

78

Berichte aus dem TFZ

Verwertung und Anbauoptimierung von Hanf als Nachwachsender Rohstoff

Projektpartner:

 Landwirtschaftskammer
Nordrhein-Westfalen

 WEIHENSTEPHAN · TRIESDORF
University of Applied Sciences



Verwertung und Anbauoptimierung von Hanf als Nachwachsender Rohstoff



Verwertung und Anbauoptimierung von Hanf als Nachwachsender Rohstoff

Karolin Eichhoff
Susanne Scholcz
Katharina Karbach-Nölke
Corinna Urmann
Michael Grieb
Maendy Fritz

Projektpartner:



Berichte aus dem TFZ 78

Straubing, Juni 2023

Titel: Verwertung und Anbauoptimierung von Hanf als Nachwachsender Rohstoff

Autoren: Karolin Eichhoff
Susanne Scholcz
Katharina Karbach-Nölke (LWK NRW)
Dr. Corinna Urmann (TUM CS)
Michael Grieb
Dr. Maendy Fritz

Mitarbeiter: Heide Lummer
Josef Wittmann
Franz Heimler
Michael Kandler
Markus Krinner
Sebastian Kirner
Christian Loher
Benno Sötz

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten unter dem Förderkennzeichen G2/N/19/07 gefördert. Die Projektlaufzeit ging vom 01.01.2020 bis zum 31.12.2022. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

© 2023

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: Karolin Eichhoff, Susanne Scholcz, Anna Grundner
Gestaltung: Karolin Eichhoff, Susanne Scholcz
Verlag: Eigenverlag
Erscheinungsort: Straubing
Erscheinungsjahr: 2023

Fotos: Tobias Hase (Titelbild, Abbildung 8), HSWT (Abbildungen 15, 16, 64 und 65), Steinbeis GmbH (Abbildung 44), restliche TFZ

Abstract (deutsch)

