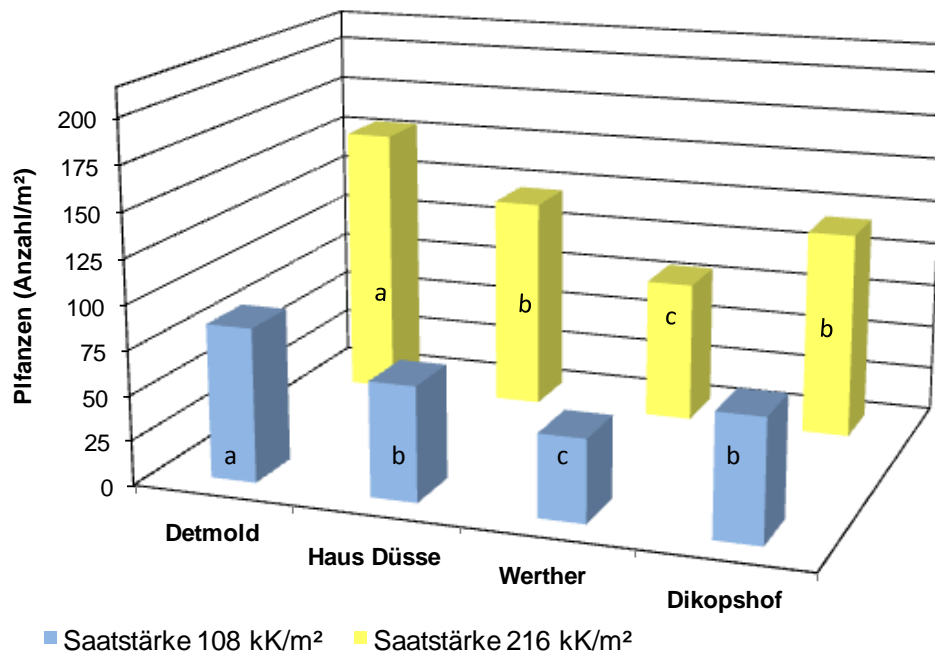
### 5.3.2 Einfluss der Saatstärke

Die Ergebnisse des dargestellten Saatstärkenversuches beziehen sich auf die Standorte Detmold, Haus Düsse, Werther und die Standardumwelt Dikopshof. Der Standort Versmold wird aufgrund einer möglichen Ungenauigkeit in der Versuchsdurchführung, hinsichtlich der ausgebrachten Saatstärken, nicht in die Auswertung dieses Versuches mit einbezogen.

**VA-Tabelle 26: Bestandesdichte (Pfl/m<sup>2</sup>) in Abhängigkeit von der Saatstärke im Vergleich der Praxisstandorte Detmold, Haus Düsse, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof (Ergebnisse einer einjährigen Feldprüfung über 2 Stickstoffstufen).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, kK = keimfähige Körner, Ngabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke.

<b>Saat 108 kK/m<sup>2</sup></b> BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> ) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Standort	3	10760.62500	135.90	<b>&lt;.0001</b>
Ngabe	1	1050.62500	13.27	0.0004
Standort*Ngabe	3	697.29167	8.81	<b>&lt;.0001</b>
Fehler	152	79.17763		
<b>Saat 216 kK/m<sup>2</sup></b> BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> ) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Standort	3	35870.8333	136.62	<b>&lt;.0001</b>
Ngabe	1	15602.5000	59.42	<b>&lt;.0001</b>
Standort*Ngabe	3	4997.5000	19.03	<b>&lt;.0001</b>
Fehler	152	262.5658		

Die statistisch nachweisbaren Unterschiede für die Bestandesdichte (Abbildung 5-18) sind zwischen den Standorten für beide Saatstärkenvarianten identisch: In Detmold werden sowohl bei 108 kK/m<sup>2</sup> als auch bei 216 kK/m<sup>2</sup> die stärksten Bestände erzielt. Für die im Mittelfeld liegenden Erntebestände der Standardumwelt und der von Haus Düsse konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. In Werther werden die signifikant geringsten Bestandesdichten (BD Ernte) ausgebildet. Jedoch wird das Niveau der erzielten Bestandesdichten (BD Ernte) mit der Erhöhung der Saatstärke auf 216 kK/m<sup>2</sup> an allen Standorten verdoppelt.

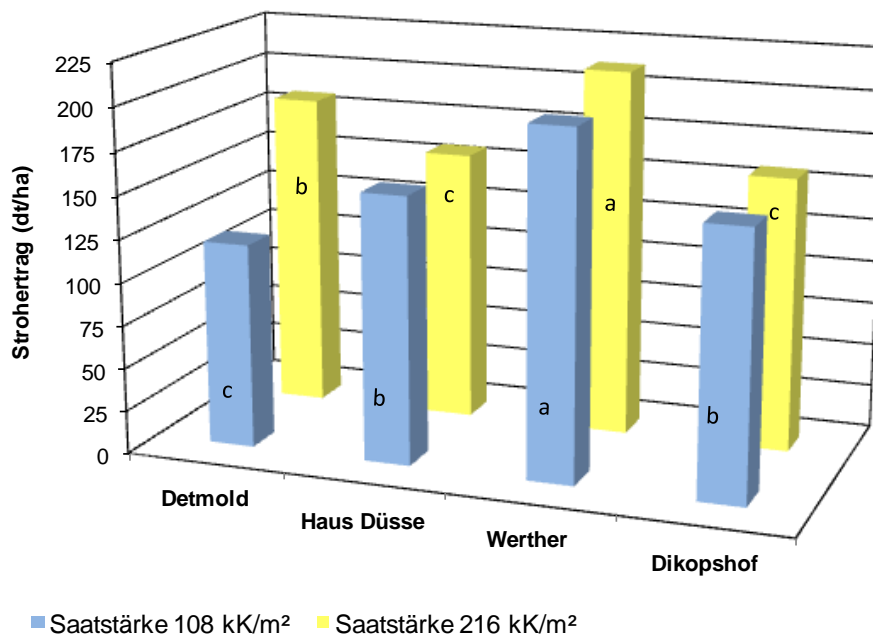


**Abbildung 5-18: Bestandesdichte (Pfl/m²; MEANS über 2 Stickstoffstufen) für die Praxisstandorte Detmold, Haus Düsse, Werther in OWL und die Standardumwelt Dikopshof in Abhängigkeit von der Saatstärke.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das untersuchte Merkmal innerhalb der jeweiligen Saatstärke. kK = keimfähige Körner.

**VA-Tabelle 27: Strohertrag (dt/ha) in Abhängigkeit von der Saatstärke im Vergleich der Praxisstandorte Detmold, Haus Düsse, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof (Ergebnisse einer einjährigen Feldprüfung über 2 Stickstoffstufen).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, kK = keimfähige Körner, Ngabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke.

Saat 108 kK/m²	FG	MQ	F	p-Wert
<b>Strohertrag (dt/ha)</b>				
<b>Varianzursache</b>				
Standort	3	43709.2854	241.71	<.0001
Ngabe	1	91.7430	0.51	0.4774
Standort*Ngabe	3	1616.8305	8.94	<.0001
Fehler	152	180.8349		
<b>Saat 216 kK/m²</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
<b>Strohertrag (dt/ha)</b>				
<b>Varianzursache</b>				
Standort	3	26874.08639	56.06	<.0001
Ngabe	1	27054.90525	56.43	<.0001
Standort*Ngabe	3	659.89820	1.38	0.2521
Fehler	152	479.4003		

Allerdings erzielen die Bestände in Werther für beide Saatstärken die signifikant höchsten Stroherträge (Abbildung 5-19). Entsprechend den Bestandesdichten (BD Ernte) weisen die Stroherträge der Standardumwelt und von Haus Düsse für beide Saatstärken keine signifikanten Unterschiede auf.



**Abbildung 5-19: Strohertrag (dt/ha; MEANS über 2 Stickstoffstufen) für die Praxisstandorte Detmold, Haus Düsse, Werther in OWL und die Standardumwelt Dikopshof in Abhängigkeit von der Saatstärke.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das untersuchte Merkmal innerhalb der jeweiligen Saatstärke. kK = keimfähige Körner.

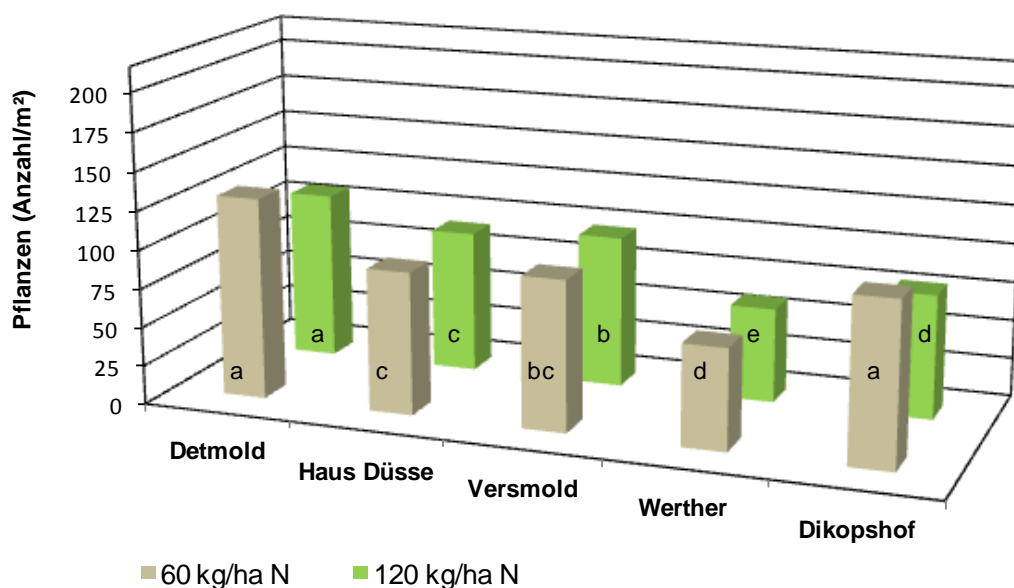
Die Betrachtung des Stängeldurchmessers liefert für beide Saatstärken ein vergleichbares Bild. Zwischen der Standardumwelt und Haus Düsse sowie für die Standardumwelt und Detmold konnten statistisch keine Unterschiede nachgewiesen werden. An allen anderen Standorten unterscheiden sich die Stängeldurchmesser hoch signifikant innerhalb der untersuchten Saatstärke voneinander. Die Ergebnisse der Wuchshöhe in Bezug zur niedrigen Saatstärke (108 kK/m<sup>2</sup>) liefern keine signifikanten Unterschiede zwischen Werther und Haus Düsse sowie der Standardumwelt und Detmold. Zwischen allen anderen Standortkombinationen werden signifikante Unterschiede ermittelt. Die Wuchshöhen der hohen Saatstärke (216 kK/m<sup>2</sup>) unterscheiden sich für alle Standorte signifikant. Diese Daten des orthogonalen Kerns (Tabelle 9-7, S. 173) sowie die Varianzanalyse für die weiteren ertragsbestimmenden Parameter (VA-Tabelle 43, S. 174ff) sind im Anhang zu finden.

### 5.3.3 Einfluss der Stickstoffdüngung

Für die Auswertung des Stickstoffdüngungsversuches werden die Ergebnisse der Praxisstandorte Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther in OWL sowie der Standardumwelt Dikopshof herangezogen.

**VA-Tabelle 28: Bestandesdichte (Pfl/m<sup>2</sup>) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung im Vergleich der Praxisstandorte Detmold, Haus Düsse, Versmold, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof (Ergebnisse einer einjährigen Feldprüfung über 2 Saatstärken). FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, N-Gabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke.**

<b>60 kg/ha N-Gabe</b> BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> ) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Standort	4	21890.50000	96.48	<.0001
Saat	1	89888.00000	396.17	<.0001
Standort*Saat	4	18955.50000	83.54	<.0001
Fehler	190	226.8947		
<b>120 kg/ha N-Gabe</b> BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> ) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Standort	4	13608.25000	123.95	<.0001
Saat	1	42050.00000	383.01	<.0001
Standort*Saat	4	12878.75000	117.30	<.0001
Fehler	190	109.7895		



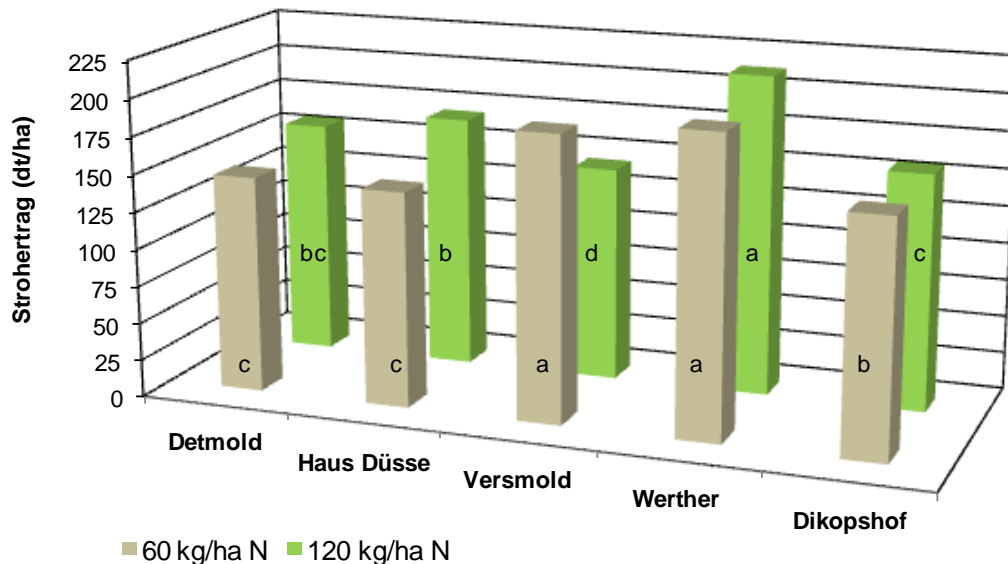
**Abbildung 5-20: Bestandesdichte (Pfl/m<sup>2</sup>; MEANS über 2 Saatstärken) der Praxisstandorte Detmold, Haus Düsse, Versmold, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das untersuchte Merkmal innerhalb der jeweiligen Düngungsstufe.

Bei der Betrachtung der Bestandesdichten (BD Ernte) in Abbildung 5-20 fällt auf, dass im Vergleich mit den anderen Umwelten in Detmold für beide Düngungsstufen die signifikant höchsten Bestandesdichten (BD Ernte) erzielt werden. Für Haus Düsse und Versmold konnten keine signifikanten Unterschiede für diesen Parameter festgestellt werden. In Werther werden die signifikant geringsten Bestandesdichten (BD Ernte) bei beiden Stickstoffstufen ausgebildet.

**VA-Tabelle 29: Strohertrag (dt/ha) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung im Vergleich der Praxisstandorte Detmold, Haus Düsse, Versmold, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof (Ergebnisse einer einjährigen Feldprüfung über 2 Saatstärken).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, N-Gabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke.

60 kg/ha N-Gabe Strohertrag (dt/ha) Varianzursache	FG	MQ	F	p-Wert
Standort	4	26697.6628	80.64	<.0001
Saat	1	1200.6219	3.63	0.0584
Standort*Saat	4	6724.0845	20.31	<.0001
Fehler	190	331.0827		
120 kg/ha N-Gabe Strohertrag (dt/ha) Varianzursache	FG	MQ	F	p-Wert
Standort	4	28956.1158	83.34	<.0001
Saat	1	21414.7853	61.63	<.0001
Standort*Saat	4	16034.5701	46.15	<.0001
Fehler	190	347.4580		

Der signifikant höchste Strohertrag, bei einer Stickstoffdüngung von 60 kg/ha, wird in Versmold und Werther ausgebildet (Abbildung 5-21). Die Stroherträge in Detmold und Haus Düsse weisen keine signifikanten Unterschiede auf und liegen auf einem niedrigeren Ertragsniveau. Die Verdopplung der Stickstoffgabe führt zu ausgeprägten Unterschieden der Stroherträge, obwohl Werther auch hier die signifikant höchsten Erträge liefert.



**Abbildung 5-21: Strohertrag (dt/ha; MEANS über 2 Saatstärken) der Praxisstandorte Detmold, Haus Düsse, Versmold, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das untersuchte Merkmal innerhalb der jeweiligen Düngungsstufe.

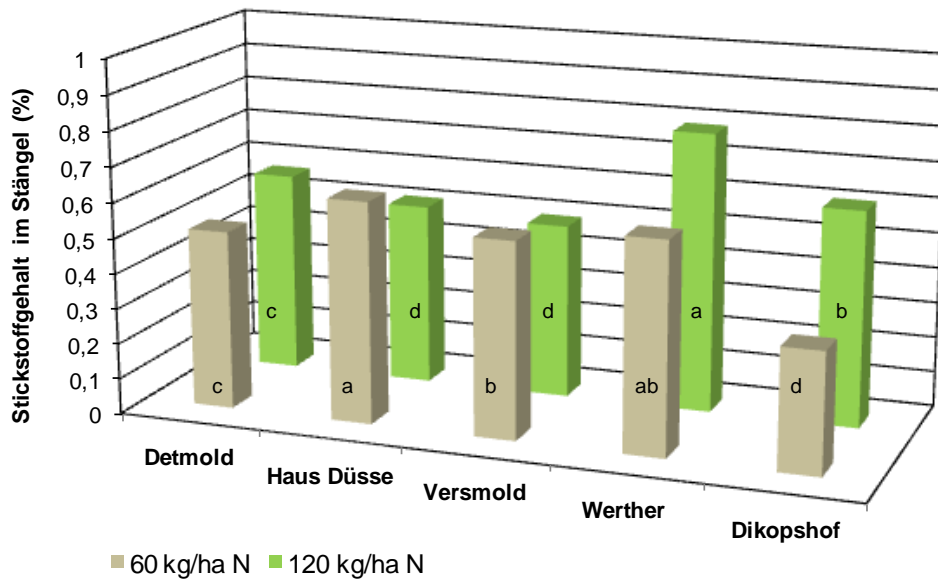
Neben den signifikant höchsten Stroherträgen werden in Werther auch für den Stängeldurchmesser und die Wuchshöhe die signifikant höchsten Ergebnisse unabhängig von der Stickstoffgabe erzielt. Andererseits konnten in Haus Düsse für die Ausprägungen des Stängeldurchmessers und der Wuchshöhe keine statistischen Unterschiede in Abhängigkeit von der Stickstoffversorgung nachgewiesen werden. Zudem fällt auf, dass die Leistungen der Hanfpflanzen der Standardumwelt in dieser vergleichenden Betrachtung im Mittelfeld liegen. Die entsprechenden Daten des orthogonalen Kerns (Tabelle 9-8, S. 175) sowie die Varianzanalyse für die weiteren ertragsbestimmenden Parameter (VA-Tabelle 44, S. 176) sind im Anhang zu finden.

Inwieweit die unterschiedliche Stickstoffdüngung auch zu verschiedenen Stickstoffgehalten in den Hanfstängeln und -pflanzen führt, wird in Abbildung 5-22 und Abbildung 5-23 dargestellt.

**VA-Tabelle 30: Stickstoffgehalt im Hanfstängel (%) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung im Vergleich der Praxisstandorte Detmold, Haus Düsse, Versmold, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof (Ergebnisse einer einjährigen Feldprüfung über 2 Saatstärken).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, N-Gabe = Stickstoffgabe, N-Gehalt = Stickstoffgehalt, Saat = Saatstärke.

<b>60 kg/ha N-Gabe</b> N-Gehalt im Hanfstängel (%) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Standort	4	0.50842175	80.26	<b>&lt;.0001</b>
Saat	1	0.08282450	13.07	0.0004
Standort*Saat	4	0.07551075	11.92	<b>&lt;.0001</b>
Fehler	190	0.00633482		
<b>120 kg/ha N-Gabe</b> N-Gehalt im Hanfstängel (%) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Standort	4	0.55044050	179.85	<b>&lt;.0001</b>
Saat	1	0.08080200	26.40	<b>&lt;.0001</b>
Standort*Saat	4	0.09426700	30.80	<b>&lt;.0001</b>
Fehler	190	0.00306047		

Bei der niedrigen Stickstoffdüngung (60 kg/ha) werden in den Stängeln in Haus Düsse die signifikant höchsten Gehalte an Stickstoff gemessen, gefolgt von Versmold und Werther (Abbildung 5-22). Obwohl die Hanfstängel der Standardumwelt Dikopshof mit Abstand die signifikant geringste Menge Stickstoff akkumulieren, gibt es einen signifikanten Unterschied zu den in Haus Düsse und Detmold erzielten niedrigeren Stroherträgen. Demgegenüber wird die Stickstoffgabe von 120 kg/ha in Werther mit signifikant höchsten Stickstoffgehalten in die Hanfstängel überführt und der signifikant höchste Strohertrag erzielt. Haus Düsse und Versmold zeichnen sich durch die signifikant niedrigsten Stickstoffgehalten in den Hanfstängeln aus.



**Abbildung 5-22:** Stickstoffgehalt in den Hanfstängeln (%; MEANS über 2 Saatstärken) der Praxisstandorte Detmold, Haus Düsse, Vermold, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das untersuchte Merkmal innerhalb der jeweiligen Düngungsstufe.

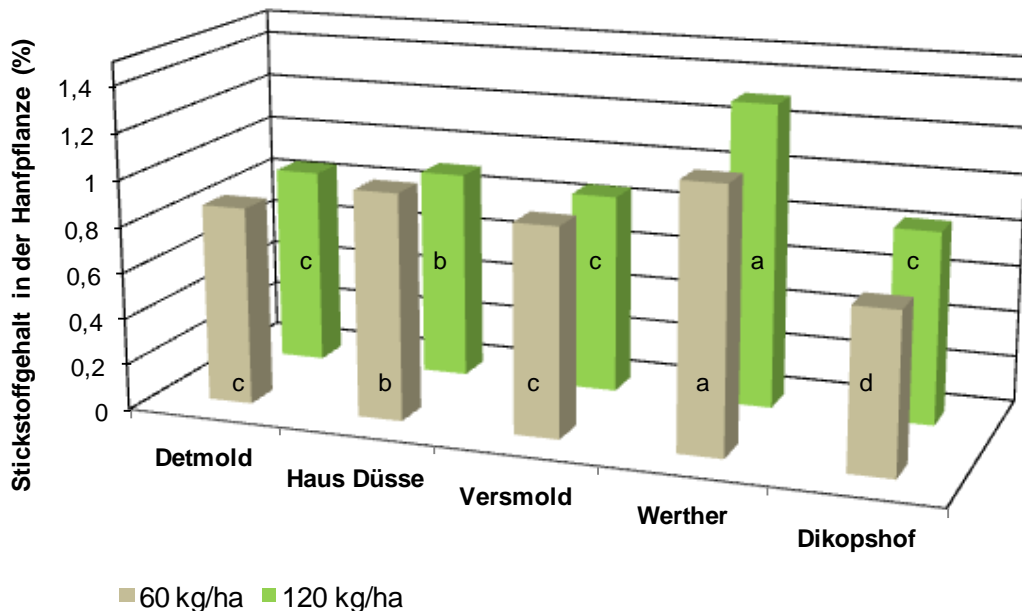
**VA-Tabelle 31:** Stickstoffgehalt in der Hanfpflanze (%) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung im Vergleich der Praxisstandorte Detmold, Haus Düsse, Vermold, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof (Ergebnisse einer einjährigen Feldprüfung über 2 Saatstärken). FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, N-Gabe = Stickstoffgabe, N-Gehalt = Stickstoffgehalt, Saat = Saatstärke.

60 kg/ha N-Gabe	FG	MQ	F	p-Wert
N-Gehalt in der Hanfpflanze (%)				
<b>Varianzursache</b>				
Standort	4	1.06094550	153.58	<.0001
Saat	1	0.01312200	1.90	0.1698
Standort*Saat	4	0.11170450	16.17	<.0001
Fehler	190	0.00690805		
<b>120 kg/ha N-Gabe</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
N-Gehalt in der Hanfpflanze (%)				
<b>Varianzursache</b>				
Standort	4	1.64878825	135.95	<.0001
Saat	1	0.03781250	3.12	0.0790
Standort*Saat	4	0.20988875	17.31	<.0001
Fehler	190	0.01212813		

Die Analyse der gesamten Hanfpflanze (Blätter, Samen und Stängel) ergibt ein anderes Bild der Stickstoffeinlagerung in Bezug zur applizierten Düngergabe (Abbildung 5-23). Die niedrige Stickstoffgabe (60 kg/ha) wird in Werther signifikant in die höchsten Stickstoffge-



halte umgesetzt, gefolgt von Haus Düsse. Für die Stickstoffgehalte in Detmold und Versmold konnten keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden. Die Stickstoffgehalte der Hanfpflanzen der Standardumwelt unterscheiden sich signifikant von allen anderen Standorten und liegen insgesamt auf niedrigem Niveau.



**Abbildung 5-23: Stickstoffgehalt in den Hanfpflanzen (%; MEANS über 2 Saatstärken) der Praxisstandorte Detmold, Haus Düsse, Versmold, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das untersuchte Merkmal innerhalb der jeweiligen Düngungsstufe.

Auch die hohe Stickstoffdüngung (120 kg/ha) wird in Werther mit den signifikant höchsten Stickstoffgehalten in der Hanfpflanze umgesetzt. In Haus Düsse werden für beide Stickstoffvarianten signifikante Unterschiede zu allen anderen Standorten nachgewiesen. Die Hanfpflanzen der Standorte Dikopshof (Standardumwelt), Detmold und Versmold weisen bei hoher Stickstoffdüngung (120 kg/ha) niedrigere Stickstoffgehalte, zwischen denen keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden konnten, als in Werther und Haus Düsse auf.

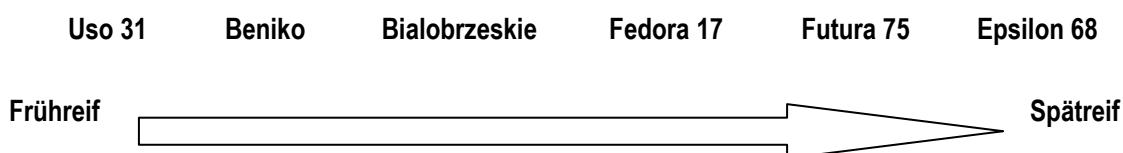
Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Versorgung der Hanfpflanzen mit einer Stickstoffgabe von 120 kg/ha in Werther neben den hohen Stickstoffgehalten in den Pflanzen auch in einen hohen Strohertrag überführt wird.

## 5.4 Einfluss der Hanfsorte

Für eine vertiefende Betrachtung des Hanfanbaus in NRW wurde in der Standardumwelt Dikopshof in den Versuchsjahren 2002 und 2003 ein erweitertes Sortenspektrum ange-

baut. Für das Versuchsjahr 2003 wurden neben den bereits in 2002 geprüften Sorten (**Uso 31**, **Fedora 17**, **Futura 75** und **Epsilon 68**) zwei neu zugelassene polnische Sorten (**Beniko** und **Bialobrzeskie**) in den Sortenversuch mit einbezogen. Die einjährigen Ergebnisse von **Beniko** und **Bialobrzeskie** werden gemeinsam mit den zweijährigen Ergebnissen der anderen Sorten verrechnet. Die Ergebnisse der polnischen Sorten werden aus Gründen der Übersichtlichkeit optisch abgesetzt dargestellt, wenn die Versuchsjahre im Einzelnen ausgewertet werden.

Wie in Tabelle 4-3 (S. 37) im Detail vorgestellt, handelt es sich um Hanfsorten von verschiedenen Herkunftsn und mit unterschiedlichem Reifeverhalten. Abbildung 5-24 visualisiert das Reifeverhalten der untersuchten Hanfsorten.



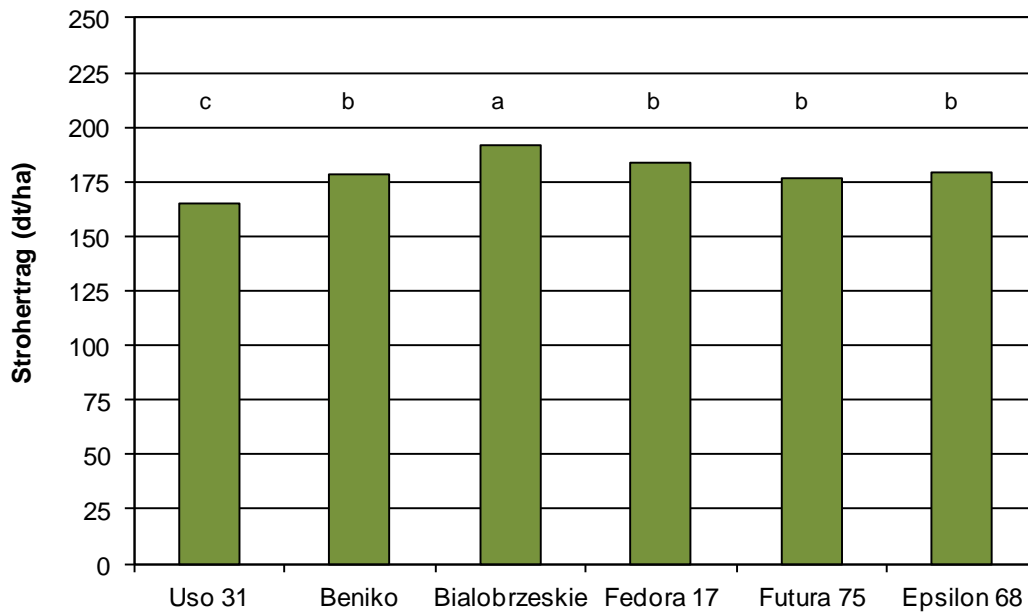
**Abbildung 5-24:** Schematische Darstellung des Reifeverhaltens der geprüften Hanfsorten modifiziert nach BÓCSA et al. (2000) und KARUS et al. (1999).

Nachfolgend werden die Ergebnisse für die ertragsbestimmenden Parameter der geprüften Sorten dargestellt.

**VA-Tabelle 32: Strohertrag (dt/ha) in Abhängigkeit von den Sorten auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr.

Strohertrag (dt/ha) Varianzursache	FG	MQ	F	p-Wert
Jahr	1	1275.53642	8.42	0.0040
Sorte	2	11672.48925	77.04	<.0001
Jahr*Sorte	3	11299.03830	74.58	<.0001
Fehler	320	151.5098		

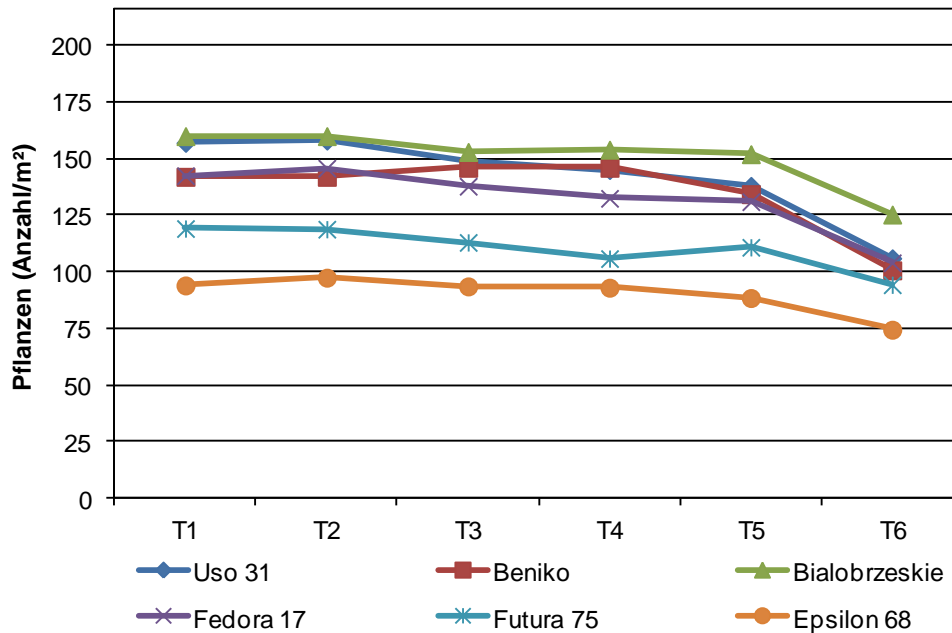
Mit dem Strohertrag in Abbildung 5-25 wird das Ertragspotenzial der Sorten verdeutlicht. **Uso 31** als frühreife Sorte weist einen signifikant geringeren Strohertrag als alle anderen untersuchten Hanfsorten auf. Obwohl **Bialobrzeskie** ein mittelfrühes Abreifeverhalten zeigt, wird der signifikant höchste Strohertrag erzielt, gefolgt von **Fedora 17**. Allerdings konnten zwischen den Sorten **Beniko**, **Fedora 17**, **Futura 75** und **Epsilon 68** keine signifikanten Unterschiede in den Stroherträgen nachgewiesen werden.



**Abbildung 5-25: Strohertrag (dt/ha; MEANS über 2 Versuchsjahre) der geprüften Hanfsorten auf dem Dikopshof.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das untersuchte Merkmal. Die Ergebnisse von **Bialobrzeskie** und **Beniko** beziehen sich auf einen einjährigen Versuch.

Neben dem Strohertrag wird die Anbaueignung der Hanfsorten auch durch den Fasergehalt (Tabelle 5-36, S. 106) bestimmt. Trotz des geringsten Strohertrags weist **Uso 31** mit 44,7 % den signifikant höchsten Fasergehalt, gefolgt von **Beniko** (42,6 %), auf. Der Fasergehalt von **Bialobrzeskie** und **Epsilon 68** zeigt keine signifikanten Unterschiede und liegt im Mittel der Sorten. **Futura 75** (34,8 %) und **Fedora 17** (30,5 %) erzielen die geringsten Fasergehalte.

Eine Besonderheit beim Anbau von Hanf ist der Effekt der Selbstausdünnung der Pflanzen (*self thinning effect*), die durch das Absterben von Pflanzen im Verlauf der Vegetationsperiode gekennzeichnet wird (Abbildung 5-26).



**Abbildung 5-26:** Entwicklung der im Mittel erzielten Bestandesdichte (Pfl/m<sup>2</sup>; MEANS über 2 Versuchsjahre) im Verlauf der Vegetationsperiode (T1-T6) für alle untersuchten Sorten auf dem Dikopshof. Wobei T1 dem Zeitpunkt der Erfassung der Keimdichte und T6 dem Zeitpunkt der Ernte entspricht. Die Ergebnisse von **Bialobrzeskie** und **Beniko** beziehen sich auf einen einjährigen Versuch.

Die statistischen Auswertungen der Pflanzenanzahl pro Quadratmeter in Abhängigkeit vom Boniturtermin und der Sorte sind in Tabelle 5-35 aufgeführt.

**Tabelle 5-35:** Darstellung der signifikanten Unterschiede für die Bestandesdichte (Pfl/m<sup>2</sup>) in Abhängigkeit vom Boniturtermin und der Sorte am Standort Dikopshof. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das untersuchte Merkmal zwischen den Sorten innerhalb der jeweiligen Bonitur (von T1 dem Zeitpunkt der Aufnahme der Keimdichte bis T6 dem Zeitpunkt der Ernte). Die Ergebnisse von **Bialobrzeskie** und **Beniko** beziehen sich auf einen einjährigen Versuch. Die Varianzanalyse ist im Anhang in VA-Tabelle 45 (S. 177) zu finden.

