

68

Berichte aus dem TFZ

Hanf zur stofflichen Nutzung

Stand und Entwicklungen



Hanf zur stofflichen Nutzung – Stand und Entwicklungen



Hanf zur stofflichen Nutzung

Stand und Entwicklungen

Veronika Schöberl
Michael Grieb
Maendy Fritz

Berichte aus dem TFZ 68

Straubing, Juli 2020

Titel: Hanf zur stofflichen Nutzung: Stand und Entwicklungen
Projektleitung: Dr. Maendy Fritz
Autoren: Veronika Schöberl
Mitarbeiter: Franz Heimler, Michael Kandler, Christian Loher, Heide Lummer, Benno Sötz, Michael Grieb

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten mit dem Förderkennzeichen G2/KS/18/05 gefördert. Die Projektlaufzeit ging vom 01.03.2019 bis zum 31.12.2019. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

© 2020
Technologie- und Förderzentrum
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing

Alle Rechte vorbehalten.
Kein Teil dieses Werks darf ohne schriftliche Einwilligung des Herausgebers in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt, verbreitet oder archiviert werden.

Unter Verwendung mineralölfreier Druckfarben (Mineralölanteil < 1 %) gedruckt auf chlorfreiem Papier aus nachhaltiger, zertifizierter Waldbewirtschaftung.

ISSN: 1614-1008
Hrsg.: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Schulgasse 18, 94315 Straubing
E-Mail: poststelle@tfz.bayern.de
Internet: www.tfz.bayern.de

Redaktion: Veronika Schöberl, Anna Grundner
Verlag: Eigenverlag
Erscheinungsort: Straubing
Erscheinungsjahr: 2020
Gestaltung: Veronika Schöberl

Fotonachweis: Schöberl (23, 24, 26, 27, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 40, 41, 48, 56, 74, 75, 76, 78, 80, 81, 82, 89, 90, 98, 100, 102, 103, 104, 105, 106, 110, 112, 113, 114, 115, 119, 126, 134), Fritz (86, 87)
Titelbild: Tobias Hase für StMELF

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis.....	11
1 Einleitung.....	13
2 Stand des Wissens.....	15
2.1 Abstammung und historische Bedeutung.....	15
2.2 Taxonomische Einordnung und geografische Formenkreise.....	16
2.3 Botanische Beschreibung der Hanfpflanze	17
2.4 Zweihäusigkeit und Blühbiologie der Hanfpflanze.....	23
2.5 Beschreibung der Entwicklungsstadien der Hanfpflanze	26
2.6 Bestandsführung und Produktionstechnik bei Hanf.....	35
2.6.1 Standortansprüche.....	35
2.6.2 Bodenbearbeitung und Aussaat	36
2.6.3 Nährstoffbedarf und Düngemanagement.....	40
2.6.4 Unkrautregulierung, Schädlinge und Krankheiten.....	43
2.6.5 Fruchtfolgestellung von Hanf	46
2.6.6 Ernteverfahren und Erntetechnik.....	47
2.7 Nutzungsmöglichkeiten der Kulturpflanze Hanf.....	51
2.7.1 Fasern und Schäben.....	53
2.7.2 Hanfsamen	55
2.7.3 Blüten und Blätter.....	56
2.7.4 Beispiele für hanfverarbeitende Unternehmen in Deutschland	57
2.8 Neue Nutzungsrichtung Cannabidiol (CBD): therapeutisches Potenzial und rechtliche Grauzone.....	58
2.9 Entwicklung der Anbauflächen und rechtliche Situation wichtiger Hanfanbauländer	60
2.10 Rechtliche Lage in Deutschland und Meldeverfahren Nutzhanf.....	62
3 Problemstellung und Zielsetzung.....	63
4 Material und Methoden	65
4.1 Beschreibung Versuchsstandort und Witterungsverlauf.....	65
4.2 Versuchsdesign und Bestandsführung	67
4.2.1 Körnerversuch: Kulturführung und Ernteverfahren	68
4.2.2 CBD-Versuch: Kulturführungsdaten und Ernteverfahren.....	72
4.2.3 Dualversuch: Kulturführungsdaten und Ernteverfahren.....	74
4.2.4 Faserversuch: Kulturführungsdaten und Ernteverfahren.....	77
4.3 Datenerhebung	82
4.3.1 Keimfähigkeit und Tausendkornmasse	82
4.3.2 Durchführung der Feldbonituren.....	85

4.3.3	Bestimmung der CBD-Konzentration im Verlauf der Blüte.....	87
4.3.4	Boden- und Pflanzenanalyse	87
4.4	Nährstoffbilanzierung.....	88
4.5	Statistische Auswertung.....	89
5	Ergebnisse und Diskussion	91
5.1	Keimfähigkeit und Tausendkornmasse	91
5.2	Körnerversuch	94
5.2.1	Wachstums- und Entwicklungsverlauf	94
5.2.2	Kornertrag und Ernteverfahren.....	104
5.2.3	Stickstoffbilanzierung	110
5.3	CBD-Versuch.....	112
5.3.1	Wachstums- und Entwicklungsverlauf	112
5.3.2	Ertrag.....	116
5.3.3	Stickstoffbilanzierung.....	118
5.4	Dualversuch	119
5.4.1	Wachstums- und Entwicklungsverlauf	119
5.4.2	Korn- und Strohertrag	122
5.4.3	Stickstoffbilanzierung.....	124
5.5	Faserversuch.....	126
5.5.1	Wachstums- und Entwicklungsverlauf	126
5.5.2	Einfluss von Sorte und Düngung auf die Ertragsfähigkeit von Faserhanf	131
5.5.3	Einfluss der Sorte auf die Ertragsfähigkeit.....	132
5.5.4	Einfluss der Düngung auf die Ertragsfähigkeit.....	134
5.5.5	Stickstoffbilanzierung.....	136
6	Schlussfolgerungen für die Praxis	139
6.1	Anbauhinweise.....	139
6.2	Rechtliche Regelungen zum Anbau von Nutzhanf.....	146
	Zusammenfassung	149
	Abstract	151
	Quellenverzeichnis	153

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Verzweigte Hanfpflanze am Rand der Parzelle (links) und dichter Faserhanfbestand ohne Verzweigung des Stängels (rechts).....	19
Abbildung 2:	Charakteristische, fingerförmige und gefiederte Hanfblätter mit 5 bis 7 Teilblättern.....	20
Abbildung 3:	Männliche geschlossene Staubblüte (links), weiblicher Blütenkelch (rechts).....	22
Abbildung 4:	Harz absondernde Drüsenhaare (Trichome) an den Samenhüllblättern des weiblichen Blütenstands.....	22
Abbildung 5:	Frucht der Hanfpflanze: Hanfnuss	23
Abbildung 6:	Hanfbestand der diözischen Hanfsorte Finola zum Zeitpunkt der weiblichen Blüte; deutliche Unterscheidung der Hanfhenne vom wuchshöheren und bereits in der Abreife befindlichen Femelhanf.....	25
Abbildung 7:	Hanfsorte Finola: weibliche Pflanze bzw. Hanfhenne (links) und männliche Pflanze bzw. Femelhanf (rechts)	25
Abbildung 8:	Ende der Hauptwachstumsstadien Keimung und Auflaufen (Code 0003) (links), erstes Laubblattpaarstadium (Code 1002) (rechts)	27
Abbildung 9:	Fünftes Laubblattpaarstadium (Code 1010) (links), zehntes Laubblattpaarstadium (Code 1020) (rechts).....	28
Abbildung 10:	„GV-Punkt“ (Code 2000): Übergang der Blattstellung von gegen- zu wechselständig	29
Abbildung 11:	Anlage der männlichen Blüten (Code: 2100) (links); Ende der männlichen Blüte (> 95 % offen) mit pollensammelnder Hummel (rechts).....	30
Abbildung 12:	Beginn der Samenreife (Code 2203), Anschwellen des Fruchtknotens und rotbraune Verfärbung der Narben	31
Abbildung 13:	Monözischer Blütenstand, Beginn der männlichen Blüte (Code: 2304).....	32
Abbildung 14:	Die verschiedenen Geschlechter der Hanfpflanze in unterschiedlichen Stadien aus einem Bestand (von links nach rechts): Femelhanf Beginn der Blüte (Code: 2101), monözischer Hanf männliche Blüte (Code: 2304) und Hanfhenne Beginn der Samenreife (Code: 2203).....	33
Abbildung 15:	Lückiger und verzögerter Feldaufgang in den Fahrspuren quer zur Saatrichtung	36
Abbildung 16:	Wachstumsdepression des Hanfbestands an dem Verdichtungshorizont des Bodens	37
Abbildung 17:	Rasche Jugendentwicklung im Faserhanfbestand, linkes Bild: 23.05.2019, rechtes Bild: 27.05.2019.....	43

Abbildung 18: Dichter Faserhanfbestand sechs Wochen nach der Aussaat, 07.06.2019	44
Abbildung 19: Witterungsverlauf am Versuchsstandort Straubing von Januar bis September im Vergleich mit dem langjährigen Mittel (1981 bis 2010), Datengrundlage langjähriges Mittel: DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) [35]: Station Straubing; Datengrundlage Wetterdaten 2019: BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL) [7], Station Piering	67
Abbildung 20: Prototyp Sämaschine Focus, Firma Horsch	70
Abbildung 21: Saatbett: herkömmliche Drill- und Einzelkornsätechnik (vorne), Sämaschine Focus, Firma Horsch (hinten).....	70
Abbildung 22: Mähdrusch Körnerhanf mit Parzellendrescher und Getreideschneidwerk	71
Abbildung 23: Hanfkörner nach Mähdrusch (links); Körner nach anschließender zusätzlicher Reinigung im Steigsichter (rechts).....	71
Abbildung 24: Ernte mit dem Parzellenhäcksler.....	73
Abbildung 25: Hacken im Hanfbestand mit manueller Steuerung im Heckanbau, 03.06.2019	75
Abbildung 26: Unterer Stängelrest „Restpflanze“ nach Beerntung des oberen Bestandsdrittels	76
Abbildung 27: Ernten der Fruchtstände bei 1,40 m Pflanzenhöhe mit der Rosenschere	76
Abbildung 28: Schnitt der Kernparzelle mit Balkenmäher im Heckanbau	80
Abbildung 29: Auffangen der geschnittenen Pflanzen mit Auffangwanne.....	81
Abbildung 30: Frisch geerntetes Faserhanfstroh im Bündel (links) und geröstetes Faserhanfstroh nach drei Wochen Feldröste (rechts)	81
Abbildung 31: Ansetzen von 100 Körnern auf Filterpapier mit 5 ml Wasser zur Bestimmung der Keimfähigkeit.....	83
Abbildung 32: Anormaler (links) und normaler Keimling (rechts) der Sorte Fedora 17 nach sieben Tagen Keimdauer	84
Abbildung 33: Nicht gekeimte Samen der Sorte Zenit nach sieben Tagen Keimdauer, teilweise mit Pilzbefall	84
Abbildung 34: Ermittlung des Nährstoffsaldos unter Ausschluss der nicht gemessenen Einflussgrößen	89
Abbildung 35: Starke Verpilzung der rumänische Sorte Zenit im Keimfähigkeitstest	92
Abbildung 36: Vergleich Feldaufgang Körnerhanfsorte Uso-31, gesät mit dem Focus-Sägerät (links) und gesät mit konventioneller Drillsaat (rechts)	94

Abbildung 37: Feldaufgang im Körnerhanfversuch, signifikante Unterschiede mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet (ohne Praxisversuch Horsch)	95
Abbildung 38: Grobes Saatbeet durch das Sägerät Focus der Firma Horsch.....	96
Abbildung 39: Verstopfte Löcher in einer Lochscheibe der Einzelkornsämaschine	97
Abbildung 40: Unkrautdeckungsgrad von 2 % (links) im Körnerhanfversuch im Vergleich zum Ostende des Versuchs mit einem Unkrautdeckungsgrad von 8 % (rechts)	98
Abbildung 41: Drohnenaufnahme Körnerhanfversuch zum Reihenschluss (außer Sorte Finola und die Focus-Varianten in Streifenanlage am rechten und linken Rand), 24.06.2019.....	99
Abbildung 42: Körnerhanfsorte Earlina 8-FC im Übergang Ende Blüte zu Beginn Samenreife, 23.07.2019.....	100
Abbildung 43: Verlauf der Wuchshöhe der Körnersorten innerhalb der Vegetationsperiode	102
Abbildung 44: Bestandesdichte der Körnerhanfsorten zu Feldaufgang und Ernte, signifikante Unterschiede innerhalb der Termine mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet.....	103
Abbildung 45: Starke Unkrautkonkurrenz in der Variante Finola-Focus.....	104
Abbildung 46: Mittlere Kornerträge der Körnersorten, signifikante Unterschiede mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet, Fehlerbalken zeigen Standardabweichung.....	105
Abbildung 47: Körnerhanfdrusch: wegknickende Hanfstängel, Fruchtstände teilweise nicht erfasst.....	106
Abbildung 48: Verstopfte Dreschtrummel durch faseriges, langes Hanfstroh	107
Abbildung 49: Überreifer Finola-Bestand zum Erntetermin 19.09.2019	108
Abbildung 50: Samenausfall im Körnerhanfversuch.....	109
Abbildung 51: N-Bilanzen der einzelnen Körnerhanfvarianten	110
Abbildung 52: N_{\min} -Werte der Körnersorten nach Ernte bis in Bodentiefe 90 cm.....	111
Abbildung 53: Reihenschluss im CBD-Versuch im Stadium 9. Laubblattpaar (Code 1018) bei einer durchschnittlichen Wuchshöhe von 140 cm, 18.06.2019.....	114
Abbildung 54: Verlauf der Wuchshöhe der CBD-Sorten innerhalb der Vegetationsperiode	115
Abbildung 55: Bestandesdichte der CBD-Sorten nach Feldaufgang und vor der Ernte	116
Abbildung 56: Gesamtpflanzenertrag und dessen Zusammensetzung aus Restpflanze und Blütenstand sowie deren Trockensubstanzgehalte der CBD-Sorten zur Haupternte	117

Abbildung 57:	N-Bilanzen der drei CBD-Sorten	118
Abbildung 58:	N_{\min} -Werte der drei CBD-Sorten nach Ernte bis 90 cm Bodentiefe	119
Abbildung 59:	Unkrautdeckungsgrad von unter 1 % und Kulturdeckungsgrad von 23 % im Dualnutzungsversuch, Sorte Felina 32 am 27.05.2019	120
Abbildung 60:	Verlauf der Wuchshöhe der vier Dualnutzungssorten innerhalb der Vegetationsperiode	121
Abbildung 61:	Vergleich der Bestandesdichte der Dualnutzungssorten nach Feldaufgang und vor der Ernte, signifikanter Einfluss der Sorte auf Bestandesdichte vor Ernte mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet	122
Abbildung 62:	Trockenmasseerträge der Pflanzenteile Restpflanze, Fruchtstand und Kornertrag sowie Trockensubstanzgehalte von Restpflanze und Fruchtstand der Dualnutzungssorten	123
Abbildung 63:	N-Bilanzen der Dualnutzungssorten	125
Abbildung 64:	N_{\min} -Werte der vier Dualnutzungssorten nach Ernte bis 90 cm Bodentiefe	126
Abbildung 65:	Bestandesdichte nach Feldaufgang der acht Faserhanfvarianten	127
Abbildung 66:	Blick in den Faserhanfbestand: hohes Unkrautunterdrückungsvermögen durch dichten Bestand und Beschattung zwischen den Reihen	128
Abbildung 67:	Hohes Unkrautunterdrückungsvermögen von Faserhanf durch hohe Biomassebildung und dichten Bestand	128
Abbildung 68:	Verlauf der Wuchshöhe der Faserhanfvarianten innerhalb der Vegetationsperiode	129
Abbildung 69:	Bestandesdichte der acht Varianten im Faserhanfversuch zum Zeitpunkt des Feldaufgangs und zur Ernte, kein signifikanter Einfluss durch die Sorten	130
Abbildung 70:	Bestandesdichte nach Feldaufgang und vor der Ernte in Abhängigkeit der Düngestufe, signifikante Unterschiede sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet	131
Abbildung 71:	Strohertrag frisch und Röststroherträge sowie Trockensubstanzgehalte der Faserhanfvarianten	132
Abbildung 72:	Trockenmasseertrag Stroh frisch bzw. Röststroh für Faserhanf in Abhängigkeit der Düngestufe, signifikante Unterschiede mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet, Fehlerbalken zeigen Standardfehler	135
Abbildung 73:	N-Bilanzen der einzelnen Faserhanfvarianten	136
Abbildung 74:	N_{\min} -Werte der Faserhanfvarianten bis in 90 cm Bodentiefe	137

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	CBD-Gehalt in der EU zugelassener Industriehansorten [49]	21
Tabelle 2:	Dezimalcodesystem zur Beschreibung der Hauptentwicklungsstadien (HWS) der Hanfpflanze (verändert nach Mediavilla et al. 1998 [74]), ohne HWS Seneszenz).....	34
Tabelle 3:	Nutzungsmöglichkeiten von Hanf (verändert nach CARUS 2008 [40])	52
Tabelle 4:	Entwicklung der Hanfanbaufläche in Europa, Kanada und China (2016–2017)	61
Tabelle 5:	Beschreibung des Versuchsstandorts Straubing	65
Tabelle 6:	Bodenparameter des Versuchsstandorts Straubing	66
Tabelle 7:	Beschreibung der Sorten im Körnerhanfversuch [3] [12] [56].....	68
Tabelle 8:	Übersicht des zweifaktoriellen Aufbaus des Körnerhanfversuchs und Variantenbezeichnungen	69
Tabelle 9:	Übersicht Eigenschaften der Sorten für CBD-Nutzung [49] [56] [62]	72
Tabelle 10:	Beschreibung der Sorten im Dualnutzungsversuch [56] [62] [84]	74
Tabelle 11:	Beschreibung der vier Faserhanfsorten, Herkunft Frankreich (FRA) [84].....	77
Tabelle 12:	Übersicht Düngebedarfsermittlung für Faserhanf bei einem durchschnittlichen Ertragsniveau von 240 dt FM/ha, abgeändert nach dem Gelben Heft [110].....	78
Tabelle 13:	Übersicht zum zweifaktoriellen Aufbau des Faserhanfversuchs und Variantenbezeichnungen	79
Tabelle 14:	Untersuchungsparameter und angewandte Analysemethoden bei Boden- und Pflanzenproben [105] [106].....	88
Tabelle 15:	Signifikanzniveaus der Varianzanalyse	90
Tabelle 16:	Durchschnittliche Keimfähigkeit und Tausendkornmassen der im Feldversuch verwendeten Sorten nach Nutzungsrichtung	93
Tabelle 17:	Bewertung der Interaktion zwischen Körnerhanfsorte und Aussaattechnik auf die Bestandesdichten nach Feldaufgang und vor der Ernte, signifikante Unterschiede mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet.....	103
Tabelle 18:	Vergleich der CBD-Sorten in der Bestandesdichte nach Feldaufgang, Keimfähigkeit im Labor und Triebkraft am Feld	112
Tabelle 19:	Ertragsbestandteile der Dualnutzungssorten, signifikante Unterschiede je Pflanzenteil sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet	124

Tabelle 20:	Multipler Mittelwertvergleich für Strohertrag frisch und Röststrohertrag nach Sorten, signifikante Unterschiede sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet.....	133
Tabelle 21:	Anbautelegramm Dualnutzungshanf.....	142
Tabelle 22:	Anbautelegramm Faserhanf.....	143
Tabelle 23:	Anbautelegramm Körnerhanf	145

1 Einleitung

Nutzhanf (*Cannabis sativa* L.) erlebt derzeit einen Aufschwung als wiederentdeckte Kulturpflanze im Lebensmittel-, Nahrungsergänzungsmittel- und Pharmabereich. Für diese Nutzungsrichtungen können die Körner oder das oberste Drittel der Pflanzen verwendet werden. Die Restpflanzen sollten allerdings ebenfalls genutzt werden, da die faserhaltigen Stängel sehr zäh sind und nicht gemulcht und als Gründünger eingearbeitet werden können. Üblich ist die sogenannte Feldröste, ein Trocknungs- und biologischer Abbauvorgang über einige Wochen im Feld, nach dem sich die Stängel leichter in Schäben und Fasern trennen lassen. In abgetrocknetem Zustand können die gerösteten Stängel dann zu Ballen gepresst und eingelagert werden. Vergleichsweise neu ist die Extraktion von Cannabidiol (CBD) aus den grünen Blüten und Blättern von Hanf, dem vielfältige Einsatzmöglichkeiten zugesprochen werden. Hanf bietet somit vielfältige Rohstoffe für die Bioökonomie.

Der Anbau von Hanf als Rohstoffpflanze ist in Bayern derzeit noch sehr gering, allerdings in stetigem Zuwachs. In 2016 betrug die Anbaufläche 75,55 ha, in 2017 schon 126,43 ha und in 2018 bereits 176,12 ha (Zahlen aus dem Mehrfachantrag, bereitgestellt vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten). Diese Steigerung spiegelt das wiedererwachte Interesse an Hanf als vergleichsweise robuste Kultur, gerade unter schwierigen Standortbedingungen, wider. Besonders bei extremen Witterungsbedingungen wie in dem Trockenjahr 2018 werden Wünsche nach wirtschaftlichen Alternativkulturen geäußert, die auf Böden mit geringerer Fruchtbarkeit angebaut werden können und eine Möglichkeit der regionalen Wertschöpfung durch lokale Verarbeitung bieten. Auch zum Nährstoffbedarf des Hanfs liegen lediglich Richtwerte für die Düngung in Bayern vor.

So ist die Unkenntnis zum Anbau der Kultur und auch zur rechtlichen Situation noch sehr groß. Das Technologie- und Förderzentrum (TFZ) berät jährlich mehrere Landwirte und auch Berater der Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten zur Durchführung des Hanfanbaus und den damit verbundenen Meldungs- und Nachweispflichten. Die vorhandenen umfangreichen Informationen im Mehrfachantrag sowie bei der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) scheinen nicht auszureichen.

2 Stand des Wissens

2.1 Abstammung und historische Bedeutung

Hanf (*Cannabis sativa* L.) hat seinen Ursprung in Zentralasien (Iran, Afghanistan, Südkasachstan und Teile von Südsibirien), wo auch noch heute seine Wildform in der natürlichen Vegetation vorzufinden ist. Eingeführt wurde die Kulturpflanze nach Mittel- und Nordeuropa über die Slawen, wobei diese im Mittelalter an Bedeutung gewann und vermehrt angebaut wurde [12] [109].

Die Hanfpflanze gehört zu den ältesten und vielseitigsten Nutzpflanzen der Menschheit. Sie wurde über viele Jahrhunderte hinweg aufgrund ihrer vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten als Rohstoffpflanze in fast allen europäischen Ländern kultiviert. Die historische Bedeutung verdankt der Hanf vor allem seiner besonders guten Eignung als Faserpflanze. Die Hanffaser zeichnet eine hohe Wetterfestigkeit und Reißfestigkeit aus. Aus diesem Grund ist sie hervorragend geeignet für die Verarbeitung zu Seilen, Segeltüchern, Bekleidungstextilien, Papier und Ölprodukten [12]. Bis 1883 hatten Hanffasern einen Anteil von 75 bis 90 % in der weltweiten Papierproduktion. Bedeutende Werke wie die Gutenberg-Bibel oder erste Entwürfe der amerikanischen Unabhängigkeitserklärung wurden auf Basis des Rohstoffs Hanf gedruckt. Auch der enorme Bedarf an Hanffasern für die Schifffahrt, vor allem für Seile und Segeltücher, förderte dessen Anbau sehr. Für ein normales Segelschiff wurden 50–100 Tonnen Hanffasern verbaut. In den USA wurden bis in die 1920er Jahre 80 % aller hergestellten Textilien und Stoffe für Kleidung, Bettdecken, Handtücher, Zelte usw. aus Hanffasern hergestellt [15] [109]. Im 19. Jahrhundert, das Zeitalter der industriellen Revolution, verlor Hanf aufgrund des technischen Fortschritts in der Schifffahrt und Textilindustrie an Bedeutung. Zum einen wurden die Segelschiffe durch mit Braunkohle betriebene Dampfschiffe ersetzt. Zum anderen wurde Hanf als Textilrohstoff durch den „neuen“ Rohstoff Baumwolle fast vollständig aus dem Sektor verdrängt. Durch die Erfindung einer Erntemaschine und einer leistungsfähigen Spinnmaschine („spinning jenny“) zur Faserverarbeitung wurde Baumwolle deutlich attraktiver als Hanf [14]. Diese Entwicklungen gingen auch im 20. Jahrhundert weiter. 1937 patentierte die US-amerikanische Firma Du Pont das Sulfat-/Sulfitverfahren zur Herstellung von Papier auf Basis von Holzzellmasse [15]. Damit wurde die Papierproduktion aus Holzrohstoff kostengünstiger, sodass auch hier Hanf ins Abseits gedrängt wurde. Durch all diese Entwicklungen wurde Hanf als Rohstoff für Naturfasern zu teuer. Zudem kam im 20. Jahrhundert die Hanfpflanze zunehmend als Drogenpflanze in Verruf. Aufgrund des psychoaktiven Inhaltsstoffs Delta-9-Tetrahydrocannabinol, kurz THC, wurde Hanf in vielen Ländern als illegal erklärt und der Anbau verboten, so auch zwischen 1982 und 1996 in Deutschland [107]. Lediglich während der beiden Weltkriege kam es aufgrund der schlechten Verfügbarkeit von Baumwolle und dem Bestreben nach Autarkie zum kurzzeitigen Aufschwung im Hanfanbau. Zu Beginn der 1940er Jahre konnte in Deutschland sogar eine Anbaufläche von 120.000 ha verzeichnet werden [40].

Heutzutage ist das Interesse an dem Rohstoff Hanf wieder gestiegen. Aufgrund des zunehmenden Umweltbewusstseins der Bevölkerung und des damit verbundenen Willens,

fossile Energieträger einzusparen, ist Hanf wieder aktuell und hat als Multitalent unter den Nachwachsenden Rohstoffen Zukunftspotenzial [14].

2.2 Taxonomische Einordnung und geografische Formenkreise

Hanf wird in der Taxonomie, genauso wie Hopfen (*Humulus* L.), zur Familie der Hanfgewächse (*Cannabaceae*) eingeordnet [12] [14]. Laut BÓSCA UND KARUS (1997) [12] unterteilt sich die Gattung Hanf (*Cannabis sativa*) in folgende Varietäten bzw. Rassen:

- *Cannabis sativa* var. *ruderalis* Janisch (Wildhanf),
- *Cannabis sativa* var. *vulgaris* (Kulturhanf),
- *Cannabis sativa* var. *indica* Lam. (Indischer Hanf),
- *Cannabis sativa* var. *subvar. gigantea* (Riesenhanf) [12].

Jedoch wird die Unterteilung der Gattung *Cannabis* kontrovers diskutiert und nach neueren Erkenntnissen zwei Arten differenziert: indischer Hanf (*Cannabis indica* Lam. *Serebr.*) und gewöhnlicher Hanf (*Cannabis sativa* L. *Serebr.*). Zudem wird beim gewöhnlichen Hanf in die beiden Subspecies Wildhanf (*Cannabis sativa* L. *Serebr. subsp. spontanea*) und Kulturhanf (*Cannabis sativa* L. *Serebr. subsp. Culta*) differenziert.

Für die heutige Nutzung der Pflanze ist der Indische Hanf aufgrund seiner hohen Konzentration des Cannabinoids Tetrahydrocannabinol (THC) vor allem für medizinische Zwecke von Interesse [15]. Im Folgenden wird ausschließlich auf die Unterart *Cannabis sativa* (L.) *Serebr. subsp. Culta* Bezug genommen. Durch seine hervorragende Eignung als Faserpflanze für industrielle Zwecke wird der Kulturhanf auch oft als Industriebanf oder Nutzhanf bezeichnet [14], dessen in der Landwirtschaft kultivierten Sorten durch sehr niedrige Konzentrationen von THC charakterisiert sind. Zur genaueren Einteilung von Kulturhanf wird in geografische bzw. ökologische Formenkreise differenziert. Diese Rassen unterscheiden sich in ihrer Physiologie, aber auch in ihrem Phänotyp, bedingt durch die unterschiedliche geografische Herkunft. Die Gemeinsamkeit der unterschiedlichen Hanfrassen liegt darin, dass sie dieselbe Anzahl an Chromosomen ($2n = 20$) haben und sich somit untereinander kreuzen können.

Die geografischen Rassen werden folgendermaßen aufgeteilt:

- Nördlicher Hanf (*Borealis Serebr.*),
- Mittelrussischer Hanf (*Prol. medioruthenica Serebr.*),
- Südlicher (mediterraner) Hanf (*Prol. australis Serebr.*),
- Asiatischer Hanf (*Prol. asiatica Serebr.*).

Charakteristisch für den nördlichen Hanf sind ein kurzer Stängel (< 1,5 m) und eine vergleichsweise sehr frühe Reife. Dieser wird nördlich des 60. Breitengrads in Russland und

Finnland kultiviert und stellt in dieser geografischen Lage eine der wenigen Faser- und Ölpflanzen dar [12]. Eine bekannte Sorte, die diesem Formenkreis angehört, ist die aus Finnland stammende Sorte Finola. Sie wird in unseren Breitengraden hauptsächlich zur Samen- und Ölgewinnung angebaut. Die Sorte wurde erstmals 2003 in der EU-Sortenliste als erste Hanfsorte unter der Kategorie Ölpflanze zugelassen [23].

Der mittelrussische Hanf wird zwischen dem 50. und 60. nördlichen Breitengrad vor allem in Russland, Ukraine, Polen und früher (vor 1980) in Norddeutschland angebaut. Typisch für diesen Formenkreis ist eine mittelmäßige Vegetationszeit von 90 bis 110 Tagen bis zur Samenreife und ein 1,25 bis 3 m langer Stängel. Kennzeichnend sind die guten Samenerträge, da durch die kurze Vegetationszeit die Entwicklung in Richtung des generativen Charakters verschoben wurde. Zu diesem Formenkreis zählen die EU-zugelassenen Sorten Beniko aus Polen und die ungarische Sorte Juso [12] [28].

Der in Mittel-, Süd- und Südosteuropa stark verbreitete südliche, mediterrane Hanf gehört hinsichtlich der wirtschaftlichen Bedeutung zu den wichtigsten Hanftypen. Um die technische Samenreife zu erlangen, muss er südlich des 50. nördlichen Breitengrads kultiviert werden. Jedoch findet sich der südliche Typ auch nördlich dieser Grenze zum Zwecke der reinen Fasernutzung wieder. Kennzeichnend sind die relativ lange Vegetationsperiode von 130 bis 150 Tagen bezogen auf die Samenreife und ein langer Stängel von 2,5 bis 4,5 m. Hinsichtlich der Leistungsfähigkeit bringen Sorten des südlichen Formenkreises den höchsten Stängelertrag von 10 bis 12 t/ha. Damit sind Sorten dieses Formenkreises prädestiniert für die Fasernutzung. Bekannte Sorten sind Kompolti und Uniko B aus Ungarn sowie die rumänischen Sorte Lovrin 110 [12] [28].

Der asiatische Hanf, mit einer vergleichsweise niedrigen Wuchshöhe von 2,5 bis 3,0 m und einer Vegetationszeit von 150 bis 180 Tagen, hat in Europa keine wirtschaftliche Bedeutung. Interessant ist der asiatische Hanf vor allem für die Züchtung, da er als Kreuzungspartner geeignet ist.

Im Hinblick auf die zugelassenen Sorten im EU-Katalog sind besonders französische Hanfsorten von Bedeutung. Diese Sorten gehören zum sogenannten Übergangstyp und werden durch Kreuzung des südlichen und mittelrussischen Formenkreises erzeugt. Charakteristisch für diese Sorten ist der Doppelnutzungscharakter. Die Stängelertragsfähigkeit ist im Vergleich zu dem südlichen Hanftyp etwas niedriger, jedoch erreichen diese höhere Samenerträge. Typische französische Sorten für die Doppelnutzung sind beispielsweise Fedora 17 und Felina 32 [12].

2.3 Botanische Beschreibung der Hanfpflanze

Hanf ist eine einjährige und ursprünglich diözische (zweihäusige) Pflanze. Er gehört zu den krautigen, dikotylen Ackerpflanzen [53].

Das Wurzelsystem der Hanfpflanze besteht hauptsächlich aus einer gut entwickelten Primärwurzel und zahlreichen Seitenwurzeln. Die Hauptwurzel kann je nach vorliegender

physikochemischer Eigenschaft des Bodens auf eine Tiefe von 2 bis 2,5 m wurzeln. Die Hauptmasse der Wurzeln befindet sich jedoch mit den Seitenwurzeln auf einer Tiefe von 40 bis 60 cm. Durch die tiefe Durchwurzelung ist Hanf fähig, Nährstoffe aus tieferen Bodenschichten zu holen [12] [71] [59].

Der Hanfstängel ist viereckig und kann in Abhängigkeit von Sorte, Bestandesdichte, Nährstoff- und Wasserversorgung sowie Standort eine Wuchshöhe von 1 bis 4 m und einen Durchmesser von 6 bis 20 mm erreichen [59]. Hanf neigt je nach verfügbarem Standraum zur Verzweigung. Dabei gilt: Je mehr Platz einer Einzelpflanze zur Verfügung steht, desto mehr Licht, Wasser und Nährstoffe bekommt diese, sodass es zu einer starken Verzweigung und größeren Wuchshöhe kommt (Abbildung 1). Durch hohe Bestandesdichten wird die Verzweigung im Faserhanfbestand vermieden. An den Verzweigungsstellen der Internodien treten wechselständige Laubblattpaare hervor, welche jedoch im dichten Faserhanfbestand im Verlaufe der Vegetationsperiode absterben. Zurück bleibt eine Verengung im Inneren des Stängelhohlraums. Für die Faserqualität ist ein möglichst großer Abstand zwischen den Verengungen vorteilhaft. Der Gewichtsanteil des Stängels an der gesamten Biomasse der Hanfpflanze beträgt ca. 65 bis 70 % [12]. Der Hanfstängel besteht, wie jeder dikotyle Pflanzenstängel, aus dem Rindengewebe, das außerhalb des Kambiums liegt, und dem Holzgewebe (Kernteil), das innerhalb des Kambiums liegt. Das Holzgewebe bildet die Schäbenmasse und übernimmt die Aufgabe, den Hanfstängel senkrecht zu versteifen. Die Holzfaserzellen sind kleiner als 0,5 mm [59]. In der Rinde befindet sich das Bastgewebe, in dem der wertbestimmende Anteil des Stängels in Form von Bastfasern vorliegt. Aus diesem Grund wird Hanf auch als Bastfaserpflanze bezeichnet. Im Gegensatz zu Samenfaserpflanzen wie Baumwolle liegen die Faserzellen der Bastfaserpflanze nicht als einzelne freie Elementarfaserzellen vor. Die Faserzellen sind kompakt zu Bündeln zusammengefasst und ringförmig um den Holzkern angeordnet [99]. Die Faserbündel werden durch Mittellamellen, die hauptsächlich aus Pektinen bestehen, zusammengehalten. Der wichtigste Bestandteil der Bastfaser ist Zellulose. Daneben sind im Faserbündel Substanzen wie Hemizellulose, Pentosane und Lignin enthalten. Zur Gewinnung reiner Fasern (Zellulose) werden diese Stoffe über die Röste durch einen mikrobiellen Prozess abgebaut oder in der Faseraufschlussindustrie über einen mechanischen Verfahrensschritt entfernt. Die Faserzellen dienen nicht der senkrechten Stützung, sondern der Zug-, Reiß- und Drehungsfestigkeit des Hanfstängels.

Dynamik und Ausbildung der Faserbündel im Verlaufe der Stängelentwicklung, die im Folgenden genauer beschrieben wird, sind für Hanf charakteristisch. Zunächst bilden sich mit dem Längenwachstum des Stängels die primären Fasern, die den gesamten Spross bis zur Spitze durchziehen. Die Intensität der Faserbildung ist in der Hauptwachstumszeit vor der Blüte am höchsten und mit Ende der Blüte abgeschlossen. Eine primäre Faserzelle erreicht eine Länge von bis zu 20 mm. Im Verlaufe der Vegetationsperiode verholzen die Faserzellen zunehmend. Durch die vermehrte Einlagerung von Lignin erhöhen sich zwar Druck- und Zugfestigkeit, jedoch nehmen zugleich Reißfestigkeit und Elastizität ab. Im Unterschied zu Flachs bildet Hanf im weiteren Verlauf des Wachstums zusätzliche, sekundäre Faserbündelsysteme. Diese sind wesentlich kürzer

(< 2 mm) und weniger reißfest als die Primärfasern. Darüber hinaus haften die Sekundärfasern stärker am Holzteil und gehen daher oft im weiteren Aufschlussverfahren verloren. Damit wird die Faserqualität hauptsächlich vom Anteil der primären Fasern bestimmt.

Ein weiterer Faktor, der die Faserqualität beeinflusst, ist das Pflanzengeschlecht. Durch die längere Vegetationszeit der weiblichen Pflanzen bilden sich im Vergleich zum Männchen dickere Faserzellen (Verholzung) und ein höherer Anteil sekundärer Faserbündel. Die männlichen Pflanzen haben eine höhere Faserqualität, da der Anteil feiner und langer Primärfasern größer ist als bei den weiblichen. Allgemein gilt, dass der Fasergehalt umso höher ist, je länger der Pflanzenstängel und je dünner der Stängeldurchmesser ist. Die optimalen Stängelmaße für die industrielle Faserverarbeitung liegen bei 2 bis 2,5 m Höhe und einem Durchmesser von 6 bis 10 mm [12] [28] [59].



Abbildung 1: Verzweigte Hanfpflanze am Rand der Parzelle (links) und dichter Faserhanfbestand ohne Verzweigung des Stängels (rechts)

Charakteristisch für das Hanfblatt ist die fingerförmige, gefiederte Form. Es setzt sich aus mehreren voneinander getrennten Teilblättern zusammen, die auch als Blattfinger bezeichnet werden (Abbildung 2). Eine Einzelpflanze kann zwischen 13 und 15 Laubblattpaare ausbilden. Die Lebenszeit eines Blatts beträgt ca. 40 Tage. Der Anteil der Blattmasse zur Gesamtmasse der Hanfpflanze beträgt etwa 25 %, nimmt jedoch gegen Ende mit Absterben der Blätter auf ca. 10 % ab [12] [15] [28].



Abbildung 2: Charakteristische, fingerförmige und gefiederte Hanfblätter mit 5 bis 7 Teilblättern

Die Blüten der Hanfpflanzen sind an der Basis der Laubblattpaarverzweigung bzw. an der Blattachse sowie an der Spitze der Verzweigung und am Sprossenende lokalisiert. Aufgrund der ursprünglichen Zweihäusigkeit der Hanfpflanzen gibt es männliche und weibliche Blüten, die beide jeweils zu einem Blütenstand zusammengefasst sind. Bei diözischen Sorten stehen die Blüten der männlichen Pflanzen in Form einer lockeren Rispe. Der Blütenstand der Weibchen befindet sich ebenfalls im oberen Pflanzendrittel. Jedoch stehen diese kompakter und blattreicher. Bei monözischen Pflanzen sitzt die weibliche Blüte an der Spitze der wenig verzweigten Seitentriebe. Die Männchen sitzen an der Basis bzw. vereinzelt in den Blattachsen [99] [12]. Die männliche Blüte wird als Staubblüte bezeichnet und setzt sich aus einer einfachen Blütenhülle mit fünf Blütenblättern, die fünf Staubgefäße (Antheren) umfassen, zusammen. Die weibliche Stempelblüte setzt sich aus zwei langen, fadenförmigen, weißen, gelben bis rosafarbenen Narben, die aus der Hülle des einblättrigen Blütenkelchs herausstehen, zusammen. Der Kelch ist 2

bis 6 mm lang und umschließt den einsamigen Fruchtknoten (Abbildung 3) [29]. Charakteristisch für die weibliche Blüte sind die Harz absondernden Drüsenhaare (Trichome), die sich an der Hülle des dünnwandigen Blütenkelchs, auch als Samenhüllblätter bezeichnet, befinden (Abbildung 4). Die Drüsenhaare sind auf der gesamten Pflanze (außer Wurzel und Samen) lokalisiert, jedoch befindet sich die größte Drüsenhaardichte auf den Samenhüllblättern der weiblichen Pflanzen [59]. Das Harz besteht zu 80 bis 90 % aus Cannabinoiden sowie ätherische Ölen, Phenolen, Terpenen und Wachsen [83]. Bisher wurden über 100 verschiedene Cannabinoide in der Hanfpflanze entdeckt. Die bisher bekanntesten Cannabinoide sind das psychoaktive Delta-9-Tetrahydrocannabinol (THC) und sein nicht psychoaktiver Gegenspieler Cannabidiol (CBD). Anzahl, Art und Konzentration von Cannabinoiden sind sehr stark von Abstammung und Rasse der Hanfpflanze abhängig. So kommt in den EU-zugelassenen Industriehansorten am häufigsten das Cannabinoid CBD vor. In den Drogenhansorten kommt CBD nach THC als zweithäufigstes Cannabinoid vor. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die CBD-Gehalte der gelisteten EU-Sorten [49].

Tabelle 1: CBD-Gehalt in der EU zugelassener Industriehansorten [49]

Hanfsorte	CBD-Gehalt in %
Beniko	0,7–2,5
C. S.	2,6–2,4
Fedora 17/19	1,4
Felina 34/32	1,3–1,6
Ferimon	1,1–1,6
Fibranova	2,2
Finola	2,0–4,0
Futura 75	1,2–2,4
Kompolti	1,3–2,1
Kompolti hybrid TC	0,79
Lovrin 110	1,3
Secuieni Jubileu	1,2
Tiborszallasi	0,6–2,4
Uniko B	1,2
Uso-31	1,4

Der charakteristische „Cannabisgeruch“, der insbesondere in der weiblichen Blüte deutlich wahrnehmbar ist, wird von flüchtigen ätherischen Ölen, vor allem von dem Geruchsstoff Caryophyllenepoxid, verursacht [29] [28].



Abbildung 3: Männliche geschlossene Staubblüte (links), weiblicher Blütenkelch (rechts)



Abbildung 4: Harz absondernde Drüsenhaare (Trichome) an den Samenhüllblättern des weiblichen Blütenstands

Nach HEUSER (1927) [59] entsteht der Hanfsamen aus dem einsamigen Fruchtknoten, weshalb es sich um eine Frucht handelt und der Hanfsamen aus botanischer Sicht als Nuss („Nüsschen“) bezeichnet wird [59]. Die Hanfnuss ist eine glatte, seitlich zusammengepresste oder fast runde Frucht, die von einer Schale umgeben ist. Die Farbe der Fruchtschale ist hellgrau bis braun, oftmals mit einer Marmorierung (Abbildung 5). Das Tausendkorngewicht der verschiedenen Sorten liegt bei 17 bis 23 g. Der Samen besteht aus dem Embryo und einem dünnen Endosperm. In dem Embryo befinden sich die Anlagen für die Entwicklung von Keimblättern und dem Würzelchen. Daher ist dieser reich an ölhaltigen Reservestoffen. Das Endosperm dient als Energiequelle für den Keimling und ist reich an Stärke. Hinsichtlich der Keimfähigkeit verliert der Hanfsamen relativ zügig seine Fähigkeit zur Keimung. Beträgt diese im Erntejahr noch 95 %, so reduziert sich diese im Folgejahr auf 80 % und nach zwei Jahren ist der Hanfsamen nicht mehr aussaatfähig. Einen erheblichen Einfluss auf den Erhalt der Keimfähigkeit haben die Lagerungsbedingungen. So kann bei Lagerung in niedrigen Temperaturen von 1 bis 2 °C und einer niedrigen relativen Luftfeuchtigkeit der rasche Abbau der Keimfähigkeit verhindert werden [28] [59] [12].



Abbildung 5: Frucht der Hanfpflanze: Hanfnuss

2.4 Zweihäusigkeit und Blühbiologie der Hanfpflanze

Hanf ist von Natur aus diözisch. Dies bedeutet, dass an zwei unterschiedlichen Pflanzen die männlichen und weiblichen Blüten lokalisiert sind. Das Verhältnis von weiblichen und männlichen Pflanzen beträgt in einer diözischen Population nahezu 1:1. Die morphologischen Eigenschaften der weiblichen und männlichen Pflanzen sind sehr unterschiedlich, wodurch Hanf von einem ausgeprägtem Geschlechtsdimorphismus geprägt ist [14]. Die

männliche Pflanze trägt den Namen Femelhanf und die weibliche Pflanze wird auch Hanfhenne genannt. Phänotypisch kann der Femelhanf durch seine größere Wuchshöhe zum Zeitpunkt der Blüte von der Hanfhenne unterschieden werden (Abbildung 6). Er zeichnet sich mit einem rascheren Biomassewachstum und früheren Blühzeitpunkt im Vergleich zur Hanfhenne aus. Dadurch reift der Femelhanf schneller ab als die Hanfhenne. Die männlichen Pflanzen haben eine deutlich verkürzte Vegetationsperiode von 5 bis 6 Wochen im Vergleich zu den Weibchen, die bis zur Samenreife weiterleben. Durch die längere Vegetationsdauer kann die Hanfhenne den vegetativen Rückstand wieder aufholen. Auch die stärkere Verzweigung der männlichen Hanfpflanze in der oberen Hälfte im Gegensatz zur weiblichen Pflanze, die kürzere Seitentriebe ausbildet und nur im oberen Viertel verzweigt, bildet ein charakteristisches Unterscheidungsmerkmal (Abbildung 7) [12] [29]. Die Reproduktion der Hanfpflanze erfolgt hauptsächlich sexuell. Dabei produziert der Femelhanf Pollen mit der Aufgabe, die weiblichen Narben, aus denen sich später die Frucht entwickelt, zu bestäuben. Die Bestäubung erfolgt über den Wind, wobei die Pollen bei günstigen Witterungsbedingungen bis zu 12 km zurücklegen können. Hanf ist eine fremdbefruchtende Kulturpflanze mit einem der meisten Pollen, wobei eine männliche Einzelpflanze in der Lage ist, 30 bis 40 g Pollen zu produzieren. Daher ist es ratsam, bei Vermehrungsanbau einen Mindestabstand von 1000 m zwischen den Beständen einzuhalten [29] [28].

Durch züchterische Anstrengungen wurden aus dem ursprünglichen diözischen Hanf monözische Hanfsorten entwickelt. Bei monözischen Pflanzen sind sowohl die männlichen als auch die weiblichen Blüten auf einer Pflanze lokalisiert. Ein großer Vorteil der einhäusigen Sorten besteht darin, dass alle Pflanzen ein weibliches Verhalten zeigen und damit gleichmäßiger abreifen [12] [53]. Damit reagierte man in der Züchtung auf die veränderten Vermarktungsmöglichkeiten von Hanf. Laut der ungarischen Hanfzüchterin Zuzana Vinta (2019) [46] wurde Hanf früher hauptsächlich zum Zwecke der Fasernutzung auf den europäischen Äckern kultiviert. Daher gingen die Züchtungsanstrengungen hauptsächlich in Richtung eines hohen Faserertrags. Als in den 1990er Jahren in Europa sukzessive das Verbot des Nutzhanfanbaus aufgehoben wurde, war die Züchtung nach dem gesetzlich geforderten maximalen THC-Gehalt von 0,2 % ausgerichtet. Darüber hinaus entwickelte sich zunehmend ein Markt für die Körnernutzung, sodass die Züchtung eines monözischen Hanfs gefordert war [46]. Der monözische Hanf hat neben der gleichmäßigen Abreife den Vorteil, dass er durch den höheren Anteil weiblicher Pflanzen einen höheren Kornertrag realisieren kann als der diözische Hanf. Aus diesem Grund werden in Westeuropa hauptsächlich monözische Sorten, die sich für die Dualnutzung von Fasern und Samen eignen, angebaut. Diözische Sorten sind für die Doppelnutzung ungeeignet, da zum Zeitpunkt der Samenreife der weiblichen Pflanzen der Femelhanf bereits abgereift und stark verholzt ist, sodass keine sinnvolle Faserqualität mehr erreicht werden kann [12] [14].



Abbildung 6: Hanfbestand der diözischen Hanfsorte Finola zum Zeitpunkt der weiblichen Blüte; deutliche Unterscheidung der Hanfhenne vom wuchshöheren und bereits in der Abreife befindlichen Femelhanf



Abbildung 7: Hanfsorte Finola: weibliche Pflanze bzw. Hanfhenne (links) und männliche Pflanze bzw. Femelhanf (rechts)

Hanf ist eine quantitative Kurztagpflanze. Dies bedeutet, dass die Kultur erst bei dem Übergang von langen zu kürzeren Tagen von der vegetativen Phase in die generative Phase übergeht. Welche Intensität der photoperiodische Reiz haben muss, hängt sehr stark vom Ursprungsbreitengrad der Sorte ab [29]. Laut BÖCSA UND KARUS (1997) [12] bedeutet dies, dass Sorten, die ursprünglich aus einer weiter nördlichen Region stam-

men, früher zu blühen beginnen, wenn sie weiter südlich angebaut werden. Dasselbe Prinzip gilt auch andersherum. So werden beispielsweise für die reine Fasernutzung Sorten aus dem südlichen Formenkreis wie Kompolti im Norden (nördlich vom 50. Breitengrad) ausgesät. Dadurch wird die vegetative Phase verlängert, da die Blüte erst sehr spät induziert wird. So ergeben sich höhere Stängelträge, allerdings reifen die Samen nicht mehr aus [12].

2.5 Beschreibung der Entwicklungsstadien der Hanfpflanze

Im Pflanzenbau ist sowohl im Feldversuchswesen als auch im praktischen Ackerbau das Wissen über den Entwicklungsverlauf einer Kulturpflanze unumgänglich. Die Kenntnis über den Entwicklungsstand der Pflanze bildet die Grundlage für alle Maßnahmen, die in der Bestandsführung, wie beispielsweise Düngung oder chemische Unkrautregulierung, notwendig sind. Für eine Standardisierung der Produktionsverfahren wurde in Zusammenarbeit der Biologischen Bundesanstalt, des Bundessortenamtes sowie der Chemischen Industrie (BBCH) die sogenannte BBCH-Skala mit internationaler Gültigkeit eingeführt. Die BBCH-Skala dient der einheitlichen Codierung der phänologisch auf dem Feld erkennbaren Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen. Dabei wird für herkömmliche Ackerkulturen wie Getreide, Mais oder Raps ein zweistelliger Code verwendet. Die erste Ziffer des Codes beschreibt dabei das Makrostadium, wie beispielsweise Keimung, Blattentwicklung oder Bestockung. Die zweite Ziffer dient zur genaueren Charakterisierung des Makrostadiums, weshalb diese auch als Mikrostromadium bezeichnet wird [75].

Aufgrund der Geschlechterausprägung und den damit einhergehenden Unterschieden in der Blütenbiologie reicht die allgemeine BBCH-Skala für den Hanf nicht aus. Aus diesem Grund entwickelte ein Forscherteam aus der Schweiz die allgemeine BBCH-Skala, der ein zweistelliger Code zugrunde liegt, weiter. Dabei entstand ein vierstelliges Dezimalcodesystem. Demnach kann das Wachstum zunächst grob in vier Hauptwachstumsstadien (HWS) eingeteilt werden, dargestellt durch die erste Ziffer des vierstelligen Dezimalcodes. Unterteilt wird folgendermaßen:

- Code 0: Keimung und Auflaufen,
- Code 1: Vegetatives Wachstum,
- Code 2: Blüte und Samenbildung,
- Code 3: Seneszenz.

Die zweite Ziffer des Codes beschreibt das Geschlecht bzw. die Einhäusigkeit der Pflanze. Männliche Pflanzen bekommen die Ziffer 1, weibliche die Ziffer 2 und einhäusige Pflanzen die Ziffer 3. Die dritte und vierte Ziffer des Codes definieren das exakte Entwicklungsstadium der Pflanze.

Die Keimung des Samens beginnt mit Wasseraufnahme und Erscheinen des Würzelchens (Code: 0001). Nachdem sich der Keimling durch die Bildung des *Hypokotyls* (unterster Sprossabschnitt) aus dem Boden gestreckt hat, wachsen die beiden Keimblätter (Code: 0003) (Abbildung 8). Die Keimdauer liegt je nach Umweltbedingungen bei 3 bis 7 Tagen. Das Keimblatt ist im Gegensatz zu den nachfolgenden Laubblättern am Stängel festgewachsen.



Abbildung 8: *Ende der Hauptwachstumsstadien Keimung und Auflaufen (Code 0003) (links), erstes Laubblattpaarstadium (Code 1002) (rechts)*

Das vegetative Wachstumsstadium ist gekennzeichnet durch die Stängel- und Blattentwicklung. Zunächst beginnt die Entwicklung bis zum fünften Laubblattpaar sehr zögerlich. Danach herrscht die Periode des schnellen Wachstums, in der es zu einer intensiven Entwicklung des Stängels und folglich der Internodien kommt. Laut CLARKE (1997) [29] kann Hanf in dieser Zeit bis zu sieben Zentimeter pro Tag in die Höhe wachsen. In diesem Zeitraum hat Hanf den höchsten Wasser- und Nährstoffbedarf. Unter den landwirtschaftlichen Nutzpflanzen zählt Hanf zu einer der am höchsten wachsenden. So erreichen die Pflanzen eine Stängellänge von 2,5 bis 3 m. Hinsichtlich der Blätterentwicklung bildet Hanf insgesamt sieben bis zwölf Blattpaare. Die einzelnen Mikrostanien des vegetativen Wachstums werden anhand der Anzahl voll entwickelter (> 1 cm) Blattpaare definiert. So bekommt das erste Laubblattpaarstadium den Code 1002, das zweite Blatt-

paar Code 1004 und das n. Blattpaar demnach Code 10xx (xx = 2n) (Abbildung 9) [74] [14] [29].



Abbildung 9: Fünftes Laubblattpaarstadium (Code 1010) (links), zehntes Laubblattpaarstadium (Code 1020) (rechts)

Den Übergang der vegetativen Phase zur generativen Phase und den Beginn des Hauptwachstumsstadiums der Blüten und der Samenbildung kann man an der Ausbildung der Verschiebung der Blattstellung erkennen. Im HWS 1 sind die Blätter eines Paares gegenüber angeordnet. Mit Einläuten der Blütezeit verschieben sich die Blattpaare immer mehr, bis die Blattstellung von gegenständig zu wechselständig wechselt. Der erste Punkt der wechselständigen Blattstellung wird als „GV-Punkt“ bezeichnet (Abbildung 10) [12]. Mit Erreichen des GV-Punkts bilden sich häufig schon erste Blütenknospen (Primordia) (Code: 2001) in den Blattachsen, die jedoch geschlechtlich noch unspezifisch sind. Anschließend beginnt die Blütenanlage in mehreren Phasen. Der Zeitraum zwischen Anlegen der Blütenprimordia und der vollen Blüte liegt bei 4 bis 6 Wochen. Bei diözischen Pflanzen erscheint die männliche staminate Blüte (Code: 2100) ca. zwei Wochen vor der weiblichen [74]. Die männliche Blüte beginnt, wenn sich erste Einzelstaubblüten zur Pollenschüttung öffnen (Code: 2101). Dabei öffnen sich zuerst die untersten Blüten an dem verzweigten Blütenstand. Die männliche Vollblüte wird definiert anhand mindestens 50 % geöffneter Staubbeutel (Code: 2102). Dieses Stadium ist von Bedeutung zur Bestimmung des exakten Erntetermins für Faserhanf. Um einen hohen Faserertrag sowie hohe Qualität zu realisieren, wird im Höhepunkt der männlichen Blüte,

die daher auch als technische Reife bezeichnet wird, geerntet. Wenn mehr als 95 % der Staubbeutel geöffnet sind und ihre Pollen ausgeschüttet haben, gilt die männliche Blüte als abgeschlossen (Code: 2103) (Abbildung 11) [29] [74] [12].