Der ab dem 19. Jahrhundert an Bedeutung verlierende Nutzhanf (*Cannabis sativa* L.) erlebt momentan einen Aufschwung als wiederentdeckte Kulturpflanze. Für den Anbau sind Spezialwissen und Erfahrungen notwendig, die für Bayern momentan nur in geringem Umfang zu Verfügung stehen. Daher wurden von 2020 bis 2022 Versuche in Straubing, Bayern (TFZ) und Ostinghausen, Nordrhein-Westfalen (HD) angelegt. Ziel des Projekts war die Ermittlung des Stickstoffbedarfs in den Nutzungsrichtungen Körner-, Cannabidiol (CBD)- und Faserhanf durch Stickstoffsteigerungsversuche (Varianten von N_{\min} bis 240 kg N/ha). Darüber hinaus wurde das Anbauverfahren mit Aussaatstärke, Reihenabstand und mechanischer Unkrautregulierung untersucht. Im CBD-Hanf wurden zusätzlich drei verschiedene Erntetermine geprüft. Weitere Versuche beschäftigten sich mit dem Anbau von Körnerhanf in Zweitfruchtstellung und dem Winterhanfanbau für die Fasernutzung. In den Ergebnissen spiegelte sich der starke Einfluss der Standortvoraussetzungen und der Witterungsbedingungen wider. Ein optimal gewählter Aussattermin, der Bodentemperaturen ab 10 °C und ausreichend Bodenfeuchte garantiert, ist ebenso Grundvoraussetzungen für eine gute Ernte wie ein passender Standort ohne Bodenverdichtungen. Niedrigere Hanfsorten, wie z.B. FINOLA, haben keine eigene ausreichende Unkrautunterdrückung, weshalb eine mechanische Unkrautregulierung mit der Hacke zu empfehlen ist. Der durchschnittliche Kornertrag lag bei einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160 kg N/ha für die Sorte FINOLA bei 15,4 dt TM/ha (TFZ) bzw. 22,2 dt TM/ha (HD), für die Sorte Earlina 8 FC bei 10,6 dt TM/ha und für die Sorte Henola bei 10,6 dt TM/ha (beide TFZ). Die niedrige Sorte FINOLA hatte den geringsten Strohertrag (29,2 dt TM/ha), gefolgt von den Sorten Earlina 8 FC (55,0 dt TM/ha) und Henola (49,0 dt TM/ha). Zusätzlich wurde gezeigt, dass sich der Ertragsverlust durch Vogelfraß auf 2,9 dt TM/ha belaufen kann. Langstrohige Sorten wie Uso 31 und Fedora 17 sind nur bedingt für die Kornnutzung zu empfehlen, da ihre Höhe problematisch für gewöhnliche Mähdrescher ist. Der durchschnittliche Röststrohertrag im Faserhanf (Futura 75) lag mit 160 kg N/ha bei 112,2 dt TM/ha. Ein Einfluss der Stickstoffmenge auf Faserausbeute und -qualität wurde nicht festgestellt. Blütenstandertrag und CBD-Gehalt stiegen, je später die Ernte erfolgte. Die Höhe der verfügbaren Stickstoffmenge wirkte sich kaum auf den CBD-Gehalt aus. Bei 160 kg N/ha wurden Blütererträge von 14,2 (TFZ) bzw. 18,5 dt TM/ha (HD) erzielt. Der CBD-Gehalt lag zwischen 0,53 (TFZ) und 0,58 % (HD). Der Trockenmasseertrag stieg mit zunehmender Stickstoffverfügbarkeit, der Ertragszuwachs fiel dabei ab 160 kg N/ha geringer aus (Körnerhanf) oder blieb komplett aus (Faserhanf). Obwohl die Angabe im Gelben Heft für die Faserhanfnutzung verfasst wurde, scheint sie auch für die CBD- und Körnerhanfnutzung angemessen. Es gibt keine Anhaltspunkte, von dem dort empfohlenen Stickstoffbedarf von 160 kg N/ha abzuweichen. Wird mit einem geringen Ertragsniveau gerechnet, ist eine Reduzierung der Düngemenge auf maximal 120 kg N/ha anzuraten, um Stickstoffverluste zu vermeiden. Die Etablierung von Hanf in Zweitfruchtstellung erwies sich als schwierig und ist daher nicht zu empfehlen. Der Erfolg des Winterhanfanbaus war stark abhängig von den Witterungsbedingungen und empfiehlt sich nur für ausgewählte Standorte.

Abstract (englisch)