Sorte	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Uso 31	a	a	ab	b	b	b
Beniko	ab	ab	b	b	b	bc
Bialobrzeskie	a	a	a	a	a	a
Fedora 17	ab	ab	c	c	b	b
Futura 75	bc	bc	d	d	c	c
Epsilon 68	c	c	e	e	e	d

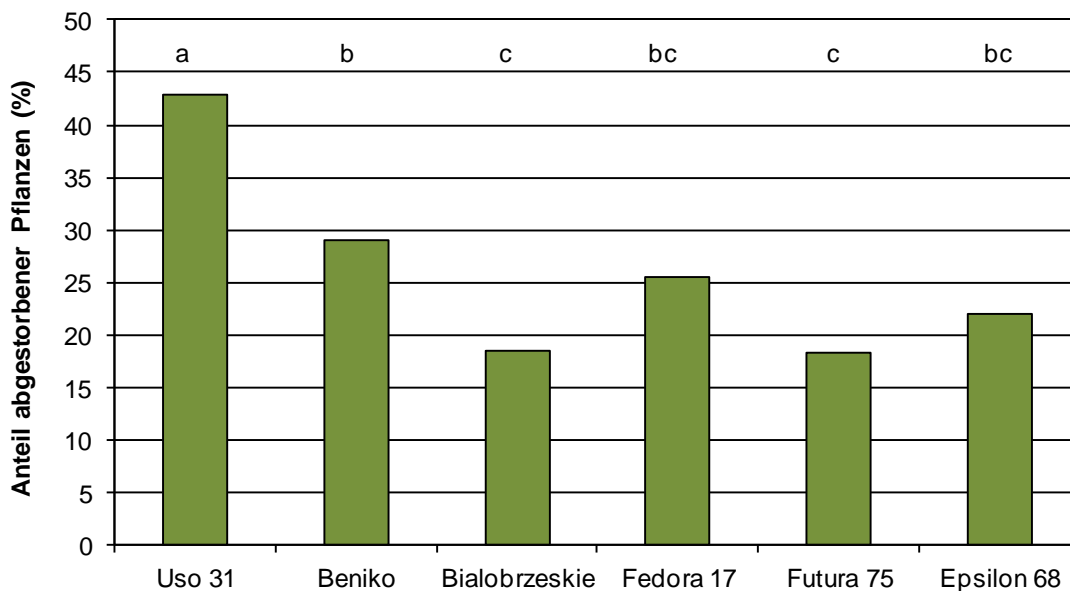
Die Bestandesdichte unterliegt im Laufe der Vegetationsperiode starken Veränderungen wie in Abbildung 5-26 dargestellt. Zu Beginn der Vegetationsperiode (T1) weisen **Uso 31** und **Bialobrzeskie** signifikant die höchsten Bestandesdichten aus, lassen sich aber von **Beniko** und **Fedora 17** nicht statistisch abgrenzen. Für die spätreifen Sorten **Futura 75** und **Epsilon 68** werden die niedrigsten Bestandesdichten ermittelt, wobei **Futura 75** sich weder von

den Sorten **Beniko** und **Fedora 17** noch von **Epsilon 68** signifikant unterscheiden lässt. Zum Erntetermin (T6) lassen sich im Mittel der Versuchsjahre zwei Gruppen der Sorten in Bezug zur Bestandesdichte (BD Ernte) statistisch nachweisen: Die Bestandesdichten der früh- und mittlereifenden Sorten (**Uso 31** und **Bialobrzeskie** sowie **Beniko** und **Fedora 17**) unterscheiden sich signifikant von der sehr spätreifen Sorte **Epsilon 68**. Zudem konnten für **Futura 75** als spätreifende Sorte signifikante Unterschiede zu den frühreifenden Sorten **Bialobrzeskie** und **Uso 31** sowie zu **Fedora 17** nachgewiesen werden. Demnach weisen spätreife Sorten eher geringere Bestandesdichten (BD Ernte) im Vergleich zu frühreifen Sorten auf.

Die Größenordnung dieses Phänomens auf den Hanfanbau wird besonders mit der Darstellung der Selbstausdünnung zum Zeitpunkt der Ernte in Abbildung 5-27 verdeutlicht.

**VA-Tabelle 33: Selbstausdünnung (%) zum Zeitpunkt der Ernte in Abhängigkeit von der Sorte auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr.

Selbstausdünnung (%) Varianzursache	FG	MQ	F	p-Wert
Jahr	1	1290.80526	6.14	0.0137
Sorte	2	11256.22403	53.57	<.0001
Jahr*Sorte	3	8600.08881	40.93	<.0001
Fehler	310	210.1088		



**Abbildung 5-27: Selbstausdünnung (%; MEANS über 2 Versuchsjahre) zum Zeitpunkt der Ernte für die untersuchten Hanfsorten auf dem Dikopshof.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das untersuchte Merkmal. Die Ergebnisse von **Bialobrzeskie** und **Beniko** beziehen sich auf einen einjährigen Versuch.

Im Vergleich zu den Bestandesdichten (Abbildung 5-26) zeigt die Selbstausdünnung der Bestände (Abbildung 5-27) keinen Bezug zum Reifeverhalten der untersuchten Hanfsorten.

Die Selbstausdünnung reicht von 18,2 % bei **Futura 75** bis zu 42,9 % bei **Uso 31**. Für die Hanfsorten **Bialobrzeskie** und **Futura 75** wird die signifikant niedrigste Ausdünnung ermittelt, jedoch zeigt sich dieses im Ertrag von **Futura 75** nicht; **Bialobrzeskie** erzielt den signifikant höchsten Strohertrag wohingegen der von **Futura 75** nur im Mittelfeld zu finden ist. Dieses kann als Indiz dafür gesehen werden, dass die Ausdünnung nicht unbedingt einen Einfluss auf den Strohertrag haben muss.

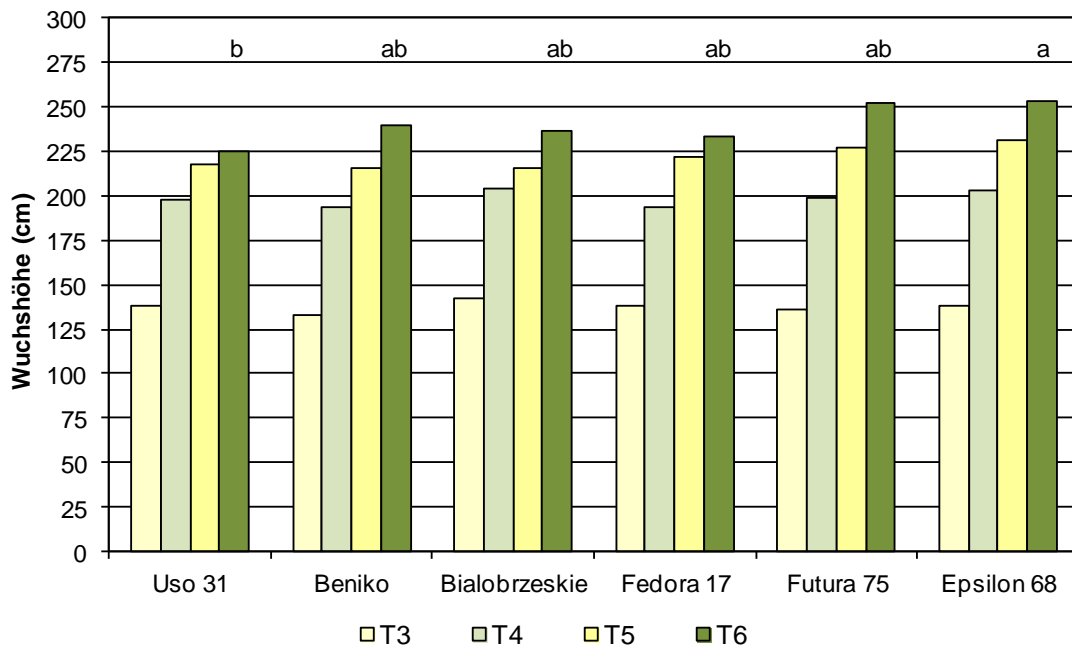
In diesem Zusammenhang ist auf das Wuchsverhalten, dargestellt anhand des Stängeldurchmessers und der Wuchshöhe der Hanfsorten, im Verlauf der Vegetationsperiode hinzuweisen. Die Stängeldurchmesser aller geprüften Sorten weisen keine signifikanten Unterschiede auf (Tabelle 5-36).

**Tabelle 5-36: Mittelwerte (MEANS über 2 Versuchsjahre) der erreichten Ergebnisse der ertragsbestimmenden Parameter für die verschiedenen Sorten auf dem Dikpshof sowie das Sortenmittel (MEANS über 6 Sorten und 2 Versuchsjahre).** Ein signifikanter Unterschied liegt für das untersuchte Merkmal nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  vor, wenn sich die Buchstaben unterscheiden. Die grau hinterlegten Daten der Hanfsorten **Beniko** und **Bialobrzeskie** beziehen sich ausschließlich auf die Vegetationsperiode 2003. Die Varianzanalyse für die Parameter Feldaufgang, Stängeldurchmesser und Fasergehalt in Abhängigkeit von der Sorte befindet sich im Anhang (VA-Tabelle 47, S. 178).

SORTE	FELDAUFGANG (%)		BD ERNTE (Pfl/m <sup>2</sup> )		AUSDÜNNUNG (%)		STÄNGELDURCHMESSER (mm)		WUCHSHÖHE (cm)		STROHERTRAG (dt/ha)		FASERGEHALT (%)	
Uso 31	72,7	a	106	b	42,7	a	6,93	a	225	b	165	c	44,7	a
Beniko	65,7	b	101	bc	28,9	b	7,35	a	240	ab	178	b	42,6	b
Bialobrzeskie	74,1	a	125	a	18,4	c	7,06	a	237	ab	192	a	37,4	c
Fedora 17	65,9	b	104	b	25,4	bc	6,91	a	234	ab	184	b	30,5	e
Futura 75	55,2	c	94	c	18,2	c	7,54	a	252	ab	177	b	34,8	d
Epsilon 68	43,5	d	74	d	21,9	bc	7,69	a	253	a	179	b	37,6	c
Sortenmittel	61,1		98		26,7		7,27		241		178		38,3	

Demgegenüber liefert die Betrachtung der Wuchshöhe (Abbildung 5-28) im Laufe der Vegetationsperiode ein differenziertes Ergebnis. Exemplarisch besprochen werden hier die signifikanten Unterschiede in den Wuchshöhen der Sorten für den Erntetermin (T6). Die Darstellung der Größenzunahme der Hanfsorten zeigt, dass – auch wenn **Bialobrzeskie** zu einem frühen Entwicklungsstadium eine signifikant größere und **Beniko** eine signifikant

geringere Wuchshöhe aufwies (Tabelle 5-37) – sich die Sorten erst zum Ende der Vegetationsperiode hin unterscheiden. **Epsilon 68** erreicht zur Ernte die signifikant größte Wuchshöhe. Für die Sorten **Bialobrzeskie**, **Fedora 17**, **Beniko** und **Futura 75** konnten keine signifikanten Unterschiede für die Wuchshöhe ermittelt werden: Zudem sind sie weder von **Epsilon 68** noch von **Uso 31** statistisch unterscheidbar. **Uso 31** als frühreife Sorte ist zum Zeitpunkt der Ernte tendenziell kleiner als alle anderen untersuchten Sorten und konnte die Verfügbarkeit von Nährstoffen und Strahlung trotz der hohen Ausdünnung nicht entsprechend in eine Zunahme der Wuchshöhe umsetzen.



**Abbildung 5-28: Wuchshöhe (cm; MEANS über 2 Versuchsjahre) der Hanfsorten im Verlauf der Vegetationsperiode auf dem Dikopshof.** Die dargestellten vier Säulen pro Sorte entsprechen der Vegetationsperiode, vom dritten Boniturtermin (T3) bis hin zur Ernte (T6, je Sorte von links nach rechts). Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das untersuchte Merkmal zwischen den Sorten zum Zeitpunkt der Ernte (T6). Die Ergebnisse von **Bialobrzeskie** und **Beniko** beziehen sich auf einen einjährigen Versuch.

Zusammengefasst liegt **Uso 31** als frühreife Sorte zum Zeitpunkt der Ernte mit der signifikant geringsten Wuchshöhe bei 225 cm, obwohl alle Sorten zwischen dem vierten (T4) und fünften (T5) Untersuchungstermin keine signifikanten Unterschiede in der Wuchshöhe zeigen (Tabelle 5-37). **Futura 75** (252 cm), **Beniko** (240 cm), sowie die Sorten **Bialobrzeskie** (237 cm) und **Fedora 17** (233 cm) unterscheiden sich zur Ernte (T6) nicht signifikant voneinander. **Epsilon 68** wird durch ein spätes Reifeverhalten charakterisiert und hat mit 253 cm die signifikant größte Wuchshöhe bei signifikant geringster Bestandesdichte (BD Ernte) erreicht.

**Tabelle 5-37: Darstellung der Signifikanzen für die Wuchshöhe (cm; MEANS über 2 Versuchsjahre) in Abhängigkeit vom Boniturtermin und der Sorte am Standort Dikopshof.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das untersuchte Merkmal zwischen den Sorten innerhalb der jeweiligen Bonitur (T3, T4, T5 und T6). Die Ergebnisse von **Bialobrzeskie** und **Beniko** beziehen sich auf einen einjährigen Versuch. Die Varianzanalyse befindet sich im Anhang (VA-Tabelle 46, S. 178).

Sorte	T3	T4	T5	T6
Uso 31	ab	a	a	b
Beniko	b	a	a	ab
Bialobrzeskie	a	a	a	ab
Fedora 17	ab	a	a	ab
Futura 75	ab	a	a	ab
Epsilon 68	ab	a	a	a

### 5.4.1 Einfluss des Jahres auf die Ertragsleistung der untersuchten Hanfsorten

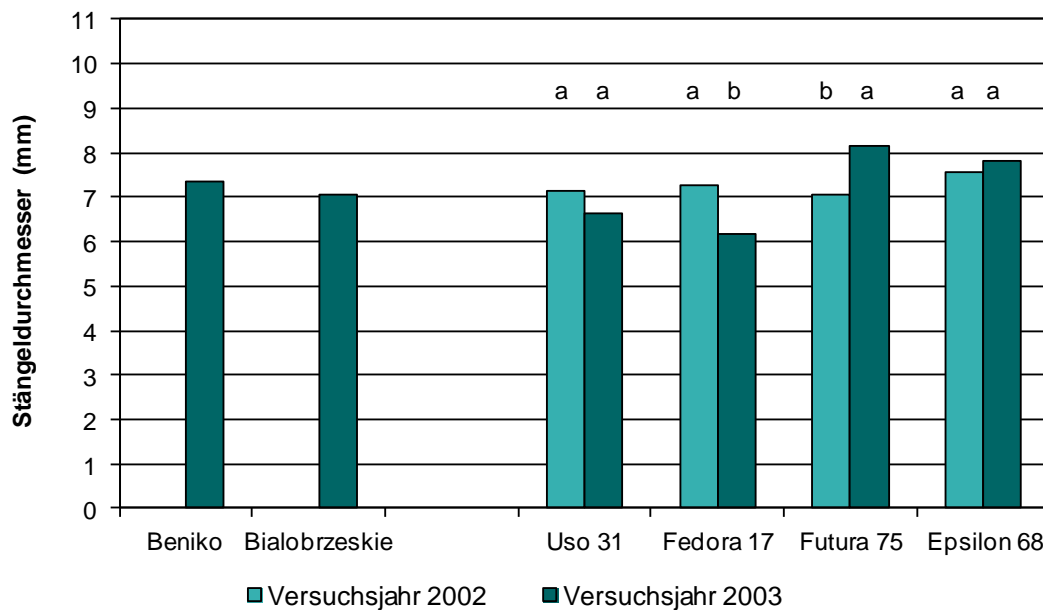
Zur Betrachtung der Unterschiede zwischen den Hanfsorten und den Versuchsjahren werden die ertragsbestimmenden Parameter von **Fedora 17**, **Epsilon 68**, **Futura 75** und **Uso 31** analysiert. **Bialobrzeskie** und **Beniko** wurden nur im Versuchsjahr 2003 angebaut, so dass die erzielten Ergebnisse für diese Fragestellung, den Vergleich zwischen den Jahren, nicht aussagekräftig sind und daher optisch getrennt präsentiert werden (Abbildung 5-29, Abbildung 5-30 und Abbildung 5-31).

**VA-Tabelle 34: Stängeldurchmesser (mm), Wuchshöhe (cm) und Strohertrag (dt/ha) in Abhängigkeit von den Sorten Uso 31, Fedora 17, Futura 75 und Epsilon 68 auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau.

STÄNGELDURCHMESSER (mm)				
	Uso 31	Fedora 17	Futura 75	Epsilon 68
FG	1	1	1	1
MQ	3.98674767	15.77600083	20.14381714	1.09440762
F	2.83	7.41	5.06	0.26
p-Wert	0.0971	0.0086	0.0278	0.6101
WUCHSHÖHE (cm)				
	Uso 31	Fedora 17	Futura 75	Epsilon 68
FG	1	1	1	1
MQ	10432.81702	17232.03333	3861.429762	545.6297619
F	16.58	13.17	1.17	0.19
p-Wert	<.0001	0.0006	0.2836	0.6674
STROHERTRAG (dt/ha)				
	Uso 31	Fedora 17	Futura 75	Epsilon 68
FG	1	1	1	1
MQ	30699.10947	52.31160750	1130.508912	3534.437327
F	324.38	0.22	6.90	34.12
p-Wert	<.0001	0.6445	0.0106	<.0001



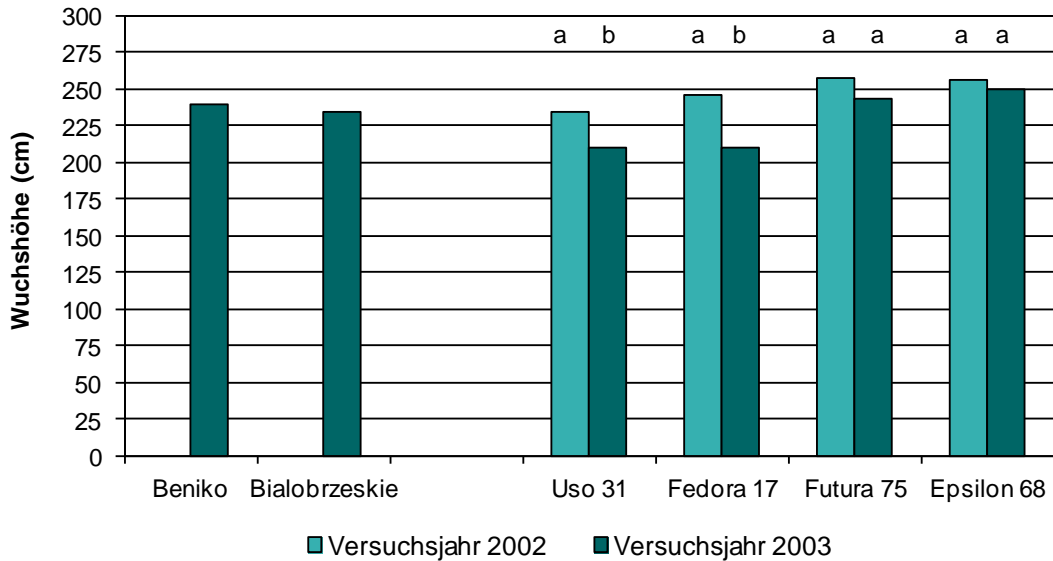
Die Stängeldurchmesser (Abbildung 5-29) von **Epsilon 68** und **Uso 31** weisen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsjahren auf. Für **Fedora 17** und **Futura 75** werden signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsjahren ermittelt.



**Abbildung 5-29: Stängeldurchmesser (mm; MEANS) der Hanfsorten Uso 31, Fedora 17, Futura 75 und Epsilon 68 in Abhängigkeit von den Versuchsjahren auf dem Dikopshof.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das untersuchte Merkmal je Sorte zwischen den Versuchsjahren. Die Ergebnisse von **Bialobrzeskie** und **Beniko** beziehen sich auf einen einjährigen Versuch.

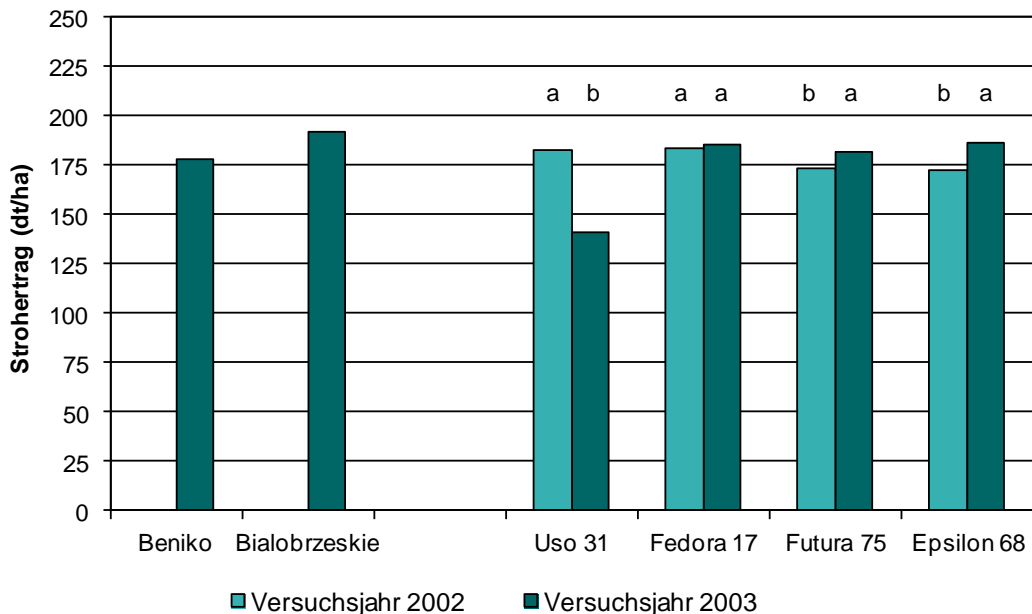
Allerdings unterscheidet sich das Wuchsverhalten dieser Sorten voneinander: **Fedora 17** hat im Jahr 2002 signifikant stärkere Stängel ausgebildet und **Futura 75** dagegen im Jahr 2003.

Für die in Abbildung 5-30 dargestellten Wuchshöhen liegen für **Fedora 17** und **Uso 31** signifikante Unterschiede dieses Parameters zwischen den Versuchsjahren vor. Beide Hanfsorten erreichen im Versuchsjahr 2002 größere Wuchshöhen. Demgegenüber weisen die erzielten Wuchshöhen der Hanfsorten **Epsilon 68** und **Futura 75** keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsjahren auf.



**Abbildung 5-30: Wuchshöhe (cm; MEANS) der Hanfsorten Uso 31, Fedora 17, Futura 75 und Epsilon 68 in Abhängigkeit von den Versuchsjahren auf dem Dikopshof.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das untersuchte Merkmal je Sorte zwischen den Versuchsjahren. Die Ergebnisse von **Bialobrzeskie** und **Beniko** beziehen sich auf einen einjährigen Versuch.

Die Stroherträge (Abbildung 5-31) von **Uso 31**, **Epsilon 68** und **Futura 75** zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsjahren. Allerdings ist der Strohertrag von **Epsilon 68** und **Futura 75** im Jahr 2003 signifikant größer, obwohl die Wuchshöhe keine Unterschiede zwischen den Jahren aufweist.



**Abbildung 5-31: Strohertrag (dt/ha; MEANS) der Hanfsorten Uso 31, Fedora 17, Futura 75 und Epsilon 68 in Abhängigkeit von den Versuchsjahren auf dem Dikopshof.** Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das untersuchte Merkmal je Sorte zwischen den Versuchsjahren. Die Ergebnisse von **Bialobrzeskie** und **Beniko** beziehen sich auf einen einjährigen Versuch.

Im Gegensatz dazu erzielt **Uso 31** den signifikant größeren Strohertrag in 2002. Zusammengefasst liegt die Ertragsdifferenz zwischen den Hanfsorten bei nur 11 dt/ha im Versuchsjahr 2002 und in 2003 bei 51 dt/ha.

Im Mittel der Sorten und Versuchsjahre werden 178 dt/ha Hanfstroh geerntet. Allerdings liegen in den Versuchsjahren unterschiedliche Prüfsortimente vor. Zur Bewertung des Ertragspotenzials der im Versuchsjahr 2003 neu geprüften Sorten **Beniko** und **Bialobrzeskie** werden, im Vergleich zu den bereits 2002 geprüften Sorten, die erzielten Stroherträge aller Sorten mit denen von **Fedora 17** verglichen (Tabelle 5-38). Dazu wird der Strohertrag von **Fedora 17** als Bezugsgröße (100 %) gewählt

**Tabelle 5-38: Strohertrag (dt/ha; MEANS) der geprüften Sorten Fedora 17, Uso 31, Futura 75 und Epsilon 68 für das Versuchsjahr 2002 sowie für die Sorten Fedora 17, Uso 31, Beniko, Bialobrzeskie, Futura 75 und Epsilon 68 für das Versuchsjahr 2003 und Darstellung des prozentualen Strohertrages (%; Bezugsgröße Fedora 17) auf dem Dikopshof.** Ein signifikanter Unterschied liegt für das untersuchte Merkmal nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  vor, wenn sich die Buchstaben unterscheiden. Die Ergebnisse von **Bialobrzeskie** und **Beniko** beziehen sich auf einen einjährigen Versuch im Jahr 2003.

SORTE	STROHERTRAG (dt/ha)		STROHERTRAG (% zu Fedora 17)		STROHERTRAG (dt/ha)		STROHERTRAG (% zu Fedora 17)	
	Jahr							
	2002			2003				
<b>Fedora 17</b>	184	a	100,0	186	abc	100,0		
<b>Uso 31</b>	183	a	99,5	141	d	75,8		
<b>Beniko</b>				178	c	95,7		
<b>Bialobrzeskie</b>				192	a	103,2		
<b>Futura 75</b>	174	b	94,6	182	bc	97,9		
<b>Epsilon 68</b>	173	b	94,0	187	ab	100,5		

Es zeigt sich hierbei im Jahr 2003 ein überdurchschnittlicher Ertrag von **Bialobrzeskie** und **Epsilon 68**, welcher die im Mittel ertragreichste Sorte **Fedora 17** übertrifft. Die Ertragsleistung von **Beniko** ist ähnlich der von **Futura 75** und liegt in vergleichbarer Größenordnung wie der Ertrag von **Fedora 17**.

Der Einfluss der Hanfsorten auf die Stickstoffaufnahme in den beiden Versuchsjahren wird im Folgenden dargestellt.

**VA-Tabelle 35: Stickstoffgehalt im Hanfstängel (%) der Sorten auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr, Mittel = Mittelwert, N-Gehalt = Stickstoffgehalt. Die Ergebnisse der Varianzanalyse für die Versuchsjahre im Einzelnen sind im Anhang (VA-Tabelle 48, S. 179) zu finden.

Mittel der Jahre N-Gehalt im Hanfstängel (%) Varianzursache	FG	MQ	F	p-Wert
Jahr	1	1.22588734	249.33	<.0001
Sorte	2	0.10889610	22.15	<.0001
Jahr*Sorte	3	0.16156138	32.86	<.0001
Fehler	310	0.00491678		

Der signifikant niedrigste Stickstoffgehalt im Hanfstängel wird im Mittel von **Uso 31** und der signifikant Höchste von **Epsilon 68** akkumuliert. Jedoch sind die Sorten **Bialobrzeskie** und **Futura 75** statistisch weder von **Beniko** noch von **Fedora 17**, die sich signifikant voneinander unterscheiden, abzugrenzen.

**Tabelle 5-39: Vergleich der im Mittel (MEANS) erzielten Stickstoffgehalte in den Hanfstängeln (%) der Hanfsorten Uso 31, Fedora 17, Futura 75 und Epsilon 68 für das Versuchsjahr 2002 und für die Hanfsorten Uso 31, Bialobrzeskie, Beniko, Fedora 17, Futura 75 und Epsilon 68 für das Versuchsjahr 2003 sowie Darstellung der Mittelwerte (MEANS über 2 Versuchsjahre) auf dem Dikopshof.** Die Buchstaben zeigen die Signifikanzen für den Stickstoffgehalt zwischen den untersuchten Sorten auf. Ein signifikanter Unterschied liegt für das untersuchte Merkmal nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  vor, wenn sich die Buchstaben unterscheiden. Die Stickstoffgehalte der Hanfsorten für die einzelnen Versuchsjahre sind ergänzend dargestellt.

SORTE	DIKOPSHOF					
	2002		2003		Mittel	
Uso 31	0,49	c	0,33	d	0,41	d
Beniko			0,63	a	0,63	b
Bialobrzeskie			0,60	ba	0,60	bc
Fedora 17	0,62	b	0,52	c	0,58	c
Futura 75	0,64	b	0,60	ba	0,62	bc
Epsilon 68	0,81	a	0,55	bc	0,70	a

Die Ergebnisse für die Stickstoffgehalte der Hanfstängel (Tabelle 5-39) werden von den Ergebnissen der Stickstoffgehalte in den Hanfpflanzen (Tabelle 5-40) bestätigt. Auch hier erzielt **Epsilon 68** im Mittel die signifikant höchsten Stickstoffwerte in den Hanfpflanzen. Jedoch sind die Sorten **Beniko**, **Bialobrzeskie** und **Futura 75** statistisch weder von **Epsilon 68** noch von **Uso 31** und **Fedora 17** abzugrenzen.

**VA-Tabelle 36: Stickstoffgehalte in den Hanfpflanzen (%) in Abhängigkeit von den Versuchsjahren auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 6 Sorten).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr, Mittel = Mittelwert, N-Gehalt = Stickstoffgehalt. Die Ergebnisse der Varianzanalyse für die Versuchsjahre im Einzelnen sind im Anhang (VA-Tabelle 49, S. 179) zu finden.

Mittel der Jahre N-Gehalt im Hanfpflanze (%) Varianzursache	FG	MQ	F	p-Wert
Jahr	1	0.15615669	3.54	0.0610
Sorte	2	0.36510913	8.27	0.0003
Jahr*Sorte	3	0.74723414	16.92	<.0001
Fehler	320	0.04415968		

**Tabelle 5-40: Vergleich der im Mittel (MEANS) erzielten Stickstoffgehalte in der Hanfpflanze (%) zwischen den Hanfsorten Uso 31, Fedora 17, Futura 75 und Epsilon 68 für das Versuchsjahr 2002 und zwischen den Hanfsorten Uso 31, Beniko, Bialobrzeskie, Fedora 17, Futura 75 und Epsilon 68 für das Versuchsjahr 2003 sowie Darstellung des Mittelwertes (MEANS über 2 Versuchsjahre) auf dem Dikopshof.** Die Buchstaben zeigen die Signifikanzen für den Stickstoffgehalt zwischen den untersuchten Sorten auf. Ein signifikanter Unterschied liegt für das untersuchte Merkmal nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  vor, wenn sich die Buchstaben unterscheiden. Die Stickstoffgehalte der Hanfsorten für die einzelnen Versuchsjahre sind hier ergänzend dargestellt.

SORTE	DIKOPSHOF					
	2002		2003		Mittel	
Uso 31	0,86	c	1,03	ba	0,93	b
Beniko			0,94	b	0,94	ba
Bialobrzeskie			1,03	ba	1,03	ba
Fedora 17	0,97	b	0,86	b	0,93	b
Futura 75	0,92	cb	1,21	a	1,04	ba
Epsilon 68	1,13	a	0,97	b	1,06	a

Abschließend wird die Leistungsfähigkeit der Hanfsorten (Tabelle 5-41 und Tabelle 5-42) zusammenfassend dargestellt, wobei jedes Anbaujahr im Einzelnen betrachtet wird. Entscheidend zur Beurteilung der Sorten im Hinblick auf den Verwendungszweck sind u.a. die wertbestimmenden Eigenschaften (Strohertrag und Fasergehalt). Die Sorte mit dem jahresbezogenen höchsten Strohertrag bzw. Fasergehalt wird mit Rangplatz 1 bewertet und der letzte Rangplatz wird dem niedrigsten Strohertrag bzw. Fasergehalt zugeordnet. Dadurch ist ein Vergleich der Sortenleistungen unter den spezifischen Witterungsbedingungen des jeweiligen Versuchsjahres möglich.

**Tabelle 5-41: Bewertung des Leistungspotenzials der Hanfsorten auf dem Dikopshof nach Höhe des Strohertrages (dt/ha) getrennt nach Versuchsjahren sowie im Mittel der Versuchsjahre.** Die Ergebnisse von **Beniko** und **Bialobrzeskie** (grau hinterlegt) beziehen sich auf einen einjährigen Versuch.

RANGFOLGE	VERSUCHS- JAHR 2002	VERSUCHS- JAHR 2003	MITTEL DER VER- SUCHSJAHRE
1	Fedora 17	Bialobrzeskie	Bialobrzeskie
2	Uso 31	Epsilon 68	Fedora 17
3	Futura 75	Fedora 17	Epsilon 68
4	Epsilon 68	Futura 75	Futura 75
5		Beniko	Beniko
6		Uso 31	Uso 31

Trotz der einjährigen Versuchsdauer überzeugt der erzielte Strohertrag von **Bialobrzeskie**. Über die gesamte Versuchsdauer betrachtet liefern **Fedora 17** als mittelreife und **Epsilon 68** als spätreife Sorte kontinuierlich hohe Erträge und bieten sich somit für den Anbau in NRW an.

Die Bewertung der Sorten anhand des Fasergehaltes liefert ein anderes Ergebnis (Tabelle 5-42). Die als frühreif charakterisierten Sorten **Uso 31** und **Beniko** überzeugen mit ihrem Fasergehalt und sind hinsichtlich des Fasergehaltes als erstklassig zu bewerten. Die Sorten **Epsilon 68** und **Bialobrzeskie** liegen gemeinsam im mittleren Ertragsbereich, obwohl **Epsilon 68** ein spätes und **Bialobrzeskie** ein mittelfrühes Abreifeverhalten hat. **Futura 75** und **Fedora 17**, beides mittel- bis spätreife Sorten, erzielen im Vergleich die niedrigsten Fasergehalte, was sich in der Rangfolge widerspiegelt.

**Tabelle 5-42: Bewertung des Leistungspotenzials der Hanfsorten auf dem Dikopshof anhand des Fasergehaltes (%) getrennt nach Versuchsjahren sowie im Mittel der Versuchsjahre.** Die Ergebnisse von **Beniko** und **Bialobrzeskie** (grau hinterlegt) beziehen sich auf einen einjährigen Versuch.