Abbildung 10: „GV-Punkt“ (Code 2000): Übergang der Blattstellung von gegen- zu wechselständig



Abbildung 11: Anlage der männlichen Blüten (Code: 2100) (links); Ende der männlichen Blüte (> 95 % offen) mit pollensammelnder Hummel (rechts)

Im Gegensatz zur männlichen ist die weibliche Blüte außerordentlich unscheinbar. Sie beginnt zunächst mit dem Erscheinen der grünen, eher unauffälligen Kelchblüten an den Blattknoten (Code: 2200). Danach werden erste Narben (Code: 2201) sichtbar und bei 50 % ausgebildeter Kelche (Code: 2202) ist der Höhepunkt der weiblichen Blüte erreicht. Einige Tage nach der erfolgreichen Befruchtung verfärben sich die Narben rot und der Fruchtknoten schwillt an. Dies lässt den Beginn einer Fruchtentwicklung erkennen (Code: 2203) (Abbildung 12). Bis zur Samenreife, bei der mehr als 50 % der Samen hart sein müssen, vergehen weitere 4 bis 6 Wochen (Code: 2204). Zu diesem Zeitpunkt ist die technische Reife für die Samenernte erreicht. Bei der Doppelnutzung (Faser und Samen) wird auch dieses Stadium abgewartet [29] [53] [74].



Abbildung 12: Beginn der Samenreife (Code 2203), Anschwellen des Fruchtknotens und rotbraune Verfärbung der Narben

Monözische Pflanzen bilden männliche und weibliche Geschlechtsorgane auf einer Pflanze aus. Entwicklung und Verteilung der männlichen und weiblichen Blüten können sehr vielfältig sein. Zum größten Teil befinden sich jedoch die männlichen Staubbeutel quirlförmig an der Achse der primären Seitentriebe. An den Spitzen dieser Seitentriebe sitzen die weiblichen Blüten (Abbildung 13). Da das Verhalten einhäusiger Hanfformen eher weiblich geprägt ist, erfolgen Beschreibung und Codierung der Blüte (Code: 2302) und Samenreife (Code: 2306) analog der diözischen, weiblichen Blüte und Samenreife [74] [12].



Abbildung 13: Monözischer Blütenstand, Beginn der männlichen Blüte (Code: 2304)

Das dritte und letzte HWS der Seneszenz wird mit dem Austrocknen des Laubs (Code: 3001) und des Stängels (Code: 3002) sowie Zerfall des Stängels (Code: 3003) beschrieben [74].

Insgesamt dauert die Blüte etwa 2 bis 3 Wochen. Die Hanfblüte wird charakterisiert durch einen inhomogenen Ablauf. So findet man alle Entwicklungsstadien der Blüte in einem Bestand vor. Zudem kann in monözischen Populationen (v. a. französische Sorten) der Anteil rein männlicher Pflanzen bis zu 30 % betragen. Daher wird in der praktischen Bestimmung des Entwicklungsstadiums am Feld eine Stichprobe von 50 bis 100 Pflanzen verwendet, wobei im Parzellenversuch für wissenschaftliche Untersuchungen eine Stichprobengröße von 30 Pflanzen ausreicht. Dabei wird der Grenzwert von 50 % verwendet. Angewandt heißt, dass das Stadium der männlichen Vollblüte vorliegt, wenn mehr als 50 % der Pflanzen innerhalb einer Population den Code 2102 erreicht haben [12] [74].

Der praktische Nutzen im exakten Erkennen der Wachstumsstadien des Hanfbestands liegt im hohen Einfluss des Erntetermins auf die Qualitätsparameter (Trockenmasseertrag, Faserertrag, Faserqualität, Korntrug, Ölertrag, CBD-Konzentration) begründet [74]. Zudem ist das Erkennen des Geschlechts in der Praxis von Bedeutung. Dies zeigte der „Clone Scam“-Fall in Kentucky: Ein Landwirt kultivierte Hanf zur Gewinnung des Cannabinoids Cannabidiol (CBD). Um möglichst hohe CBD-Gehalte zu erreichen, wird in den USA Hanf vegetativ vermehrt, sogenannte Klone, und damit rein weibliche Populati-

onen erzeugt. Jedoch stellte sich in diesem Fall das Saatgut als „Ramsch“ heraus, da am Feld 50 % männliche Pflanzen standen, die keine Cannabinoide produzieren. Der Landwirt bezifferte seinen dadurch entstandenen Schaden auf 200.000 US-Dollar [11].



Abbildung 14: Die verschiedenen Geschlechter der Hanfpflanze in unterschiedlichen Stadien aus einem Bestand (von links nach rechts): Femmelhanf Beginn der Blüte (Code: 2101), monözischer Hanf männliche Blüte (Code: 2304) und Hanfhenne Beginn der Samenreife (Code: 2203)

Tabelle 2: *Dezimalcodesystem zur Beschreibung der Hauptentwicklungsstadien (HWS) der Hanfpflanze (verändert nach Mediavilla et al. 1998 [74]), ohne HWS Seneszenz)*

Code	Beschreibung
HWS: Keimung und Auflaufen	
0000	Trockener Samen
0001	Erscheinen der Wurzel
0003	Entfalten der Keimblätter
HWS: Vegetatives Wachstum	
1002	1. Blattpaar
1004	2. Blattpaar
10xx	n. Blattpaar
HWS: Blüten- und Samenbildung	
2000	GV-Punkt
2001	Blütenprimordia (geschlechtsunspezifisch)
♂ zweihäusig	
2100	Blütenbildung (geschlossene Blüten)
2101	Beginn der Blüte (erste geöffnete Blüten)
2102	Blüte (50 % offene Blüten)
2103	Ende der Blüte (95 % offen)
♀ zweihäusig	
2200	Blütenbildung (Kelche, keine Narben)
2201	Beginn der Blüte (erste Narben)
2202	Blüte (50 % der Kelche ausgebildet)
2203	Beginn der Samenreife (erste harte Samen)
2204	Samenreife (50 % hart)
2205	Ende der Samenreife (95 % hart)
♂ + ♀ einhäusig	
2300	Weibliche Blütenbildung (Kelche)
2301	Beginn der weiblichen Blüte (erste Narben)
2302	Weibliche Blüte (50 % Kelche ausgebildet)
2303	Männliche Blütenbildung
2304	Männliche Blüte
2305	Beginn der Samenreife
2306	Samenreife (50 % hart)
2307	Ende der Samenreife (95 % hart)

2.6 Bestandsführung und Produktionstechnik bei Hanf

2.6.1 Standortansprüche

Hanf ist eine sehr widerstandsfähige Pflanze und wächst unter fast allen Bedingungen. Jedoch gilt auch hier, wie in jedem anderen Pflanzenproduktionssystem: Je günstiger die Bodeneigenschaften sind, desto höhere Erträge können im Hanfanbau erzielt werden [14]. Hanf bevorzugt tiefgründige, humose und lockere Böden mit guter Wasserversorgung. Der pH-Wert sollte zwischen 6 und 8 liegen. Bodentypen wie Schwarzerde, Pararendzina, Braunerde und Parabraunerde weisen diese Eigenschaften auf. Ungeeignet für den erfolgreichen Hanfanbau sind nährstoffarme, flachgründige Sandböden. Besonders empfindlich reagiert Hanf auf Sauerstoffmangel mit Wachstumsdepression und Ertragsminderung. Deshalb sollte von der Kultivierung von Hanf auf schweren Tonböden und Pseudogleyböden mit hohem Risiko zur temporären oder dauerhaften Verdichtung und Staunässe abgesehen werden [9] [12] [87]. Ein weiterer wichtiger Erfolgsfaktor ist die kontinuierliche Wasserversorgung über die Vegetationsperiode hinweg. Besonders in der Periode des raschen Längenwachstums hat Hanf einen großen Wasserbedarf. Im Verlauf der Vegetationsperiode entwickelt er bei günstigen Bodeneigenschaften ein Wurzelsystem von bis zu 2 bis 3 m Tiefe und kann damit aus dem Wasserreservoir des Unterbodens schöpfen [57] [78]. Untersuchungen zeigten, dass Faserhanf im Zeitraum der Vegetationsperiode hinweg mindestens 200 bis 300 mm Niederschlag benötigt [12]. Allerdings nutzt Hanf ab dem Zeitpunkt des Reihenschlusses den Niederschlag aufgrund niedriger Evaporation und des günstigen Mikroklimas im Bestand sehr effizient [12]. Der Transpirationskoeffizient von Hanf beträgt 300 bis 500 l/kg TM. Das bedeutet, dass die Kultur für die Bildung von 1 kg Trockenmasse (TM) eine Wassermenge von 300 bis 500 l Wasser braucht. Damit liegt Hanf im unteren Mittelfeld im Vergleich zu anderen gängigen in Deutschland kultivierten Feldfrüchten. Beispielsweise haben Weizen, Kartoffeln und Raps mit 500 bis 600 l/kg TM einen höheren und Zuckerrüben und Mais mit 300 bis 400 l/kg TM einen niedrigeren Transpirationskoeffizienten [12] [14] [71].

Für das Pflanzenwachstum ist neben der ausreichenden Versorgung mit Wasser auch der Wärmebedarf für die Kultur Hanf erfolgsentscheidend. Faserhanf braucht vom Feldaufgang bis zur Ernte 110 bis 115 Vegetationstage sowie eine Wärmesumme von 1.900 bis 2.000 °C [12]. Die Wärmesumme stellt die Summe der durchschnittlichen Tagesmitteltemperaturen innerhalb eines bestimmten Zeitraums dar. Die Wärmesumme wird korrigiert um den Schwellenwert, bei dem die Pflanze physiologisch aktiv ist [55]. Laut RANALLI (1999) [86] liegt dieser Schwellenwert bei Hanf bei 0 °C. Um die Samenreife zu erreichen, benötigt Hanf in Abhängigkeit von der Sorte eine Wärmesumme von ca. 2.700 bis 3.000 °C und bis zu 150 Vegetationstage. Im Vergleich zu anderen Sommerungen, wie beispielsweise Erbse mit einem Wärmesummenbedarf von 2.100 bis 2.800 °C oder Sommergerste mit 1.700 bis 2.500 °C liegt Hanf mit seinem Wärmeanspruch im Durchschnitt. Somit erreicht der standortangepasste und sortengerechte Hanfanbau, unter den klimatischen Bedingungen in Deutschland, die technische Reife [12] [71].

2.6.2 Bodenbearbeitung und Aussaat

Die Kultur Hanf hat hohe Ansprüche an die Bodenstruktur. Für einen guten Hanfertrag ist es erfolgsentscheidend, optimale Bedingungen für die Bedürfnisse von Hanf zu schaffen. Hierzu zählt die standortangepasste Bodenbearbeitung. Ziel der Maßnahme ist es, den Boden so zu bearbeiten, dass die Erntereste der Vorfrucht optimal eingearbeitet, Niederschläge festgehalten werden und eine ausreichende Durchlüftung des Bodens vorherrscht [12]. Laut BOULOC et al. (2013) [14] gilt es, insbesondere bei der Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung darauf zu achten, dass keine Verdichtungen im Bodengefüge entstehen. Hanf reagiert darauf sehr empfindlich mit einem lückigen und verzögerten Feldaufgang (Abbildung 15). Im Verlauf der Wachstumsperiode bildet die Pfahlwurzel eine L-Form am Verdichtungshorizont aus und verliert damit besonders in Zeiten der Trockenheit stark an Leistungsfähigkeit. Es kommt zu Wachstumsdepressionen und Ertragseinbußen (Abbildung 16).



Abbildung 15: *Lückiger und verzögerter Feldaufgang in den Fahrspuren quer zur Saatrichtung*



Abbildung 16: Wachstumsdepression des Hanfbestands an dem Verdichtungshorizont des Bodens

Aus diesem Grund sollte auf tonhaltigen Böden eine Herbstfurche mit Pflug oder Scheibenegge durchgeführt werden. Bei Böden mit einem hohen Sandanteil kann diese Bearbeitungsmaßnahme in das Frühjahr verschoben werden. Nach der Bodenbearbeitung sollte eine Rückverdichtung mittels einer Walze erfolgen, um den Boden zu schließen und den kapillaren Wasseraufstieg zu ermöglichen. In älterer pflanzenbaulicher Literatur wird die Schwarzbrache empfohlen. Hier wird über die Frost- und Tauzyklen in den Wintermonaten (auch Frostgare genannt) ein wachstumsförderndes Bodengefüge geschaffen [9] [87] [59]. Jedoch ist diese Empfehlung aufgrund der hohen Erosionsgefahr und damit verbundenen Nährstoffauswaschung der „Schwarzbrache“ heutzutage nicht mehr haltbar. Deshalb sollte nach der Bodenbearbeitungsmaßnahme im Herbst eine Zwischenfrucht angebaut werden [12]. Zur einfacheren Bearbeitung ist eine abfrierende Zwischenfruchtart zu wählen, die vor der Saat seicht eingearbeitet wird [57]. Die anschließende feine Saatbettbereitung sollte eine gleichmäßige Saattiefe von 3 bis 4 cm ermöglichen. Eine exakte Ablagetiefe ist entscheidend, da bei zu flacher Saat die Gefahr besteht, dass das Saatbeet austrocknet und es in der Folge zu einem sehr ungleichmäßigen Feldaufgang kommt. Auch eine tiefere Saat führt vor allem auf schwereren Mineralböden zu einer unregelmäßigen Keimung und damit zu einem sehr lückigen Bestand [12].

Die Terminierung der Hanfaussaat hängt stark von den Witterungsbedingungen und vor allem der Bodentemperatur ab. Hanf wird in unseren Breitengraden von Ende März bis Ende Mai gesät. Hanf ist bis zum 5-Laubblattpaar-Stadium empfindlich gegenüber Spätfrost mit einer Temperatur von weniger als $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ [14]. Laut BÓCSA UND KARUS (1997) [12] keimt Hanf bereits bei einer Temperatur von 1 bis $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jedoch ist es zweckmäßiger, Hanf erst ab einer Bodentemperatur von 8 bis $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ zu säen, da er ab dieser Temperatur eine schnelle Keimentwicklung und raschen Feldaufgang innerhalb von 8 bis 12 Tagen aufweist. FAUX et al. (2013) [44] konnten in einem zweijährigen Versuch feststellen, dass ein früherer Saattermin zu einem signifikant höheren Stängel- und Kornertrag führte als ein späterer Saatzeitpunkt. Zum selben Ergebnis kam auch VAN DER WERF (1994) [101]: Durch die frühe Saat (Ende März) konnte im Vergleich zur späteren Saat (Mitte April) eine Ertragssteigerung von 1,4 t/ha Stängel erreicht werden. Als Ursache wird die längere Vegetationsperiode zwischen Aussaat und Blühzeitpunkt gesehen. Jedoch muss zwischen dem potenziell höheren Ertrag und dem Risiko von Spätfrösten bei der Wahl des Aussaattermins abgewogen werden [101]. Aufgrund seiner Abstammung wird beim Hanfanbau auch vom „kasachischen Prinzip“ gesprochen. Kasachstan ist geprägt von einem kontinentalen Klima mit sehr kalten Wintern mit bis zu $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ sowie heißen Sommern mit $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ und daraus folgend einer kurzen, intensiven Vegetationsperiode mit knappem Wasserangebot in den Sommermonaten. Das kasachische Prinzip bedeutet Säen, unmittelbar nachdem der Boden vom Frost aufgetaut ist und die Felder befahrbar sind. Der frühe Aussaattermin ist entscheidend, um das noch vorhandene Wasserreservoir aus den Wintermonaten optimal für eine rasche Jugendentwicklung auszunutzen. Da in den letzten Jahren auch unter unseren klimatischen Bedingungen zunehmend eine ausgeprägte Frühjahrstrockenheit und kaum bestandsbeeinflussende Spätfröste auftreten, tendieren Empfehlungen aus der Praxis zu einer früheren Aussaat [54].

Saatstärke und Reihenabstand hängen sehr stark von der Verwertungsrichtung und damit den angestrebten unterschiedlichen Qualitätszielen ab. Wird Hanf zur Fasernutzung für die Textilindustrie kultiviert, ist das Ziel, möglichst lange und feine Fasern mit einem Stängeldurchmesser von weniger als 10 mm zu gewinnen. Daher werden bei dieser Nutzungsrichtung eine hohe Aussaatstärke von 70 bis 80 kg/ha und ein enger Reihenabstand von 12 bis 20 cm empfohlen [12]. In älterer Literatur werden sogar Saatstärken von 80 bis 120 kg/ha angegeben [9]. Bayerische Versuche haben jedoch gezeigt, dass sich der Röststrohertrag bei einer Aussaatstärke von 60 kg/ha nicht signifikant vom Ertrag bei der höheren Aussaatstärke von 80 kg/ha unterschied [4]. Als Ursache dafür wird der „*self-thinning effect*“, der erstmals von VAN DER WERF 1994 [101] beschrieben wurde, gesehen. Er stellte fest, dass bei einer Bestandesdichte, die über das Optimum hinausgeht, der Trockenmasseertrag reduziert wird. Der Ertragsverlust resultiert aus der innerartlichen Konkurrenz um Licht, Wasser und Nährstoffe. Zum einen sterben die schwächeren Pflanzen ab und zum anderen bleiben einige Pflanzen in ihrer Entwicklung sehr stark zurück. Diese werden als Unterhanf bezeichnet und sind für die Fasernutzung ungeeignet [101].

Wird Hanf mit dem Ziel der technischen Fasernutzung, wie beispielsweise als Zellstoff für die Papiergewinnung oder Faserverbundstoffe angebaut, werden niedrigere Saat-

stärken empfohlen. Besonders in Frankreich ist Hanf für die Papierindustrie die Hauptverwertungsrichtung. So empfiehlt das französische Agrarforschungsinstitut „Terres innova“ [98] eine Aussaatstärke von 40 bis 50 kg/ha, mit dem Ziel, eine optimale Bestandesdichte von 200 bis 250 Pflanzen/m² zu erreichen.

Beim Hanfanbau mit dem Ziel, hohe Samenerträge zu generieren, ist es zweckmäßig, auf niedrigere Saatstärken von 5 bis 30 kg/ha und weitere Reihenabstände von 20 bis 40 cm zu setzen [58] [76] [108]. Es hat sich gezeigt, dass sich bei hohen Bestandesdichten der Hanf kaum oder nur an der Spitze verzweigt. Jedoch hängt das Ertragspotenzial der Samenproduktion von der Stärke der Verzweigung der weiblichen oder einhäusigen Pflanzen ab, da im oberen Viertel Fruchtstand und Samenansatz ausgebildet werden [29]. Im bayerischen Testanbau von Körnerhanf aus dem Jahr 1996 wurden an fünf Standorten zwei Reihenabstände von 20 cm und 40 cm sowie fünf Saatstärkenstufen von 5 bis 25 kg/ha, was 30 bis 150 Körnern/m² entspricht, untersucht. Als Fazit konnte festgestellt werden, dass bei dem weiteren Reihenabstand von 40 cm höhere Samenerträge realisiert werden konnten – jedoch mit der Einschränkung, dass bei dem weiteren Reihenabstand eine mechanische Unkrautregulierung notwendig war. Das Optimum hinsichtlich der Saatstärke deutete sich bei 80 bis 100 Körnern/m² (ca. 18 kg/ha) an [4]. Das bestätigen auch österreichische Erfahrungen aus diesem Zeitraum. HEß UND VOGL (1997) [58] empfehlen aus den Anbauerfahrungen eine Reihenweite von 45 cm und eine Saatstärke von 10 bis 15 kg/ha. Auch HÖPPNER (1997) [60] empfiehlt zum Zwecke der Samennutzung niedrigere Saatstärken von 10 bis 20 kg/ha, um eine Bestandesdichte von 50 bis 100 Pflanzen/m² zu erreichen. Aktuellere Ergebnisse zeigten, dass in Jahren mit normalem Witterungsverlauf die niedrigere Saatstärke von 50 Körnern/m² (ca. 10 kg/ha) einen höheren Kornenertrag realisieren konnte als die hohe Saatstärke von 250 Körnern/m² (ca. 40 kg/ha) [81].

Für den Hanfanbau für die Dualnutzung von Faser und Körnern gibt es in der pflanzenbaulichen Literatur keine Empfehlung. Jedoch gibt es aktuelle pflanzenbauliche Versuche, wie z. B. der Versuch von TANG et al. (2016) [97], in dem verschiedene Hanfsorten mit dem Ziel der Dualnutzung angebaut wurden, um die geeignetsten Sorten für diese Nutzungsrichtung zu selektieren. Dabei wurden eine Saatstärke von 240 kg/m², was ca. einer Aussaatmenge von 50 kg/ha entspricht, und ein Reihenabstand von 15 bis 25 cm ausgewählt. Auch FAUX et al. (2013) [44] kultivierten Dualnutzungshanf und verwendeten hierbei eine Aussaatmenge von 55 bis 60 kg/ha und einen Reihenabstand von 12 cm. Aus diesen verwendeten Saatparametern kann geschlossen werden, dass bei der Aussaat für Dualnutzungshanf ein Kompromiss eingegangen werden muss. Zum einen soll auf der Fläche für die Fasernutzung ein möglichst hoher Stängelenertrag mit feinen und langen Fasern erzielt werden. Zum anderen soll aber auch ein hoher Kornenertrag generiert werden. Daher wird die Pflanzdichte im Gegensatz zum reinen Faserhanfanbau reduziert, um auch einen profitablen Kornenertrag zu generieren. Dasselbe gilt für die Wahl des Reihenabstands. Dieser sollte nicht so weit wie beim reinen Körnerhanf sein, da ansonsten die Stängel für eine Fasernutzung zu dick werden. Deshalb wird auf einen Reihenabstand von 15 bis 20 cm gesetzt [108].

In den letzten Jahren wurde zunehmend Nutzhanf für die Gewinnung von Cannabidiol (CBD), das aus den Blüten der Pflanze gewonnen wird, angebaut. In Deutschland gibt es zu den agronomischen Anforderungen für den CBD-Hanfanbau keine Forschungsergebnisse bzw. Empfehlungen aus pflanzenbaulicher Literatur. In den USA hingegen wird seit 2014, vor allem in dem Bundesstaat Kentucky, zu diesem Thema geforscht. Die Agrarwissenschaftler MUNDELL UND WILLIAMS (2018) [76] schlussfolgerten aus ihren Forschungsarbeiten zu CBD-Hanf folgende Empfehlungen für die Aussaat:

- Aussaatstärke: 35–45 kg kf Kö/ha,
- Reihenabstand: 20–40 cm.

Die Aussaatstärke wird hier anders als bei uns üblich nicht in kg/ha, sondern um den Faktor der Keimfähigkeit korrigiert in kg keimfähige Körner pro ha angegeben. Dieser Ansatz (im amerikanischen als „pure live seeding“ bekannt) berücksichtigt, dass je nach Qualität und Sorte das Saatgut unterschiedliche Keimfähigkeiten aufweist und sich dadurch erhebliche Unterschiede in der Aussaatmenge ergeben können.

Bei der Wahl der richtigen Saatstärke sind jedoch nicht nur agronomische Faktoren von Bedeutung, sondern auch ökonomische Gründe. So nehmen laut BÒCSA UND KARUS (1997) [12] die Saatgutkosten einen Anteil von 20 % auf der Kostenseite des Deckungsbeitrags ein. Hinsichtlich der Saatechnik kann für Hanf eine herkömmliche Getreidedrille, insbesondere für Faserhanf verwendet werden. Da sich für Körnerhanf weitere Reihenabstände als vorteilhaft erwiesen haben und Saatgut eingespart werden kann, kommen hier auch vermehrt Einzelkornsämaschinen zum Einsatz. OFNER (2014) [81] stellte im dreijährigen Mittel bei der Einzelkornaussaat einen statistisch signifikanten höheren Ertrag von 944 kg/ha fest als bei der Drillsaatvariante mit einem Durchschnittsertrag von 670 kg/ha. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass bei Einsatz der Einzelkornaussaat weitere Reihenabstände vorherrschen. Dadurch kommt es zu einem späteren Reihenschluss und somit zu höherem Unkrautdruck. Deshalb wird bei weiteren Reihenabständen eine mechanische Unkrautregulierung mit der Hacke empfohlen [4].

2.6.3 Nährstoffbedarf und Düngemanagement

Hinsichtlich des Nährstoffbedarfs nimmt Hanf im Vergleich zu anderen Ackerbaukulturen einen mittleren Platz ein. Hanf hat einen Stickstoffbedarf von ungefähr 80 bis 120 kg N/ha [71]. Laut dem GELBEN HEFT (2018) [110] hat Hanf als Ganzpflanze einen N-Bedarf von 160 kg/ha bei einem Ertragsniveau von 150 dt FM/ha, mit einer Trockenmasse von 40 %. Dies entspricht einen TM-Ertrag von 60 dt TM/ha. Der Nährstoffbedarf steht im direkt proportionalen Verhältnis zum Ertrag. So beziffert BOULOC ET AL. (2013) [14] den Makronährstoffbedarf pro Tonne Trockenmasse wie folgt:

- 18–24 kg Stickstoff (N),
- 5–10 kg Phosphat (P_2O_5),

- 20–40 kg Kaliumoxid (K_2O),
- 30–40 kg Calciumoxid (CaO),
- 8–10 kg Magnesiumoxid (MgO).

Ähnliche Entzüge stellen auch BÖCSA UND KARUS (1997) [12] fest. Für ein erfolgreiches Düngemanagement ist das Wissen über die Nährstoffaufnahme der Pflanze im Verlauf der Vegetationsperiode entscheidend, um daraus die richtige Terminierung der Düngergabe und Düngerart ableiten zu können. Den höchsten Bedarf an Nährstoffen hat Hanf in der Periode des vegetativen Wachstums Mitte Mai bis Ende Juni. In dieser Phase wächst Hanf durchschnittlich 3 bis 5 cm und in Spitzenjahren bis zu 11 cm pro Tag in die Länge. Um diese rasche Biomasseentwicklung realisieren zu können nimmt die Pflanze in diesem Stadium pro Tag 3 bis 4 kg N/ha, 3 bis 6 kg K_2O /ha und 0,25 bis 0,64 kg P_2O_5 /ha auf. Am Ende dieses Entwicklungsstadiums, d. h. bis zum Zeitpunkt vor der Blüte, hat die Kulturpflanze 79 % ihrer totalen N-Aufnahme und 77 % ihrer totalen K_2O -Aufnahme abgeschlossen. Die Phosphoraufnahme hingegen verläuft kontinuierlich bis zur Blütenausbildung bzw. zum Beginn der Samenreife im August [12] [64].

Demnach ist es ertragsentscheidend, dass Hanf in der vierten bis zehnten Wachstumswoche die Nährstoffe, insbesondere Stickstoff, pflanzenverfügbar vorliegen. Meistens wird der Dünger zur Saat von Hanf gegeben. In einem zweijährigen Feldversuch in Irland wurde der Zeitpunkt der mineralischen Düngergabe variiert, mit dem Ziel, durch eine zeitlich optimierte Düngerstrategie einen höheren Output erzeugen zu können. Es wurden die vier Varianten Düngung a) zur Saat, b) zum Feldaufgang, c) nach Feldaufgang sowie d) Splittung zu gleichmäßigen Teilgaben zu den drei Terminen getestet. Ergebnis war, dass die unterschiedliche Terminierung und auch die Splittung der Düngergaben keinen signifikanten Einfluss auf den Ertrag von Hanf hatten [45].

Zahlreiche Studien bewiesen den starken Ertragseinfluss, den die Stickstoffdüngung erreichen kann. AMADUCCI et al. (2002) [1] stellen in einem Stickstoffsteigerungsversuch fest, dass pro kg gedüngten Stickstoff der Trockenmasseertrag des Stängels von Faserhanf um 20 kg zunahm. Aus der Sichtung verschiedener Feldversuche aus den Jahren 1997 bis 2014 kann auf ein N-Düngeoptimum für Faserhanf von 80 bis 160 kg N/ha geschlossen werden. Die exakte Höhe der Düngung resultiert aus der Ertragserwartung, der Nachwirkung der Vorfrucht, dem mineralischen Stickstoffgehalt des Bodens vor der Saat N_{min} sowie dem Stickstoffnachlieferungspotenzial des Bodens über die Vegetationsperiode [45] [64] [108] [104] [55]. IVONYI et al. (1997) [64] zeigten in einem Stickstoffsteigerungsversuch im Faserhanf, dass eine Erhöhung der Düngung bis 160 kg N/ha die höchsten Stängelträge lieferte. Zwischen den Düngegraden 80 kg N/ha und 160 kg N/ha konnte eine Ertragssteigerung um 4,5 t/ha realisiert werden. Eine darüber hinausgehende Düngung führte zu keinem signifikanten Mehrertrag. Ähnliches konnten auch FINNAN UND BURKE (2013) [45] feststellen. Die Düngegraden im Versuch reichte von 0 bis 150 kg N/ha. Das Düngeoptimum lag bei 120 kg N/ha. Auch hier führte eine Düngung über das Optimum hinaus zu keiner Ertragssteigerung mehr. Stickstoff hat einen ausgeprägten Einfluss auf das Biomasseentwicklungspotenzial von Hanf. So führen sehr hohe

Stickstoffgaben zunächst zu einem höheren Ausgangsbestand als bei einer niedrigeren Düngergabe. Jedoch kommt es im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode zunehmend durch die innerartliche Konkurrenz um Licht und Wasser zur Selbstausdünnung. Ein niederländischer Versuch zeigte in diesem Zusammenhang, dass es bei einer Düngung von 200 kg N/ha es zu einer Selbstausdünnung von 25 % zum Erntetermin kam und bei der niedrigeren Düngestufe (80 kg N/ha) lediglich zu einer Reduktion von 5 % [101].

Für neuere Nutzungsrichtungen wie Körnerhanf, Dualhanf oder CBD-Hanf gibt es weniger Studien und Empfehlungen zum Nährstoffbedarf. Im GELBEN HEFT (2018) [110] wird nur der N-Bedarfswert für die Ganzpflanzennutzung publiziert und dies zielt damit auf den Faserhanf ab. Eine kanadische Arbeit aus dem Jahr 2004 untersuchte den Einfluss der Stickstoffdüngung auf den Ertrag von Körnerhanf in einem dreijährigen Stickstoffsteigerungsversuch (2000 bis 2002) von 40 bis 160 kg N/ha und einem durchschnittlichen N_{\min} -Gehalt von 40 kg N/ha. Dabei konnte festgestellt werden, dass der Kornertrag mit zunehmender N-Düngung stieg. Jedoch nahm die N-Effizienz mit zunehmender N-Düngermenge ab. Das bekannte Prinzip des sinkenden Grenzertrags trifft auch bei Körnerhanf zu. Ein Düngeoptimum konnte hierbei bei 120 kg N/ha ausgemacht werden [102]. Auch MUNDELL UND WILLIAMS (2018) [76] empfehlen eine ähnliche N-Aufwandmenge von 110 kg N/ha in Körnerhanf. Auch für Dual- und CBD-Hanf gibt es wenig Literatur zur optimalen N-Aufwandmenge. MUNDELL UND WILLIAMS (2018) [76] empfehlen auch hier aufgrund der Erfahrungen aus den pflanzenbaulichen Versuchen 110 kg N/ha für Dualnutzungshanf und für CBD-Hanf 56 bis 110 kg N/ha.

Als Düngerart kommen mineralische wie auch organische Düngerformen infrage. In älterer pflanzenbaulicher Literatur aus den Jahren 1928 bis 1953 wird empfohlen, dass Stallmist im Herbst vor Hanf ausgebracht werden sollte. Zudem soll vor der Saat eine mineralische Düngung erfolgen [9] [87]. Durch den Strukturwandel, der auch die Tierhaltung in der Landwirtschaft stark verändert hat, liegt der organische Dünger heutzutage meist als Gülle oder Biogasgärrest vor. Durch die Novellierung der Düngeverordnung in Bayern ist die organische Düngung sehr stark reglementiert worden. Daher kommt bei der Kultur Hanf nur noch eine organische Düngergabe im Frühjahr vor der Saat infrage. Hier ist zu beachten, dass je nach Herkunft und Inhaltsstoffzusammensetzung die organischen Dünger ein Mineraldüngeäquivalent von 10 bis 60 % aufweisen. Aufgrund der heterogenen Zusammensetzung organischer Dünger ist eine jährliche Inhaltsstoffanalyse ratsam, um die optimale N-, P- und K-Menge zu düngen. Je nach Nährstoffzusammensetzung des organischen Düngers und des Bodennährstoffstatus ist eine mineralische Feinjustierung mit einem NPK-Volldünger empfehlenswert [12]. Beim Einsatz eines organischen Düngers ist indes zu beachten, dass es in manchen Jahren zu einer späteren Mineralisierung der organischen Substanz im Verlauf der Vegetationsperiode und in der Folge zu einer Verzögerung der Samenreife kommen kann. Problematisch hierbei ist, dass sich damit die Ernte weiter nach hinten in den Herbst verschiebt und man oft mit schwierigeren Bedingungen (Nässe) umgehen muss [14].

Neben dem Ertrag wird durch die Pflanzenernährung auch die Qualität von Hanf beeinflusst. Als Qualitätscharakteristika für Faserhanf gelten Fasergehalt, Reißfestigkeit, Torsionswiderstandsfähigkeit und metrische Feinheit. Die Stickstoffdüngung nimmt im ho-

hen Maße Einfluss auf das Pflanzenwachstum und resultiert in einer Zunahme der Stängellänge und Stängeldicke. Damit steigt mit Erhöhung der Stickstoffdüngung der Stängeltrtrag, jedoch sinkt zugleich der prozentuale Fasergehalt in der Sprossachse. Auch die Reißfestigkeit der Faser nimmt durch ein Überangebot an Stickstoff ab, da es zu dünneren Zellwänden, größeren Faserhohlräumen und geringerer Geschlossenheit der Faserbündel kommt. Zudem besteht ein negativer Zusammenhang zwischen hoher Stickstoffdüngung und der Weiterverarbeitung (Entholzung, Trennen von Schäben und Fasern) zu Fasern, da Hanf durch die hohe Nährstoffversorgung länger grün bleibt [12] [108].

2.6.4 Unkrautregulierung, Schädlinge und Krankheiten

Ein großer ökologischer Pluspunkt der Kultur Hanf besteht in dem hohen Unkrautunterdrückungspotenzial. Hanf ist bekannt für seine rasche Jugendentwicklung und den zeitigen Reihenschluss (Abbildung 17: Rasche Jugendentwicklung im Faserhanfbestand, linkes Bild: 23.05.2019, rechtes Bild: 27.05.2019). Durch die schnelle Beschattung und den anschließenden starken Biomassezuwachs werden Ackerbegleitkulturen stark unterdrückt und sterben infolge des hohen Konkurrenzdrucks ab. Dies ist insbesondere für den ökologischen Landbau interessant, da Hanf auch mit Problemunkräutern wie Quecken und Disteln gut konkurrieren kann [71].



Abbildung 17: *Rasche Jugendentwicklung im Faserhanfbestand, linkes Bild: 23.05.2019, rechtes Bild: 27.05.2019*



Abbildung 18: Dichter Faserhanfbestand sechs Wochen nach der Aussaat, 07.06.2019

Somit besteht sowohl aus ökologischer als auch arbeitswirtschaftlicher Sicht der Vorteil, dass bei Hanf keine chemische Unkrautregulierungsmaßnahme notwendig ist. Damit Hanf seine volle Konkurrenzkraft gegenüber Unkraut ausschöpfen kann, ist eine ausreichende Wasser- und Nährstoffversorgung, insbesondere im jungen Stadium, erforderlich. So besteht in Jahren mit ausgeprägter Frühjahrstrockenheit sowie auf sehr sandigen Böden die Gefahr, dass sich die Unkräuter trotzdem gegenüber dem Hanf durchsetzen. Auch spielen die Aussaatstärke und der Reihenabstand in diesem Zusammenhang wichtige Rollen. So erreicht der Hanfanbau zur Fasernutzung, in der eine hohe Aussaatstärke und enger Reihenabstand gängig sind, eine hohe Bestandesdichte sowie für die erfolgreiche Unkrautbekämpfung einen frühen Reihenschluss. Bei anderen Nutzungsrichtungen, wie etwa der Samengewinnung, werden für hohe Samenerträge niedrigere Saatstärken und weitere Reihenabstände verwendet. Hier können durch den späteren bzw. nicht ausreichenden Bestandsschluss Unkräuter ein Problem darstellen. Ein Lösungsansatz ist die mechanische Unkrautregulierung mit Hacke oder Egge. Somit sollte bei der Wahl des Reihenabstands auch auf einen möglichen Einsatz der Geräte geachtet werden [71]. VERA et al. (2006) [103] konnten in einem dreijährigen Feldversuch feststellen, dass eine Erhöhung der Saatstärke von 20 kg/ha auf 60 kg/ha eine Verringerung der Unkrautdichte um 33 % und Unkrauthöhe um 34 % erreichen konnte. Allerdings konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Reihenabständen 18 und 36 cm ausgemacht werden. Daraus kann geschlossen werden, dass ein effektives Unkrautmanagement bereits bei der Wahl der Aussaatstärke beginnt.

Da es in trockenen Jahren, insbesondere auf schlechteren Standorten, zu Problemen mit Unkraut im Hanfbestand kommen kann, besteht die Frage nach einem möglichen Einsatz von Herbiziden. Aus diesem Grund wurde in den Jahren 1996 bis 1998 von der Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) die Kulturverträglichkeit verschiedener Herbizidanwendungen getestet. Dabei hat sich gezeigt, dass Hanf sehr empfindlich auf breitwirksame, dikotyle Wirkstoffe reagiert. Die Präparate führten zu einer vollständigen Bestandsvernichtung, Stauchungen sowie Wuchsdeformationen im Hanf. Deshalb kann kein Breitbandherbizid in Vor- oder Nachauflauf verwendet werden. Lediglich bei Spezialpräparaten zur Bekämpfung von Problemunkräutern wie Quecke, Klettenlabkraut oder Distel-Arten sowie bei gräserwirksamen Mitteln (Graminizide) konnte eine vertretbare Beeinflussung der Kultur Hanf festgestellt werden. Aufgrund der im Versuch erlangten Erkenntnisse empfiehlt die LfL, falls überhaupt notwendig, eine einmalige mechanische Unkrautregulierungsmaßnahme. Bisher sind keine Herbizide für den Einsatz im Hanf in Deutschland zugelassen [6].

Bei dem Thema Krankheiten und Schädlinge im Hanfanbau wird ein weiterer ökologischer Vorteil mit ökonomischer Bedeutung der Kultur Hanf deutlich. Neben dem Verzicht auf Herbizide – bei richtiger Kulturführung – sind im Hanfanbau keine Pflanzenschutzmittel gegen pilzliche, bakterielle oder virale Krankheitserreger notwendig. Einerseits kann diese Tatsache darauf zurückgeführt werden, dass Hanf eine Nischenkultur in Deutschland ist. Größere Probleme mit Krankheitserregern kommen oft erst mit der Anbaudichte in einer Region oder einer zu engen Fruchtfolge auf dem Betrieb zustande, wie beispielsweise Kohlhernie im Rapsanbau, Leguminosenmüdigkeit oder Fußkrankheiten in Getreide [12] [15] [57] [71].

Andererseits hat sich in den traditionellen Hanfanbauländern wie Frankreich, England und den Niederlanden gezeigt, dass trotz jahrzehntelangen Hanfanbaus keine ökonomisch relevanten Krankheitserreger auftraten [27]. Ein Grund für die Widerstandsfähigkeit der Hanfpflanze gegenüber Krankheiten ist die Züchtung. Selbst jahrzehntelange Züchtungsanstrengungen haben zu keiner reinen Liniensorte geführt. Alle Hanfsorten sind sehr heterogene Populationen. Somit besteht ein Hanfbestand aus vielen Individuen mit unterschiedlichem Erbgut, das sich in unterschiedlicher Resistenz gegenüber unterschiedlichen Krankheiten ausprägt. Dadurch besteht ein geringes Risiko, dass bei Ausbruch einer Krankheit der gesamte Bestand bei Nichteinleiten einer Pflanzenschutzmaßnahme infiziert wird und mit starken Ertragseinbußen reagiert. Da ein Krankheitsbefall zwar nicht zu wirtschaftlichen Schäden führt, jedoch vereinzelt Pflanzen unter ungünstigen Voraussetzungen trotzdem von einem Erreger infiziert werden können und Symptome ausprägen, wird im Folgenden auf die wichtigsten im Hanfanbau beobachteten Krankheiten eingegangen [14].

Die wichtigste Krankheit im Hanf ist der Grauschimmel, der durch den Pilz *Botrytis cinerea* verursacht wird. Der Pilz befällt die Pflanzenstängel bei kühlen bis gemäßigten Temperaturen und einer hohen Luftfeuchtigkeit. Charakteristisch für die Krankheit sind die Flecken auf den Stängeln, die im weiteren Krankheitsverlauf zum Brechen und Umfallen der Pflanzen führen. Auch die bereits gemähten und zur Feldröste abgelegten Stängel können von *B. cinerea* befallen werden. Ein weiterer im Hanfanbau vorkommender pilzli-

cher Erreger ist *Scelortinia sclerotiorum*. Er verursacht Hanfkrebs, der sich in der Welke und dem anschließenden Absterben der Gesamtpflanze äußert. Der Pilz befällt das Gewebe am Wurzelhals, was zu einer gelbbraunen Verfärbung des unteren Drittels der Pflanze führt. Im weiteren Verlauf kommt es zur Entlaubung und Austrocknung der Pflanze. Voraussetzung für eine erfolgreiche Infektion sind nasse Böden oder sehr niederschlagsreiche Jahre. Daher sollten grundwasserbeeinflusste Böden, wie Niedermoo-re, für den Hanfanbau gemieden bzw. der natürliche Wasserhaushalt des Bodens über anbautechnische Maßnahmen verbessert werden. Bereits im Keimlingsalter können Hanfpflanzen von dem artübergreifenden Erreger *Pythium debaryanum* befallen werden, der zur Auflaufkrankheit führt [12] [14].

2.6.5 Fruchtfolgestellung von Hanf

Hanf ist nur mit der heimischen Ackerkultur Hopfen verwandt. Daher kann Hanf sehr flexibel in die Fruchtfolge eingebaut werden [12] [14]. Jedoch sollte der gute Vorfruchtwert von Hanf beachtet werden. Versuche zeigten, dass durch die Vorfrucht Hanf der Winterweizenertrag und sogar der Ertrag von Sojabohnen, die als Monokultur angebaut wurden, gesteigert werden konnte [12] [69]. Ähnlich wie bei anderen Sommerungen lockert Hanf einseitige, auf Winterungen basierende Fruchtfolgen auf. Durch die Fruchtfolgeauflockerung mit Hanf wird der reproduktive Zyklus herbsterkeimender Problemunkräuter wie beispielsweise *Alopecurus myosuroides* (Ackerfuchsschwanz), *Bromus strilis* (Taube Tresse) oder *Capsella bursa-pastoris* (Gewöhnliches Hirtentäschel) unterbrochen. Darüber hinaus gilt Hanf als gute Vorfrucht vor Zuckerrüben, da dieser erfolgreich die Nematodenpopulation von *Heterodera schachtii* im Boden reduziert [33]. Auch konnte in einem Gewächshausversuch wie auch Feldversuch festgestellt werden, dass Hanf resistent gegenüber den bodenbürtigen Pathogenen *Verticillium dahliae* (verursacht die Verticillium-Welke in Getreide, Raps und Mais) und *Meloidogyne chitwoodi* (Wurzelgallen-nematode, die vor allem im Kartoffel- und Karottenanbau zu wirtschaftlichen Schäden bei Befall führt) ist. Werden die Hanfstoppeln vom Feld abgefahren, reduziert dies die Bildung neuer Mikrosklerotien des Pathogens *V. dahliae*, das über 350 gartenbauliche- und landwirtschaftliche Pflanzenarten befallen kann. Jedoch muss berücksichtigt werden, dass es sich hierbei um einen einjährigen Versuch handelt und daher nur eine qualitative Aussage getroffen werden kann [67]. Da im Hanfanbau keine chemischen Pflanzenschutzmittel eingesetzt werden, fördert dies die Entwicklung der Mikroflora im Boden. Diese fördert wiederum die Mikrofauna und durch ein aktives Bodenleben steigt die Bodenfruchtbarkeit an. Vor allem im ökologischen Ackerbau profitieren die angebauten Kulturen von einer guten Bodenstruktur und Bodenfruchtbarkeit, da der Ertrag vor allem durch die indirekte Pflanzenernährung realisiert wird. Zudem hinterlässt Hanf durch seine rasche Jugendentwicklung und hohe Biomasseproduktion einen unkrautfreien Acker. Im Ökolandbau wird Hanf oft nach einer Leguminose und vor Weizen angebaut. Jedoch gibt es viele Möglichkeiten, Hanf in eine Fruchtfolge einzubauen [33].

2.6.6 Ernteverfahren und Erntetechnik

Hanf ist eine Bastfaserpflanze, deren Fasern bekannt sind für ihre Reißfestigkeit und Elastizität. Aufgrund dieser Eigenschaft eignen sich Hanffasern hervorragend für die Weiterverarbeitung zu technischen und textilen Zwecken [15]. Jedoch stellen diese Eigenschaften Produzenten vor allem in der Erntetechnik vor eine große Herausforderung [66].

Zunächst ist für das Ernteverfahren, ähnlich wie bei der Wahl der Sorte und Aussaatstärke, entscheidend, welche Verwertungsrichtung angestrebt wird. Bei der Ernte mit Fokus auf Stängel- bzw. Fasernutzung kann zunächst zwischen zwei Haupterntetechniken unterschieden werden. Bei der traditionellen Nutzung der Hanffasern für Textilien ist die Gewinnung von Langfasern das Ziel. Qualitätsbestimmend für die Langfaserernte ist die Parallellage der Pflanze bzw. Fasern während des gesamten Ernte- und Verarbeitungsprozesses. Bei der Fasernutzung im nicht textilen, sondern technischen Bereich, beispielsweise für Verbundwerkstoffe in der Automobilindustrie oder Dämmstoffe, liegt der Fokus der Erntetechnik nicht auf der Aufrechterhaltung der Parallellage des Pflanzenmaterials und der Langfasergewinnung. Charakterisierend für diese Erntetechnik ist das Einkürzen des Stängels. Im Folgenden wird zunächst auf das Ernteverfahren für die Textilnutzung und Entwicklungen in diesem Bereich eingegangen [82].

Bis in die 1960er Jahre wurde Hanf für die Textilnutzung in Europa weitverbreitet angebaut. Das vorherrschende Ernteverfahren beruhte auf einem hohen Arbeitskräftebedarf und bestand aus den drei Phasen: Mähen/Schneiden der Ganzpflanze, manuelles Binden von Garben und Aufstellen der Garben zu „Kapellen“ für die Lufttrocknung. Der optimale Erntezeitpunkt für Faserhanf ist erreicht, wenn sich die männlichen Pflanzen im Stadium der Vollblüte befinden. Die Vollblüte ist erreicht, wenn mehr als 50 % der Staubbeutel (Antheren) im Blütenstand geöffnet sind und ihre Pollen schütten. Eine Weiterentwicklung des Verfahrens stellt die „Ungarische Technologie“ dar. Hier wird der manuelle Prozessschritt, in dem die Pflanzenstängel zu Garben gebunden werden, durch eine Mäh- und Garbenbindemaschine überflüssig. Zudem werden nach dem Abtrocknen der Garben diese mit einer Ballenpresse gepresst [12]. Ein Beispiel für eine Mäh- und Garbenbindemaschine ist das russische Modell ZK-1,9 (SEL'MASH, Bezhech, Russia). Diese kann neben dem Schneiden und parallelen Anordnen der Hanfpflanzen zugleich über ein Förderband die Pflanzen zu Garben bündeln und binden [82]. Jedoch bleibt auch hier die Handarbeit, die Garben zur Trocknung in Kapellen aufzustellen. Mangels Innovationen in der Erntetechnik und angesichts eines damit bleibenden hohen manuellen Arbeitskräftebedarfs sowohl für die Ernte als auch die Weiterverarbeitung von Faserhanf wurde die textile Wertschöpfungskette in den asiatischen Raum verschoben. Zugleich wurde Hanf als Rohstoffquelle in der Textilbranche zunehmend von besser mechanisierten Faserpflanzen, wie z. B. Baumwolle, ersetzt [12] [15] [53] [66]. Durch das steigende Interesse an Kleidung aus heimisch produzierten Faserpflanzen in Europa werden neue Erntetechniklösungen in diesem Bereich wieder zum aktuellen Thema. Dies zeigen auch Forschungsanstrengungen in Polen und Deutschland, in denen Prototypen zur querparallelen Ablage der Hanfstängel entwickelt wurden [51].

Seit der Wiederentdeckung der Rohstoffpflanze Hanf Anfang der 1990er Jahre in Europa hat sich vor allem der Hanfanbau für die Fasernutzung im technischen Bereich entwickelt. Um als Naturfaserrohstoff mit anderen Rohstoffen konkurrieren zu können, standen bei der Entwicklung neuer Erntetechnikmethoden hohe Flächenleistung und niedrige Verfahrenskosten im Vordergrund [1]. Dies wird erreicht, indem der lange Pflanzenstängel eingekürzt wird. Prinzipiell besteht das Ernteverfahren für den Nutzungszweck aus dem Mähen und Einkürzen des Pflanzenbestands, Schwadablage, Wenden und Ballenpressen [51]. Ein Beispiel für dieses Ernteverfahren stellt das von der niederländischen Firma „Hemp Flax“ entwickelte Maschinensystem „HempCut“ dar. Es handelt sich hierbei um einen modifizierten Selbstfahrhäcksler. Anders als bei konventionellen Häckselmaschinen, wie sie beispielsweise in der Silomaisernnte eingesetzt werden, besteht das Häckseltrommelaggregat aus nur einer Messereinheit. Da es als Modul eingebaut werden kann, kann die teure Technik auch für andere Feldkulturen, wie Mais, eingesetzt werden. Eine variable Antriebssteuerung des Häckselaggregats ermöglicht das Einkürzen der Hanfstängel auf eine Länge von 150 bis 600 mm. Als Vorsatz wird der reihenunabhängige Kemper-Mähvorsatz eingesetzt. Einen anderen Weg verfolgte das tschechische Unternehmen und gleichnamige Erntesystem „Tebeco“. Die Einkürzung des Hanfstängels erfolgt über das Scherenschnittprinzip mit einem dreistufigen angehängten Doppelfingerschneidwerk. In der Praxis hat sich dieses System trotz vergleichsweise niedriger Investitionskosten nicht durchgesetzt, da das breitabgelegte Erntegut prinzipbedingt überfahren wird und es so zu Schmutzeintragungen und Qualitätsminderung kommt. Darüber hinaus besteht ein hoher Wartungsaufwand mit dem Schleifen und Austauschen der Messer. Für die reine Stängelnutzung ist das niederländische „HempCut“-System das am häufigsten eingesetzte Erntesystem und es wird hauptsächlich in nördlicheren Gebieten, in denen Hanf klimabedingt nicht zur Samenreife kommt, eingesetzt [50] [51].

Mit der Züchtung monözischer Hanfsorten in den 1960er Jahren wurden neue Möglichkeiten für die duale Nutzung von Körnern und Stroh geschaffen. Monözische Hanfpflanzen reifen im Gegensatz zum diözischen Hanf gleichmäßig ab, was eine Erleichterung für die Erntetechnik darstellt und zugleich zu einem homogeneren Fasergehalt und besserer Qualität führt [12] [46]. Aus diesem Grund hat die duale Nutzung von Stängel und Samen im Hanfanbau in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Zum einen finden auf Hanfsamen basierende Lebensmittel, wie beispielsweise Hanföl, Hanfmehl, Hanfsamen als Müslizutat, immer mehr Einzug in die Humanernährung, dies aufgrund seines hohen ernährungsphysiologischen Werts [25] [79]. Zum anderen steht der Landwirt wegen des hohen Flächendrucks unter dem Zwang, einen möglichst hohen Output aus seiner Fläche zu holen. Daher wurden für die Anforderung der Gewinnung von Samen und Stängeln bestehende bzw. neue Erntetechniksysteme angepasst und entwickelt. Aufgrund des hohen Spezialisierungsgrads und lokal unterschiedlicher Anforderungen an die Erntetechnologien gibt es zahlreiche und an den jeweiligen Standort angepasste agrartechnische Lösungen und kein Serienprodukt. Im Folgenden wird nur exemplarisch auf drei Systeme eingegangen.

Eine investitionsarme Möglichkeit ist das zweiphasige Erntesystem mit konventioneller Erntetechnik. In der ersten Phase erfolgt der Samendrusch aus dem oberen Drittel der Pflanzen mit einem herkömmlichen Mähdrescher. Anschließend erfolgt in der zweiten Phase die Mahd der Restpflanze mit Doppelmesser-Mähwerken. Durch das Überfahren des Bestands mit dem Mähdrescher kommt es jedoch zu einer nachteiligen Beeinflussung der Faserqualität. Dieses Verfahren kommt seit Jahren im traditionellen Anbaubereich Frankreich zur Saatguterzeugung zum Einsatz. Limitiert wird dieses System von der Stängellänge des Bestands und der maximalen Schneidhöhe des Mähdreschers. Je höher der Mähdrescher schneiden kann, umso geringer ist die Gefahr, dass sich die Fasern des Stängels um rotierende Bauelemente wie die Dreschtrommel oder Einzugswalzen wickeln und die Maschine zum Stehen bringen [33] [51].

Zur Vereinfachung des Ernteprozesses gibt es auch ein einphasiges Erntesystem in Form eines „Hanfvollernters“. Am bekanntesten ist der „Hanfvollernter“ des deutschen Unternehmens Bafa neu GmbH in Malsch. Die Erntemaschine basiert auf einem modifizierten Hordenschüttler-Mähdrescher. Als Mäheinheit dient der bereits im „HempCut“-Erntesystem bewährte Kemper-Mähvorsatz. Anschließend wird das Pflanzenmaterial durch das eingebaute Zweimesser-Einkürzmodul eingekürzt. Damit wird vermieden, dass sich das elastische und reißfeste Pflanzenmaterial um rotierende Dreschelemente wie die Dreschtrommel wickelt und die Maschine zum Erliegen bringt. Limitierender Faktor des Konzepts Hanfvollernter ist die Tatsache, dass die gesamte Biomasse, die im Frischmassezustand 20 t/ha und mehr erreichen kann, durch die Drusch- und Strohrefeinigungseinheiten laufen muss. Dies führt zu einer geringeren Flächenleistung, da die Fahrgeschwindigkeit reduziert werden muss [50] [51]. Zudem zeigten ausführliche Tests mit dem damaligen Prototyp des Hanfvollernters, dass der Kemper-Mähvorsatz nicht optimal für eine Samenernte ist, da dessen Gebrauch mit hohem Ertragsausfall durch ausfallende Samen einhergeht. Jedoch hat die mechanische Behandlung der Stängel bereits im Mähdrescher eine partielle Entholzung des Strohs zur Folge, die sich positiv auf Feldtrocknung und -röste auswirkt [72] [82]. Trotz der genannten Nachteile des Systems befinden sich laut Gusovius et al. (2016) [51] 15 der Hanfvollerntersysteme in Europa im Einsatz.

Bei der Dualnutzung muss der Kompromiss eingegangen werden, dass niedrigere Stroh- und Samenerträge realisiert werden können als bei der reinen Körner- oder Faserhanfernte. Dies ist der Biologie des Hanfs geschuldet. Hanf erreicht die höchsten Trockenmasseerträge bei gleichzeitig noch hoher Faserqualität zum Ende der Blüte. Jedoch liegt der optimale Zeitpunkt für die Samenernte je nach Witterung und Reifeverhalten der Sorte zwei bis vier Wochen nach dem Ende der Blüte. Aufgrund der verlängerten Vegetationsperiode für das Erreichen der Samenreife ist in Nord- und Mitteldeutschland die Hanfsamenernte mit Mähdrescher nicht oder nur schwierig umsetzbar [12] [29] [33]. Aus diesem Grund wurde im Rahmen des EU-Forschungsprojekts „Multi hemp“ die Samengewinnung während der Schwadbearbeitung untersucht. Grundlegender Gedanke des Konzepts war, den biologischen Prozess der Notreife auszunutzen, um trotz eines früheren Mahdtermins einen hohen Kornertrag zu erreichen [51]. Problematisch bei der Samenernte ist das ungleichmäßige Abreifeverhalten der Samen. Die Samenstände reifen

innerhalb des Bestands unregelmäßig sowie auch auf den Einzelpflanzen von unten nach oben ab [66]. Sobald der Bestand gemäht und in einem Schwad abgelegt wird, beginnen die Samen mit der Nachreife, was damit zu einer gleichmäßigeren Abreife unabhängig von der Position auf dem Blütenstand sowie zu einer besseren Qualität der Samen führt. Für die Gewinnung der Samen aus dem Hanfstrohschwad ist eine Maschine geplant, die über einen Bandförderer den Schwad aufnimmt, den Samen aus dem Stroh über einen Schwingboden ausschüttelt und auffängt sowie anschließend das Stroh im gewendeten Zustand auf dem Feld ablegt. Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens zeigten, dass trotz der Ausfallverluste von Samen, die während des Schneidens und Schwadens auftraten, die Erträge mit der konventionellen Samenerntetechnik mithalten konnten. Darüber hinaus konnten höhere Fasererträge und Qualitäten als in den bereits vorgestellten dualen Nutzungserntesystemen erzeugt werden, da der ideale Erntezeitpunkt für diesem Ansatz zum optimalen Zeitpunkt für die Faserernte liegt [16] [51].