The production of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) in Germany has increased significantly over the past few years, and interest in the agricultural sector remains high. The lack of agronomic guidelines, however, presents a huge limiting factor for the local hemp production in Germany. Therefore, this study assessed production methods (planting distance/weed control/date of sowing), nitrogen fertilization (0 kg additional N/ha to a total of 240 kg available N/ha) for seed, fiber and Cannabidiol (CBD) use in different hemp cultivars as well as cultivation of hemp as a secondary main crop or winter catch crop. The same experiments were conducted once at a site in Straubing, Bavaria (TFZ) and once at a site in Ostinghausen, North Rhine-Westphalia (HD). The findings showed that local and weather conditions have a high impact on the results. For the production methods the results showed that date of sowing, with soil temperatures over 10 °C and sufficient soil moisture as well as a suitable location and the lack of soil compaction are crucial to a good harvest. Hemp cultivars with low heights, like FINOLA, need mechanical weed control via hoe. With an available nitrogen level of 160 kg N/ha the mean grain yield was 15.4 dt TM/ha (TFZ) and 22.2 dt TM/ha (HD) for the cultivar FINOLA, 10.6 dt TM/ha (TFZ) for the cultivar Earlina 8 FC and 10.6 dt TM/ha (TFZ) for the cultivar Henola. The lowest straw yield was produced by the cultivar FINOLA (29.2 dt TM/ha), followed by the cultivar Henola (49.0 dt TM/ha) and Earlina 8 FC (55.0 dt TM/ha). It was also shown that the loss of earnings due to bird feeding can be as much as 2.9 dt TM/ha. Since cultivars with long straw, like Uso 31 and Fedora 17, can be problematic for common harvesters due to their height they can only be partially recommended for seed use. The mean yield of roasted straw with an available nitrogen level of 160 kg N/ha was 112.2 dt TM/ha. An impact of nitrogen on fiber yield or fiber quality could not be determined. Flower yield and CBD content increased the later the flowers were harvested. Available nitrogen had almost no impact on the CBD content of the plants. With an available nitrogen level of 160 kg N/ha flower yields of 14.2 dt TM/ha (TFZ) and 18.5 dt TM/ha (HD) could be obtained, respectively. The CBD content was between 0.53 % (TFZ) and 0.58 % (HD). The experiments showed that dry matter yield increases with the rise of available nitrogen. This is true for seed, fiber as well as CBD use. For fiber and CBD use, however, a stagnation/reduction in yield increase can be observed, if the available nitrogen exceeds 160 kg N/ha. For seed use the yield increases even with available nitrogen above 160 kg N/ha. Though the nitrogen intake decreases and as a result nitrogen accumulates within the soil. Therefore, the amount of 160 kg N/ha is suitable for all three uses. If lower yields are expected due to suboptimal site conditions, it is advised to reduce the available nitrogen to 120 kg/ha to prevent nitrogen losses. The cultivation of hemp as a second main crop was unsuccessful and cannot be advised. Hemp as winter catch crop is strongly dependent on site and weather conditions and can only be recommended in certain areas.

Inhaltsverzeichnis

Abstract (deutsch)	5
Abstract (englisch)	6
Abbildungsverzeichnis	11
Tabellenverzeichnis	17
1 Einleitung	21
2 Stand des Wissens	23
2.1 Allgemeine Informationen	23
2.2 Hanfanbau	24
2.3 Rechtliche Hinweise und Meldeverfahren Hanfanbau	28
2.4 Nutzungsmöglichkeiten	29
2.4.1 Fasern und Schäben.....	29
2.4.2 Hanfsamen	30
2.4.3 Blüten, Blätter und sekundäre Inhaltsstoffe.....	30
3 Problemstellung und Zielsetzung	33
4 Material und Methoden	35
4.1 Standortbedingungen	35
4.1.1 Beschreibung Versuchsstandort Technologie- und Förderzentrum.....	35
4.1.2 Beschreibung Versuchsstandort Haus Düsse	37
4.2 Versuchsdesign und Bestandsführung	40
4.3 Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf	45
4.4 Versuche zur Stickstoffsteigerung	48
4.4.1 Versuch zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf	49
4.4.2 Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf.....	51
4.4.3 Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf	52
4.5 Versuch zum Winterhanfanbau	53
4.6 Zusätzliche Versuche des TFZ	54
4.6.1 Versuch zu Körnerhanf in Zweitfruchtstellung	54
4.6.2 Versuch zur Ermittlung des Ertragsverlusts durch Vogelfraß	55
4.6.3 Versuch zum Anbau von Hanf als Frühsaat	56
4.7 Datenerhebung und Bonituren	56
4.7.1 Keimfähigkeit	57
4.7.2 Tausendkornmasse	57
4.7.3 Bestandesdichte	57
4.7.4 Feldaufgang.....	58
4.7.5 Selbstausdünnung	58