RANGFOLGE	VERSUCHS- JAHR 2002	VERSUCHS- JAHR 2003	MITTEL DER VER- SUCHSJAHRE
1	Epsilon 68	Uso 31	Uso 31
2	Uso 31	Beniko	Beniko
3	Futura 75	Bialobrzeskie	Epsilon 68
4	Fedora 17	Epsilon 68	Bialobrzeskie
5		Fedora 17	Futura 75
6		Futura 75	Fedora 17

Bei der Betrachtung des Versuchsjahres 2003 bieten sich aufgrund der hohen Leistungsfähigkeit hinsichtlich der Stroherträge (Tabelle 5-41) und Fasergehalte (Tabelle 5-42) besonders die Sorten **Bialobrzeskie** und **Beniko** für den Hanfanbau in NRW an, da sie im

Durchschnitt eine Ertragsüberlegenheit zeigen. Allerdings kann dieses Ertragspotenzial aufgrund der einjährigen Versuchsdauer nicht abschließend bewertet werden; hierzu besteht weiterer Forschungsbedarf. Zusammengefasst betrachtet weisen von den mehrjährig untersuchten Sorten besonders **Epsilon 68** und **Fedora 17** ein hohes Ertragspotenzial für den Hanfanbau in NRW auf.

## 6 Diskussion

Seit der Wiedereinführung der Faserpflanze Hanf in die landwirtschaftliche Praxis hat die industrielle Erstverarbeitung nach wie vor eine Marktnische in Deutschland inne. Die für Naturprodukte bekannten Schwankungen hinsichtlich der Qualität und Erntemenge erschweren eine dauerhafte industrielle Nutzung. Folglich ist die Etablierung des Hanfanbaus in NRW von einer kontinuierlichen und homogenen Ertragsleistung und Faserqualität abhängig, um die Konkurrenzfähigkeit der einheimischen Faserpflanze gegenüber Faserimporten zu gewährleisten.

Kenntnisse über die Einflussfaktoren können zur Optimierung des Ertrages und der Qualität beitragen; hierfür sind Ergebnisse zur Relevanz und Wirkung nötig. Der Ertrag und die Qualität der Faserhanfproduktion werden u. a. durch die Umwelt und agronomische Maßnahmen, wie die Auswahl der Saatstärke, Stickstoffdüngung und Sorte bestimmt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden die Auswirkungen dieser Einflussfaktoren im Ergebnisteil dargestellt und werden in den folgenden Kapiteln diskutiert.

Da für die Erstverarbeiter des Erntegutes neben dem Strohertrag insbesondere der Fasergehalt von Bedeutung ist, wird auch dieser dargestellt und beurteilt. In dieser Arbeit wurden die agronomischen und ertragsbestimmenden Aspekte des Forschungsvorhabens „Faserqualität einheimischer Faserpflanzen, die Bedeutung umweltbedingter Variabilität für die Ertrags- und Qualitätsbildung einheimischer Faserpflanzen, sowie die Methodenentwicklung zur Qualitätsprüfung“ betrachtet. Die qualitätsbestimmenden Parameter sowie die Methodenentwicklung zur Qualitätsprüfung wurden bereits veröffentlicht (LÉON et al. 2004).

### 6.1 Einfluss der Umwelt

Wesentliche pflanzenbauliche Maßnahmen sind die Saatstärke, die Stickstoffverfügbarkeit sowie die anzubauenden Sorten, die in dieser Untersuchung im Detail betrachtet wurden. In diesem Kapitel wird zunächst der Einfluss der Umwelt auf die ertragsbestimmenden Parameter und im folgenden Kapitel deren Bedeutung im Verhältnis zum Saatstärken- und Düngungseffekt diskutiert.

#### 6.1.1 Standardumwelt Dikopshof und Umwelten in Ostwestfalen-Lippe

Die Ertragsleistung als Strohertrag der Standardumwelt Dikopshof konnte im Vergleich mit den Umwelten in OWL auch auf den Standorten Versmold, Detmold und Haus Düsse realisiert werden. Darüber hinaus übertreffen die im Mittel der Versuchsjahre erzielten Erträge auf den guten Böden in Werther mit den signifikant höchsten Stängeldurchmessern und Wuchshöhen sowie den wertbestimmenden Eigenschaften (Strohertrag, Fasergehalt)



trotz der signifikant geringen Bestandesdichten (BD Ernte) die Ergebnisse des Dikopshofs. LÉON & VON FRANKEN-WELZ (2003), die ebenfalls Hanfanbauversuche in OWL durchgeführt haben, bestätigen die hohen Ertragsleistungen für den Standort Werther; neben den signifikanten höchsten Stängeldurchmessern und Wuchshöhen wurde auch tendenziell der höchste Strohertrag und Fasergehalt festgestellt.

Auf den sandigen Böden in Delbrück erzielt der Hanfbestand im Versuchsjahr 2002 nur die Hälfte der Ertragsleistung, bezogen auf den höchsten Strohertrag am Standort Werther. Auch die in Vermold, Detmold und Haus Düsse ermittelten Stroherträge sind signifikant höher als in Delbrück. Allerdings führen die ausgeprägten Stängeldurchmesser und durchschnittlichen Wuchshöhen des Bestandes dazu, dass die zweitbeste Ertragsleistung pro Pflanze (25,7 g/Pfl) in Delbrück erreicht wurde, d. h. der Bestand konnte die geringen Bestandesdichten teilweise kompensieren und in Ertrag überführen.

### **Fazit zur Eignung von NRW als Hanfanbauregion**

Die Anbaueignung und Ertragsleistung von Faserhanf wurde unter für NRW typischen Standortbedingungen geprüft und durch die vorliegenden Ergebnisse aus pflanzenbaulicher Sicht bestätigt. Im Versuchsanbau wurden im Mittel Stroherträge von 156 dt/ha mit einem Fasergehalt von 35,4 % realisiert, welche von den Stroherträgen (108-210 dt/ha) und Fasergehalten (29,7-37,0 %) in OWL teilweise übertroffen wurden. Dass sich die Standorte für den Hanfanbau eignen und somit eine erfolgreiche Etablierung von Faserhanf als Kulturpflanze in NRW möglich ist, wird auch durch die Untersuchungen von LÉON & VON FRANKEN-WELZ (2000) und LÉON & VON FRANKEN-WELZ (2003) gestützt, die Hanf als die optimale Faserpflanze für NRW sehen.

Allerdings ist in diesem Zusammenhang zu beachten, dass aufgrund von produktionstechnischen Problemen und wirtschaftlichen Zwängen viele Erstverarbeiter in den Jahren 1999-2006 ihre Tätigkeiten eingestellt haben (CARUS et al. 2008). Dasselbe trifft auch für den Kooperationspartner dieses Forschungsvorhabens, die NafiTech GmbH zu, welcher zum Jahr 2003 den Aufschluss von Hanffasern in Kalletal eingestellt hat. Auch der Nachfolger, die HAV NafiTech GmbH in Werther/Westf., hat im November 2005 Insolvenz angemeldet, so dass derzeit in NRW kein industrieller Hanffaseraufschluss durchgeführt wird.

#### **6.1.2 Einfluss des Jahreseffektes**

Die Witterungsverhältnisse der Standardumwelt Dikopshof unterscheiden sich zwischen den Versuchsjahren. In 2002 ist die Wärmesumme signifikant höher bei niedriger Niederschlagsmenge; in 2003 ist dieses Verhältnis umgekehrt (mehr Niederschlag bei geringerer Wärmesumme). Die Versuche haben gezeigt, dass die Anbaujahre, außer für den Stän-

geldurchmesser, signifikante Unterschiede für alle ertragsbestimmenden Parameter aufweisen (Tabelle 5-1, S. 45). Die Leistungen der Parameter Wuchshöhe, Fasergehalt und Strohertrag sind in 2002 signifikant höher als in 2003. Andererseits sind die Leistungen der Parameter Feldaufgang, Bestandesdichte (BD Ernte) und Ausdünnung signifikant weiter vom Ausgangswert, d. h. der Pflanzenanzahl entsprechend der Saatstärke, entfernt als 2002. VON FRANKEN-WELZ (2003) stellte die Bedeutung eines ausreichenden Niederschlags für die Ertragsbildung bereits für seine Untersuchungen auf dem Dikopshof heraus. Dass die Realisierung des Ertragspotenzials entscheidend von der Wasserverfügbarkeit bestimmt wird, zeigen auch die Ergebnisse von SCHÄFER (2003) und KRÜGER (2000). Obwohl eine genaue Zuordnung des Niederschlageffektes schwer möglich ist, zeigen die signifikanten Unterschiede zwischen den Jahren dass die Witterung einen Einfluss hat und somit als Faktor für den Hanfanbau nicht zu vernachlässigen ist. Vor allem für das Ertragspotenzial ist eine ausreichende Wasserversorgung von Bedeutung (HÖPPNER & MENGE-HARTMANN 1994); ein Ergebnis, welches auch durch die Untersuchungen von KRÜGER (2000) gestützt wird, wonach eine Niederschlagszunahme von 160 l/m<sup>2</sup> auf 300 l/m<sup>2</sup> während der zwei untersuchten Vegetationsperioden zu einer Ertragssteigerung um 23 % führte.

Im Vergleich mit der Literatur (HÖPPNER & MENGE-HARTMANN 2002, LOHMEYER 1997) fällt auf, dass die auf dem Dikopshof ermittelten Wärmesummen mit 1601 °C (Mittelwert) im unteren Bereich des notwendigen Bedarfs (1600-2000 °C GDD, VETTER et al. 2002, BÓCSA et al. 2000) zum Erreichen der Faserreife liegen. Zudem decken die Niederschlagsmengen von 162 l/m<sup>2</sup> nur knapp die Hälfte des in der Literatur genannten Transpirationskoeffizienten für Hanf (STEGER 2004: 447 l/m<sup>2</sup>, BÓCSA et al. 2000: 300-500 l/m<sup>2</sup>). Für den Standort Dikopshof können jedoch die in der Literatur genannten Witterungsbedingungen für den Hanfanbau hinsichtlich der Niederschlagsmengen erreicht werden; dieses wurde in den Versuchen von VON FRANKEN-WELZ (2003) nachgewiesen (Versuchsjahr 1998: GDD 1950 °C bei 502 l/m<sup>2</sup> Niederschlag und Versuchsjahr 1999: GDD 1973 °C bei 326 l/m<sup>2</sup>).

Auch die Witterungsbedingungen der Standorte in OWL unterscheiden sich zwischen den Versuchsjahren. Im Versuchsjahr 2001 wurden höhere Wärmesummen bei niedriger Niederschlagsmenge und im Jahr 2002 niedrigere Wärmesummen bei höheren Niederschlagsmengen gemessen (Tabelle 5-15, S. 65). Im Vergleich mit den Witterungsbedingungen der Standardumwelt entspricht das Verhältnis 2001 aus OWL dem Jahr 2002 des Dikopshofs und das Jahr 2002 (OWL) dem Jahr 2003. Auch wenn im Jahr 2001 die Wärmesummen nahe dem Optimum zur Faserreife liegen (GDD 1686-2028 °C), kann die geringe Menge des pflanzenverfügbaren Wassers (209-279 l/m<sup>2</sup>) als limitierender Faktor angesehen werden. Allerdings widersprechen die hohen Ertragsleistungen in OWL dieser

Annahme. VON FRANKEN-WELZ (2003) dokumentierte im Jahr 2000 für die Standorte Delbrück (555 l/m<sup>2</sup>) und Werther (550 l/m<sup>2</sup>) wesentlich höhere Niederschlagsmengen als im Versuchszeitraum der vorliegenden Arbeit. Trotzdem wurden in Delbrück (Strohertrag: 82,7 dt/ha, Fasergehalt: 27,9 %) und Werther (Strohertrag: 98,0 dt/ha, Fasergehalt: 31,5 %) nur geringe Erträge erzielt, welche hinsichtlich der wertbestimmenden Eigenschaften hinter denen der vorliegenden Arbeit zurückbleiben (Tabelle 5-16, S. 66). Dieses unterstreicht die jahresbedingte Schwankungsbreite der Witterungsbedingungen.

Trotz der Heterogenität der untersuchten Praxisstandorte in OWL, besonders hinsichtlich der Bodenverhältnisse, werden kaum signifikante Unterschiede der ertragsbestimmenden Parameter zwischen den Standorten innerhalb der Versuchsjahre gefunden. Daraus folgernd kann die Wirkung der Umwelt für diese Untersuchungen als gering eingestuft werden. Dieses wird durch die Ergebnisse von LÉON & VON FRANKEN-WELZ (2003) im Besonderen für die Standorte Delbrück (Ackerzahl 24) und Werther (Ackerzahl 69) bestätigt. Mit der gegebenen Düngung von 60 bzw. 120 kg/ha Stickstoff (KAS) und einer entsprechenden Versorgung mit allen anderen Nährstoffen werden die Ansprüche der Hanfpflanzen auf allen Standorten weitestgehend erfüllt. Des Weiteren stellen die vorhandenen Beikräuter keine Konkurrenz um Nährstoffe dar, da diese im Laufe der Vegetationsperiode rasch überwachsen werden (RANALLI & VENTURI 2004, BÓCSA et al. 2000, DIEPENBROCK et al. 1999, MASTEL et al. 1998).

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 niedrigen Ackerzahl von 35 (Detmold) bzw. 24 (Delbrück) charakterisiert und weisen vergleichbare durchschnittliche Jahresniederschlagsmengen von 720 l/m<sup>2</sup> bzw. 725 l/m<sup>2</sup> auf. Wie aufgrund dieser Standortverhältnisse angenommen, ist die Selbstausdünnung hoch. Beim Hanfanbau auf Sandstandorten konnte eine Erhöhung der Stickstoffgabe auf bis zu 160 kg/ha zu einer Ertragsteigerung führen, wie bei MASTEL et al. (1998) beschrieben. Zudem weist LOHMEYER (1997) darauf hin, dass je sandiger ein Standort ist, die Niederschlagsmenge während der Vegetationszeit umso höher ausfallen muss, um dem spezifischen Wasserbedarf von Hanf zu genügen. Daher bezeichnet LOHMEYER (1997) 300 l/m<sup>2</sup> innerhalb der Vegetationszeit als notwendig, wobei für die Ertragsleistung die Niederschlagsmengen zwischen Juni und Juli ausschlaggebend sind. Die Niederschlagsverhältnisse in den hier untersuchten Versuchsjahren sind jedoch an allen Standorten für den Hanfanbau als günstig zu bezeichnen, so dass diesbezüglich keine Ertragseinbußen und Qualitätsminderungen zu erwarten waren.

Der Standort Werther ist durch einen für den Hanfanbau optimalen Boden (sandiger Lehm, Ackerzahl 69) charakterisiert. In der vorliegenden Arbeit liegt die Rate der Ausdünnung im Mittel bei 22,6 % und die überdurchschnittlichen Leistungen der Parameter Stän-

geldurchmesser und Wuchshöhe führen an diesem Standort zu besonders hohen Erträgen. Diese Eignung des Standortes Werther für den Hanfanbau wird durch die Ergebnisse der Untersuchungen von LÉON & VON FRANKEN-WELZ (2003) als auch durch VON FRANKEN-WELZ (2003) gestützt.

Insgesamt zeigen die hier dargestellten Ergebnisse, dass der Einfluss der Umwelt im Allgemeinen trotz signifikanter Unterschiede zwischen den Jahren gering ist, so schöpft die Hanfpflanze an den potentiell guten Standorten in diesen Versuchen ihr Ertragspotenzial aus. Dieses wird durch hohe Ertragsleistungen (bezogen auf den Strohertrag und die Wuchshöhe) auf dem Dikopshof (149 dt/ha, 225 cm) in 2002 sowie in Werther (246 dt/ha, 275 cm) in 2001 trotz des geringen Niederschlags bei gleichzeitig hohen Temperaturen unterstrichen. Entsprechend haben im Vergleich zu anderen Faktoren die Unterschiede der Umwelt für das Ertragspotenzial eine weitaus geringere Bedeutung als die Sortenunterschiede (WESTERHUIS et al. 2009b, VETTER & GRAF 1999, MASTEL et al. 1998, VON BUTTLAR et al. 1997), welche in Kapitel 6.6 analysiert werden.

### **Fazit zum Einfluss des Jahres auf die Umwelten**

Die Annahme, dass der Einfluss der Umwelt die Ertragsleistung stärker beeinflusst als die agronomischen Maßnahmen wie Saatstärke und Stickstoffdüngung konnte mit den vorliegenden Ergebnissen nicht eindeutig bestätigt werden. Da es sich bei dem Einfluss der Witterung auf die ertragsbestimmenden Parameter nicht um eine monokausale Beziehung handelt, ist eine zweijährige Versuchsdauer zu gering für eine repräsentative Analyse der Witterungsbedingungen. Dieses bestätigt die Ergebnisse von VON FRANKEN-WELZ (2003), wonach aufgrund der kurzen Versuchsdauer nur Tendenzen des Jahreseinflusses auf die ertragsbestimmenden Eigenschaften aufgezeigt werden konnten. In den hier untersuchten Breitengraden in NRW liegt die Wasserverfügbarkeit während der Vegetationsperiode zumeist in der Nähe des Optimums. Folglich lassen die vorliegenden Ergebnisse den Schluss zu, dass Hanf auf Böden mit hoher Ackerzahl trotz ungünstiger Witterungsbedingungen hohe Erträge erzielen kann. Allerdings müssten zur detaillierteren Beurteilung der Einflussnahme der Witterung anhand der Niederschlagsmengen bzw. -verteilung sowie der Temperatursummen auf den Hanfanbau im Rahmen der Versuche verlässliche taggenaue Daten für jeden Standort zur Verfügung stehen und mehrjährige Versuche durchgeführt werden, um Schlussfolgerungen zu erhalten, die verallgemeinert werden können.

## **6.2 Einfluss der Saatstärke**

Im Folgenden wird diskutiert, ob die Saatstärke einen Einfluss auf die intraspezifische Konkurrenz und somit Auswirkungen auf die Ertragsstruktur und die wertbestimmenden Eigenschaften (Strohertrag und Fasergehalt) hat. Beim Hanfanbau zeigt sich die intraspezifische Konkurrenz auch am Grad der Selbstausdünnung.

### 6.2.1 Standardumwelt Dikopshof

Die Auswertung des Einflusses der drei auf dem Dikopshof untersuchten Saatstärken (108, 162 und 216 kK/m<sup>2</sup>) zeigt einen deutlichen Trend. Zwischen den Saatstärken 108 kK/m<sup>2</sup> zu 162 kK/m<sup>2</sup> und 108 kK/m<sup>2</sup> zu 216 kK/m<sup>2</sup> werden für alle ertragsbestimmenden Parameter, außer für den Feldaufgang, signifikante Unterschiede gefunden, wohingegen die Erhöhung von 162 kK/m<sup>2</sup> auf 216 kK/m<sup>2</sup> nur noch für drei (BD Ernte, Selbstausdünnung, Fasergehalt) von sieben Parametern signifikante Unterschiede aufweist. Unterstützt wird dieses Ergebnis durch die Untersuchungen von MEDIAVILLA et al. (1998), wo die Erhöhung der Saatstärke von 50 auf 150 kK/m<sup>2</sup> den Strohertrag steigert, die weitere Erhöhung der Saatstärke auf 300 kK/m<sup>2</sup> aber zu keiner nachweisbaren Zunahme des Strohertrags führt. Entsprechend zeigen verschiedene Untersuchungen (DELEURAN & FLENGMARK 2005, SCHÄFER 2003, VON FRANKEN-WELZ 2003, HÖPPNER 1997, VAN DER WERF et al. 1995b, 1994), dass durch Konkurrenzdruck die Ausprägung der Selbstausdünnung signifikant mit der Saatstärke ansteigt. RÖHRICHT & SCHULZ (2000) schlussfolgern, dass die Reduktion der Bestände im Verlauf der Vegetationsperiode sowohl durch die verstärkte Konkurrenz der Hanfpflanzen untereinander, aber auch durch höheren Krankheitsdruck infolge der dichteren Bestände zustande kommt. Auch die mehrjährigen Versuche der Thüringer Landesanstalt (VETTER et al. 2002) bestätigen, dass sich die Bestandesdichten proportional zur Saatstärke im Laufe der Vegetationsperiode ausdünnen. Bei einer Aussaatstärke von 400 kK/m<sup>2</sup> lag die Reduktion der Pflanzenanzahl bei bis zu 70 %. Ein Zusammenhang von Saatstärke und Selbstausdünnung im Hinblick auf den Erntezeitpunkt wird auch von BURCZYK et al. (2009) beschrieben. Demgegenüber tritt dieser Ausdünnungseffekt bei niedrigen Saatstärken nur schwach in Erscheinung und unterstützt somit die Annahme, dass die intraspezifische Konkurrenz der Bestände hierfür ursächlich ist (AMADUCCI et al. 2002b, VAN DER WERF et al. 1995b). Zusammengefasst besitzt Hanf die besondere Fähigkeit zur Selbstregulation der Bestände entsprechend den vorhandenen Wachstumsbedingungen (BURCZYK et al. 2009). Damit wird die Ertragsleistung zwar durch die Saatstärke und Vegetationsdauer bestimmt, aber diese können zumindest teilweise durch die Niederschlagsmengen und infolge der Wasserverfügbarkeit durch das Phänomen der Selbstausdünnung nivelliert werden.

GRABOWSKA & KOZIARA (2005) berichten von einer Abnahme des Stängeldurchmessers und der Wuchshöhe mit steigenden Saatstärken (40, 80, 120 und 160 kg/ha). Dieses ist auch das Ergebnis der Untersuchungen von BURCZYK et al. (2009), in denen die Steigerung der Saatstärke von 30 bis 60 kg/ha zu einer Abnahme der Stängeldurchmesser und der Wuchshöhe führt. Obwohl die in der Standardumwelt Dikopshof eingesetzten Saatstärken von 108 kK/m<sup>2</sup>, 162 kK/m<sup>2</sup> und 216 kK/m<sup>2</sup> (entsprechend: 20, 30 und 40 kg/ha) im unteren Bereich der zuvor genannten Untersuchungen liegen, zeigt auch hier das Wuchsverhalten des Bestandes eine signifikante Abnahme der Stängeldurchmesser und Wuchshöhe mit Erhöhung der Saatstärke von 20 kg/ha auf 30 bzw. 40 kg/ha. Jedoch konnte die-

ser Effekt bei der Erhöhung der Aussaatstärke von 162 kK/m<sup>2</sup> auf 216 kK/m<sup>2</sup> nicht nachgewiesen werden. Einen signifikanten Effekt der Saatstärke auf die Wuchshöhe stellen auch AMADUCCI et al. (2008a) fest, wobei die Wuchshöhe mit Reduktion der Saatstärke (von 64 auf 8 kg/ha) um 50 cm ansteigt (DELEURAN & FLENGMARK 2005). Ein solches Verhalten wird auch von RÖHRICHT & SCHULZ (2000) beschrieben, wonach Pflanzen einer hohen Saatstärke (80 kg/ha) durchschnittlich nur 82 % der Wuchshöhe der niedrigen Saatstärkenvariante (20 kg/ha) erreichen. Darüber hinaus konnten AMADUCCI et al. (2002b) die Erkenntnisse von VAN DER WERF et al. (1995c) bestätigen, dass die Wuchshöhe auch von der Vegetationsperiode abhängig ist. Dabei führen hohe Saatstärken zunächst zu einem ausgeprägten Wachstumsschub in Konkurrenz um die Ressource Strahlung. Nach Erreichen von 600°C GDD kehrt sich dieser Trend um und die größeren Wuchshöhen werden bei niedriger Saatstärke erzielt. Wie bereits AMADUCCI et al. (2002a) schlussfolgern, scheint die optimale Saatstärke (20 bis 25 kg/ha) für den Faseranbau weitaus niedriger zu liegen als allgemein angenommen. Eine ähnlich niedrige Saatstärke (20 bis 35 kg/ha) wird auch nach ZATTA et al. (2012) und BURCZYK et al. (2009) für eine Optimierung der Biomasseproduktion von Faserhanf im Hinblick auf eine verbesserte Faserqualität und Ertragssteigerung befürwortet. Zusammenfassend betrachtet unterstützt dieses die Aussagen von BÓCSA et al. (2000), dass der Stängeldurchmesser und die Wuchshöhe im Wesentlichen vom Standraum bestimmt werden.

Obwohl auf dem Dikopshof die höchste Saatstärke einen signifikant geringeren Strohertrag als die niedrigste Saatstärke erzielt, wurde der höchste Fasergehalt verzeichnet. Einen Einfluss der Saatstärke auf die Faserproduktion der Hanfstängel lässt sich auch bei BENNETT et al. (2006) finden, jedoch zeigen deren Ergebnisse zudem einen positiven Einfluss auf den Strohertrag. Dass der Faseranteil durch eine Erhöhung der Saatstärke ansteigt, wurde auch von LÉON & VON FRANKEN-WELZ (2003) beobachtet. Im Gegensatz dazu zeigen die Untersuchungen anderer Autoren (VON FRANKEN-WELZ 2003, VETTER et al. 2002, RÖHRICHT & SCHULZ 2000, MÜNZER 1999 und MASTEL et al. 1998), dass zwischen der Saatstärke und dem Fasergehalt kein Zusammenhang besteht. Dass die Saatstärke einen erheblichen Einfluss auf die Ausprägung der Wuchshöhe und Stängeldicke der Hanfpflanzen hat, kann für eine Optimierung des Anbaus und die Weiterverarbeitung genutzt werden.

### 6.2.2 Umwelten in Ostwestfalen-Lippe

An den verschiedenen Praxisstandorten in OWL wurden zwei Saatstärken (108 und 216 kK/m<sup>2</sup>) untersucht. Besonders deutlich fällt hier der geringe Feldaufgang (39-63%) im Verhältnis zur Aussaatmenge auf (Tabelle 5-13, S. 63). Ein Effekt, welcher auch von AMADUCCI et al. (2002b) und BASSETTI et al. (1998) beschrieben wird. Des Weiteren unterliegt Hanf im besonderen Maße dem Ausdünnungseffekt (VAN DER WERF et al. 1996). In OWL führt dieser dazu, dass die Anzahl der aufgelaufenen Pflanzen im Laufe der Vegeta-

tionsperiode um bis zu 46,7 % (Delbrück; hohe Saatstärke) abnimmt. Trotz einer Saatstärke von 70 kg/ha beträgt die Ausdünnung in der Untersuchung von JANKAUSKIENÉ & GRUZDEVIENÉ (2010) nur 15-26 %. Im Gegensatz dazu wird in den Versuchen von MEDIAVILLA et al. (1998) bei einer Saatstärke von 300 kK/m<sup>2</sup> sogar eine Bestandesreduktion von bis zu 60 % beschrieben. Dieser Effekt der Saatstärke auf die Ausdünnung der Bestände wird durch die Ergebnisse von AMADUCCI et al. (2002b) unterstützt. Dass die Intensität der Bestandesreduktion stark von der Aussaatstärke abhängt (SCHÄFER 2003, HÖPPNER 1997), bestätigen auch die Ergebnisse von GRABOWSKA & KOZIARA (2005). Darüber hinaus entspricht die hohe Selbstausdünnung auf nährstoffreichen Böden (Werther, Haus Düsse) in der vorliegenden Arbeit den Untersuchungen von SCHÄFER (2003) und VON BUTTLAR et al. (1997). Die signifikant geringe Bestandesdichte zur Ernte (Abbildung 5-10, S. 68) geht an den Standorten Detmold, Haus Düsse und Werther mit signifikant größeren Stängeldurchmessern einher (Abbildung 5-11, S. 70), da den einzelnen Pflanzen mehr Platz zur Verfügung steht und somit die intraspezifische Konkurrenz reduziert ist (VAN DER WERF et al. 1996). Grund hierfür ist nach AMADUCCI et al. (2002b) und MEDIAVILLA et al. (2001) die Abhängigkeit des Stängeldurchmessers von der Vegetationsperiode und der Saatstärke. Dass die Stängeldurchmesser mit der Saatstärke abnehmen, bestätigen auch die Untersuchungen von AMADUCCI et al. (2008a), BENNETT et al. (2006) und MEDIAVILLA et al. (1998). Im Gegensatz dazu werden in Delbrück signifikant größere Stängeldurchmesser bei niedriger Saatstärke ausgebildet und es liegt auch kein signifikanter Unterschied der Bestandesdichten zur Ernte vor. Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass weder 53 (Saatstärke 108 kK/m<sup>2</sup>) noch 32 Pflanzen pro Quadratmeter (Saatstärke 216 kK/m<sup>2</sup>) zu einer starken Konkurrenz um Ressourcen wie Nährstoffe, Strahlung und Wasser führen. Dieses entspricht den Schlussfolgerungen von AMADUCCI et al. (2002a) wonach das Optimum für den Faserhanfanbau bei 90 bis 100 Pflanzen pro Quadratmeter liegt. Diese Erkenntnis, dass bereits eine Saatstärke von ca. 20 kg/ha zu einer bestmöglichen, qualitativ hochwertigen Faserproduktion führt wurde bereits 1995 von VAN DER WERF et al. (1995b) dargestellt. Die Ertragsleistung wird durch das Ausbringen von höheren Saatstärken (180-270 kK/m<sup>2</sup>) nicht erhöht, so dass mit der Wahl von niedrigen Saatstärken Saatgutkosten eingespart werden können (AMADUCCI et al. 2002b). Da die Versuche der vorliegenden Arbeit im laufenden Praxisbetrieb der Landwirte im Rahmen des Vertragsanbaus für den einzigen Erstverarbeiter in NRW (NafiTech, Nachfolger HAV NafiTech GmbH) stattfanden, wurde – um den Stängeldurchmesser entsprechend zu beeinflussen – für die Anbaujahre 2000-2003 als Empfehlung eine Saatmenge von 30-40 kg/ha vom Erstverarbeiter vorgegeben. Denn der Stängeldurchmesser kann für die technische Verarbeitung von Faserhanf ein bestimmendes Maß sein, wenn Durchmesser von über 20 mm verarbeitet werden müssen (mündliche Mitteilung BECKMANN 2002, NafiTech).

Aufgrund der reduzierten Pflanzenanzahl ist davon auszugehen, dass an den entsprechenden Standorten in OWL auch tendenziell größere Wuchshöhen ausgebildet werden; dieses kann jedoch bei den vorliegenden Ergebnissen nur in Haus Düsse bestätigt werden (Abbildung 5-12, S. 71). Entsprechend der Versuche von HALL et al. (2013) zeigen Bestandesdichte und Wuchshöhe nur eine sehr schwache Korrelation ( $r = 0,24$ ). Obwohl mit der höheren Saatstärke signifikant geringere Stängeldurchmesser und keine signifikant unterschiedlichen Wuchshöhen erzielt werden, führt diese an zwei von vier Umwelten zu höheren Erträgen (Abbildung 5-13, S. 73). Dieses Verhältnis der Parameter entspricht den Ergebnissen von BENNETT et al. (2006). Jedoch zeigen die Untersuchungen von LÉON & VON FRANKEN-WELZ (2003), KRÜGER (2000), MÜNZER (1999) und MASTEL et al. (1998), dass eine Erhöhung der Saatstärke selten zu Ertragssteigerungen führt. Selbst eine Saatstärke von 320-960 kK/m<sup>2</sup> zeigt in der Arbeit von GRABOWSKA & KOZIARA (2005) keinen signifikanten Effekt auf den Strohertrag; erst bei einer Saatstärke von 1.280 kK/m<sup>2</sup> ist ein signifikanter Rückgang des Strohertrags zu beobachten.

Obwohl Detmold und Werther signifikant höhere Stroherträge bei hoher Saatstärke zeigen, wird an beiden Standorten der signifikant höhere Fasergehalt bei niedriger Saatstärke erzielt. Demgegenüber werden in Delbrück und Haus Düsse signifikant höhere Fasergehalte bei hoher Saatstärke ausgebildet (Tabelle 5-18, S. 73), ohne dass Unterschiede im Strohertrag nachgewiesen werden konnten. Entgegen den Ergebnissen von LÉON & VON FRANKEN-WELZ (2003) und VAN DER WERF et al. (1995c) wo die Saatstärke positiv mit dem Fasergehalt im Stängel korreliert, weisen die vorliegenden Ergebnisse nur bedingt darauf hin, dass die Saatstärke einen Einfluss auf den Fasergehalt hat. Zudem konnte kein umweltbedingter Unterschied der ausgebildeten Fasergehalte nachgewiesen werden, wie ihn VON BUTTLAR et al. (1997) beschreiben. Außerdem bestätigen die Versuche von WESTERHUIS et al. (2009b), dass der Umwelteffekt auf den Fasergehalt gering ist und für den Praxisanbau vernachlässigt werden kann. Zusammengefasst bestätigen die Ergebnisse der Praxisstandorte für die wertbestimmenden Eigenschaften sowohl bei niedriger Saatstärke (Strohertrag 100-200 dt/ha, Fasergehalt 32,0-41,2 %) als auch bei hoher Saatstärke (Strohertrag 120-220 dt/ha, Fasergehalt 32,0-38,4 %), dass der Einfluss der Saatstärke als gering einzustufen ist.

Für den Landwirt ist momentan der Ertrag die Bewertungsgrundlage der Hanfproduktion, da der Erstverarbeiter nach Strohgewicht bei ca. 13 % Feuchte bezahlt. Für den Erstverarbeiter stehen beim Hanfanbau die Qualität des Hanfstrohs (z. B. Röstgrad) und der Fasergehalt im Vordergrund. Jedoch lässt sich eine positive Korrelation zwischen Strohertrag und Fasergehalt nur einmal hoch signifikant nachweisen und zwar für die Umwelt Werther (Tabelle 5-19 und Tabelle 5-20, S. 74ff).

Vergleicht man nun den Einfluss der Umwelt innerhalb der jeweiligen Saatstärke unter Zuhilfenahme der berechneten Größe „Ertrag je Pflanze“, ergibt sich für die niedrige Saat-



stärke die folgende Rangfolge der Umwelten: Werther (45,1 g/Pfl), Haus Düsse, Delbrück und Detmold (14,4 g/Pfl). Die Betrachtung der hohen Saatstärke führt zu einer leicht veränderten Reihung: Delbrück (36,6 g/Pfl), Werther, Haus Düsse und Detmold (12,4 g/Pfl). In Detmold werden jeweils die höchsten Bestandesdichten zur Ernte ermittelt und die Einzelpflanzen liefern die geringsten Erträge. Das Ergebnis steht in Bezug zu den Bodenverhältnissen der untersuchten Umwelten. Nur das optimale Ergebnis des Standortes Delbrück für die hohe Saatstärke entspricht nicht diesem Trend. Allerdings handelt es sich für diesen Standort um einjährige Daten, so dass hier die Repräsentativität der Ergebnisse kritisch zu hinterfragen ist.