Durch das Aufkommen neuer Nutzungsrichtungen, wie die Gewinnung von Cannabidiol (CBD) aus den Blüten und Blättern der Hanfpflanze, wird auch in diesem Bereich nach neuen agrartechnischen Lösungen gesucht. Das niederländische Faseraufbereitungsunternehmen DunAgro hat für diesen Nutzungszweck das „HempCut“-System weiterentwickelt. Um die Blüten und Blätter ernten zu können, wurde ein spezielles Strip-Aggregat an das Trägerfahrzeug montiert. Dieser spezielle Vorsatz streift („strippt“) die Blüten und Blätter vom oberen Drittel der Pflanze ab und transportiert das gewonnene Material über ein Förderband zu dem aufmontierten Bunker. Zugleich wird mit dem bewährten „Hemp-Cut“-Modul der Reststängel gemäht und zu einem Schwad abgelegt. Durch die Abtrennung der Blüten und Blätter ergibt sich eine deutlich verbesserte Strohtrocknung und Feldröste, was sich in einer höheren Faserqualität widerspiegelt [51]. Das norddeutsche Unternehmen HANF FARM GmbH, das seit 1996 Hanf anbaut und zu Lebensmitteln weiterverarbeitet sowie als Lohnunternehmer, Berater und Abnehmer von Hanf tätig ist, hat die Erntemaschine „Multicombine HC 3400“ entwickelt. Im Gegensatz zum niederländischen DunAgro-System werden hier nur Blüten und Blätter geerntet. Dabei kann das stufenlos verstellbare Schneidwerk mit Doppelmessertechnologie in unterschiedlichen Bestandshöhen eingesetzt werden. Das geschnittene Material wird ebenfalls über ein Förderband schonend zum Bunker transportiert. Zur Erhöhung des Outputs aus der Fläche werden die Hanfpflanzen mehrmals pro Jahr „geköpft“ [52].

Bayern ist kein traditionelles Hanfanbaugebiet wie Frankreich oder die Niederlande. So gibt es in dem Bundesland keine faserverarbeitende Industrie und damit keine erreichbaren Absatzmärkte für Faserhanf für bayerische Landwirte. Dadurch gibt es in Bayern keine großen Spezialmaschinen für die Hanfernte. In den letzten Jahren gewann Hanf als Lebensmittel, wie z. B. Hanföl, oder als Nahrungsergänzungsmittel (CBD) an Bedeutung. Damit ergaben sich neue Verwertungsrichtungen von Hanf und Markteintrittschancen für bayerische Hanfanbauer. Aus diesem Grund haben aufgeschlossene Landwirte einzelbetriebliche oder in Zusammenarbeit mit Lohnunternehmern regionale Lösungen für die Ernteproblematik für Hanf entwickelt.

2.7 Nutzungsmöglichkeiten der Kulturpflanze Hanf

Die Renaissance der Hanfpflanze in den 1990er Jahren läuteten JACK HERER UND MATTHIAS BRÖCKERS (1993) [12] mit dem Bestseller „Die Wiederentdeckung der Nutzpflanze Hanf“ mit folgenden Worten ein: „Wenn wir, um unseren Planeten zu retten und den Treibhauseffekt umzukehren [...], dann gibt es nur eine Pflanze, die als nachwachsender Rohstoff in der Lage ist, den größten Teil an Papier, Textilien und Nahrungsmitteln sowie des privaten und industriellen Energieverbrauchs zu liefern [...]!“ [15].

Das enorme Nutzungspotenzial der Hanfpflanze wurde mit der sukzessiven Aufhebung des Anbauverbots in den EU-Ländern zu Beginn der 1990er Jahre, so auch 1996 in Deutschland, erkannt. Im Zuge dessen wurden neben der früheren, traditionellen Fasernutzung für Bekleidungstextilien, Segeltücher und Seile neue und innovative Verwendungsmöglichkeiten für die Nutzpflanze Hanf entwickelt. Hauptsächlich werden die Pflanzenteile Faser, Schäben, Blüten, Blätter und Samen verwertet [40].

Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die wichtigsten Verwendungsmöglichkeiten der genannten Pflanzenteile.

Tabelle 3: Nutzungsmöglichkeiten von Hanf (verändert nach CARUS 2008 [40])

Verwendete Pflanzenteile	Anwendungsbeispiele
<p>Samen</p> 	<p><u>Geschälte/ungeschälte Samen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Müsli- und Backzutat • Vogel- und Fischfutter <p><u>Presskuchen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Tierfutter • Proteinpulver, Hanfmehl <p><u>Hanföl:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Speiseöl, Kosmetika, Hautpflegemittel • Technische Öle wie Treibstoff, Lacke
<p>Blüten und Blätter</p> 	<p><u>Cannabinoide:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Medizinische Zwecke (THC) • Nahrungsergänzungsmittel (CBD) <p><u>Lebensmittel:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Tees • Hanfbier
<p>Stängel: Bastfaser</p> 	<p><u>Textilien:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Kleidung <p><u>Industriewerkstoff:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Biokomposite, Formpressteile • Naturfaserverstärkte Kunststoffe (NFK) <p><u>Technische Textilien:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Seile, Leinwand <p><u>Zellstoff und Papier</u></p>
<p>Stängel: Schäben</p> 	<p><u>Baumaterial:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Lehmbausteine, Spanplatten • Dämmmaterial <p><u>Zellstoff und Papier:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Zigaretten- und Spezialpapier

2.7.1 Fasern und Schäben

Wichtigster Bestandteil der Vermarktung, im Hinblick auf die traditionelle Fasernutzung, war auch zu Beginn des Hanfanbaus in den 1990er und 2000er Jahren die Bastfaser, jedoch in einem anderen Einsatzbereich. Im Prinzip entwickelten sich seit der Aufhebung des Anbauverbots von Hanf folgende relevante Absatzmärkte für Hanffasern in der EU:

- naturfaserverstärkte Kunststoffe (NFK), Bioverbundwerkstoffe,
- Dämmstoffe,
- Spezialzellstoffe und Papier [24].

Ein völlig neuer Absatzmarkt konnte mit der Entwicklung naturfaserverstärkter Kunststoffe (NFK), die auch als Bioverbundwerkstoffe bezeichnet werden, für die Hanffaser geschaffen werden [40]. NFK zeichnet eine hohe mechanische Belastbarkeit bei gleichzeitig niedriger Dichte, sprich geringer Masse aus. Günstigere mechanische Eigenschaften, wie beispielsweise höhere Temperaturbeständigkeit und geringere Splitterneigung als herkömmliche faserverstärkte Kunststoffe, z. B. glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) waren Gründe für den Aufschwung von NFK zu Beginn der 1990er Jahre. Besonders in der Automobilbranche sind NFK zur Herstellung von Formpressteilen für die Innenverkleidung gefragt. Durch die Leichtbauweise mit NFK können kraftstoffsparende Autos konstruiert werden [42]. So wurden 2003 in der EU 3.250 t Hanffasern als Naturfaser-Formpressteile in Autos serienmäßig verbaut [24]. Dabei werden diese vor allem in der deutschen Automobilindustrie verwendet [27]. Im Jahr 2005 kamen in Deutschland 1.805 t Hanffasern in Verbundwerkstoffen für die Automobilproduktion zum Einsatz [40]. Auch heute sind NFK für industrielle Zwecke ein guter Abnehmer für Hanffasern, da neben den mechanischen Eigenschaften auch die ökologischen Vorteile der NFK zunehmend mit dem Ziel der nachhaltigen Wirtschaft an Bedeutung gewonnen haben. Durch die Einführung neuer Verfahren zur Herstellung von NFK, wie Spritzgießverfahren und Resin-Transfer-Molding (RTM), konnten neue ökonomisch interessante Anwendungen, neben dem Einsatz im Automobilbereich, ermöglicht werden [42]. Im Hinblick auf das Marktvolumen werden jedoch immer noch 96 % der Verbundwerkstoffe in der Automobilindustrie eingesetzt [27]. Laut CARUS et al. (2015) [42] kamen in der EU im Jahre 2012 4.000 t Hanffasern aus europäischem Anbau in Naturverbundwerkstoffen zum Einsatz. Dies entspricht einem Anteil von 5 % an Hanf im Vergleich zu anderen eingesetzten Naturfasern für die Verarbeitung zu NFK [42]. Insgesamt wuchs der Absatzmarkt von Bioverbundwerkstoffen für die Anwendung von Hanffasern von 1 % im Jahr 1996 auf 14 % im Jahr 2013. Damit ist der Markt für NFK der dritt wichtigste für den Absatz von Hanffasern [25] [27].

Eine weitere Produktlinie für die Verarbeitung von Hanffaser ist der Bausektor, vor allem für Dämmstoffe. Er stellt mit einem Anteil von 26 % im Jahr 2013 den zweitwichtigsten Absatzweg für Hanffaser dar [25].

Das traditionelle Einsatzgebiet der Zellstoff- und Papierproduktion aus Hanffaser stellt den wichtigsten Absatzmarkt für Hanffasern, mit einem Anteil von 57 % im Jahr 2013, dar. Im Vergleich zur herkömmlichen Holzfaser als Rohstoffquelle für Papier und Zellstoff weisen Papiere und Zellstoff aus Hanffasern eine höhere Zug-, Reiß- und Nassfestigkeit auf [40]. Allerdings haben die Produkte auf Hanfbasis auch einen drei- bis sechsfachen Preis im Vergleich zu Holz. Dennoch gibt es für die teuren Spezialzellstoffe einen Markt, hauptsächlich in der Tabakindustrie als Zigarettenpapier, aber auch als Bibelpapier, technische Filter und Banknoten. In der EU gilt Frankreich als der Hauptzellstoffproduzent. Der hanfbasierte Zellstoff- und Papiermarkt war in den letzten zehn Jahren ein relativ stabiler Markt, jedoch ist keine Marktexpansion zu erwarten [25].

Im Gegensatz zur früheren Hanffasernutzung für Textilien aus Langfasern sind für die neu entwickelten Nutzungsrichtungen, wie NFK oder Dämmstoffe, Kurzfasern (auch technische Hanffasern oder Wirrfasern genannt) ausreichend. Damit konnte der Ernteprozess für den Hanfanbauer, aber auch die Weiterverarbeitung entscheidend vereinfacht werden. Wie bereits in der Beschreibung der Produktionsverfahren zur Ernte erwähnt, konnte durch die Kurzfasernernte, in der keine Parallellage der Gesamtpflanze über den gesamten Ernte- und Verarbeitungsprozess notwendig ist, die Erntetechnik revolutioniert und damit ökonomisch konkurrenzfähiger gemacht werden [40] [51].

Bei der Fasernutzung und -verarbeitung fällt immer das Koppelprodukt Schäben an. Dabei liegt das Verhältnis von Schäben zu Fasern bei 1,5 bis 2:1. Um in dem umkämpften Markt der Naturfaser mit den Hanffasern preislich konkurrenzfähig zu sein, sind in der ökonomischen Kalkulation die Erlöse aus der Schäbenvermarktung ein wichtiger Posten. Hauptsächlich gibt es für die Schäben drei Verarbeitungsrichtungen: Tiereinstreu, Gartenmulch und Baumaterialien. Der wichtigste ist die Verarbeitung zu Tiereinstreu. Im Jahr 2013 wurden 63 % der anfallenden Schäben zu Tierstreu verarbeitet und verkauft, was einer totalen Menge von 27.090 t entspricht [25]. Besonders im Pferdehaltungsbe- reich werden die Schäben aufgrund ihrer positiven Eigenschaften gerne eingesetzt. Schäben können bis zu dem Vierfachen ihrer Trockenmasse an Wasser absorbieren. Durch das hohe Absorptionsvermögen können wertvolle Arbeitszeit und damit verbundene Kosten eingespart werden, da diese länger im Stall verweilen können als andere Einstreumaterialien. Aus diesem Grund finden diese auch Einsatz in der Hühnerhaltung. Darüber hinaus verrotten und kompostieren die Hanfschäben innerhalb weniger Monate zu einem qualitativ hochwertigen organischen Dünger. Der Dünger ist daher ein beliebter Nährboden für die Pilzzucht [40]. Ein weiterer wichtiger Anwendungsbereich der Schäben liegt im Bausektor. Hierfür wurden 2013 16 % der Schäben zu 6.880 t Baumaterialien wie Leichtbauplatten, Dämmschüttungen und zuletzt wieder für den Hausbau als Zuschlagstoff für Lehm- oder Kalkputz (*Hemp-Lime-Concrete*) und Leichtbauelemente, wie Schäbenbausteine (Hanfziegel, Hanf-Betonsteine), verwendet [25] [24]. Der Vorteil der Schäben liegt in der geringen Dichte bei gleichzeitig hoher Dämmleistung durch die Porosität mit Lufteinschlüssen sowie auch ihrer Elastizität begründet. Im Vergleich zu herkömmlichen Holzspanplatten, die eine Dichte von 600 bis 750 kg/m³ aufweisen, haben Leichtbauplatten aus Hanfschäben eine Dichte zwischen 300 und 340 kg/m³. Bisher findet die Hanfschäben-Bauweise überwiegend in Frankreich, aber auch zunehmend im

Vereinigten Königreich und in Irland Einsatz. In Deutschland werden Hanfschäben im ökologischen Baubereich, aufgrund der hohen Konkurrenzsituation zu etablierten und preisgünstigeren Baumaterialien wie Holz, Stroh und Lehm, noch selten eingesetzt. Der dritte Nutzungspfad der Hanfschäben ist die Verwendung als Mulchmaterial für den Garten. 2013 wurden 19 % der anfallenden Hanfschäben im Gartenbereich eingesetzt, was einer totalen Menge von 8.170 t entspricht. Ein interessanter Einsatzbereich sind kompostierte Hanfschäben als Torfersatz [25] [40] [24].

Laut einer Einschätzung des NOVA-INSTITUTS (2019) [80] sind die Märkte für Fasern und Schäben in Europa etabliert und weitgehend stabil, jedoch ist kein Marktwachstum zu erwarten. Dies wäre nur mit Unterstützung der Politik bei Förderung von Materialien aus ökologisch freundlichen Rohstoffquellen zu realisieren.

2.7.2 Hanfsamen

Grundsätzlich werden Hanfsamen hauptsächlich im Lebensmittel- und auch Futtermittelbereich in drei Produktlinien verarbeitet und vermarktet:

- ungeschälte oder geschälte Samen,
- Hanföl aus dem Samen gepresst (Kalt-/Heißpressung),
- Presskuchen (als Koppelprodukt der Ölpressung) als Proteinquelle in der Tierernährung oder vermahlen als Hanfmehl (z. B. als Zutat für Hanfnudeln) und Hanfprotein als Sportlernahrung.

Der Hanfsamen setzt sich aus 28 bis 35 % Fett, 20 bis 24 % Protein und 30 bis 35 % Kohlenhydraten zusammen. Aufgrund dieser nahrhaften Zusammensetzung ist der Hanfsamen prädestiniert für die Nutzung im Lebensmittel- und Futtermittelbereich. Hanf gehört zu den ernährungsphysiologisch wertvollsten Ölfrüchten. Dies liegt an der günstigen Fettsäurezusammensetzung des aus dem Samen gewonnenen Hanföls. Es enthält essenzielle mehrfach ungesättigte Fettsäuren zu einem sehr hohen Anteil von 75 bis 80 %. Dabei liegen die essenziellen mehrfach ungesättigten Fettsäuren Linolsäure (Omega-6-Fettsäure) und Alpha-Linolensäure (Omega-3-Fettsäure) in einem ernährungsphysiologisch sehr günstigen Verhältnis von 2 bis 3:1 vor. Im Vergleich zu anderen pflanzlichen Speiseölen kann nur Leinöl mithalten. Mit einem Proteingehalt von 20 bis 24% liegt der Hanfsamen im Vergleich zum Leinsamen (18 %) höher, jedoch niedriger als Soja (35 %). Die biologische Wertigkeit einer Proteinquelle wird hinsichtlich ihrer Aminosäurezusammensetzung beurteilt. Insgesamt gibt es 21 Aminosäuren, wobei acht als essenziell gelten, d. h., dass diese mit der menschlichen Nahrung aufgenommen werden müssen. Das Hanfprotein hat ein vollständiges Aminosäureprofil mit allen acht essenziellen Aminosäuren. Daher ist das Hanfprotein, das als Koppelprodukt aus der Ölpressung durch die Vermahlung des Presskuchens gewonnen wird, sehr gut als Sportlernahrung geeignet [40].

Hanf ist eine Bastfaserpflanze und wurde hauptsächlich aufgrund ihrer hervorragenden Faserqualität angebaut. Mit der Züchtung monözischer Pflanzen war nun auch aus technischer Sicht eine duale Nutzung von Fasern und Samen in Mittel- und Südeuropa möglich geworden [12]. Zu Beginn der 2000er wurden Hanfsamen mit einem Anteil von über 95 % hauptsächlich im Tierernährungsbereich eingesetzt. So wurde 2003 in der EU eine Menge von 6.000 t an Hanfsamen als Vogel- und Fischfutter eingesetzt. Beide Tierarten benötigen für ein optimales Wachstum ein ausgewogenes Verhältnis aus mehrfach ungesättigten Fettsäuren, mit einem hohen Anteil an Omega-3- und Omega-6-Fettsäuren. Die restlichen 5 % gingen als volles Korn, geschält und als Hanföl in die Humanernährung [24]. Ursache für den niedrigen Anteil in der Humanernährung der Hanfsamen waren vor allem das fehlende Wissen über die ernährungsphysiologische Wertigkeit der Hanflebensmittel sowie das negative öffentliche Hanf-Image und damit einhergehende fehlende Marketingtätigkeiten [40]. Laut CARUS (2017) [25] hat sich dies in den letzten Jahren stark verändert. Die Hanfsamenproduktion stieg in den Jahren 2003 bis 2015 um 92 % von 6.000 t auf 11.500 t an. Dabei wurden 60 % als Lebensmittel und nur noch 40 % als Futtermittel weiterverarbeitet. Zusätzlich wurden 2015 22.000 t Hanfsamen aus China importiert, da die Nachfrage größer war als das europäische Angebot [25]. Heutzutage haben sich Hanflebensmittel im Lebensmitteleinzelhandel etabliert und finden sich als zahlreiche Produktvarianten, wie in Müslis, Schokolade, Smoothies, Getränken und Joghurts, wieder [80]. In Deutschland sind Hanflebensmittel inzwischen in allen größeren Supermarktketten und Drogerieketten erhältlich [43]. Die von dem NOVA-INSTITUT 2015 durchgeführte Studie „Market Study on Hemp Food“ [79] gab als Ursache für den starken Anstieg der Nachfrage an, dass Hanflebensmittel den aktuellen Food Trends entsprechen. Hauptsächlich punktet Hanf im hart umkämpften Regalplatz im Supermarkt mit seinen gesundheitlichen Vorteilen. Dabei ist Hanf in den Marktsegmenten „super food“, „nutritious food“ und „bio food“ vertreten. Aufgrund dieser Trends wird eine zweistellige Wachstumsrate in diesem Bereich erwartet [79].

2.7.3 Blüten und Blätter

Auch aus den Pflanzenteilen Blüten und Blätter lassen sich vermarktbarere Produkte generieren und so durch die Doppelnutzung von anderen Pflanzenorganen die Wertschöpfung steigern. Zu Beginn des Industriehanfanbaus in den 1990er Jahren in Europa wurde den Blüten und Blättern des Hanfs wenig Beachtung geschenkt. Durch die niedrige vorgeschriebene Konzentration an THC von unter 0,2 % war deren Vermarktung nicht lukrativ. In den letzten Jahren stieg jedoch das Interesse an den Blüten und Blättern des Nutzhanss enorm. In Europa wurden 2010 nur 7,5 t Hanfblüten und -blätter verarbeitet. So stieg diese Menge innerhalb von drei Jahren auf 240 t an. Ursache dafür ist das pflanzliche Cannabinoid „Cannabidiol (CBD)“. Im Gegensatz zu THC wirkt es nicht psychoaktiv, hat zugleich jedoch ein therapeutisches Wirkungspotenzial: Es wirkt entzündungshemmend, schmerzlindernd, antidepressiv und schlaffördernd. Bisher finden sich CBD-haltige Produkte vor allem im Nahrungsergänzungsbereich wieder. Die Produktpalette reicht von CBD-Öl und -kapseln über CBD-Liquids für die E-Zigarette bis hin zu CBD-Kristallen, -Extrakten und CBD-haltiger Kosmetik. Durch die starke Nachfrage

an CBD konnten die Unternehmen ein zweistelliges Wachstum verzeichnen. Jedoch stellt ein großes Hemmnis im CBD-Markt die gesetzliche Unsicherheit dar. Auf die rechtliche Grauzone wird im Unterkapitel 2.8 genauer eingegangen [25] [79] [80].

2.7.4 Beispiele für hanfverarbeitende Unternehmen in Deutschland

Schon seit mehr als zwei Jahrzehnten konzentriert sich die Badische Faserverarbeitung, inzwischen BAFA Neu GmbH in Malsch, auf die Erzeugung verschiedenster Hanfprodukte aus Faserhanf. Bei der Beerntung werden selbstfahrende Spezialmaschinen eingesetzt, die die Stängel in 60 cm lange Abschnitte teilen und die Körner getrennt erfassen [47]. Ansätze zur Ausweitung der Verarbeitung bestehen auch durch ein nun weiterentwickeltes Verfahren zur Faseraufbereitung (Firma NFC GmbH Nettle Fibre Company [10]) und die Verarbeitung und den Vertrieb diverser Hanfprodukte, wie Hanföl, Hanfmehl und Extrakte (Best Hemp, Uta Stechl GmbH) [93]. Weiterhin besteht schon langjährig die in Nördlingen ansässige Firma ThermoNatur GmbH & Co. KG mit ihren Dämmstoffen auf Hanfbasis. Allerdings beziehen diese Verarbeiter ihre Rohstoffe bislang außerhalb Bayerns, im Fall der Firma ThermoNatur sogar aus Frankreich. Nur die Bayerische Hanfinitiative hat zur Sicherung ihrer Rohstoffbasis in 2018 einen ersten Hanfanbau in Ober- und Niederbayern auf etwa 30 ha initiiert, allerdings muss dabei der Korndrusch mit ungeeigneten normalen Mähdreschern improvisiert werden. Der Erfolg ist laut eigenen Aussagen ungewiss [93].

Weiterentwicklungen zum Anbau von Hanf zur Fasernutzung gibt es außerdem in Nordrhein-Westfalen am Haus Düsse (Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, mündliche Mitteilung Michael Dickeduisberg) durch den Anbau als Zweitfrucht nach Wintergerste oder Ganzpflanzen-Getreide. Dieser Winterhanf steht über die Wintermonate im Feld und macht in diesem Zustand die notwendige Feldröste [13]. Nachteilig bei diesem Verfahren ist allerdings, dass parallel nicht die Körner oder Blätter gewonnen werden können. Von Vorteil ist der vergleichsweise flexible Einbau in Fruchtfolgen, da keine Hauptfruchtstellung benötigt wird.

Als sehr neue Entwicklung sei noch beispielhaft die in Berlin ansässige Firma MH medical hemp GmbH [69] erwähnt. Sie extrahiert Cannabidiol (kurz CBD) und Cannabinoide aus Hanf, die als nicht berauschende und legale Nahrungsergänzungsmittel, Kosmetikzusätze und für die Pharmazie genutzt werden. Nach Aussagen der Firma ist Cannabidiol das wichtigste Cannabinoid in Hanf und kommt im oberen Drittel der Hanfpflanzen in einer Konzentration von etwa 0,5 bis 2,5 % vor. Diese Werte gelten speziell für die legal anbaubaren Hanfsorten, die arm an Tetrahydrocannabinol (THC) sind. CBD wird von Branchenkenner MICHAEL CARUS, Managing Director der European Industrial Hemp Association, als das Hanfprodukt mit dem größten Potenzial auf dem Markt angesehen [26].

2.8 Neue Nutzungsrichtung Cannabidiol (CBD): therapeutisches Potenzial und rechtliche Grauzone

Die Hanfpflanze besteht aus über 600 chemischen Verbindungen. Für die Vermarktung von Industriehanf am interessantesten ist das zu den Cannabinoiden zugehörige Cannabidiol (CBD). Es findet sich vor allem im oberen Drittel in den Blüten und Blättern der weiblichen Hanfpflanze wieder. CBD gewann aufgrund seines therapeutischen Potenzials in den letzten Jahren stark an Popularität. Laut dem CBD-Experten und promovierten Arzt GROTENHERMEN (2018) [49] wirkt das CBD, das als Phytocannabinoid eine sehr große Ähnlichkeit mit endogenen Cannabinoiden hat, am zentralen Nervensystem im Endocannabinoid-System (ECS). Die Hauptfunktion des Endocannabinoid-Systems ist es, die Aktivität von Botenstoffen im Gehirn zu regulieren und auf ausgewogenes Niveau zu bringen. Damit hat dieses System Einfluss auf alle wichtigen Körperfunktionen sowie alle Gewebe und Organe des Körpers. CBD wirkt am Cannabinoid-1-Rezeptor des ECS, der für die Signalweitergabe von Neurotransmittern zuständig ist und somit Einfluss auf die Über- oder Unteraktivität wichtiger Botenstoffe, wie beispielsweise Serotonin, Dopamin und Glutamat, hat. Es wurde nachgewiesen, dass CBD den Cannabinoid-1-Rezeptor aktiviert und die Konzentration des Endocannabinoids Anandamid durch die Hemmung des Abbaus erhöht. Die antiinflammatorische Wirkung von CBD beruht auf der durch CBD induzierten verstärkten Signalgebung von Adenosin und damit der Hemmung einiger entzündungsfördernder Botenstoffe. Zudem wirkt CBD als Antioxidans, als Fänger freier Radikale. Es wurde nachgewiesen, dass CBD ähnlich gut freie Radikale abfängt und damit vor oxidativen Schädigungen schützt wie die bekannten Antioxidantien Vitamin C und E. Auch haben erste Ansätze der Grundlagenforschung zu Krebs ergeben, dass CBD u. a. durch die Hemmung der Bildung von Blutgefäßen, die wichtig für das Krebswachstum sind, eine krebshemmende Wirkung aufweist. Dies stellt nur einen kleinen Ausschnitt der bisher erforschten Wirkmechanismen von CBD dar. Aufgrund dieser Wirkmechanismen wird CBD folgendes therapeutisches Potenzial und folgende medizinische Einsatzgebiete zugesprochen:

- Epilepsie,
- Angststörungen,
- Depressionen,
- schizophrene Psychosen,
- Entzündungen und entzündungsbedingte Schmerzen,
- Bewegungsstörungen: Dystonie und Dyskinesie,
- Übelkeit und Erbrechen,
- Hemmung des Appetits [49].

Allerdings steht die Forschung von CBD für medizinische Zwecke noch am Anfang. Die Wirkungen und Mechanismen wurden bisher nur in Tierversuchen und im Labormaßstab nachgewiesen. Bisher gibt es nur wenige klinische Studien, die die Wirksamkeit von CBD am Menschen nachweisen konnten, sodass es bisher am deutschen Markt keine zugelassenen reinen CBD-Arzneimittel gibt. In den USA gibt es ein zugelassenes CBD-Medikament (Epidiolex), das erfolgreich gegen Epilepsie eingesetzt wird [49] [48]. Das Expertenkomitee für Drogenabhängigkeit der Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat 2018 [111] in seinem Bericht zum kritischen Review von Cannabidiol festgestellt, dass CBD kein Missbrauchs- und Abhängigkeitspotenzial aufweist. Allgemein wird CBD gut vertragen und hat ein hohes Sicherheitsprofil. Bisher bekannt gewordene Nebenwirkungen traten in Wechselwirkung mit der Einnahme anderer Medikamente aufgrund der Interaktion der Wirkstoffe ein. Hinsichtlich der medizinischen Wirksamkeit ist die WHO der Ansicht, dass bis auf das gut erforschte Mittel Epidiolex gegen Epilepsie die Forschung für die medizinische Anwendung noch am Anfang steht. Dadurch ist der Konsum von CBD in Nahrungsergänzungsmitteln für medizinische Zwecke sehr kritisch zu sehen [111].

Der Markt mit CBD-Ölen und -Extrakten boomt mit zweistelligen Wachstumsraten. Interessant ist diese Nutzungsrichtung auch für Landwirte, da diese die CBD-reichen Industrieansorten, bei Einhalten des dreistufigen Meldeverfahrens, anbauen dürfen [89]. Allerdings ist ein großes Hemmnis des Markts die rechtliche Grauzone der CBD-Produkte. Die hohe Nachfrage nach CBD-Produkten kann aufgrund der unterschiedlichen nationalen Vorschriften nicht gedeckt werden. Bislang gibt es in Europa keine einheitliche gesetzliche Regelung. Im Januar 2019 wurden Nahrungsergänzungsmittel, die konzentriertes CBD enthalten, als neuartige Lebensmittel (*Novel Food*) eingestuft [25]. Laut EU-Verordnung 2015/2283 wird ein neuartiges Lebensmittel als Lebensmittel definiert, das vor dem 15. Mai 1997 nicht in signifikanten Mengen in der Humanernährung vorkam. Gelistet werden die neuartigen Lebensmittel im Novel-Food-Katalog der EU. Mit der Listung bedarf ein *Novel Food*, bevor es verkehrsfähig wird, einer Zulassung [39]. Demnach ist lediglich für Lebensmittel aus Hanfsamen (z. B. Hanfsamenöl oder -mehl) sowie entharzte Hanfblüten und Blätter zur Aromatisierung von Tees und bierähnlichen Getränken eine nennenswerte Verwendung für den menschlichen Verzehr vor dem relevanten Stichtag des 15. Mai 1997 belegt. Für CBD-angereicherte Hanfextrakte und Nahrungsergänzungsmittel konnte dieser Beleg nicht erbracht werden. Daher gilt für entsprechende Erzeugnisse, solange sie keine Betäubungsmittel oder Arzneimittel sind, dass es sich um zulassungspflichtige neuartige Lebensmittel handelt [34]. Laut BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT (BVL) (2019) [17] ist eine solche Zulassung für Produkte mit CBD-haltigen Extrakten bisher nicht erfolgt und sie dürfen demnach nicht in Verkehr gebracht werden. Für die europäische Hanfindustrie bedeutet dies einen erheblichen Einschnitt im sich bisher rasch entwickelnden Hanfmarkt. Laut EUROPEAN INDUSTRIAL HEMP ASSOCIATION (EIHA) (2019) [37] würde eine Zulassung für ein Produkt, das mindestens ein zweijähriges Genehmigungsverfahren durchlaufen muss, über 300.000 Euro kosten. Dadurch werden kleine und mittelständische Unternehmen, die bisher den Hanfmarkt bilden, ausgeschlossen. Aufgrund der gesetzlich unsicheren Lage wurde 2019 in regelmäßigen Abständen von polizeilichen Razzien und beschlagnahmten

CBD-haltigen Hanfprodukten berichtet. So wurden bei einer in München durchgeführten Razzia in acht Hanfläden kiloweise CBD-Produkte, wie Hanfttee, CBD-Öl und CBD-Blüten, beschlagnahmt und Anzeige erstattet [90] [96].

2.9 Entwicklung der Anbauflächen und rechtliche Situation wichtiger Hanfanbauerländer

Im Hinblick auf die Entwicklung der Anbauflächen von Hanf ist weltweit ein deutlicher Aufwärtstrend erkennbar. Bei dem Blick auf Übersee fällt zunächst der starke Anstieg von Nutzhanf in Kanada auf. Kanada war eines der ersten Länder, in dem Hanf zur reinen Samennutzung angebaut wurde. Durch die hohe Nachfrage der Hanf-Nahrungsmittel-Industrie konnte die Anbaufläche von 34.000 ha im Jahr 2016 auf 56.000 ha im darauffolgenden Jahr erweitert werden. Dies entspricht einem Anstieg von 65 % [80].

In den USA war Nutzhanf als Faserrohstoff im 18. und 19. Jahrhundert eine weitverbreitet angebaute Kulturpflanze. 1937 wurde Hanf mit dem „Marihuana Tax Act“ durch die hohe Besteuerung ökonomisch uninteressant. Ähnlich wie in Europa und vor allem Deutschland gab es einen kurzen Aufschwung während des Zweiten Weltkriegs („Hemp for Victory“). Schließlich wurde Hanf mit der Listung von Cannabis auf der „Schedule 1 of controlled substances“, in der auch harte Drogen wie Heroin oder Kokain aufgeführt sind, 1978 als vollständig illegal erklärt. Eine erste Lockerung kam erst 2014 mit der „2014 Farm Bill“ zustande. Diese erlaubte den Hanfanbau zu Forschungszwecken, in dem das Land Kentucky Vorreiter wurde. Erst 2018 wurde der Nutzhanfanbau mit der „2018 Farm Bill“ landesweit legalisiert. Damit dürfen amerikanische Farmer Industriehanfsorten mit einem THC-Gehalt von unter 0,3 % anbauen [76]. Zudem wurden Hanfextrakte von der „Schedule 1 of the Controlled Substances“ genommen, sodass CBD-angereicherte Nahrungsergänzungsmittel verkauft werden dürfen. Durch den CBD-Hype verzeichnete der amerikanische Industriehanfanbau laut UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (2019) [100] in den Jahren 2018 bis 2019 einen rasanten Anstieg von 14.000 ha auf 58.000 ha (Zahlen aus dem Mehrfachantrag, bereitgestellt vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten).

Beim Blick nach China kann auch ein zunehmender Anbau von Hanf beobachtet werden. Hier erfuhr Hanf vor allem als Ersatzrohstoff für Baumwolle für die Textilindustrie einen Aufschwung. Dafür wurde im Nordosten Chinas ein Förderprogramm für enzymatisch aufgeschlossene Hanffasern für Textilien eingeführt, um diese ökonomisch konkurrenzfähiger zu machen. Durch diese Bemühungen stiegen die Anbauflächen von 40.000 ha im Jahr 2016 auf über 47.000 ha im Jahr 2017. Auch in China ist ein steigendes Interesse an Hanflebensmitteln sowie auch CBD zu erkennen [80].

In Europa kann ein ähnlich starker Anstieg der Anbauflächen verzeichnet werden. Zunächst kann ein kurzer Peak in den Hanfanbauflächen zu Beginn der 1990er Jahre verzeichnet werden. So stiegen die Anbauflächen bis auf 20.000 ha. Dieser Anstieg lässt sich durch die sukzessive Legalisierung von Hanf in den EU-Mitgliedsstaaten erklären.

So begann das Vereinigte Königreich 1990 mit der Wiedereinführung von Hanf. Dem folgten wichtige Hanfanbauländer wie die Niederlande und Deutschland [80]. Ein weiterer Grund für den kurzzeitigen Hanf-Hype in diesem Zeitraum war das lukrative Förderprogramm der damaligen Europäischen Gemeinschaft: „Flachs- und Hanfbeihilfe“ (EWG-Verordnungen Nr. 1308/70, Nr. 619/71, Nr. 1524/71). Mit der Reformierung der Gemeinsamen Marktordnung (GMO) 2000 und der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) 2003 [40] sowie dem damit verbundenen sukzessiven Wegfall der Beihilfen für den Hanfanbau nahmen die Anbauflächen bis zum Jahr 2011 stetig ab [40]. Erreichte die europäische Anbaufläche 2011 noch ihren Tiefpunkt mit 8.000 ha, so stieg diese bereits vier Jahre später auf eine Fläche von 26.000 ha. Dieser Trend hält bis heute an, sodass 2017 eine Anbaufläche von rund 47.000 ha verzeichnet wurde. Als Ursache für diesen starken Anstieg wird die steigende Nachfrage im Lebensmittel- und Nahrungsergänzungsmittelbereich und der Pharmaindustrie gesehen [80]. Wichtigstes Hanfanbauland in Europa ist Frankreich mit einer Anbaufläche von knapp 15.000 ha im Jahr 2016 [25]. Frankreich ist eines der wenigen Länder, in denen durchgehend Hanfanbau betrieben wurde. Die Nutzung von Faserhanf in der Zellstoff- und Papierindustrie hat in Frankreich eine lange Tradition [80].

Die Trendwende der europäischen Hanfanbauflächen spiegelt sich auch auf den deutschen Äckern wider. Ende der 1990er Jahre stiegen die Anbauflächen wegen der lukrativen Fördermittel aus der damaligen EG rasant bis auf den Spitzenwert von 4.068 ha. Mit deren Abschaffung erreichte auch die deutsche Hanfwirtschaft 2012 ihren Tiefpunkt mit einer Anbaufläche von 424 ha. In den letzten Jahren gewann Hanf wieder kontinuierlich an Fläche. Im Jahre 2016 wurden von 188 deutschen Betrieben 1.472 ha Hanf angebaut [21]. In den beiden darauffolgenden Jahren verdoppelte sich die Fläche auf 2.800 ha im Jahr 2018 [92]. Auch in Bayern ist das gestiegene Interesse an der Kultur Hanf in den Anbauflächen zu erkennen. So wurde Hanf 2018 auf 178 ha bayrischer Ackerfläche kultiviert. Und bereits 2019 verdoppelte sich diese Fläche fast auf 359 ha (Zahlen aus dem Mehrfachantrag, bereitgestellt vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten).

Tabelle 4: Entwicklung der Hanfanbaufläche in Europa, Kanada und China (2016–2017)

Land	Jahr	Fläche in ha	Jahr	Fläche in ha	Anstieg in %
Europa	2016	20.000	2017	47.000	235
Kanada	2016	34.000	2017	56.000	65
China	2016	40.000	2017	47.000	18

2.10 Rechtliche Lage in Deutschland und Meldeverfahren Nutzhanf

Galt in den Jahren 1982 bis 1995 noch ein allgemeines Anbauverbot von Hanf, so wurde 1996 der Anbau von Nutzhanf unter gewissen Voraussetzungen wieder erlaubt [18]. Gesetzliche Grundlage bildet die Änderung des Betäubungsmittelgesetzes (BtMG). In der Anlage 1 zu § 1 Abs. 1 wird der Begriff ‚Nutzhanf‘ gesetzlich definiert und vom Betäubungsmittelgesetz ausgenommen. Als Nutzhanf gelten die im „Gemeinsamen Sortenkatalog für landwirtschaftliche Pflanzenarten“ gelisteten Sorten, die jeweils am 15. März des Anbaujahrs von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) veröffentlicht werden. Eine wichtige Voraussetzung für die Listung der Nutzhanfsorten ist ein THC-Gehalt von weniger als 0,2 %. Die Anbaubefugnis von Nutzhanf ist ausschließlich Unternehmen der Landwirtschaft vorbehalten. Ein landwirtschaftliches Unternehmen wird definiert über § 1 Abs. 4 Gesetz zur Alterssicherung für Landwirte (ALG). Demnach gilt die Anbauerlaubnis für Nutzhanf für Landwirte, die bei einer landwirtschaftlichen Alterskasse versichert sind oder sich von der Versicherungspflicht haben befreien lassen. Gemeldet werden muss der Nutzhanfanbau bei der BLE bis zum 1. Juli des Anbaujahrs und dem zuständigen Amt für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten (AELF) bis zum 15. Mai. Für den Anbau darf nur zertifiziertes Saatgut, wobei auch Vorstufen- und Basisaatgut anerkannt wird, verwendet werden. Daher müssen als Nachweis die Saatgutetiketten an das BLE oder bei Inanspruchnahme der Basisprämie an das zuständige Amt für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten mit dem Mehrfachantrag gesandt werden. Zudem muss der Blühbeginn des Hanfbestands an das BLE gemeldet werden. Hintergrund für die Blühmeldung ist, dass das BLE im Stichprobeverfahren Proben vom Blütenstand nimmt und auf den THC-Gehalt testet. Damit soll gewährleistet werden, dass die im Sortenkatalog gelisteten Sorten die geforderte Grenze von 0,2 % THC einhalten. Erst nach dem Freigabeschreiben des BLE darf der Landwirt seinen Bestand ernten.

3 Problemstellung und Zielsetzung

Der Anbau von Hanf ist in Bayern noch weitgehend unbekannt. Die Anbauflächen nehmen zu, während noch neue Nutzungsrichtungen und Fruchtfolgenstellungen, wie der sogenannte Winterhanf, dazukommen. Diese Entwicklung zeigt, dass das Interesse an unterschiedlichsten Hanfprodukten sowie auch dem Anbau der Kulturpflanze selbst wächst. Gerade die neuen Nutzungs- und Produktrichtungen stellen allerdings spezielle Anforderungen an die Erntetechnik und die nötigen Qualitäten.

In dem hier vorgestellten Forschungsprojekt sollten daher die Entwicklungen und Erkenntnisse vergangener Jahre in einer umfassenden Literaturrecherche zusammengetragen und aufbereitet werden. Diese Übersicht sollte einerseits wertvolles Expertenwissen für eine Beratung zum Thema Hanf schaffen, andererseits auch grundsätzliche Wissenslücken aufzeigen. Ein mehrjähriges Folgeprojekt sollte danach die herausgearbeiteten Fragen unterschiedlicher Aspekte zur Hanfproduktion bzgl. Sortenwahl, Anbau- und Ernteverfahren sowie Verarbeitung von Korn, Faser und Öl für Bayern untersuchen.

Zusätzlich sollten Erfahrungen durch in kleinem Umfang durchgeführte pflanzenbauliche Praxisversuche gesammelt werden, welche die theoretischen Aussagen fundieren. Feldbegehungen mit bereits Hanf anbauenden Landwirten sollen die Erfahrungen und auch Probleme der Praxis aufgreifen, da hier an der echten Pflanze erklärt und diskutiert werden kann.

Hanf zeigt ein enormes Längenwachstum und ist mit seinen dichten und schnell schließenden Beständen für seine Unkrautunterdrückung bekannt. In der Gesellschaft wird der Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel, insbesondere von Totalherbiziden auf Basis von Glyphosat, mittlerweile kritisch gesehen und ein weitmöglicher Verzicht gefordert. Einige Landbesitzer wie Gemeinden oder Kirchen haben bereits entsprechende Bewirtschaftungseinschränkungen auf ihren verpachteten Flächen durchgesetzt. Der schnellstmögliche Ausstieg Bayerns aus der Nutzung von Glyphosat wurde ebenfalls von politischen Entscheidungsträgern angekündigt. Der Anbau von Hanf soll deshalb rein mit mechanischer Unkrautbekämpfung, wie Hacken, durchgeführt werden.

Langfristig kann durch einen ausgedehnten Hanfanbau die Biodiversität bei der Pflanzenproduktion gesteigert, Produktionsrisiken verringert, notwendige Rohstoffe regional hergestellt und so die landwirtschaftliche Wertschöpfung verbessert und die gesellschaftliche Akzeptanz der Energie- und Rohstoffwende erreicht werden. Durch die mit diesem Projekt erreichte Informationszusammenstellung für Landwirte, Berater und Verarbeiter sowie die Vernetzung sollen bayerische Akteure frühzeitig in relevante Marktentwicklungen eingebunden werden und gleichsam davon profitieren können.

4 Material und Methoden

4.1 Beschreibung Versuchsstandort und Witterungsverlauf

Die Versuchsfläche befindet sich zwischen Straubing und Aiterhofen (48,852° nördlicher Breite, 12,591° östlicher Länge) auf einer Höhe von 335 m. In der von ROßBERGER et al. (2007) [88] erarbeiteten Gebietsgliederung der Bundesrepublik nach Boden-Klima-Räumen wird der Standort als „Gäu, Donau- und Inntal“ ausgewiesen. Die Fläche gehört damit zu der Landschaftseinheit des Gäubodens, der durch das Ausgangsmaterial Löss und die hohe Mächtigkeit zu den fruchtbarsten Böden Bayerns zählt. Aus diesem Grund ist die Region durch intensiven Ackerbau mit Kartoffel, Zuckerrübe und Sonderkulturen gekennzeichnet. Die vorliegende Bodenart des Oberbodens ist schluffiger Lehm (uL) und der Bodentyp ist eine Parabraunerde. Die Ackerzahl liegt damit sehr hoch bei 76. Das Klima am Versuchsstandort ist kontinental geprägt. Im langjährigen Mittel (1981 bis 2010) betrug an der Wettermessstation des Deutschen Wetterdiensts in Straubing die Jahresmitteltemperatur 8,6 °C und die mittlere Jahresniederschlagssumme rangierte bei 757 mm [35] (Tabelle 5).

Tabelle 5: Beschreibung des Versuchsstandorts Straubing

Merkmal	Straubing
Höhenlage	335 m über NN
Geografische Lage	48° 85' nördl. Breite, 12° 59' östl. Länge
Bodentyp	Parabraunerde
Bodenart des Oberbodens	schluffiger Lehm
Mittlere Jahrestemperatur	8,6 °C
Mittlere Jahresniederschläge	757 mm
Ackerzahl	76

Als Vorfrucht stand Winterweizen auf der Fläche, wobei danach Senf als Zwischenfrucht angebaut und im Herbst mit dem Pflug eingearbeitet wurde. Vor Beginn des Versuchs wurde der mineralische Stickstoffgehalt (N_{\min}), der sich aus Ammonium-N und Nitrat-N zusammensetzt, auf der Versuchsfläche bestimmt. Es wurde Ende April 2019 ein N_{\min} -Wert von 66 kg/ha festgestellt. Eine Grundbodenuntersuchung für die Nährstoffe Phosphor, Kalium, Magnesium sowie den pH-Wert wurde zuletzt im Frühjahr 2018 durchgeführt. Die genauen Ergebnisse und Einordnungen in Gehaltsklassen können Tabelle 6 entnommen werden. Die Nährstoffe sind hierbei nicht in ihrer Elementarform aufgeführt, sondern als Phosphorpentoxid (P_2O_5), Kaliumoxid (K_2O) und Magnesiumoxid (MgO) bezeichnet. Bis auf den Nährstoff Phosphor lag eine ausgewogene Nährstoffversorgung im Boden vor. Allerdings lag der Phosphatgehalt mit dem Analyseergebnis von 9 mg $P_2O_5/100$ g Boden sehr nah an der Gehaltsklasse C, die bei 10 mg $P_2O_5/100$ g Boden beginnt. Der Kalkbedarf kann anhand der Parameter Bodenart und pH-Wert abgeschätzt

werden. So kann dem Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland [110] entnommen werden, dass bei der vorliegenden Bodenart schluffiger Lehm und einem pH-Wert von 6,7 für eine Erhaltungskalkung im Zyklus von drei Jahren eine Aufwandmenge von 17 dt CaO/ha erforderlich ist.

Tabelle 6: Bodenparameter des Versuchsstandorts Straubing

Parameter	Straubing, Auf der Platte	Gehaltsklasse (A–E)
pH-Wert	6,7	
N _{min} (kg/ha)	66	
P ₂ O ₅ (mg/100 g Boden)	9	B
K ₂ O (mg/100 g Boden)	11	C
MgO (mg/100 g Boden)	13	C

Anfang August 2018 wurden als Fruchtfolgedüngung 500 kg/ha 40er Kornkali (40 % Kaliumoxid) ausgebracht, was einer Zufuhr von 166 kg/ha Kalium, 15 kg/ha Natrium und 18 kg/ha Magnesium entspricht. Zudem wurde Ende August eine Erhaltungskalkung mit einer Aufwandmenge von 3 t/ha kohlensaurem Kalk, was einer Zufuhrmenge von ca. 15 dt CaO/ha entspricht, durchgeführt. Die N-Düngung der einzelnen Versuchsblöcke kann dem Unterkapitel 4.2 Versuchsdesign und Bestandsführung entnommen werden. Der Witterungsverlauf 2019 war sehr durchwachsen. Zunächst begann das Jahr mit etwas höheren Temperaturen als im langjährigen Mittel. So lagen die Temperaturen der Monate Januar bis März durchschnittlich 2 °C höher als der langjährige Durchschnitt (1981 bis 2010). Die Niederschlagsmenge fiel in diesem Zeitraum um 20 % niedriger aus als im langjährigen Mittel. Diese Niederschläge fehlten wiederum, um den Wasserhaushalt der Böden aus dem trockenen Jahr 2018 ganz aufzufüllen. Die Vegetationsperiode startete im April auch etwas wärmer mit durchschnittlichen Temperaturen von 10 °C und sehr trocken mit nur knapp 20 mm Niederschlag, was im Vergleich zum langjährigen Mittel nur der Hälfte der Niederschlagssumme entspricht. Der Monat Mai 2019 war insgesamt kühl und nass und mit einer Niederschlagssumme von 103 mm und einer Durchschnittstemperatur von 11 °C ein deutlicher Ausreißer zum langjährigen Mittel. Durch die kühlen Temperaturen verzögerte sich die Jugendentwicklung der Hanfpflanze und das rasche Wachstum stellte sich erst im wärmeren Monat Juni ein. Der Sommer 2019 war geprägt von warmen Temperaturen und vergleichsweise niedrigen Niederschlagssummen (Abbildung 19).

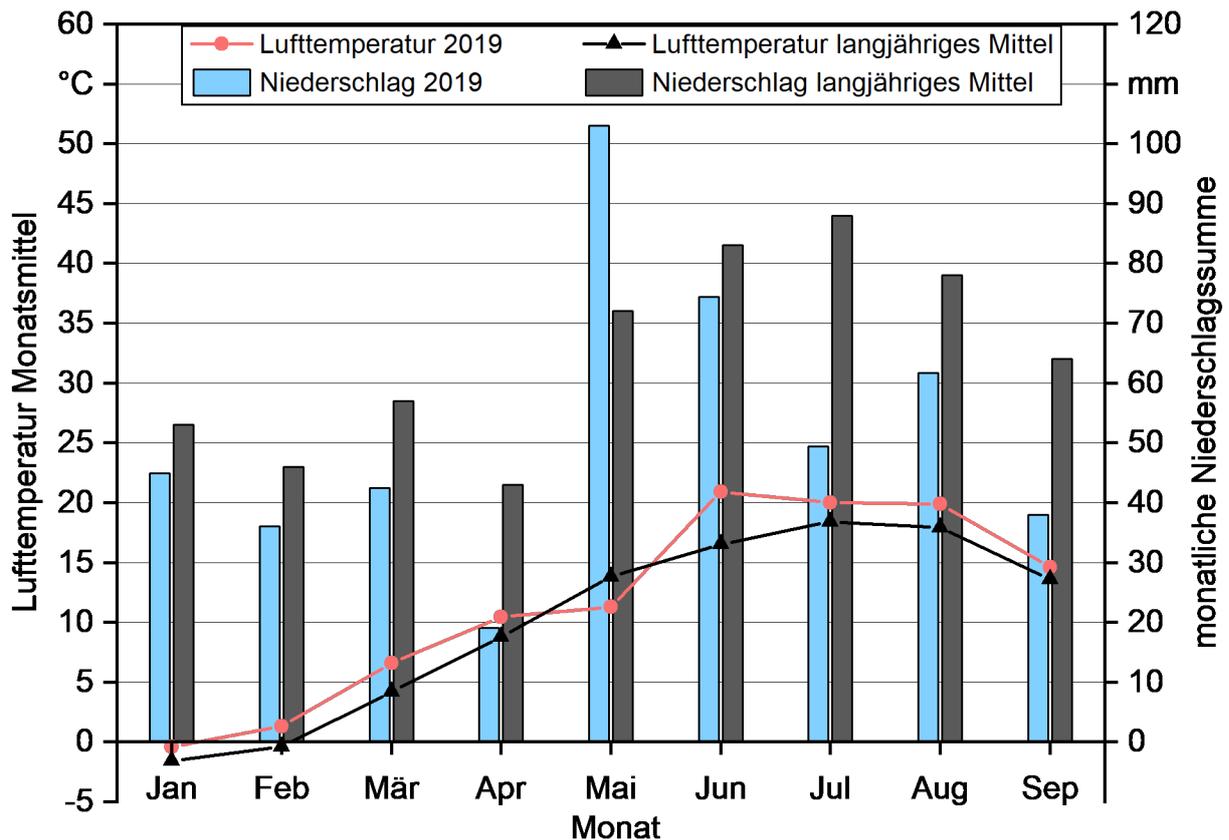


Abbildung 19: Witterungsverlauf am Versuchsstandort Straubing von Januar bis September im Vergleich mit dem langjährigen Mittel (1981 bis 2010), Datengrundlage langjähriges Mittel: DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) [35]; Station Straubing; Datengrundlage Wetterdaten 2019: BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL) [7], Station Piering

4.2 Versuchsdesign und Bestandsführung

Für die Verwertungsrichtungen Körner, Faser, Cannabidiol (CBD) und Dualnutzung wurden getrennte Versuche angelegt. Dadurch konnte, je angestrebtem Erntegut bzw. nach wertbestimmendem Inhaltsstoff, die Bestandsführung von der Sortenwahl über die Aussaattechnik bis hin zur Düngung spezifisch angepasst werden.

Die Aussaat aller vier Versuchsanlagen fand Ende April unter optimalen Witterungsbedingungen am 25. und 26.04.2019 statt. Jede Variante der ein- bzw. zweifaktoriellen Versuche wurde mit vier Wiederholungen randomisiert in Blockanlagen angelegt. Durch diese Anlagemethode sowie die Wiederholungen und die Randomisierung können unerwünschte exogene Einflüsse, wie heterogene Bodeneigenschaften, minimiert werden. Die Abmessungen der exakt beernteten Kernparzellen betragen jeweils 6,70 m Länge und 1,50 m Säbreite, also insgesamt 10,05 m². Dabei wurden die Kernparzellen jeweils links und rechts von Randparzellen mit ebenfalls 1,50 m Breite sowie von 1,30 m langen Stirnrändern an den Kopfseiten eingefasst, um Randeffekte auszuschließen. Die Düngung wurde am 24.05.2019 mit Kalkammonsalpeter (KAS) mit einem Gesamtstickstoffgehalt von 27 % durchgeführt, die genauen Mengen je Versuch bzw. Versuchsvariante

sind bei den einzelnen Versuchsbeschreibungen aufgeführt. Darüber hinaus wurden bis auf den Faserversuch alle Versuche Anfang Juni am 03.06.2019 als Maßnahme zur mechanischen Unkrautregulierung gehackt.

4.2.1 Körnersversuch: Kulturführung und Ernteverfahren

Der Körnersversuch wurde als zweifaktorielle, randomisierte Blockanlage angelegt. Einen Faktor stellten die drei unterschiedlichen Sorten Finola, Uso-31 und Earlina 8-FC dar. Die Sortenauswahl erfolgte anhand der Eignung zur Körnernutzung, die hauptsächlich durch Kornertag, Ölgehalt, Frühreife und Wuchshöhe charakterisiert wird. Die Reifedauer, die von den Züchtern auch als Frühreife bezeichnet wird, ist von großer Bedeutung, da die technische Reife im Gegensatz zum Faserhanf entsprechend später erreicht wird. Daher wurde im Versuch auf frühreife Sorten gesetzt, um die Kornerte unter unseren Vegetationsbedingungen sicher gewährleisten zu können. Die Wuchshöhe ist vor allem entscheidend für die damit verbundene Fähigkeit zur Druschernte. Je höher die Pflanzen zum Erntetermin sind, umso mehr Biomasse und vor allem faseriges Material muss durch den Mähdescher ausgedroschen werden und wirkt dadurch limitierend auf die Druschleistung. Weiterführende Informationen über die verwendeten Sorten können Tabelle 7 entnommen werden.