4.7.6	Wuchshöhe	59
4.7.7	Ermittlung der Wärmesumme.....	59
4.7.8	Bodentemperatur und Bodenfeuchte.....	59
4.7.9	Unkraut-, Kultur- und Gesamtdeckungsgrad	60
4.7.10	Bonitur des Entwicklungsverlaufs mittels BBCH-Skala.....	61
4.7.11	Ermittlung der Korngrößenzusammensetzung	63
4.7.12	Trockensubstanzgehalt	63
4.7.13	Trockenmasseertrag	63
4.8	Analysen	64
4.8.1	Boden.....	64
4.8.2	Fasern.....	65
4.8.3	CBD	66
4.8.4	Körner	70
4.8.5	Pflanzenanalysen (Stroh, Blütestand und Spreu).....	71
4.9	Nährstoffbilanzierung	71
4.10	Statistische Auswertung.....	71
5	Ergebnisse und Diskussion	73
5.1	Entwicklungsverlauf von Nutzhanf.....	73
5.2	Wachstumsverlauf von Nutzhanf.....	80
5.3	Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf	86
5.3.1	Wuchshöhe	86
5.3.2	Feldaufgang	87
5.3.3	Unkrautbesatz	89
5.3.4	Ertrag	93
5.3.5	Rohfettgehalt.....	98
5.3.6	Stickstoffbilanz	98
5.4	Versuch zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf	102
5.4.1	Wuchshöhe	102
5.4.2	Feldaufgang	103
5.4.3	Unkrautbesatz	104
5.4.4	Ertrag	106
5.4.5	Fasern.....	107
5.4.6	Stickstoffbilanz	109
5.5	Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf	112
5.5.1	Wuchshöhe	112
5.5.2	Feldaufgang	114
5.5.3	Unkrautbesatz	117
5.5.4	Ertrag	122
5.5.5	Analytik	127
5.5.5.1	Analyse des Pflanzenmaterials Ernte 2020	127
5.5.5.2	Analyse des Pflanzenmaterials Ernte 2021	131
5.5.5.3	Analyse des Pflanzenmaterials Ernte 2022	135
5.5.6	Stickstoffbilanz	137
5.6	Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf.....	141
5.6.1	Wuchshöhe	141
5.6.2	Feldaufgang	143
5.6.3	Unkrautbesatz	145

5.6.4	Ertrag.....	148
5.6.5	THC- und CBD-Gehalte im Korn.....	154
5.6.6	Rohfettgehalt und Weender Analyse.....	157
5.6.7	Korngrößenzusammensetzung	159
5.6.8	Stickstoffbilanz.....	163
5.7	Versuch zum Winterhanfanbau	167
5.7.1	Standort TFZ.....	167
5.7.2	Standort HD.....	168
5.7.3	Fazit.....	172
5.8	Zusätzliche Versuche des TFZ.....	173
5.8.1	Versuch zu Körnerhanf in Zweitfruchtstellung.....	173
5.8.2	Versuch zu Ermittlung des Ertragsverlusts durch Vogelfraß	176
5.8.3	Versuch zum Anbau von Hanf als Frühsaat.....	178
6	Schlussfolgerungen für die Praxis	181
6.1	Rechtliche Regelungen	181
6.2	Produktionstechnik	181
6.3	Stickstoffversorgung.....	182
6.4	Vermarktung.....	183
	Quellenverzeichnis	185
	Anhang	193