### Fazit zum Einfluss der Saatstärke

Obwohl die Versuchsdurchführung als auch die Standortbedingungen der Standardumwelt Dikopshof als optimal zu bezeichnen waren, zeigt die niedrige Ertragsleistung der Einzelpflanzen (Saatstärke 108 kK/m<sup>2</sup>: 18,7 g/Pfl für 82 Pfl/m<sup>2</sup> und 216 kK/m<sup>2</sup>: 10,4 g/Pfl für 138 Pfl/m<sup>2</sup>) auf, dass die Größe Ertrag von zahlreichen durch Wechselwirkungen beeinflussten Parametern geprägt wird. ZATTA et al. (2012) führen in diesem Zusammenhang aus, dass selbst die Untersuchungen von sehr unterschiedlichen Saatstärken (45 bis zu 360 kK/m<sup>2</sup>) keine klare Beziehung zwischen der Bestandesdichte und dem Ertrag aber auch kein eindeutiger Effekt zwischen Bestandesdichte und Fasergehalt nachgewiesen werden konnte (AMADUCCI et al. 2008a). Einen Zusammenhang zwischen Saatstärke und dem Gewicht der Hanfpflanzen wurde von MASTEL et al. bereits 1998 nachgewiesen. Die mittleren Stängelgewichte zeigen bei steigender Saatstärke eine deutliche Abnahme (150 kK/m<sup>2</sup>: 12 g/Stängel zu 7,3 g/Stängel bei 350 kK/m<sup>2</sup>). Sie schlussfolgern, dass das Stängelgewicht mit der Anzahl der Pflanzen pro Quadratmeter korreliert. Dieser Zusammenhang von Pflanzenanzahl und Stängelgewicht trifft für die Praxisstandorte sowohl bei niedriger Saatstärke (Detmold 80 Pfl/m<sup>2</sup>: 14,4 g/Pfl, Werther 45 Pfl/m<sup>2</sup>: 45,1 g/Pfl) als auch bei hoher Saatstärke (Detmold 142 Pfl/m<sup>2</sup>: 12,4 g/Pfl, Delbrück 53 Pfl/m<sup>2</sup>: 36,6 g/Pfl) zu: Ein Wachstumsverhalten (38 Pfl/m<sup>2</sup>: 22g/Stängel TM und 74 Pfl/m<sup>2</sup>: 18 g/Stängel TM), das die in den vorliegenden Versuchen verwendete Hanfsorte **Fedora 17** sogar unter den Wachstumsbedingungen in Kasachstan zeigt (SARSENBAEV et al. 2013). Nach AMADUCCI et al. (2002a) kann der Ertrag als Beziehung zwischen dem mittleren Stängelgewicht und der Bestandesdichte definiert werden, wobei das Gewicht umgekehrt proportional zur Bestandesdichte ist (40-50 Pfl/m<sup>2</sup>: 30 g/Stängel TM, 100 Pfl/m<sup>2</sup>: 10 g/Stängel TM und 150 Pfl/m<sup>2</sup>: 8 g/Stängel TM). Eine solche positive Korrelation zwischen dem Stängelgewicht und der Biomasseproduktion wird durch die Untersuchungen von ALARU et al. (2011) für Hanf und Sonnenblumen bestätigt. Demzufolge stammen schwere Stängel aus lichten Beständen. Zwar ist bei niedriger Saatstärke die intraspezifische Konkurrenz um Strahlung, Nährstoffe und Wasser vermindert (MASTEL et al. 1998), doch wird die Biomasseproduktion von der An-

zahl der Pflanzen pro Quadratmeter und dem Bestandesschluss zur Unterdrückung von auflaufenden Unkräutern definiert (VETTER et al. 2002). Auch wenn die Variation der Bestandesdichte, entgegen den zuvor genannten Autoren, in den Untersuchungen von HALL et al. (2013) kaum mit der phänologischen Entwicklung der Hanfpflanzen korreliert, belegen die Untersuchungen eine Zunahme des Gewichtes der Einzelpflanzen in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer.

Folglich muss bei der Wahl der Saatstärke ein Kompromiss zwischen diesen gegensätzlichen Anforderungen und den Standortbedingungen gefunden werden. Die Entscheidung für eine Aussaatstärke von 30 kg/ha und angenommenen Saatgutkosten von 2,30 €/kg führt in Polen nach BURCZYK et al. (2009) zu einem Einsparpotenzial von 300 €/ha. Für den Faserhanfanbau in Deutschland gaben RÖHRICHT & SCHULZ bereits 2003 Saatgutkosten von 4,10 €/kg an. Diese waren im Jahr 2012 leicht erhöht und lagen bei 4,40 €/kg für gebeiztes Hanfsaatgut (mündliche Mitteilung B. FRANK, Bafa Malsch). Festzuhalten ist für den Landwirt demnach, dass die Kosten-Nutzen-Rechnung zwischen Erhöhung der Saatstärke mit verbundenem Anstieg der Saatgutkosten nicht immer zu einem größeren Nutzen in Form höheren Strohertrages führt. Die Annahme, dass die Saatstärke die Ertragsleistung negativ beeinflusst, wird auch durch die tendenziell negative Beziehung zwischen Saatstärke und Stängelgewicht unterstützt (VETTER et al. 2002), welches in der vorliegenden Arbeit über die Größe „Ertrag je Pflanze“ dargestellt wird. Darüber hinaus geben die Erstverarbeiter in Deutschland die Größenordnung der Saatmenge entsprechend ihrer Aufschlusstechnik mit dem Ziel vor, eine optimale Faserqualität für ihre Verarbeitung zu erhalten, so dass der Landwirt hier nur einen geringen Spielraum hat, die Saatstärke entsprechend der Umweltbedingungen anzupassen. Allerdings wird für den Erstverarbeiter eine Optimierung der Wertschöpfung auch aus der Vermarktung der Hanfschäben, die aus dem Holzteil der Hanfpflanze bestehen, erreicht.

Obwohl die Annahme tendenziell bestätigt wird, dass die Saatstärke einen negativen Einfluss auf die Ertragsleistung hat, lassen sowohl die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit als auch die von VON FRANKEN-WELZ (2003) schlussfolgern, dass die Vorgaben für die Saatstärke vom Erstverarbeiter für den Praxisanbau in OWL stimmig sind und keiner Anpassung bedürfen.

### **6.3 Einfluss der Stickstoffdüngung**

Das Interesse an Empfehlungen für eine optimierte, standortangepasste Stickstoffdüngung hat sowohl agronomische, ökonomische als auch ökologische Gründe. Dies gilt besonders, da die Nährstoffmenge zum Erreichen eines bestimmten Ertrages oder Qualität ausschlaggebend sein kann und direkt mit dem finanziellen Erfolg des Hanfanbaus in Zusammenhang steht. Dabei ist eine bedarfsorientierte Zufuhr von Stickstoff sowohl für die Pflanzenernährung als auch für den Standort wichtig. Vorausgesetzt alle anderen

Nährelemente liegen in ausreichender Menge vor, ist über die Stickstoffdüngung eine Ertragssteigerung möglich.

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Stickstoffdüngungsversuches in Bezug zu den untersuchten Umwelten diskutiert, um die Frage zu klären, wie mit einer optimalen Bestandesführung ein umweltverträgliches Düngungsregime bei optimierter Ertragsleistung etabliert werden kann.

### 6.3.1 Standardumwelt Dikopshof

Für eine detailliertere Betrachtung des Einflusses der Nährstoffgabe wurden die Versuche der Standardumwelt Dikopshof mit vier Stickstoffvarianten (40, 60, 120 kg/ha und ohne zusätzliche Stickstoffgabe) durchgeführt. Der feinsandige Lehmboden der Standardumwelt hat eine Ackerzahl von 80.

Für die Parameter Bestandesdichte zur Ernte, Stängeldurchmesser, Wuchshöhe und Strohertrag wurden keine Unterschiede zwischen den niedrigeren Stickstoffgaben ermittelt; nur die Ergebnisse der höchsten Stickstoffgabe für diese Parameter unterscheiden sich signifikant von allen anderen applizierten Düngungsstufen (Abbildung 5-4, S. 50 und Abbildung 5-7, S. 53). Es kann somit davon ausgegangen werden, dass das Nährstoffnachlieferungsvermögen ( $N_{\min}$  2002 und 2003: 27 kg/ha) des Bodens der Standardumwelt ausreicht, die niedrigeren Stickstoffgaben zu kompensieren. Erst das zusätzliche Nährstoffangebot von 120 kg/ha KAS ermöglicht dem Bestand eine deutliche Zunahme in den ertragsbestimmenden Parametern. Demgegenüber zeigen die Anbauversuche auf dem Sandstandort Forchheim wie auch in Ungarn (IVÁNYI 2011), dass Faserhanf ohne Stickstoffdüngung einen sehr geringen Ertrag (TM 4,6 t/ha beziehungsweise 5-7 t/ha) erzielt und somit unter diesen Bedingungen nicht rentabel ist (MASTEL et al. 1998).

Die von VON FRANKEN-WELZ (2003) durchgeführten Untersuchungen auf dem Dikopshof bestätigen, dass der Hanfbestand bei Verdopplung der Stickstoffgabe mit signifikant niedrigeren Bestandesdichten und höheren Stängeldurchmessern und Stroherträgen reagiert. Die Erkenntnis, dass die zunehmende Reduktion des Pflanzenbestandes zur Ernte mit steigenden Stickstoffgaben einhergeht, wird von verschiedenen Autoren beschrieben (IVÁNYI & IZSÁKI 2000, RÖHRICHT & SCHULZ 2000, MASTEL et al. 1998). Allerdings lassen sich die Ergebnisse von HÖPPNER & MENGE-HARTMANN (2002) nicht vollständig in diesen Trend einordnen; mit Anstieg der Stickstoffgabe nahmen die Bestandesdichten zur Ernte zu, was aber nicht zu höheren Erträgen führte. Darüber hinaus wird mit der Steigerung der Stickstoffdüngung nach Untersuchungen von HÖPPNER & MENGE-HARTMANN (2002) und RÖHRICHT & SCHULZ (2000) auch eine Zunahme der Wuchshöhe und des Stängeldurchmessers verzeichnet. MOKOENA et al. (2011) bestätigen dieses Ergebnis für stei-

gende Stickstoffgaben (0, 50 und 100 kg/ha), nennen jedoch als Voraussetzung eine ausreichende Wasserversorgung des Hanfbestandes.

Die Betrachtung des Leistungsvermögens der Einzelpflanze im Bestand, unter Zuhilfenahme der berechneten Größe, der Ertragskomponente „Ertrag je Pflanze“, führt zu einem differenzierteren Ergebnis für die nicht signifikanten Stickstoffvarianten (0, 40 und 60 kg/ha). Die errechnete Rangfolge (Tabelle 5-5, S. 54) entspricht den Erwartungen, dass mit einem erhöhten Stickstoffangebot eine höhere Ertragsleistung einhergeht. HÖPPNER & MENGE-HARTMANN (2002) und RÖHRICHT & SCHULZ (2000) beschreiben im Hinblick auf die Erhöhung des Stickstoffangebotes nicht nur höhere Stroherträge sondern auch einen abnehmenden Fasergehalt, bei gleichzeitig leicht steigenden Fasererträgen.

Um den Einfluss der Umwelt auf die Beziehung zwischen Stickstoffangebot und Ertragsleistung darzustellen, werden im Folgenden die Ergebnisse für die einzelnen Versuchsjahre diskutiert. Die Niederschlagsmengen innerhalb der Vegetationsperioden waren in den Versuchsjahren vergleichbar und lagen 2002 bei 150,3 l/m<sup>2</sup> und 2003 bei 172,1 l/m<sup>2</sup>. Entsprechendes gilt analog für den Temperaturverlauf zwischen den Versuchsjahren. Die Wirkung der Stickstoffgabe auf die ertragsbestimmenden Parameter in Abhängigkeit vom Versuchsjahr ist in Tabelle 5-6 (S. 55) dargestellt. Der Einfluss der Stickstoffgabe lässt sich allerdings nur als Tendenz herausarbeiten. Im Versuchsjahr 2002 konnten keine Unterschiede zwischen der Stickstoffgabe von 40 kg/ha und 60 kg/ha festgestellt werden. Vermutlich reagieren die ertragsbestimmenden Parameter auf einem so gut versorgten Standort nur mit geringer Variabilität auf die sich geringfügig ändernden Bedingungen, wie eine Erhöhung der Stickstoffgabe um 20 kg/ha. VON FRANKEN-WELZ (2003) bestätigt das Potenzial des Standortes Dikopshof, da der Verzicht auf höhere Stickstoffgaben nicht zu Ertragseinbußen führt. Allerdings deuten die vorliegenden Ergebnisse auch darauf hin, dass der Jahreseffekt einen stärkeren Einfluss auf das Größenwachstum zu haben scheint als die Düngung.

### 6.3.2 Umwelten in Ostwestfalen-Lippe

Anders als bei der Standardumwelt Dikopshof kamen auf den Praxisstandorten zwei Stickstoffvarianten (60 und 120 kg/ha) zum Einsatz. Die Ergebnisse dieses Versuches zeigen deutlich, dass eine Erhöhung des Nährstoffangebotes in Form von KAS, hier im Besonderen des Stickstoffs, in keiner der untersuchten Umwelten zu einer Zunahme in den Bestandesdichten zur Ernte führt. Die Wuchshöhe reagierte ungerichtet auf das Mehrangebot an Stickstoff: Keine Veränderung der Wuchshöhe in Delbrück und Haus Düsse, eine Abnahme in Detmold und Versmold und nur in Werther erfolgte die erwartete Zunahme. Demgegenüber verzeichnen MAŁCEVA et al. (2011) einen stimulierenden Effekt der Stickstoffdüngung auf das Wuchsverhalten der Hanfpflanzen, welche unabhängig von der Höhe der Stickstoffgabe eine Größenzunahme von 11 % gegenüber der nicht ge-

düngten Kontrolle aufweisen. Auch in Untersuchungen von SCHÄFER (2003) und HEIER et al. (2000) wurde die Wuchshöhe durch hohe Stickstoffgaben ( $>120$  kg N/ha) signifikant gesteigert. Die Schnellwüchsigkeit der Hanfpflanzen wird von PAHKALA et al. (2008) mit wöchentlichen Zuwächsen von 50 cm, von HÖPPNER & MENGE-HARTMANN (1994) mit 20-40 cm und von RÖHRICHT et al. (1997a) mit über 20 cm pro Woche beschrieben. Auf nährstoffreichen Böden ist die Hanfpflanze mit ihrem ausgeprägten Wurzelsystem offensichtlich in der Lage, den Nährstoffbedarf kurzfristig aus dem Bodenvorrat zu decken (BERENDONK et al. 2007). Dass die pflanzenverfügbaren Nährstoffe (besonders Stickstoff) eine fördernde Wirkung auf die Wuchshöhe haben, bestätigen die Angaben von BÓCSA et al. (2000), die von einer Steigerung der Wuchshöhen auf vergleichbaren Bodentypen um 50-70 % berichten. Inwieweit die signifikante Reduzierung der Wuchshöhe in Versmold auf eine möglicherweise nicht der Versuchsdurchführung entsprechenden Saatstärke und/oder Stickstoffgabe oder auf andere Faktoren zurückzuführen ist, kann aufgrund der vorliegenden Daten nicht abschließend geklärt werden.

Auch die Stängeldurchmesser unterliegen im vorliegenden Versuch keiner messbaren Beeinflussung durch das erhöhte Nährstoffangebot. Dieses widerspricht den Ergebnissen von GRABOWSKA & KOZIARA (2005), MEDIAVILLA et al. (1998) und RÖHRICHT et al. (1997b), wohingegen mit steigender Stickstoffgabe sowohl der Stängeldurchmesser als auch die Wuchshöhe zunimmt. Zudem bleibt diese düngungsabhängige Differenzierung im Wuchsverhalten bis zur Ernte erhalten. Zusammenfassend für den Parameter Stängeldurchmesser stehen die Ergebnisse von AMADUCCI et al. (2002a), wonach der Einfluss einer erhöhten Stickstoffgabe sowohl zu einer Zunahme als auch einer Abnahme des Stängeldurchmessers führen kann. Allerdings weisen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit auf einen wachstumsfördernden Effekt durch ein erhöhtes Stickstoffangebot hin. An vier von fünf Umwelten wurde ein zum Teil deutlich erhöhter Strohertrag von 13 dt/ha bis 51 dt/ha (Abbildung 5-16, S. 82) erzielt. Dieses bestätigen auch die Ergebnisse der Standardumwelt Dikopshof; hier steigt der Strohertrag mit der Erhöhung der Stickstoffgabe von 0 kg/ha auf 120 kg/ha um 16 dt/ha. Einen solchen signifikanten Einfluss der Stickstoffgabe (0 auf 100 kg/ha) konnten auch POIŠA et al. (2010) hinsichtlich einer Erhöhung der Biomasse, des Strohertrages und des Pflanzenwachstums nachweisen, ein Ergebnis, das durch die Versuche von GRABOWSKA & KOZIARA (2005) unterstützt wird. Ebenso zeigen MASTEL et al. (1998) im Rahmen eines dreijährigen Versuches, dass Stickstoff einen bedeutenden Einfluss auf die Ertragsbildung von Faserhanf hat.

Die mehrjährigen Versuche der Thüringer Landesanstalt dokumentieren (VETTER et al. 2002), dass die Stickstoffgaben wesentlich auf die Ertragsleistung von Hanf einwirken. POIŠA et al. (2010) quantifizieren den Anteil dieses Effekts der Stickstoffdüngung (bei einer Steigerung der Düngung von 0 auf 100 kg/ha) auf die frische Biomasse, den Strohertrag und die Pflanzengröße in einer Größenordnung von 30 %. Auch MOKOENA et al. (2011) weisen bei gleichen Stickstoffgaben (von 0 auf 100 kg/ha) einen Anstieg des

Strohertrages von über 50 % nach. Andere Untersuchungen nennen aufgrund von erhöhtem Stickstoffangebot einen Anstieg der Erträge von 20-25 dt/ha (GEISLER 1988), 55-65 dt/ha (SCHÄFER 2003) und sogar bis zu 120 dt/ha (VAN DER WERF 1994). Allerdings verdeutlichen die Ergebnisse von GRABOWSKA & KOZIARA (2005), dass je nach Umwelt schon eine Stickstoffgabe von bis zu 80 kg/ha für diesen Effekt ausreichen kann und eine zusätzliche Erhöhung keinen weiteren positiven Effekt auf die Ertragsleistung hat. Die untypisch, signifikante Abnahme des Strohertrags am Standort Vermold ist dagegen vermutlich auf Fehler bei der Versuchsdurchführung zurückzuführen.

Verschiedene Untersuchungen (AMADUCCI et al. 2002a, IVÁNYI & IZSÁKI 2000, RÖHRICHT & SCHULZ al. 2000, VAN DER WERF et al. 1995a) belegen, dass das Phänomen der Selbstausdünnung eine Abhängigkeit von der Stickstoffgabe aufweist. Dabei wirkt sich das Stickstoffangebot auf die intraspezifische Konkurrenz aus, indem die Variabilität der Wachstumsreaktion (entweder Biomasse-, Höhen- oder Stängeldurchmesserzunahme) zwischen den Pflanzen eines Bestandes vergrößert wird (VAN DER WERF et al. 1995a). Dieses Konkurrenzverhalten der Pflanzen untereinander führt bei steigender Stickstoffgabe zur Reduktion des Bestandes (MENGE-HARTMANN & HÖPPNER 1995). DEMPSEY (1975) zeigt, dass der Hanfbestand auf niedrigere Bestandesdichten, d. h. auf geringere Konkurrenz im Bestand mit kräftigem Wuchsverhalten, d. h. mit Zunahme der Wuchshöhe und des Stängeldurchmessers, reagiert. Für die Bestandesdichten zur Ernte konnten, außer für den Standort Detmold, keine signifikanten Unterschiede zwischen den Stickstoffgaben nachgewiesen werden. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass in den zwei Versuchsjahren die applizierten Stickstoffmengen nicht ausreichten, um eine unterschiedliche Reaktion der Bestände auf das Nährstoffangebot in den untersuchten Umwelten hervorzurufen. Inwieweit die Stickstoffgabe Einfluss auf die Selbstausdünnung nimmt, konnte im Rahmen dieses Versuches somit nicht abschließend geklärt werden.

Die Verdopplung der Stickstoffgabe wirkt sich in der vorliegenden Untersuchung jedoch statistisch nachweisbar auf den erzielten Strohertrag aus. Außer in Vermold reagiert der Hanfbestand mit einer Steigerung des Strohertrags. Dort müsste aufgrund der genannten Unregelmäßigkeiten in der Versuchsdurchführung in einem weiteren Versuch überprüft werden, inwieweit die einjährigen Versuchsdaten am Standort Vermold als repräsentativ angesehen werden können. AMADUCCI et al. (2002a) beschreiben den Einfluss der Stickstoffdüngung (100 auf 160 kg/ha N) mit einer Zunahme der frischen Biomasse als auch des Strohertrags (Trockenmasse) um 25-29%. Darüber hinaus nimmt das Gewicht der einzelnen Hanfpflanzen zu.

Vergleicht man in diesem Zusammenhang den Einfluss der Umwelt in Bezug auf die Stickstoffgabe unter Zuhilfenahme einer berechneten Größe, der Ertragskomponente „Ertrag je Pflanze“, ergibt sich für die niedrige Stickstoffdüngung die nachstehende Rang-

folge der Umwelten: Werther (31,9 g/Pfl), Delbrück, Versmold, Haus Düsse und Detmold (11,6 g/Pfl; Tabelle 5-23, S. 83). Die Betrachtung der hohen Stickstoffdüngung führt zu einer leicht veränderten Rangfolge: Werther (36,5 g/Pfl), Delbrück, Haus Düsse, Versmold und Detmold (14,9 g/Pfl; Tabelle 5-24, S. 83). Obwohl in Delbrück jeweils der niedrigste Strohertrag erzielt wurde, liefern die Einzelpflanzen beachtliche Erträge, die in dieser Betrachtungsweise dazu führen, dass für Delbrück jeweils das zweitbeste Ergebnis errechnet wurde. Der Einfluss der Stickstoffdüngung auf das Leistungspotenzial der Einzelpflanze, entsprechend den Untersuchungen von HÖPPNER & MENGE-HARTMANN (1994), wurde auch von den Ergebnissen der Standardumwelt bestätigt (Tabelle 5-5, S. 54).

Für die Ergebnisse des Fasergehaltes bei erhöhter Stickstoffgabe lässt sich im Rahmen dieses Versuchs kein einheitlicher Trend feststellen. Nur in Haus Düsse liegen signifikant reduzierte Fasergehalte bei erhöhter Stickstoffgabe vor. Für alle anderen Umwelten steigt der Fasergehalt signifikant mit der Stickstoffverfügbarkeit an. Dieses entspricht den Ergebnissen von MOKOENA et al. (2011), wonach der Fasergehalt in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung (von 0 bis 100 kg/ha) bei ausreichender Wasserversorgung zunimmt. Allerdings lässt sich der Fasergehalt in den Untersuchungen von VON FRANKEN-WELZ (2003) nicht durch eine höhere Stickstoffgabe steigern. GRAF et al. (2001) und VAN DER WERF (1994) beschreiben ebenfalls einen negativen Einfluss der Stickstoffdüngung auf den Fasergehalt. Auch die von LÉON & VON FRANKEN-WELZ (2000) dargestellten Ergebnisse zeigen, dass für Lein und Hanf weder durch eine Erhöhung der Bestandesdichte noch der Stickstoffdüngung der Fasergehalt gesteigert werden konnte. Dass die Düngung keinen oder sogar einen negativen Effekt auf den Fasergehalt hat, wird von MAŁCEVA et al. (2011) bestätigt. In den Untersuchungen lag der Fasergehalt der nicht gedüngten Kontrolle um 7,8 % höher als bei allen anderen Düngungsvarianten. Infolgedessen befürworten die Autoren eine Reduzierung der Stickstoffdüngung beim Hanfanbau welcher vorrangig die Produktion von Fasern zum Ziel hat.

Zusammenfassend kann das Verhältnis von Stickstoffdüngung und Umwelt wie folgt beschrieben werden: Die Analyse der einjährigen Untersuchung in OWL von LÉON & VON FRANKEN-WELZ (2003) ergab, dass im Versuchsjahr 2000, trotz der unterschiedlichen Böden auf den Standorten keine signifikanten Ertragsunterschiede ausgemacht werden konnten. Auch die Variation der Stickstoffgaben führte nicht zu signifikant höheren Erträgen. Dieses widerspricht den hier vorliegenden Ergebnissen der geprüften Umwelten in OWL für die Versuchsjahre 2001 und 2002. Es wird deutlich, dass die Ertragsleistung des Hanfanbaus in OWL gewissen Schwankungen unterliegt. Inwieweit einzelne Standortbedingungen wie Wasserverfügbarkeit oder unterschiedliche Stickstoffnachlieferung des Bodens Teile der zuvor beschriebenen Differenzen erklären könnten, kann nur durch weitere Feldversuche herausgearbeitet werden.

### **6.3.3 Stickstoffgehalte in Abhängigkeit von den untersuchten Umwelten**

Die Analyse der Stickstoffgehalte wird sowohl für die Hanfstängel als auch für die Hanfpflanzen (Blätter, Samen und Stängel) diskutiert.

#### **6.3.3.1 Standardumwelt Dikopshof**

Bei der Betrachtung der Stickstoffgehalte der Hanfstängel fällt auf, dass diese für die mittleren Stickstoffstufen (40 und 60 kg/ha) keinen signifikanten Unterschied aufweisen (Tabelle 5-7, S. 57). Bei der Kontrollvariante, d.h. ohne Stickstoffdüngung, liegt der Stickstoffgehalt bei 0,33 % und steigt mit Zunahme der Stickstoffdüngung signifikant auf 0,36 % (60 kg/ha N) und signifikant auf 0,55 % mit der Verdopplung der Stickstoffgabe auf 120 kg/ha. Entsprechendes zeigen auch die auf dem Dikopshof durchgeführten Untersuchungen von VON FRANKEN-WELZ (2003), bei denen der Stickstoffgehalt in den Pflanzen mit der Verdopplung der Stickstoffgabe (70 auf 140 kg/ha) von 0,46 % auf 0,57 % anstieg. Die mittleren Stickstoffgehalte in der Sprossachse gibt SCHÄFER (2003) je nach Standort mit 0,2 % bzw. 0,4 % an. Bei der Betrachtung der Korrelationskoeffizienten (Tabelle 5-8, S. 57) für den Parameter Stickstoffgehalt im Hanfstängel fällt die negative, lockere hoch signifikante Beziehung zur Bestandesdichte zur Ernte auf. Allerdings ist diese Korrelation bei einer Stickstoffgabe von 40 kg/ha nicht gegeben.

Die Stickstoffgehalte in den Hanfpflanzen (Tabelle 5-9, S. 58) entsprechen dem Ergebnis der Stickstoffgehalte der Hanfstängel. Obwohl auch hier statistisch nachweisbare Unterschiede vorliegen, lassen sich aus den Korrelationen (Tabelle 9-6, S. 166) keine weiteren Erkenntnisse ziehen. Allerdings ist die Aussagekraft dieser Werte nach der Ernte vor dem Hintergrund der leichten Auslösbarkeit der Samen und damit möglicher Verluste vor der Ernte kritisch zu hinterfragen. Auch MASTEL et al. (1998) und SCHWEIGER et al. (1996) geben noch für Juni Stickstoffgehalte in den Pflanzen mit bis zu 3 % an, welche dann in beiden Untersuchungen innerhalb von vier Wochen auf knapp 1 % zurückgehen.

Die Ergebnisse der Stickstoffanalyse der Hanfstängel als auch der Hanfpflanzen zeigen jedoch, dass die geringe intraspezifische Konkurrenz in Folge der geringeren Bestandesdichten zur Ernte zu einer verstärkten Stickstoffakkumulation in den Pflanzen führt. Die Analyse über zwei Versuchsjahre verdeutlicht somit eine lineare Beziehung zwischen der optimalen Düngermenge und dem in den Hanfbestand überführten Stickstoffgehalt.

#### **6.3.3.2 Umwelten in Ostwestfalen-Lippe**

Die Variation der Stickstoffdüngung führt an allen fünf Umwelten zu signifikanten Unterschieden der Stickstoffgehalte in den Hanfstängeln (Tabelle 5-25, S. 85). An drei Standorten steigt der Gehalt signifikant mit der Erhöhung der Stickstoffdüngung. In Haus Düsse



und Vermold werden höhere Stickstoffgehalte in den Stängeln bei niedriger Düngersapplikation ermittelt. Es besteht die Möglichkeit, dass das gute Nährstoffnachlieferungsvermögen in Haus Düsse die Differenzen der Stickstoffdüngung kompensiert und so zu diesem Ergebnis führt (SCHEER-TRIEBEL & LÉON 2000). Zudem beziehen sich die Ergebnisse in Vermold auf einen einjährigen Versuch und die bereits geschilderten Probleme mit der Versuchsdurchführung sind in die Interpretation dieser Ergebnisse mit einzubeziehen.

Auch die Korrelationskoeffizienten zeigen kein einheitliches Bild; für die geprüften Umwelten lassen sich für keinen Parameter gerichtete Beziehungen zum Stickstoffgehalt im Stängel bei einer Stickstoffgabe von 60 kg/ha nachweisen (Tabelle 5-27, S. 86). Exemplarisch ist hier die Korrelation zum Strohertrag genannt. Haus Düsse und Werther weisen eine straffe hoch signifikante negative Korrelation auf. Demgegenüber sind in Detmold und Vermold schwach signifikante positive Korrelationen zwischen Strohertrag und Stickstoffgehalt im Hanfstängel nachzuweisen. Ein ähnlich heterogenes Ergebnis zeigen auch die Korrelationskoeffizienten der Stickstoffgehalte im Hanfstängel und die ertragsbestimmenden Parameter bei erhöhter Stickstoffgabe (Tabelle 5-28, S. 87).

Die Ergebnisse für die Stickstoffgehalte der Hanfpflanzen liefern ebenfalls ein sehr heterogenes Bild (Tabelle 5-29, S. 88). Ein Grund hierfür kann nach SCHÄFER (2003) der Jahreseinfluss auf den Stickstoffgehalt der oberirdischen Biomasse sein, welcher auf Witterungsunterschiede zurückgeführt wird. In Detmold und Vermold konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Düngungsvarianten ermittelt werden. In Haus Düsse werden signifikant höhere Stickstoffgehalte in den Hanfpflanzen bei niedriger Stickstoffgabe erzielt, was an dem bereits erwähnten nährstoffreichen Boden liegen könnte. Demgegenüber zeigt die Stickstoffakkumulation der Hanfpflanzen in Werther das erwartete Ergebnis, bei erhöhtem Nährstoffangebot wird in signifikantem Maße mehr Stickstoff in der Hanfpflanze angereichert.

Die Auswertung der Korrelationen der Stickstoffgehalte im Hanfstängel ergibt keine weiteren Hinweise des Einflusses der Stickstoffdüngung (60 kg/ha, Tabelle 5-30, S. 88 und 120 kg/ha, Tabelle 5-31, S. 89) auf die ertragsbestimmenden Parameter. Auch hier konnte für die geprüften Umwelten kein gerichteter Effekt nachgewiesen werden. Nach MAŁCEVA et al. (2011) könnte der indifferente Effekt der Stickstoffdüngung an verschiedenen physiologischen Mechanismen liegen. Ihre Ergebnisse zeigen, dass eine hohe Stickstoffgabe die Photosyntheseleistung der Hanfpflanzen stimuliert, unabhängig von der Stickstoffkonzentration in den Zellen der Blätter. Infolgedessen wird wenig Stickstoff zur Biomasseproduktion verwandt, so dass die Pflanzen trotz gesteigerter Stickstoffdüngung keine Veränderung in der Wuchsleistung aufweisen.

### **Fazit zum Einfluss der Stickstoffdüngung**

Zusammenfassend kann nach den vorliegenden Ergebnissen davon ausgegangen werden, dass Hanf in der Lage ist, Stickstoff deutlich in Ertrag umzusetzen und sich somit durch ein hohes Nährstoffanreicherungsvermögen z. B. im Vergleich zu Lein auszeichnet (SCHEER-TRIEBEL & LÉON 2000). Allerdings ist unter Einbeziehung der Erkenntnisse von VON FRANKEN-WELZ (2003) für den Dikopshof mit einer Stickstoffgabe von 120 kg/ha bereits ein Düngungsoptimum erreicht. Aus diesem Grund kann zugunsten der Verarbeitungsqualität auf eine weitere Erhöhung verzichtet werden, ohne Ertragseinbußen zu befürchten. Daraus ergibt sich, dass für eine optimale Düngergabe im Praxisanbau neben den pflanzenbaulichen Maßnahmen auch die Umwelt und hierbei im Besonderen die Boden- und Witterungsbedingungen berücksichtigt werden sollten. Da im praktischen Anbau im Interesse der Wirtschaftlichkeit, die hohe Erträge fordert, nicht auf eine Stickstoffdüngung verzichtet werden kann, sollte diese optimal an die standortspezifischen Gegebenheiten und den Verwendungszweck angepasst werden.

Die Annahme, dass die Stickstoffdüngung intensiv auf das Pflanzenwachstum der Hanfpflanzen aber weniger auf die Ertragsleistung einwirkt und somit die Festlegung von Düngungsstufen für den Faserhanfanbau keine agronomischen Nachteile bietet, konnte mit den vorliegenden Ergebnissen nicht widerlegt werden. Dieses bestätigen auch die Untersuchungen von ZATTA et al. (2012) und MAŁCEVA et al. (2011). Sie schlussfolgern übereinstimmend, dass 60-80 kg/ha bzw. 60 kg/ha als Stickstoffgabe für einen ertragreichen Hanfanbau ausreichen, sofern die Wasserverfügbarkeit während der Vegetationsperiode gewährleistet ist. Eine solche Beziehung von Stickstoff- und Wasserverfügbarkeit konnten MOKOENA et al. (2011) auch für den Hanfanbau in Südafrika nachweisen. Dieser Zusammenhang ist auch in den Untersuchungen von IVÁNYI (2011) und VERA et al. (2010) zu finden. Dabei reagiert der Biomasseertrag signifikant auf das zusätzliche Stickstoffangebot, sofern die pflanzenverfügbaren Nährstoffe im Boden niedrig sind und eine ausreichende Wasserversorgung gegeben ist. Allerdings ist im Hinblick auf die Stickstoffverfügbarkeit im Hanfanbau festzustellen, dass sich durch Stickstoffdüngung der Ertrag und die Qualität in hohem Maße beeinflussen lassen (SCHÄFER 2003, AMADUCCI et al. 2002a, RÖHRICHT & SCHULZ 2000). Auch ist zu beachten, dass sich die Anforderungen an ein wirtschaftlich erfolgreiches und gleichzeitig umweltgerechtes Stickstoffdüngungsmanagement in Zukunft deutlich verändern werden, u. a. aufgrund gesetzlicher Vorgaben und steigender Energiekosten.

## **6.4 Einfluss der Wechselwirkung von Saatstärke und Stickstoffdüngung**

Vor dem Hintergrund, dass die Ertragsleistung von Hanf eine Abhängigkeit von der Stickstoffgabe, der Saatstärke und der Vegetationsdauer (GRABOWSKA & KOZIARA 2005,

SCHÄFER 2003) zeigt, werden im Folgenden die verschiedenen Kombinationen von Saatstärke und Stickstoffangebot und deren Einfluss auf das Ertragspotenzial betrachtet.