Tabelle 7: Beschreibung der Sorten im Körnerhanfversuch [3] [12] [56]

Sorte	Frühreife	Vegetationsperiode in Tagen	Herkunft	Häusigkeit	Wuchshöhe in m
Finola	sehr früh	100–120	Finnland	zweihäusig	max. 1,40 [3]
Uso-31	sehr früh	122–127	Ukraine	einhausig	2,00 – 2,50 [12]
Earlina 8FC	sehr früh	115–120	Frankreich	einhausig	–

Der zweite Faktor war die Aussaattechnik. Um das Produktionsziel eines hohen Kornertags zu erreichen, ist eine gleichmäßige und saubere Saatgutablage erfolgsentscheidend. Aus diesem Grund wurde die Einzelkorntechnik mit der herkömmlichen Drilltechnik mit einem Reihenabstand von jeweils 37,5 cm verglichen. Um mögliche Randeffekte ausschließen zu können, wurden Dreifachparzellen angelegt, sodass nur die mittlere Parzelle, im Folgenden auch Ernteparzelle und Kernparzelle genannt, für die Datenerhebung verwendet wurde.

Eine Übersicht über die einzelnen Varianten kann Tabelle 8 entnommen werden. Als Aussaatstärke wurden 100 keimfähige Körner festgelegt, was einer Saatmenge von 16 kg/ha Finola, 24 kg/ha Uso-31 und 11 kg/ha Earlina 8-FC entspricht. Die Spannweite in der Saatgutmenge liegt in den unterschiedlichen Tausendkorngewichten und Keimfähigkeiten begründet. Für die Aussaat wurde eine Parzellendrillsämaschine der Firma Inotec Haldrup verwendet, die für die Bodenöffnung und Saatgutablage mit einer Kverneland-CX-Scheibenschar mit Tiefenführungsrolle ausgestattet ist und damit wie eine her-

kömmliche Getreidesämaschine arbeitet. Auch bei dem eingesetzten Parzelleneinzelkornsägerät der Firma Wintersteiger Monoseed DT mit Doppelscheibenschar und Andruckrollen ist die Säeinrichtung wie bei in der Praxis verwendeten Einzelkornsämaschinen aufgebaut. Gedüngt wurde mineralischer Stickstoff mit einer Aufwandmenge von 60 kg N/ha im Zweiblattstadium. Dies entspricht zusammen mit dem N_{\min} -Vorrat im Boden von 66 kg/ha einer verfügbaren Menge an Stickstoff von 126 kg/ha. Die Hackmaßnahme wurde am 03.06.2019 durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt war der Bestand 20 bis 30 cm hoch mit 4 bis 5 Blättern.

Tabelle 8: Übersicht des zweifaktoriellen Aufbaus des Körnerhanfversuchs und Variantenbezeichnungen

1. Faktor: Sorte	2. Faktor: Aussaattechnik	Variantenbezeichnung
Finola	Einzelkorn	Finola, EZK
	Drille	Finola, Drille
Earlina 8-FC	Einzelkorn	Earlina, EZK
	Drille	Earlina, Drille
Uso-31	Einzelkorn	Uso, EZK
	Drille	Uso, Drille
Finola	Focus-Horsch	Finola, Focus
Uso-31	Focus-Horsch	Uso, Focus

Zusätzlich wurde an dem Körnerversuch ein Praxisversuch der Firma Horsch angelegt. Hier wurden in Streifenanlage an der Nord- und Südseite des Körnerblocks mit jeweils zwei Überfahrten die Sorten Finola und Uso-31 gesät, im Folgenden als Finola-Focus und Uso-31-Focus bezeichnet. Als Sägerät kam der Prototyp Focus (Abbildung 20) mit einer konventionellen Arbeitsbreite von 3 m und 37,5 cm Reihenabstand zum Einsatz. Das Besondere an dieser Aussaattechnik ist die Streifenbearbeitung mit Zinken auf 30 cm Tiefe. Damit soll gewährleistet werden, dass der Hanf in seiner Wurzelentwicklung durch die Bodenlockerung gefördert wird und an der wasserführenden Bodenschicht Anschluss findet. Die danach laufenden Hohlscheiben arbeiten zwischen den Saatreihen und wirken dammbildend. Als Rückverfestigung und zur Herstellung des Bodenschlusses läuft ein Reifenpacker mit. Die Saatgutablage geschieht im Tal der kleinen Dämme, mit dem Ziel, das dort vorherrschende feuchtere Mikroklima für eine optimale Keimung ausnutzen zu können.



Abbildung 20: Prototyp Sämaschine Focus, Firma Horsch



Abbildung 21: Saatbett: herkömmliche Drill- und Einzelkornsätechnik (vorne), Sämaschine Focus, Firma Horsch (hinten)

Ernteverfahren

Für die Ernte des Körnerversuchs wurde ein Parzellendrescher (Haldrup, MT, Baujahr 2000) mit einem konventionellen Getreideschneidwerk verwendet (Abbildung 22). Dabei wurde in den langstrohigen Sorten Uso-31 und Earlina 8-FC das Schneidwerk auf maximaler Höhe von 80 cm gefahren.



Abbildung 22: Mähdrusch Körnerhanf mit Parzellendrescher und Getreideschneidwerk

Nach der Ernte wurden die Körner für sechs Tage bei Temperaturen zwischen 30 und 40 °C in der Biomassetrocknung am TFZ getrocknet und gewogen. Aufgrund des hohen Anteils an Stängel- und Blätterresten wurden die Körner im Nachgang mittels Steigsichter gereinigt (Abbildung 23). Anschließend wurde das TM-Gewicht über die Trocknung bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz bestimmt.



Abbildung 23: Hanfkörner nach Mähdrusch (links); Körner nach anschließender zusätzlicher Reinigung im Steigsichter (rechts)

4.2.2 CBD-Versuch: Kulturführungsdaten und Ernteverfahren

Der CBD-Versuch wurde als zweifaktorielle, randomisierte Blockanlage angelegt. Um einen möglichst hohen CBD-Ertrag auf der Fläche zu generieren, sind zum einen die Sorte und zum anderen der Erntezeitpunkt erfolgsentscheidend. Bei der Sortenwahl für diese Nutzungsrichtung ist vor allem der CBD-Gehalt entscheidend. Dieser hängt zum einen vom Genotyp und zum anderen vom Anteil weiblicher Pflanzen ab, weshalb monözische Pflanzen vorzugsweise für diese Nutzungsrichtung verwendet werden. Eine Übersicht über die im CBD-Versuch verwendeten Sorten kann Tabelle 9 entnommen werden. Als Erntezeitpunkte wurden zu Beginn der Blüte, Vollblüte und Beginn der Samenreife festgelegt.

Tabelle 9: Übersicht Eigenschaften der Sorten für CBD-Nutzung [49] [56] [62]

Sorte	Frühreife	Vegetations- periode Tage	Herkunft	Häusigkeit	CBD- Gehalt %
KC Dora	spät	145	Ungarn	monözisch	2,0–3,0 [62]
Fedora 17	früh	129–134	Frankreich	monözisch	1,4 [49]
Felina 32	mittel	133–138	Frankreich	monözisch	1,3–1,6 [49]

Es wurden Fünffachparzellen mit einer herkömmlichen Drilltechnik und einem Reihenabstand von 37,5 cm gesät. Es wurden Fünffachparzellen gewählt, damit an den drei Ernteterminen für die Bestimmung der CBD-Konzentration jeweils eine Ernteparzelle zur Verfügung steht. Damit Randeinflüsse ausgeschlossen werden konnten, wurden auch hier neben den drei Ernteparzellen zwei Randparzellen angegliedert.

Als Aussaatdichte wurden 125 keimfähige Körner/m² gewählt, was einer Saatstärke von 26 kg/ha KC Dora, 20 kg/ha Fedora 17 und 23 kg/ha Felina 32 entspricht. Da es während der Aussaat zu Problemen mit Saatgutverstopfung in der Getreidedrille kam, mussten ca. zwei Wochen nach der Aussaat am 14.05.2019 nochmals sieben Parzellen nachgesät werden, wobei nur zwei Ernteparzellen betroffen waren. Es wurde ebenfalls wie im Körnerversuch 60 kg/ha mineralischer Stickstoff in Form von KAS gedüngt, sodass zusammen mit dem mineralischen Stickstoffvorrat im Boden 126 kg N/ha pflanzenverfügbar vorlagen. Auch wurde Anfang Juni im 4- bis 5-Blatt-Stadium (Code: 1008 bis 1010) gehackt.

Ernteverfahren

Die Beerntung des CBD-Versuchs wurde am 26.08.2019 mittels Parzellenhäcksler und durch Handbeerntung mittels Rosenschere durchgeführt, da für den Versuch keine Ausleihe eines Spezialernters von einem Praktiker infrage kam. Zuerst wurden die Kernparzellen freigestellt, indem die Randparzellen und Stirnränder per Häcksler beerntet wurden (Abbildung 24). Für die CBD-Gewinnung wird in der Praxis aufgrund zu niedriger

CBD-Konzentrationen in der Restpflanze nur der Blütenstand (Infloreszenz) geerntet. Im Versuch wurde aufgrund der heterogenen Bestände – und um die Sorten untereinander vergleichen zu können – eine Schnitthöhe von 1,40 cm festgelegt. In dieser Höhe wurden alle Pflanzen der Kernparzellen mit Rosenschere abgeschnitten. Das so gewonnene obere Bestandsdrittel entsprach im Durchschnitt dem Blütenstand der Pflanzen, im Folgenden auch als Blütenstand bezeichnet. Der Blütenstand wurde verwogen und für die Bestimmung des Trockensubstanzgehalts, der Nährstoffgehalte (N, P und K) und der Cannabidiol-Gehalte beprobt. Die Vorgehensweise zur Cannabidiol-Probenahme und -Gehaltsbestimmung wird in einem Unterkapitel der Datenerhebungsmethoden genauer erläutert. Die verbliebenen Stängelreste, im Folgenden als Restpflanze bezeichnet, wurden dann mit dem Parzellenhäcksler beerntet, dabei verwogen und ebenfalls für die Bestimmung des Trockensubstanzgehalts und der Nährstoffgehalte beprobt. Hierbei war es aufgrund des faserreichen Materials nicht möglich, die automatische Probenabfüllung im Probenehmer zu nutzen, sondern die Biomasse musste nach Mischung im Zyklon auf einen Haufen ausgeblasen und von dort jeweils die Probe aus vielen einzelnen Punkten entnommen werden.



Abbildung 24: Ernte mit dem Parzellenhäcksler

4.2.3 Dualversuch: Kulturführungsdaten und Ernteverfahren

Der Versuch zur Überprüfung der Sorteneignung und Leistungsfähigkeit für eine duale Nutzung von Körner und Fasern wurde als einfaktorielle, randomisierte Blockanlage angelegt. Dabei wurden die Sorten Fedora 17, Felina 32, Secuieni Jubileu und Zenit ausgewählt. Bei der Sortenwahl ist vor allem der Strohertrag bei zugleich möglichst hohem Kornertrag, sprich die Fähigkeit zur Dualnutzung, entscheidend (Tabelle 10).

Tabelle 10: Beschreibung der Sorten im Dualnutzungsversuch [56] [62] [84]

Sorte	Vegetationsperiode	Herkunft	Strohertrag	Kornertrag
Einheit	Tage		t/ha	kg/ha
Fedora 17	129–134	Frankreich	2,5 [84]	706 [84]
Felina 32	133–138	Frankreich	2,9 [84]	713 [84]
Secuieni Jubileu	110	Rumänien	6–8 [62]	1000–1200 [62]
Zenit	120	Rumänien	8–10 [62]	1000–1200 [62]

Es wurde mit einer Aussaatstärke von 250 keimfähigen Körnern/m² gesät. Dies entspricht einer Saatmenge von 40 kg/ha Fedora 17, 46 kg/ha Felina 32, 53 kg/ha Secuieni Jubileu und 83 kg/ha Zenit. Gesät wurde mit einer Parzellendrillmaschine mit einem Reihenabstand von 37,5 cm. Auch hier wurden wie im Körnerversuch Dreifachparzellen angelegt. Zum Düngetermin am 24.05.2019 wurden 100 kg N/ha in Form von KAS gedüngt, was zusammen mit dem verfügbaren Stickstoffvorrat im Boden, eine N-Zufuhr von 166 kg N/ha entspricht. Im Vergleich zum Körnerversuch wurden 40 kg N/ha gedüngt, da im Dualversuch neben dem Kornertrag auch der Stängeltrtrag entscheidend ist. Im Dualversuch wurde ebenfalls Anfang Juni, genauer: am 03.06.2019, gehackt (Abbildung 25).



Abbildung 25: Hacken im Hanfbestand mit manueller Steuerung im Heckanbau, 03.06.2019

Ernteverfahren

Der Dualversuch wurde am 18.09.2019 beerntet. Ziel der Dualnutzung ist die Kornernte bei gleichzeitiger Nutzung der Fasern im Stängel der Restpflanze. Aus diesem Grund konnte kein Direktdrusch erfolgen, zumal die Höhe der Pflanzen eine enorme Herausforderung für den Parzellenmähdrescher dargestellt hätte. Daher musste, um den Hanfsamen ernten zu können, auf die Handernte zurückgegriffen werden. Dabei wurde simultan zum CBD-Versuch auf einer Höhe von 1,40 m mit der Rosenschere das obere Bestandsdrittel der gesamten Kernparzelle (10,05 m²) geerntet. Zum Erntetermin war bereits die Samenreife erreicht, sodass das geerntete obere Bestandsdrittel im Folgenden als Fruchtstand bezeichnet wird. Der Fruchtstand wurde verwogen und der Trockensubstanzgehalt bestimmt, anschließend in Holzkisten in der Biomassetrocknung am Technologie- und Förderzentrum für sechs Tage bei einer Temperatur zwischen 30 und 40 °C getrocknet und danach mit dem Parzellendrescher ausgedroschen. Die so gewonnenen Körner wurden nochmals mittels Steigsichter gereinigt, verwogen und der Trockensubstanz- sowie Nährstoffgehalt untersucht. Auch das durch den Mähdruschprozess gewonnene Stroh wurde verwogen und der Trockensubstanzgehalt bestimmt.



Abbildung 26: Unterer Stängelrest „Restpflanze“ nach Beerntung des oberen Bestandsdrittels



Abbildung 27: Ernten der Fruchtstände bei 1,40 m Pflanzenhöhe mit der Rosenschere

Der untere Stängelrest, im Folgenden als „Restpflanze“ bezeichnet, wurde mit dem Parzellenhäcksler geerntet, verwogen und ebenfalls für die Bestimmung des Trockensubstanzgehalts beprobt.

4.2.4 Faserversuch: Kulturführungsdaten und Ernteverfahren

Der Faserversuch wurde in Form einer zweifaktoriellen, randomisierten Blockanlage ausgesät. Es wurden die vier Sorten Santhica 27, Santhica 70, Futura 75 und Fibror 79 mit Ziel der Fasernutzung gewählt (Tabelle 11). Gesät wurde mit einer Parzellendrillmaschine mit einem Reihenabstand von 14 cm. Aufgrund der Nutzungsrichtung Faser wurde auf den engeren Reihenabstand gesetzt, um eine hohe Bestandesdichte und damit verbundene dünnere Stängel und feinere Fasern zu erhalten.

Tabelle 11: Beschreibung der vier Faserhanfsorten, Herkunft Frankreich (FRA) [84]

Sorte	Frühreife	Vegetationsperiode	Herkunft	Häufigkeit	Strohertrag frisch	Fasergehalt
Einheit		Tage			t/ha	%
Santhica 27	mittel	90–95	FRA	monözisch	7,3	40,7
Santhica 70	spät	97–102	FRA	monözisch	8,4	41,5
Futura 75	spät	97–102	FRA	monözisch	8,6	36,2
Fibror 79	spät	101–106	FRA	monözisch	–	–

Neben dem Prüffaktor Sorte wurde als zweiter Faktor die Stickstoffdüngung variiert. Hierbei erfolgten eine niedrige Düngungsvariante mit 60 kg N/ha und eine hohe mit 114 kg N/ha. Die hohe Düngungsvariante wurde nach dem Schema der N-Bedarfsermittlung Acker-Hauptfrucht aus dem Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland, kurz Gelbes Heft, der BAYERISCHEN LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL) (2018) [110] (Tabelle 12) berechnet. Die N-Bedarfswerte für Hanf wurden den Basisdaten für die Umsetzung der Düngeverordnung entnommen [5].

Tabelle 12: Übersicht Düngebedarfsermittlung für Faserhanf bei einem durchschnittlichen Ertragsniveau von 240 dt FM/ha, abgeändert nach dem Gelben Heft [110]

	Faktoren für die Düngebedarfsermittlung	kg N/ha
3	N-Bedarfswert	160
4	Zu-/Abschlag Ertragsdifferenz	+20
5	N _{min}	-66
6	N-Nachlieferung Boden	0
7	N-Nachlieferung aus org. Düngung Vorjahre	0
8	Vorfrucht	0
9	Zwischenfrucht	0
10	N-Düngebedarf	114

Da der Faserhanf auf einem sehr guten Standort (siehe 4.1) angebaut wurde, wurde von einem hohen Ertragsniveau ausgegangen. Laut BÓCSA UND KARUS (1997) [12] liegt das Niveau für erstklassige Böden bei 9,1–9,5 t TM/ha. Die LfL berechnet den N-Düngebedarf für Hanf bei einem Trockensubstanzgehalt (TS) von 40 %. Damit liegt bei einer hohen Ertragserwartung von 95 dt TM/ha der zu erwartende Frischmasseertrag bei ca. 240 dt FM/ha. Laut Tabelle 9a der Basisdaten der LfL (2018) [5] hat Hanf bei einem Ertrag von 150 dt/ha (40 % TS) einen N-Düngebedarf von 160 kg/ha. Bei einer Ertragsdifferenz von ±50 dt wird pro Ertragsdifferenz ein Zuschlag von +10 kg/ha gewährt bzw. ein Abschlag von -15 kg/ha verlangt. Dies bedeutet beispielsweise, dass sich bei einer Ertragserwartung von nur 100 dt FM/ha der Düngebedarf auf 145 kg/ha verringert. Im Versuch lag der zu erwartende Ertrag fast zwei Ertragsdifferenzen über den 150 dt FM/ha. Da es sich um einen ausgesprochen guten Boden am Versuchsstandort handelt, wurde mit einer Ertragserwartung von 250 dt FM/ha gerechnet, sodass sich ein Düngebedarf von 180 kg/ha ergab. Da der N_{min}-Gehalt Ende April auf der Versuchsfläche 66 kg N/ha war, betrug der N-Düngebedarf 114 kg N/ha. Im Versuch wurden alle vier Sorten mit der niedrigen und hohen Düngestufe kombiniert, sodass sich acht Varianten ergaben (Tabelle 13).

Tabelle 13: Übersicht zum zweifaktoriellen Aufbau des Faserhanfversuchs und Variantenbezeichnungen

1. Faktor: Sorte	2. Faktor: N-Düngung kg N/ha	Variantenbezeichnung
Santhica 27	60	S. 27, -N
Santhica 27	114	S. 27, +N
Santhica 70	60	S. 70, -N
Santhica 70	114	S. 70, +N
Futura 75	60	Fut., -N
Futura 75	114	Fut., +N
Fibror 79	60	Fib., -N
Fibror 79	114	Fib.; +N

Ernteverfahren

Die Beerntung des Faserhanf-Versuchs erfolgte am 26.08.2019 mittels Parzellenhäcksler und Balkenmäher. Zu diesem Zeitpunkt war die Vollblüte bereits überschritten und die Sorten hatten mit der Kornbildung begonnen, einzelne Körner aus den unteren Pflanzenteilen waren bereits reif. Zuerst wurden die Randparzellen und Stirnränder mittels Parzellenhäckslers entfernt, um die Kernparzellen freizustellen. Aus den Randparzellen wurde stets eine Probe zur Bestimmung des Trockensubstanzgehalts entnommen.

Anschließend erfolgte der Schnitt des Faserhanfs auf den Kernparzellen mittels Balkenmähers (Abbildung 28). Die geschnittenen Stängel wurden dabei sofort auf einer Plane auf einer hölzernen Auffangwanne gesammelt (Abbildung 29) und direkt im Anschluss per Kranwaage am Frontlader verwogen („Faserhanfstroh frisch“). Danach wurden die Stängelbündel zur Röste auf dem Feld belassen, nach einer Woche erfolgte ein Wenden und leichtes Auflockern der Bündel. Nach ungefähr drei Wochen wurden am 18.09.2019 die Stängel nochmals verwogen („Faserhanfstroh geröstet“) und Proben für die Bestimmung des Trockensubstanzgehalts sowie der Nährstoffgehalte entnommen, die durch Zerkleinern in einem Gartenhäcksler aufbereitet wurden (Abbildung 30).



Abbildung 28: Schnitt der Kernparzelle mit Balkenmäher im Heckanbau



Abbildung 29: Auffangen der geschnittenen Pflanzen mit Auffangwanne



Abbildung 30: Frisch geerntetes Faserhanfstroh im Bündel (links) und geröstetes Faserhanfstroh nach drei Wochen Feldröste (rechts)

4.3 Datenerhebung

4.3.1 Keimfähigkeit und Tausendkornmasse

Die Prüfung der Keimfähigkeit des Z-Saatguts wurde nach der Richtlinie der *International Seed Testing Association* (ISTA) durchgeführt. In dem Regelwerk „International Seed Testing Rules“ wird kulturspezifisch die genaue Vorgehensweise beschrieben. Bei Hanf erfolgt der Test auf oder zwischen Filterpapier, entweder bei konstanten 20 °C oder Wechseltemperaturstufen bei 20 °C für 8 h und 30 °C für 16 h. Die Erstauszählung kann bereits nach drei Tagen erfolgen und die letzte Auszählung muss nach sieben Tagen abgeschlossen sein. Weitere Maßnahmen zur Brechung der Dormanz müssen nicht getroffen werden [63].

Entscheidend für die erfolgreiche Keimfähigkeitsbestimmung ist ein ausreichendes und nicht zu hohes Angebot an Wasser über die Keimdauer von maximal sieben Tagen. In einem Vorversuch stellten sich 5 ml Wasser zum Ansetzen der Tests als optimale Wassermenge heraus. Zur Bestimmung der Keimfähigkeit am TFZ wurden in einer Klimakammer bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 88 bis 95 % die geforderten 20 °C konstant gehalten. Es wurden jeweils 100 Körner in einer Petrischale mit Filterpapier gleichmäßig aufgetragen (Abbildung 31) und mit 5 ml Wasser befeuchtet. Für jede der zwölf Sorten wurden vier Wiederholungen angesetzt und die gekeimten Körner innerhalb des geforderten Zeitraums ausgezählt.

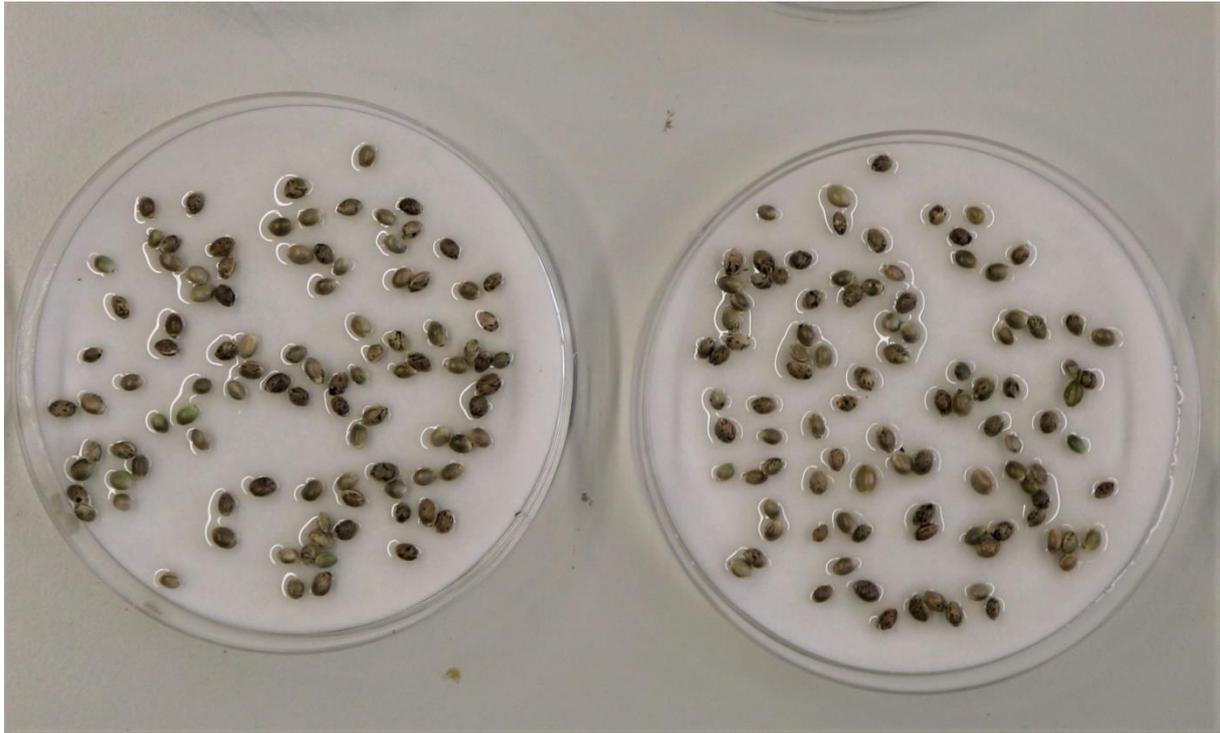


Abbildung 31: Ansetzen von 100 Körnern auf Filterpapier mit 5 ml Wasser zur Bestimmung der Keimfähigkeit

Bei der Auszählung werden die Hanfkeimlinge in die drei Kategorien normal, anormal und ungekeimt eingeteilt. Die ISTA definiert einen normalen Keimling als Keimling, der das Potenzial aufweist, sich zu einer gesunden Pflanze weiterzuentwickeln, wenn dieser in einem Boden mit guter Qualität und unter günstigen Bedingungen an Feuchtigkeit, Temperatur und Licht wachsen kann. Ein normaler Keimling besteht aus den essenziellen Strukturen Wurzelsystem (Primärwurzel, Wurzelhärchen), gestreckte Sprossachse (Hypokotyl) und Keimblätter. Hanf besitzt als dikotyle Pflanze zwei Keimblätter. Für die Einstufung der Keimlinge wird die 50 %-Regel, die das Keimblatt evaluiert, angewandt. Ein Keimling gilt als normal, wenn mehr als 50 % seines Keimblattgewebes funktionsfähig sind. Ein Keimling gilt als anormal, wenn mehr als 50 % seines Keimblattgewebes fehlen, nekrotisch, verfault oder verfärbt sind. Die essenziellen Strukturen sind bei einem anormalen Keimling fehlend, unterentwickelt, verformt oder irreparabel beschädigt (Abbildung 32). Als ungekeimte Samen (Abbildung 33) werden Samen verstanden, die über die Keimdauer keine Keimlingsstrukturen ausbilden und oft von Pilzbefall betroffen sind, oder harte Samen, die kein Wasser absorbieren und nicht keimen [63].



Abbildung 32: Anormaler (links) und normaler Keimling (rechts) der Sorte Fedora 17 nach sieben Tagen Keimdauer



Abbildung 33: Nicht gekeimte Samen der Sorte Zenit nach sieben Tagen Keimdauer, teilweise mit Pilzbefall

Neben der Keimfähigkeit ist für die Bestimmung der exakten Saatstärke die Tausend-kornmasse der Sorte entscheidend. Daher wurde für jede Sorte aus vier Wiederholungen die durchschnittliche Tausendkornmasse durch dreifache automatische Auszählung und Verwiegung bestimmt.

4.3.2 Durchführung der Feldbonituren

Für die Ermittlung der ertragsbeeinflussenden Parameter wurden die im Folgenden beschriebenen Messungen und Methoden durchgeführt und angewandt:

Bestandesdichte

Die Bestandesdichte (BD) beschreibt die Anzahl der Pflanzen pro Quadratmeter. Die Bestandesdichte in den Versuchen wurde an zwei Terminen bonitiert, um den Verlauf der Wuchsdynamik der Hanfpflanze in der Vegetationsperiode beschreiben zu können. Zum einen wurde die Bestandesdichte zum 24.05.2019 im Zweiblattstadium (BD1) erhoben. Dabei wurde in den Versuchsanlagen „Körner“, „CBD“ und „Dual“ mit einem Reihenabstand von 37,5 cm eine Strecke von 67 cm, was einer Fläche von 0,25 m² entspricht, abgesteckt. Pro Ernteparzelle wurde diese Strecke in dreifacher Wiederholung gezählt, der Durchschnitt gebildet und auf einen Quadratmeter hochgerechnet. Im Faserversuch wurde mit derselben Vorgehensweise bonitiert. Da hier jedoch ein Reihenabstand von 14 cm gewählt wurde, wurde jeweils eine Strecke von 71 cm ausgezählt. Die drei Zählstellen wurden mit Markierstäben abgesteckt, damit zur Bestandesdichte-Erhebung zum zweiten Termin an denselben Stellen gezählt werden konnte. Dadurch wurde eine Verzerrung durch Abweichungen innerhalb der Parzelle vermieden.

Der zweite Boniturtermin der Bestandesdichte (BD2) wurde kurz vor der Ernte durchgeführt. Hier wurde analog der Bonitur zum ersten Termin vorgegangen und nur Pflanzen gezählt, die für die Nutzungsrichtung auch geerntet werden und zum Ertrag beitragen. So wurden beispielsweise sehr niedrige Pflanzen im Körnerversuchsblock, die nicht vom Mähdrescher erfasst werden können, nicht mitgezählt. Auch der nutzlose Unterhanf in dem Faserversuchsblock, zu dem alle Hanfstängel unter 60 cm zählten, wurde nicht berücksichtigt.

Feldaufgang

Der Feldaufgang (FG) beschreibt, wie viele von den insgesamt ausgesäten Samen (Aussaatstärke; AS) erfolgreich gekeimt und sich zu einer Pflanze weiterentwickelt haben (4.3.2.2). Für die Berechnung wurde folgende Formel verwendet:

$$FG = \frac{BD1}{AS} * 100 \quad (4.3.2.2)$$

BD1 = Bestandesdichte 1 (Zweiblattstadium) in Pflanzen/m²

AS = Aussaatstärke in kg/ha

Selbstaudünnung

Die Selbstaudünnung (SA) gibt den Anteil der während der Vegetationsperiode abgestorbenen Pflanzen wieder (4.3.2.3). Das Phänomen „self-thinning“, das erstmals von VAN DER WERF (1994) [101] beschrieben wurde, ist besonders bei Hanf ausgeprägt. Berechnet wurde die Selbstaudünnung nach folgender Formel:

$$SA = \left(1 - \frac{BD2}{BD1} \right) * 100 \quad (4.3.2.3)$$

BD1 = Bestandesdichte nach Feldaufgang (Zweiblattstadium) in Pflanzen/m²

BD2 = Bestandesdichte vor Ernte in Pflanzen/m²

Wuchshöhe

Die Wuchshöhe wurde ca. alle zwei Wochen mittels Zollstocks bestimmt. Dabei wurde zufällig an drei Stellen in der Parzelle gemessen und der Durchschnitt gebildet.

Unkrautdeckungsgrad

Der Unkrautdeckungsgrad (UDG) beschreibt, welcher Anteil der Fläche im Bestand von Unkraut bedeckt ist. Dabei wird der Göttinger Zähl- und Schätzrahmen mit einem Flächeninhalt von 0,1 m² und vierfacher Unterteilung in Rechtecke in die Parzelle gelegt. Die durch die Kulturpflanze und Unkraut bedeckte Fläche wird einer Teilfläche zugeordnet und so abgeschätzt, welcher Anteil der Fläche vom Unkraut (Unkrautdeckungsgrad, UDG) und wie viel von der Kultur (Kulturdeckungsgrad, KDG) bedeckt wird. Mit diesem Parameter kann die Unkrautsituation im Bestand einfach und dennoch mit ausreichender Genauigkeit eingeschätzt werden. Im Versuch wurde die Unkrautdeckungsgrad-Bonitur in allen vier Versuchsanlagen am 27.05.2019 durchgeführt. Da die Bestände bereits zum ersten Boniturtermin sehr niedrige Unkrautdeckungsgrade aufwiesen und im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode der Hanf das Unkraut sehr stark unterdrückte, wodurch die Bestände fast unkrautfrei waren, wurde nur an diesem Termin die Unkrautbonitur durchgeführt.

Harvest Index

Der *Harvest Index* (HI) bestimmt den Anteil des ökonomisch nutzbaren Ertrags am Gesamtertrag. Der HI wird berechnet aus dem Quotienten des ökonomisch nutzbaren Ertrags und dem Gesamtertrag, der auch als biologischer Ertrag bezeichnet wird (4.3.2.3).

$$HI = \frac{\text{ökonomischer nutzbarer Ertrag}}{\text{Gesamtertrag}} * 100 \quad (4.3.2.3)$$

4.3.3 Bestimmung der CBD-Konzentration im Verlauf der Blüte

Für den CBD-Versuch wurden die drei Erntetermine Beginn Blüte, Vollblüte, Beginn Samenreife festgelegt. Die ersten Proben wurden am 15.07.2019 von den Sorten Fedora 17 und Felina 32 geerntet, da beide bereits im Beginn der Blüte waren. Die Sorte KC Dora wurde aufgrund der späteren Reife erst am 22.07.2019 beerntet. Dabei wurden jeweils die oberen 40 cm der Pflanze auf einer Fläche von 0,5 m² in der Ernteparzelle und den vier Wiederholungen geschnitten und das Frischmassegewicht bestimmt. Danach wurden zwei Aufbereitungs-/Trocknungswege getestet. Einerseits wurde die gesamte Pflanze samt Stängel analysiert. Andererseits erfolgte eine manuelle Separation der Blätter und Blüten von dem Stängel nach der Trocknung. Getrocknet wurden alle Varianten bei 40 °C im Trockenschrank für 48 h direkt nach der Ernte am Feld. Danach wurde die Trockenmasse der Pflanzen gewogen. Für die Bestimmung des CBD-Gehalts im Labor wurden aus der Mischprobe aus den vier Wiederholungen für die zwei Aufbereitungswege jeweils 20 Pflanzen zufällig ausgewählt und weiterverarbeitet. Bei der ersten Trocknung der Sorten Fedora 17 und Felina 32 entstanden hohe Bröckelverluste, sodass die Hochrechnung auf einen Hektarertrag ungenau ist. Nach der 48-stündigen Trocknung kamen die Proben in einer Papiertüte in die Kühlung bei 4 °C und wurden innerhalb einer Woche weiterverarbeitet. Die Variante KC Dora, T1 wurde direkt weiterverarbeitet. Im Labor wurde zunächst aus den 20 Pflanzen eine homogene Probe erstellt. Dabei kam die Mühle Moulinex la moulinette XXL DP 800G10 mit einer Leistung von 1000 Watt zum Einsatz. Danach wurde das gemahlene Pflanzenmaterial mit einem Sieb der Firma Retsch auf 1 mm gesiebt und in einem dunklen Glas bei 4 °C aufbewahrt. Für die Bestimmung der TS-Gehalte wurde die Differenz der 40-°C-Trocknung mit der Restfeuchtebestimmung im Labor berechnet. Dabei wurde der elektronische Feuchtebestimmer Sartorius M35 verwendet und die Restfeuchtigkeit bei einer Temperatur von 105 °C bis zur Gewichtskonstanz bestimmt. Leider wurden die Analysen nicht rechtzeitig vor Abschluss des Berichts abgeschlossen, sodass hier keine Ergebnisse vorgestellt werden können.

4.3.4 Boden- und Pflanzenanalyse

Zum Vegetationsbeginn im Frühjahr und im Herbst zur Ernte wurde jeweils der Boden auf mineralischen Stickstoff beprobt. Dabei wurde im Frühjahr eine repräsentative Probe über die Versuchsfläche genommen und bis 90 cm Tiefe untersucht. Diese wurde verwendet für die Berechnung des Düngebedarfs der Kultur Hanf nach dem „Gelben Heft“ für Bayern [110]. Die Beprobung im Herbst erfolgte im Faserhanfversuch aufgrund der Dünge­stufen parzellenscharf in den Tiefen 0 bis 30 cm, 30 bis 60 cm und 60 bis 90 cm. Im CBD-Versuch, Dual- und Körnersversuch wurde jeweils variantenscharf beprobt. Die Ergebnisse der N_{min}-Werte wurden für die aus der Differenz N-Zufuhr und N-Abfuhr berechnete Stickstoffbilanzierung verwertet. Die Proben wurden im Labor nach der im Methodenbuch des Verbands Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) beschriebenen Methode für Ammoniumstickstoff und Nitratstickstoff analysiert [106].

Bei der Ernte wurde eine Probe der ertragsbestimmenden Pflanzenteile variantenscharf gezogen. Die ertragsbestimmenden Pflanzenteile waren im Körnerversuch die Körner, im CBD-Versuch das obere Bestandsdrittel und die Restpflanze, im Dualversuch die Körner und Stängel und im Faserversuch die Stängel. Für die Proben wurde der Trockensubstanzgehalt (TS) über die Differenz durch Wiegung der Frischmasse (FM) und Wiegung der Trockenmasse (TM) nach Trocknung im Trockenschrank bei 104 °C bis zur Gewichtskonstanz bestimmt. Darüber hinaus wurden auch die Inhaltsstoffe Stickstoff, Phosphor, Kalium und Magnesium der Pflanzenproben im Labor mittels Elementaranalyse bestimmt [105]. Eine Übersicht über die untersuchten Parameter und jeweils verwendeten Methoden gibt Tabelle 14.

Tabelle 14: Untersuchungsparameter und angewandte Analysemethoden bei Boden- und Pflanzenproben [105] [106]

Parameter	Analysemethode
Ammoniumstickstoff (NH ₄ ⁺), Boden	VDLUFA MB. Bd. 1, Abschnitt 6.1.4.1
Nitratstickstoff (NO ₃ ⁻), Boden	VDLUFA MB. Bd. 1, Abschnitt 6.1.4.1
Rohproteingehalt (XP), Pflanze	VDLUFA MB. Bd. 3, Abschnitt 4.1.1. 1993/3 Erg. (Kjedahl)
Stickstoff (N); Pflanze	Berechnung aus Rohproteingehalt (XP/6,25)
Phosphor (P), Pflanze	VDLUFA Bd. 3, Abschnitt 10.8.2. 2006/6. Erg.
Kalium (K), Pflanze	VDLUFA Bd. 3, Abschnitt 10.8.2. 2006/6. Erg
Magnesium (Mg), Pflanze	VDLUFA Bd. 3, Abschnitt 10.8.2. 2006/6. Erg

4.4 Nährstoffbilanzierung

Die Berechnungen zur Ermittlung der auszubringenden N-Mengen für die Nutzungsrichtung Faser wurde entsprechend der aktuellen Düngeverordnung durchgeführt. Hierbei wurde das im „Gelben Heft“ für Bayern gültige Berechnungsschema für die Düngebedarfsermittlung verwendet [110]. Für die „neuen“ Nutzungsrichtungen Körner, CBD und Dualnutzung gibt es im „Gelben Heft“ keine Entzugswerte und Ertragspotenziale. Demnach wurde im Versuch nach Sichtung der Literatur zu aktuelleren pflanzenbaulichen Versuchen mit denselben Nutzungsrichtungen gedüngt [30] [61] [81] [95] [108]. Die Nährstoffbilanz wurde aus den erhobenen Erträgen, dem Nährstoffgehalt des Ernteguts und die über Mineraldünger zugeführte Nährstoffmenge berechnet (Abbildung 34). Unbekannte Faktoren wie der Verbleib an Nährstoffresten durch Ernte- und Wurzelrückstände wurden nicht berücksichtigt. Anhand von Unterschieden im Nährstoffsaldo und über die im Boden nach der Ernte vorhandene N_{min}-Menge kann die Ausnutzung des über die Düngung zugeführten Stickstoffs beurteilt werden.

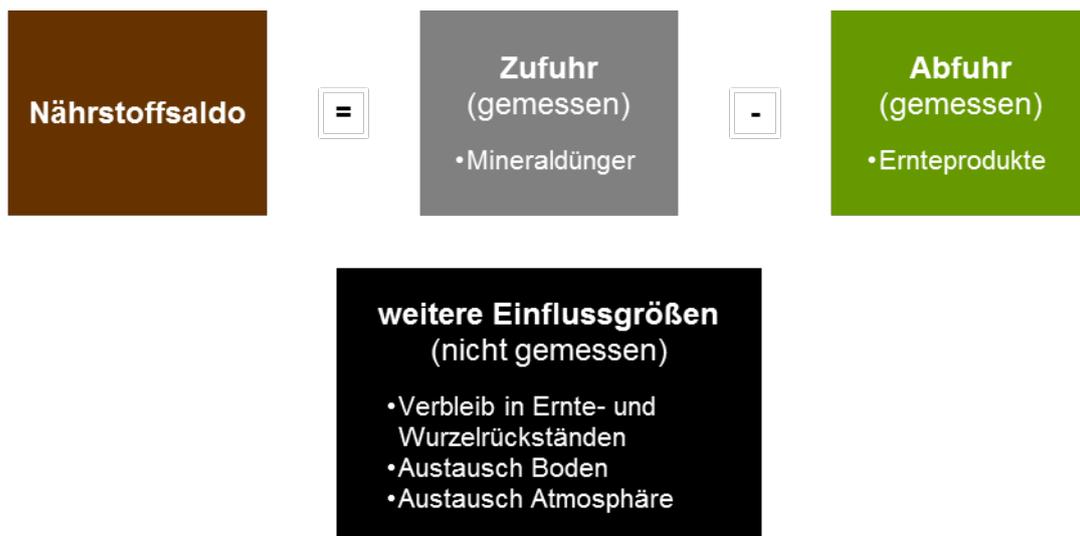


Abbildung 34: Ermittlung des Nährstoffsaldos unter Ausschluss der nicht gemessenen Einflussgrößen

4.5 Statistische Auswertung

Für die statistische Datenanalyse wurde das Programm SAS Version 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) verwendet. Dabei wurde die Varianzanalyse mittels der Prozedur MIXED durchgeführt. Damit eine Varianzanalyse erfolgen kann, müssen laut MUNZERT (2015) [77] folgende Voraussetzungen erfüllt werden:

- die Versuchsfehler sind „unabhängig und zufällig“ und
- die Versuchsfehler müssen „normalverteilt“ sein.

Anhand des Shapiro-Wilk-Tests und der visuellen Überprüfung der Histogramme wurde bei der Auswertung der Daten die Normalverteilung der Residuen überprüft. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen wurden durch einen multiplen Mittelwertvergleich (*least-square mean*) nach Tukey identifiziert und sind im Folgenden jeweils mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet. Als Signifikanzniveau wurde $\alpha = 5\%$ festgelegt. Die feinere Abstufung der Signifikanzniveaus, die in der Varianzanalyse Anwendung finden, sind in Tabelle 15 beschrieben. Für die grafische Darstellung der statistischen Ergebnisse wurde das Programm OriginPro 2015 (OriginLab, Northampton, MA, USA) verwendet.

Tabelle 15: Signifikanzniveaus der Varianzanalyse

Signifikanzniveau	Symbol	Beschreibung
0,1	–	Trend erkennbar
0,05	*	signifikant
0,01	**	hoch signifikant
0,001	***	sehr hoch signifikant

5 Ergebnisse und Diskussion

5.1 Keimfähigkeit und Tausendkornmasse

Die statistische Auswertung der Keimfähigkeit der im Feldversuch verwendeten Sorten ergab einen sehr hohen signifikanten Einfluss ($p = 0,0001^{***}$) der Sorte.

Die Keimfähigkeit der Sorten für den Körnerversuch Finola, Uso-31 und Earlina 8-FC betrug im Durchschnitt der vier Wiederholungen 79 %, 71 % und 93 %. Die Tausendkornmassen (TKM) der drei Sorten variierten von 11 bis 12 g der kleinkörnigen Sorten Earlina 8-FC und Finola bis 17 g bei der Sorte Uso-31.

Die CBD-Sorten KC Dora, Fedora 17 und Felina 32 erreichten im Durchschnitt der vier Wiederholungen hohe Keimfähigkeiten von 78 bis 97 %. Die Tausendkornmassen (TKM) der drei Sorten lagen im Durchschnitt der vier Wiederholungen bei 16 g.

Die Keimfähigkeit der im Dualversuch verwendeten Sorten schwankte stark zwischen 50 und 98 %. So erreichten die französischen Sorten eine Keimfähigkeit von 98 % mit der Sorte Fedora 17 und 88 % mit der Sorte Felina 32. Die Sorten aus rumänischer Herkunft Secuieni Jubileu und Zenit hatten eine deutlich verminderte Keimfähigkeit von 75 % und 50 %. Zudem fiel die starke Verpilzung in den rumänischen Sorten Secuieni Jubileu und Zenit auf (Abbildung 35). Es wird vermutet, dass das rumänische Saatgut unter zu warmen Bedingungen gelagert wurde oder bereits überlagert war, sodass ein Pilz das Saatgut latent infizieren konnte und dies sich in einer schlechteren Keimfähigkeit äußerte. Die Tausendkornmassen (TKM) der vier Sorten schwankten nur minimal zwischen 16 und 17 g.



Abbildung 35: Starke Verpilzung der rumänische Sorte Zenit im Keimfähigkeitstest

Die Keimfähigkeit der im Faserhanfversuch verwendeten Sorten Santhica 27, Santhica 70, Futura 75 und Fibror 79 lagen im Durchschnitt der vier Wiederholungen sehr hoch bei 86 bis 96 %. Die Tausendkornmassen (TKM) der vier Sorten schwankten zwischen 16 und 21 g. Eine Übersicht über die Keimfähigkeiten und Tausendkornmassen der im Feldversuch verwendeten Sorten gibt Tabelle 16.

Tabelle 16: Durchschnittliche Keimfähigkeit und Tausendkornmassen der im Feldversuch verwendeten Sorten nach Nutzungsrichtung

Sorte	Nutzungsrichtung	Keimfähigkeit in %	Tausendkornmasse in g
Finola	Körner	79	12
Earlina 8-FC	Körner	93	11
Uso-31	Körner	71	17
Fedora 17	Dual/CBD	97	16
Felina 32	Dual/CBD	88	16
Secuieni Jubileu	Dual	75	16
Zenit	Dual	50	17
KC Dora	CBD	78	16
Santhica 27	Faser	86	16
Santhica 70	Faser	96	17
Futura 75	Faser	91	18
Fibror 79	Faser	94	21

Damit Saatgut als zertifiziertes Saatgut (Z-Saatgut) in Deutschland in Verkehr gebracht werden darf, muss es bestimmte Kriterien, wie beispielsweise Mindestkeimfähigkeit, Feuchtigkeitsgehalt, technische Reinheit oder Fremdbesatz einhalten. Die Grenzwerte für diese Kriterien sind kulturspezifisch im europäischen Saatgutrecht in der Richtlinie 2002/57/EG des Rates sowie auf nationaler Ebene in der deutschen Saatgutverordnung festgelegt [38] [22]. Demnach muss Hanfsaatgut eine Mindestkeimfähigkeit von 75 % und eine technische Mindestreinheit von 98 % vorweisen, um als Z-Saatgut in Verkehr gebracht zu werden. Im Versuch wurde Z-Saatgut aus Deutschland, Frankreich, Ungarn und Rumänien verwendet. Bei in Deutschland vermehrtem Z-Saatgut sind zumeist Keimfähigkeit und Tausendkorngewicht auf dem Etikett ausgewiesen, sodass der Landwirt einen guten Anhaltspunkt für die Berechnung der Aussaatstärke hat. Kommt das Z-Saatgut aus dem EU-Ausland, wird mit dem blauen Z-Etikett die gesetzlich festgelegte Mindestkeimfähigkeit vom jeweiligen Mitgliedsstaat garantiert.

Allerdings erreichte im Versuch das Z-Saatgut nicht immer die gesetzlich festgelegte Mindestkeimfähigkeit und technische Reinheit. So erfüllten die Sorten Uso-31 und Zenit die geforderte Mindestkeimfähigkeit von 75 % nicht. Die Sorte Earlina 8-FC hielt zwar die Mindestkeimfähigkeit ein, wies jedoch keine technische Reinheit von 98 % auf. Das Wissen über Keimfähigkeit und Tausendkornmasse der angebauten Kultur ist für den Landwirt essenziell, um daraus die richtige Aussaatstärke berechnen zu können. Wenn durch eine deutlich verminderte Keimfähigkeit des Z-Saatguts zu wenig keimfähige Körner/m² ausgesät werden, äußert sich dies durch einen lückigen Feldaufgang, eine schlechtere Unkrautunterdrückung bis hin zu eventuell niedrigeren Erträgen.

5.2 Körnersuch

5.2.1 Wachstums- und Entwicklungsverlauf

Der Feldaufgang der Varianten variierte sehr stark von 12 % bis hin zu 104 %. Den niedrigsten Feldaufgang erreichten die Focus-Varianten mit einem durchschnittlichen Feldaufgang von 12 % der Sorte Uso-31 und 28 % Feldaufgang im Schnitt bei der Sorte Finola. Bei den Varianten mit herkömmlicher Saatechnik Einzelkorn und Drille schnitt die Sorte Uso-31 mit einem Feldaufgang von 75 % bei der Einzelkornsaat und mit 79,3 % bei der Drillsaat schlechter ab als die anderen beiden Sorten (Abbildung 36).



Abbildung 36: Vergleich Feldaufgang Körnerhanfsorte Uso-31, gesät mit dem Focus-Säugerät (links) und gesät mit konventioneller Drillsaat (rechts)

Finola erreichte mit der Einzelkornsaat einen Feldaufgang von 96 % und mit der Drillsaat 92 %. Die dritte Sorte Earlina 8-FC konnte einen Feldaufgang von 88 % in der Variante mit der Einzelkornsaat und in der Variante mit der Drillaussaat 104 % verzeichnen (Abbildung 37). Da eine Aussaatstärke von 100 kf Kö/m² gewählt wurde, sind die Ergebnisse des Feldaufgangs analog zur Bestandesdichte (Pflanzen/m²).

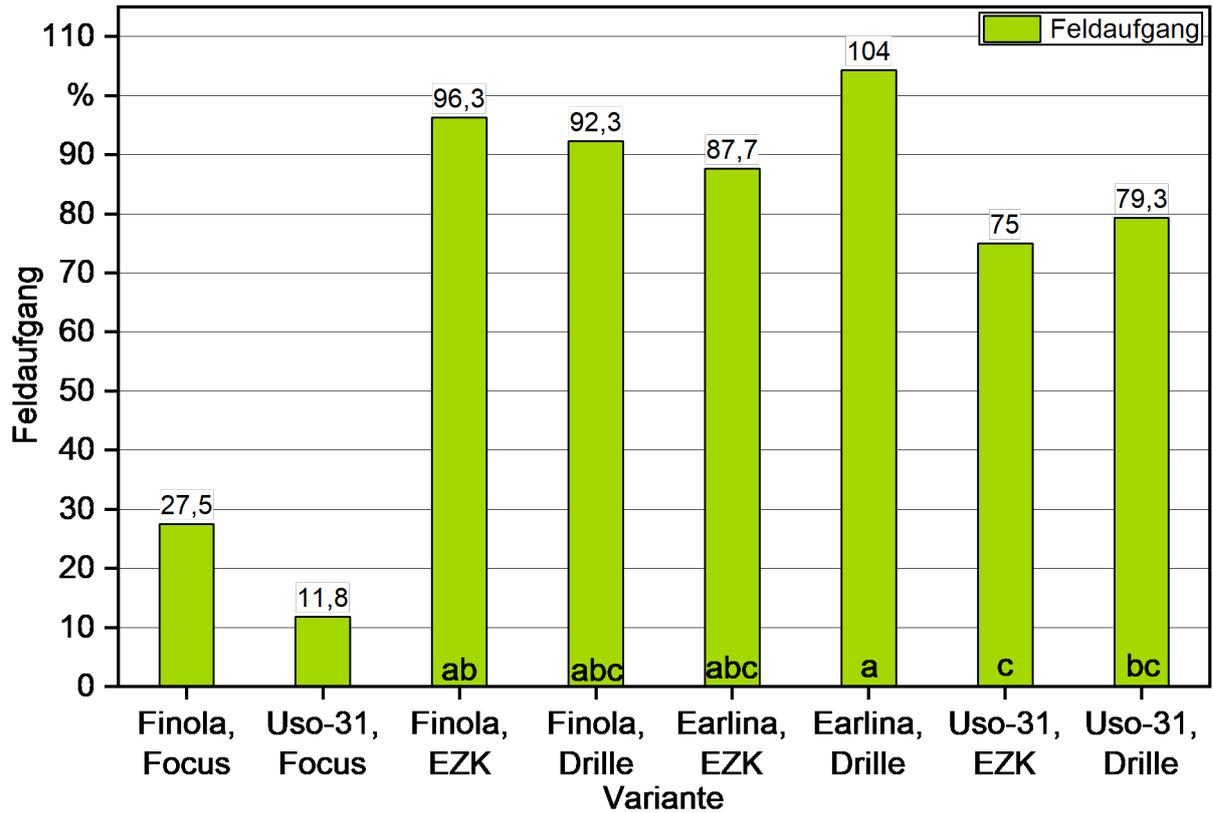


Abbildung 37: Feldaufgang im Körnerhanfversuch, signifikante Unterschiede mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet (ohne Praxisversuch Horsch)

Zunächst fällt der deutlich schlechtere Feldaufgang des angegliederten Praxisversuchs auf. Es stellte sich heraus, dass das Saatbeet mit den kleinen Dämmen und Saatgutablage im Tal der Dämme für die Keimung und den Feldaufgang des Hanfs für den Standort nicht optimal war. Durch den schweren Boden mit hohem Lehmanteil wurde durch die tiefe Streifenbearbeitung auf 30 cm Tiefe das Saatbeet sehr grob (Abbildung 38). Zusätzlich wird vermutet, dass die Saatgutablage tiefer als in den angestrebten 3 bis 4 cm erfolgte.



Abbildung 38: Grobes Saatbeet durch das Sägerät Focus der Firma Horsch

In den Varianten mit Einzelkorn- und Drillsaat fiel die Sorte Earlina 8-FC im Vergleich mit dem Feldaufgang der anderen Sorten etwas aus der Reihe. Die Ursache dafür liegt in der unterschiedlichen Saatguteigenschaft und Qualität, die sich in der Aussaat und in der verwendeten Technik stark bemerkbar machte. Zunächst hat die Sorte Earlina 8-FC mit einer TKM von 11 g die niedrigste TKM aller Sorten. Aufgrund dieser Kleinkörnigkeit wird vermutet, dass in der Variante mit der Drillsaat mehr als die geplanten 100 kf Kö/m² auf die Fläche kamen und es so zu dem überdurchschnittlichen Feldaufgang von 104 % kommen konnte. Darüber hinaus war das Saatgut in der technischen Reinheit (reine Samen, Bruchkörner, Abputz) deutlich schlechter als die anderen Sorten. Aufgrund dessen wurde das Z-Saatgut Earlina 8-FC am Technologie- und Förderzentrum Straubing erneut mit einem Steigsichter gereinigt. Jedoch konnten damit nicht alle Unreinheiten gesäubert werden, sodass die Aussaattechnik Einzelkorn im hohen Maße von der Saatgutqualität beeinträchtigt wurde. Durch die unreine Saatgutqualität und niedrige TKM der Sorte Earlina 8-FC kam es zu verstopften Lochscheiben in der Säeinheit (Abbildung 39). Dadurch musste mehrmals gestoppt und die Lochscheibe gereinigt werden. Im Durchschnitt waren dabei von den insgesamt 48 Löchern 16 verstopft. Dies entspricht einer sehr hohen Ausfallquote von 33 %. Daher wird angenommen, dass der niedrigere Feldaufgang von 88 % bei der Einzelkorntechnik mit der Sorte Earlina 8-FC auf die verstopften Lochscheiben zurückzuführen ist. Auch in der Sorte Finola kam es zu verstopften Löchern. Jedoch war dies hauptsächlich auf die niedrigere TKM (12 g) zurückzuführen, da das Saatgut eine hohe technische Reinheit aufwies. So kam es bei der Sorte Finola

zu durchschnittlich acht verstopften Löchern. Bei der Sorte Uso-31 kam es zu keinen technischen Schwierigkeiten in der Aussaat.