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Klimadaten für den Standort TFZ in den Jahren 2020, 2021, 2022 und für das langjährige Mittel [11] [31].....	36
Abbildung 2:	Klimadaten für den Standort HD in den Jahren 2020, 2021, 2022 und für das langjährige Mittel [31] [35] [60] [61].....	39
Abbildung 3:	Parzellendüngerstreuer am Standort TFZ	41
Abbildung 4:	Parzellensämaschine am Standort TFZ bei der Aussaat.....	42
Abbildung 5:	Hackgerät der Firma Rau bei Hackmaßnahmen im Hanf	43
Abbildung 6:	Parzellenmähdrescher am Standort TFZ bei der Körnerhanfernte	43
Abbildung 7:	Feldhäcksler der Firma Kemper am Standort TFZ	44
Abbildung 8:	Grünguternter der Firma Wintersteiger bei der CBD-Ernte am Standort TFZ	44
Abbildung 9:	Faserhanfernte mit Balkenmähdrescher inklusive Auffangwanne am Standort TFZ.....	45
Abbildung 10:	Ernte Körnerhanf – oben links: Parzellenmähdrescher; rechts: Auffangvorrichtung für das Stroh; unten links: Umlagern des Strohs auf die Plane zum Wiegen; rechts: Verwiegen des Strohs mittels Waage am Frontlader.....	46
Abbildung 11:	Faserhanfernte – oben links: Ernte des Faserhanfs mit dem Mähbalken und Auffangwanne; unten links: Faserhanf in Auffangwanne; rechts: Wiegen des Faserhanfs nach der Ernte mithilfe des Frontladers	49
Abbildung 12:	Verlauf der Röste beim Faserhanf – oben links: frisch geschnittener Faserhanf; rechts daneben: Faserhanf nach dem Wenden; unten: fertig gerösteter Faserhanf	50
Abbildung 13:	Schutzmaßnahme der Variante mit Netz im Versuch zur Ermittlung des Ertragsverlusts durch Vogelfraß	56
Abbildung 14:	Bodenfeuchtemessgerät MST 5000 bei der Messung der Bodenfeuchte in einem Faserhanfbestand.....	60
Abbildung 15:	Herkömmliche Schneidmühle (Moulinex), die nach Zerkleinerung des Hanf-Strohs unbrauchbar war	66
Abbildung 16:	Probenmaterial der Ernte 3 am TFZ im Jahr 2020 mit hohem Anteil Körner	67
Abbildung 17:	Vergleich des Extraktionsvermögens unterschiedlicher Lösungsmittel am Beispiel Cannabidiol-Säure	68
Abbildung 18:	Peakflächen von CBD und CBDA bei unterschiedlichen Injektortemperaturen in °C	69
Abbildung 19:	Peakflächen von THC und THCA bei unterschiedlichen Injektortemperaturen in °C	69

Abbildung 20: Entwicklungsverlauf männlicher und weiblicher Pflanzen der Sorte FINOLA im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf am Beispiel des zweiten Aussaattermins des Versuchsjahrs 2020 (AST = Aussaattermin)	73
Abbildung 21: Entwicklungsverlauf der Sorte FINOLA am Beispiel des ersten Aussaattermins unter Einbeziehung der Sonnenscheindauer und des Standorts, für HD keine Daten zur Sonnenscheindauer verfügbar	75
Abbildung 22: Entwicklungsverlauf der zwei Aussaattermine (AST) der Sorte FINOLA im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf am Beispiel der Versuchsjahre 2020 und 2022	76
Abbildung 23: Entwicklungsverlauf der verschiedenen Körnerhanfsorten im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf am Beispiel des Versuchsjahrs 2022	77
Abbildung 24: Entwicklungsverlauf der Faserhanfsorte Futura 75 mit einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160 kg N/ha in den Versuchsjahren 2020 bis 2022; zum Vergleich wurde der Entwicklungsverlauf der Körnerhanfsorte FINOLA des Versuchsjahrs 2020 dargestellt	78
Abbildung 25: Entwicklungsverlauf im Versuch zum Anbau von Hanf als Frühsaat; die rote Linie stellt den GV-Punkt dar	79
Abbildung 26: Wachstumsverlauf männlicher und weiblicher Pflanzen der Sorte FINOLA im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf am Beispiel des zweiten Aussaattermins des Versuchsjahrs 2020 am Standort TFZ (AST = Aussaattermin)	80
Abbildung 27: Wachstumsverlauf der Sorte FINOLA im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf in den Jahren 2020 und 2021 (AST = Aussaattermin)....	82
Abbildung 28: Wachstumsverlauf der Sorte FINOLA im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf im Jahr 2022 (AST = Aussaattermin).....	83
Abbildung 29: Wachstumsverlauf der Sorten FINOLA in Abhängigkeit der verfügbaren Stickstoffmenge im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf am Beispiel des Versuchsjahrs 2020	84
Abbildung 30: Wachstumsverlauf der Sorten FINOLA, Earlina 8 FC und Futura 75 bei einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160 kg N/ha am Beispiel des Versuchsjahrs 2020	85
Abbildung 31: Vergleich der Wachstumsverläufe eines sehr frühen und eines normalen Aussaatzeitpunkts der Sorten FINOLA und Fedora 17	85
Abbildung 32: Feldaufgang und Selbstausdünnung am Standort TFZ im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf in Abhängigkeit von Variante und Jahr	88
Abbildung 33: Feldaufgang und Selbstausdünnung am Standort HD im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf in Abhängigkeit von Variante und Jahr	89
Abbildung 34: Unkraut- und Kulturdeckungsgrad am Standort TFZ vor Unkrautregulierung (UKR), nach UKR und vor der Ernte in Abhängigkeit von Jahr und Variante.....	91