#### **6.4.1 Standardumwelt Dikopshof**

Auf dem Dikopshof werden die Kombinationen von vier Stickstoffgaben (0, 40, 60 und 120 kg/ha) und drei Saatstärken (108, 162 und 216 kK/m<sup>2</sup>) miteinander verglichen.

Für den Strohertrag wird durch Steigerung der Stickstoffgabe (0 auf 120 kg/ha) im Mittel ein Anstieg des Ertrages um 11 % erzielt, unabhängig von der Saatstärke (Tabelle 5-10, S. 59). Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen AUGUSTINOVIĆ et al. (2012a); eine Kombination von Saatstärken (100 und 200 kK/m<sup>2</sup>) und Stickstoffgaben (0, 60 und 120 kg/ha) führte zu Steigungen im Strohertrag. Erst bei Stickstoffgaben von 180 kg/ha konnte – unabhängig von der Saatstärke (100, 200 und 300 kK/m<sup>2</sup>) – kein eindeutiger Einfluss auf den Strohertrag mehr nachgewiesen werden. Bei MAŃKOWSKI (2003) hingegen führt die Erhöhung der Saatstärke zu einem Anstieg des Strohertrags. Allerdings wird der höchste Strohertrag bei einer Stickstoffgabe von 80 kg/ha (Saatstärke 120 kg/ha) erzielt, ohne dass der weitere Anstieg der Düngung auf bis zu 160 kg/ha zu einer signifikanten Änderung der Erträge führte. Einen solchen Einfluss der Saatstärke (100, 200 und 300 kK/m<sup>2</sup>) auf den Strohertrag zeigen auch die Ergebnisse von AUGUSTINOVIĆ et al. (2012a) bis zu Stickstoffgaben von 120 kg/ha auf.

In der Arbeit von GRABOWSKA & KOZIARA (2005) werden die Wachstumsparameter statistisch nachweisbar von der Stickstoffdüngung und der Saatstärke auf unterschiedliche Weise beeinflusst. Die Wuchshöhe reagiert in den hier vorliegenden Versuchen differenzierter auf die Kombination der Prüffaktoren. Die Erhöhung der Saatstärke innerhalb einer Stickstoffstufe führt zu einer Abnahme der Wuchshöhe. Demgegenüber steigt die Wuchshöhe innerhalb einer Saatstärke mit Zunahme der Stickstoffgabe an (Tabelle 5-10, S. 59). Anders verhält es sich mit dem Stängeldurchmesser. Dieser unterscheidet sich signifikant zwischen der niedrigen und den beiden anderen Saatstärken für die Stickstoffvarianten 0 kg/ha, 40 kg/ha und 120 kg/ha. Nur bei einer Stickstoffgabe von 60 kg/ha konnte zwischen den verschiedenen Saatstärke kein statistisch nachweisbarer Unterschied festgestellt werden (Abbildung 5-8, S. 61).

#### **6.4.2 Umwelten in Ostwestfalen-Lippe**

Um die Wechselwirkung von Saatstärke und Stickstoffgabe zu analysieren, wurden für OWL die zweijährigen Ergebnisse der Standorte Detmold, Haus Düsse und Werther für zwei Saatstärken- (108 und 216 kK/m<sup>2</sup>) und Stickstoffvarianten (60 und 120 kg/ha) verglichen.

Das Ergebnis deutet darauf hin, dass die Umwelt einen größeren Einfluss auf die Ausprägung der Wuchshöhe hat, als die Prüffaktoren Saatstärke und Stickstoffgabe (Tabelle 5-33, S. 90), obgleich die hohe Saatstärke in Kombination mit der hohen Stickstoffgabe zu einer Ertragszunahme (Tabelle 5-32, S. 90) führt. Dieses wird auch durch die zuvor diskutierten Ergebnisse bestätigt (Kapitel 6.1). Wie die Untersuchungen von GRABOWSKA & KOZIARA (2005) für den Einfluss der Saatstärke und die von AMADUCCI et al. (2002a) für den Einfluss der Düngung bestätigen, reagiert die Wuchshöhe weniger auf diese Parameter als z. B. der Stängeldurchmesser. Dass die Erträge auf dem Standort Haus Düsse kontinuierlich auf hohem Niveau liegen, belegen auch die an diesem Standort durchgeführten Sortenversuche der Landwirtschaftskammer Westfalen (ROTTMANN-MEYER 2001). Nur für den Standort Detmold wird bei beiden Saatstärken eine Steigerung des Ertrags bei niedrigerer Stickstoffversorgung erzielt.

### **Fazit zum Einfluss der Wechselwirkung von Saatstärke und Stickstoffdüngung**

Im Rahmen der zweijährigen Versuchsdauer scheint die Düngung einen stärkeren Einfluss auf die Biomasseproduktion zu haben als die Saatstärke. Hierbei ist allerdings die Bodenbeschaffenheit zu berücksichtigen. Dieses entspricht den Ergebnissen von Léon & VON FRANKEN-WELZ (2003) für die untersuchten Standorte in NRW. Andererseits wirkt die Saatstärke differenzierender auf die Parameter Wuchshöhe und Stängeldurchmesser als auf den Strohertrag. Entsprechend führt nach AUGUSTINOVIĆ et al. (2012b) die Kombination von niedriger Saatstärke (100 kK/m<sup>2</sup>) und hoher Stickstoffgabe (180 kg/ha) zu den höchsten Werten für die Wuchshöhe und den Stängeldurchmesser.

Zusammenfassend kann man feststellen, dass es eine Vielzahl von Einflussfaktoren gibt, die auf die Ertragsleistung der Hanfpflanze einwirken; hierbei sind auch Wechselwirkungen einzubeziehen. Wie die zuvor dargestellten Ergebnisse belegen, wirken die agronomischen Maßnahmen unterschiedlich auf die Ertragsleistung ein. Dabei ist es wichtig, alle Parameter (ökonomische, pflanzenphysiologische und rechtliche Aspekte sowie die Witterungsbedingungen) zu berücksichtigen, damit zum Zeitpunkt der Ernte der Bestand die höchsten Biomassezuwächse bereits erzielt hat.

## **6.5 Vergleichende Betrachtungen zum Hanfanbau in Nordrhein-Westfalen**

Die folgende Betrachtung ermöglicht den Vergleich der geprüften Standardumwelt Dikopshof mit den verschiedenen Praxisstandorten in OWL, um die Frage nach dem Stellenwert des Umwelteinflusses, der Saatstärke und der Stickstoffverfügbarkeit zu hinterfragen. Dazu wurden die Ergebnisse des Versuchsjahres 2002 gemeinsam analysiert.

### 6.5.1 Umwelten

Unabhängig von den Prüffaktoren Saatstärke und Stickstoffgabe werden die Umwelten (Standardumwelt Dikopshof, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther) anhand der Ertragsleistung des Hanfanbaus im Versuchsjahr 2002 bewertet. Wie in Tabelle 5-34 (S. 93) dargestellt, kann für die untersuchten Umwelten keine Gruppierung hinsichtlich der Eignung des Standortes zum Hanfanbau vorgenommen werden, auch wenn die Bestandesdichten (BD Ernte) der Standorte in Haus Düsse, Vermold und Dikopshof ähnliche Werte erreichen. Des Weiteren sind statistisch keine Unterschiede des Strohertrages für die Standardumwelt Dikopshof, Detmold und Haus Düsse nachzuweisen, obwohl sich die Witterungsbedingungen zwischen allen untersuchten Umwelten unterscheiden. VON FRANKEN-WELZ (2003) kommt übereinstimmend zu ähnlichen Ergebnissen für vier Standorte in OWL; trotz unterschiedlicher Bodeneigenschaften und Niederschlagsmengen wurden kaum signifikante Unterschiede festgestellt. Zum Vergleich der Umwelten scheinen weitere Versuche notwendig zu sein. Allerdings entspricht das Leistungspotenzial des Hanfanbaus in Werther (signifikante Unterschiede für die Parameter Stängeldurchmesser, Wuchshöhe und Strohertrag) der vorliegenden Untersuchung den Ergebnissen von LÉON & VON FRANKEN-WELZ (2003), was für eine Ertragsstabilität (z. B. für den Strohertrag 1998: 100 dt/ha, 1999: 90 dt/ha, 2002: 149 dt/ha, 2003: 146 dt/ha) an diesem Standort spricht und diesen somit als besonders geeignet für einen ertragreichen Hanfanbau klassifiziert.

### 6.5.2 Saatstärkenversuch

Bei der Betrachtung des Prüffaktors Saatstärke zeigt sich für das Merkmal Bestandesdichte (BD Ernte) ein einheitlicheres Bild als beim Vergleich der Umwelten (Abbildung 5-18, S. 95). Die Bestandesdichten unterscheiden sich zwischen den Saatstärken in der Höhe, jedoch bleibt das Verhältnis zueinander erhalten. In Detmold wird für beide Saatstärken die größte und in Werther die niedrigste Bestandesdichte ermittelt. Zwischen der Standardumwelt Dikopshof und Haus Düsse konnten bei beiden Saatstärken keine signifikanten Unterschiede für die Bestandesdichten nachgewiesen werden. Allerdings wird an beiden Standorten bei niedriger Saatstärke ein höherer Strohertrag erreicht, für welchen zwischen den Umwelten kein Unterschied statistisch nachweisbar ist. Dass die Saatstärke keinen signifikanten Einfluss auf den Stroh- und Fasergehalt hat, stimmt mit den Ergebnissen von VON FRANKEN-WELZ (2003) für vier Standorte in OWL überein. Auch die Untersuchungen von GRABOWSKA & KOZIARA (2005) können keinen signifikanten Effekt der Saatstärke auf den Ertrag nachweisen. In Werther wird unabhängig vom Prüffaktor Saatstärke der signifikant höchste Strohertrag erzielt (Abbildung 5-19, S. 96). Da an diesem Standort auch beim Vergleich der Umwelten der signifikant höchste Strohertrag ermittelt wird, scheinen die Umweltbedingungen hier für den Hanfanbau besonders günstig zu sein. Dieses wird durch die Untersuchungen von LÉON & VON FRANKEN-WELZ

(2003) bestätigt, wonach die Saatstärke keinen großen Einfluss auf die wertbestimmenden Eigenschaften (Strohertrag und Fasergehalt) in Werther hat.

### **6.5.3 Stickstoffdüngungsversuch**

Die Bestandesdichte (BD Ernte) zeigt für beide Faktorstufen (Stickstoffgabe: 60 und 120 kg/ha) ein einheitliches Bild. In Werther werden die signifikant geringsten und in Detmold die signifikant höchsten Bestandesdichten gezählt. Diese Bestandesdichten werden in Werther in die signifikant höchsten Stroherträge überführt. In Versmold wird bei niedriger Düngung mit der höchste, statistisch nachweisbare Strohertrag erreicht. Allerdings liefert Versmold auch den signifikant niedrigsten Strohertrag bei hoher Stickstoffgabe. Für die Umwelten Dikopshof, Detmold und Haus Düsse konnten für das Merkmal Strohertrag bei hoher Stickstoffgabe keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden (Abbildung 5-21, S. 98). Dieses widerspricht den Ergebnissen von anderen Autoren (RÖHRICHT et al. 1997a, GOTTWALD 1995, VAN DER WERF 1994) sowie den von GRABOWSKA & KOZIARA (2005), die einen eindeutigen Effekt der Stickstoffdüngung auf den Ertrag bestätigen. Einen statistischen Nachweis hinsichtlich des Einflusses der Stickstoffdüngung auf den Ertrag hat jedoch der Standortvergleich in OWL von VON FRANKENWELZ (2003) auch nicht erbringen können. Entsprechend dem vorliegenden Ergebnis für den Saatstärkenversuch wird auch bei der Analyse des Ertragspotenzials in Bezug auf die Stickstoffdüngung die Vorzüglichkeit der Umwelt Werther für den Hanfanbau in OWL deutlich.

Die Betrachtung der Stickstoffgehalte in den Hanfstängeln zeigt, dass diese in den Umwelten zu ganz unterschiedlichen Ergebnissen unabhängig von der Stickstoffdüngung führen. Bei niedriger Stickstoffgabe werden in Haus Düsse, Werther und Versmold ähnlich hohe Stickstoffgehalte in den Hanfstängel überführt. Dieses lässt sich bei Verdopplung des Stickstoffangebotes nur für Werther bestätigen. Demgegenüber zeigt der Stickstoffgehalt in den Hanfpflanzen eine deutliche Tendenz auf. In Werther werden für beide Stickstoffgaben die höchsten Stickstoffgehalte in den Hanfpflanzen gemessen, gefolgt von Haus Düsse, was das Nährstoffnachlieferungsvermögen dieser Standorte unterstreicht.

### **Fazit zur vergleichenden Betrachtung der geprüften Umwelten**

Die Annahme, dass der Umwelteinfluss auf die Ertragsbildungsprozesse bedeutender sein kann als der Saatstärken- oder Düngungseffekt, wird durch die vorliegenden Ergebnisse bestätigt. Nach BALTIŃA et al. (2011) beeinflussen die Witterungsbedingungen – im Besonderen trockene und heiße Witterungsphasen – die Wachstumsparameter negativ. Allerdings zeigt Hanf unter solchen Extrembedingungen nicht zwangsläufig Trockenschäden, sondern ist durch sein Wurzelsystem in der Lage diese Dürreperioden zu überdauern

(BERENDONK et al. 2007). Bedeutender für die Entwicklung des Hanfbestandes sind nach BERENDONK et al. (2007) Unterschiede in der Bodenstruktur (z. B. Verdichtungen).

Zusammenfassend lassen sich die Ergebnisse der Umwelten als prozentuale Abnahme oder Zunahme des jeweiligen Parameters bei Steigerung des Stickstoffangebotes von 60 kg/ha auf 120 kg/ha in Bezug zur Saatstärke darstellen (Tabelle 6-1).

**Tabelle 6-1: Einfluss der Erhöhung der Stickstoffdüngung von 60 kg/ha auf 120 kg/ha auf die Bestandesdichte (Pfl/m<sup>2</sup>), die Wuchshöhe (cm) und den Strohertrag (dt/ha) – ausgedrückt in der prozentualen Ab- oder Zunahme für den Parameter bei der Verdoppelung Stickstoffgabe von 60 kg/ha (= 100 %) auf 120 kg/ha (= +/- x %) – für die untersuchten Saatstärken (108 und 216 kK/m<sup>2</sup>) sowie die Mittelwerte über beide Faktorstufen der Saatstärken im Anbaujahr 2002 in NRW. BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte. kK = keimfähige Körner.**

SAATSTÄRKE (kK/m <sup>2</sup> )	PARAMETER	DIKOPSHOF	DETMOLD	HAUS DÜSSE	VERSMOLD	WERTHER
<b>108</b>	BD Ernte [Pfl/m <sup>2</sup> ]	-21 %	+4 %	0 %	+5 %	-14 %
	Wuchs [cm]	+4 %	-7 %	+15 %	-18 %	+5 %
	Stroh [dt/ha]	-9 %	-2 %	+10 %	-18 %	+4 %
<b>216</b>	BD Ernte [Pfl/m <sup>2</sup> ]	-25 %	-25 %	-1 %	-5 %	-1 %
	Wuchs [cm]	+5 %	-4 %	-4 %	-14 %	+11 %
	Stroh [dt/ha]	+11 %	+17 %	+26 %	-30 %	+11 %
<b>Mittelwert</b>	BD Ernte [Pfl/m <sup>2</sup> ]	-47 %	-16 %	0 %	+1 %	-6 %
	Wuchs [cm]	+4 %	-6 %	+5 %	-16 %	+8 %
	Stroh [dt/ha]	+1 %	+9 %	+18 %	-24 %	+8 %

Obwohl einjährige Versuchsergebnisse mit Vorsicht zu interpretieren sind, so sind aus den vorliegenden Ergebnissen für einen ertragreichen Hanfanbau in NRW die Standorte Werther, Haus Düsse und die Standardumwelt Dikopshof aufgrund ihrer gezeigten Eigenschaften hervorzuheben.

Entsprechend schlussfolgert VON FRANKEN-WELZ (2003) dass größere Erträge auf Böden mit hoher Ackerzahl realisiert werden und somit gegenüber Sandstandorten vorzuziehen sind. Darüber hinaus konnte der mit einer geringeren Ackerzahl charakterisierte Standort Detmold sein Potenzial in Abhängigkeit von den agronomischen Maßnahmen in der vorliegenden Arbeit aufzeigen. Für eine optimale Kulturführung ist besonders die Nährstoffversorgung zu gewährleisten, da die Saatstärke durch den Landwirt aufgrund von Empfehlungen der Erstverarbeiter nur in geringerem Maße zu beeinflussen ist. Dabei wird anhand der vorliegenden Ergebnisse aufgezeigt, dass die im Rahmen dieser Versuche verwendeten Stickstoffgaben keine Einschränkung der Ertragsleistung bedeuten (Kapitel 6.3). COSENTINO et al. (2012) bestätigen, dass Hanf unter besonderer Berücksichtigung der agronomischen Maßnahmen und einer standortangepassten Sortenwahl in einem weiten Umweltspektrum angebaut werden kann.

## 6.6 Einfluss der Sortenwahl

Der Einfluss der Sorte auf die Ertragsleistung des Hanfanbaus in NRW wurde auf dem Di-kopshof, welcher für den Saatstärken- und Stickstoffdüngungsversuch als Standardum-welt diente, untersucht. Das Sortenspektrum des Faserhanfs lässt sich in verschiedene Reifegruppen unterteilen (Abbildung 5-24, S. 102). Die Hanfsorten zeigen somit Merk-male, die sich aufgrund des Anbaus in den unterschiedlichsten Klimazonen und als An-passungen an diese Bedingungen entwickelt haben (PAHKALA et al. 2008). Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass je später die Sorten abreifen, d. h. den Zeitpunkt der vollen Blüte erreichen, desto höher ist das Ertragspotenzial der Sorte. Insbesondere die Er-tragsleistung wird stark durch das sortenspezifische Verhalten bestimmt. Das für den Pra-xisanbau in der EU und in Deutschland zugelassene Sortenspektrum war über die Jahre kontinuierlichen Veränderungen ausgesetzt, unter anderem aufgrund der Reduzierung des maximal zulässigen THC-Gehaltes auf  $\leq 0,2\%$ . So sind die heute verfügbaren Faser-hanfsorten aus Züchtungen in Deutschland, Frankreich, Italien, Ungarn und der früheren Sowjetunion Mitte des 20. Jahrhunderts hervorgegangen (MEDIIVILLA et al. 1999).

Die Analyse des geprüften Sortenspektrums wurde mit einer Saatstärke ( $216 \text{ kK/m}^2$ ) und einer Stickstoffgabe ( $120 \text{ kg/ha}$ ) in den Versuchsjahren 2002 und 2003 durchgeführt. Nachfolgend werden diese Ergebnisse diskutiert.

Wie in Abbildung 5-25 (S. 103) zu sehen, unterscheiden sich die Hanfsorten stark in den Ertragsleistungen. Besonders auffällig ist in den durchgeführten Versuchen der geringe Feldaufgang (Tabelle 5-36, S. 106) von  $43,5\%$  (**Epsilon 68**) bis zu  $72,7\%$  (**Uso 31**). Nur **Bialobrzeskie** kann im einjährigen Versuch einen Feldaufgang von  $74,1\%$  aufweisen. Die Differenz zwischen den ausgesäten  $216 \text{ kK/m}^2$  und den im Mittel erreichten  $61,1\%$  aufge-laufener Pflanzen ist erheblich. Das scheint jedoch ein häufiger auftretendes Phänomen im Hanfanbau zu sein, denn auch im Sortenversuch von JANKAUSKIENĖ & GRUZDEVIENĖ (2009b) lag der Feldaufgang von **Bialobrzeskie** bei  $82\%$ , der von **Epsilon 68** und **Uso 31** bei  $72\%$  und der von **Beniko** bei nur  $67\%$ . ALARU et al. (2011) ermitteln für verschiedene Ver-suchsjahre eine Schwankungsbreite im Feldaufgang von  $21\text{-}72\%$  bei nur einer Sorte (**Uso 31**). Dabei wird erst ein Feldaufgang von  $88\%$  als durchschnittlich angesehen (REICHARDT 2004). Allerdings ist bekannt, dass der Feldaufgang eine kritische Größe des Hanfanbaus ist (VETTER et al. 2002), welcher stark von der Qualität des Saatgutes beein-flusst wird. Dabei ist besonders auf eine ausreichende Keimfähigkeit zu achten, welche mit Lagerung schnell abnimmt (BASSETTI et al. 1998). Zusätzlich wird der Feldaufgang stark von den Boden- und Witterungsbedingungen nach der Aussaat bestimmt (VAN DER WERF et al. 1996). Zudem konnten ALARU et al. (2011) nachweisen, dass der Feldaufgang signifikant von der Sorte ( $50\%$ ), der Stickstoffdüngung ( $11\%$ ) und dem Versuchsjahr ( $9\%$ ) abhängig ist. Warum jedoch der Feldaufgang trotz umfangreicher Keimtests und Beachtung der notwendigen Toleranzen für die maschinelle Aussaat in diesem Versuch



massiv hinter den Erwartungen zurückgeblieben ist, kann abschließend nicht geklärt werden.

Die Selbstausdünnung (VAN DER WERF et al. 1995a, VAN DER WERF et al. 1995c), ein für den Hanf typisches Phänomen, ist bei den verschiedenen Sorten unterschiedlich stark ausgeprägt. Die Ausdünnung kann mehr als 50 % betragen (WESTERHUIS et al. 2009b, VON FRANKEN-WELZ 2003, MEDIAVILLA et al. 1998) und somit zu drastischen Ertragseinbußen führen. Es lässt sich jedoch kein eindeutiger Einfluss der Selbstausdünnung 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 den zweithöchsten Strohertrag. Nur für **Uso 31**, einer sehr frühreifen Sorte, ist eine Beziehung zwischen hoher Selbstausdünnungsrate und niedrigem Strohertrag nachweisbar (Tabelle 5-36, S. 106). JANKAUSKIENÉ & GRUZDEVIENÉ (2012) bestätigen die Ergebnisse verschiedener Autoren (SCHÄFER 2003, MASTEL et al. 1998, HÖPPNER 1997), dass die Bestandesreduktion umso höher ist, je dichter der Hanf ausgesät wird. Als Größenordnung für den Effekt der Selbstausdünnung gibt LIEBHARD (1996) eine Reduktion der Pflanzenanzahl von 10 % bei geringer Aussaatmenge (100 kK/m<sup>2</sup>) an, die bis auf 30 % bei höheren Aussaatmengen (300 kK/m<sup>2</sup>) ansteigen kann. Auch die von CAPPELLETTO et al. (2001) durchgeführten Versuche mit acht Hanfsorten bestätigen einen starken Einfluss der Selbstausdünnung; bei einer Saatstärke von 160 kK/m<sup>2</sup> werden im Durchschnitt 67 Pflanzen, d. h. 41,9 %, geerntet. Dieses ausgeprägte intraspezifische Konkurrenzverhalten der Hanfpflanzen basiert auf einer raschen Jugendentwicklung in Kombination mit schnellem Wachstum der Pflanzen und des Wurzelsystems (BÓCSA et al. 2000). In der Folge setzen sich große Pflanzen gegenüber den kleineren, schwächeren Pflanzen durch (VAN DER WERF et al. 1995b), in dem sie Strahlung, Nährstoffe und Wasser optimal ausnutzen. Allerdings führt die Analyse der vorliegenden Ergebnisse für die Pflanzenanzahl im Verlauf der Vegetationsperiode nicht zu diesem Schluss (Abbildung 5-26, S. 104). Eine nachweisbare signifikante Reduzierung der Bestandesdichte wurde bei allen untersuchten Sorten erst zum Ende der Vegetationsperiode sichtbar, wie LÉON & VON FRANKEN-WELZ (2000) bestätigen. Auch MASTEL et al. (1998), HÖPPNER (1997) und VAN DER WERF (1994) berichten von einem Sortenunterschied bei der Reduktion der Pflanzenanzahl. Diese sortenabhängige Variabilität ist von besonderer Bedeutung für die Stroh- bzw. Faserproduktion unter den gegebenen Witterungsbedingungen. Weitere Versuche könnten klären, ob die Selbstausdünnung der Sorten tatsächlich genetisch bestimmt ist, auf einen Umwelteinfluss zurückgeht, oder ob auch die pflanzenbaulichen Maßnahmen dafür verantwortlich sind.

Eine wichtige Größe für die Ertragsleistung der Hanfpflanzen ist die Wuchshöhe. In der vorliegenden Untersuchung erzielt **Epsilon 68** die signifikant größte und **Uso 31** die signifikant niedrigste Wuchshöhe. Für die Sorten **Bialobrzeskie**, **Fedora 17**, **Beniko** und **Futura 75**

werden keine signifikanten Unterschiede für die Wuchshöhe ermittelt. Betrachtet man im Vergleich mit diesem Ergebnis die Sortenversuche der Landwirtschaftskammer (LWK) Hannover (ROTTMANN-MEYER 2001), der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL Dornburg, VETTER et al. 2002), der Landesanstalt für Pflanzenbau (LAP Forchheim, MASTEL et al. 1998) und der Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (LLG Sachsen-Anhalt, REICHARDT 2004) bezogen auf den Parameter Wuchshöhe im Detail (Tabelle 6-2), so ist ein deutlicher Unterschied zwischen den Wuchshöhen der Sorten in den fünf Sortenversuche zu erkennen.

**Tabelle 6-2: Wuchshöhen der verschiedenen Hanfsorten (Dikopshof, LWK Hannover, TLL Dornburg, LAP Forchheim und der LLG Sachsen-Anhalt).** \* Die im Prüfsortiment der LAP Forchheim untersuchten Wuchshöhen beziehen sich auf Sorte Fedora 19 und Futura 77. Diese unterscheiden sich nur durch ein geringfügig späteres Reifeverhalten von den Sorten **Fedora 17** und **Futura 75**.

Umwelt Sorte	Dikopshof (2002-2003)	LWK Hannover (2001)	TLL Dornburg (1998-2000)	LAP Forchheim* (1994-1997)	LLG Sachsen-Anhalt (2004)	Mittelwert
<b>Uso 31</b>	225 cm	251 cm	253 cm	231 cm	223 cm	237 cm
<b>Beniko</b>	240 cm			275 cm	264 cm	260 cm
<b>Bialobrzeskie</b>	237 cm			294 cm	253 cm	261 cm
<b>Fedora 17</b>	234 cm	265 cm	234 cm	249 cm*	285 cm	253 cm
<b>Futura 75</b>	252 cm	289 cm	262 cm	272 cm*	271 cm	269 cm
<b>Epsilon 68</b>	253 cm	283 cm				268 cm

Trotz dieser Unterschiede in den Sortenversuchen sind jedoch sortenspezifische Tendenzen sichtbar. Die frühreife Sorte **Uso 31** weist erwartungsgemäß in vier Versuchen die geringsten Wuchshöhen auf. Dieses Ergebnis stimmt mit den von JANKAUSKIENÉ & GRUZDEVIENÉ (2010, 2009b) in Litauen durchgeführten Versuchen überein. Zudem ist das Größenverhältnis der Sorten **Futura 75** und **Epsilon 68** in den Sortenversuchen ähnlich, was durch den vergleichbaren Mittelwert der Sorten bestätigt wird. Nur die Leistung der Sorte **Fedora 17** bleibt hinter dem ihr zugeschriebenen Potenzial zurück. Allerdings entspricht das Verhältnis der Sorten **Futura 75** zu **Fedora 17** den Ergebnissen von SVENNERSTEDT & SVENSSON (2006), wonach **Futura 75** im dreijährigen Mittel eine signifikant größere Wuchshöhe als **Fedora 17** erzielt. Dieses Verhalten der Sorten hinsichtlich der Wuchshöhe wird auch durch die Untersuchungen von BALTIŅA et al. (2011) bestätigt (**Futura 75**: 330 cm, **Fedora 17**: 300 cm, **Epsilon 68**: 286 cm, **Bialobrzeskie**: 270 cm, **Beniko**: 254 cm und **Uso 31**: 206 cm).

Zusammenfassend ist für diesen Parameter zu schlussfolgern, dass es einen starken sortenspezifischen Einfluss auf dieses Merkmal zu geben scheint, der von der Umwelt wenig beeinflusst wird; eine Ausnahme bildet die intraspezifische Konkurrenz erkennbar an der Ertragsleistung. Dass die intraspezifische Konkurrenz mit größerem Standortangebot geringer ausfällt und die Pflanzen an Wuchshöhe und Stängeldurchmesser zuneh-

men, bestätigen die Untersuchungen von SARSENBAEV et al. (2013) u. a. für die Sorten **Futura 75** und **Fedora 17** unter Wüstenbedingungen in Kasachstan. Darüber hinaus haben DELEURAN & FLENGMARK (2005) einen signifikanten Effekt der Saatstärke auf die Wuchshöhe nachgewiesen, wobei die Wuchshöhe durch Reduktion der Saatstärke (64 auf 8 kg/ha) um 50 cm anstieg. Dieses wird durch den Vergleich der Sorten **Beniko** und **Bialobrzeskie** von JANKAUSKIENĖ & GRUZDEVIENĖ (2009a) und GRABOWSKA & KOZIARA (2005) bestätigt. Auch hier reagierte die Wuchshöhe negativ auf den Anstieg der Saatstärke.

Neben der Bestandesdichte und Wuchshöhe hat der Stängeldurchmesser einen Einfluss auf die Ertragsleistung. Allerdings konnte im vorliegenden Versuch, wie auch in den Untersuchungen von WESTERHUIS et al. (2009c), kein signifikanter Unterschied zwischen den Sorten für den Stängeldurchmesser nachgewiesen werden. Dieses entspricht den Schlussfolgerungen von SIKORA et al. (2011), wonach der Stängeldurchmesser vorrangig durch die Umweltfaktoren beeinflusst wird. Die sortenspezifische Variabilität hat folglich nur einen geringen Einfluss auf die Ausprägung dieses Parameters.

Da das vegetative Wachstum nach HÖPPNER & MENGE-HARTMANN (2002, 1996b), SANKARI & MELA (1998) und VON BUTTLAR et al. (1997) mit dem Einsetzen der Blüte verlangsamt wird, sind die Erträge besonders stark durch das Reifeverhalten der Sorten bestimmt. Auch ZATTA et al. (2012) beschreiben den Zeitpunkt der Blüte als Maß für das Ertragspotenzial, wobei die Blühdauer von der Lufttemperatur und dem Niederschlag beeinflusst wird. Demzufolge sind Sorten umso ertragreicher, je länger die Phase bis zur Blüte andauert. Das bedeutet, dass die Biomassebildung von frühreifen Sorten (z. B. **Uso 31**) aufgrund kürzerer Wachstumsdauer geringer ausfällt als die von spätreifen Sorten (z. B. **Futura 75** und **Epsilon 68**). Auch nach VON FRANKEN-WELZ (2003) besitzen spätreife Sorten ein ausgeprägteres Massenwachstum als frühreife Sorten. Die hier vorliegende Untersuchung zeigt, dass die Pflanzen nach dem Blühbeginn noch bis zur Ernte an Höhe und im Stängeldurchmesser zunehmen (Abbildung 5-28, S. 107). Allerdings ist die Sortenabhängigkeit hierbei nur zwischen den Sorten **Uso 31** (sehr frühreif) und **Epsilon 68** (sehr spätreif) signifikant nachweisbar. Nach Beschreibungen von SCHÄFER (2003) reagiert der Hanfbestand sogar mit einer Verdopplung des Strohertrages vom Blühbeginn bis hin zur vollen Samenreife. Dieses Wuchsverhalten wird mit den Untersuchungen von PAHKALA et al. (2008) bestätigt, wobei Hanf bis zur Abreife (Ende der Blüte) unter optimalen Witterungsbedingungen weiter wächst.

ZATTA et al. (2012) dokumentieren dieses zuvor genannte Wuchsverhalten auch für eine Zunahme im Strohertrag (Blühbeginn bis Ende der Blüte) für **Fedora 17** mit 6,3-12,3 t/ha, für **Futura 75** mit 7,5-12,5 t/ha und für **Epsilon 68** mit 6,3-12,3 t/ha. In Abhängigkeit vom Reifeverhalten bestehen zwischen den geprüften Sorten auch starke Ertragsunterschiede. Die erzielten Stroherträge (Abbildung 5-25, S. 103) der Sorten **Uso 31** und **Bialobrzeskie** zeigen hoch signifikante Unterschiede, obwohl für beide Sorten ein eher frühes Abreife-

verhalten charakteristisch ist. **Uso 31** (165 dt/ha) liefert dabei den geringsten Strohertrag aller untersuchten Sorten. **Bialobrzeskie** hingegen (192 dt/ha) übertrifft im Jahr 2003 **Fedora 17** (184 dt/ha), die bevorzugte Sorte im Praxisanbau in Deutschland und der vorliegenden Arbeit. Die hohen Ertragsleistungen der polnischen Sorten **Beniko** und **Bialobrzeskie** werden von JANKAUSKIENÉ & GRUZDEVIENÉ (2009a) bestätigt. Jedoch weist **Beniko**, unabhängig von der Saatstärke, jeweils höhere Stroherträge als **Bialobrzeskie** auf (COSENTINO et al. 2013, JANKAUSKIENÉ & GRUZDEVIENÉ 2009a, 2009b). Für die Stroherträge der in der vorliegenden Arbeit geprüften Sorten **Fedora 17**, **Epsilon 68**, **Beniko** und **Futura 75** konnten keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen auch PAHKALA et al. (2008), die für die Sorten **Fedora 17**, **Epsilon 68**, **Beniko**, **Futura 75** und **Bialobrzeskie** keine Unterschiede in der Ertragsleistung feststellen konnten.

Im Allgemeinen bewegen sich die Erträge der Sorten bezogen auf die Sorte **Fedora 17** zwischen 75,8 % und 103,2 % (Tabelle 5-38, S. 111). Verglichen mit den Landessortenversuchen der LWK Hannover (ROTTMANN-MEYER 2001) fällt allerdings auf, dass **Fedora 17** dort mit 103 dt/ha nur im unteren Ertragsbereich zu finden ist. Im Gegensatz dazu realisieren die im Reifeverhalten nahe beieinander liegenden Sorten **Epsilon 68** und **Futura 75** mit über 160 dt/ha die höchsten Stroherträge. Die Untersuchungen von BALTIŅA et al. (2011) unterstreichen das Ertragspotenzial von **Epsilon 68** und **Futura 75** anhand der beim Anbau in Lettland erzielten hohen Stroherträge. Das Leistungsvermögen der Sorten **Futura 75** und **Fedora 17** hinsichtlich des Strohertrags entspricht den Ergebnissen von COSENTINO et al. (2013), JANKAUSKIENÉ & GRUZDEVIENÉ (2012) sowie von SVENNERSTEDT & SVENSSON (2006), in denen **Futura 75** signifikant höhere Erträge erzielt als **Fedora 17**. Spätreife Sorten weisen auch in anderen Untersuchungen die höheren Erträge auf (ADAMOVICS & KAKITIS 2013, HÖPPNER & MENGE-HARTMANN 2007, VON FRANKEN-WELZ 2003, HÖPPNER & MENGE-HARTMANN 2002).