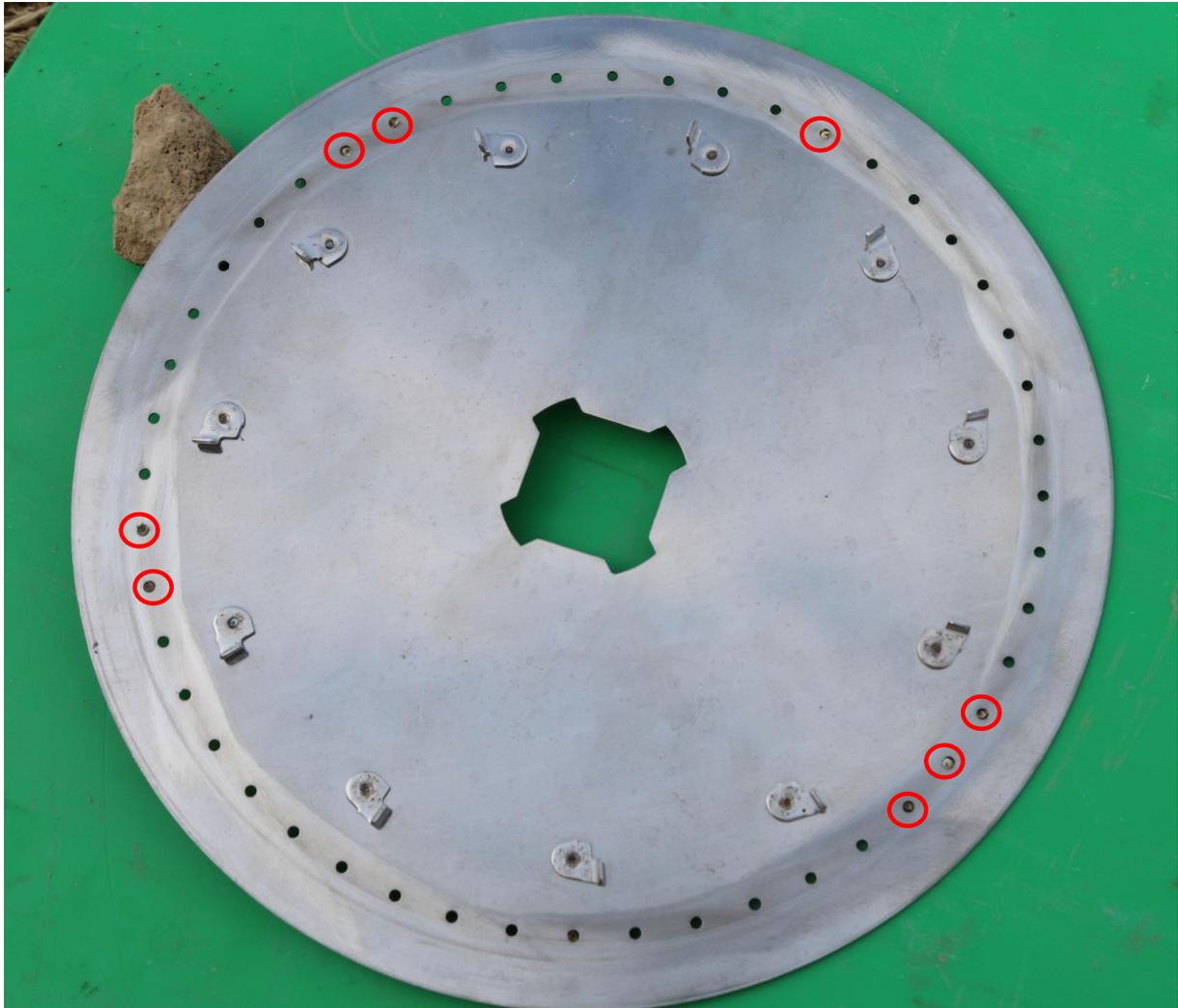


Abbildung 39: Verstopfte Löcher in einer Lochscheibe der Einzelkornsämaschine

Darüber hinaus muss berücksichtigt werden, dass im Versuch nur eine sehr kleine Fläche ausgesät wurde. In der Praxis würde die Ausfallquote mit der größeren zu säenden Fläche sehr stark ansteigen.

Die Unkrautdeckungsgrad-Bonitur wurde am 27.05.2019, im 2. bis 3. Laubblattpaarstadium (Code: 1004–1006) durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass die drei Sorten Finola, Earlina 8-FC und Uso-31 in den vier Wiederholungen und Varianten der Aussaattechnik Drille und EZK einen UDG von 4,2 %, 4,2 % und 3,4 % aufwiesen. Die Kultur bedeckte zu diesem Zeitpunkt eine relative Fläche von 15 % (Finola), 12,5 % (Earlina 8-FC) und 13,5 % (Uso-31). Die Variante Finola-Focus erreichte zu dem Zeitpunkt einen UDG von 2 % und einen KDG von 7 %. Die Variante Uso-31-Focus erreichte einen UDG von 1,5 % und einen KDG von 4,3 %. Zunächst fällt auf, dass die mit der Horsch-Technik gesäten Sorten einen niedrigeren UDG aufwiesen. Dies hängt jedoch damit zusammen,

dass sich die Vegetationsentwicklung auf der mit dem Focus-Sägerät bearbeiteten Fläche allgemein langsamer und verzögert vollzog. Zudem kann dem KDG entnommen werden, dass die Sorte Finola eine schnellere Entwicklungsdynamik aufwies als die Sorten Earlina 8-FC und Uso-31. Dies wird der kürzeren Vegetationsperiode der dem nördlichen Formenkreis angehörigen finnischen Sorte Finola zugeschrieben. Darüber hinaus fielen während der Bonitur große Unterschiede zwischen den Blöcken (bzw. Wiederholungen) in der Unkrautsituation im Körnerversuch auf. Der Unkrautdruck auf den Körnerversuch war auf der Ostseite im ersten Block (in der ersten Wiederholung) im Vergleich zu den anderen Blöcken deutlich höher. Der Grund dafür liegt in der heterogenen Verteilung der Unkrautpopulation auf der Fläche zusammen (Abbildung 40).



Abbildung 40: Unkrautdeckungsgrad von 2 % (links) im Körnerhanfversuch im Vergleich zum Ostende des Versuchs mit einem Unkrautdeckungsgrad von 8 % (rechts)

Die Unkrautpopulation auf der Fläche wurde dominiert von *Chenopodium album* (Weißer Gänsefuß) mit einem Anteil von 78 %. Des Weiteren waren mit einem Anteil von 5 % *Polygonum convolvulus* (Winden-Knöterich) und *Lamium purpureum* (Rote Taubnessel) auf der Fläche vorhanden. Mit einem Anteil von 4 % war *Persicaria lapathifolia* (Ampfer-Knöterich) verbreitet. Die Arten *Matricaria chamomilla* (Echte Kamille) und *Raphanus raphanistrum* (Hederich) waren mit einem Anteil von 2 % vorhanden. Mit einem Anteil von 1 % am UDG waren *Viola arvensis* (Acker-Stiefmütterchen) und das Ungras *Elymus repens* (Gemeine Quecke) beteiligt.

Eine Woche nach der Unkrautdeckungsgrad-Bonitur (03.06.2019) wurde die mechanische Unkrautbekämpfungsmaßnahme mittels Hacke durchgeführt. Beim Hacken der Focus-Varianten wurde wegen Problemen mit dem Dämmen und Spurhalten zwischen den Reihen bis auf zwei Überfahrten nicht gehackt.

Die Sorten Uso-31 und Earlina 8-FC erreichten ca. acht Wochen nach der Aussaat am 24.06.2019 den Reihenschluss. Die kurzwüchsige Finola erreichte bei dem weiten Reihenabstand von 37,5 cm knapp den Reihenschluss nicht. Auch die Focus-Varianten konnten durch den sehr lückigen und verzögerten Feldaufgang keinen Bestandsschluss erreichen (Abbildung 41).



Abbildung 41: Drohnenaufnahme Körnerhanfversuch zum Reihenschluss (außer Sorte Finola und die Focus-Varianten in Streifenanlage am rechten und linken Rand), 24.06.2019

Die zweihäusige Sorte Finola überraschte mit einem sehr frühen Blühbeginn (Code: 2100) der männlichen Pflanzen am 10.06.2019. So beendete die Sorte Finola bereits nach 45 Tagen das vegetative Wachstum mit 5 bis 6 Laubblattpaaren. Nach acht Tagen erreichte der Femelhanf die Vollblüte (Code: 2102). Die Hanfhenne der Sorte Finola be-

gann mit der Blüte zwei Wochen später am 24.06.2019 und erreichte nach fünf Tagen den Höhepunkt ihrer Blüte (Code: 2202). Ende der Blüte und Beginn der Samenreife wurden Anfang Juli (08.07.2019) eingeläutet. Die Samenreife (Code: 2204), bei der mehr als 50 % der Samen im Fruchtstand reif sind und womit die Mähdruschreife erreicht ist, wurde vier bis fünf Wochen nach der Blüte in der Woche vom 05.08 bis 12.08.2019 erzielt. Damit hatte die Sorte Finola eine Vegetationsperiode von ca. 105 Tagen.

Das Blühverhalten der einhäusigen Sorten Uso-31 und Earlina 8-FC zu erfassen, stellte sich als schwieriger heraus als bei der zweihäusigen Sorte Finola. Insgesamt zeigte sich innerhalb der einhäusigen Bestände eine sehr große Varianz im Entwicklungsverlauf der Blüte und anschließenden Samenreife. Zunächst war auffällig, dass die beiden Sorten Uso-31 und Earlina 8-FC hinsichtlich des Zeitpunkts der Blüte und Samenreife ein ähnliches Reifeverhalten aufwiesen. So begannen beide mit der weiblichen Blüte (Code: 2301) 59 Tage nach der Aussaat, am 24.06.2019. Die männliche Blüte (Code: 2303) begann eine Woche später, wobei deren Höhepunkt (Code: 2304) am 08.07.2019 festgestellt werden konnte. Ende Juli (23.07.2019) war schließlich die Blüte abgeschlossen und die Samenreife setzte ein (Code: 2305) (Abbildung 42). Die Samenreife (Code 2306) wurde Ende August, Anfang September zwischen 30.08. und 06.09.2019 erreicht. Damit hatten die beiden Sorten Uso-31 und Earlina 8-FC eine Vegetationsperiode von ca. 133 Tagen.



Abbildung 42: Körnerhanfsorte Earlina 8-FC im Übergang Ende Blüte zu Beginn Samenreife, 23.07.2019

Das Blühverhalten war in den unterschiedlichen Varianten der Aussaattechnik Drille und Einzelkornsaat innerhalb einer Sorte gleich. Lediglich die Uso-31-Focus-Variante zeigte ein um ca. eine Woche verzögertes Blühverhalten. Bei Finola-Focus konnte kein Unter-

schied zwischen der Drill- und Einzelkornsaat hinsichtlich des Blühverhaltens erkannt werden. Dieses Blühverhalten kann darauf zurückgeführt werden, dass die Sorte Finola im Gegensatz zu den anderen Sorten keinen photoperiodischen Reiz benötigt, um die Blüte zu induzieren. Dieses Blühverhalten der finnischen Sorte Finola wird als „auto-flowering“ bezeichnet [23]. Das bedeutet, dass der Zeitpunkt des Übergangs von der vegetativen zur generativen Phase rein von dem Alter der Pflanze bestimmt und diese daher auch als selbstblühend beschrieben wird, da der Zeitpunkt von keinem exogenen Einfluss wie Licht abhängig ist.

Die Wuchshöhe der Körnersorten wurde an den sechs verschiedenen Boniturterminen (24.05., 29.05., 07.06., 21.06., 08.07 und 23.07.2019) erhoben. Zwischen den einzelnen Boniturterminen wurden die Daten interpoliert.

Bei der Betrachtung der Wuchsdynamik innerhalb der Vegetationsperiode war zunächst auffällig, dass für eine rasche Jugendentwicklung und damit verbundenes Längenwachstum im vegetativen Stadium neben einem ausreichenden Wasserangebot die Lufttemperatur entscheidend ist. Da der Mai im Versuchsjahr mit einer mittleren Temperatur von nur 11 °C eher kühl ausfiel, war auch das Wachstum des Hanfs in diesem Monat gehemmt. So lagen die durchschnittlichen Bestandshöhen gegen Ende Mai bei zehn Zentimetern.

Simultan mit den steigenden Temperaturen im Monat Juni nahm auch das Längenwachstum der Kultur stark zu. Im Zeitraum des raschen Wachstums im Juni während des Hauptwachstumsstadiums des vegetativen Wachstums erreichten die Sorten hohe tägliche Zuwachsraten. Zwischen den beiden Boniturterminen 29.05.2019 und 07.06.2019 erreichte die Sorte Finola tägliche Zuwachsraten von durchschnittlich 5,9 cm. Im selben Zeitraum wuchsen die Sorten Uso-31 5,6 cm pro Tag und Earlina 8-FC 5,4 cm pro Tag. Hinsichtlich der Wuchsdynamik zeigte die Sorte Finola die schnellste Entwicklungsdynamik aller Sorten. Mit Einsetzen der Blüte zum dritten Boniturtermin (07.06.2019) hat die Sorte Finola bereits 65 % ihres Längenwachstums abgeschlossen. Zu diesem Zeitpunkt hat die Sorte Uso-31 erst 32 % bzw. die Sorte Earlina 8-FC 37 % ihres Längenwachstums im Durchschnitt aller Varianten erreicht. Durch die spätere Blüte, die am 08.07.2019 begann, hatten die Sorten Uso-31 und Earlina 8-FC eine längere Periode des vegetativen Wachstums. Dadurch erreichten diese höhere Wuchshöhen. So wurde die Sorte Uso-31 im Durchschnitt aller Varianten 222 cm hoch und die Sorte Earlina 8-FC 166 cm. Die kurzwüchsige Sorte Finola erreichte im Durchschnitt aller Varianten eine maximale Wuchshöhe von 107 cm. Nachdem der Femelhanf abgestorben war, reduzierte sich die Wuchshöhe zum Mähdruschtermin auf 97 cm.

Im Vergleich zwischen den Sävarianten Focus und Einzelkorn/Drille konnte festgestellt werden, dass die mit dem Sägerät Focus gesäten Sorten höher waren als die Einzelkorn- und Drillsaatvarianten. So erreichte die Variante Uso-31-Focus eine durchschnittliche Wuchshöhe von 231 cm. Die Einzelkornvariante der Sorte war 15 cm kleiner bei 216 cm und die Drillsaatvariante wuchs 219 cm hoch. Auch die Variante Finola-Focus war 12 cm bzw. 5 cm größer als die Einzelkorn und Drillsaatvarianten mit 113 cm im

Vergleich zu 101 cm und 108 cm. Zwischen der Aussaattechnik Einzelkorn und Drille konnte kaum ein Unterschied in der Wuchshöhe festgestellt werden.

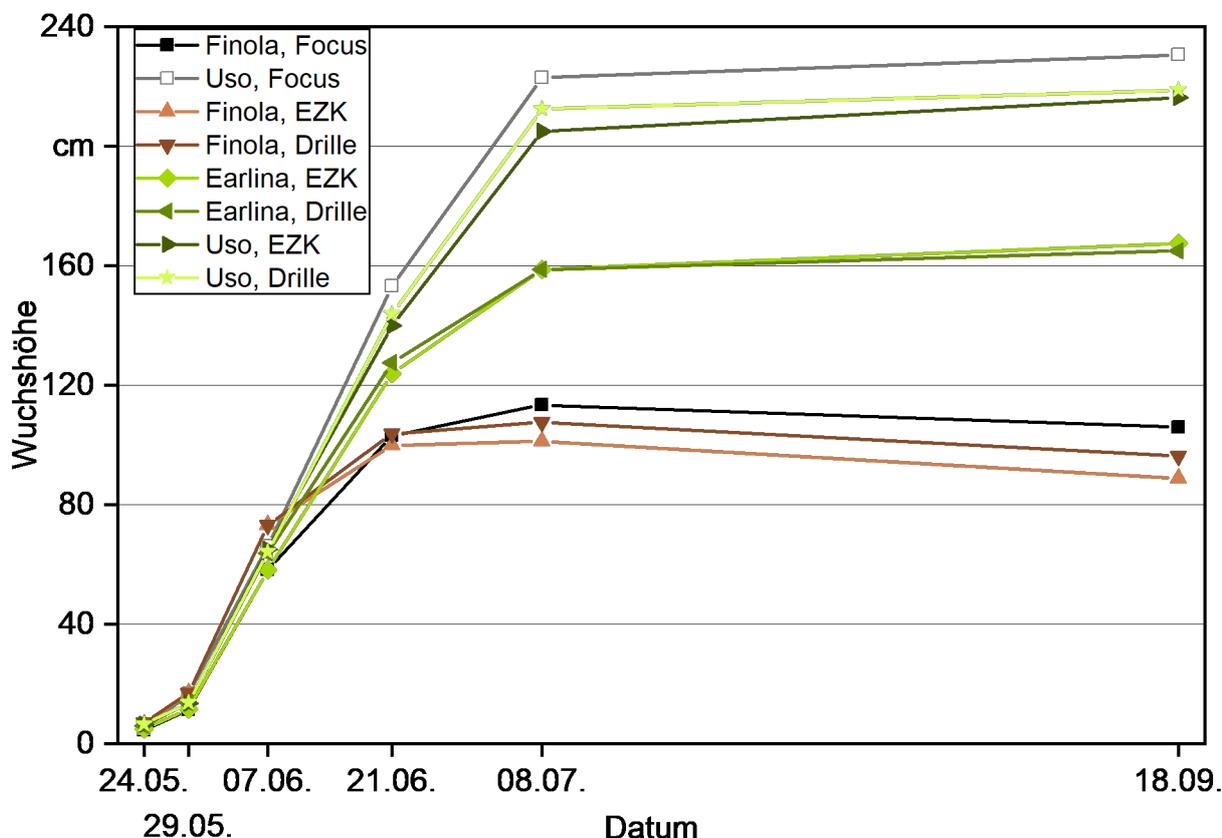


Abbildung 43: Verlauf der Wuchshöhe der Körnersorten innerhalb der Vegetationsperiode

Die statistische Auswertung der Bestandesdichte zum Feldaufgang (Bestd1) ergab zunächst eine Normalverteilung der Residuen ($W = 0,98$, $p = 0,22$). Mit der Varianzanalyse konnte festgestellt werden, dass die Sorten einen sehr hohen signifikanten ($p = 0,0002^{***}$) Einfluss auf die Bestandesdichte nach Feldaufgang hatten. Die Aussaattechnik hingegen hatte keinen statistisch signifikanten Einfluss ($p = 0,1413$) auf die Bestandesdichte. Die Wechselwirkung aus Sorte und Aussaattechnik bewirkte wiederum einen statistisch signifikant erkennbaren Trend ($p = 0,0910$) im Einfluss auf die Bestandesdichte.

Die zweite Bonitur der Bestandesdichte vor der Ernte variierte sehr stark zwischen Varianten von 11 bis 90 Pflanzen/m². Die niedrigste Bestandesdichte erreichten die Varianten Finola-Focus und Uso-31-Focus mit jeweils 11 Pflanzen/m². Die höchste Bestandesdichte erreichte die Variante Earlina-Drille mit 90 Pflanzen/m². Auch hier konnten mangels Randomisierung die Focus-Varianten in der statistischen Analyse nicht berücksichtigt werden.

Um eine Normalverteilung der Residuen ($W = 0,97$, $p = 0,84$) bei der statistischen Auswertung der Bestandesdichte vor der Ernte annehmen zu können, mussten mittels der Prozedur Robustreg zwei Ausreißer identifiziert und entfernt werden. Die anschließende Varianzanalyse ergab auch zum zweiten Boniturtermin einen sehr hohen signifikanten Einfluss ($p = 0,001^{***}$) der Sorte auf die Bestandesdichte. Die Aussaattechnik und die Wechselwirkung aus Sorte und Aussaattechnik ergaben keinen statistisch abgesicherten Effekt auf die Bestandesdichte ($p = 0,9681$ und $p = 0,9544$) (Abbildung 44, Tabelle 17).

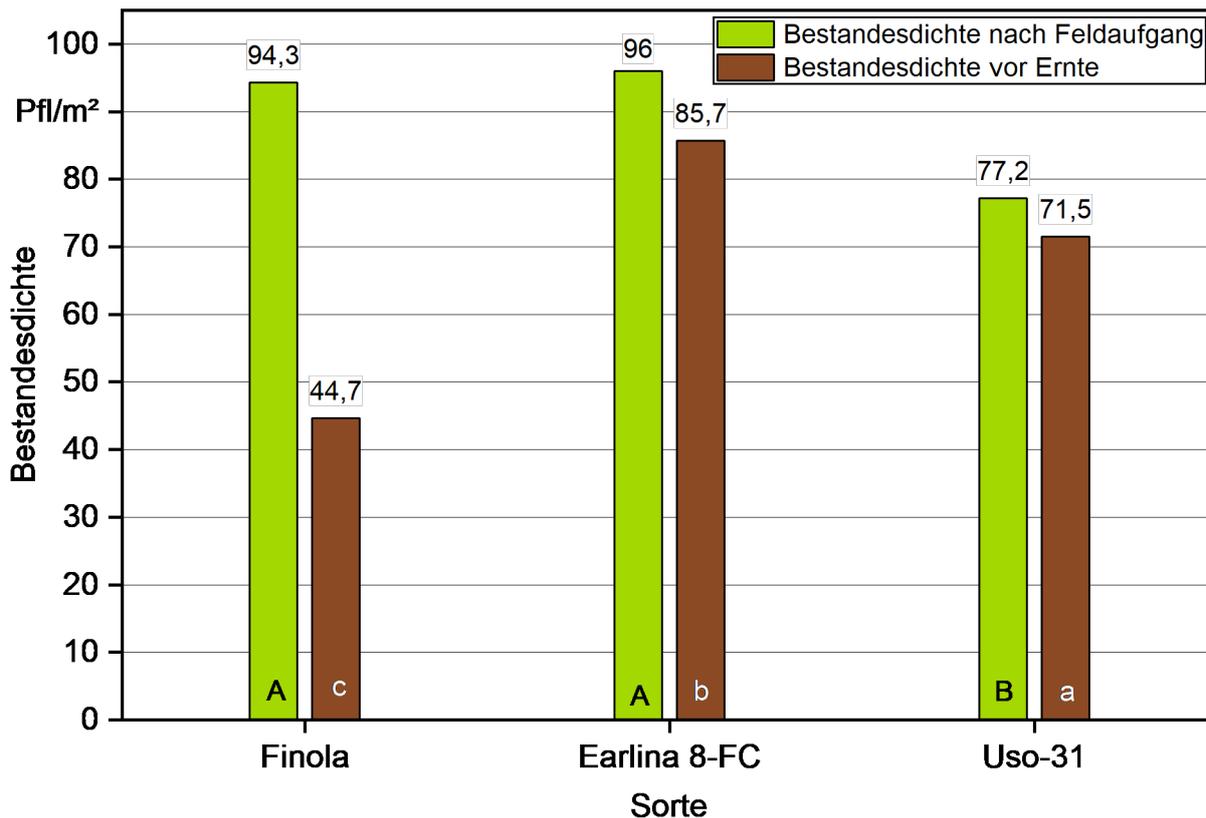


Abbildung 44: Bestandesdichte der Körnerhanfsorten zu Feldaufgang und Ernte, signifikante Unterschiede innerhalb der Termine mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet

Tabelle 17: Bewertung der Interaktion zwischen Körnerhanfsorte und Aussaattechnik auf die Bestandesdichten nach Feldaufgang und vor der Ernte, signifikante Unterschiede mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet

		Sorte			
		Finola	Earlina 8-FC	Uso-31	
Aussaattechnik	EZK	Bestd. nach Aufgang	96,4 ab	87,6 abc	75,2 c
		Bestd. vor Ernte	45,2	81,2	71,2
	Drille	Bestd. nach Aufgang	92,4 abc	104,4 a	79,2 bc
		Bestd. vor Ernte	44,0	81,6	71,6

5.2.2 Kornertrag und Ernteverfahren

Die Ernte des Körnerversuchs konnte nur auf den mit Einzelkorn- und Drillsämaschine gesäten Versuchspartellen erfolgen. Der angegliederte Praxisversuch der Firma Horsch mit dem Sägerät Focus konnte aufgrund der starken Verunkrautung nicht mit dem Parzellendrescher gedroschen werden (Abbildung 45). Aufgrund des lückigen und stark verzögerten Feldaufgangs im Vergleich zu den Einzelkorn- und Drillvarianten konnte die Kultur Hanf ihr hohes Unkrautunterdrückungsvermögen hier nicht entfalten. Zusätzlich konnten die Focus-Varianten, wie bereits erwähnt, aus technischen Gründen nicht gehackt werden. Durch den weiten Standraum und die damit verbundene hohe Licht- und Nährstoffverfügbarkeit entwickelten sich die einzelnen Hanfpflanzen der Focus-Varianten zu einer stark verzweigten Pflanze mit einem kräftigen Stängel. Diese hätten wiederum Probleme mit der Erntetechnik verursacht.



Abbildung 45: Starke Unkrautkonkurrenz in der Variante Finola-Focus

Die mit der Einzelkorn- und Drillsämaschine gesäten Varianten konnten mittels Parzellendreschers gedroschen werden. Dabei variierten die Erträge sehr stark zwischen 97 kg/ha und 837 kg/ha (Abbildung 46). Die statistische Auswertung der Ertragsdaten ergab zunächst eine Normalverteilung der Residuen ($W = 0,98$ und $p = 0,94$). Die anschließende Varianzanalyse zeigte, dass die Sorten einen sehr hohen signifikanten Einfluss ($p = 0,0001^{***}$) auf den Kornertrag haben. Bei der Aussaattechnik konnte kein signifikanter Effekt ($p = 0,63$) festgestellt werden. Laut Tukey-Kramer-Test war die finnische Sorte Finola mit einem mittleren Kornertrag von 566,4 kg/ha signifikant besser als die großwüchsigen Sorten Earlina 8-FC mit einem Durchschnittsertrag von 213,6 kg/ha und Uso-31 mit 131,1 kg/ha.

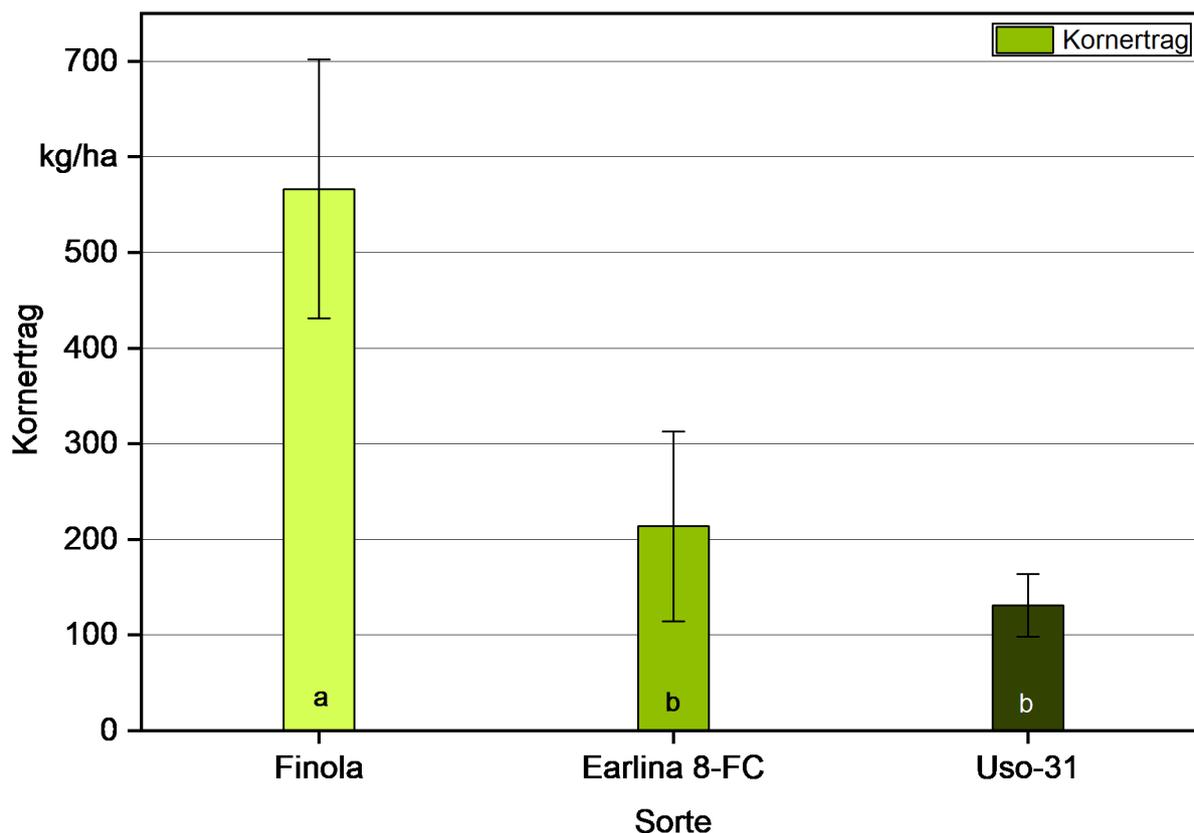


Abbildung 46: Mittlere Kornerträge der Körnersorten, signifikante Unterschiede mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet, Fehlerbalken zeigen Standardabweichung

Der Ertrag der Körnersorten fiel insgesamt niedrig aus. In der Praxis geht man in Deutschland von Körnererträgen im Direktdrusch zwischen 400 und 1200 kg/ha aus [94]. TANG et al. (2016) [97] untersuchten unter anderem die Kornertragsfähigkeit von 14 Sorten in vier verschiedenen Umwelten (Italien, Frankreich, Tschechische Republik und Lettland). Es wurden Kornerträge zwischen 300 und 2400 kg/ha erreicht. Dabei konnte ein Zusammenhang zwischen der Frühreife und der Ertragsfähigkeit festgestellt werden. Je frühreifer (Zeit zwischen Aussaat und Zeitpunkt der Blüte) die Sorte war, desto höher war der Ertrag. FAUX et al. (2013) [44] stellten denselben Zusammenhang fest. Auch in dem vorliegenden Versuch war die frühreifere Sorte Finola ertragsstärker als die späteren Sorten Earlina 8-FC und Uso-31.

OFNER et al. (2014) [81] erhielt im Feldversuch einen Ertrag von 820 kg/ha (im Mittel des Jahrs 2012) bei der Sorte Finola und für die Sorte Uso-31 einen mittleren Ertrag von 989 kg/ha (dreijähriges Mittel 2011 bis 2013). Allerdings erfolgte die Ernte in diesem Versuch per Hand mit Sichel und jeweils auf einer Fläche von nur einem Quadratmeter. Die so geernteten Pflanzenteile wurden anschließend händisch beschickt mit einem Mähdrescher ausgedroschen. Auch FAUX et al. (2013) erntete im belgischen Versuch manuell auf einem Quadratmeter. Hier konnten im zweijährigen Mittel (2007 bis 2008) Kornerträge zwischen 140 kg/ha und 1750 kg/ha erhoben werden. Jedoch stellte sich das praxisnähere direkte Ernten der gesamten Kernparzelle mit dem Parzellendrescher

in dem vorliegenden Versuch als nicht optimal heraus. Es wurde ein herkömmliches nicht modifiziertes Getreideschneidwerk verwendet. Dabei entstand das Problem, dass bei den hochwüchsigen Sorten Earlina 8-FC (durchschnittlich 1,66 m Höhe) und Uso-31 (durchschnittlich 2,16 m Wuchshöhe) der Fruchtstand nicht vollständig erfasst werden konnte, da der Hanfstängel abknickte und nach vorne umfiel (Abbildung 47). Darüber hinaus war das faserige, langstrohige Material der hohen Sorten eine große Herausforderung für die rotierenden Drusch- und Reinigungselemente der Maschine. So musste während der Ernte mehrmals gestoppt und die „Wickler“ am Schrägförderer wie auch an der Dreschtrommel mühsam manuell entfernt werden (Abbildung 48).



Abbildung 47: Körnerhanfdrusch: wegknickende Hanfstängel, Fruchtstände teilweise nicht erfasst



Abbildung 48: Verstopfte Dreschtrammel durch faseriges, langes Hanfstroh

Für die frühreife Sorte Finola war der Erntetermin 19.09.2019 zu spät. Der Bestand hatte zu diesem Zeitpunkt bereits das Ende der Samenreife erreicht (Code: 2205) und war schon teilweise zur Seneszenz übergegangen (Abbildung 49). Dadurch musste ein Ertragsverlust durch ausgefallene Samen hingenommen werden. Allerdings konnte durch die randomisierte Blockanlage keine separate Ernte erfolgen.



Abbildung 49: Überreifer Finola-Bestand zum Erntetermin 19.09.2019

Die spätreiferen Sorten Earlina 8-FC und Uso-31 zeigten zum Erntetermin sehr inhomogene Reifezustände. Sie befanden sich im Stadium der Samenreife (Code: 2306) bis hin zum Ende der Samenreife (Code: 2307).

Ein zusätzlicher erheblicher Faktor, der zu den niedrigen Kornerträgen führte, war der Vogelfraß. So konnte auf den Versuchspartzen seit Beginn der Samenreife der frühreiferen Sorte Finola bis hin zum Erntezeitpunkt regelmäßig ein Vogelschwarm beobachtet werden, der sich auf der Versuchsfläche hauptsächlich im Körnerblock aufhielt und zu erheblichen Ertragsausfall führte (Abbildung 50). Daher wird für zukünftige Körnerhanfversuche auf dem Standort empfohlen, entsprechende Präventionsmaßnahmen gegen Vogelfraß zu ergreifen. Auch FAUX et al. (2013) [44] berichteten von signifikanten Einbußen im Kornertrag durch Vogelfraß. So erreichten die vom Vogelfraß beschädigten Bestände nur Erträge zwischen 140 und 400 kg/ha. Auch hier war Uso-31 mit einem Ertrag von 140 kg/ha am ertragsschwächsten. Allerdings erreichte die Sorte im darauffolgenden Jahr ohne Vogelfraß-Probleme am selben Standort einen Ertrag von 1490 kg/ha [44].

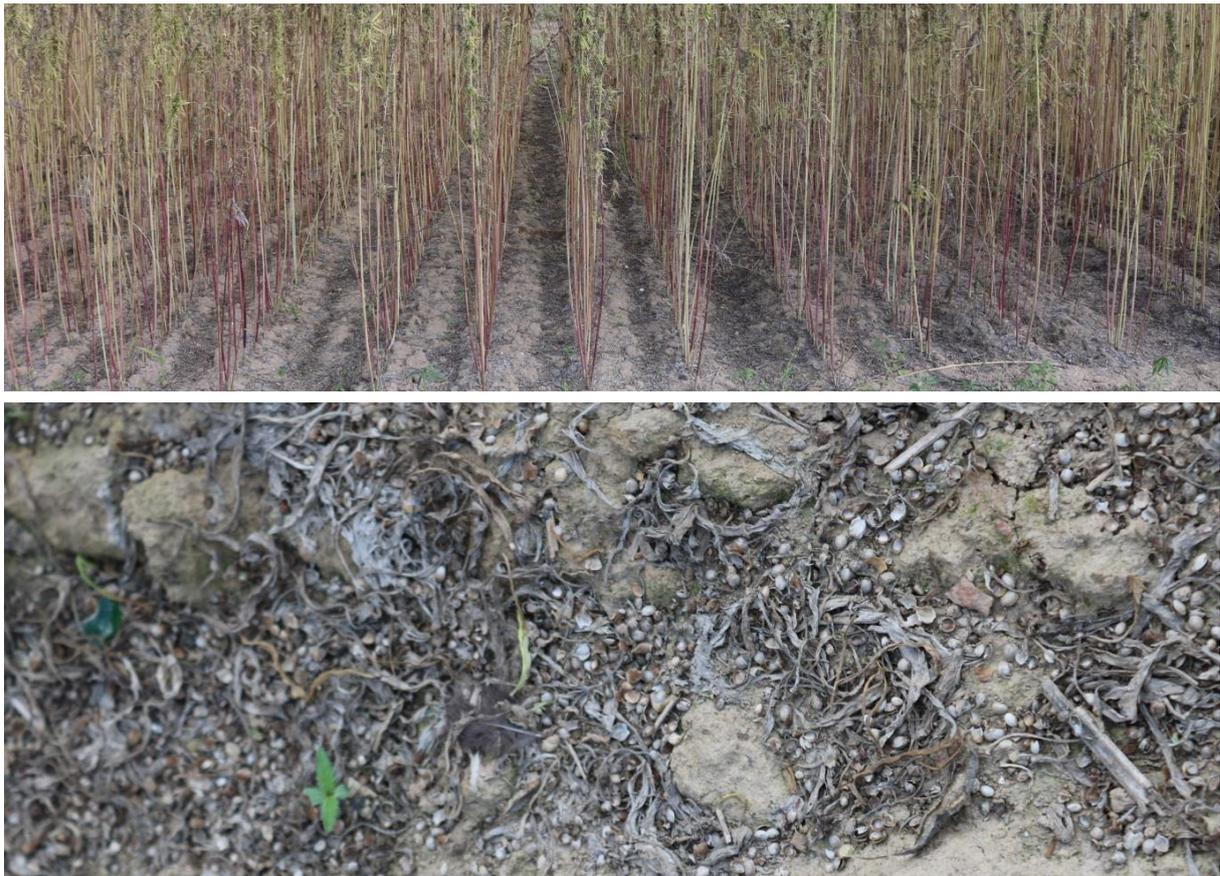


Abbildung 50: Samenausfall im Körnerhanfversuch

Für die Aussaattechnik konnte im Versuch kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden. Die Einzelkornsaattechnik schnitt mit einem mittleren Ertrag von 313 kg/ha etwas besser ab als die Drillsaat mit durchschnittlich 294 kg/ha. OFNER et al. (2014) [81] konnten im dreijährigen Feldversuch einen statistisch signifikanten Effekt zwischen den Aussaattechniken Einzelkorn und Drillsaat festmachen. So erreichten die Einzelkornvarianten einen mittleren Ertrag von 944 kg/ha und die Drillsaatvariante 670 kg/ha.

Wie bereits beschrieben ist eine steigende Nachfrage nach Körnerhanf im Lebensmittel-sektor zu beobachten. Allerdings gibt es kaum wissenschaftliche Studien zu der neueren Nutzungsrichtung Körnerhanf in Deutschland. Die meisten durchgeführten Versuche zum deutschen Hanfanbau erfolgten zu Faserhanf in den 1990er und frühen 2000er Jahren. Da es sich in dem hier betrachteten Körnerhanfversuch um eine einjährige Versuchsanlage handelt, die darüber hinaus sehr stark durch Vogelfraß beeinflusst wurde, besteht noch erheblicher Forschungsbedarf in diesem Bereich.

5.2.3 Stickstoffbilanzierung

Die N-Bilanz der verschiedenen Varianten im Körnerhanfversuch variierte zwischen +37 und +55 kg N/ha (Abbildung 51).

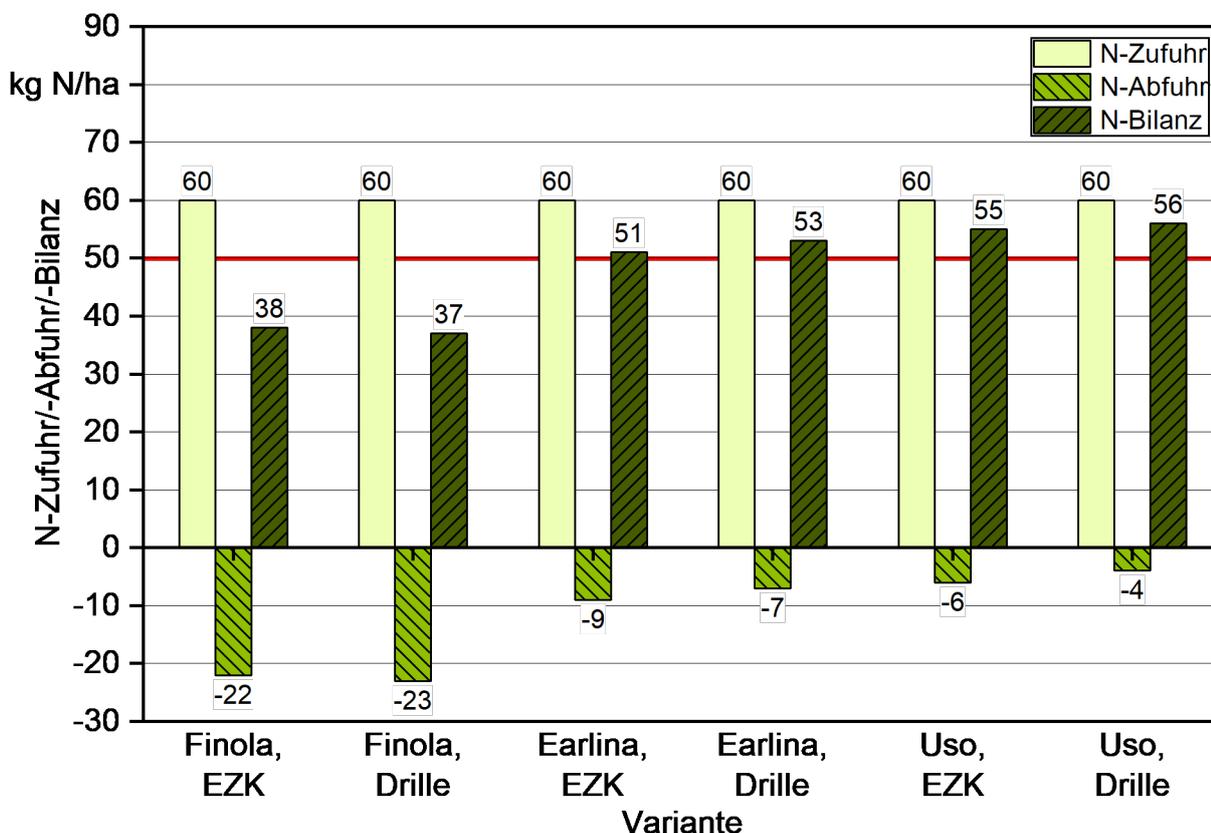


Abbildung 51: N-Bilanzen der einzelnen Körnerhanfvarianten

Damit liegt der N-Saldo noch im akzeptablen Bereich. Laut dem im Rahmen des betrieblichen Nährstoffvergleichs ermittelten N-Saldo darf dieser nach der novellierten Düngeverordnung § 9 Abs. 2 [20] im Durchschnitt der letzten drei Düngejahre 50 kg N/ha und Jahr nicht überschreiten. Hierbei wird der gesamtbetriebliche Durchschnitt aus der Fruchtfolge verwendet und auf einen Hektar heruntergerechnet.

Aufgrund des niedrigen Kornertrags im Versuchsjahr 2019 durch Vogelfraß und späten Erntetermin sind die Salden im Vergleich zu durchschnittlichen Hanf-Kornerträgen als hoch einzustufen. Geht man von einem durchschnittlichen Ertrag von 800 kg/ha und einem mittleren N-Gehalt des Hanfkorns von 3,5 % aus, dann liegt der N-Saldo bei 32 kg N/ha und damit im grünen Bereich der gesetzlichen Bestimmungen zu Stickstoff.

Der N_{\min} -Wert wurde aus Kostengründen und aufgrund des nicht signifikanten Einflusses der Aussaattechnik Einzelkorn und Drille auf den Ertrag als Mischprobe für die einzelnen Sorten gezogen. Hierbei fiel insbesondere auf, dass die Sorte Finola trotz ihres signifikant höheren Ertrags deutlich mehr N_{\min} im Boden nach der Ernte zurückließ als die Sor-

ten Earlina 8-FC und Uso-31. So lag der N_{\min} -Wert nach der Ernte bei der Sorte Finola bei 51 im Vergleich zu den N_{\min} -Werten von 29 und 26 bei Earlina 8-FC und Uso-31.

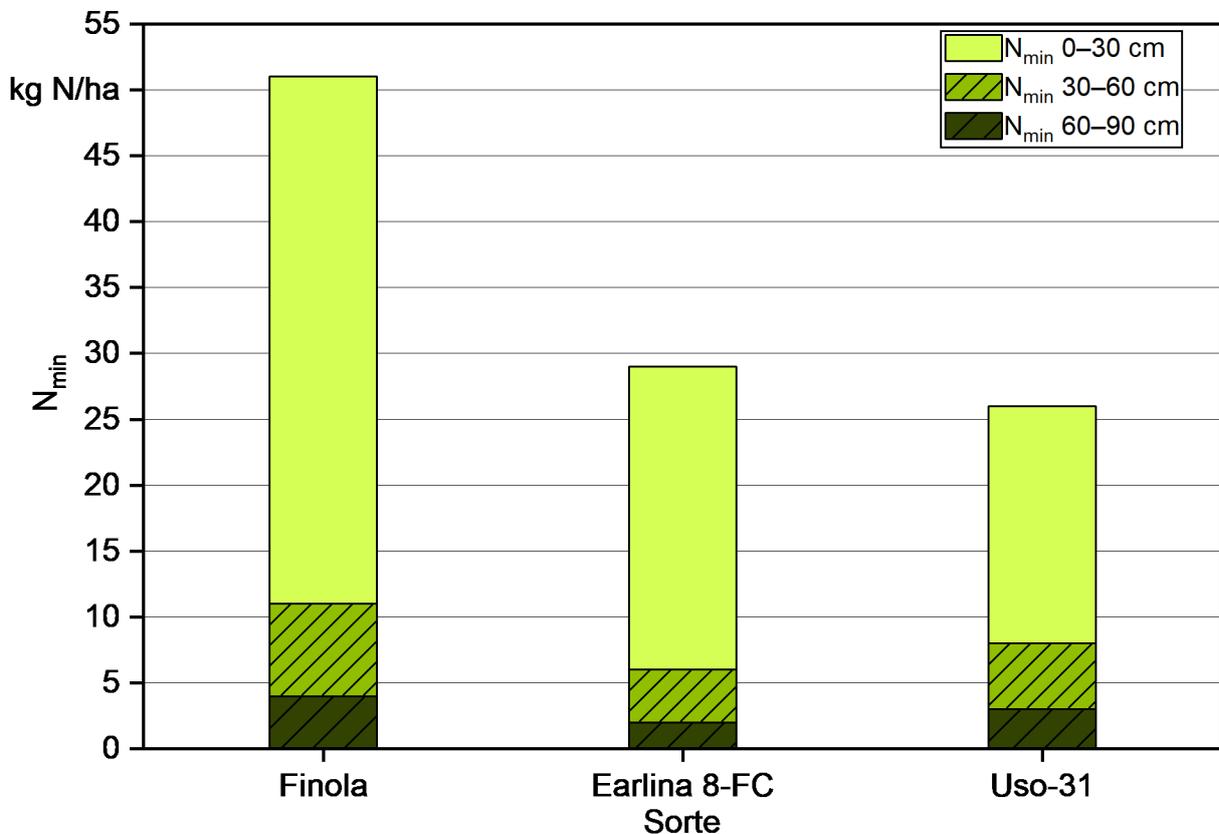


Abbildung 52: N_{\min} -Werte der Körnersorten nach Ernte bis in Bodentiefe 90 cm

Ein möglicher Erklärungsansatz für den gegenüber Earlina 8-FC und Uso-31 fast doppelt so hohen N_{\min} -Wert der Sorte Finola ist die unterschiedliche Wuchshöhe der Sorten. Während Finola nur knapp einen Meter hoch wuchs, wurde Earlina 8-FC 1,60 m hoch und Uso-31 2,30 m. Für die Bildung der Biomasse benötigten die hochwüchsigeren Sorten mehr Stickstoff als die kleinwüchsige Sorte Finola.

In der Literatur gibt es viele Arbeiten zur Stickstoffdüngemenge, um einen optimalen Ertrag bei Faserhanf zu generieren. Jedoch besteht noch viel Forschungsbedarf hinsichtlich der Stickstoffeffizienz der Kultur und des Einflusses des Hanfanbaus auf den Bodenstickstoffvorrat und das damit verbundene Risiko der Stickstoffauswaschung.

5.3 CBD-Versuch

5.3.1 Wachstums- und Entwicklungsverlauf

Die Bestandesdichte nach Feldaufgang im Zweiblattstadium betrug bei der Sorte KC Dora 115 Pflanzen pro Quadratmeter. Damit erreichte diese bei der verwendeten Aussaatstärke von 125 keimfähigen Körnern pro Quadratmeter einen sehr guten Feldaufgang mit 92 %. Die französischen Sorten Fedora und Felina 32 erreichten mit einer durchschnittlichen Bestandesdichte von 98 Pflanzen/m² und 94 Pflanzen/m² einen niedrigeren Feldaufgang mit 78 und 76 %.

Die statistische Auswertung der Bestandesdichte zum ersten Termin ergab eine Normalverteilung der Residuen ($W = 0,97$, $p = 0,88$). Die Sorten hatten keinen signifikanten Einfluss auf die Bestandesdichte nach Feldaufgang.

Vergleicht man die Keimfähigkeit am Feld (Triebkraft) mit der im Labor bestimmten Keimfähigkeit, so ist die Tendenz zu erkennen, dass die Pflanzen am Feld durch die exogenen Einflüsse eine niedrigere Keimfähigkeit aufweisen als unter den optimalen Bedingungen im Labor. Erreichte die Sorte Fedora 17 im Labor noch eine relativ hohe Keimfähigkeit von 97 %, so schnitt diese am Feld mit einer Triebkraft von 78 % nur mittelmäßig ab. Auch bei der Sorte Felina 32 konnte ein ähnlicher Sachverhalt festgestellt werden. Im Labor erreichte diese eine Keimfähigkeit von 88 % und am Feld erreichte sie einen Feldaufgang von 76 %. Die Sorte KC Dora hingegen verhielt sich überraschenderweise konträr. Im Labor erreichte diese eine mittelmäßige Keimfähigkeit von 78 %, jedoch am Feldversuch den höchsten Feldaufgang bzw. Triebkraft mit 92 % (Tabelle 18).

Tabelle 18: Vergleich der CBD-Sorten in der Bestandesdichte nach Feldaufgang, Keimfähigkeit im Labor und Triebkraft am Feld

Sorte	Saatstärke	Bestandsdichte	Keimfähigkeit Labor	Triebkraft
Einheit	kf Kö/m ²	Pfl/m ²	%	%
KC Dora	125	115	78	92
Fedora 17	125	98	97	78
Felina 32	125	94	88	76

Die Unkrautdeckungsgradbonitur wurde 31 Tage nach der Aussaat am 27.05.2019 durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt befanden sich die Pflanzen im Dreiblattstadium (Code:1006) mit einer durchschnittlichen Wuchshöhe von 10 bis 12 cm. Es konnte in allen Varianten ein sehr niedriger Unkrautdruck mit einem Unkrautdeckungsgrad von unter 2 % festgestellt werden. Die Kultur erreichte zu diesem Zeitpunkt einen Deckungs-

grad zwischen 15 und 16 %. Die Unkrautpopulation setzte sich aus folgenden Arten zu folgenden Anteilen zusammen:

- 86 % *Chenopodium album* (Weißer Gänsefuß),
- 4 % *Polygonum aviculare* und *P. convolvulus* (Vogel- und Winden-Knöterich),
- 2 % *Thlaspi arvense* (Acker-Hellerkraut),
- 2 % *Matricaria chamomilia* (Echte Kamille),
- 2 % *Senecio vulgaris* (Gemeines Kreuzkraut),
- 1 % *Stellaria media* (Vogelmiere),
- 1 % *Veronica arvensis* (Feld-Ehrenpreis),
- 1 % *Lamium purpureum* (Rote Taubnessel) sowie
- 1 % *Echinochloa crus-galli* (Hühner-Hirse).

Der Reihenschluss wurde im CBD-Block am 18.06.2019, 53 Tage nach der Aussaat erreicht. Zu diesem Zeitpunkt befanden sich die Pflanzen im Stadium des 9. Laubblatt-paars (Code: 1018) und waren durchschnittlich 1,40 m hoch. Durch das schnelle Wachstum Ende Mai und im Juni wurde das vorhandene Unkrautpotenzial auf der Fläche sehr gut unterdrückt und zum Zeitpunkt des Reihenschlusses war der Bestand unkrautfrei, sodass von einer weiteren mechanischen Unkrautregulierung abgesehen werden konnte (Abbildung 53).



Abbildung 53: Reihenschluss im CBD-Versuch im Stadium 9. Laubblattpaar (Code 1018) bei einer durchschnittlichen Wuchshöhe von 140 cm, 18.06.2019

Der Blühbeginn im CBD-Block setzte mit der Sorte Fedora 17 am 12.07.2019 (Code: 2301) ein. Drei Tage später kam auch die Sorte Felina 32 zur Blüte mit der Bildung der ersten weiblichen Blütenanlage mit ersten Narben. Die spätere Sorte KC Dora begann ca. eine Woche später mit der Blüte am 19.07.2019. Zu diesem Zeitpunkt war die französische Sorte Fedora 17 bereits in der Vollblüte (Code: 2302). Auch die Sorte Felina 32 kam ca. eine Woche nach der Ausbildung erster geschlechtsspezifischer Blütenanlagen in die Vollblüte. KC Dora begann mit der Vollblüte Ende Juli am 23.07.2019. Das Ende der Blüte und der Beginn der Samenreife (Code: 2305) wurden bei allen Sorten Ende Juli bzw. Anfang August erreicht, wobei die Sorte KC Dora eine Woche später dieses Reifestadium erreichte. Zudem fiel auf, dass die Sorte KC Dora im Vergleich zu den beiden französischen Sorten einen höheren Anteil rein männlicher Pflanzen im Bestand hatte. Dies ist besonders in der Nutzungsrichtung zur CBD-Gewinnung ein bedeutender Sachverhalt, da der Femelhanf den wertbestimmenden sekundären Pflanzeninhaltsstoff CBD nicht in höheren Mengen enthält.

Die Wuchshöhe wurde an sieben Boniturterminen (24.05., 29.05., 07.06., 21.06., 10.07., 23.07., 26.08.2019) erfasst.

Die Wuchshöhe verlief bei allen drei Sorten ziemlich simultan. Zunächst war das Jugendwachstum im kühlen Mai verhalten. Ende Mai erreichten die drei Sorten im Schnitt eine Wuchshöhe von 14 cm. Danach begann die Phase des raschen Längenwachstums,

das zwischen den Boniturterminen 07.06. und 21.06.2019 am stärksten ausgeprägt war. In diesem Zeitraum erreichte die Sorte KC Dora eine tägliche Zuwachsrate von 5,4 cm. Die Sorte Fedora 17 gewann im selben Zeitraum durchschnittlich 6,0 cm und die Sorte Felina 32 6,3 cm an Höhe. Gegen Ende der Samenreife am 26.08.2019 erreichte die Sorte eine endgültige Wuchshöhe von 273 cm (KC Dora), 283 cm (Fedora 17) und 269 cm (Felina 32) (Abbildung 54).