Dass **Uso 31** ein niedriges Ertragsniveau hat, wird durch die Ergebnisse von HÖPPNER & MENGE-HARTMANN (2002) und der Landessortenversuche der Landwirtschaftskammer Hannover (ROTTMANN-MEYER 2001) unterstützt. Diesen widersprechen jedoch die Ergebnisse von JANKAUSKIENÉ & GRUZDEVIENÉ (2009b); obwohl **Uso 31** bei einer vier Wochen kürzeren Vegetationsperiode die kleinsten Pflanzen ausbildet, erzielt die Sorte den höchsten Strohertrag (gefolgt von **Epsilon 68**, **Beniko** und **Bialobrzeskie** mit der niedrigsten Ertragsleistung).

Untersuchungen von SCHEER-TRIEBEL & LÉON (2000) und MÜNZER (1999) bestätigen, dass die Differenzen in den Ertragsleistungen verschiedener Sorten größer sein können als die zwischen den geprüften Umwelten. Erhebliche Ertragsunterschiede sowohl zwischen Sorten als auch zwischen Umwelten belegen die Untersuchungen von RÖHRICHT & SCHULZ (2000). GRAF et al. (2001) schlussfolgern, dass der Ertrag in erster Linie von der Umwelt sowie der Jahreswitterung bestimmt wird und erst danach der Einfluss der Sorte

zum Tragen kommt. Eine solche Beziehung beschreiben die Autoren sowohl für Hanf als auch für Lein. Ein signifikanter Effekt der Hanfsorte auf den Ertrag wird auch von ADAMOVIČS & KAKIČIS (2013) sowie von POIŠA et al. (2010) beschrieben. Allerdings trifft dieses auch für das Anbaujahr zu. Demgegenüber haben die Versuche von CAPPELLETTO et al. (2001) mit acht Hanfsorten keine Unterschiede zwischen den Sorten für den Parameter Strohertrag nachweisen können. Dieses widerspricht den hier vorliegenden Ergebnissen als auch denen von POIŠA et al. (2010), dass die Sorte einen signifikanten Einfluss auf die Ertragsleistung hat und 50 % der Variation erklärt. Zusammenfassend belegen diese Ergebnisse die Variationsbreite der Hanfsorten hinsichtlich der Ertragsleistung.

Neben dem Strohertrag ist für den Hanfanbau der Fasergehalt von Bedeutung. Die geprüften Sorten weisen signifikante Unterschiede im Fasergehalt auf. Trotz niedrigstem Strohertrag lieferte **Uso 31** die höchsten Fasergehalte, gefolgt von **Beniko**, dann **Epsilon 68** und **Bialobrzeskie** sowie **Futura 75** und **Fedora 17** mit geringstem Fasergehalt (Tabelle 5-36, S. 106). Bestätigt wird die Leistungsfähigkeit von **Uso 31** in Bezug auf den Fasergehalt durch die Sortenversuche von JANKAUSKIENĖ & GRUZDEVIENĖ (2010, 2009b). Dass die sehr frühreife Sorte **Uso 31** hohe Fasergehalte (34,7 %) bei niedrigen Stroherträgen erzielen kann, zeigen auch die Untersuchungen von BALTIŅA et al. (2011) und HÖPPNER & MENGE-HARTMANN (2007). Zudem wurden bei den Anbauversuchen in Lettland auch Unterschiede im Fasergehalt zwischen den Sorten **Beniko** (39,0 %) und **Bialobrzeskie** (32,1 %) auf der einen Seite und **Epsilon 68** (24,7 %), **Futura 75** (28,9 %) und **Fedora 17** (31,5 %) auf der anderen Seite deutlich. Auf diese Unterschiede im Fasergehalt zwischen den französischen und polnischen Hanfsorten wurde bereits von WESTERHUIS et al. (2009b) und BENNETT et al. (2006) hingewiesen. Sie bestätigen, dass die polnischen Hanfsorten **Beniko** und **Bialobrzeskie** signifikant höhere Fasergehalte und Fasererträge erzielen als die französischen Sorten **Futura 75** und **Fedora 17**. Allerdings liegen die in den zuvor genannten Untersuchungen ermittelten Fasergehalte weit über denen von GRABOWSKA (2007, mündlich Natural Fibre, Poznan) mitgeteilten Werten der polnischen Sorten **Beniko** (28,5 % Fasergehalt, 3,8 t/ha Faserertrag) und **Bialobrzeskie** (26,9 % Fasergehalt, 3,5 t/ha Faserertrag). Jedoch scheinen die Fasergehalte der Sorten eine gewisse Variationsbreite zu haben. Diese in der Literatur beschriebenen Schwankungen werden auch durch die von EL-GHANY (2002) dargestellten Ergebnisse (**Beniko** 31,1 %, **Bialobrzeskie** 23,3 %, sowie den **Fedora 17** und **Futura 75** ähnlichen Sorten **Fedora 19** mit 19,1 % und **Futura 77** mit 16,7 %) für den Fasergehalt belegt. Jedoch konnte DE MEIJER bereits 1995 hohe Fasergehalte für die Sorten **Beniko** (32,7 %) und **Bialobrzeskie** (29,1-29,5 %) nachweisen. In den Sortenversuchen von VETTER et al. (2002) liegen die erzielten Fasergehalte von **Fedora 17** (12,7-22,6 %) und **Futura 75** (15,4-22,6 %) in ähnlicher Größenordnung, unterliegen allerdings erheblichen Schwankungen. Übereinstimmende Fasergehalte für **Fedora 17** (17,8-18,9 %), **Futura 75** (18,5-19,4 %) und **Epsilon 68** (18,9-19,2 %) werden auch von ZATTA et al. (2012) genannt. Dieses Verhältnis der beiden Sorten in Bezug auf den Fasergehalt wird von

WESTERHUIS et al. (2009b) bestätigt. Zudem beschreiben AMADUCCI et al. (2008a) einen beachtlichen sortenspezifischen Einfluss auf die Faserqualität.

Bei der Sortenauswahl sind die möglichen Interaktionen zwischen Sorte und Umwelt zu beachten. Entsprechend beschreiben SIKORA et al. (2011) den vorrangigen Einfluss der sortenspezifischen Variabilität auf die Merkmale Wuchshöhe, Strohertrag, Fasergehalt und Faserertrag. Dieses wird von WESTERHUIS et al. (2009b) für den Fasergehalt bestätigt. Deren Untersuchungen belegen, dass die Umwelt keinen Einfluss auf die Ausbildung des Fasergehalts der Sorten hat und demnach bei der Sortenwahl für den Praxisanbau vernachlässigt werden kann. Allerdings zeigen die Untersuchungen von ZATTA et al. (2012) einen Zusammenhang zwischen der Witterung, welche den Blühbeginn als auch die Blühphase beeinflusst, und den wertbestimmenden Eigenschaften (Strohertrag und Fasergehalt) sowie der Faserqualität der Sorten auf. Zur optimalen Nutzung der Vegetationsperiode schlagen WESTERHUIS et al. (2009b) wie auch schon LISSON & MENDHAM (2000) die Auswahl daran angepasster Sorten vor. Die Auswahl von zu früh reifenden Sorten führt zu vorzeitiger Blüte und in der Folge nachlassender Biomasseentwicklung (WESTERHUIS et al. 2009a, RANALLI 1999, VAN DER WERF et al. 1994). Neben dem Strohertrag sind für die Evaluation und Auswahl der geeigneten Hanfsorten sowohl der Fasergehalt als auch die Faserqualität von Bedeutung. Auch wenn diese Parameter an sich intrinsisch sind, besitzen sie eine Variationsbreite, welche durch die Witterung über die Blühphase (ZATTA et al. 2013, SENGLONG et al. 2009) sowie über die Umwelt und die agronomischen Maßnahmen beeinflusst wird (ZATTA et al. 2013, LISSON & MENDHAM 2000).

Zusammengefasst geht REICHARDT (2004) davon aus, dass für einen rentablen Faserhanfanbau in Deutschland Ernten von mindestens 85 dt/ha Strohertrag und mehr als 25 dt/ha Faserertrag betriebswirtschaftlich notwendig sind. Diese Erträge wurden im vorliegenden Versuch durchgängig realisiert. Dass die Erträge der geprüften Hanfsorten weitaus höher liegen als im Praxisanbau üblich, ist auf den Versuchscharakter des Anbaus zurückzuführen.

### **6.6.1 Stickstoffgehalte in Abhängigkeit von den untersuchten Hanfsorten**

Mit der Analyse des Stickstoffanreicherungsvermögens können Aussagen über die genetischen Eigenschaften der untersuchten Sorten gemacht und Rückschlüsse auf das Ertragspotenzial gezogen werden. Die untersuchten Hanfsorten wurden mit einer Saatstärke (216 kK/m<sup>2</sup>) und einer Stickstoffgabe (120 kg/ha) angebaut. Neben den Standortfaktoren wie Witterung und Bodeneigenschaften ist es für die optimale Ertragsausbeute notwendig, den genauen Nährstoffbedarf der Sorten zu kennen. Zur Bewertung des aufgenommenen Stickstoffs werden sowohl die Stickstoffgehalte der Hanfstängel als auch der Hanfpflanzen (Blätter, Samen und Stängel) diskutiert.

**Epsilon 68** akkumuliert die signifikant höchsten Stickstoffgehalte (0,70 %) in den Hanfstängeln, **Uso 31** die niedrigsten (0,41 %). Für alle anderen untersuchten Sorten konnten keine signifikanten Unterschiede des Stickstoffgehalts in den Stängeln festgestellt werden (Tabelle 5-39, S. 112). Es besteht die Möglichkeit, dass das gute Nährstoffnachlieferungsvermögen des Dikopshofs die Sortenunterschiede kompensiert und so zu diesem Ergebnis führt. Darüber hinaus bestätigen AMADUCCI et al. (2002a), dass es keine signifikante Interaktion zwischen der Stickstoffdüngung und den Hanfsorten gibt. In den Untersuchungen von MASTEL et al. (1998) variieren die Stickstoffgehalte der Stängel je nach Sorte unter vergleichbaren agronomischen Maßnahmen (120 kg/ha N und 250 kK/m<sup>2</sup>): **Bialobrzeskie** 0,50 %, **Beniko** 0,49 % und **Uso 31** 0,37 %. Bei SVENNERSTEDT & SVENSSON (2006) liegt der Stickstoffgehalt im Sortenmittel bei 0,45 %. Und auch MASTEL et al. (1998) geben die mittleren Stickstoffgehalte von über 14 Sorten mit 0,5 % im Stroh an. Verglichen mit den mittleren Stickstoffgehalten in den Hanfstängeln (0,2 bzw. 0,4% je nach Standort) der Untersuchungen von SCHÄFER (2003) liegen die Stickstoffgehalte der Sorten auf dem Dikopshof deutlich über diesem Niveau. Allerdings kann auch SCHÄFER (2003) keine Beeinflussung der Stickstoffakkumulation bedingt durch Sortenunterschiede, wie von MASTEL et al. (1998) beschrieben, feststellen.

Auch bei der Analyse der Stickstoffgehalte in den Hanfpflanzen (Blätter, Samen und Stängel) wurden für **Epsilon 68** die signifikant höchsten Gehalte (1,06 %) ermittelt. Die Stickstoffgehalte der Sorten **Bialobrzeskie** (1,03 %) und **Futura 75** (1,04 %) sind weder von **Epsilon 68** noch von den anderen untersuchten Sorten signifikant zu unterscheiden. Zudem konnten für die Stickstoffakkumulation der Sorten **Uso 31**, **Beniko** und **Fedora 17** (0,93-0,94 %) keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden. Nach MASTEL et al. (1998) variieren die Stickstoffgehalte der Hanfpflanzen (Stängel, Blätter, Körner) entsprechend: **Bialobrzeskie** 2,91 %, **Beniko** 2,84 % und **Uso 31** 2,55 %. Allerdings ist die Aussagekraft von Stickstoffwerten der Hanfpflanzen nach der Ernte vor dem Hintergrund ausfallender Samen kritisch zu hinterfragen. Dieses unterstreichen die Ergebnisse von SCHWEIGER et al. (1996), wo die Stickstoffgehalte im Juni noch bis zu 3 % betragen und im August auf unter 1 % der Trockenmasse gefallen sind. Mit den abgefallenen Blättern und Samen sowie durch Masseverluste bei der Feldröste verbleibt ein guter Teil des Stickstoffs in Form von Biomasse auf dem Acker.

Die vorliegenden Ergebnisse werden durch die Untersuchungen von SCHEER-TRIEBEL & LÉON 2000 bestätigt, wonach Hanf ein hohes Nährstoffanreicherungsvermögen auszeichnet. Zudem werden Sortenunterschiede aufgezeigt, obwohl davon auszugehen ist, dass die Variabilität der Stickstoffgehalte (Pflanze/Stängel) nicht nur auf die genetischen Merkmale der Sorten zurückzuführen ist, sondern auch Umweltfaktoren eine große Rolle spielen. Die Versuche von GRAF et al. (2001) belegen diese Aussage, dass der Ertrag in erster Linie vom Standort und der Jahreswitterung bestimmt wird und erst danach der

Einfluss der Sorte zum Tragen kommt. Ein Ergebnis, das die Autoren sowohl für Hanf als auch für Lein beschreiben.

### Fazit zum Einfluss der Sortenwahl

Die Annahme, dass das Reifeverhalten der Sorten über das Dicken- und Höhenwachstum der Hanfpflanzen einen großen Einfluss auf das Ertragspotenzial hat, konnte mit den vorliegenden Ergebnissen bestätigt werden. Die auf Grundlage dieses Untersuchungsergebnisses mögliche Sortenempfehlung ist eine wichtige ertrags- und qualitätssichernde Maßnahme und somit eine Voraussetzung für den effizienten Hanfanbau. Ein wichtiges Kriterium, das durch die Sortenwahl beeinflusst wird, ist für den verwendungsorientierten Anbau das Ertragspotenzial. Es ist ein Kompromiss zwischen Reifeverhalten und Ertragsleistung zu finden, da beide Merkmale in antagonistischer Beziehung zueinander stehen. Unter Einbeziehung der vorliegenden Anbauversuche als auch der Versuche von LÉON & VON FRANKEN-WELZ (2003) und LÉON & VON FRANKEN-WELZ (2000) sowie weiterer Anbau-erfahrungen (JANKAUSKIENÉ & GRUZDEVINÉ 2012, SVENNERSTEDT & SVENSSON 2006, VON FRANKEN-WELZ 2003, REICHARDT 2004, VETTER et al. 2002, ROTTMANN-MEYER 2001 und MASTEL et al. 1998) können nach dem jetzigen Kenntnisstand folgende Aussagen zur Sortenauswahl für den Hanfanbau in NRW getroffen werden. Für den Faseranbau empfiehlt sich eine Auswahl zwischen den Sorten **Beniko** (frühreifend) und **Bialobrzeskie** (mittel-frühreifend), **Fedora 17** (mittelreifend) und **Epsilon 68** (spätreifend) zu treffen. Obwohl ein Hauptkriterium für diese Auswahl das Ertragspotenzial hinsichtlich des Strohertrags ist, welches mittleren und spätreifenden Sorten den Vorzug gibt (VON FRANKEN-WELZ 2003), konnten auch die Leistungen der Sorten **Beniko** und **Bialobrzeskie** überzeugen. Dabei geht die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (VETTER et al. 2006) bei der Darstellung der Leistungsfähigkeit der Hanfsorten vom erzielten Faserertrag (2003-2006) aus und empfiehlt für die Thüringischen Anbaubedingungen **Beniko**, **Bialobrzeskie** und **Futura 75**.

Zusammengefasst ist festzuhalten, dass für den Hanfanbau vom Erstverarbeiter besonders Sorten mit hohem Stroh- und Fasergehalt sowie einem niedrigen, d. h. aus technischer Sicht optimal verarbeitbarem Stängeldurchmesser erwünscht sind. Wie bereits von BÓCSA et al. (2000) postuliert sollte auch für die in NRW angestrebte Faserproduktion die angebaute Sorte durch einen hohen Strohertrag in Kombination mit einem hohen Fasergehalt sowie niedrigen Stängeldurchmessern charakterisiert sein. Allerdings ist auch eine verwendungsorientierte Auswahl der Hanfsorten für die Ertragskalkulation notwendig. Diese Auswahl erfolgt allerdings in der Regel durch den Erstverarbeiter und nicht durch den Landwirt.



## 7 Zusammenfassung

Die Bedeutung nachwachsender Rohstoffe nimmt vor dem Hintergrund veränderter agrar-ökonomischer Rahmenbedingungen und einer Diskussion um den Klima- und Umweltschutz in der Landwirtschaft zu. Hierbei rücken auch wieder alte Kulturpflanzen wie die Faserpflanze Hanf (*Cannabis sativa* L.) ins Blickfeld der Landwirtschaft. Allerdings ist das Wissen über die Ansprüche und den Anbau dieser einst geschätzten Kulturpflanze weitestgehend verloren gegangen.

Zielsetzung der vorliegenden Arbeit war es, den Einfluss verschiedener agronomischer Maßnahmen (Saatstärke und Stickstoffdüngung), der standortbedingten Umweltvariabilität und der Sortenwahl auf die wertbestimmenden Eigenschaften (Strohertrag und Fasergehalt) von Faserhanf in Nordrhein-Westfalen zu untersuchen.

In zweijährigen Feldversuchen wurde das Leistungspotenzial von Faserhanf auf verschiedenen Standorten (Versuchsstandort Dikopshof in der Köln-Aachener Bucht und fünf Praxisstandorte in Ostwestfalen-Lippe) mit zwei Aussaatstärken (108 und 216 kK/m<sup>2</sup>) und zwei Stickstoffdüngungsstufen (60 und 120 kg/ha), anhand der in Deutschland meistangebauten Hanfsorte **Fedora 17**, untersucht. Ergänzend hierzu wurden am Versuchsstandort die Faktorstufen der Saatstärke (108, 162 und 216 kK/m<sup>2</sup>) und der Stickstoffdüngung (0, 40, 60 und 120 kg/ha) erweitert, um den Einfluss dieser agronomischen Maßnahmen auf die Ertragsleistung genauer zu analysieren. Des Weiteren wurde auf dem Versuchsstandort ein Sortenspektrum (2002: **Epsilon 68**, **Futura 75** und **Uso 31**; 2003: **Beniko**, **Bialobrzeskie**, **Epsilon 68**, **Futura 75** und **Uso 31**) angebaut, um die Leistung von **Fedora 17** einordnen und die Anbauwürdigkeit verschiedener Sorten beurteilen zu können. Der Sortenvergleich wurde mit einer Saatstärke von 216 kK/m<sup>2</sup> und einer Stickstoffgabe von 120 kg/ha durchgeführt.

Bei der **Betrachtung des Umwelteinflusses** unter Berücksichtigung der Ackerzahl und der Witterungsparameter Temperatur und Niederschlag auf die ertragsbestimmenden Parameter von **Fedora 17** konnte nicht nachgewiesen werden, dass dieser Einfluss bedeutender ist als der Einfluss der Saatstärke oder der Düngung. Es wurde allerdings nachgewiesen, dass der Hanfbestand signifikant auf die unterschiedlichen Witterungsbedingungen der Versuchsjahre reagierte. Die Betrachtung des Umwelteinflusses führte zu folgenden Erkenntnissen:

- Der Feldaufgang und die Bestandesdichte zur Ernte wurden im Versuchsjahr 2002, das sich durch eine niederschlagsreiche Vegetationsperiode in Kombination mit geringer Wärmesumme auszeichnete, eher positiv beeinflusst.

- Größere Stängeldurchmesser konnten in Versuchsjahr 2001 mit geringen Niederschlägen, aber hoher Wärmesumme festgestellt werden.
- Es konnte kein nachweisbarer Einfluss der Witterungsbedingungen auf die Wuchshöhe und auf die wertbestimmenden Eigenschaften ermittelt werden.

Da es sich bei dem Einfluss der Witterung auf die ertragsbestimmenden Parameter um eine multikausale Beziehung handelt, konnte auf Grundlage der zweijährigen Versuchsdauer keine statistisch abgesicherte Aussage in Bezug auf den Einfluss der Witterung auf das Ertragsleistungspotenzial abgeleitet werden. Die Ergebnisse lassen schlussfolgern, dass die Anbauwürdigkeit des Hanfanbaus unter den für NRW typischen Standortbedingungen positiv zu bewerten ist.

Ein **Einfluss der Saatstärke** konnte nicht statistisch nachgewiesen werden, da die wertbestimmenden Eigenschaften von vielen Faktoren abhängig sind. Bei der Betrachtung des Einflusses der Saatstärke auf den Hanfbestand zeigten sich folgende Erkenntnisse:

- Bei einer Verdopplung der Saatstärke wurden signifikante Unterschiede in Bezug auf alle untersuchten Parameter – mit Ausnahme des Feldaufgangs – ermittelt.
- Die für den Hanfanbau charakteristische Selbstausdünnung der Bestände fiel mit zunehmender Saatstärke tendenziell höher aus als bei niedrigen Saatstärken.
- Der Stängeldurchmesser wurde durch die Erhöhung der Saatstärke negativ beeinflusst, d. h. im Bestand wurden signifikant dünnere Stängel ausgebildet, was für die Erstverarbeitung jedoch von Vorteil ist. Demgegenüber reagierte die Wuchshöhe kaum auf die Saatstärkenveränderung.
- Die wertbestimmenden Eigenschaften wurden bereits durch eine Erhöhung der Saatstärke um 10 kg/ha beeinflusst: Der Strohertrag wies eine signifikante Abnahme auf und der Fasergehalt hat sich erhöht.

Obwohl die Annahme tendenziell – aber nicht statistisch – bestätigt wurde, dass eine deutliche Erhöhung der Saatstärke einen negativen Einfluss auf die Ertragsleistung hat, bestätigen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit ebenso wie die von LÉON & VON FRANKEN-WELZ (2003), dass die Vorgaben des Erstverarbeiters mit einer Saatstärke von 30-40 kg/ha für den Praxisanbau in Nordrhein-Westfalen geeignet sind.

Ein ausgeprägter **Einfluss der Stickstoffgabe** zeigte sich in Bezug auf das Pflanzenwachstum, aber weniger hinsichtlich der Ertragsleistung. Nach den vorliegenden Ergebnissen kann davon ausgegangen werden, dass Hanf ein hohes Nährstoffanreicherungsvermögen aufweist und in der Lage ist, den zugeführten Stickstoff deutlich in Ertrag um-

zusetzen. Die Betrachtung des Einflusses der Stickstoffversorgung auf die Hanfpflanzen führte zu folgenden Erkenntnissen:

- Ab einer Stickstoffdüngung von 60 kg/ha wurde ein signifikanter Anstieg der Selbstaussäuerung in Kombination mit geringeren Bestandesdichten zur Ernte für den Versuchsstandort Dikopshof nachgewiesen. Dieser Effekt wurde durch die Verdopplung der Stickstoffgabe auf 120 kg/ha verstärkt. Für die Hanfbestände der Praxisstandorte konnte dieser Einfluss nicht bestätigt werden.
- Der Hanfbestand reagierte an zwei Standorten mit einer signifikanten Zunahme der Wuchshöhe bei einer Verdopplung der Stickstoffdüngung auf 120 kg/ha. Ein Einfluss der ansteigenden Stickstoffdüngung auf den Stängeldurchmesser konnte nur für den Versuchsstandort Dikopshof (ab einer Stickstoffgabe von 120 kg/ha) nachgewiesen werden.
- Die wertbestimmenden Eigenschaften, d. h. sowohl der Strohertrag als auch der Fasergehalt, wurden erst durch eine Erhöhung der Stickstoffgabe auf 120 kg/ha signifikant beeinflusst, für die Stickstoffstufen 0 kg/ha, 40 kg/ha und 60 kg/ha konnte statistisch kein Effekt nachgewiesen werden.
- Der Stickstoffgehalt im Hanfstängel stieg mit zunehmender Stickstoffdüngung (60 auf 120 kg/ha) signifikant an.

Unter Einbeziehung der Ergebnisse von LEON & VON FRANKEN-WELZ (2003) ist für den Dikopshof mit einer Stickstoffgabe von 120 kg/ha bereits ein Düngungsoptimum erreicht. Damit liegt das Düngungsoptimum niedriger als erwartet, ohne dass Ertragseinbußen zu befürchten sind. Da im praktischen Anbau im Interesse der Wirtschaftlichkeit, die hohe Erträge fordert, nicht auf eine Stickstoffdüngung verzichtet werden kann, sollte diese bestmöglich an den Standort und den Verwendungszweck angepasst werden. Die Annahme, dass die Stickstoffgabe intensiv auf das Pflanzenwachstum, aber weniger auf die wertbestimmenden Eigenschaften einwirkt und somit die Festlegung von Düngungsstufen für den Faserhanfanbau keine agronomischen Nachteile bietet, konnte mit den erzielten Ergebnissen nicht widerlegt werden. Hieraus lässt sich ableiten, dass bei einer Verringerung der kostenintensiven, mineralischen Stickstoffdüngung auf 80-120 kg/ha nur mit geringen Ertragseinbußen zu rechnen ist.

Für die komplexen **Wechselwirkungen der agronomischen Maßnahmen** lieferten die durchgeführten Versuche eine erste Einordnung. Die Erkenntnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Der Bestand reagierte bei gleichbleibender Saatstärke positiv, d. h. mit Zunahme der Wuchshöhe auf einen Anstieg der Stickstoffdüngung. Demgegenüber wurde bei kon-

stanter Stickstoffgabe und zunehmender Saatstärke eine Reduktion der Wuchshöhe ermittelt. Der Stängeldurchmesser zeigte erst bei deutlicher Erhöhung der Stickstoffgabe (0 auf 120 kg/ha) einen signifikanten Zuwachs.

- Mit zunehmendem Stickstoffangebot in Kombination mit Erhöhung der Aussaatstärke wurden die Stroherträge positiv beeinflusst. Je nach Saatstärke und Stickstoffgabe wurden Anstiege des Strohertrages von 8 % bis 13 % gegenüber der nicht gedüngten Variante ermittelt.

Zusammenfassend belegen die durchgeführten Versuche, dass zahlreiche Wechselwirkungen zwischen den agronomischen Maßnahmen pauschale Aussagen zur optimalen Saatstärke und Düngungsstufe erschweren. Trotz der einjährigen Versuchsdauer zeigte die Düngung einen stärkeren Einfluss auf die Biomasseproduktion als die Saatstärke, dies konnte allerdings statistisch nicht abgesichert werden. Vielmehr muss unter Berücksichtigung der Bodenverhältnisse und Witterungsbedingungen eine Anpassung erfolgen. Da die Sorte vom Erstverarbeiter vorgegeben wird und für die Saatstärken und Stickstoffdüngung zumeist Empfehlungen ausgesprochen werden, muss aus Sicht des Landwirtes besonders auf eine ausreichende Nährstoffversorgung geachtet werden.

Der **sortenspezifische Einfluss** auf das Ertragspotenzial und somit auf die wertbestimmenden Eigenschaften ist für den Landwirt beeinflussbar und somit ein wichtiges Kriterium für den Hanfanbau. Die Erkenntnisse des Sortenversuches lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Anhand des Strohertrages wurden die Sorten in drei Gruppen eingeteilt: **Bialobrzeskie** mit überdurchschnittlicher Leistung, **Fedora 17**, **Epsilon 68**, **Beniko** und **Futura 75** ohne signifikante Unterschiede in Bezug auf die Erträge und **Uso 31** mit dem signifikant niedrigstem Ertrag. Diese Gruppierung fand sich analog für den Parameter Selbstaussäuerung wieder.
- Hinsichtlich der Wuchshöhe der Sorten wurde ein ähnliches Wachstumsverhalten festgestellt, jedoch erzielte hier **Epsilon 68** die signifikant größte Höhe. **Uso 31** wies die signifikant niedrigste Wuchshöhe auf und die Sorten **Fedora 17**, **Beniko**, **Bialobrzeskie** und **Futura 75** waren statistisch weder von **Epsilon 68** noch von **Uso 31** zu unterscheiden.
- Der signifikant höchste Fasergehalt wurde von der sehr frühreifenden Sorte **Uso 31** erzielt, gefolgt von **Beniko**; einer Sorte deren Fasergehalt ebenfalls signifikant höher lag als der von **Bialobrzeskie** und **Epsilon 68**, für die statistisch keine Unterscheidung nachweisbar war. Der niedrigste Fasergehalt wurde von **Fedora 17** erzielt.

Die Ergebnisse bestätigen die Annahme, dass das Reifeverhalten über das Dicken- und Höhenwachstum der Hanfpflanzen einen großen Einfluss auf das Ertragspotenzial hat.

Demzufolge ist ein Kompromiss zwischen Reifeverhalten und Ertragsleistung anzustreben, da beide Merkmale in antagonistischer Beziehung zueinander stehen. Nach jetzigem Kenntnisstand, d. h. unter Berücksichtigung der Ergebnisse der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Anbauversuche und der verwendeten Literatur, kann folgende Aussage zur Sortenauswahl für den Hanfanbau gemacht werden: Mit den Sorten **Beniko** (frühe Sorte) und **Bialobrzeskie** (mittelfrühe Sorte), **Fedora 17** (mittlere Sorte) und **Epsilon 68** (späte Sorte) können beim Hanfanbau in Nordrhein-Westfalen hohe Strohertragsleistungen bei mittlerem Fasergehalt erzielt werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Hanf aufgrund des steigenden Bedarfes an nachwachsenden Rohstoffen, seiner vielfältigen Verwendungsmöglichkeiten sowie seines hohen Ertragspotenzials eine vielversprechende Alternative zu anderen Sonderkulturen bietet. Allerdings liegen die Ursachen für den Anbaurückgang – trotz der günstigen Fruchtfolgewirkungen und der arbeitswirtschaftlichen Vorteile – hauptsächlich in den, verglichen mit etablierten Kulturpflanzen, zu niedrigen Erzeugerpreisen.

## 8 Literaturverzeichnis

- ADAMOVICS A. & KAKITIS A.** (2013): Productivity and tensile endurance determination of hemp fiber. *Chemical Engineering Transactions* 35: 805-810.
- ALARU, M., KUKK, L., OLT, J., MENIND, A., LAUK, R., VOLLMER, E. AND ASTOVER, A.** (2011): Lignin content and briquette quality of different fibre hemp plant types and energy sunflower. *Field Crops Research* 124: 332-339.
- ALARU, M., KUKK, L., ASTOVER, A., LAUK, R., SHANSKIY, M. AND LOIT, A.** (2013): An agro-economic analysis of briquette production from fibre hemp and energy sunflower. *Industrial Crops and Products* 51: 186-193.
- AMADUCCI, S., ERRANI, M. AND VENTURI, G.** (2002a): Response of hemp to plant population and nitrogen fertilisation. *Italian Journal of Agronomy* 6(2): 103-111.
- AMADUCCI, S., ERRANI, M. AND VENTURI, G.** (2002b): Plant population effects on fibre hemp morphology and production. *Journal of Industrial Hemp* 7(2): 33-60.
- AMADUCCI, S., ZATTA, A., PELATTI, F. AND VENTURI, G.** (2008a): Influence of agronomic factors on yield and quality of hemp (*Cannabis sativa* L.) fibre and implication for an innovative production system. *Field Crops Research* 107: 161-169.
- AMADUCCI, S., ZATTA, A., RAFFANINI, M. AND VENTURI, G.** (2008b): Characterization of hemp (*Cannabis sativa* L.) roots under different growing conditions. *Plant Soil* 313: 227-235.
- ARLITT, A., BRUNN, L., HOFFMANN, W., HOPFE, W., KIESLING, H., MAYER, H. G. UND RÜTTER, H.** (1969): Produktion von Öl- und Faserpflanzen. *Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften (Hrsg.), Berlin.*
- AUGUSTINOVIĆ, Z., POSPIŠIL, M., BUTORAC, J., ANDREATA-KOREN, M., IVANEK-MARTINČIĆ, M. AND KISELA, A.** (2012a): Stem yield of hemp cultivar Kompolti in relation to plant density and nitrogen fertilization. *Sjemenarstvo* 29(1-2): 53-63.
- AUGUSTINOVIĆ, Z., POSPIŠIL, M., BUTORAC, J., ANDREATA-KOREN, M. IVANEK-MARTINČIĆ, M. AND ŠUMBERA, N.** (2012b): The influence of plant density and nitrogen fertilization on some morphological traits of industrial hemp. *Proceedings of the 47<sup>th</sup> Croatian and 7<sup>th</sup> International Symposium on Agriculture. Opatija. Croatia, 454-458.*
- BALTIŅA, I., ZAMUŠKA, Z., STRAMKALE, V. AND STRAZDS, G.** (2011): Physical properties of Latvian hemp fibres. *Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Scientific and Practical Conference. Volume 1: 237-243.*
- 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 Aspekte und Perspektiven. *FAT-Berichte Nr. 516. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (Hrsg.).*
- BENNETT, S. J., SNELL, R. AND WRIGHT, D.** (2006): Effect of variety, seed rate and time of cutting on fibre yield of dew-retted hemp. *Industrial Crops and Products* 24: 79-86.
- BERENDONK, C., WEHREN, W., BERNTSEN, M., NESWADBA, R. UND REIJNGOUDT, E.** (2007): Hanfanbau auf Haus Riswick. *Erfahrungen aus dem Anbau 2005 und 2006. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. Landwirtschaftszentrum Haus Riswick (Hrsg.).*

- BLACK, C. A. & VESSEL, A. J.** (1945): The response of hemp to fertilizers in Iowa. Soil Science Society of America 9: 178-184.
- BÓCSA, I., KARUS M. UND LOHMEYER, D.** (2000): Der Hanfanbau: Botanik, Sorten, Anbau und Ernte, Märkte und Produktlinien. Landwirtschaftsverlag Münster, 2. Auflage.
- BURCZYK, H., GRABOWSKA, I., STRYBE, M. AND KONCZEWICZ, W.** (2009): Effect of sowing density and date of harvest on yields of industrial hemp. Journal of Natural Fibers 6: 204-218.
- CAPPELLETTO, P., BRIZZI, M., MONGARDINI, F., BARBERI, B., SANNIBALE, M., NENCI, G., POLI, M., CORSI, G., GRASSI, G. AND PASINI, P.** (2001): Italy-grown hemp: yield, composition and cannabinoid content. Industrial Crops and Products 13: 101-113.
- CARUS, M.** (2010): Wachsende Nachfrage nach europäischen Hanffasern: Ein nachhaltiger Rohstoff für bio-basierte Verbundwerkstoffe. European Industrial Hemp Association (Hrsg.).
- CARUS, M., GAHLE, CH., PENDAROVSKI, C., VOGT, D., ORTMANN, S., GROTENHERMEN, F., BREUER, TH. UND SCHMIDT, CH.** (2008): Studie zur Markt- und Konkurrenzsituation bei Naturfasern und Naturfaserwerkstoffen (Deutschland und EU). Gülzower Fachgespräche Band 26. Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.).
- CARUS, M., KARST, S., KAUFFMANN, A., HOBSON, J. AND BERTUCELLI, S.** (2013): The European Hemp Industry: Cultivation, processing and applications for fibres, shivs and seeds. European Industrial Hemp Association (Hrsg.).
- CLARKE, R. C.** (1997): Hanf – Botanik, Anbau, Vermehrung und Züchtung, AT, Aarau.
- COSENTINO, S. L., TESTA, G., SCORDIA, D. AND COPANI, V.** (2012): Sowing time and prediction of flowering of different hemp (*Cannabis sativa* L.) genotypes in southern Europe. Industrial Crops and Products 37: 20-33.
- COSENTINO, S. L., RIGGI, E., TESTA, G., SCORDIA, D. AND COPANI, V.** (2013): Evaluation of European developed fibre hemp genotypes (*Cannabis sativa* L.) in semi-arid Mediterranean environment. Industrial Crops and Products 50: 312-324.
- DAMBROTH, M. & SEEHUBER, R.** (1988): Flachs: Züchtung, Anbau und Verarbeitung. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- DELEURAN, L. C. & FLENGMARK, P. K.** (2005): Yield potential of hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivars in Denmark. Journal of Industrial Hemp 10(2): 19-31.
- DE MEIJER, E. P. M.** (1994): Variation of *Cannabis* with reference to stem quality for paper pulp production. Industrial Crops and Products 3: 201-211.
- DE MEIJER, E. P. M.** (1995): Fibre hemp cultivars: A survey of origin, ancestry, availability and brief agronomic characteristics. Journal of the International Hemp Association 2(2): 66-73.
- DE MEIJER, E. P. M. & KEIZER, L. C. P.** (1996): Patterns of diversity in *Cannabis*. Genetic Resources and Crop Evolution 43: 41-52.
- DEMPSEY, J. M.** (1975): Hemp. In: Fibre crops: 46-88. University of Florida Press. Gainesville, Florida, USA.
- DI BARI, V., CAMPI, P., COLUCCI, R. AND MASTRORILL, M.** (2004): Potential productivity of fibre hemp in southern Europe. Euphytica 140: 25-32.