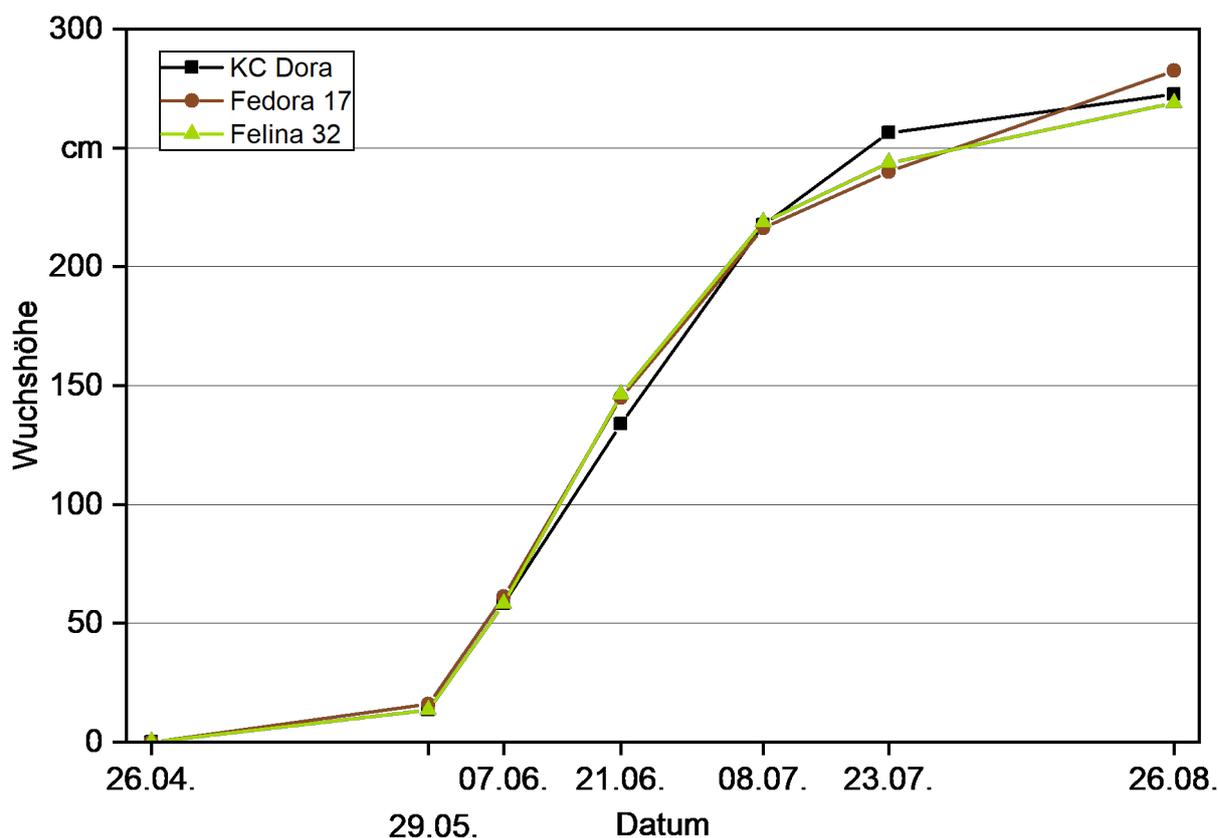


Abbildung 54: Verlauf der Wuchshöhe der CBD-Sorten innerhalb der Vegetationsperiode

Der zweite Termin für die Bonitur der Bestandsdichte wurde kurz vor der Ernte am 26.08.2019 durchgeführt. Die erhobenen Daten konnte jedoch nicht statistisch analysiert werden. Es konnte pro Ernteparzelle nur eine Wiederholung statt analog zur Bestandesdichtebonitur nach Feldaufgang drei Wiederholungen pro Ernteparzelle gezählt werden, da die Markierstäbe nur für eine Wiederholung wiederauffindbar waren. Zum Erntetermin wies die Sorte KC Dora in den vier Wiederholungen eine durchschnittliche Bestandesdichte von 117 Pflanzen/m² auf. Die Sorte Fedora 17 mit 96 Pflanzen/m² und Felina 32 mit 82 Pflanzen/m² zeigten eine deutlich niedrigere Bestandesdichte als die ungarische Sorte KC Dora. Somit konnte eine Selbstausdünnung von -1,7 % in der Sorte Fedora 17 und in der Sorte Felina 32 von -13,1 % festgestellt werden. Die Bestandesdichte der Sorte KC Dora nahm anscheinend um 1,5 % zu. Jedoch muss hier wiederum berücksichtigt werden, dass die Bestandesdichte vor der Ernte nur jeweils während einer Wie-

derholung auf der Ernteparzelle gezählt werden konnte und das Ergebnis durch den kleineren Stichprobenumfang verzerrt wurde.

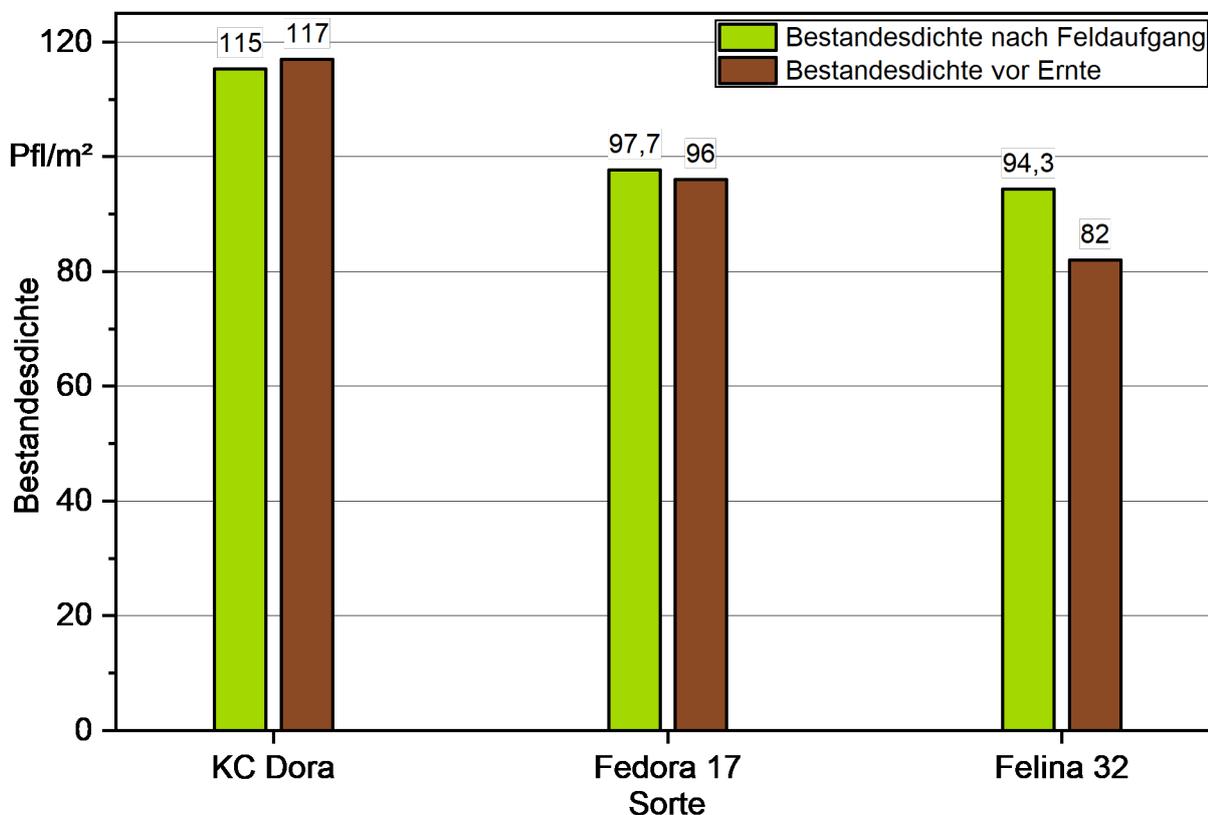


Abbildung 55: Bestandesdichte der CBD-Sorten nach Feldaufgang und vor der Ernte

5.3.2 Ertrag

Die statistische Auswertung der Ertragsdaten der Pflanzenteile Restpflanze und Infloreszenz (Blütenstand) sowie der Gesamtpflanze ergab eine Normalverteilung der Residuen, sodass eine Varianzanalyse erfolgen konnte. Für die Berechnung des Gesamtpflanzenenertrags wurde die Summe aus Restpflanzenertrag und Blütenstandertrag in der Trockenmasse verwendet.

Hinsichtlich des Einflusses der Sorte auf den Gesamtpflanzen-trockenmasseertrag konnte kein signifikanter Effekt ($p = 0,47$) in der Varianzanalyse festgestellt werden. Den höchsten Ertrag im Mittel der vier Wiederholungen erreichte die Sorte Fedora 17 mit 122,9 dt TM/ha, wobei dieser sich auf 73,3 dt TM/ha Restpflanzenertrag und 49,6 dt TM/ha Blütenstandertrag aufteilte. Da der wertbestimmende Anteil für die CBD-Gewinnung im Blütenstand liegt, wurde der Harvest Index (HI) dafür bestimmt. Der HI für die Sorte Fedora 17 lag im Schnitt bei 40,3 %. Die Sorte KC Dora hatte einen durchschnittlichen Gesamtpflanzenenertrag von 116,4 dt TM/ha, der sich aus 70,7 dt TM/ha Restpflanzenertrag und 45,7 dt TM/ha Blütenstandertrag zusammensetzte. Damit erreichte die Sorte KC Dora einen HI von 39,2 %. Die Sorte Felina 32 erreichte knapp den

niedrigsten Ertrag mit 115,9 dt TM/ha. Der Gesamttrockenmasseertrag bestand hier aus 67,4 dt TM/ha Restpflanzenertrag und 48,5 dt TM/ha Blütenstandertrag und damit lag der HI bei 41,9 % (Abbildung 56).

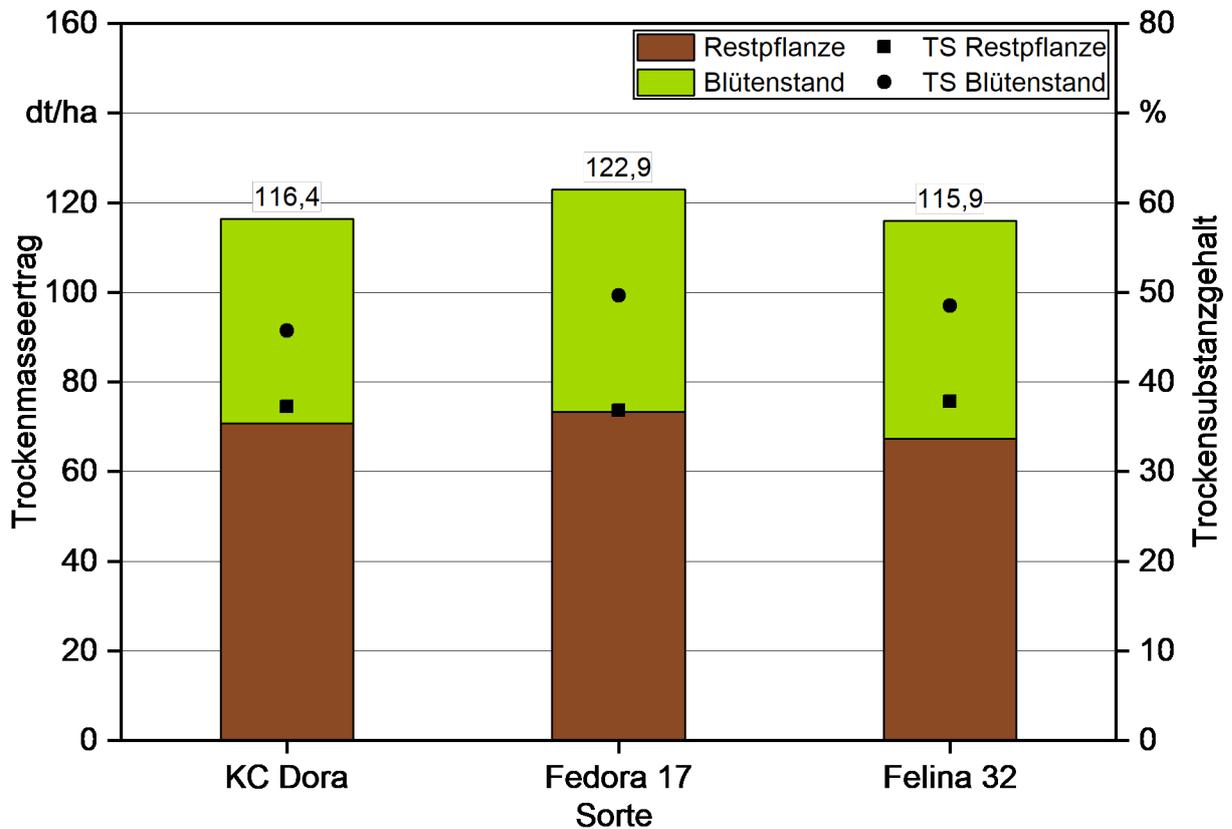


Abbildung 56: Gesamtpflanzenertrag und dessen Zusammensetzung aus Restpflanze und Blütenstand sowie deren Trockensubstanzgehalte der CBD-Sorten zur Haupternte

5.3.3 Stickstoffbilanzierung

Die Stickstoffbilanzen der drei CBD-Sorten lagen alle im negativen Bereich zwischen -20 und -35 kg N/ha (Abbildung 57).

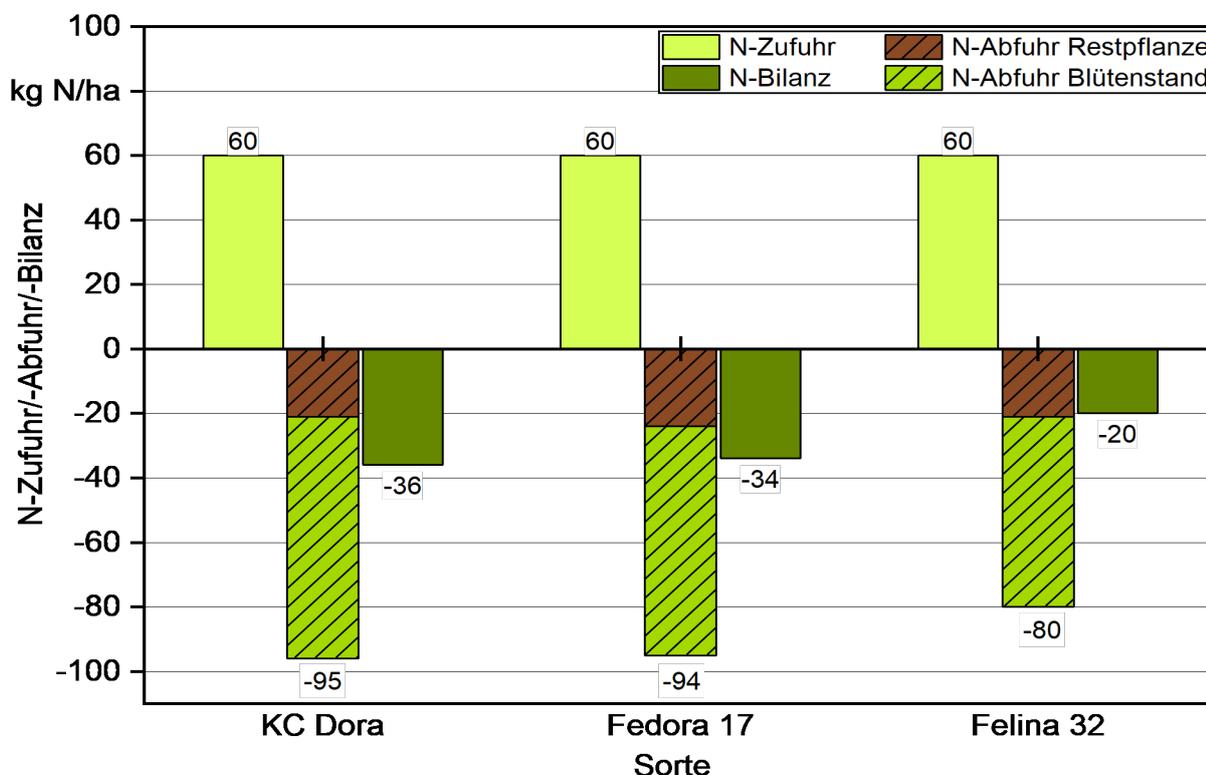


Abbildung 57: N-Bilanzen der drei CBD-Sorten

Kurzfristig betrachtet sind negative N-Salden einer Frucht nicht unbedingt als negativ zu betrachten. Der N-Saldo muss gesamtbetrieblich und über die Fruchtfolge hinweg analysiert werden. So kann der CBD-Hanf Stickstoffüberschüsse aus Vorfrüchten wie beispielsweise Raps oder Weizen gut ausgleichen. Ziel eines Betriebs sollte ein ausgeglichener N-Saldo über die Fruchtfolge hinweg sein. Langfristig gesehen sind negative N-Salden im gesamtbetrieblichen Durchschnitt jedoch als negativ zu bewerten, da für die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit ein gewisses Angebot an Stickstoff im Boden vorhanden sein muss.

Die N_{\min} -Werte im CBD-Versuch wurden als Mischprobe der vier Wiederholungen für jede Sorte nach der Ernte bestimmt. Hierbei konnte kein großer Unterschied zwischen den Sorten festgestellt werden. Im Durchschnitt lag dieser bei 42 kg N/ha (Abbildung 58).

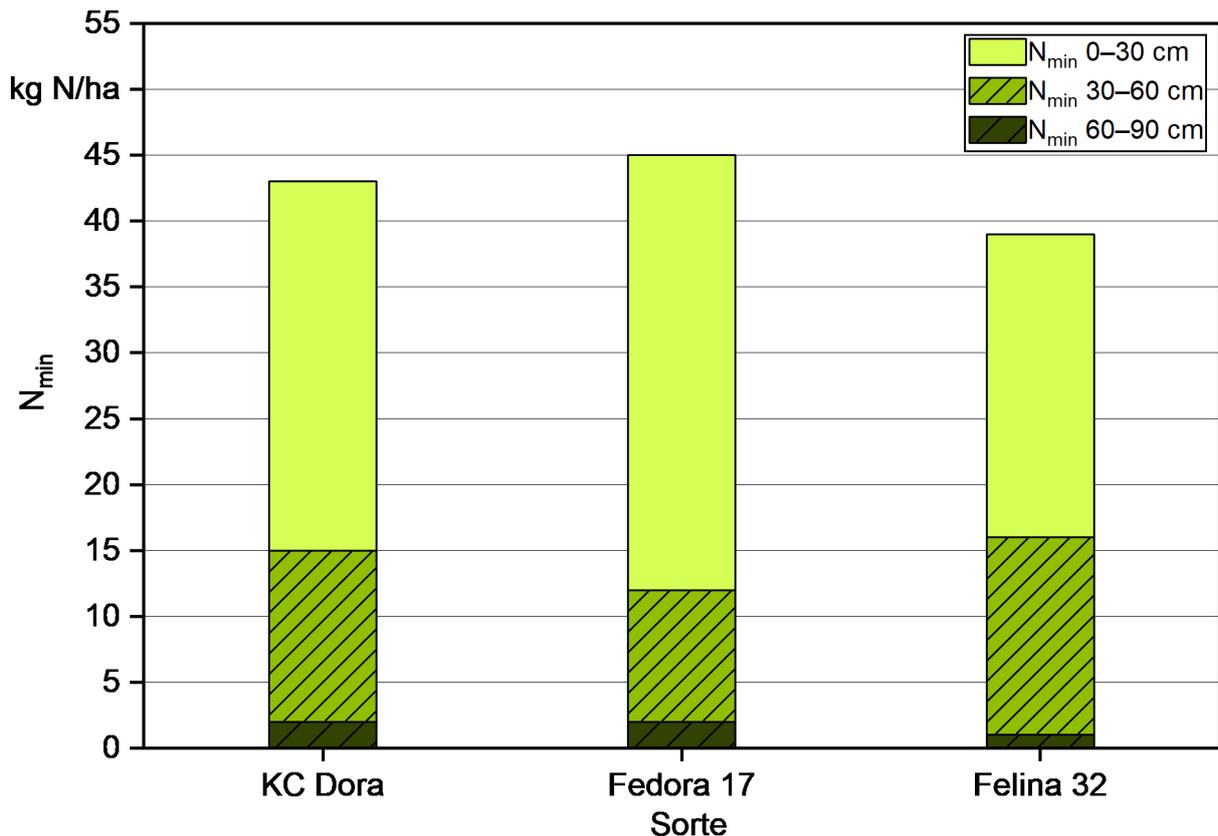


Abbildung 58: N_{min} -Werte der drei CBD-Sorten nach Ernte bis 90 cm Bodentiefe

5.4 Dualversuch

5.4.1 Wachstums- und Entwicklungsverlauf

Der Feldaufgang der vier Dualnutzungssorten variierte von 70 % bis hin zu 88 %. Dabei erreichten die französischen Sorten Fedora 17 und Felina 32 einen Feldaufgang von 88 % und 76 %. Dies entspricht bei einer Saatstärke von 250 keimfähigen Körnern/m² einer Bestandesdichte von 212 Pflanzen/m² bzw. 191 Pflanzen/m². Die rumänischen Sorten Secuieni Jubileu und Zenit erreichten einen Feldaufgang von 70 und 71 %. Dies entspricht einer Bestandesdichte von 174 Pflanzen/m² bei der Sorte Secuieni Jubileu und bei der Sorte Zenit lag die Bestandesdichte bei 177 Pflanzen/m². Die statistische Analyse der Daten zur Bestandesdichte ergab zunächst eine Normalverteilung der Residuen ($W = 0,98$, $p = 0,62$). Jedoch konnte mit $p = 0,12$ kein signifikanter Einfluss der Sorten auf die Bestandesdichte festgestellt werden.

Die UDG-Bonitur ergab insgesamt eine sehr niedrige Unkrautdeckungsfläche von unter 1 % auf allen Parzellen der vier Sorten und vier Wiederholungen. Ähnlich wie in den anderen Versuchsanlagen war auch hier *Chenopodium album* (Weißer Gänsefuß) das dominierende Unkraut. Lediglich der Kulturdeckungsgrad war mit 21 bis 26 % höher als im Körner- und CBD-Versuch (Abbildung 59). Dies ist auf die höhere Aussaatstärke von 250 keimfähigen Körnern/m² zurückzuführen. Bei den verschiedenen Sorten und den

damit verbundenen unterschiedlichen Keimfähigkeiten und Tausendkornmassen entspricht sie einer Saatgutmenge zwischen 40 und 83 kg/ha.



Abbildung 59: Unkrautdeckungsgrad von unter 1 % und Kulturdeckungsgrad von 23 % im Dualnutzungsversuch, Sorte Felina 32 am 27.05.2019

Der Reihenschluss wurde am 11.06.2019 erreicht. Zu diesem Zeitpunkt hatten die Pflanzen vier bis fünf Laubblattpaare entwickelt und eine durchschnittliche Wuchshöhe von 80 bis 90 cm erreicht.

Die erste Sorte (Zenit) begann mit der Blüte Ende Juni (24.06.2019). Zwei Tage später kam auch die Sorte Secuieni Jubileu in die Blüte. Die Sorten Fedora 17 und Felina 32 wechselten erst drei Wochen später von der vegetativen Phase in die generative Phase mit dem Blühbeginn am 14.07.2019 (Fedora 17) bzw. am 17.07.2019 (Felina 32). Am Versuchsfeld konnte zwischen dem CBD- und Dualversuch, die beide die Sorte Fedora 17 und Felina 32 beinhalteten, eine leichte Verzögerung von zwei Tagen im Blühbeginn der beiden Sorten im Dualblock beobachtet werden. Dies wird darauf bezogen, dass der Dualversuch eine höhere Aussaatstärke sowie N-Düngung hatte als der CBD-Versuch. Die Vollblüte war in den rumänischen Sorten Mitte Juli erreicht und bei den beiden französischen Sorten Ende Juli/Anfang August.

Die Bonitur der Wuchshöhe erfolgte ebenfalls an sieben Terminen (24.05., 29.05., 07.06., 21.06., 08.07., 23.07., 18.09.2019).

Die Wuchshöhe entwickelte sich im Verlauf der Vegetationsperiode sehr ähnlich zum CBD-Versuch. Der Hanf begann zunächst langsam mit dem Längenwachstum im kühlen Monat Mai mit durchschnittlichen Zuwachsraten von 2 cm pro Tag. Mit der Zunahme der Temperaturen im Monat Juni stieg auch die tägliche Zuwachsrates auf durchschnittlich 5 cm pro Tag, wobei kaum ein Unterschied zwischen den Sorten ausgemacht werden konnte. Mit Ende des vegetativen Wachstums und Übergang zur Blüte kristallisierten sich langsam kleine Unterschiede in der Wuchshöhe heraus. Aufgrund der Tatsache, dass die rumänischen Sorten Secuieni Jubileu und Zenit um zwei Wochen früher in die Blüten gingen und damit eine kürzere Phase des vegetativen Wachstums hatten, erreichten diese niedrigere Wuchshöhen als die Sorten Fedora 17 und Felina 32. So hatten die Sorten Secuieni Jubileu und Zenit zum Erntetermin am 18.09.2019 eine Wuchshöhe von 208 cm und 221 cm erreicht. Die Sorte Fedora 17 und Felina 32 hingegen erreichten eine Wuchshöhe von 238 cm und 250 cm (Abbildung 60).

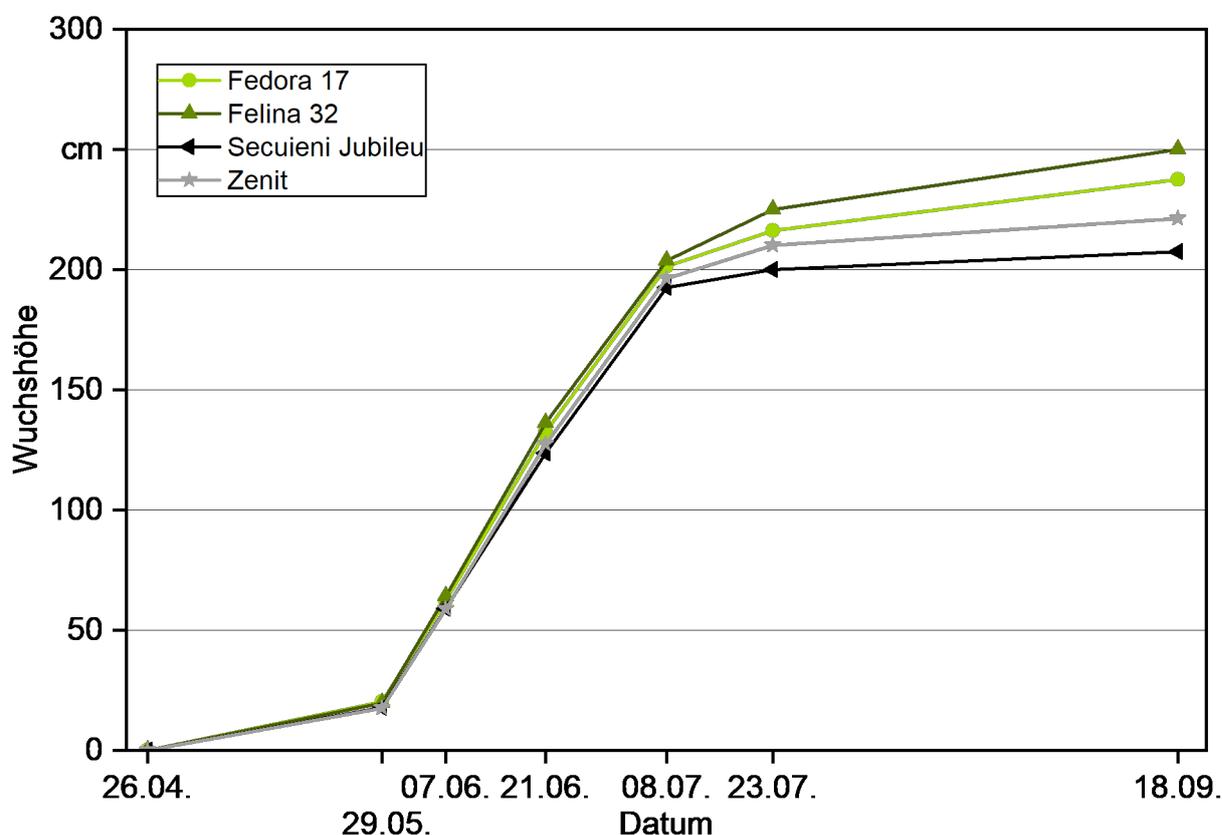


Abbildung 60: Verlauf der Wuchshöhe der vier Dualnutzungssorten innerhalb der Vegetationsperiode

Die zweite Zählung zur Bestandesdichte wurde kurz vor der Ernte am 18.09.2019 durchgeführt. Es wurden Bestandesdichten von 109 Pflanzen/m² und 95 Pflanzen/m² der Sorten Fedora 17 und Felina 32 erhoben. Die Sorte Secuieni Jubileu wies eine Bestandesdichte von 90 Pflanzen/m² und Zenit eine Bestandesdichte von 87 Pflanzen/m² auf. Bei der statistischen Analyse der Daten zur zweiten Bestandesdichte konnte zunächst die

Normalverteilung ($W = 0,99$, $p = 0,92$) angenommen werden. Die Sorten wiesen mit $p = 0,0140^{**}$ im Gegensatz zur ersten Bestandesdichte-Erhebung einen hohen signifikanten Einfluss auf die Bestandesdichte aus. Der multiple Mittelwertvergleich mittels Tukey-Kramer-Test ergab, dass sich die Bestandesdichten der Sorten Fedora 17 und Zenit signifikant voneinander unterschieden. Im Vergleich zur Bestandesdichte nach Feldaufgang nahmen diese sehr stark zur Ernte hin ab. Die Selbstausdünnung betrug durchschnittlich 50 % in den vier Sorten (Abbildung 61).

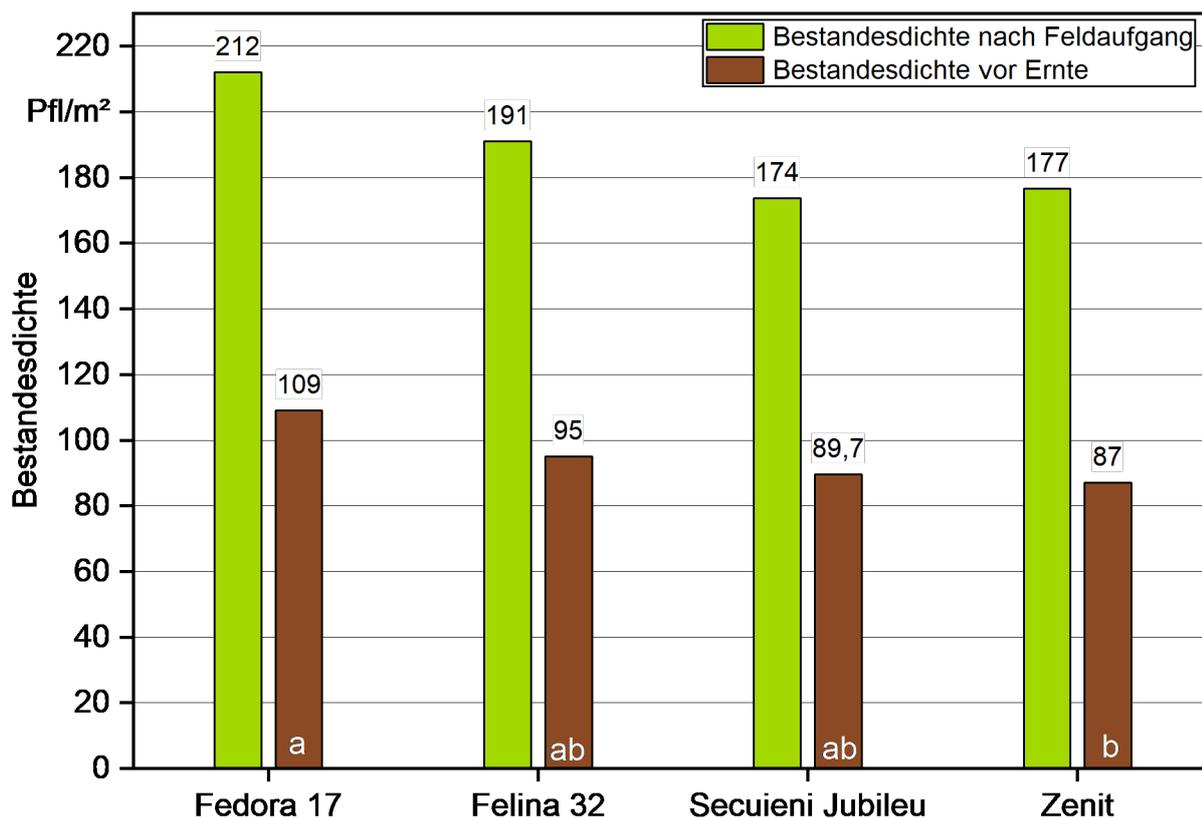


Abbildung 61: Vergleich der Bestandesdichte der Dualnutzungssorten nach Feldaufgang und vor der Ernte, signifikanter Einfluss der Sorte auf Bestandesdichte vor Ernte mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet

5.4.2 Korn- und Strohertrag

Der wertbestimmende Anteil für die duale Nutzung der Hanfpflanze setzt sich aus dem Korn- und Strohertrag zusammen. Der Strohertrag wurde im Versuch aus der Restpflanze und dem ausgedroschenen Fruchtstand erhoben. Zudem wurde der Ganzpflanzenertrag bestimmt. Dieser setzt sich aus der Summe der Erträge der Pflanzenteile „Restpflanze“ und „nicht ausgedroschene Fruchtstände“ zusammen. Der Ganzpflanzenertrag variierte zwischen 80 und 113 dt TM/ha. Dabei erreichte die Sorte Felina 32 mit 113 dt TM/ha den höchsten Ertrag, gefolgt von der Sorte Fedora 17 mit 105 dt TM/ha. Die Sorte Zenit hatte einen Ganzpflanzenertrag von 88 dt TM/ha und die Sorte Secuieni Jubileu erreichte mit 80 dt TM/ha den niedrigsten Ertrag der vier untersuchten Sorten.

Die Restpflanzen- und Fruchtstandserträge waren in derselben Sorten-Reihenfolge wie die zugehörigen Ganzpflanzenerträge. Die Sorte Felina 32 erzielte die höchsten Restpflanzen- und Fruchtstandserträge und die Sorte Secuieni Jubileu die niedrigsten (Abbildung 62).

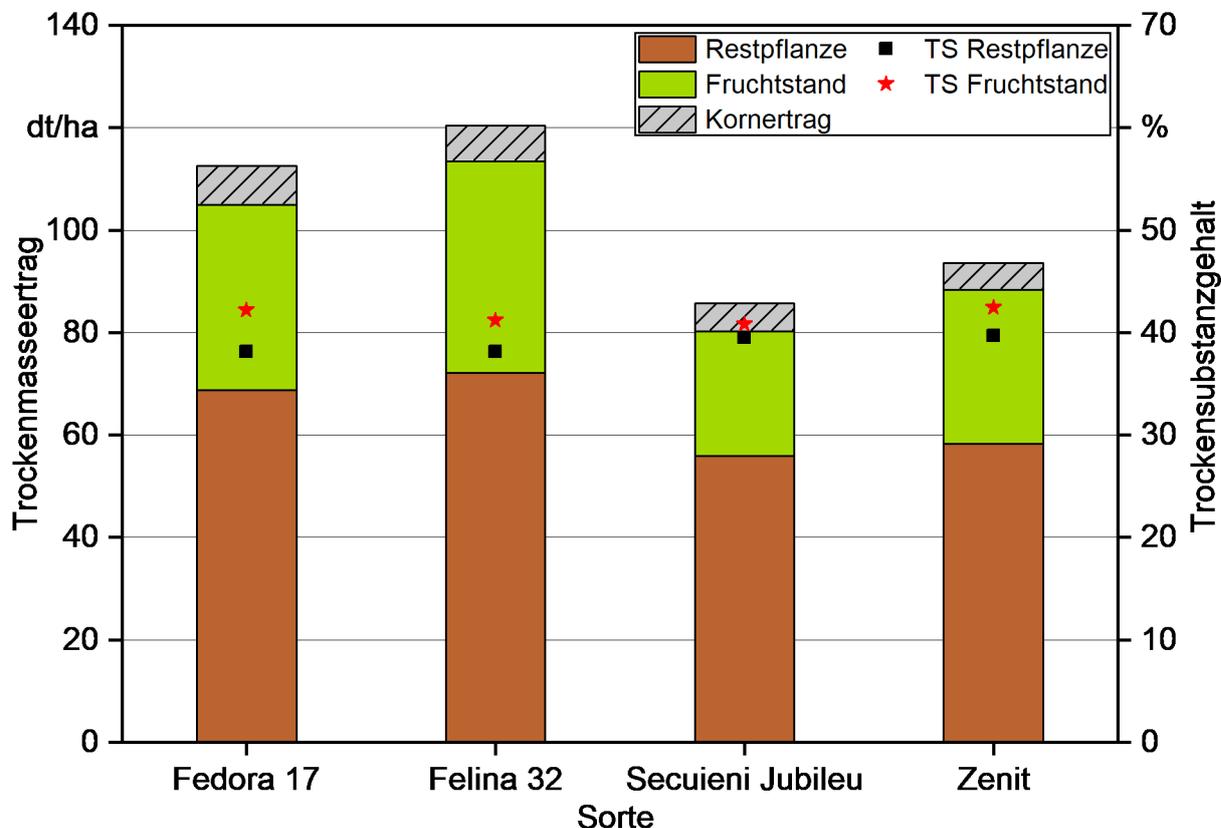


Abbildung 62: Trockenmasseerträge der Pflanzenteile Restpflanze, Fruchtstand und Kornertrag sowie Trockensubstanzgehalte von Restpflanze und Fruchtstand der Dualnutzungssorten

Die statistische Analyse der Ertragsdaten ergab zunächst eine Normalverteilung der Residuen. Die Varianzanalyse wurde für jedes geerntete Pflanzenteil separat durchgeführt. Dabei konnte festgestellt werden, dass die Sorten einen sehr hohen signifikanten Einfluss auf den Trockenmasseertrag von Restpflanze, Fruchtstand, Stroh und Ganzpflanze haben. Allerdings haben die unterschiedlichen Sorten keinen statistisch signifikanten Einfluss auf den Kornertrag. Der Tukey-Kramer-Test zeigte, dass die Sorten sich hinsichtlich ihrer Herkunft signifikant unterscheiden. So erreichten die französischen Sorten Fedora 17 und Felina 32 einen signifikant höheren Restpflanzenertrag, Fruchtstandsertrag, Stängelertrag und damit auch Ganzpflanzenertrag als die rumänischen Sorten Secuieni Jubileu und Zenit. Im Kornertrag konnte auch der Tukey-Test keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Sorten feststellen (Tabelle 19).

Tabelle 19: Ertragsbestandteile der Dualnutzungssorten, signifikante Unterschiede je Pflanzenteil sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet

Sorten	Restpflanze	Fruchtstand	Strohertrag	Kornertrag	Ganzpflanze
Einheit	dt TM/ha	dt TM/ha	dt TM/ha	kg TM/ha	dt TM/ha
Fedora 17	68,8 a	36,2 b	80,2 a	752,1 a	105,0 a
Felina 32	72,1 a	41,3 a	85,3 a	695,5 a	113,4 a
Secuieni Jubileu	55,9 b	24,3 d	61,4 b	581,5 a	80,2 b
Zenit	58,3 b	30,1 c	65,5 b	508,9 a	88,4 b

Der signifikante Einfluss der Sorte auf den Ertrag von Hanf wurde auch von TANG et al. (2016) [97], COSENTINO et al. (2013) [30], HÖPPNER UND MENGE-HARTMANN (2007) [61] sowie STRUIK et al. (2000) [95] festgestellt.

TANG et al. (2016) [97] kamen in dem einjährigen Feldversuch zur Eignung verschiedener Hanfsorten für die Dualnutzung in verschiedenen Umwelten in Europa (Italien, Frankreich, Tschechien und Lettland) zu dem Ergebnis, dass die Sorte Fedora 17 als Dualnutzungssorte, insbesondere auch für die Körnernutzung sehr gut eignet. Diese erreichte Stängelерträge von 55 bis 163 dt TM/ha. Für die Erhebung der Stängelерträge wurde in dem Versuch die Ganzpflanze verwogen und der TM-Ertrag bestimmt, sodass die Ergebnisse mit dem vorliegenden Versuch vergleichbar sind. Laut BÓCSA UND KARUS (1997) [12] erreichen Sorten mit südlicher Herkunft beim Anbau nördlich des 50. Breitengrads deutlich höhere Stängelерträge, da die vegetative Phase durch die später induzierte Blüte (durch veränderte Lichtverhältnisse) verlängert wird. So verhielt es sich auch in dem Versuch von TANG et al. (2016) [97]. Die Erträge der französischen Sorte Fedora 17 waren in nördlicheren Gebieten, wie in der Tschechischen Republik und Lettland, höher als in südlicheren Gebieten, wie Frankreich und Italien. Somit liegt der Ertrag der Sorte Fedora 17 im vorliegenden Versuch mit 113 dt TM/ha im Mittelfeld und bestätigt wiederum die Theorie von BÓCSA UND KARUS (1997) [12], da der Versuchsstandort ca. am 50. nördlichen Breitengrad liegt.

Beim Kornertrag verhält es sich andersherum. Je kürzer die vegetative Phase ist, umso höher sind die Kornerträge. So erreichte Fedora 17 in Italien einen Kornertrag von 2.400 kg/ha und in Lettland 1.500 kg/ha [97]. Allerdings konnte im vorliegenden Versuch kein signifikanter Unterschied zwischen den Sorten im Kornertrag festgemacht werden.

5.4.3 Stickstoffbilanzierung

Die Stickstoffbilanz der vier Dualnutzungssorten variierte sehr stark zwischen -16 und +42 kg N/ha (Abbildung 63). Hier muss zunächst berücksichtigt werden, dass bei der Inhaltstoffanalyse des Hanfstängels der Sorten Secuieni Jubileu und Zenit aufgrund der Trocknung bei zu hohen Temperaturen der N-Gehalt möglicherweise zu niedrig ausfiel. Jedoch konnte bei dem Abgleich mit Durchschnittswerten zu N-Gehalten im Hanfstängel

[55] festgestellt werden, dass diese „verzerrten“ Inhaltsstoffanalysen nahe am Durchschnitt lagen. Daher wurde mit den gemessenen Werten die N-Bilanz gerechnet.

Bei genauerer Betrachtung der N-Bilanzen der einzelnen Varianten wird der Zusammenhang deutlich, dass die französischen Sorten Fedora 17 und Felina 32 durch den höheren Ertrag auch deutlich höhere N-Entzüge realisieren konnten als die rumänischen Sorten. Demnach fällt auch die N-Bilanz bei den französischen Sorten besser aus. Mit 41 und 42 kg N/ha liegen allerdings Secuieni Jubileu und Zenit noch unter den gesetzlich erlaubten 50 kg N/ha.

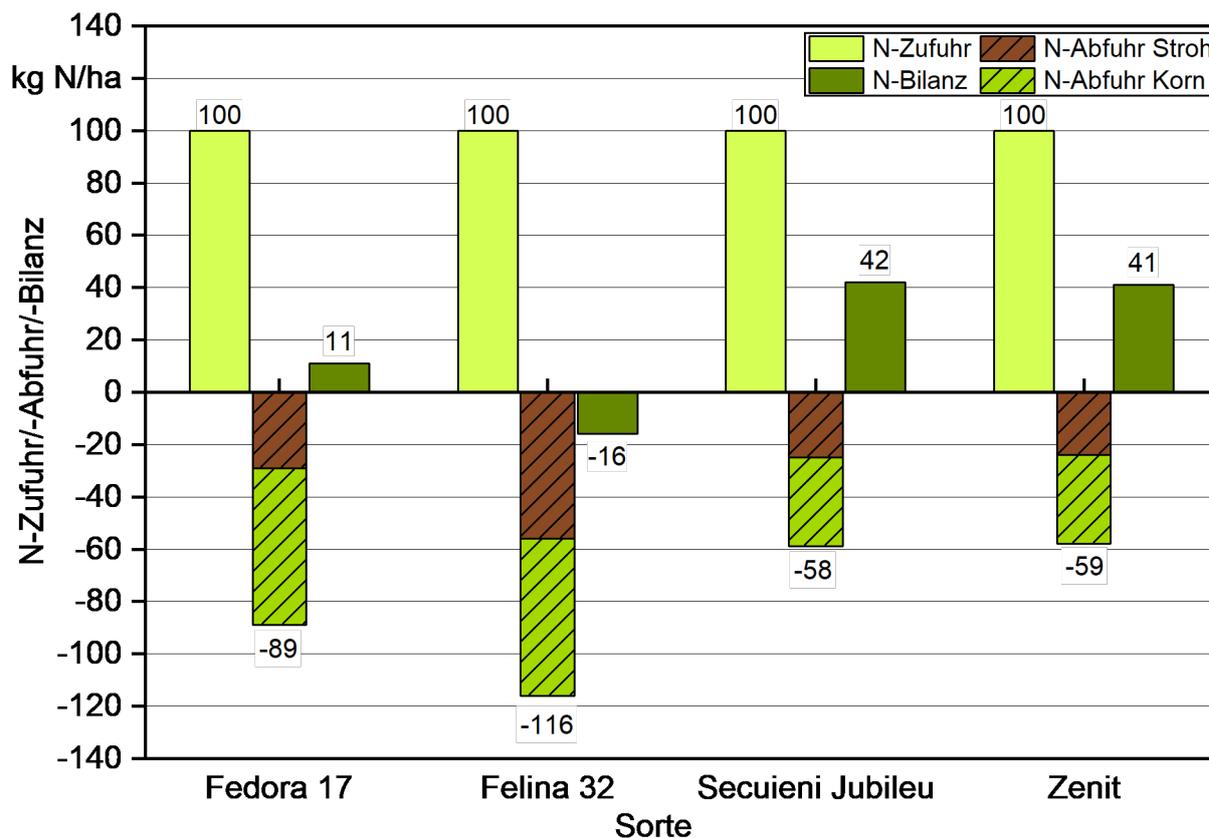


Abbildung 63: N-Bilanzen der Dualnutzungssorten

Bei der N-Abfuhr wurde differenziert zwischen N-Abfuhr Korn und N-Abfuhr Stroh. Dabei fällt auf, dass die Sorte Fedora 17, ähnlich wie im Kornertrag, die höchste N-Abfuhr durch das Korn mit 60 kg N/ha hat. Dies entspricht einem Anteil von 68 % an der gesamten N-Abfuhr. Den niedrigsten N-Entzug durch das Korn erreichte die Sorte Zenit mit einem Wert von 34 kg N/ha und einem Anteil von 51 % an der gesamten N-Abfuhr. Die N_{\min} -Menge nach der Ernte variierte von 25 bis 38 kg N/ha (Abbildung 64).

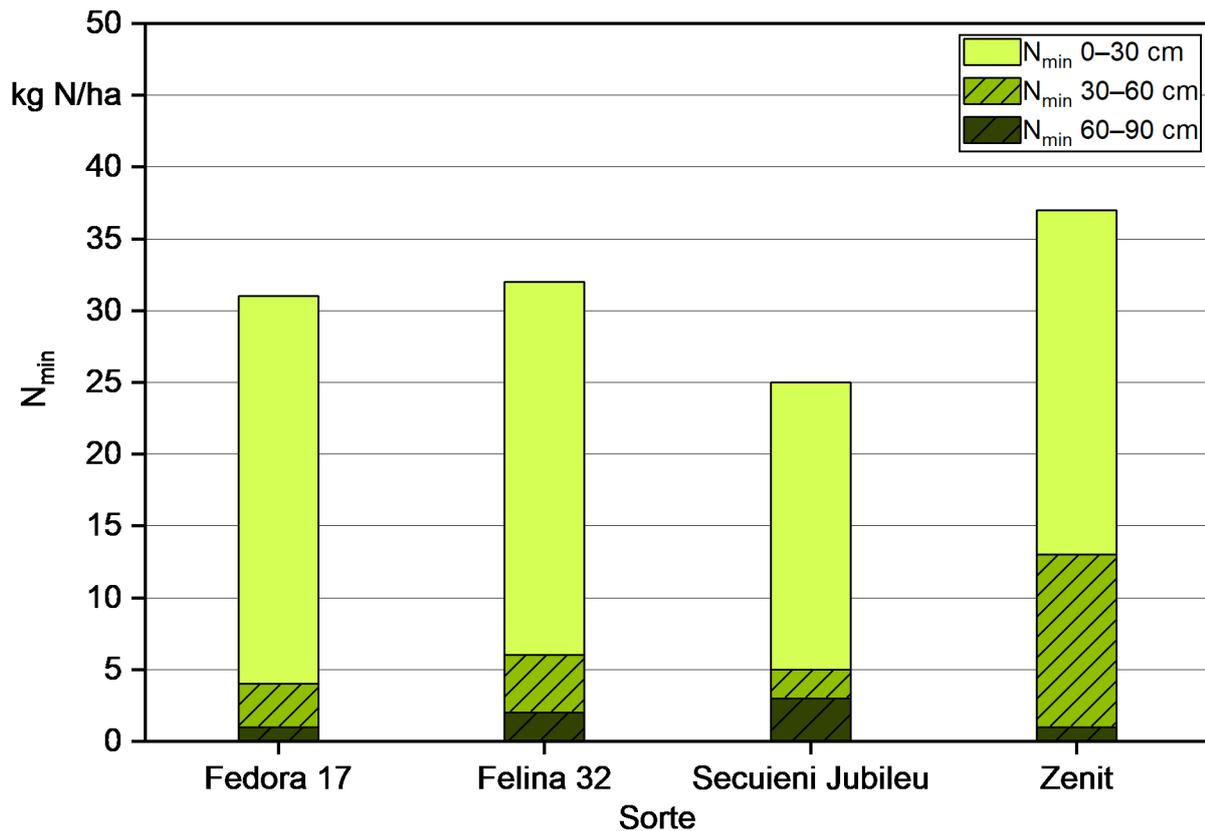


Abbildung 64: N_{min} -Werte der vier Dualnutzungssorten nach Ernte bis 90 cm Bodentiefe

5.5 Faserversuch

5.5.1 Wachstums- und Entwicklungsverlauf

Der Feldaufgang im Faserhanfversuch lag zwischen 83 und 91 %. Dabei erreichten die vier verschiedenen Sorten und Varianten in der Düngestufe bei einer Aussaatstärke von 350 keimfähigen Körnern/m² eine Bestandesdichte zwischen 291 und 310 Pflanzen/m². Die statistische Analyse des Einflusses der Sorte auf die Bestandesdichte nach dem Feldaufgang ergab keinen signifikanten Effekt. Der Prüffaktor Düngung wurde hier noch nicht berücksichtigt, da die Düngeapplikation erst nach dem Feldaufgang am 24.05.2019 erfolgte (Abbildung 65).

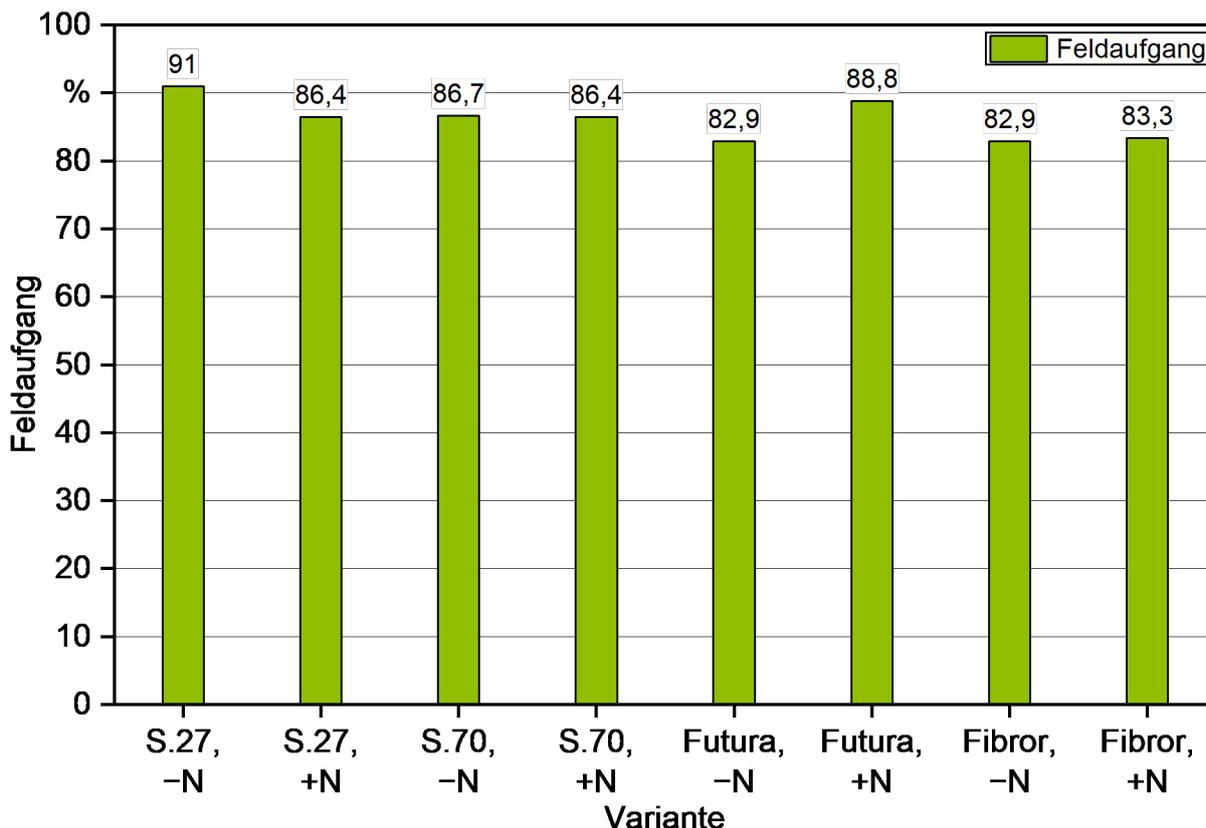


Abbildung 65: Bestandesdichte nach Feldaufgang der acht Faserhanfvarianten

Die UDG-Bonitur ergab in allen Varianten und Wiederholungen eine sehr niedrige Deckungsfläche des Unkrauts von unter 1 %. Die Kultur bedeckte zu diesem Zeitpunkt bereits durchschnittlich 47 bis 50 % der Fläche. Die Unkrautpopulation setzte sich ähnlich wie in den anderen drei Versuchen zusammen und war ebenfalls dominiert von *Chenopodium album* (Weißer Gänsefuß).

Der Reihenschluss wurde bereits 42 Tage nach der Aussaat am 07.06.2019 erreicht. Zu diesem Zeitpunkt waren die Pflanzen im Entwicklungsstand mit vier Laubblattpaaren und einer durchschnittlichen Wuchshöhe von 70 cm. Durch den engeren Reihenabstand (14 cm) und die höhere Aussaatstärke (350 kf Kö/m²) war keine mechanische Unkrautregulierung notwendig, da der Bestand relativ zügig durch den schnellen Reihenschluss den Boden beschattete und durch die große Wüchsigkeit das Unkraut effizient unterdrückte (Abbildung 66, Abbildung 67).



Abbildung 66: Blick in den Faserhanfbestand: hohes Unkrautunterdrückungsvermögen durch dichten Bestand und Beschattung zwischen den Reihen

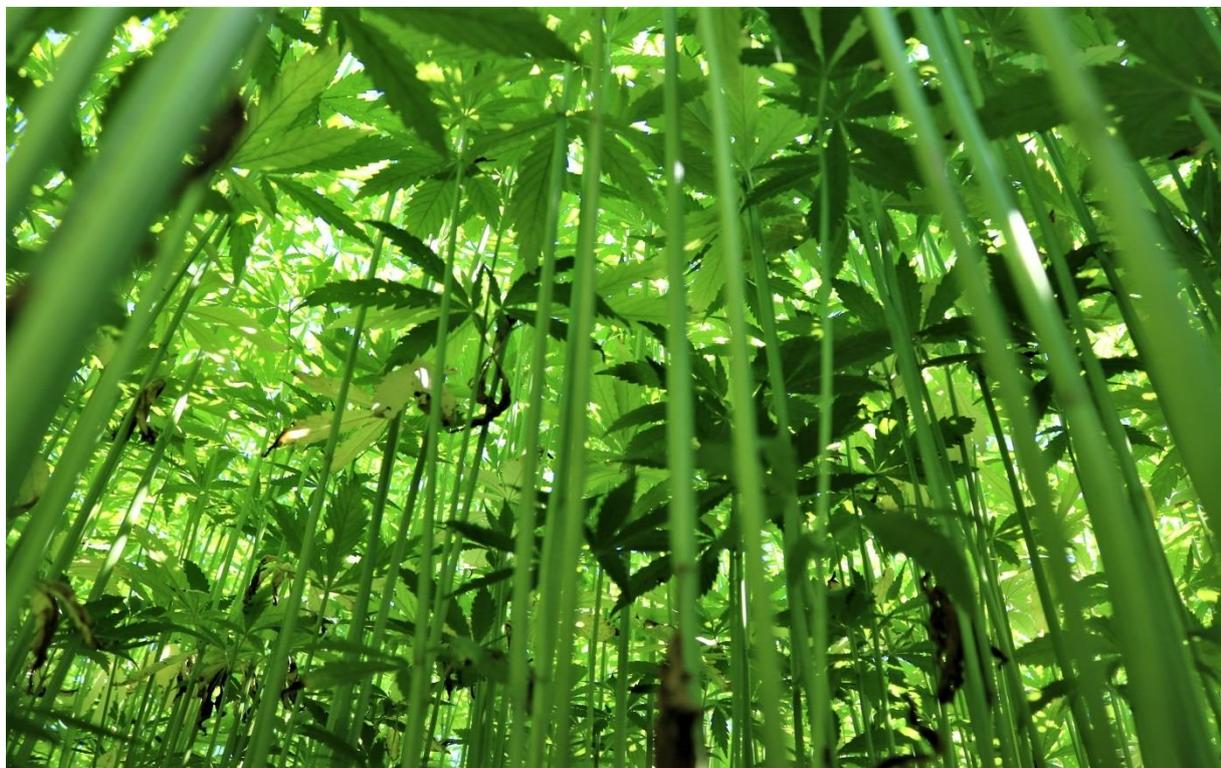


Abbildung 67: Hohes Unkrautunterdrückungsvermögen von Faserhanf durch hohe Biomassebildung und dichten Bestand

Der Blühbeginn der vier Sorten lag zwischen dem 19.07.2019 und dem 24.07.2019. Die erste Sorte hierbei war Santhica 27 mit einem Blühbeginn am 19.07.2019. Drei Tage später am 22.07.2019 folgten auch die beiden Sorten Santhica 70 und Fibror 79. Die Sorte Futura 75 begann mit der Blüte am 24.07.2019. Der Höhepunkt der Blüte war Mitte August erreicht.

Hinsichtlich der Wuchshöhe war bei den Messungen an den sieben Terminen (24.05., 29.05., 07.06., 21.06., 08.07., 23.07., 26.08.2019) erkennbar, dass sich zwischen den Sorten in der Wuchshöhe keine deutlich sichtbaren Unterschiede innerhalb des Hauptwachstumsstadiums des vegetativen Wachstums von Anfang Mai bis Anfang Juli entwickelt hatten. Jedoch begann mit Übergang in die generative Phase zu unterschiedlichen Zeitpunkten eine feine Differenzierung in der Wuchshöhe zwischen den Sorten. So erreichte die Sorte Santhica 27, die am frühesten mit der Blüte einsetzte, eine durchschnittliche Wuchshöhe von 240 cm. Die spätere Sorte Futura war zum Erntezeitpunkt durchschnittlich 20 cm höher mit 260 cm Höhe (Abbildung 68).

Hinsichtlich des Einflusses der Düngung auf die Wuchshöhe konnte lediglich eine feine Tendenz ausgemacht werden. So waren im Mittel die hoch gedüngten Varianten zum Erntetermin knapp 10 cm höher als die niedrig gedüngten Varianten.

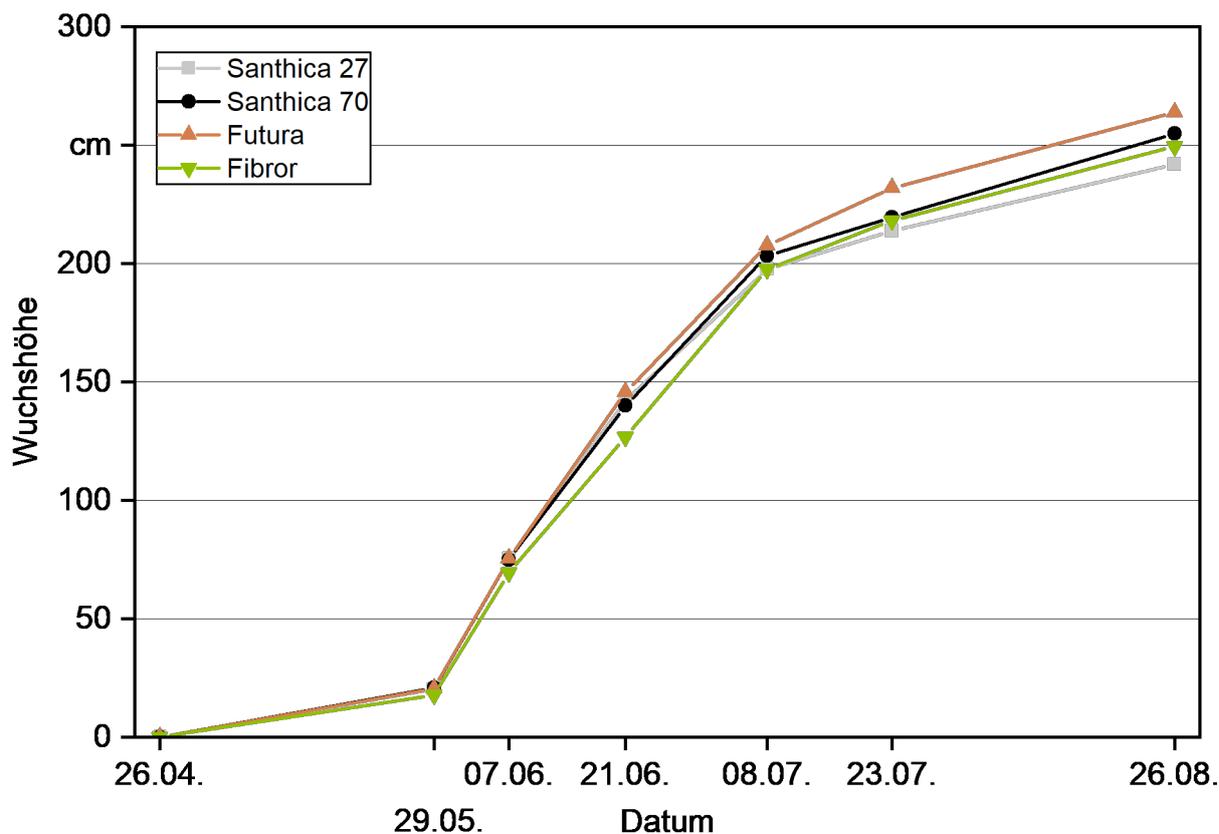


Abbildung 68: Verlauf der Wuchshöhe der Faserhanfvarianten innerhalb der Vegetationsperiode

Die zweite Zählung der Bestandesdichte fand am 26.08.2019 zum Erntetermin statt. Dabei konnte eine Bestandesdichte zwischen 230 und 290 Pflanzen/m² festgestellt werden (Abbildung 69). Im Vergleich zur Bestandesdichte zum Feldaufgang entspricht dies einer Selbstausdünnung von 6 bis 23 %.

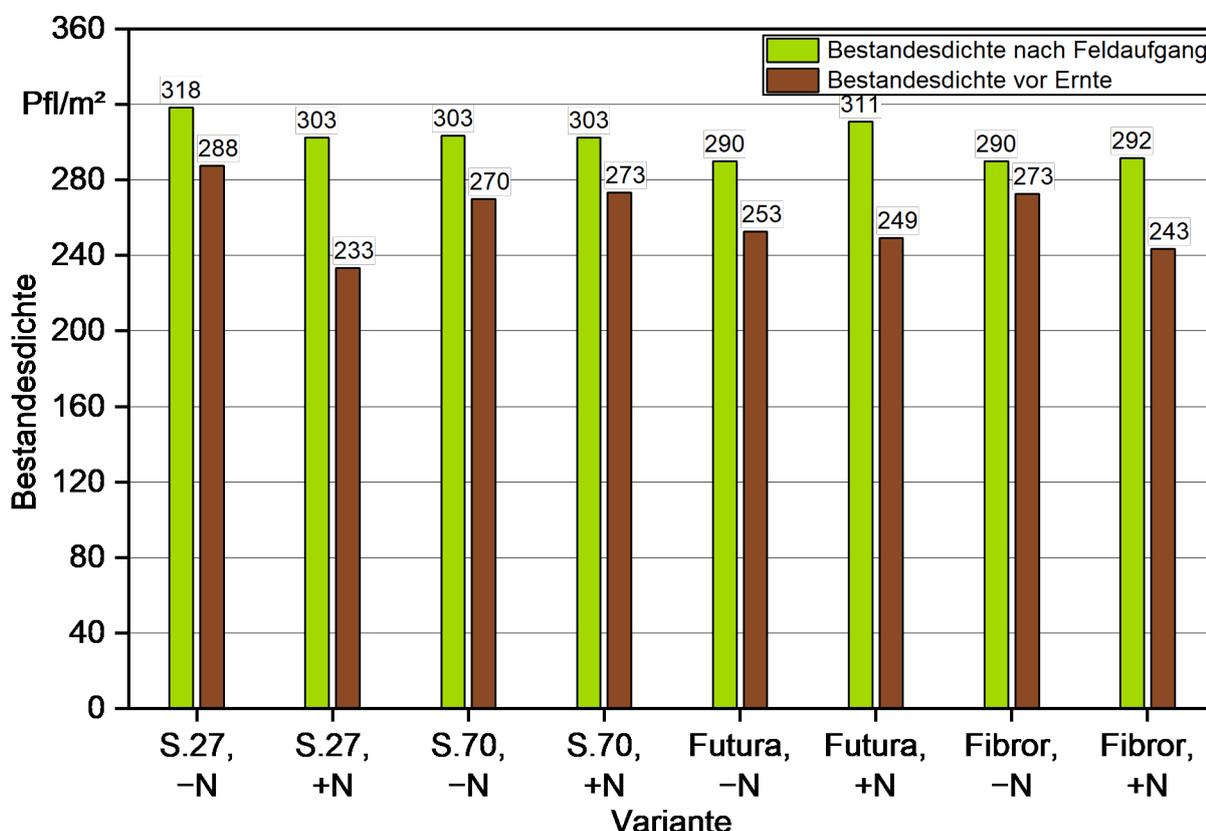


Abbildung 69: Bestandesdichte der acht Varianten im Faserhanfversuch zum Zeitpunkt des Feldaufgangs und zur Ernte, kein signifikanter Einfluss durch die Sorten

Die statistische Auswertung ergab keinen signifikanten Einfluss der Sorten auf die Bestandesdichte ($p = 0.3307$). Jedoch hatte die Düngung einen statistisch hoch signifikanten Einfluss auf die Bestandesdichte ($p = 0,0143^{**}$). So erreichten die Varianten mit der niedrigen Düngestufe von 60 kg N/ha eine durchschnittliche Bestandesdichte von 270 Pflanzen/m² und die hohe Düngestufe mit 114 kg N/ha eine durchschnittliche Bestandesdichte von 240 Pflanzen/m². Im Vergleich zur Bestandesdichte nach Feldaufgang hat sich der Bestand auf den niedrig gedüngten Varianten um durchschnittlich 10 % reduziert und in der hoch gedüngten Variante um 17 % verringert (Abbildung 70).

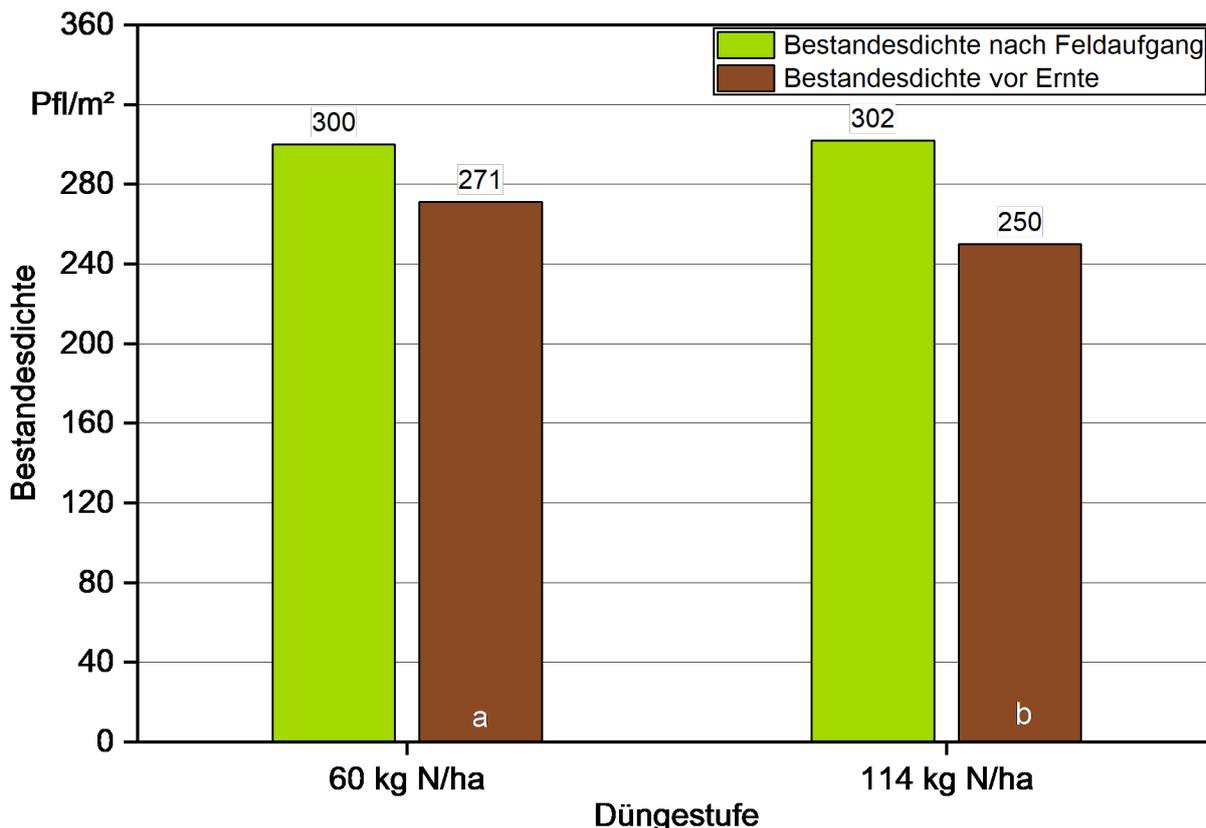


Abbildung 70: Bestandesdichte nach Feldaufgang und vor der Ernte in Abhängigkeit der Düngestufe, signifikante Unterschiede sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet

Die Kultur Hanf hat im Vergleich zu anderen krautigen, dikotylen Ackerkulturen eine hohe Selbstausdünnungsrate [101]. Die Selbstausdünnung von Hanf wird zudem stark durch agronomische Faktoren wie Aussaatdichte und Stickstoffdüngung beeinflusst [1] [101]. So stellte VAN DER WERF (1994) [101] fest, dass die Zufuhr einer höheren N-Menge die Pflanzenmorphologie von Hanf beeinflusst und daraus die Selbstausdünnung resultiert. Bei einer Düngeaufwandmenge von 80 kg N/ha reduzierte sich die Bestandesdichte um 5 % und bei der hohen Düngemenge von 200 kg N/ha starben rund 25 % der gesäten Pflanzen ab. Auch AMACUCCI ET AL. (2002) [1] und STRUIK ET AL. (2000) [95] stellten fest, dass eine Erhöhung des pflanzenverfügbaren Stickstoffs (Summe aus Dünger-N und N_{\min}) in einer höheren Selbstausdünnungsrate resultierte. HAVERKAMP (2014) [55] beobachtete in einem zweijährigen Anbauversuch zu Faserhanf in Nordrhein-Westfalen bei einer N-Zufuhr ab 60 kg N/ha einen signifikanten Anstieg der Selbstausdünnung.

5.5.2 Einfluss von Sorte und Düngung auf die Ertragsfähigkeit von Faserhanf

Im Faserhanfversuch wurden die Erträge „Faserhanfstroh frisch“, im Folgenden als Strohertrag frisch und TM1 bezeichnet, und „Faserhanfstroh geröstet“, im Folgenden als Röststrohertrag und TM2 bezeichnet, erhoben. Es wurden Stroherträge zwischen 100 und 135 dt TM/ha, bei einem durchschnittlichen Trockensubstanzgehalt von 31,4 %, er-

zielt. Der Trockensubstanzgehalt des gerösteten Faserhanfstrohs lag bei durchschnittlich 83,8 %. Die Röststroherträge der Varianten variierten zwischen 40 und 110 dt TM/ha (Abbildung 71).

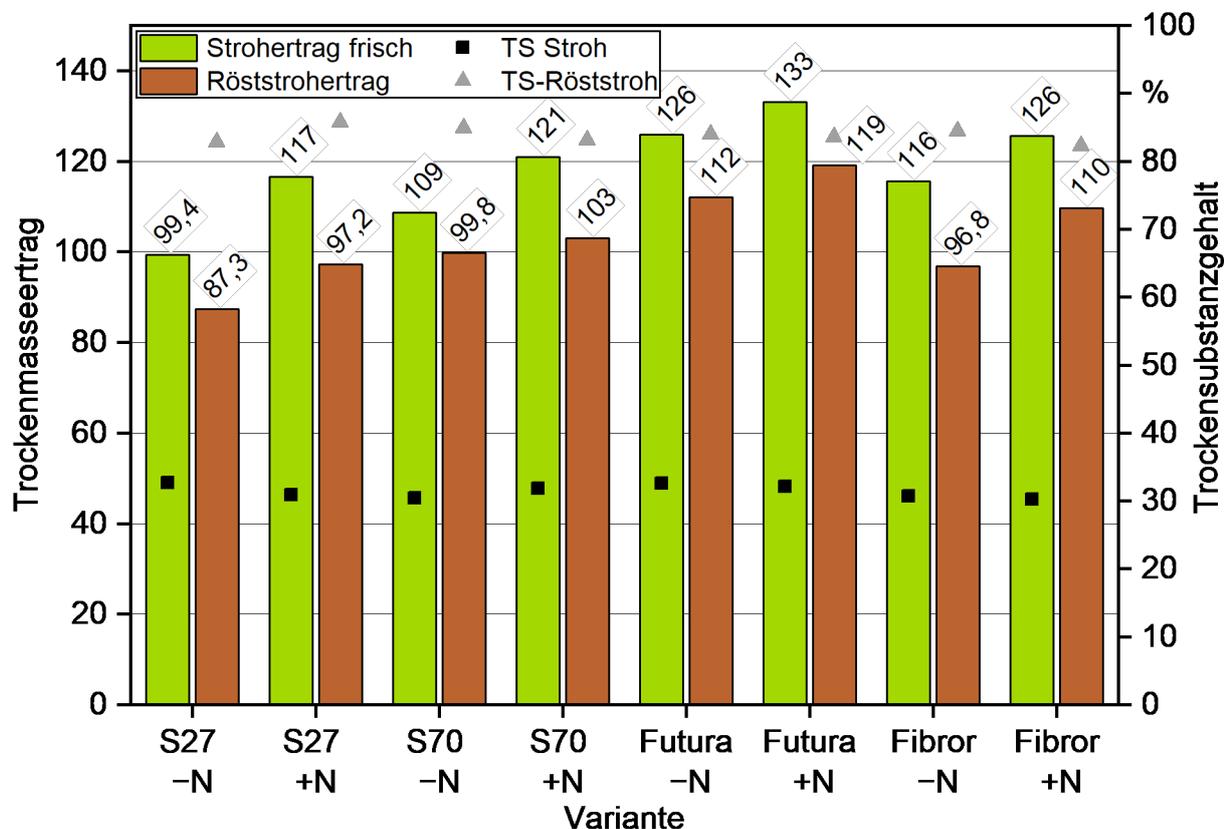


Abbildung 71: Strohertrag frisch und Röststroherträge sowie Trockensubstanzgehalte der Faserhanfvarianten

5.5.3 Einfluss der Sorte auf die Ertragsfähigkeit

Die Varianzanalyse ergab, dass die Sorte einen sehr hohen signifikanten Einfluss ($p = 0,0001^{***}$) auf den Ertrag TM1 und auf den Ertrag TM2 ($p = 0,0001^{***}$) hat. Es konnte eine Normalverteilung angenommen werden. Allerdings wurde für die Auswertung des TM1 ein mittels der Prozedur Robustreg identifizierter extremer Ausreißer entfernt. So ergab sich im Shapiro-Wilk-Test ($W = 0,97$ und $p = 0,51$) eine Normalverteilung. Für den Trockenmasseertrag des Röststrohs konnte der TS-Gehalt aufgrund des faserigen Materials statt der vier Wiederholungen pro Variante wie in TM1 nur zwei Wiederholungen repräsentativ entnommen und kleingehäckselt werden. Für die statistische Auswertung des TM2 wurde daher aus den zwei Wiederholungen der Mittelwert berechnet, sodass für die vier Wiederholungen pro Variante aus den vier FM-Erträgen auch vier TM-Erträge berechnet werden konnten. Zudem gibt es keine signifikante Wechselwirkung in TM1 ($p = 0,6877$), also auch in TM2 ($p = 0,7027$) zwischen den Faktoren Sorte und Düngung.

Der multiple Mittelwertvergleich ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Mittelwerten in Abhängigkeit der Sorten (Tabelle 20). Demnach erreichte die Sorte Futura 75 im Mittel die höchsten Erträge mit 129 dt TM/ha Stroh und 116 dt TM/ha Röststroh. Danach folgt die Sorte Fibror 79, eng gefolgt von Santhica 70. Hier beträgt der Ertragsunterschied im TM1 nur 6,8 dt/ha und bei TM2 nur 4,5 dt/ha. Daher unterscheiden sich die beiden Sorten weder in TM1 noch in TM2 signifikant voneinander. Am schlechtesten schnitt die Sorte Santhica 27 ab, mit einem Strohertrag frisch von 107 dt TM/ha und einen Röststrohertrag von 92 dt TM/ha (Tabelle 20).

Tabelle 20: Multipler Mittelwertvergleich für Strohertrag frisch und Röststrohertrag nach Sorten, signifikante Unterschiede sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet

Sorte	Strohertrag frisch	Röststrohertrag
Einheit	dt TM/ha	dt TM/ha
Santhica 27	107,4 c	92,1 C
Santhica 70	114,8 bc	100,8 B
Futura 75	129,4 a	116,2 A
Fibror 79	121,6 ab	105,3 B

Vergleicht man die Röststroherträge aus dem vorliegenden Versuch mit dem letzten in Bayern durchgeführten Hanfversuch aus dem Jahr 1996 [4], so liegen die Röststroherträge mit einer Spannweite von 92 bis 116 dt TM/ha im aktuellen Versuch im oberen Bereich der Röststrohertragsergebnisse aus dem Jahr 1996 mit Erträgen von 63 bis 124 dt TM/ha. Im Feldversuch 1996 wurde Faserhanf auf sieben verschiedenen Standorten in Bayern angebaut. Daher resultiert die weite Spannweite der Röststroherträge im Vergleich zum vorliegenden Versuch, der auf nur einem Standort angebaut wurde. Neben den verschiedenen Standorten wurden auch vier verschiedene Faserhanfsorten getestet. Auch hier war der Einfluss der Sorten auf die Ertragsleistung hoch signifikant. Den signifikanten Einfluss der Sorte auf den Ertrag zeigten auch TANG et al. (2016) [97], COSENTINO et al. (2013) [30], HÖPPNER UND MENGE-HARTMANN (2007) [61] sowie STRUIK et al. (2000) [95].

FAUX et al. (2013) [44] stellten fest, dass mit zunehmender Länge der Reifezeit einer Sorte die Röststrohertragsfähigkeit bzw. der Stängelertrag steigt. So erzielte die Sorte Uso-31 die niedrigsten und die spätreife Sorte Epsilon 68 die höchsten Stängelerträge [44]. Im bayerischen Feldversuch zu Faserhanf der damaligen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (1996) [4] erreichte die spätreife Sorte Futura, wie im vorliegenden Versuch, signifikant den höchsten Röststrohertrag. Es wird vermutet, dass das Reifeverhalten einen direkten Einfluss auf die Ertragsfähigkeit der Sorte hat [4]. Auch MEDIIVILLA et al. (1999) [73] kamen in ihrem Feldversuch, in dem sie über mehrere Jahre (1993 bis 1998) 29 Hanfsorten auf deren agronomische Eigenschaften testeten, zu demselben

Ergebnis. Eine spätere Reifezeit bedeutet, dass der Zeitpunkt der Blüte weiter nach hinten in der Vegetationsperiode hinausgeschoben ist. Daher hat die Pflanze einen längeren Zeitraum für das vegetative Wachstum und erreicht dadurch eine höhere Wuchshöhe. Da die Wuchshöhe positiv mit dem Stängelertrag korreliert, erreichen spätreifere Sorten in der Regel höhere Erträge [73].

5.5.4 Einfluss der Düngung auf die Ertragsfähigkeit

Die Düngung hatte einen sehr hohen signifikanten Einfluss auf den Ertrag TM1 ($p = 0,0003^{***}$) und auf den Ertrag TM2 ($p = 0,0013^{***}$).

Aus dem Tukey-Kramer-Test kann herausgelesen werden, dass sich die niedrige (60 kg N/ha) und die hohe (114 kg N/ha) Düngestufe im Strohertrag frisch wie auch im Röststrohertrag signifikant voneinander unterscheiden (Abbildung 72). Beim frischen Faserhanfstroh konnte ein signifikanter Mehrertrag von 11,9 dt TM/ha in der hohen Düngestufe erwirtschaftet werden. Das bedeutet, dass jedes Kilogramm Stickstoff, das ab einer Menge von 60 kg N/ha zusätzlich auf die Fläche ausgebracht wird, theoretisch 22 kg TM/ha Mehrertrag brachte. Durchschnittlich liefert hier jedes zusätzlich gedüngte Kilogramm Stickstoff einen Mehrertrag von 22 kg TM/ha. Dies entspricht in etwa den Ergebnissen von AMADUCCI et al. (2002) [1]. Diese stellten einen Mehrertrag von 20 kg TM Stängelertrag pro kg gedüngtem Stickstoff fest [1]. Allerdings erreichten IVONY et al. (1997) [64] in ihrem Stickstoffsteigerungsversuch einen höheren Mehrertrag zwischen den Düngestufen 80 und 160 kg N/ha mit 45 dt/ha.

Auch beim Röststrohertrag wurde ein Mehrertrag von 6,7 dt TM/ha durch die höhere Düngung erreicht. Hier ist der durchschnittliche Aufwand für den Mehrertrag bei 8,1 kg N/dt TM deutlich höher als beim frischen Stroh. Es wird vermutet, dass der Mehraufwand an Stickstoff für die Ertragssteigerung im Röststrohertrag mit der pflanzenphysiologischen Reaktion der Kultur Hanf in der höheren Düngestufe zusammenhängt. So blieb der Hanf mit einer höheren Düngengebe länger grün und bildete mehr Biomasse in Form von Blättern und Blüten. Dadurch fiel der Strohertrag frisch zunächst signifikant höher aus als der Strohertrag frisch in der niedrigen Düngestufe. Der Stickstoff wurde effizienter in Biomasse umgewandelt als im Röststrohertrag. Hier nahm der Ertrag aufgrund der Röste, während derer die grüne Biomasse abstirbt und -bröckelt, stärker ab als in der niedrigen Düngestufe, in der weniger Biomasse im Ausgangstroh produziert wurde.

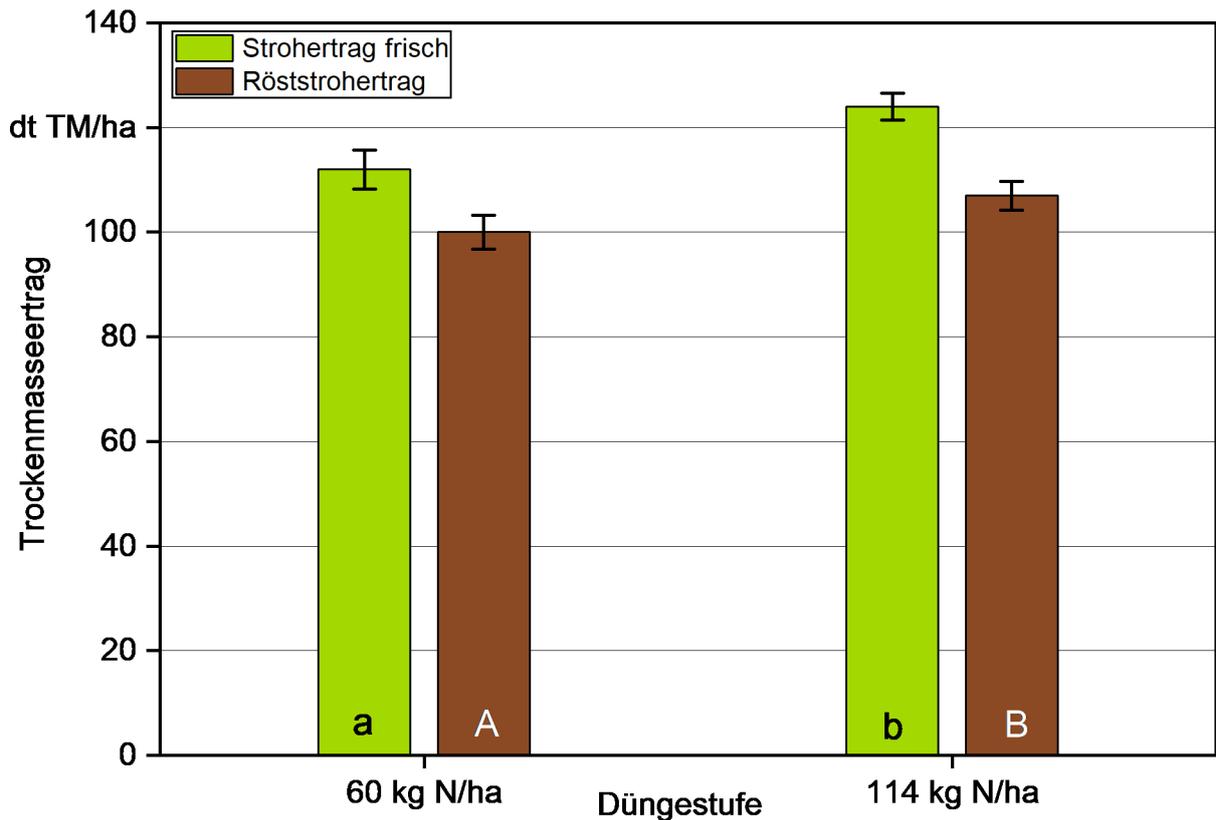


Abbildung 72: Trockenmasseertrag Stroh frisch bzw. Röststroh für Faserhanf in Abhängigkeit der Düngestufe, signifikante Unterschiede mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet, Fehlerbalken zeigen Standardfehler

Ziel des Versuchs war es, durch die Variation der Düngermenge eine erste Tendenz über die Stickstoffeffizienz beim Hanf zu erhalten. Vergleicht man die durchschnittlichen Faserhanferträge von ca. 100 dt TM/ha im vorliegenden Versuch mit den Basisdaten der LfL (2019) [5] zur Berechnung des N-Bedarfswerts, so ist dieser mit 60 dt TM/ha vergleichsweise niedrig angesetzt. Jedoch sind die vorliegenden Ergebnisse einjährig und basieren nur auf einem Hohertragsstandort im Gäuboden. Allerdings zeigt ein Feldversuch zu Faserhanf über sieben Standorte mit Hoch- und Niedrigertragsstandorten in Bayern ebenfalls die geringe Ertragserwartung im Gelben Heft [4]. In diesem Versuch erreichte der schlechteste Standort (Bayreuth) einen durchschnittlichen Ertrag von 63 dt TM/ha und der beste Standort 122 dt TM/ha [4]. Damit sollte die Ertragserwartung nach Ermittlung des N-Bedarfswerts in den Basisdaten des Gelben Hefts überarbeitet werden. Um dies umsetzen zu können, sind weitere Forschungsarbeiten zu möglichen Erträgen in Bayern durchzuführen.

Hinsichtlich der optimalen Düngeaufwandmenge werden in der Literatur N-Düngermengen zwischen 80 und 120 kg N/ha [55] empfohlen. In Stickstoffsteigerungsversuchen konnten optimale Aufwandmengen von 120 kg N/ha [64] und 160 kg N/ha [45] ermittelt werden. Hier gilt es, diese Werte in die eigenen betrieblichen Rahmenbedingungen einzuordnen. Wesentliche Einflussfaktoren sind die Ertragserwartung am Standort und der N_{\min} -Wert zur Saat. Darüber hinaus ist die N-Nachlieferung aus der langjähri-

gen organischen Düngung und der Vorfrucht zu berücksichtigen. Dementsprechend müssen diese Werte betriebs- und situationsspezifisch eingeordnet werden. Obwohl das Ertragsniveau in den Basisdaten des Gelben Hefts [4] relativ niedrig liegt, kommt man bei höheren Ertragserwartungen nach der Möglichkeit eines N-Aufschlags zu einem nachvollziehbaren N-Bedarfswert von beispielsweise 124 kg N/ha bei einem Ertrag von 100 dt TM/ha.

5.5.5 Stickstoffbilanzierung

Die Stickstoffbilanz des Faserhanfversuchs erreichte in den acht Varianten Werte zwischen 17 und 66 kg N/ha (Abbildung 73).

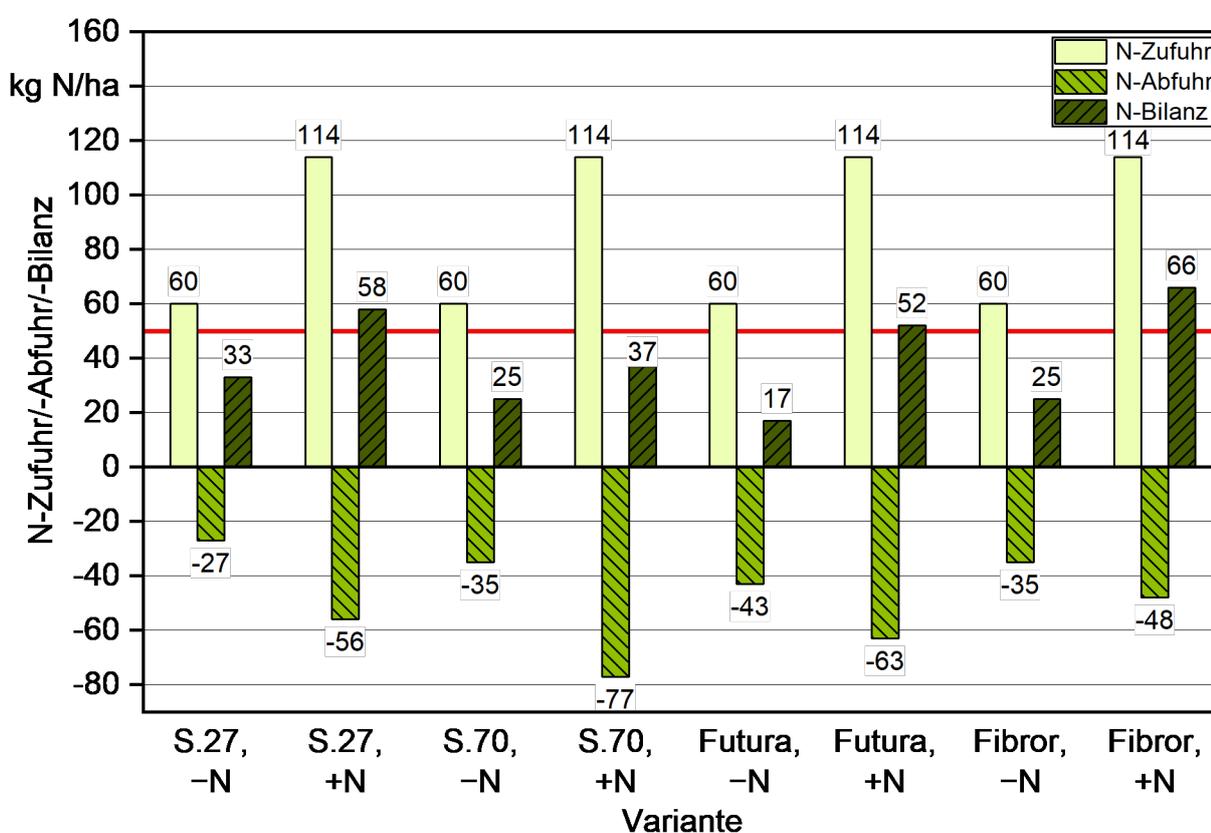


Abbildung 73: N-Bilanzen der einzelnen Faserhanfvarianten

Bei der genaueren Betrachtung der N-Bilanz fällt auf, dass die zwei Düngestufen innerhalb einer Sorte deutliche Unterschiede zeigen. So ist die N-Bilanz der hoch gedüngten Varianten erkennbar höher als bei den niedriger gedüngten Varianten. Durch die fast doppelt so hohe Stickstoffzufuhr in den hoch gedüngten Varianten wird zwar signifikant mehr Ertrag generiert, der sich hier in höheren N-Abfuhr äußert, jedoch wird dieser Mehraufwand an Stickstoff nicht so effizient genutzt wie bei der niedriger gedüngten Variante. Dadurch überschreiten die hoch gedüngten Varianten der Sorten Santhica 27, Futura 75 und Fibror 79 die gesetzlich geforderten 50 kg N/ha.

Im Faserhanfversuch wurden durch Variierung in der N-Düngung statistisch signifikant höhere Erträge in den höher gedüngten Varianten festgestellt. Aus diesem Grund wurde neben der Inhaltsstoffanalyse eine parzellenscharfe N_{\min} -Beprobung durchgeführt, um über die Veränderung des Bodenstickstoffvorrats durch die unterschiedlichen Varianten eine statistisch untermauerbare Aussage treffen zu können. Dabei konnte festgestellt werden, dass ähnlich wie im TM-Ertrag auch in den N-Bilanzen die höher gedüngten Varianten sich von den niedriger gedüngten Varianten deutlich differenzieren (Abbildung 74).

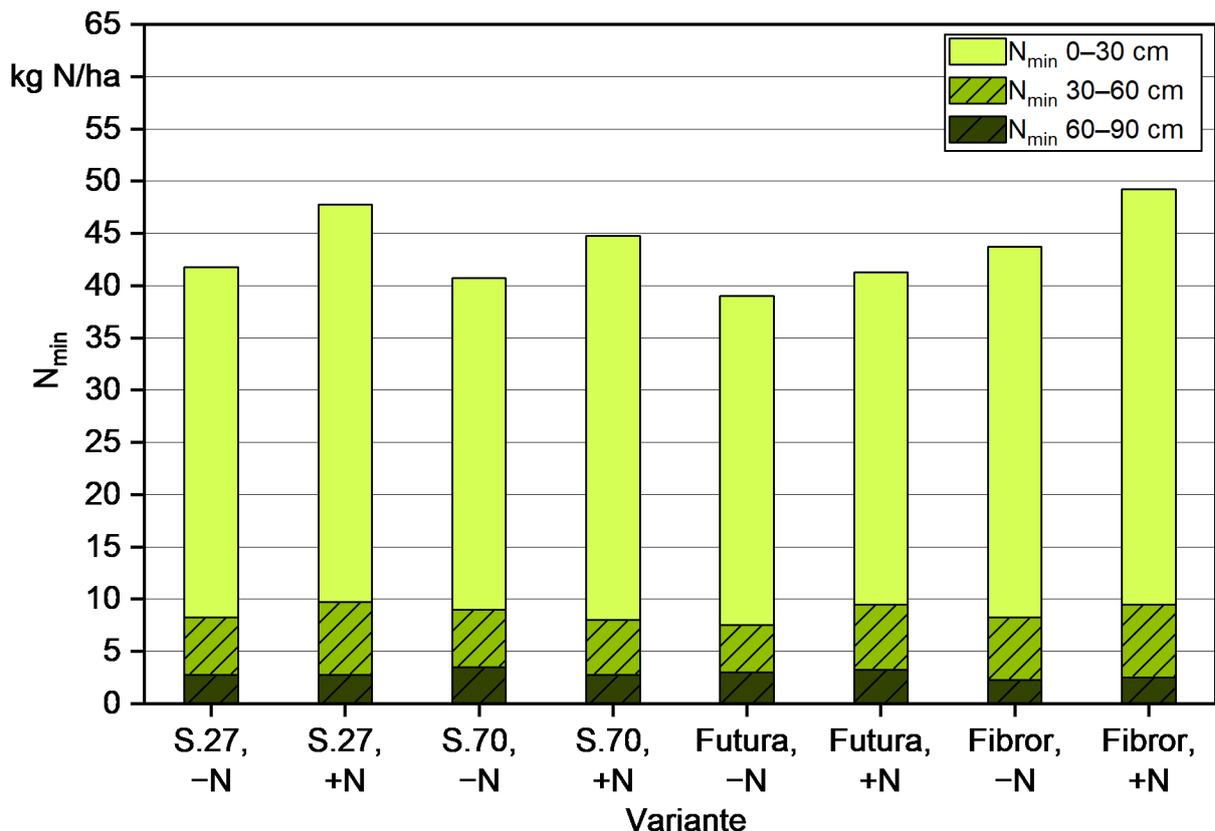


Abbildung 74: N_{\min} -Werte der Faserhanfvarianten bis in 90 cm Bodentiefe

Die statistische Auswertung der N_{\min} -Daten ergab keinen signifikanten Einfluss der Sorten, jedoch aber der Düngestufen. So konnte festgestellt werden, dass sich der Mittelwert aus Sorte und Wiederholungen in der hoch gedüngten Variante mit 36 kg N/ha signifikant vom Mittelwert der niedrig gedüngten Variante mit 33 kg N/ha unterscheidet.

In der Literatur gibt es viele Arbeiten zur Stickstoffdüngemenge für den optimalen Ertrag bei Faserhanf. Jedoch besteht noch viel Forschungsbedarf hinsichtlich der Stickstoffeffizienz der Kultur und des Einflusses des Hanfanbaus auf den Bodenstickstoffvorrat und das damit verbundene Risiko der Stickstoffauswaschung.

6 Schlussfolgerungen für die Praxis

6.1 Anbauhinweise

Hanf ist eine sehr anspruchslose und widerstandsfähige Pflanze. Hinsichtlich des Ertragsniveaus gilt auch hier, dass umso höhere Erträge realisiert werden können, je fruchtbarer der Boden ist. Hanf wächst auf fast jedem Boden. Allerdings ist Staunässe unbedingt zu vermeiden, da er darauf mit Wuchsdepressionen reagiert [12]. Zu Staunässe neigende Böden wie Pseudogley oder sehr tonhaltiger, schwerer Boden sind daher für den Hanfanbau ungeeignet [14].

Hanf ist durch den geringen Bewirtschaftungsaufwand vonseiten des Landwirts als alternative Frucht in der Pflanzenproduktion sehr interessant. Erfolgreicher Hanfanbau beginnt mit der Entscheidung für die richtige Sorte. Die Sortenwahl wird im hohen Maße von der Nutzungsrichtung beeinflusst. Im Prinzip gibt es bei Hanf die vier Nutzungsrichtungen Körner, CBD (Cannabidiol), Faser sowie Dual (Körner + Faser).

Für den Körnerhanfanbau sind die Eigenschaften Kornertrag, Ölgehalt der Körner, Frühreife und Wuchshöhe entscheidend. Bei der Sortenwahl für Körnerhanf sollte beachtet werden, dass dieser unter bayrischen Anbaubedingungen die Körnerreife erreicht. Die im Versuch verwendeten Sorten Finola, Earlina 8-FC und Uso-31 sind alle frühreif mit einer Vegetationsperiode von 100 bis 120 Tagen, sodass diese problemlos in Bayern die Körnerreife erreichen konnten. Die Wuchshöhe muss im Zusammenhang mit der vorhandenen Erntetechnik beurteilt werden. Je höher die Pflanzen zum Erntetermin sind, umso mehr Biomasse und vor allem faseriges Material muss durch den Mähdrescher ausgedroschen werden – und dies wirkt limitierend auf die Druschleistung. Im Versuch erreichte die Sorte Finola mit durchschnittlich 566 kg/ha die höchsten Erträge. Allerdings sind die Kornerträge im vorliegenden Versuch nicht repräsentativ, da der Versuch stark von Vogelfraß beeinflusst war und durch den Parzellendrescher hohe Druschverluste entstanden. In der Praxis geht man in Deutschland von Körnererträgen im Direktdrusch zwischen 400 und 1.200 kg/ha aus [94].

Für die CBD-Nutzung sollte auf Hanfsorten gesetzt werden, die einhäusig sind, da das CBD überwiegend in den weiblichen Blüten enthalten ist und damit männliche Pflanzen und deren Blüten keinen Ertrag bringen. Auch die CBD-Konzentration wird durch den Genotyp beeinflusst und variiert in den verschiedenen Hanfsorten von 0,7 bis 4,0 % [49].

Dualnutzungshanf sollte zunächst vom Züchter als solcher ausgewiesen werden. Hierfür eignen sich ebenfalls nur einhäusige Sorten, da für die Dualnutzung zum Zeitpunkt der Samenreife geerntet wird. Bei zweihäusigen Sorten sind die männlichen Pflanzen zu diesem Termin schon zu stark verholzt und können daher keinen Strohertrag mehr realisieren [12]. Ein weiteres Kriterium für die Sortenwahl ist die Stroh- und Kornertragsfähigkeit. Im Versuch schnitten die französischen Sorten (Fedora 17 und Felina 32) mit Stroherträgen von über 80 dt TM/ha und Kornerträgen von über 700 kg/ha deutlich besser ab als die rumänischen Sorten (Secuieni Jubileu und Zenit).

Für die Sortenauswahl für Faserhanf sind vor allem die Kriterien Röststrohertrag und Fasergehalt interessant. Im Versuch erreichte die Sorte Fibror 79 mit einem Röststrohertrag von 110 dt TM/ha den höchsten Ertrag. Den niedrigsten Ertrag hatte die Sorte Santhica 27 mit 42 dt TM/ha Röststrohertrag.

Bei richtiger Bestandsführung benötigt Nutzhanf keine chemischen Pflanzenschutzmaßnahmen. Zudem sind in Deutschland bisher keine Pflanzenschutzmittel für die Kultur Hanf zugelassen worden. Hinsichtlich der Unkrautregulierung gilt es zu beachten, dass dem Hanf durch eine optimale Aussaat günstige Startbedingungen für eine rasche Jugendentwicklung bereitgestellt werden. Bezüglich des Aussaattermins ist wichtig, dass der Hanfkeimling gegenüber Spätfrösten im Frühjahr empfindlich ist. Bis zum fünften Laubblattpaar ist Hanf gegenüber Temperaturen von weniger als -5 °C anfällig [14]. Daher wird empfohlen, erst ab einer Bodentemperatur von 5 bis 10 °C auszusäen. Dies ist abhängig vom Standort Mitte April bis Mitte Mai gegeben. Bei der Saattiefe muss beachtet werden, dass die Hanfkörner nicht zu tief abgelegt werden, wodurch ein lückiger Feldaufgang riskiert wird. Jedoch darf auch nicht zu seicht gesät werden, da die Gefahr besteht, dass das Saatkorn austrocknet und als Folge nicht keimt. Auch Vogelfraß kann bei zu flacher Saatgutablage problematisch sein. Als Saattiefe sollten 3 bis 4 cm angestrebt werden [12]. Um eine gleichmäßige Saatgutablage realisieren zu können, sind neben der Aussaattechnik die vorhergehende Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung entscheidend. Im Versuch hat sich gezeigt, dass eine wendende Bodenbearbeitung mit dem Pflug und eine anschließende Bearbeitung mit der Kreiselegge gute Ausgangsbedingungen für den Hanf schafften. Die herkömmliche Getreidedrilltechnik mit Saatbettkombination überzeugte im Versuch mit hohen Feldaufgangsraten von durchschnittlich 87 %. Die Einzelkorntechnik erreichte im Versuch zwar ähnlich hohe Feldaufgangsraten, jedoch verursachte das Hanf-Saatgut hier Probleme durch verstopfte Löcher in der Säscheibe und es kam während der Aussaat immer wieder zu Standzeiten. Die Ursache dafür ist, dass es vor allem bei Körnerhanf sehr feinkörnige Sorten gibt, wie beispielsweise Earlina 8-FC und Finola. Bei einer Tausendkornmasse (TKM) unter 12 g wird von der Einzelkorntechnik abgeraten, da sich die sehr kleinen Körner in den Löchern der Säscheiben festsetzen und es so zu hohen Ausfallquoten kommen kann. Auch durch hohen Fremdbesatz bzw. durch Saatgut mit niedriger Reinheit kann es zu Verstopfungen in den Säscheiben kommen. Sollte dennoch eine Einzelkornaussaat angestrebt werden, sollte dieser Umstand unbedingt berücksichtigt und durch eine Abstreiferbürste oder über ein Gegendrucksystem die Löcher der Säscheiben freigehalten werden.

Bei der Wahl von Reihenabstand und Aussaatstärke gilt es, wie bei der Sortenwahl als Erstes zu beachten, welche Nutzungsrichtung angestrebt wird. Wird Körnerhanf angebaut, werden weitere Reihenabstände von 20 bis 40 cm und eine Aussaatstärke von 5 bis 30 kg/ha empfohlen [58] [76] [108]. Jedoch ist bei der Wahl der Aussaatstärke zu berücksichtigen, dass die Angabe in kg/ha mit Vorsicht zu genießen ist. Im Versuch hat sich gezeigt, dass je nach Sorte und damit einhergehenden unterschiedlichen Keimfähigkeiten und Tausendkornmassen die Aussaatstärken sehr stark voneinander abweichen. Daher ist die Angabe Aussaatdichte in Pflanzen/m² oder keimfähigen Körnern/m² präziser und ermöglicht eine exakte Aussaatmenge. Wird zu viel Hanf ausgesät, bildet

der Hanf im Verlauf der Vegetationsperiode durch die ausgeprägte innerartliche Konkurrenz nutzlosen Unterhanf [101]. Aus ackerbaulicher Sicht stört dieser nicht, jedoch ist aus ökonomischer Sicht und angesichts der Saatgutkosten von 5 bis 10 €/kg von einer zu hohen Aussaatmenge abzuraten. Bei einer zu niedrigen Aussaatmenge besteht die Gefahr eines sehr lückigen Feldaufgangs und in der Folge eines hohen Konkurrenzdrucks durch Unkraut. Für die Körnernutzung wird eine Aussaatstärke von 80 bis 100 kf Kö/m² empfohlen [4]. Bei der Wahl des Reihenabstands muss beachtet werden, dass es umso länger dauert, bis der Hanf den Reihenschluss erreichen und damit das Unkraut unterdrücken kann, je weiter der Reihenabstand gewählt wird. Daher wird bei sehr weiten Reihenabständen ab 30 cm empfohlen, eine mechanische Unkrautregulierungsmaßnahme mit der Hacke durchzuführen. Die Hackmaßnahme im Versuch bei einem Reihenabstand von 37,5 cm erzielte gute Ergebnisse, wobei unter den günstigen Witterungsbedingungen im Juni 2019 die langwüchsigen Hanfkörnersorten Uso-31 und Earlina 8-FC vermutlich auch ohne Hackmaßnahme das Unkraut erfolgreich unterdrückt hätten. Bei der kleinwüchsigen Sorte Finola (max. 1,40 m) war die mechanische Unkrautregulierung angesichts des weiten Reihenabstands hingegen unbedingt notwendig.

Bei der Dualnutzung von Hanf, also dem Anbau mit dem Ziel der Ernte von Fasern und Körnern, wird hinsichtlich der Aussaatstärke und des Reihenabstands ein Kompromiss zwischen der Kultivierung reinen Körnerhanfs und reinen Faserhanfs gebildet (siehe Tabelle 21). Daher wird empfohlen, bei der Dualnutzung auf eine Aussaatstärke von 45 bis 60 kg/ha zu setzen, was einer Pflanzdichte von 200 bis 250 kf Kö/m² entspricht. Der Reihenabstand kann zwischen 12 und 20 cm variieren [97].

Wird Hanf zur Fasernutzung kultiviert, werden eine hohe Aussaatstärke von 60 bis 80 kg/ha und 250 bis 350 kf Kö/m² sowie ein enger Reihenabstand von 12 bis 20 cm empfohlen (Tabelle 22). Dadurch wird gewährleistet, dass der Hanf durch die hohe Bestandesdichte lange und vor allem für die Faserindustrie wertvolle, dünne Stängel ausbildet [4] [12].

Beim Hanfanbau mit dem Ziel, den Inhaltsstoff CBD zu gewinnen, gibt es bisher in Deutschland wenig Anbauerfahrung bzw. keine Empfehlung für die Aussaatparameter, da noch keine Forschungsergebnisse zu diesem Thema vorliegen. In den USA werden in Anlehnung an den Körnerhanf eine Aussaatmenge von 35 bis 45 kg kf Kö/ha und ein Reihenabstand von 20 bis 40 cm empfohlen [76]. Im Versuch wurde für den CBD-Hanf eine Aussaatdichte von 125 kf Kö/m², was einer Menge von ca. 20 bis 26 kg/ha entsprach, festgelegt. Der Reihenabstand lag bei 37,5 cm. Da es sich jedoch um einen einjährigen Versuch handelte und es keine Referenz gibt, kann noch keine Allgemeingültigkeit dieser Angaben abgeleitet werden.

Tabelle 21: Anbautelegramm Dualnutzungshanf

Maßnahme	Parameter	Hinweise
Aussaat		
Bodentemperatur in °C	5–10 [12]	Saat etwa ab Mitte April
Saattiefe in cm	3–4 [12]	
Aussaatdichte in kf Kö/m ²	200–250 [76]	
Aussaatmenge in kg/ha	45–60 [76]	
Reihenabstand in cm	12–20 [76]	
Technik	Getreidedrille	
Sortenbewertung aus Testanbau 2019	Fedora 17	höchster Kornertrag (ca. 750 kg/ha), guter Strohertrag (ca. 80 dt TM/ha)
	Felina 32	guter Kornertrag (ca. 700 kg/ha), höchster Strohertrag (ca. 85 dt TM/ha)
	Secuieni Jubileu	mäßiger Strohertrag (60 dt TM/ha), mäßiger Kornertrag (580 kg/ha)
	Zenit	mäßiger Strohertrag (65 dt TM/ha), mäßiger Kornertrag (500 kg/ha)
Düngung		
Düngerform und Düngezeitpunkt	Mineraldünger	vor, zur oder nach Aussaat
	organische Düngung	im Frühjahr vor der Aussaat
N-Bedarf in kg N/ha	100–150 [76]	inkl. N _{min} , abhängig von der Ertragserwartung
Ernte		
Druschtermin	Samenreife	erkennbar am „Rascheln“ der Samen in der Samenhülle, Stängel noch grün! (entspricht ca. 70 % reife Samen)
Technik	Mähdrescher	bis 2,0 m Wuchshöhe möglich, Schüttler besser wie Rotordrescher
	modifizierter Mäh-drescher	ähnlich Rapsschneidwerk verlängerter Tisch, hohe Schnitthöhe des Schneidwerks, größerer Durchmesser/Umfang Dreschtrommel

Tabelle 22: Anbautelegramm Faserhanf

Maßnahme	Parameter	Hinweise
Aussaat		
Bodentemperatur in °C	5–10 [12]	Saat etwa ab Mitte April
Saattiefe in cm	3–4 [12]	
Aussaatdichte in kf Kö/m ²	200–300 [14]	
Aussaatmenge in kg/ha	60–80	
Reihenabstand in cm	12–20 [12]	
Technik	Getreidedrille	
Sortenbewertung aus Testanbau 2019	Santhica 27	niedrigster Röststrohertrag (ca. 90 dt TM/ha)
	Santhica 70	mittlerer Röststrohertrag (ca. 100 dt TM/ha)
	Futura 75	höchster Röststrohertrag (116 dt TM/ha)
	Fibror 79	mittlerer Röststrohertrag (105 dt TM/ha)
Düngung		
Düngerform und Düngezeitpunkt	Mineraldünger	vor, zur oder nach Aussaat
	organische Düngung	im Frühjahr vor Aussaat
N-Bedarf in kg N/ha	120–160 [44] [64]	inkl. N _{min} , abhängig Ertrags- erwartung
Ernte		
Druschtermin	Vollblüte	20 % männliche Staubbeutel geöff- net (für feine Fasern, meist Textilien genutzt) [12]
	Ende Blüte/Anfang Samenreife	ca. vier Wochen nach Beginn Blüte, erste Samen angesetzt (für techni- sche Fasern, Kurzfasern) [12]
Technik	Mähwerk	sehr scharfe Messer notwendig
	Ballenpresse	

Hat der Hanf optimale Ausgangsbedingungen, kann er sein volles Wachstumspotenzial in der Jugendphase ausschöpfen. Hanf ist bekannt für sein extrem rasches Längenwachstum in den Monaten Mai und Juni nach dem Feldaufgang bis zur Blüte. In dieser Zeit kann Hanf tägliche Längenwachstumsraten von bis zu 11 cm erreichen [12]. Zum anderen ist in dieser Zeit auch sehr entscheidend, dass die Pflanze genügend Wasser und Nährstoffe zur Verfügung hat. Für die Pflanzenernährung wird eine verfügbare

Stickstoffmenge von 80 bis 160 kg N/ha empfohlen [28]. Hier ist auch wieder entscheidend, welche Nutzungsrichtung angestrebt wird. Für den reinen Körnerhanfanbau wird eine niedrigere Menge von 80 bis 100 kg N/ha [12] [76] empfohlen und für den reinen Faserhanfanbau 100 bis 160 kg N/ha [64]. Auch hier wird für den Dualnutzungshanf wieder der Kompromiss aus beiden mit einer Düngemenge von 90 bis 150 kg N/ha realisiert. Es ist zu beachten, dass bei der Stickstoffmengenempfehlung jeweils der N_{\min} -Gehalt des Bodens abgezogen werden muss. Entscheidend bei der Düngeterminierung ist die Pflanzenverfügbarkeit zum Zeitpunkt des raschen Wachstums im Mai und vor allem im Juni. Aus diesem Grund kann Hanf sowohl organisch als auch mineralisch gedüngt werden. Der organische Dünger sollte im Frühjahr vor der Aussaat auf die Fläche ausgebracht, der mineralische Dünger kann hingegen sowohl vor als auch nach der Aussaat gestreut werden [12].