- DIEPENBROCK, W., FISCHBECK, G., HEYLAND, K.-U. UND KNAUBER, N.** (1999): Spezieller Pflanzenbau. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, UTB für Wissenschaft. 3. Auflage, 297-302.
- DIEPENBROCK, W., ELLMER, F. UND LÉON, J.** (2005): Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, UTB Agrarwissenschaften.
- EL-GHANY, M. E. A.** (2002): Molekulargenetische Diversität einer monözischen und einer diözischen Hanfsorte und Analyse des Fasergehaltes von verschiedenen Hanfformen (*Cannabis sativa* L.). Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- GEISLER, G.** (1988): Pflanzenbau – Biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion. 2. Auflage. Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg.
- GOTTWALD, R., HANFF, H., HONEMEIER, B., KRÜGER, K., PATSCHKE, K., ZIMMERMANN, K.-H. UND STOCK, W.** (1995): Hanf in Brandenburg. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Brandenburg und dem Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung.
- GRABOWSKA L. & KOZIARA W.** (2005): The effect of nitrogen dose, sowing density and time of harvest on development and yields of hemp cultivar Bialobrzeskie. *Journal of Natural Fibres* 2(4): 1-17.
- GRAF, T., VETTER, A. UND RUDEL, H.** (2001): Ertrags- und qualitätsbeeinflussende Faktoren beim Faserpflanzenanbau. 3. Internationales Symposium Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen.
- GRAF, T., REINHOLD, G., BIERTÜPFEL, A. UND ZORN, W.** (2005): Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Faserhanf. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.).
- HALL, J., BHATTARAI, S. P. AND MIDMORE, D. J.** (2013): The effects of different sowing times on maturity rates, biomass and plant growth of industrial fiber hemp. *Journal of Natural Fibers* 10: 40-50.
- HANSEN, H. & SUHR, A.** (1998): Hanf (*Cannabis sativa* L.), Nutzungsform Faserhanf. Schriftenreihe der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe.
- HEGI, G.** (1975): Illustrierte Flora von Mitteleuropa. Band V Teil 1. Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg.
- HEIER, T., SCHÄFER, T., KOYRO, H.-W. AND HONERMEIER, B.** (2000): Influence of irrigation and nitrogen fertilization on growth and fibre characteristics of hemp (*Cannabis sativa* L.). 3<sup>rd</sup> International Crop Science Congress Hamburg, European Society for Agronomy (Hrsg.).
- HERER, J. & BRÖCKERS, M.** (1993): Die Wiedererntedeckung der Nutzpflanze Hanf. 19. Ausgabe. Verlag Zweitausendeins, Frankfurt am Main.
- HESCH, R., MEYER, A., BECKMANN, F. UND HESCH K.** (1996): Hanf – Perspektiven für eine ökologische Zukunft. Eine realistische Betrachtung. Taoasis Verlag, Lemgo.
- HEYLAND, K.-U.** (1991): Integrierte Pflanzenproduktion: System und Organisation. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- HEYLAND K.-U. & KROMER K.-H.** (1995): Methodenbuch Industriefaser Lein; Arbeiten aus dem Institut für Landtechnik der Rheinischen Friedrich-Wilhelms Universität Bonn Heft 18.
- HEYLAND, K.-U., HANUS, H. UND KELLER, E. R.** (2006): Handbuch des Pflanzenbaues. BD 4. Oelfrüchte, Faser- und Arzneipflanzen und Sonderkulturen. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.



- HOFFMANN, W.** (1957): Flachs- und Hanfanbau. Deutscher Bauernverlag, Berlin.
- HONERMEIER, B., SCHÄFER, T., KRÜGER, K. UND BAUMECKER, M.** (2000): Einfluss der Standortbedingungen auf Biomasse- und Fasererträge beim Hanf (*Cannabis sativa*) – Auswertung eines mehrjährigen Ringversuches. UFOP-Schriften „Öl- und Faserpflanzen“ 14: 203-210.
- HÖPPNER, F.** (1997): Einfluss von Saatkichte und Reihenweite auf die Korn- und Ölertragsleistung von Faserhanf (*Cannabis sativa* L.). Tagungsband zum Symposium 2. Biorohstoff Hanf: 220-224. nova-Institut (Hrsg.).
- HÖPPNER, F. & MENGE-HARTMANN, U.** (1994): Anbauversuche zur Stickstoffdüngung und Bestandesdichte von Faserhanf. Landbauforschung Völkenrode 44: 314-324.
- HÖPPNER, F. & MENGE-HARTMANN, U.** (1995): Cultivation experiments with two fibre varieties. Journal of the International Hemp Association 2: 18-22.
- HÖPPNER, F. & MENGE-HARTMANN, U.** (1996a): Hanf – alte Kulturpflanze mit neuen Chancen? Forschungsreport 2: 12-15.
- HÖPPNER, F. & MENGE-HARTMANN, U.** (1996b): Wasserhaushalt von Faserhanf (*Cannabis sativa* L.). Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 9: 55-58.
- 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 2: 6-12.
- HÖPPNER, F. & MENGE-HARTMANN, U.** (2000): Cultivation strategies of hemp cultivars on yield and quality of fibres and oil. 3<sup>rd</sup> International Crop Science Congress, European Society of Agronomy (Hrsg.).
- HÖPPNER, F. & MENGE-HARTMANN, U.** (2002): Anbaustrategien bei Hanf zur Nutzung von Fasern. Bornimer Agrartechnische Berichte: 49-50.
- HÖPPNER, F. & MENGE-HARTMANN, U.** (2007): Yield and quality of fibre and oil of fourteen hemp cultivars in northern Germany at two harvest dates. Landbauforschung Völkenrode 3: 219-232.
- HÜTTL, R. F.** (2001): Rekultivierung im Braunkohletagebau – Fallbeispiel Niederlausitzer Bergbaufolgelandschaften. Akademie-Journal 1, Alpha, Lampertsheim.
- IVÁNYI, I.** (2011): Relationship between leaf nutrient concentration and the yield of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). Research Journal of Agricultural Science 43(3): 70-76.
- IVÁNYI, I. & IZSÁKI, Z.** (2000): Der Einfluss der Nährstoffgaben und Pflanzendichte auf den Faserhanfertrag. Tagungsband zum Symposium 3. Biorohstoff Hanf & andere Faserpflanzen. nova-Institut (Hrsg.).
- JAHN-DEESBACH, W.** (1965): Die Düngung des Hanfes. In: Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung. Axel Springer Verlag Wien, New York.
- JANKAUSKIENĖ, Z. & GRUZDEVĖNĖ, E.** (2009a): Beniko and Bialobrezskie – Industrial hemp varieties in Lithuania. Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Scientific and Practical Conference, Volume 1: 176-182.
- JANKAUSKIENĖ, Z. & GRUZDEVĖNĖ, E.** (2009b): The investigation of industrial hemp acclimatization in Lithuania. Scientific Bulletin of Escorena, Volume 1: 10-13.
- JANKAUSKIENĖ, Z. & GRUZDEVĖNĖ, E.** (2010): Evaluation of *Cannabis sativa* cultivars in Lithuania. Zemdirbyste=Agriculture Volume 97(3): 87-96.

- JANKAUSKIENĖ, Z. & GRUZDEVIENĖ, E.** (2012): Industrial hemp – a promising source for biomass production. Proceedings of the International Scientific Conference on Renewable Energy and Energy Efficiency: 13-18.
- KARUS, M., LOHMEYER, D., GROTENHERMEN, F., PEIFER, R., KAUP, M. UND LESON G.** (1999): Das kleine Hanf-Lexikon. nova-Institut (Hrsg.).
- KARUS, M., KAUP, M. UND LOHMEYER, D.** (2000): Studie zur Markt- und Preissituation bei Naturfasern (Deutschland und EU). Gölzower Fachgespräche. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.).
- KRÜGER, K.** (2000): Mehrjährige Untersuchungen zum Hanfanbau in Brandenburg. Tagungsband zum Symposium 3. Biorohstoff Hanf & andere Faserpflanzen. nova-Institut (Hrsg.).
- KÖCHL, A.** (1994): Möglichkeiten und Grenzen der Kulturpflanzen Hanf (Gesamtdarstellung). Hanf-Workshop Wieselburg, Bundesanstalt für Landtechnik (ed).
- KÖRBER-GROHNE, U.** (1987): Nutzpflanzen in Deutschland – Kulturgeschichte und Biologie. Konrad-Theiss Verlag, Stuttgart.
- LANDGRAF, D., WÖHLER, V., GUNSCHEA, G. UND KLEINKE, M.** (2003): Möglichkeiten des Anbaus alternativer landwirtschaftlicher Kulturen auf den Böden der Lausitzer Bergbaufolgelandschaft. In: Abstract Band „Nachhaltige Entwicklung von Folgelandschaften des Braunkohlebergbaus – Stand und Perspektiven in Wissenschaft und Praxis“ 15.-16.09.2003 in Halle.
- 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, Forschungsbericht Heft 82. Lehr- und Forschungsschwerpunkt „Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft“. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn (Hrsg.).
- LÉON, J. & VON FRANKEN-WELZ, H.** (2003): Faserqualität einheimischer Faserpflanzen (Hanf) – Bewertung von Rohstoff und Endprodukt. Forschungsbericht Heft 112. Lehr- und Forschungsschwerpunkt „Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft“. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn (Hrsg.).
- LÉON, J., SCHULZE LAMMERS, P., HAVERKAMP, M. UND ROLLER, O.** (2004): Faserqualität einheimischer Faserpflanzen, die Bedeutung umweltbedingter Variabilität für die Ertrags- und Qualitätsbildung einheimischer Faserpflanzen, sowie die Methodenentwicklung zur Qualitätsprüfung. Forschungsbericht Heft 120. Lehr- und Forschungsschwerpunkt „Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft“. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn (Hrsg.).
- LIEBHARD, P.** (1996): Ertragsbildung von Hanf (*Cannabis sativa* L.) in Abhängigkeit von Genotyp, Saatzeitpunkt und Saatstärke. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 9: 247-248.
- LINGER, P., MÜSSIG, J., FISCHER, H. AND KOBERT, J.** (2001): Industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) growing on heavy metal contaminated soil: fibre quality and phytoremediation potential. Industrial Crops and Products 16: 33-42.
- 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. Tagungsband zum Symposium 2. Biorohstoff Hanf. nova-Institut (Hrsg.).

- MAŁCEVA, M., VIKMANE, M. AND STRAMKALE, V.** (2011): Changes of photosynthesis-related parameters and productivity of *Cannabis sativa* under different nitrogen supply. *Environmental and Experimental Biology* 9: 61-69.
- MAŃKOWSKI, J.** (2003): The effect of some agronomic factors on the amount and quality of homomorphic fibre. *Fibres & Textiles in Eastern Europe* Vol. 11, 4(43):20-25.
- 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, Forchheim (Hrsg.).
- MCPARTLAND, J. M. & HILLIG, K. W.** (2006). Host-parasite relationships in *Cannabis*. *Journal of Industrial Hemp* 10(2): 85-104.
- MEDIAVILLA, V., BASSETTI, P., KONERMANN, M. UND SCHMIDT-SLEMBROUCK, I.** (1998): Optimierung der Stickstoffdüngung und Saatmenge im Hanfanbau. *Agrarforschung* 5(5): 241-244.
- MEDIAVILLA, V., BASSETTI, P., LEUPIN, M. UND MOSIMANN, E.** (1999): Agronomische Eigenschaften von Hanfsorten. *Agrarforschung* 6(10): 393-396.
- MEDIAVILLA, V., LEUPIN, M. AND KELLER, A.** (2001): Influence of the growth stage of Industrial hemp on the yield formation in relation to certain fibre quality traits. *Industrial Crops and Products* 13: 49-56.
- MENGE-HARTMANN, U. & HÖPPNER F.** (1995): Einfluss variierteter Anbaubedingungen auf die Faserausbildung zweier Faserhanfsorten. *Landbauforschung Völkenrode*, 45. Jahrgang, 4: 168-176.
- MEIJER, W. J. M., VAN DER WERF, H. M. G., MATHEJSSSEN, E. W. J. M. AND 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.
- MOKOENA, M. L., FUNNAH, S. M. AND NGOBENI, N. D.** (2011): Performance of hemp cultivars under different nitrogen levels in eastern cape province of South Africa. *African Crop Science Conference Proceedings* 10: 569-574.
- 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.
- ORDON, F. & FRIEDT, W.** (2000): Erfassung und Nutzung der Biodiversität bei landwirtschaftlichen Kulturpflanzen unter besonderer Berücksichtigung molekularer Markertechniken. *Pflanzenbauwissenschaften* 4(2): 83-90.
- PAHKALA, K., PAHKALA, E. AND SYRJÄLÄ, H.** (2008): Northern limits to fiber hemp production in Europe. *Journal of Industrial Hemp* 13(2): 104-116.
- PITTET, O.** (1994): Hanfanbau und -ernte: Erste Versuchsergebnisse aus der Schweiz. Tagungsband zum Hanf-Workshop vom 7. Dezember 1994, Bundesanstalt für Landtechnik, Wieselburg.
- POIŠA, L., ADAMOVIČS, A., JANKAUSKIENĖ, Z. AND GRUZDEVĖNĖ, E.** (2010): Industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) as a biomass crop. In: Treatment and use of organic residues in agriculture: challenges and opportunities towards sustainable management. Proceedings of the 14<sup>th</sup> Ramiran International Conference of the FAO ESCORENA Network on the Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture. 13-15 September 2010, Lisboa.
- PÖRKSEN, N.** (1991): Ertragsphysiologische Untersuchungen an Öllein (*Linum usitatissimum* L.) unter besonderer Berücksichtigung von Ertragsaufbau und Ertragsstabilität. PhD-Thesis, University of Kiel, Germany (1991).

- PUDE, R.** (2001): Pflanzen für die Industrie – Hanf. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.).
- REICHARDT, I.** (2004): Versuchsbericht: Sortenvergleich und Saatzeiten Hanf. LLG Sachsen-Anhalt.
- RANALLI, P.** (1999): Agronomical and physiological advances in hemp crops. In: Advances in Hemp Research, Ranalli, P. (Hrsg.), Food Products Press, Binghamton.
- RANALLI, P. & VENTURI, G.** (2004): Hemp as a raw material for industrial applications. *Euphytica* 140: 1-6.
- RÖHRICHT, C. & SCHULZ, J.** (2000): Ergebnisse von Untersuchungen zu Anbau, Ernte, Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbsfähigkeit von Flachs und Hanf unter sächsischen Bedingungen. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.).
- RÖHRICHT, C. & SCHULZ, J.** (2003): Hanf-Abschlussbericht: Erprobung vereinfachter Anbau-, Ernte- und Verarbeitungstechnologien von Hanf für technische Einsatzgebiete. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.).
- RÖHRICHT, C., SCHULZ, J. UND NEUBERT, M.** (1997a): Erste Ergebnisse aus den Untersuchungen zum Hanfanbau im Freistaat Sachsen. Infodienst 4/97.
- RÖHRICHT, C., SCHULZ, J., REXROTH, E., GROß-OPHOFF, A., BRIX, B. UND NEUBERT, M.** (1997b): Entwicklung eines wirtschaftlichen und umweltgerechten Anbauverfahrens für Flachs im Freistaat Sachsen. Abschlussbericht. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.).
- ROTTMANN-MEYER, M.-L.** (2001): Hanfsorten zeigen gutes Ertragspotential. LSV Hanf 2001. Landwirtschaftskammer Hannover.
- ROTTMANN-MEYER, M.-L. & FREIMANN G.** (1997): Sieben Sorten in der Prüfung. Landwirtschaftsblatt Weser-Ems Nr. 14.
- RUSSELLE, M. P., WILHELM, W. W., OLSON, R. A. AND POWER, J. F.** (1984): Growth analysis based on degree days. *Crop Science* 24: 28-32.
- SANKARI, H. S. & MELA, T.** (1998): Plant development and stem yield of non-domestic fibre hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivars in long-day growth conditions in Finland. *Journal of Agronomy and Crop Science* 181: 153-159.
- SARSENBAEV, K. N., KOZHAMZHAROVA, L. S. AND BAYTELIEVA, A. M.** (2013): Influence high temperature, drought and long vegetation period on phenology and seed productivity European hemp cultivars in Moinkum Desert. *World Applied Science Journal* 23(5): 638-643.
- SCHÄFER, T.** (2003): Wirkungen von Wachstumsfaktoren und pflanzenbauliche Maßnahmen auf Biomasse- und Faserertrag sowie Faserqualität von Hanf (*Cannabis sativa* L.). Dissertation Justus-Liebig-Universität Gießen, Shaker Verlag Aachen.
- SCHEER-TRIEBEL, M. & LÉON, J.** (2000): Industriefaser – Qualitätsbeschreibung und pflanzenbauliche Beeinflussungsmöglichkeiten bei Faserpflanzen: ein Literaturreview. *Pflanzenbauwissenschaften* 4(1): 26-41.
- SCHELLBERG, J. & HÜGING, H.** (1997): Die Entwicklung der Erträge von Getreide, Hackfrüchten und Klee im Dauerdüngungsversuch Dikopshof von 1906 bis 1996. *Archives of Agronomy and Soil Science* 42(3): 303-318.
- SCHMIDT, U. & VETTER, A.** (1997): Anbautelegramm Hanf – 1997. Thüringische Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena.
- SCHULZ, J.** (1999): Anbau und Verwertung von Hanf (*Cannabis sativa* L.). Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden.

- SCHWEIGER, P., MASTEL, K. UND STOLZENBURG, K.** (1996): Untersuchungen zu pflanzenbaulichen, erntetechnischen und ökonomischen Fragen des Anbaus von Faserhanf. Information für die Pflanzenproduktion Heft 9/1996, Landesanstalt für Pflanzenbau, Forchheim (Hrsg.).
- SENGLOUNG, TH., KAVEETA, L. AND NANAKORN, W.** (2009): Effect of sowing date on growth and development of Thai hemp (*Cannabis sativa* L.). Kasetsart Journal Natural Science 43: 423-431.
- SIKORA, V., BERENJI, J. AND LATKOVIC, D.** (2011): Variability and interrelation of yield components in fiber hemp. Field and Vegetable Crops Research 48: 107-112.
- STATISTISCHES JAHRBUCH DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK** (1974): Statistisches Amt der DDR, Berlin (Hrsg.).
- STATISTISCHES JAHRBUCH FÜR DIE BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND** (1956): Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (Hrsg.).
- STEGER, J.** (2004): Nachhaltige Entwicklung durch nachwachsende Rohstoffe? Beispielhaft betrachtet für ausgewählte Produkte aus Flachs- und Hanffasern. Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- STRASBURGER, E. (Begr.), SITTE, P., ZIEGLER, H., EHRENDORFER, F. UND BRESINSKY, A.** (1991): Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. 33. Auflage Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York.
- STRUIK, P. C., AMADUCCI, S., BULLARD, M. J., STUTTERHEIM, N. C., VENTURI, G. AND CROMACK, H. T. H.** (2000): Agronomy of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.) in Europe. Industrial Crops and Products 11: 107-118.
- SVENNERSTEDT, B. & SVENSSON, G.** (2006): Hemp (*Cannabis sativa* L.) trials in southern Sweden. Journal of Industrial Hemp 11(1): 17-25.
- VAN DER WERF, H. M. G.** (1991): Agronomy and crop physiology of fibre hemp: A literature review. CABO Report 142, CABO-DLO, Wageningen NL.
- VAN DER WERF, H. M. G.** (1994): Crop physiology of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). Dissertation, University Wageningen (NL).
- VAN DER WERF, H. M. G., HAASKEN, H. J. AND WIJLHUIZEN, M.** (1994): The effect of day length on yield and quality of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). European Journal of Agronomy 3(2): 117-123.
- VAN DER WERF, H. M. G., VAN GEEL, W. C. A., VAN GILS L. J. C. AND HAVERKORT, A. J.** (1995a): Nitrogen fertilization and row width affect self-thinning and productivity of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). Field Crops Research 42: 27-37.
- VAN DER WERF, H. M. G., VAN GEEL, W. C. A. AND WIJLHUIZEN, M.** (1995b): Agronomic research on hemp (*Cannabis sativa* L.) in the Netherlands 1987-1993. Journal of the International Hemp Association 2(1): 14-17.
- VAN DER WERF, H. M. G., WIJLHUIZEN, M. AND DE SCHUTTER, J. A. A.** (1995c): Plant density and self-thinning affect yield and quality of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). Field Crops Research 40(3): 153-164.
- VAN DER WERF, H. M. G., MATHIJSEN E. W. J. M. AND HAVERKORT, A. J.** (1996): The potential of hemp (*Cannabis sativa* L.) for sustainable fibre production: a crop physiological appraisal. Annals of Applied Biology 129: 109-123.
- VERA, C. L., MALHI, S. S., PHELPS, S. M., MAY, W. E. AND JOHNSON E. N.** (2010): N, P and S fertilization effects on industrial hemp in Saskatchewan. Canadian Journal of Plant Science 90: 179-184.

- 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.
- VETTER A., GRAF, T., HEYDRICH, R., RUDEL, H., WURL, G. UND BIERTÜMPFEL, 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 (Hrsg.), Erfurt.
- VETTER A., GRAF, T., BIERTÜMPFEL, A., RUDEL, H. UND REINHOLD, G.** (2006): Abschlussbericht – Begleitung der Einführung des Praxisanbaus von Hanf in Thüringen. Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt (Hrsg.), Erfurt.
- VOGL, C.R.** (1997): Praktische Anbauerfahrungen mit Hanf (*Cannabis sativa* L.) in Österreich. Tagungsband zum Symposium 2. Biorohstoff Hanf: 244-253. nova-Institut (Hrsg.).
- VON BUTTLAR, H.-B., HÖPPNER, F., MENGE-HARTMANN, U., SCHEFFER, K. UND MISPELHORN, B.** (1997): Europäische Hanfsorten im Standortvergleich zweier deutscher Anbauregionen. Tagungsband zum Symposium 2. Biorohstoff. 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 hochwertiger Industriefasern. Dissertation Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. Schriftenreihe des Institutes für Pflanzenbau. Shaker Verlag, Aachen.
- WALTER, H. & LIETH, H. H. F.** (1960): Klimadiagramm-Weltatlas. Fischer Verlag, Stuttgart.
- WESTERHUIS, W., AMADUCCI, S., STRUIK, P. C., ZATTA, A., VAN DAM, J. E. G. AND STOMPH, T. J.** (2009a): Sowing density and harvest time affect fibre content in hemp (*Cannabis sativa*) through their effects on stem weight. *Annals of Applied Biology* 155: 225-244.
- WESTERHUIS, W., PAHKALA, K., STRUIK, P. C., VAN DAM, J. E. G. AND STOMPH, T. J.** (2009b): Site does not affect the fibre content ranking order among fibre hemp (*Cannabis sativa* L.) varieties. *Pflanzenbauwissenschaften* 13(2): 60-71.
- WESTERHUIS, W., STRUIK, P. C., VAN DAM, J. E. G. AND STOMPH, T. J.** (2009c): Postponed sowing does not alter the fibre/wood ratio or fibre extractability of fibre hemp (*Cannabis sativa*). *Annals of Applied Biology* 155: 333-348.
- ZATTA, A., MONTI A. AND VENTURI, G.** (2012): Eighty years of studies on industrial hemp in the Po valley (1930-2010). *Journal of Natural Fibers* 9(8): 180-196.

## 9 Anhang

### 9.1 Zugelassene Hanfsorten des gemeinsamen Sortenkatalogs für landwirtschaftliche Pflanzenarten für die Jahre 2001-2003 und 2012

Tabelle 9-1: Zugelassene Hanfsorten für die Jahre 2001-2003 und 2012 sowie nur für die jeweiligen Wirtschaftsjahre zugelassene Faserhanfsorten (modifiziert nach BLE).

2001	2002	2003	2012
			Armanca
			Asso
	Beniko	Beniko	Beniko
			Cannakomp
			Carma
Carmagnola	Carmagnola	Carmagnola	Carmagnola
		Chamaeleon	Chamaeleon
			Codimono
Cs	Cs	Cs	Cs
			Dacia Secuieni
	Delta-Llosa	Delta-Llosa	Delta-Llosa
	Delta-405		Delta-405
			Denise
			Diana
Dioica 88	Dioica 88	Dioica 88	Dioica 88
Epsilon 68	Epsilon 68	Epsilon 68	Epsilon 68
Fedora 17	Fedora 17	Fedora 17	Fedora 17
Fédrina 74	Fédrina 74		
Felina 32	Felina 32	Felina 32	Felina 32
Felina 34 – Félina 34	Felina 34 – Félina 34	Felina 34 – Félina 34	
Ferimon – Férimon	Férimon – Férimon	Ferimon – Férimon	Ferimon
Fibranova	Fibranova	Fibranova	Fibranova
Fibrimon 24	Fibrimon 24	Fibrimon 24	
Fibrimon 56	Fibrimon 56		
			Fibrimor
			Fibrol
			Finola
Futura	Futura		
Futura 75	Futura 75	Futura 75	Futura 75
			Ivory
	Juso 14	Juso 14	
			KC Dora
			Kompolti
			Kompolti hybrid TC
			Lipko
			Lovrin 110
			Marcello
			Markant
			Monoica
		Red petiole	Red petiole

2001	2002	2003	2012
Santhica 23	Santhica 23	Santhica 23	Santhica 23
			Santhica 27
			Santhica 70
			Secuieni Jubileu
			Silesia
			Silvana
			Szarvasi
			Tiborszálási
			Tisza
			Tyga
			Uniko B
Uso 31	Uso 31	Uso 31	Uso 31
			Wielkopolskie
			Wojko
			Zenit
<b>Nur für das entsprechende Wirtschaftsjahr zugelassene Faserhanfsorten:</b>			
Beniko			
Bialobrzeskie	Bialobrzeskie	Bialobrzeskie	Bialobrzeskie
Delta-405	Fasamo	Delta 405	
Delta-Llosa	Fedora 19	Fasamo	
Fasamo	Santhica 27	Fedora 19	
Fedora 19		Fédrina 74	
Juso 14		Fibrimon 56	
Kompolti		Futura	
		Santhica 27	

## 9.2 Ergänzende Informationen zum Stickstoffdüngungsversuch auf dem Dikopshof

**Tabelle 9-2: Korrelationskoeffizienten zwischen verschiedenen ertragsbestimmenden Parametern am Standort Dikopshof ohne Stickstoffgabe (0 kg/ha; Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken).** Die Signifikanzniveaus entsprechen  $\alpha \leq 0,05$  = signifikant (\*),  $\alpha \leq 0,01$  = hoch signifikant (\*\*),  $\alpha \leq 0,001$  = sehr hoch signifikant (\*\*\*). BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, N = Stickstoff.

	Stängeldurchmesser (mm)	Wuchshöhe (cm)	Strohertrag (dt/ha)	Fasergehalt (%)
BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> )	- 0,32985***	- 0,32898***	- 0,30614***	0,07819
Stängeldurchmesser (mm)		0,77603***	0,40737***	0,22269**
Wuchshöhe (cm)			0,46239***	0,16666*
Strohertrag (dt/ha)				- 0,32389***



**Tabelle 9-3: Korrelationskoeffizienten zwischen verschiedenen ertragsbestimmenden Parametern am Standort Dikopshof bei einer Stickstoffgabe von 40 kg/ha (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken).** Die Signifikanzniveaus entsprechen  $\alpha \leq 0,05$  = signifikant (\*),  $\alpha \leq 0,01$  = hoch signifikant (\*\*),  $\alpha \leq 0,001$  = sehr hoch signifikant (\*\*\*). BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, N = Stickstoff.

	Stängeldurchmesser (mm)	Wuchshöhe (cm)	Strohertrag (dt/ha)	Fasergehalt (%)
BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> )	<b>- 0,35678***</b>	<b>- 0,36573***</b>	0,09926	<b>0,42397**</b>
Stängeldurchmesser (mm)		<b>0,73504***</b>	- 0,12376	- 0,09268
Wuchshöhe (cm)			- 0,00641	- 0,13031
Strohertrag (dt/ha)				<b>- 0,84424***</b>

**Tabelle 9-4: Korrelationskoeffizienten zwischen verschiedenen ertragsbestimmenden Parametern am Standort Dikopshof bei einer Stickstoffgabe 60 kg/ha (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken).** Die Signifikanzniveaus entsprechen  $\alpha \leq 0,05$  = signifikant (\*),  $\alpha \leq 0,01$  = hoch signifikant (\*\*),  $\alpha \leq 0,001$  = sehr hoch signifikant (\*\*\*). BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, N = Stickstoff.

	Stängeldurchmesser (mm)	Wuchshöhe (cm)	Strohertrag (dt/ha)	Fasergehalt (%)
BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> )	<b>- 0,23669***</b>	<b>- 0,18887**</b>	0,05932	0,21149
Stängeldurchmesser (mm)		<b>0,72684***</b>	0,05932	- 0,04399
Wuchshöhe (cm)			<b>0,25191***</b>	0,03840
Strohertrag (dt/ha)				<b>0,28555*</b>

**Tabelle 9-5: Korrelationskoeffizienten zwischen verschiedenen ertragsbestimmenden Parametern am Standort Dikopshof bei einer Stickstoffgabe von 120 kg/ha (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken).** Die Signifikanzniveaus entsprechen  $\alpha \leq 0,05$  = signifikant (\*),  $\alpha \leq 0,01$  = hoch signifikant (\*\*),  $\alpha \leq 0,001$  = sehr hoch signifikant (\*\*\*). BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, N = Stickstoff.

	Stängeldurchmesser (mm)	Wuchshöhe (cm)	Strohertrag (dt/ha)	Fasergehalt (%)
BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> )	<b>- 0,46170***</b>	<b>- 0,34676***</b>	<b>0,26376**</b>	- 0,07510
Stängeldurchmesser (mm)		<b>0,85561***</b>	- 0,04388	- 0,12770
Wuchshöhe (cm)			- 0,03620	- 0,12473
Strohertrag (dt/ha)				0,17030

**Tabelle 9-6: Korrelationskoeffizienten zwischen dem Stickstoffgehalt der Hanfpflanze (%) und verschiedenen ertragsbestimmenden Parametern bei steigenden Stickstoffgaben am Standort Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 3 Saatstärken).** Die Signifikanzniveaus entsprechen  $\alpha \leq 0,05$  = signifikant (\*),  $\alpha \leq 0,01$  = hoch signifikant (\*\*),  $\alpha \leq 0,001$  = sehr hoch signifikant (\*\*\*). BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, N = Stickstoff.

		N-Gehalt im Stängel (%)	BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> )	Stängeldurchmesser (mm)	Wuchshöhe (cm)	Strohertrag (dt/ha)
Stickstoffgabe						
0 kg/ha N	N-Gehalt Hanfpflanze (%)	- 0,24281**	0,16479	0,21733**	0,14031	0,37049***
40 kg/ha N		0,37228***	0,06035	0,03373	- 0,05504	- 0,16697
60 kg/ha N		0,15864	0,06994	- 0,08422	0,06445	- 0,22216*
120 kg/ha N		- 0,24998**	- 0,13579	0,10886	0,08432	0,11493

### 9.3 Ergänzende Informationen zum Saatstärkenversuch in Ostwestfalen-Lippe

**VA-Tabelle 37: Ertragsbestimmende Parameter in Abhängigkeit von den Umwelten in OWL (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung (Delbrück einjährig) über 2 Saatstärken, 2 Stickstoffstufen und 5 Standorte.** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr, Ngabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke, BD = Bestandesdichte zur Ernte. Die Daten zum Feldaufgang (%) beziehen sich auf die erste Bonitur (T1) alle anderen Parameter beziehen sich auf die Bonitur zur Ernte (T6). Die Darstellung der im Mittel erreichten ertragsbestimmenden Parameter ist in Tabelle 5-13 zu finden.