In Bayern wird bisher hauptsächlich Körnerhanf (Anbautelegramm siehe Tabelle 23) angebaut, da es keine faserverarbeitende Industrie gibt. Zur Ernte von Körnerhanf kommen herkömmliche sowie auch speziell für Hanf angepasste Mähdrescher zum Einsatz. Hierbei berichteten Praktiker, dass Schüttlermaschinen besser mit den langen Stängeln und Fasern zurechtkommen als Rotormaschinen. Langstrohige Sorten wie Uso-31 und Fedora 17, die über 2 m hoch werden, können zu Problemen durch Verstopfungen an der Einzugschwelle oder in der Dreschtrommel führen (Firma Hanfbayer, D. Baumann und Landwirt, S. Jahrstorfer, persönliche Mitteilungen, 21.06.2019). Die kurzstrohige Sorte Finola, die max. 1,40 m hoch [3] wird, überzeugte im Versuch mit sehr guter Druschfähigkeit. Speziell für Hanf angepasste Mähdrescher verfügen meist über einen verlängerten Tisch, ähnlich zum Rapsschneidwerk, um zu verhindern, dass die Fruchtstände nach vorne kippen und nicht erfasst werden. Nach der Ernte ist es entscheidend, dass die Körner direkt in die schonende Trocknung bei Temperaturen von max. 40 bis 50 °C Korntemperatur gehen (Firma Hanfbayer, D. Baumann, persönliche Mitteilung 11.12.2019). Der Hanfsamen hat mit über 20 % einen sehr hohen Anteil an Fett [40], daher wird empfohlen, auf eine Kornfeuchte von 7 bis 8 % zu trocknen.

Tabelle 23: Anbautelegramm Körnerhanf

Maßnahme	Parameter	Hinweise
Aussaat		
Bodentemperatur in °C	5–10 [12]	Saat etwa ab Mitte April
Saattiefe in cm	3–4 [12]	
Aussaatdichte in kf Kö/m ²	80–100 [76]	
Aussaatmenge in kg/ha	5–30	je höher die Aussaatmenge, umso schnellere Unkrautunterdrückung, hohe Erträge auch mit niederen Aussaatmengen erreichbar
Reihenabstand in cm	25–45 [81]	
Technik	Getreidedrille Einzelkorn	nur jede zweite Säeinheit offen nicht bei kleinkörnigen Sorten mit einem TKM < 12 g oder hohem Fremdbesatz
Sortenbewertung aus Testanbau 2019	Finola	kurzwüchsig: max. 1,40 m, sehr gute Druschfähigkeit
	Uso-31	langwüchsig: bis zu 3 m, nur bei entsprechender Erntetechnik
	Earlina 8-FC	Mittelwüchsig: bis 2 m, nur bei entsprechender Erntetechnik
Düngung		
Düngerform und Düngezeitpunkt	Mineraldünger	vor, zur oder nach Aussaat
	organische Düngung	im Frühjahr vor Aussaat
N-Bedarf in kg N/ha	80–120	inkl. N _{min}
Ernte		
Druschtermin	Samenreife	erkennbar am „Rascheln“ der Samen in der Samenhülle, Stängel noch grün! (entspricht ca. 70 % reife Samen)
Technik	Mähdrescher	bis 1,50 m Wuchshöhe möglich, Schüttler besser als Rotor, Hybridmähdrescher bedingt geeignet
	modifizierter Mähdrescher	ähnlich Rapsschneidwerk verlängerter Tisch, hohe Schnitthöhe beim Schneidwerk, größerer Durchmesser Dreschtrommel

6.2 Rechtliche Regelungen zum Anbau von Nutzhanf

Die folgenden Informationen und rechtlichen Hinweise wurden den „Informationen zum Anbau von Nutzhanf gemäß Betäubungsmittelgesetz (BtMG)“ der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) sowie dem „Merkblatt Anbau von Hanf 2019“ des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) entnommen, vereinfacht zusammengefasst und erklärt. Diese Informationsblätter sowie die entsprechenden Formulare dazu können hier eingesehen bzw. heruntergeladen werden:

- Nutzhanf-Informationsübersicht der BLE:
https://www.ble.de/DE/Themen/Landwirtschaft/Nutzhanf/nutzhanf_node.html;
- Merkblatt für Landwirte, die im Jahr 2019 Nutzhanf anbauen (BLE), wird jährlich aktualisiert:
https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Landwirtschaft/Nutzhanf/Merkblatt_Landwirte.pdf?__blob=publicationFile&v=6;
- Informationen zum Anbau von Nutzhanf gemäß Betäubungsmittelgesetz (BtMG), BLE:
https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Landwirtschaft/Nutzhanf/Info_BtMG.pdf?__blob=publicationFile&v=4;
- Für Direktzahlungen in Betracht kommende Hanfsorten (BLE), Stand 2019, wird jährlich aktualisiert:
https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Landwirtschaft/Nutzhanf/Sortenliste.pdf?__blob=publicationFile&v=8;
- Merkblatt Anbau von Hanf 2019, enthält auch die Positivliste der zulässigen Hanfsorten „Für Direktzahlungen vorläufig in Betracht kommende Hanfsorten, Stand Februar 2019“, wird jährlich aktualisiert:
https://www.stmelf.bayern.de/mam/cms01/agrarpolitik/dateien/a6_m_hanf.pdf;
- Erklärung über die Aussaatflächen (BLE):
https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Landwirtschaft/Nutzhanf/Aussaatflaechenerklaerung.pdf?__blob=publicationFile&v=3;
- Anbauanzeige an die BLE:
https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Landwirtschaft/Nutzhanf/Anbauanzeige.pdf?__blob=publicationFile&v=4;
- Meldung Blühbeginn (BLE):
https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Landwirtschaft/Nutzhanf/Bluehmeldung.pdf?__blob=publicationFile&v=4
oder
https://www.stmelf.bayern.de/mam/cms01/agrarpolitik/dateien/erklaerung_nutzhanf.pdf.

Der Anbau von Nutzhanf ist nur landwirtschaftlichen Unternehmen gestattet. Dazu muss der Landwirt bei einer landwirtschaftlichen Alterskasse versichert sein oder eine Befreiung von der Versicherungspflicht haben. Unternehmen der Forstwirtschaft, des Garten- und Weinbaus, der Fischzucht, der Teichwirtschaft, der Imkerei, der Binnenfischerei oder der Wanderschäferei sowie Privatpersonen (die die Landwirtschaft nicht als Beruf oder selbstständig ausüben) dürfen keinen Nutzhanf anbauen. Weiterhin ist der Anbau streng auf die landwirtschaftlichen Flächen beschränkt, ein Anbau z. B. im Gewächshaus oder unter Dach ist strengstens verboten. Ebenso ist der Anbau als Zierpflanze ausgeschlossen.

Die Meldung des Nutzhanfanbaus erfolgt mit dem Mehrfachantrag an das zuständige Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AELF) bis zum 15. Mai des Anbaujahrs. Dieser Meldung müssen die „Erklärung über die Aussaatflächen“ (Formular siehe oben) sowie die Originaletiketten des verwendeten zertifizierten Hanfsaatguts beigelegt werden. Mit dem Einreichen der Original-Saatgutetiketten wird sichergestellt, dass nur die zulässigen Nutzhanfsorten entsprechend der jährlich aktualisierten Liste angebaut werden, der Anbau anderer Sorten ist verboten. Daher sind neben den exakten Flächenangaben für jedes Feldstück die ausgesäte Sorte und die Menge des verwendeten Saatguts anzugeben.

Zusätzlich muss der Nutzhanfanbau bis zum 1. Juli des Anbaujahrs mittels Anbauanzeige an die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) in dreifacher Ausfertigung gemeldet werden. Hierzu sind nochmals genaue Angaben zu den Feldstücken notwendig, damit die Anbauflächen für die ggf. später erfolgende Probenahme durch BLE-Prüfer leicht gefunden werden. Außerdem muss der Beginn der Blüte dem BLE unverzüglich schriftlich mitgeteilt werden, das Formular ist ebenfalls oben aufgeführt.

Diese Meldung des Blühbeginns dient der Bestimmung des idealen Zeitpunkts für eine Beprobung des Pflanzenbestands zur Kontrolle des THC-Gehalts. Die Probenahme soll zum Zeitpunkt der Vollblüte erfolgen, da zu diesem Zeitpunkt die THC-Gehalte in den Pflanzen am höchsten sind. Dieser Blühbeginn wird durch das BLE durch das Öffnen der ersten Staubbeutel definiert. In der Praxis hat es sich bewährt, wenn die anbauenden Landwirte den relativ leicht zu erkennenden Blühbeginn der männlichen Hanfpflanzen, bzw. bei rein monözischen Sorten der männlichen Blüten, sofort melden (Abbildung 11). Bis zur Vollblüte der weiblichen Pflanzen bzw. Blüten vergehen dann noch zehn bis 14 Tage, in denen der Termin der Probenahme durch den BLE-Prüfer organisiert werden kann. Diese Beprobung dient nur der Kontrolle, ob die abgebauten Sorten den Grenzwert von $< 0,2\%$ THC einhalten und auch im Folgejahr in der Positivliste genannt werden können. Bei Überschreitung des Werts in zwei aufeinanderfolgenden Jahren wird die Sorte aus der Liste entfernt.

Der Nutzhanf ist unter normalen Wachstumsbedingungen bis mindestens zehn Tage nach dem Ende der Blüte weiterzupflegen. Mit der Beerntung darf frühestens begonnen werden, sobald der Landwirt ein entsprechendes Freigabeschreiben von der BLE erhalten hat oder die Kontrolle/Probenahme auf der Fläche tatsächlich durchgeführt worden ist.

Zusammenfassung

Nutzhanf (*Cannabis sativa* L.) ist eine einjährige und vielseitig nutzbare Kulturpflanze, die als anspruchslos und genügsam gilt. In den letzten Jahren gewann Hanf im Bereich der Lebens- und Nahrungsergänzungsmittel stark an Bedeutung. Jedoch fehlt aufgrund des langjährigen Anbauverbots in Deutschland und seiner noch geringen Anbaubedeutung notwendiges Know-how rund um die Bestandsführung. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, mithilfe einer Literaturrecherche Erkenntnisse zu Hanf zusammenzutragen und durch einjährige Feldversuche erste praktische Anbauerfahrungen zu sammeln.

In der Literaturzusammenstellung werden die Themenbereiche Botanik, Biologie und Entwicklungsstadien, Nutzungsmöglichkeiten und Anbauflächenentwicklung sowie die rechtliche Situation beleuchtet. Ein besonderes Augenmerk gilt zudem der Recherche zur praktischen Bestandsführung, die von der Standortwahl über Bodenbearbeitung, Aussaat, Düngung, Unkrautregulierung, Fruchtfolgestellung bis zur Erntetechnik reicht. Erfolgreicher Nutzhanfanbau beginnt mit der Festlegung der Nutzungsrichtung, da diese die Sortenwahl, Aussaatparameter (Saatstärke und Reihenabstand), Düngung und Erntetechnik bestimmt. Gerade für die neueren Nutzungsrichtungen Körner und Cannabidiol (CBD), das aus der Blüte der Hanfpflanze extrahiert wird, gibt es wenig Literatur zur optimalen Bestandsführung. Offene Fragen sind beispielsweise der Stickstoffbedarf für Körner- und CBD-Hanf sowie die Erntetechnik für die CBD-Nutzungsrichtung.

Im Testanbau wurden vier Feldversuche für die Nutzungsrichtungen Körner, CBD, Dual (Körner + Faser) und Faser mit insgesamt zwölf Sorten angelegt. Dadurch konnte die Bestandsführung je angestrebtem Erntegut bzw. nach wertbestimmendem Inhaltsstoff angepasst werden. Im Körnerhanfversuch wurden drei Sorten und die Aussaattechniken Drill- versus Einzelkornsaat getestet. In den CBD- und Dualversuchen wurden verschiedene Sorten auf ihre Eignung für diese Nutzungsrichtungen geprüft. Der Faserhanfversuch enthielt neben dem Faktor Sorte auch zwei Düngestufen (60 und 114 kg N/ha). Auf Basis der einjährigen Versuche wurde festgestellt, dass frühreifende Nutzhanf-Sorten (Finola) höhere Körnerträge erreichten als spätreifende. Die Aussaattechnik hatte keinen signifikanten Einfluss auf den Ertrag. Insgesamt hatten die jeweils verwendeten Sorten, mit Ausnahme der drei CBD-Sorten, alle einen signifikanten Einfluss auf die Ertragshöhe. Bei dem Ziel der Stängelnutzung brachten die spätreifenden Sorten (Felina 32, Fibror 79 und Futura 75) höhere Erträge als frühreifende. Im Faserhanfversuch konnte außerdem ein signifikanter Einfluss der Stickstoff-Düngung ermittelt werden.

Nutzhanf ist durch den geringen Bewirtschaftungsaufwand sowie auch aus ökologischer Sicht (normalerweise kein Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel, hohe Stickstoff-Nutzungseffizienz) eine interessante, alternative Kulturpflanze. Allerdings gibt es noch viele offene Forschungsfragen, die die standortangepasste und nachhaltige Bestandsführung, vor allem für die neuen Nutzungsrichtungen Körner und CBD betreffen.

Abstract

Industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) is an annual and multi-use crop that is known for its fast plant development and undemanding requirements as low-input crop. In recent years industrial hemp gained more and more attention in the food and dietary supplement sector. Concerning practical crop management, there is a lack of knowledge caused by the long-time cultivation ban of hemp in Germany and the resulting low importance of the crop. The main objectives of this work are to collect knowledge of hemp cultivation and first cropping experience by reviewing literature and performing field trials.

The literature review focused on topics like botany, biology, plant development, utilisation pathways, development and potential increase of cropping area, and the legislative situation of hemp cultivation. A main point was the review of the practical crop management, which includes site selection, soil preparation, sowing, fertilisation, weed management, crop rotation, and harvesting technologies. Successful cultivation of industrial hemp starts with the choice of the most suitable variety for the planned utilisation as the hemp variety determines sowing parameters like plant density and row spacing as well as fertilisation and the harvest procedure. Especially for new utilisation possibilities as seed hemp or cannabidiol (CBD), which is extracted from the inflorescence of the hemp plant, little information is available. Open questions apply to the nitrogen requirements for seed or CBD production or possible harvesting technologies for CBD.

The field trial was subdivided into four experiments for the main uses of industrial hemp: seed, CBD, dual (seed and fibre), and fibre, with twelve hemp varieties in total. Therefore, in every experiment the production management could be adapted according to the harvested products. Three hemp varieties and the sowing techniques drilling versus precision seeding were tested in the seed hemp experiment. In the CBD and dual trials, different varieties were tested for their suitability for these uses. In addition to the factor variety, the fibre hemp test also contained two fertilisation levels (60 and 114 kg N/ha). Based on these one-year trials, it was found that early maturing hemp varieties (Finola) achieved higher grain yields than late maturing ones. Sowing technology had no significant impact on yield. All in all, with exception of the three CBD varieties, all of the tested varieties had a significant effect on the yield level. In case of harvesting the stalks the late-maturing varieties (Felina 32, Fibror 79 and Futura 75) produced higher yields than the early ones. In addition, a significant influence of nitrogen fertilisation could be determined in the fibre hemp test.

Because of its low management costs as well as from an ecological point of view (normally no use of chemical pesticides, high nitrogen utilisation efficiency), industrial hemp is an interesting alternative crop. However, there are still numerous open questions in research that concern the site-adapted and sustainable crop management, especially for the new usage pathways seed and CBD production.

Quellenverzeichnis

- [1] AMADUCCI, S.; ERRANI, M.; VENTURI, G. (2002): Response of hemp to plant population and nitrogen fertilisation. Italian journal of agronomy, Jg. 6, Nr. 2, S. 103-112
- [2] AMADUCCI, S.; GUSOVIUS, H. (2010): Hemp-Cultivation, Extraction and Processing. In: MÜSSIG, J.; STEVENS, C. (Hrsg.): Industrial Applications of Natural Fibres Structure, Properties and Technical Applications. Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd., S. 109-134
- [3] BAFA NEU GMBH (2019): Sorten-Infos. URL: <https://www.bafa-gmbh.de/Produkte-Saatgut.asp> (Stand: 19.11.2019)
- [4] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR BODENKULTUR UND PFLANZENBAU, FREISING-MÜNCHEN (LBP) (1996): Integrierter Pflanzenbau in Bayern. Hanf 1996. Ertrag, Faserqualität, Inhaltsstoffe von Öl und Presskuchen. Ergebnisse aus Feldversuchen. Versuchsergebnisse aus Bayern. Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, Freising-München (LBP) (Hrsg.). Freising-München, 129 Seiten
- [5] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL) (2019): Basisdaten für die Umsetzung der Düngeverordnung. Stand: Januar 2019. Freising-Weihenstephan: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), 49 Seiten
- [6] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL) (2019): Unkrautbekämpfung in Kulturhanf (*Cannabis sativa*). Freising-Weihenstephan: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), URL: <https://www.lfl.bayern.de/ips/unkraut/032389/index.php> (Stand: 02.10.2019)
- [7] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL): Agrarmeteorologie Bayern. Frei verfügbare Daten des agrarmeteorologischen Messnetzes der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Wetterstation Piering, URL: <https://www.am.rlp.de/Internet/AM/NotesBAM.nsf/bamweb/bba59BEC8619836FC12573920047005B?OpenDocument> (Stand: 02.10.2019)
- [8] BAUMANN, D. (2019): Persönliche Mitteilung am 21.06.2019 und 11.12.2019, Firma Hanfbayer, Mamming
- [9] BECKER, J. (1928): Handbuch des Hackfruchtbaues und Handelspflanzenbaues. Hackfrüchte und Handelspflanzen: auf praktisch-wissenschaftlicher Grundlage unter besonderer Berücksichtigung der Pflanzenzüchtung. Handbuch des Gesamten Pflanzenbaues einschließlich der Pflanzenzüchtung, Nr. 2. Berlin: Verlagsbuchhandlung Paul Parey, 506 Seiten
- [10] BECKHAUS, H. (2018): Die Renaissance der feinen Nesselfaser ist eingeläutet. Vortrag. In: C.A.R.M.E.N. E. V. (Hrsg.): „Märkte der Zukunft – erneuerbar und nachhaltig“, C.A.R.M.E.N.-Symposium, 9.–10. Juli. Würzburg: C.A.R.M.E.N. e. V., Seite 1–16
- [11] BENNET, C. (2018): Hemp Fraud hits Farmer with Clone Scam. Farm Journal. Ag Web. URL: <https://www.agweb.com/article/hemp-fraud-hits-farmer-with-clone-scam> (Stand: 22.10.2019)
- [12] BÓCSA, I.; KARUS, M. (1997): Der Hanfanbau. Botanik, Sorten, Anbau und Ernte. Heidelberg: C. F. Müller, 173 Seiten, ISBN 3-7880-7568-6

- [13] BORCHERT, A. (2015): Landwirt im „Faserrausch“. Top Agrar, Jg. 44, Nr. 5, S. 68-71
- [14] BOULOC, P.; SERGE, A.; ARNAUD, L. (2013): Hemp. Industrial production and uses. Wallingford, UK: Centre for Agriculture and Bioscience International (CABI), 313 Seiten, ISBN 978-1-84593-792-8
- [15] BRÖCKERS, M. (1993): Die Wiederentdeckung der Nutzpflanze Hanf. Mit einer Kurzstudie vom Katalyse-Institut für angewandte Umweltforschung e. V. Frankfurt am Main: Zweitausendeins, 463 Seiten, ISBN 3-86150-026-4
- [16] BUDDE, J.; GUSOVIVUS, H. J.; HOFFMANN, T.; OLA, D. C. (2013): Samengewinnung während der Schwadbearbeitung am Beispiel Hanf. Landtechnik, Jg. 68, Nr. 6, S. 420-423
- [17] BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT (BVL) (2019): Hanf, THC, Cannabidiol & Co. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL). URL: https://www.bvl.bund.de/DE/Arbeitsbereiche/01_Lebensmittel/04_AntragstellerUnternehmen/13_FAQ/FAQ_Hanf_THC_CBD/FAQ_Cannabidiol_node.html (Stand: 17.10.2019)
- [18] BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (BLE) (2019): Anbau von Nutzhanf in Deutschland. URL: https://www.ble.de/SharedDocs/Meldungen/DE/2015/150723_Nutzhanf.html (Stand: 12.07.2019)
- [19] BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (BLE) (2019): Landwirtschaft. Anbau von Nutzhanf. URL: https://www.ble.de/DE/Themen/Landwirtschaft/Nutzhanf/nutzhanf_node.html (Stand: 12.07.2019)
- [20] BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMEL) (2017): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung – DüV), Fassung vom 26.05.2017. URL: https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/D%C3%BCV.pdf, 42 Seiten
- [21] BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (BMELV) (2016): Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 2016. Redaktionsschluss: 31. Oktober 2016. Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland, Nr. 60. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag GmbH, 585 Seiten, ISBN 978-3-7843-5498-8
- [22] BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2006): Verordnung über den Verkehr mit Saatgut landwirtschaftlicher Arten und von Gemüsearten (Saatgutverordnung). Saatgutverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 8. Februar 2006 (Bundesgesetzblatt (BGBl) I, Nr. 8 vom 22. Februar, S. 344-395), zuletzt geändert durch den Artikel 2 der Verordnung vom 9. Juni 2017 (Bundesgesetzblatt (BGBl) I, Nr. 37 vom 16. Juni, S. 1614-1616), S. 53-54
- [23] CALLAWAY, J. (2019): Some General Information about Finola. Finola OY. URL: <http://finola.fi/news-info/> (Stand: 10.10.2019)
- [24] KARUS, M. (2005): Europäische Hanfwirtschaft 2001–2004: Anbau, Rohstoffe, Produkte und Trends. European Industrial Hemp Association (EIHA) (Hrsg.). Brühl, Seite 1–11

- [25] CARUS, M. (2017): The European Hemp Industry: Cultivation, processing and application for fibres, shives, seeds and flowers. European Industrial Hemp Association (EIHA). URL: http://eiha.org/media/2017/12/17-03_European_Hemp_Industry.pdf (Stand: 08.10.2019)
- [26] CARUS, M. (2018): Die Entwicklung der industriellen Hanfnutzung in Europa und Ausblick. Vortrag. In: C.A.R.M.E.N. E. V. (Hrsg.): „Märkte der Zukunft – erneuerbar und nachhaltig“, C.A.R.M.E.N.-Symposium, 9.–10. Juli. Würzburg: C.A.R.M.E.N. e. V., Seite 1–34
- [27] CARUS, M.; KARST, S.; KAUFFMANN, A.; HOBSON, J; BERTUCELLI, S. (2013): The European Hemp Industry: Cultivation, processing and applications for fibres, shivs and seeds. European Industrial Hemp Association (Hrsg.). Brühl, Seite 1–9
- [28] CHRISTEN, O.; SCHULZE, B. (1996): Produktionstechnik der Hanferzeugung 1 – Beitrag des Pflanzenbaus. In: FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (FNR), BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (BML) (Hrsg.): Hanf. Wissenschaftliche Untersuchung zum Thema „Anbau, Ernte und Aufbereitung sowie Verwendung von Hanf“ Teil 2. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Nr. 7. Münster: Universität Kiel, Institut für Agrarökonomie Lehrstuhl Agrarunternehmenslehre, S. 179-253, ISBN 3-7843-2865-2
- [29] CLARKE, R. C. (1997): Hanf - Botanik, Anbau, Vermehrung und Züchtung. Aarau, München: AT Verlag, 239 Seiten, ISBN 3-85502-573-8
- [30] COSENTINO, S. L.; RIGGI, E.; TESTA, G.; SCORDIA, D.; COPANI, V. (2013): Evaluation of European developed fibre hemp genotypes (*Cannabis sativa* L.) in semi-arid Mediterranean environment. *Industrial Crops and Products*, Jg. 50, S. 312-324
- [31] COSENTINO, S. L.; TESTA, G.; SCORDIA, D.; COPANI, V. (2012): Sowing time and prediction of flowering of different hemp (*Cannabis sativa* L.) genotypes in southern Europe. *Industrial Crops and Products*, Jg. 37, Nr. 1, S. 20-33
- [32] MEIJER, E. M. P. D. (1995): Fibre hemp cultivars: A survey of origin, ancestry, availability and brief agronomic characteristics. *Journal of the International Hemp Association*, Jg. 2, Nr. 2, S. 66-73
- [33] DESANLIS, F.; CERRUTI, N.; WARNER, P. (2013): Hemp agronomics and cultivation. In: BOULOC, P.; ALLEGRET, S.; ARNAUD, L. (Hrsg.): *Hemp: industrial production and uses*. Wallingford, UK: Centre for Agriculture and Bioscience International (CABI), S. 98-124, ISBN 978-1-84593-792-8
- [34] DEUTSCHE BUNDESREGIERUNG (2019): Nutzhanf - Agrarstoff mit Potenzial .Antwort der Bundesregierung auf die kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Kirsten Tackmann, Niema Movassat, Dr. Gesine Löttsch, weiterer Abgeordneter und der Fraktion DIE LINKE. Berlin: Deutscher Bundestag - Drucksache 19/10604, 16 Seiten
- [35] DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD): Klimadaten Deutschland. Vieljährige Mittelwerte, Niederschlag, Temperatur. Station Straubing, 1981–2010. URL: https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/vielj_mittelwerte.html (Stand: 09.07.2019)
- [36] EU NITROGEN EXPERT PANEL (2015): Nitrogen Use Efficiency (NUE) – an indicator for the utilization of nitrogen in agriculture and food systems. Wageningen, Niederlande: Wageningen University, 47 Seiten

- [37] EUROPEAN HEMP ASSOCIATION (EIHA) (2019): Wir wollen unseren Hanf zurück. Medieninformationen, 03.05.2019. Pressekontakt: Kruse, D.; Vogt, D. Hürth: European Industrial Hemp Association (EIHA) c/o nova-Institut GmbH, 13 Seiten
- [38] EUROPÄISCHE UNION (2002) Richtlinie 2002/57/EG des Rates vom 13. Juni 2002 über den Verkehr mit Saatgut von Öl- und Faserpflanzen (Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften (ABl), Nr. L 193 vom 20.07.2002, S. 74-85), zuletzt geändert durch die Richtlinie 2004/117EG des Rates vom 22. Dezember 2004
- [39] EUROPÄISCHE UNION (2015): Verordnung (EU) 2015/2283 des europäischen Parlaments und des Rates vom 25. November 2015 über neuartige Lebensmittel, zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 1169/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 258/97 des Europäischen Parlaments und des Rates und der Verordnung (EG) Nr. 1852/2001 der Kommission
- [40] CARUS, M.; GAHLE, C.; PENDAROVSKI, C.; VOGT, D.; ORTMANN, S.; GROTENHERMEN, F.; BREUER, T.; SCHMIDT, C. (2008): Studie zur Markt- und Konkurrenzsituation bei Naturfasern und Naturfaser-Werkstoffen (Deutschland und EU). Stand: Januar 2008. Gülzower Fachgespräche, Nr. 26. Hürth: Media Cologne Kommunikationsmedien GmbH, 391 Seiten
- [41] KARUS, M.; KAUP, M.; LOHMEYER, D. (2000): Studie zur Markt- und Preissituation bei Naturfasern (Deutschland und EU). Stand: März 2000. Gülzower Fachgespräche. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (Hrsg.). Hürth: Nova-Institut, 107 Seiten
- [42] CARUS, M.; EDER, A.; SCHOLZ, L. (2015): Bioverbundwerkstoffe. Naturfaserverstärkte Kunststoffe (NFK) und Holz-Polymer-Werkstoffe (WPC). Kunststoffe – Werkstoffe. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (Hrsg.). Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 52 Seiten
- [43] HÜTTEMANN, D. (2019): Hanfprodukte aus dem Supermarktregal. Pharmazeutische Zeitung. URL: <https://www.pharmazeutische-zeitung.de/hanfprodukte-aus-dem-supermarktregal/> (Stand: 17.10.2019)
- [44] FAUX, A.; DRAYE, X.; LAMBERT R.; ANDRIMONT, R. D.; RAULIER, P.; BERTIN, P. (2013): The relationship of stem and seed yields to flowering phenology and sex expression in monoecious hemp (*Cannabis sativa* L.). European Journal of Agronomy, Jg. 47, S. 11-22
- [45] FINNAN, J., BURKE, B. (2013): Nitrogen fertilization to optimize the greenhouse gas balance of hemp crops grown for biomass. Global Change Biology - Bioenergy, Jg. 5, Nr. 6, S. 701-712
- [46] FINTA, Z. (2019): Hungarian variety list and changing market demands. Vortrag. In: EUROPEAN INDUSTRIAL HEMP ASSOCIATION (EIHA) (Hrsg.): 16th European Industrial Hemp Association (EIHA) Conference, June 5–6, Cologne, Germany. Brühl: EIHA, Seite 1–23
- [47] FRANK, B. (2018): 22 Jahre Nutzhanf in Deutschland – ein Erfahrungsbericht. Vortrag. In: C.A.R.M.E.N. e. V. (Hrsg): „Märkte der Zukunft – erneuerbar und nachhaltig“, C.A.R.M.E.N.-Symposium, 9.–10. Juli. Würzburg: C.A.R.M.E.N. e. V., Seite 1–9

- [48] GROTENHERMEN, F. (2018): Endogene Cannabinoide und das Endocannabinoidsystem. In: HEYDEN, M. V.; JUNGABERLE, H.; MAJIĆ, T. (Hrsg.): Handbuch Psychoaktive Substanzen. Springer Reference Psychologie. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, S. 411-420, ISBN 978-3-642-55124-6
- [49] GROTENHERMEN, F.; BERGER, M.; GEBHARDT, K. (2018): Cannabidiol – CBD. Ein cannabinohaltiges Compendium – inklusive veganer Back- und Kochrezepte. 4., aktual. Aufl. Solothurn: Nachtschatten Verlag, 163 Seiten
- [50] GUSOVIUS, H.; PAULITZ, J. (2009): Current developments for efficient raw material supply procedures enforcing cost-effective bast fibre production in Europe. Journal of Biobased Materials and Bioenergy, Jg. 3, Nr. 3, S. 262-264
- [51] GUSOVIUS, H.-J.; HOFFMANN, T.; BUDDE, J.; LÜHR, C. (2016): Still special? Harvesting procedures for industrial hemp. Landtechnik - Agricultural Engineering, Jg. 71, Nr. 1, S. 14-24
- [52] HANF FARM GMBH (2019): MultiCombine HC 3400. URL: <http://multicombine.com/> (Stand: 09.10.2019)
- [53] HANF, C.-H.(Hrsg.) (1996): Hanf. Wissenschaftliche Untersuchung zum Thema „Anbau, Ernte und Aufbereitung sowie Verwendung von Hanf“ Teil 2. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BML) (Hrsg.). Münster: Universität Kiel, Institut für Agrarökonomie Lehrstuhl Agrarunternehmenslehre. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Nr. 7, 1025 Seiten, ISBN 3-7843-2865-2
- [54] HANFFASER UCKERMARK (2019): Hanfanbau. URL: <https://www.hanffaser.de/uckermark/index.php/hanfanbau> (Stand: 10.10.2019)
- [55] HAVERKAMP, M. (2014): Einfluss der agronomischen Maßnahmen, Umwelt und Sorte auf die wertbestimmenden Eigenschaften von Faserhanf (*Cannabis sativa* L.) in Nordrhein-Westfalen. Dissertation. Bonn, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität. 179 Seiten
- [56] HEMP IT (2019): Varietal Catalogue. Beaufort en Anjou: Hemp it. Producer of Industrial Hemp Seeds. URL: <https://fr.calameo.com/read/004713405440ebd9655fb> (Stand: 21.10.2019), 34 Seiten
- [57] VOGL, C. R.; HEß, J.; STRÖML, K. F. (1997): Die praktische Hanf-Fibel. Informationsbroschüre für den Anbau von Hanf (*Cannabis sativa* L.) im biologischen Landbau. 3., überarb. Aufl. Wien; Altenmarkt: Spörk, 35 Seiten
- [58] HEß, J.; VOGL, C. (1997): Praktische Anbauerfahrung mit Hanf (*Cannabis sativa* L.) in Österreich. In: NOVA INSTITUT (Hrsg.): 2. Symposium Biorohstoff Hanf. 27.02.-02.03.1997, Frankfurt am Main, 1. Aufl. Hürth: Nova-Institut, S. 244-252, ISBN 3-9805840-2-X
- [59] HEUSER, O. (1927): Die Hanfpflanze. In: HEUSER O.; KÖNIG P.; WAGNER O.; FRANK, G. V.; OERTEL H.; OERTEL, F. (Hrsg.) Hanf und Hartfasern. Technologie der Textilfasern, Reihe 5, Nr. 2, Berlin, Heidelberg: Julius Springer Verlag, S. 1-102, ISBN 978-3-642-91015-9

- [60] HÖPPNER, F. (1997): Einfluss von Saatkichte und Reihenweite auf die Korn- und Ölertragsleistung von Faserhanf (*Cannabis sativa* L.). In: NOVA INSTITUT (Hrsg.): 2. Symposium Biorohstoff Hanf, 27.02.-02.03.1997, Frankfurt am Main, 1. Aufl. Hürth: Nova Institut, S. 244-252, ISBN 3-9805840-2-X
- [61] 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*, Jg. 57, S. 219-232
- [62] IHEMPFARMS (2019): EU-registered hemp varieties for seed, grain production IHempFarms. URL: https://www.ihempfarms.com/PS_SeedGrainProduction (Stand: 06.11.2019)
- [63] INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION (ISTA) (2015): International Seed Testing Rules, Chapter 5: The germination test – including changes and editorial corrections adopted at the Ordinary General Meeting 2014, Edinburgh, United Kingdom. Effective from 1 January 2015. Bassersdorf, Switzerland: ISTA, S. 5-23, ISSN 2310-3655
- [64] IVONYI, I.; IZSOKI, Z.; VAN DER WERF, H. (1997): Influence of nitrogen supply and p and k levels of the soil on dry matter and nutrient accumulation of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). *Journal of the International Hemp Association*, Jg. 4, Nr. 2, S. 84–89
- [65] JOHNSON, R. (2018): Hemp as an Agricultural Commodity: Congressional Research Service. URL: <https://fas.org/sqp/crs/misc/RL32725.pdf> (Stand: 06.11.2019)
- [66] KARUS, M.; LOHMEYER, D.; LESON, G. (1996): Das Hanfproduktlinienprojekt (HPLP). Erarbeitung von Produktlinien auf Basis von einheimischem Hanf aus technischer, ökonomischer und ökologischer Sicht. Nova-Institut Hürth/Köln (Hrsg.) Institut für angewandte Forschung, IAF/FH Reutlingen, ifeu-Institut Heidelberg, 489 Seiten, ISBN 3-9805840-1-1
- [67] KOK, C. J.; COENEN, G. C. M.; HEIJ, A. D. (1994): The effect of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.) on selected soil-borne pathogens. *Journal of the International Hemp Association*, Nr. 1, S. 6-9
- [68] KARUS, M.; LOHMEYER, D.; GROTENHERMEN, F.; PEIFER, R.; KAUP, M.; LESON, G. (1999): Das kleine Hanf-Lexikon. Nova-Institut (Hrsg.). Göttingen: Die Werkstatt-Verlag, 78 Seiten
- [69] KRAUß, J. (2018): Cannabidiol – vom Rohstoff zum Produkt. Vortrag. In: C.A.R.M.E.N. e. V. (Hrsg): „Märkte der Zukunft – erneuerbar und nachhaltig“, C.A.R.M.E.N.-Symposium, 9.–10. Juli. Würzburg: C.A.R.M.E.N. e. V., S. 1–23
- [70] LIU, X.; LI, Y.; HAN, B.; ZHANG, Q.; ZHOU, K.; ZHANG, X.; HASHEMI, M.. (2012): Yield response of continuous soybean to one-season crop disturbance in a previous continuous soybean field in Northeast China. *Field crops research*, Jg. 138, S. 52-56
- [71] LOHMEYER, D. (1997): Hanf im ökologischen Anbau. In: Nova Institut (Hrsg.): 2. Symposium Biorohstoff Hanf. 27.02.-02.03.1997, Frankfurt am Main, 1. Aufl. Hürth: Nova-Institut, S. 236-243, ISBN 3-9805840-2-X
- [72] MASTEL, K.; STOLZENBURG, K. (2002): Prüfung des Prototyps einer Maschine zur Ernte von Hanfstroh und Hanfkörnern (*Cannabis sativa* L.) : Versuchsbericht 2000 - 2001. Informationen für die Pflanzenproduktion – Sonderheft, Nr. 2. Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim (Hrsg.). Rheinstetten: Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim, 32 Seiten, ISSN 0937-6712

- [73] MEDIAVILLA, D. V.; BASSETTI, P.; LEUPIN, M.; MOSIMANN, E. (1999): Agronomische Eigenschaften von Hanfsorten. *Agrarforschung*. Jg. 6, Nr. 10, S. 393-396
- [74] MEDIAVILLA, V.; JORQUERA, M.; SCHMID-SLEMBROUCK, I. (1998): Dezimalcode für Wachstumsstadien von Hanf. *Agrarforschung*, Nr. 6, S. 385-392
- [75] MEIER, U.; BLEIHOLDER, H. (2016): Phänologische Entwicklungsstadien wichtiger gartenbaulicher Kulturen, einschließlich Unkräuter. Band 2. Themenbibliothek Pflanzenproduktion. Clenze: Agrimedia Erling Verlag, 82 Seiten, ISBN 978-3-86263-121-6
- [76] MUNDELL, R.; WILLIAMS, D. W. (2018): An Introduction to Industrial Hemp and Hemp Agronomy. Issued 7-2018. Lexington, KY: University of Kentucky, College of Agriculture, Food and Environment, Food and Environment - Cooperative Extension Service, 6 Seiten
- [77] MUNZERT, M. (2015): Landwirtschaftliche und gartenbauwissenschaftliche Versuche mit SAS. Berlin, Heidelberg: Springer, 449 Seiten, ISBN 978-3-642-54505-4
- [78] BAYERISCHER LANDWIRTSCHAFTSVERLAG (2006): Pflanzliche Erzeugung. 12., völlig neu bearb. u. erw. Aufl. Die Landwirtschaft, Nr. 1. München: BLV Verlagsgesellschaft, 1120 Seiten, ISBN 3-405-16860-0
- [79] NOVA-INSTITUT (2016): Wachsende Märkte für Hanflebensmittel und Pharmazeutika-Milliarden-Umsätze in Europa möglich. Pressemitteilung vom 25. April 2016, Kontaktperson: Carus, M. Hürth: Nova-Institut GmbH, Hürth, 2 Seiten
- [80] NOVA-INSTITUT GMBH (2019): Hanf wird zum Milliardengeschäft – weltweit größte Konferenz zu Industriehanf im Juni 2019 in Köln. Hürth: Nova-Institut GmbH, URL: <http://news.bio-based.eu/media/2019/01/19-01-30-PM-EIHA-Hanfkonferenz.pdf> (Stand: 05.06.2019)
- [81] OFNER, K. (2014): Einfluss der Sorte und des Standortes bei Hanf (*Cannabis sativa* L.) in der Ganzpflanzennutzung im semiariden Produktionsgebiet. Dissertation. Wien: Universität für Bodenkultur, 159 Seiten
- [82] PARI, L.; BARANIECKI, P.; KANIEWSKI, R.; SCARFONE, A. (2015): Harvesting strategies of bast fiber crops in Europe and in China. *Industrial Crops and Products*, Jg. 68, Nr. 6 (June), S. 90-96
- [83] PAYER, K. (1994): Hanf-Workshop, Wieselburg, 7. Dezember 1994, Bundesanstalt für Landtechnik. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, 154 Seiten
- [84] PLINKE, F. (2018): Hanfanbau – für jede Nutzung eine Sorte. Vortrag. In: LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN (Hrsg.): NRW Hanftag 2018, Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Düsse, Ostinghausen, Bad Sassendorf, 25.10.2018. Bad Sassendorf: Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Seite 1–20
- [85] PRADE, T.; SVENSSON, S. E.; ANDERSSON, A.; MATTSSON, J. E. (2011): Biomass and energy yield of industrial hemp grown for biogas and solid fuel. *Biomass and Bioenergy*, Jg. 35, S. 3040-3049
- [86] RANALLI, P. (1999): Agronomical and physiological advances in hemp crops. Chapter 4. In: RANALLI, P. (Hrsg.). *Advances in Hemp Research*. Binghampton: Food Products Press, Seite 61-84

- [87] ROEMER, T.; SCHEIBE, A.; SCHMIDT, A.; WOERMANN, E. (1953): Handbuch der Landwirtschaft, Band 2. Berlin: Paul Parey, 775 Seiten.
- [88] ROßBERG, D.; MICHEL, V.; NEUKAMPF, R. (2007): Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes, Jg. 59, Nr. 7, S. 155-161
- [89] SCHANTL, J. (2018): „Wird Hanf wieder interessant?“ Landwirt – die Fachzeitschrift für die bäuerliche Familie, Nr. 23, S. 40-41
- [90] SCHNEIDER, J. (2019): Münchner Hanfshops im Visier der Polizei. Kiloweise CBD-Produkte gefunden. Abendzeitung München. URL: <https://www.abendzeitung-muenchen.de/inhalt.kiloweise-cbd-produkte-gefunden-im-visier-der-polizei-razzien-in-muenchner-hanfshops.314603d6-da10-4e91-8072-5bf797951f1d.html> (Stand: 23.10.2019)
- [91] SMALL, E. (2018): Dwarf germplasm: the key to giant Cannabis hempseed and cannabinoid crops. Genetic resources and Crop Evolution, Jg. 65, Nr. 4 (April), S. 1071-1107
- [92] STATISTISCHES BUNDESAMT (DESTATIS) (2018): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Bodennutzung der Betriebe (Landwirtschaftlich genutzte Fläche). Fachserie 3, Reihe Nr.3.1.2. Stand: 20.11.2018. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt (Destatis), 61 Seiten
- [93] STECHL, U. (2018): Hanfanbau und Verarbeitung in Bayern. Vortrag. C.A.R.M.E.N. e. V. (Hrsg): „Märkte der Zukunft – erneuerbar und nachhaltig“, C.A.R.M.E.N.-Symposium, 9.–10. Juli. Würzburg: C.A.R.M.E.N. e. V., Seite 1–17
- [94] STEINERT, K., EISENKRÄMER, N. (2019): Sandböden fruchtbar machen. Ökolandbau auf kargen Böden in Nordbrandenburg. Lumbrico - Konservierender ökologischer Landbau, Nr. 4 (September), S. 4-13
- [95] STRUIK, P. C.; AMADUCCI, S.; BULLARD, M. J.; STUTTERHEIM, N. C.; VENTURI, G.; CROMACK, H. T. H. (2000): Agronomy of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.) in Europe. Industrial Crops and Products, Jg. 11, S. 107-118
- [96] SÜDDEUTSCHE ZEITUNG GMBH (2019): Razzia in Hanfläden. Süddeutsche Zeitung, Ausgabe von 17.10.2019 URL: <https://www.sueddeutsche.de/muenchen/100-beamte-im-einsatz-razzia-in-hanflaeden-1.4643534> (Stand: 23.10.2019)
- [97] TANG, K.; STRUIK, P. C.; YIN, X.; THOUMINOT, C.; BJELKOVÁ, M.; STRAMKALE, V.; AMADUCCI, S. (2016): Comparing hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivars for dual-purpose production under contrasting environments. Industrial Crops and Products, Nr. 87, S. 33-44
- [98] TERRES INOVIA (2017): Guide de Culture Chanvre 2017. Thiverval-Grignon: Terres Inovia Centre de Grignon, 20 Seiten
- [99] TUBACH M., NEBEL K. (1997): Technologie der Hanfverarbeitung und die Bedeutung der Produktqualität für die Hanfverwertung. In: UNIVERSITÄT KIEL, INSTITUT FÜR AGRARÖKONOMIE, LEHRSTUHL AGRARUNTERNEHMENSLEHRE (Hrsg.): Wissenschaftliche Untersuchungen zum Thema „Anbau, Ernte und Aufbereitung sowie Verwendung von Hanf“ Teil 2. Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Nr. 7. Münster: Landwirtschaftsverlag GmbH, S. 301-492, ISBN 3-7843-2865-2

- [100] UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA), FARM SERVICE AGENCY (FSA) (2019): Crop acreage Data. Washington, D. C.: United States Department of Agriculture (USDA). URL: <https://www.fsa.usda.gov/news-room/efoia/electronic-reading-room/frequently-requested-information/crop-acreage-data/index> (Stand: 30.10.2019)
- [101] WERF, H. v. D. (1994): Crop physiology of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). Proefschrift. Wageningen: Landbouwniversiteit, 153 Seiten, ISBN 90-9007171-7
- [102] VERA, C. L.; MALHI, S. S.; RANEY, J. P.; WANG, Z. H. (2004): The effect of N and P fertilization on growth, seed yield and quality of industrial hemp in the Parkland region of Saskatchewan. *Canadian journal of plant science*, Jg. 84, Nr. 4, S. 939-947
- [103] VERA, C. L.; WOODS, S. M.; RANEY, J. P. (2006): Seeding rate and row spacing effect on weed competition, yield and quality of hemp in the Parkland region of Saskatchewan. *Canadian journal of plant science*, Jg. 86, Nr. 3, S. 911-915
- [104] FRANCKEN-WELZ, H. v.; LÉON, J. (2003): Faserqualität einheimischer Faserpflanzen (Hanf) – Bewertung von Rohstoff und Endprodukt. Stand: Oktober 2003. Forschungsbericht, Nr. 112. Bonn: Landwirtschaftliche Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, Lehr- und Forschungsschwerpunkt „Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft“ (Hrsg.), 39 Seiten, ISSN 1610-2460
- [105] VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN (VDLUFA) (1976): Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (Methodenbuch) Band III: Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. 3. Aufl. einschl. Erg.-Lfg. 1-8. Darmstadt: VDLUFA-Verlag, ISBN 978-3-941273-14-6, 2190 Seiten
- [106] VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN (VDLUFA) (1991): Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (Methodenbuch) Band I: Die Untersuchung von Böden. 4. Aufl. einschl. Erg.-Lfg. 1-7. Darmstadt: VDLUFA-Verlag, ISBN 978-3-941273-13-9, 1655 Seiten
- [107] VIERING, K. (2016): Nutzpflanzen: Hanf – mehr als nur eine Droge. URL: <https://www.spektrum.de/wissen/hanf-mehr-als-nur-eine-droge/1397756> (Stand: 16.05.2019), 10 Seiten
- [108] AMADUCCI, S.; SCORDIA, D.; LIU, F. H.; ZHANG, Q.; GUO, H.; TESTA, G.; COSENTINO, S. L. (2014): Key cultivation techniques for hemp in Europe and China. *Industrial Crops and Products*, Jg. 68, Nr. 6 (June), S. 2-16
- [109] WASKOW, F. (1995): Hanf & Co. Die Renaissance der heimischen Faserpflanzen. Katalyse-Institut für Angewandte Umweltforschung (Hrsg.). Göttingen: Die Werkstatt/AOL-Verlag, 223 Seiten, ISBN 3-89533-138-4
- [110] WENDLAND, M.; DIEPOLDER, M.; OFFENBERGER, K.; RASCHBACHER, S. (2018): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland. Stand: Januar 2018. 14. Aufl. LfL-Information - Gelbes Heft. Freising-Weihenstephan: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz (Hrsg.), 98 Seiten
- [111] WORLD HEALTH ORGANIZATION (2018): Cannabidiol. Critical Review Report. Expert Committee on Drug Dependence. Forthieth Meeting, Geneva, 4-7 June, 2018. Geneva, Switzerland; World Health Organization, 28 Seiten

Berichte aus dem TFZ

Bisher erschienene Ausgaben der Schriftenreihe des Technologie- und Förderzentrums:

1	Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich Projektphase 1 – Erhebung der Ölqualität und Umfrage in der Praxis
2	Erprobung der Brennwerttechnik bei häuslichen Holzhackschnitzelheizungen mit Sekundärwärmetauscher
3	Daten und Fakten zur dezentralen Ölgewinnung in Deutschland
4	Untersuchungen zum Feinstaubausstoß von Holzcentralheizungsanlagen kleiner Leistung
5	Qualität von kaltgepresstem Rapsöl als Speiseöl und Festlegung eines Qualitätsstandards
6	Entwicklung einer Prüfmethode zur Bestimmung der Cetanzahl von Rapsölkraftstoff
7	Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Rapsöl als Kraftstoff und dem Motorenöl in pflanzenölauglichen Motoren
8	Wärmegewinnung aus Biomasse – Begleitmaterialien zur Informationsveranstaltung
9	Maize as Energy Crop for Combustion – Agricultural Optimisation of Fuel Supply
10	Staubemissionen aus Holzfeuerungen – Einflussfaktoren und Bestimmungsverfahren
11	Rationelle Scheitholzbereitstellungsverfahren
12	Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich - Technologische Untersuchungen und Erarbeitung von Qualitätssicherungsmaßnahmen
13	Getreidekörner als Brennstoff für Kleinfeuerungen – Technische Möglichkeiten und Umwelteffekte
14	Mutagenität der Partikelemissionen eines mit Rapsöl- und Dieselmotoren betriebenen Traktors
15	Befragung von Betreibern dezentraler Ölsaatenverarbeitungsanlagen
16	Schnellbestimmung des Wassergehaltes im Holzsplit
17	Untersuchungen zum Einsatz rapsölbetriebener Traktoren beim Lehr-, Versuchs- und Fachzentrum für Ökologischen Landbau und Tierhaltung Kringell

18	Miscanthus als Nachwachsender Rohstoff – Ergebnisse aus bayerischen Forschungsarbeiten
19	Miscanthus: Anbau und Nutzung – Informationen für die Praxis
20	Prüfung der Eignung von Verfahren zur Reduktion ablagerungs- und aschebildender Elemente in Rapsölkraftstoff bei der dezentralen Erzeugung
21	Kleine Biomassefeuerungen – Markt Betrachtungen, Betriebsdaten, Kosten und Wirtschaftlichkeit
22	Partikelemissionen aus Kleinfeuerungen für Holz und Ansätze für Minderungsmaßnahmen
23	Bewertung kostengünstiger Staubabscheider für Einzelfeuerstätten und Zentralheizungskessel
24	Charakterisierung von Holzbriketts
25	Additivierung von Rapsölkraftstoff – Auswahl der Additive und Überprüfung der Wirksamkeit
26	Status quo der dezentralen Ölgewinnung – bundesweite Befragung
27	Entwicklung einer Siloabdeckung aus Nachwachsenden Rohstoffen
28	Sorghumhirse als Nachwachsender Rohstoff – Sortenscreening und Anbauszenarien
29	Sorghum als Energiepflanze – Optimierung der Produktionstechnik
30	Ethanol aus Zuckerhirse – Gesamtkonzept zur nachhaltigen Nutzung von Zuckerhirse als Rohstoff für die Ethanolherstellung
31	Langzeiterfahrungen zum Einsatz von Rapsölkraftstoff in Traktoren der Abgasstufe I und II
32	Pflanzenöлтаugliche Traktoren der Abgasstufe IIIA – Prüfstandsuntersuchungen und Feldeinsatz auf Betrieben der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft
33	Betriebs- und Emissionsverhalten eines pflanzenöлтаuglichen Traktors mit Rapsöl, Sojaöl und Sonnenblumenöl
34	Dezentrale Ölsaatenverarbeitung 2012/2013 – eine bundesweite Befragung
35	Additivierung von Rapsölkraftstoff – Projektphase 2: Langzeit- und Prüfstandsuntersuchungen
36	Nutzer- und Brennstoffeinflüsse auf Feinstaubemissionen aus Kleinfeuerungsanlagen
37	Screening und Selektion von Amarantsorten und -linien als spurenelementreiches Biogassubstrat

38	Untersuchung der Praxistauglichkeit eines Elektrofilters für Kleinfeuerungsanlagen
39	Eignung von Buchweizen und Quinoa als späte Zweitfrüchte für die Biogasnutzung
40	Optimale Bereitstellungsverfahren für Holzhackschnitzel
41	Qualitätssicherung bei der dezentralen Herstellung von Rapsölkraftstoff nach DIN 51605
42	Weiterentwicklung einer Siloabdeckung auf Basis Nachwachsender Rohstoffe
43	Brennstoffqualität von Holzpellets
44	Herstellung und Demonstration der Praxistauglichkeit von Traktoren mit Motoren der Abgasstufe IV im Betrieb mit Pflanzenöl
45	ExpRessBio – Methoden
46	Qualität von Holzhackschnitzeln in Bayern
47	Pflanzenöлтаugliche Traktoren der Abgasstufen I bis IIIB
48	Sorghum als Biogassubstrat – Präzisierung der Anbauempfehlungen für baye-rische Anbaubedingungen
49	Zünd- und Verbrennungsverhalten alternativer Kraftstoffe
50	Rapsölkraftstoffproduktion in Bayern – Analyse und Bewertung ökologischer und ökonomischer Wirkungen nach der ExpRessBio-Methode
51	Emissions- und Betriebsverhalten eines Biomethantraktors mit Zündstrahlmotor
52	Schnellbestimmung des Wassergehalts von Holzhackschnitzeln
53	Bioenergieträger mit Blühaspekt – Leguminosen-Getreide-Gemenge
54	Dauerkulturen – Aufzeigen der bayernweiten Anbaueignung
55	Lagerung von Holzhackschnitzeln
56	Holzhackschnitzel aus dem Kurzumtrieb
57	Optimierungspotentiale bei Kaminöfen – Emissionen, Wirkungsgrad und Wärmeverluste
58	Überführung einer Siloabdeckung auf Basis Nachwachsender Rohstoffe in die Praxisreife
59	Regionalspezifische Treibhausgasemissionen der Rapserzeugung in Bayern
60	Langzeitmonitoring pflanzenöлтаuglicher Traktoren der Abgasstufen I bis IV
61	Nutzereinflüsse auf die Emissionen aus Kaminöfen

62	Abgasverhalten von Fahrzeugen im realen Betrieb mit alternativen Kraftstoffen – Bestimmung mit einem portablen Emissionsmesssystem (PEMS)
63	Rapsölkraftstoff als Energieträger für den Betrieb eines forstwirtschaftlichen Vollernters (Harvester)
64	Amarant als Biogassubstrat – Selektion zur Erarbeitung praxistauglicher Amarantlinien für bayerische Standorte
65	Schwierige Pelletbrennstoffe für Kleinfeuerungsanlagen – Verbrennungstechnische Optimierung durch Additivierung und Mischung
66	Einflussfaktoren auf die NO _x -Emissionen in Hackschnitzelheizwerken zwischen 1 und 5 Megawatt
67	Gärrestversuch Bayern – Prüfung der langfristigen Nachhaltigkeit der Nutzungspfade Biogas und BtL
68	Hanf zur stofflichen Nutzung – Stand und Entwicklungen