Feldaufgang (%) Varianzursache	FG	MQ	F	p-Wert
Standort	4	831.226731	4.61	0.0047
Saat	1	6471.973881	35.90	<.0001
Ngabe	1	44.494925	0.25	0.6227
Jahr	1	4098.142222	22.73	<.0001
Standort*Saat	4	428.200284	2.38	0.0728
Standort*Ngabe	4	101.585788	0.56	0.6908
Standort*Jahr	3	1849.608447	10.26	<.0001
Saat*Ngabe	1	579.238806	3.21	0.0825
Saat*Jahr	1	580.268889	3.22	0.0823
Ngabe*Jahr	1	26.402222	0.15	0.7045
Standort*Saat*Ngabe	4	155.647718	0.86	0.4964
Standort*Saat*Jahr	3	417.629735	2.32	0.0943
Standort*Ngabe*Jahr	3	152.814508	0.85	0.4781
Saat*Ngabe*Jahr	1	11.520000	0.06	0.8021
Standort*Saat*Ngabe*Jahr	3	44.752008	0.25	0.8620
Fehler	32	180.28266		

<b>BD Ernte (Pfl/m<sup>2</sup>)</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
<b>Varianzursache</b>				
Standort	4	2822.82489	14.27	<.0001
Saat	1	11637.58017	58.85	<.0001
Ngabe	1	518.60111	2.62	0.1063
Jahr	1	39361.48148	199.05	<.0001
Standort*Saat	4	4226.12526	21.37	<.0001
Standort*Ngabe	4	270.85573	1.37	0.2442
Standort*Jahr	3	10437.96274	52.78	<.0001
Saat*Ngabe	1	273.69274	1.38	0.2403
Saat*Jahr	1	700.83333	3.54	0.0607
Ngabe*Jahr	1	33.42593	0.17	0.6812
Standort*Saat*Ngabe	4	94.37383	0.48	0.7524
Standort*Saat*Jahr	3	2250.84767	11.38	<.0001
Standort*Ngabe*Jahr	3	764.92219	3.87	0.0097
Saat*Ngabe*Jahr	1	379.25926	1.92	0.1671
Standort*Saat*Ngabe*Jahr	3	524.60074	2.65	0.0487
Fehler	320	197.7484		
<b>Ausdünnung (%)</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
<b>Varianzursache</b>				
Standort	4	882.138660	18.30	<.0001
Saat	1	17.330335	0.36	0.5495
Ngabe	1	304.940038	6.33	0.0128
Jahr	1	1183.176650	24.55	<.0001
Standort*Saat	4	111.543918	2.31	0.0591
Standort*Ngabe	4	2.950903	0.06	0.9930
Standort*Jahr	3	257.266160	5.34	0.0056
Saat*Ngabe	1	73.125886	1.52	0.2196
Saat*Jahr	1	15.488000	0.32	0.5715
Ngabe*Jahr	1	332.928000	6.91	0.0093
Standort*Saat*Ngabe	1	333.230510	6.91	0.0013
Standort*Saat*Jahr	1	455.058000	9.44	0.0024
Standort*Ngabe*Jahr	1	821.762000	17.05	<.0001
Saat*Ngabe*Jahr	1	104.882000	2.18	0.1419
Standort*Saat*Ngabe*Jahr	1	53.792000	1.12	0.2922
Fehler	182	48.19504		
<b>Stängeldurchmesser (mm)</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
<b>Varianzursache</b>				
Standort	4	22.03829191	15.50	<.0001
Saat	1	19.75334321	13.89	0.0003
Ngabe	1	11.46238300	8.06	0.0051
Jahr	1	14.19263457	9.98	0.0019
Standort*Saat	4	1.93007724	1.36	0.2512
Standort*Ngabe	4	2.19146389	1.54	0.1929
Standort*Jahr	3	11.80990935	8.30	<.0001
Saat*Ngabe	1	0.64113778	0.45	0.5029
Saat*Jahr	1	0.57873112	0.41	0.5244
Ngabe*Jahr	1	4.68630422	3.30	0.0714
Standort*Saat*Ngabe	4	1.48658188	1.05	0.3857
Standort*Saat*Jahr	3	1.69269610	1.19	0.3153
Standort*Ngabe*Jahr	3	3.35208739	2.36	0.0738
Saat*Ngabe*Jahr	1	2.66400698	1.87	0.1730
Standort*Saat*Ngabe*Jahr	3	1.19471850	0.84	0.4738
Fehler	160	1.4221781		

<b>Wuchshöhe (cm)</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
<b>Varianzursache</b>				
Standort	4	18099.92929	27.33	<b>&lt;.0001</b>
Saat	1	4002.16673	6.04	0.0150
Ngabe	1	4588.53194	6.93	0.0093
Jahr	1	1545.62155	2.33	0.1286
Standort*Saat	4	827.41943	1.25	0.2924
Standort*Ngabe	4	1020.67757	1.54	0.1929
Standort*Jahr	3	7086.32749	10.70	<b>&lt;.0001</b>
Saat*Ngabe	1	62.94934	0.10	0.7583
Saat*Jahr	1	421.20776	0.64	0.4264
Ngabe*Jahr	1	3037.18017	4.59	0.0338
Standort*Saat*Ngabe	4	1320.29061	1.99	0.0981
Standort*Saat*Jahr	3	421.23860	0.64	0.5929
Standort*Ngabe*Jahr	3	1812.37493	2.74	0.0454
Saat*Ngabe*Jahr	1	38.38017	0.06	0.8101
Standort*Saat*Ngabe*Jahr	3	184.37664	0.28	0.8410
Fehler	160	662.3925		
<b>Strohertrag (dt/ha)</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
<b>Varianzursache</b>				
Standort	4	49022.2688	121.37	<b>&lt;.0001</b>
Saat	1	9272.2222	22.96	<b>&lt;.0001</b>
Ngabe	1	6677.7714	16.53	<b>&lt;.0001</b>
Jahr	1	5059.7937	12.53	0.0005
Standort*Saat	4	9909.9941	24.53	<b>&lt;.0001</b>
Standort*Ngabe	4	15617.0897	38.66	<b>&lt;.0001</b>
Standort*Jahr	2	20389.2605	50.48	<b>&lt;.0001</b>
Saat*Ngabe	1	595.8072	1.48	0.2254
Saat*Jahr	1	35.8811	0.09	0.7659
Ngabe*Jahr	1	322.9298	0.80	0.3719
Standort*Saat*Ngabe	4	4556.2431	11.28	<b>&lt;.0001</b>
Standort*Saat*Jahr	2	2636.5853	6.53	0.0017
Standort*Ngabe*Jahr	2	335.7282	0.83	0.4365
Saat*Ngabe*Jahr	1	4848.9923	12.01	0.0006
Standort*Saat*Ngabe*Jahr	2	4089.5240	10.12	<b>&lt;.0001</b>
Fehler	320	403.9137		

**VA-Tabelle 38: Strohertrag (dt/ha) in Abhängigkeit von der Saatstärke für die einzelnen Praxisstandorte in OWL (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung (Delbrück einjährig) über 2 Saatstärken und 2 Stickstoffstufen).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, Jahr = Versuchsjahr, Ngabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke. Die Ergebnisse der Varianzanalyse gemittelt über alle Standorte in OWL sind in VA-Tabelle 19 (S. 72) wiedergegeben.

<b>Delbrück</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
<b>Strohertrag (dt/ha)</b>				
<b>Varianzursache</b>				
Saat	1	134.560000	0.05	0.8328
Ngabe	1	5778.125000	2.18	0.2139
Saat*Ngabe	1	28.125000	0.01	0.9229
Fehler	4	2650.62500		

<b>Detmold</b> Strohertrag (dt/ha) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Jahr	1	717.038646	1.76	0.1890
Saat	1	1687.846270	4.13	0.0454
Ngabe	1	1306.882697	3.20	0.0775
Saat*Ngabe	1	3462.901449	8.48	0.0047
Saat*Jahr	1	568.490951	1.39	0.2416
Ngabe*Jahr	1	2.128687	0.01	0.9426
Saat*Ngabe*Jahr	1	268.083219	0.66	0.4203
Fehler	80	408.5322		
<b>Haus Düsse</b> Strohertrag (dt/ha) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Jahr	1	28.289993	0.04	0.8435
Saat	1	35.530684	0.05	0.8249
Ngabe	1	4439.259428	6.16	0.0152
Saat*Ngabe	1	2.128687	0.00	0.9568
Saat*Jahr	1	1120.372884	1.55	0.2162
Ngabe*Jahr	1	3.179891	0.00	0.9472
Saat*Ngabe*Jahr	1	750.585709	1.04	0.3107
Fehler	80	721.13860		
<b>Werther</b> Strohertrag (dt/ha) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Jahr	1	260.49668	2.13	0.1487
Saat	1	9664.21162	78.87	<.0001
Ngabe	1	5227.53079	42.66	<.0001
Saat*Ngabe	1	8359.59216	68.23	<.0001
Saat*Jahr	1	12373.66808	100.99	<.0001
Ngabe*Jahr	1	989.07754	8.07	0.0057
Saat*Ngabe*Jahr	1	12009.37134	98.01	<.0001
Fehler	80	122.52699		

## 9.4 Ergänzende Informationen zum Stickstoffdüngungsversuch in Ostwestfalen-Lippe

VA-Tabelle 39: Bestandesdichte (Pfl/m<sup>2</sup>) in Abhängigkeit von der Stickstoffgabe der Praxisstandorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Vermold und Werther (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung (Delbrück einjährig) über 2 Saatstärken und 2 Stickstoffstufen). FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, Jahr = Versuchsjahr, Ngabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke. Die Ergebnisse der Varianzanalyse gemittelt über alle Standorte in OWL sind in VA-Tabelle 22 (S. 79) wiedergegeben.

<b>Delbrück</b> BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> ) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Saat	1	924.5000000	3.86	0.1208
Ngabe	1	264.5000000	1.11	0.3524
Saat*Ngabe	1	50.0000000	0.21	0.6713
Fehler	4	239.250000		

<b>Detmold</b> BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> ) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Jahr	1	64091.02273	458.55	<b>&lt;.0001</b>
Saat	1	10432.84091	74.64	<b>&lt;.0001</b>
Ngabe	1	480.11364	3.44	0.0675
Saat*Ngabe	1	451.02273	3.23	0.0762
Saat*Jahr	1	6600.11364	47.22	<b>&lt;.0001</b>
Ngabe*Jahr	1	1113.75000	7.97	0.0060
Saat*Ngabe*Jahr	1	1775.56818	12.70	0.0006
Fehler	80	139.7688		
<b>Haus Düsse</b> BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> ) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Jahr	1	1861.81818	4.36	0.0400
Saat	1	23629.09091	55.30	<b>&lt;.0001</b>
Ngabe	1	181.81818	0.43	0.5161
Saat*Ngabe	1	4.09091	0.01	0.9223
Saat*Jahr	1	4.09091	0.01	0.9223
Ngabe*Jahr	1	131.36364	0.31	0.5808
Saat*Ngabe*Jahr	1	7.27273	0.02	0.8965
Fehler	80	427.3062		
<b>Versmold</b> BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> ) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Jahr	1	6680.059524	42.22	<b>&lt;.0001</b>
Saat	1	514.821429	3.25	0.0752
Ngabe	1	900.535714	5.69	0.0195
Saat*Ngabe	1	0.535714	0.00	0.9538
Saat*Jahr	1	1251.488095	7.91	0.0063
Ngabe*Jahr	1	990.535714	6.26	0.0145
Saat*Ngabe*Jahr	1	57.202381	0.36	0.5494
Fehler	76	158.22368		
<b>Werther</b> BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> ) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Jahr	1	920.454545	14.93	0.0002
Saat	1	4276.818182	69.38	<b>&lt;.0001</b>
Ngabe	1	1.818182	0.03	0.8641
Saat*Ngabe	1	11.363636	0.18	0.6688
Saat*Jahr	1	801.818182	13.01	0.0005
Ngabe*Jahr	1	76.818182	1.25	0.2676
Saat*Ngabe*Jahr	1	147.272727	2.39	0.1261
Fehler	80	61.64375		

**VA-Tabelle 40: Wuchshöhe (cm) in Abhängigkeit von der Stickstoffgabe der Praxisstandorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Versmold und Werther (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung (Delbrück einjährig) über 2 Saatstärken und 2 Stickstoffstufen).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr, Ngabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke. Die Ergebnisse der Varianzanalyse gemittelt über alle Standorte in OWL sind in VA-Tabelle 23 (S. 80) wiedergegeben.

<b>Delbrück</b> Wuchshöhe (cm) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Saat	1	2016.125000	0.76	0.4324
Ngabe	1	5778.125000	2.18	0.2139
Saat*Ngabe	1	28.125000	0.01	0.9229
Fehler	4	2650.62500		

<b>Detmold</b> Wuchshöhe (cm) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Jahr	1	759.704167	1.75	0.1932
Saat	1	310.537500	0.72	0.4025
Ngabe	1	24.704167	0.06	0.8126
Saat*Ngabe	1	19.837500	0.05	0.8317
Saat*Jahr	1	1246.704167	2.87	0.0978
Ngabe*Jahr	1	656.704167	1.51	0.2257
Saat*Ngabe*Jahr	1	10.004167	0.02	0.8800
Fehler	40	433.70750		
<b>Haus Düsse</b> Wuchshöhe (cm) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Jahr	1	1853.704167	3.62	0.0642
Saat	1	1425.937500	2.79	0.1029
Ngabe	1	3549.704167	6.94	0.0119
Saat*Ngabe	1	3896.204167	7.61	0.0087
Saat*Jahr	1	230.104167	0.45	0.5063
Ngabe*Jahr	1	690.204167	1.35	0.2523
Saat*Ngabe*Jahr	1	16.537500	0.03	0.8582
Fehler	40	511.66750		
<b>Versmold</b> Wuchshöhe (cm) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Jahr	1	18035.20227	49.77	<b>&lt;.0001</b>
Saat	1	446.02045	1.23	0.2746
Ngabe	1	2.18409	0.01	0.9385
Saat*Ngabe	1	29.02045	0.08	0.7788
Saat*Jahr	1	46.47500	0.13	0.7223
Ngabe*Jahr	1	5052.45682	13.94	0.0007
Saat*Ngabe*Jahr	1	273.65682	0.76	0.3906
Fehler	36	362.36944		
<b>Werther</b> Wuchshöhe (cm) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Jahr	1	614.400000	0.55	0.4618
Saat	1	1325.400000	1.19	0.2817
Ngabe	1	693.600000	0.62	0.4345
Saat*Ngabe	1	1411.350000	1.27	0.2668
Saat*Jahr	1	212.816667	0.19	0.6643
Ngabe*Jahr	1	728.016667	0.65	0.4234
Saat*Ngabe*Jahr	1	256.266667	0.23	0.6340
Fehler	40	1113.00000		

**VA-Tabelle 41: Stängeldurchmesser (mm) in Abhängigkeit von der Stickstoffgabe der Praxisstandorte in OWL (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung (Delbrück einjährig) über 2 Saatstärken, 2 Stickstoffstufen und 5 Standorte).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr, Ngabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke.

Mittel der Standorte in OWL Stängeldurchmesser (mm) Varianzursache	FG	MQ	F	p-Wert
Standort	4	22.03829191	15.50	<.0001
Saat	1	19.75334321	13.89	0.0003
Ngabe	1	11.46238300	8.06	0.0051
Jahr	1	14.19263457	9.98	0.0019
Standort*Saat	4	1.93007724	1.36	0.2512
Standort*Ngabe	4	2.19146389	1.54	0.1929
Standort*Jahr	3	11.80990935	8.30	<.0001
Saat*Ngabe	1	0.64113778	0.45	0.5029
Saat*Jahr	1	0.57873112	0.41	0.5244
Ngabe*Jahr	1	4.68630422	3.30	0.0714
Standort*Saat*Ngabe	4	1.48658188	1.05	0.3857
Standort*Saat*Jahr	3	1.69269610	1.19	0.3153
Standort*Ngabe*Jahr	3	3.35208739	2.36	0.0738
Saat*Ngabe*Jahr	1	2.66400698	1.87	0.1730
Standort*Saat*Ngabe*Jahr	3	1.19471850	0.84	0.4738
Fehler	160	1.4221781		

**VA-Tabelle 42: Strohertrag (dt/ha) in Abhängigkeit von der Stickstoffgabe der Praxisstandorte Delbrück, Detmold, Haus Düsse, Versmold und Werther (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung (Delbrück und Versmold einjährig) über 2 Saatstärken und 2 Stickstoffstufen).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr, Ngabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke. Die Ergebnisse der Varianzanalyse gemittelt über alle Standorte in OWL sind in VA-Tabelle 24 (S. 81) wiedergegeben.

Delbrück Strohertrag (dt/ha) Varianzursache	FG	MQ	F	p-Wert
Saat	1	659.133617	5.17	0.0853
Ngabe	1	5369.997796	42.15	0.0029
Saat*Ngabe	1	15.292386	0.12	0.7465
Fehler	4	127.398002		
Detmold Strohertrag (dt/ha) Varianzursache	FG	MQ	F	p-Wert
Jahr	1	32088.64939	78.55	<.0001
Saat	1	14743.15792	36.09	<.0001
Ngabe	1	1306.88270	3.20	0.0775
Saat*Ngabe	1	3462.90145	8.48	0.0047
Saat*Jahr	1	2914.17313	7.13	0.0092
Ngabe*Jahr	1	2.12869	0.01	0.9426
Saat*Ngabe*Jahr	1	268.08322	0.66	0.4203
Fehler	80	408.5322		



<b>Haus Düsse</b> Strohertrag (dt/ha) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Jahr	1	2509.249469	3.48	0.0658
Saat	1	2741.775723	3.80	0.0547
Ngabe	1	4439.259428	6.16	0.0152
Saat*Ngabe	1	2.128687	0.00	0.9568
Saat*Jahr	1	2016.445183	2.80	0.0984
Ngabe*Jahr	1	3.179891	0.00	0.9472
Saat*Ngabe*Jahr	1	750.585709	1.04	0.3107
Fehler	80	721.13860		
<b>Versmold</b> Strohertrag (dt/ha) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Saat	1	9893.79765	26.32	<.0001
Ngabe	1	41963.28886	111.64	<.0001
Saat*Ngabe	1	1804.15460	4.80	0.0315
Fehler	76	375.88139		
<b>Werther</b> Strohertrag (dt/ha) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Jahr	1	11240.41585	91.74	<.0001
Saat	1	3037.97864	24.79	<.0001
Ngabe	1	5227.53079	42.66	<.0001
Saat*Ngabe	1	8359.59216	68.23	<.0001
Saat*Jahr	1	378.43333	3.09	0.0827
Ngabe*Jahr	1	989.07754	8.07	0.0057
Saat*Ngabe*Jahr	1	12009.37134	98.01	<.0001
Fehler	80	122.52699		

## 9.5 Ergänzende Informationen zur vergleichenden Betrachtung der Prüffaktoren Umwelt, Saatstärke und Stickstoffdüngung

**Tabelle 9-7:** Darstellung der Mittelwerte (MEANS über 2 Stickstoffdüngungen) der ertragsbestimmenden Parameter des orthogonalen Kerns für zwei Saatstärken (108 und 216 kK/m<sup>2</sup>) im Versuchsjahr 2002. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das Merkmal innerhalb der jeweiligen Saatstärke. BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, kK = keimfähige Körner, N = Stickstoff.

	DETMOLD		HAUS DÜSSE		WERTHER		DIKOPSHOF	
	108	216	108	216	108	216	108	216
Saatstärke (kK/m <sup>2</sup> )	108	216	108	216	108	216	108	216
Feldaufgang (%)	72a	58b	72a	61b	56a	42c	56a	69a
BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> )	86a	154a	64b	120b	46c	80c	68b	117b
Stängeldurchmesser (mm)	6,72c	5,79c	8,18a	7,09b	10,23a	8,81a	7,28bc	6,43bc
Wuchshöhe (cm)	216b	209b	268a	248b	288a	280a	237b	226c
Strohertrag (dt/ha)	119c	184b	155b	158c	200a	213a	154b	159c
Fasergehalt (%)	33,8b	-	31,5d	38,7b	42,7a	32,2c	33,6c	45,2a
N-Gehalt Hanfstängel (%)	0,54b	0,53c	0,57b	0,58b	0,71a	0,68a	0,55b	0,40d
N-Gehalt Hanfpflanze (%)	0,84c	0,88c	0,91b	0,97b	1,22a	1,23a	0,76d	0,77d

**VA-Tabelle 43: Feldaufgang (%), Stängeldurchmesser (mm), Wuchshöhe (cm), Fasergehalt (%), Stickstoffgehalt (%) im Hanfstängel und in der Hanfpflanze in Abhängigkeit von der Saatstärke im Vergleich der Standorte Detmold, Haus Düsse, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof (Ergebnisse einer einjährigen Feldprüfung).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr, kK = keimfähige Körner, Mittel = Mittelwert, N-Gehalt = Stickstoffgehalt, Saat = Saatstärke.

<b>Saat 108 kK/m<sup>2</sup> Feldaufgang (%) Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Standort	3	2271.472917	44.61	<.0001
Ngabe	1	2138.906250	42.01	<.0001
Standort*Ngabe	3	246.906250	4.85	0.0030
Fehler	152	50.91743		
<b>Saat 216 kK/m<sup>2</sup> Feldaufgang (%) Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Standort	3	5086.51667	67.26	<.0001
Ngabe	1	27.22500	0.36	0.5494
Standort*Ngabe	3	2405.94167	31.81	<.0001
Fehler	152	75.62763		
<b>Saat 108 kK/m<sup>2</sup> Stängeldurchmesser (mm) Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Standort	3	50.9866720	24.72	<.0001
Ngabe	1	1.3636129	0.66	0.4183
Standort*Ngabe	3	5.7734613	2.80	0.0444
Fehler	92	2.0626845		
<b>Saat 216 kK/m<sup>2</sup> Stängeldurchmesser (mm) Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Standort	3	35.8015320	31.63	<.0001
Ngabe	1	6.1568229	5.44	0.0219
Standort*Ngabe	3	0.4733487	0.42	0.7404
Fehler	92	1.1319522		
<b>Saat 108 kK/m<sup>2</sup> Wuchshöhe (cm) Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Standort	3	22248.63333	24.60	<.0001
Ngabe	1	2460.35714	2.72	0.1025
Standort*Ngabe	3	2125.13333	2.35	0.0775
Fehler	92	904.2359		
<b>Saat 216 kK/m<sup>2</sup> Wuchshöhe (cm) Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Standort	3	19895.35333	40.03	<.0001
Ngabe	1	666.51429	1.34	0.2498
Standort*Ngabe	3	1750.02000	3.52	0.0181
Fehler	92	496.9696		
<b>Saat 108 kK/m<sup>2</sup> N-Gehalt Hanfstängel (%) Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Standort	3	0.24327062	31.17	<.0001
Ngabe	1	0.41922562	53.72	<.0001
Standort*Ngabe	3	0.21476229	27.52	<.0001
Fehler	152	0.00780391		

<b>Saat 216 kK/m<sup>2</sup></b> N-Gehalt Hanfstängel (%) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Standort	3	0.52138562	214.63	<.0001
Ngabe	1	0.45050063	185.45	<.0001
Standort*Ngabe	3	0.46698229	192.24	<.0001
Fehler	152	0.00242918		
<b>Saat 108 kK/m<sup>2</sup></b> N-Gehalt Hanfpflanze (%) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Standort	3	1.61636729	405.09	<.0001
Ngabe	1	0.20664063	51.79	<.0001
Standort*Ngabe	3	0.29122729	72.99	<.0001
Fehler	152	0.00399010		
<b>Saat 216 kK/m<sup>2</sup></b> N-Gehalt Hanfpflanze (%) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Standort	3	1.57582167	100.50	<.0001
Ngabe	1	0.10816000	6.90	0.0095
Standort*Ngabe	3	0.23850833	15.21	<.0001
Fehler	152	0.01567967		

**Tabelle 9-8:** Darstellung der Mittelwerte (MEANS) der ertragsbestimmenden Parameter des orthogonalen Kerns für zwei Stickstoffvarianten (60 und 120 kg/ha) im Versuchsjahr 2002 für die Standorte Detmold, Haus Düsse, Versmold, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen nach dem Tukey-Kramer multiplen Mittelwertsvergleich bei  $\alpha \leq 0,05$  signifikante Unterschiede für das Merkmal innerhalb der jeweils untersuchten Stickstoffvariante. BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, N = Stickstoff.

	DETMOLD		HAUS DÜSSE		VERSMOLD		WERTHER		DIKOPSHOF	
	60	120	60	120	60	120	60	120	60	120
N-GABE (kg/ha)	60	120	60	120	60	120	60	120	60	120
Feldaufgang (%)	62,8b	66,4a	65,9b	66,8a	63,1b	65,7a	50,7c	47,3c	75,6a	58,2b
BD Ernte (Pfl/m <sup>2</sup> )	130a	109a	92c	92c	97bc	98b	65d	61e	105a	80d
Stängeldurchmesser (mm)	6,40c	6,10c	7,51b	7,76b	6,74bc	5,92c	9,21a	9,83a	6,38c	7,33b
Wuchshöhe (cm)	218d	206d	251b	264b	240bc	202d	274a	295a	227cd	236c
Strohertrag (dt/ha)	145bc	158bc	144c	170b	190a	144d	199b	214a	156b	158c
Fasergehalt (%)	-	33,8b	38,7b	31,5c	25,6d	33,8b	32,2c	42,7a	54,3a	35,3b
N-Gehalt Hanfstängel (%)	0,51b	0,57c	0,63a	0,52d	0,56b	0,49d	0,59ab	0,79a	0,34d	0,61b
N-Gehalt Hanfpflanze (%)	0,86c	0,86bc	0,98b	0,91b	0,90c	0,87bc	1,14a	1,32a	0,69d	0,83c

**VA-Tabelle 44: Feldaufgang (%), Stängeldurchmesser (mm), Wuchshöhe (cm) und Fasergehalt (%) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung im Vergleich der Standorte Detmold, Haus Düsse, Versmold, Werther in OWL und der Standardumwelt Dikopshof (Ergebnisse einer einjährigen Feldprüfung über 2 Saatstärken). FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, BD Ernte = Bestandesdichte zur Ernte, N-Gabe = Stickstoffgabe, Saat = Saatstärke.**

<b>60 kg/ha N-Gabe</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Feldaufgang (%)				
<b>Varianzursache</b>				
Standort	4	3163.95000	33.79	<.0001
Saat	1	23069.52000	246.40	<.0001
Standort*Saat	4	6432.37000	68.70	<.0001
Fehler	190	93.62632		
<b>120 kg/ha N-Gabe</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Feldaufgang (%)				
<b>Varianzursache</b>				
Standort	4	2792.77000	45.59	<.0001
Saat	1	13744.82000	224.36	<.0001
Standort*Saat	4	6785.27000	110.76	<.0001
Fehler	190	61.26263		
<b>60 kg/ha N-Gabe</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Stängeldurchmesser (mm)				
<b>Varianzursache</b>				
Standort	4	31.4530560	24.32	<.0001
Saat	1	32.2262336	24.92	<.0001
Standort*Saat	4	1.7165985	1.33	0.2643
Fehler	110	1.2931670		
<b>120 kg/ha N-Gabe</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Stängeldurchmesser (mm)				
<b>Varianzursache</b>				
Standort	4	49.4166779	30.19	<.0001
Saat	1	16.1247669	9.85	0.0022
Standort*Saat	4	1.9072762	1.17	0.3301
Fehler	110	1.6366114		
<b>60 kg/ha N-Gabe</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Wuchshöhe (cm)				
<b>Varianzursache</b>				
Standort	4	10579.52917	18.56	<.0001
Saat	1	3578.40278	6.28	0.0137
Standort*Saat	4	371.27917	0.65	0.6272
Fehler	110	570.0832		
<b>120 kg/ha N-Gabe</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Wuchshöhe (cm)				
<b>Varianzursache</b>				
Standort	4	30938.0688	42.94	<.0001
Saat	1	4687.2250	6.51	0.0121
Standort*Saat	4	1501.7604	2.08	0.0876
Fehler	110	720.4277		
<b>60 kg/ha N-Gabe</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Fasergehalt (%)				
<b>Varianzursache</b>				
Standort	3	3013.277333	13239.0	<.0001
Fehler	76	0.227605		
<b>120 kg/ha N-Gabe</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Fasergehalt (%)				
<b>Varianzursache</b>				
Standort	4	375.204222	82.43	<.0001
Saat	1	44.204167	9.71	0.0024
Fehler	104	4.551582		

## 9.6 Ergänzende Informationen zum Sortenversuch

VA-Tabelle 45: Anzahl der Pflanzen pro Quadratmeter an den Boniturterminen T1, T2, T3, T4, T5 und T6 in Abhängigkeit von der Sorte auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 6 Sorten). FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr.

<b>Boniturtermin T1</b>				
Pflanzen (Anzahl/m <sup>2</sup> )	FG	MQ	F	p-Wert
<b>Varianzursache</b>				
Jahr	1	28.33611	0.10	0.7499
Sorte	2	6620.38048	24.31	<.0001
Jahr*Sorte	3	6170.26809	22.66	<.0001
Fehler	23	272.32971		
<b>Boniturtermin T2</b>				
Pflanzen (Anzahl/m <sup>2</sup> )	FG	MQ	F	p-Wert
<b>Varianzursache</b>				
Jahr	1	162.67778	0.57	0.4577
Sorte	2	6500.79267	22.81	<.0001
Jahr*Sorte	3	5781.39869	20.28	<.0001
Fehler	23	285.05797		
<b>Boniturtermin T3</b>				
Pflanzen (Anzahl/m <sup>2</sup> )	FG	MQ	F	p-Wert
<b>Varianzursache</b>				
Jahr	1	128.4444	0.82	0.3648
Sorte	2	76256.6331	488.96	<.0001
Jahr*Sorte	3	51807.9318	332.19	<.0001
Fehler	320	155.9583		
<b>Boniturtermin T4</b>				
Pflanzen (Anzahl/m <sup>2</sup> )	FG	MQ	F	p-Wert
<b>Varianzursache</b>				
Jahr	1	2224.6945	13.92	0.0002
Sorte	2	72340.4708	452.67	<.0001
Jahr*Sorte	3	48906.2010	306.03	<.0001
Fehler	320	159.8099		
<b>Boniturtermin T5</b>				
Pflanzen (Anzahl/m <sup>2</sup> )	FG	MQ	F	p-Wert
<b>Varianzursache</b>				
Jahr	1	1534.0278	8.22	0.0044
Sorte	2	60048.9334	321.89	<.0001
Jahr*Sorte	3	41379.9591	221.82	<.0001
Fehler	320	186.5495		
<b>Boniturtermin T6</b>				
Pflanzen (Anzahl/m <sup>2</sup> )	FG	MQ	F	p-Wert
<b>Varianzursache</b>				
Jahr	1	2450.24995	19.99	<.0001
Sorte	2	24944.91918	203.48	<.0001
Jahr*Sorte	3	19036.16828	155.28	<.0001
Fehler	320	122.591		

**VA-Tabelle 46: Wuchshöhe (cm) zum Zeitpunkt der Ernte in Abhängigkeit von den Sorten auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 6 Sorten).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr.

WUCHSHÖHE				
Varianzursache Jahr				
	T3	T4	T5	T6
FG	1	1	1	1
MQ	12.602500	197.871111	22460.01781	26491.62857
F	0.09	0.28	16.93	12.44
p-Wert	0.7687	0.5984	<.0001	0.0005
Varianzursache Sorte				
	T3	T4	T5	T6
FG	2	2	2	2
MQ	871.947867	3279.136960	3356.69221	2133.89537
F	6.00	4.61	2.53	1.00
p-Wert	0.0028	0.0107	0.0813	0.3683
Varianzursache Jahr*Sorte				
	T3	T4	T5	T6
FG	3	3	3	3
MQ	600.958742	2206.151583	2275.79164	2591.76381
F	4.13	3.10	1.72	1.22
p-Wert	0.0068	0.0270	0.1637	0.3036

**VA-Tabelle 47: Feldaufgang (%), Stängeldurchmesser (mm) und Fasergehalt (%) zum Zeitpunkt der Ernte in Abhängigkeit von den Sorten auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 6 Sorten).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr.

Feldaufgang (%)				
<b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Jahr	1	6.043431	0.10	0.7505
Sorte	2	1419.379302	24.33	<.0001
Jahr*Sorte	3	1322.819853	22.67	<.0001
Fehler	23	58.346964		
Stängeldurchmesser (mm)				
<b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Jahr	1	0.23851628	0.08	0.7719
Sorte	2	20.33023297	7.17	0.0009
Jahr*Sorte	3	13.66635207	4.82	0.0027
Fehler	316	2.8336136		
Fasergehalt (%)				
<b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Jahr	1	3137.621741	333.89	<.0001
Sorte	2	823.342884	87.62	<.0001
Jahr*Sorte	3	746.162096	79.40	<.0001
Fehler	230	9.39728		

**VA-Tabelle 48: Stickstoffgehalt im Hanfstängel (%) der Sorten in Abhängigkeit von den Versuchsjahren auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 4 (2002) bzw. 6 Sorten (2003)).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr, Mittel = Mittelwert, N-Gehalt = Stickstoffgehalt.

<b>2002</b> N-Gehalt im Hanfstängel (%) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Sorte	3	0.60996272	153.70	<b>&lt;.0001</b>
Fehler	146	0.00396856		
<b>2003</b> N-Gehalt im Hanfstängel (%) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Sorte	5	0.36244755	62.91	<b>&lt;.0001</b>
Fehler	165	0.00576092		

**VA-Tabelle 49: Stickstoffgehalte in der Hanfpflanze (%; mit Blätter und Samen) der Sorten in Abhängigkeit von den Versuchsjahren auf dem Dikopshof (Ergebnisse einer zweijährigen Feldprüfung über 4 (2002) bzw. 6 Sorten (2003)).** FG = Freiheitsgrade, MQ = Mittel der Quadrate, p-Wert = Signifikanzniveau, Jahr = Versuchsjahr, Mittel = Mittelwert, N-Gehalt = Stickstoffgehalt.

<b>2002</b> N-Gehalt Hanfpflanze (%) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Sorte	3	0.51061562	40.30	<b>&lt;.0001</b>
Fehler	156	0.01267072		
<b>2003</b> N-Gehalt Hanfpflanze (%) <b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p-Wert</b>
Sorte	5	0.37164314	5.01	0.0003
Fehler	164	0.07411260		

## DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die mir die den erfolgreichen Abschluss meiner Promotion ermöglichten:

Prof. Dr. Jens Léon danke ich für die Überlassung des interessanten Themas. Besonders bedanken möchte ich mich für den gewährten Freiraum während der „Schreibphase“. Mein weiterer Dank gilt Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze Lammers für die Übernahme des Zweitgutachten der Arbeit und dem Institut für Landtechnik für die Arbeiten rund um die Faserqualität.

Der Erzeugergemeinschaft für Öl- und Faserpflanzen zur technischen Verwendung w. V. sowie den Landwirten, die die Versuche auf ihren Hanffeldern ermöglicht haben, gilt mein herzlicher Dank.

Ebenso geht mein Dank an meine ehemaligen Mit-Doktorandinnen und -doktoranden und alle Mitarbeiter des Institutes für Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz, Professur Pflanzenzüchtung, für die freundschaftliche Arbeitsatmosphäre und Hilfsbereitschaft. Für die zuverlässige Anlage der Feldversuche und die tatkräftige Unterstützung von der Aussaat bis zur Ernte bedanke ich mich besonders bei den Mitarbeitern der Lehr- und Forschungsstation Dikopshof.

Dem Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen gebührt mein Dank für die finanzielle Unterstützung des Forschungsvorhabens „Faserqualität einheimischer Faserpflanzen, die Bedeutung umweltbedingter Variabilität für die Ertrags- und Qualitätsbildung einheimischer Faserpflanzen, sowie die Methodenentwicklung zur Qualitätsprüfung“ im Rahmen dessen diese Promotion angefertigt wurde. Dem Lehr- und Forschungsschwerpunkt "Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft" (USL) der Universität Bonn danke ich für die Projektabwicklung.

Ein ganz besonderer Dank geht an meine Familie und Freunde, die dieses Werk in allen Phasen mit jeder möglichen Unterstützung bedacht haben. Ihnen danke ich für die Ausdauer, Geduld und entgegengebrachte Nachsicht womit sie mir stets zur Seite standen und mich immer wieder aufgemuntert oder auch geschwiegen haben.