Abbildung 35: Unkraut- und Kulturdeckungsgrad am Standort HD vor Unkrautregulierung (UKR), nach UKR und vor der Ernte in Abhängigkeit von Jahr und Variante	92
Abbildung 36: Trockenmasseertrag mit Trockensubstanzgehalt von Korn und Stroh am Standort TFZ in Abhängigkeit von Jahr und Variante	95
Abbildung 37: Trockenmasseertrag mit Trockensubstanzgehalt von Korn und Stroh am Standort HD in Abhängigkeit von Jahr und Variante	96
Abbildung 38: Oben: Hanfkörner nach der Trocknung; unten links: verunreinigtes Erntegut direkt nach der Ernte; unten rechts: nach der Trocknung ausgekeimte Körner	97
Abbildung 39: N-Zufuhr und N-Abfuhr mit N-Saldo (Wert = Zufuhr – Abfuhr) im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf am Standort TFZ.....	100
Abbildung 40: N-Zufuhr und N-Abfuhr mit N-Saldo (Wert = Zufuhr – Abfuhr) im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf am Standort HD	101
Abbildung 41: Feldaufgang und Selbstausdünnung im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf in Abhängigkeit von Jahr und Stickstoffverfügbarkeit.....	104
Abbildung 42: Unkraut- und Kulturdeckungsgrad vor Reihenschluss und vor der Ernte in Abhängigkeit von Jahr und Stickstoffverfügbarkeit.....	105
Abbildung 43: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt nicht gerösteten und gerösteten Strohs im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf in Abhängigkeit von Jahr und Stickstoffverfügbarkeit.....	107
Abbildung 44: Hanffasern nach mechanischem Faseraufschluss der Stängelabschnitte (links) sowie chemischem Faseraufschluss der verschiedenen Varianten (Mitte), optische Beurteilung der Faserfeinheit (rechts)	108
Abbildung 45: Faserausbeute im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf nach dem mechanischen und chemischen Faseraufschluss in Abhängigkeit von Jahr und Stickstoffverfügbarkeit.....	108
Abbildung 46: Aufnahme der Fasern aus den Röststrohproben der Variante N _{min} (links) und 240 (rechts) im Jahr 2021 unter dem Mikroskop	109
Abbildung 47: Verlauf der Feldröste im Jahr 2022 über fünf Wochen ab Ernte am Beispiel der Varianten a = N _{min} , b = 160 kg N/ha und c = 240 kg N/ha.	109
Abbildung 48: N-Zufuhr und N-Abfuhr mit N-Saldo (Wert = Zufuhr – Abfuhr) im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf	111
Abbildung 49: Feldaufgang und Selbstausdünnung am Standort TFZ im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf in Abhängigkeit von Jahr und Stickstoffverfügbarkeit	115
Abbildung 50: Feldaufgang und Selbstausdünnung am Standort HD im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf in Abhängigkeit von Jahr und Stickstoffverfügbarkeit	116
Abbildung 51: Unkraut- und Kulturdeckungsgrad am Standort TFZ vor Reihenschluss und vor dem ersten Erntetermin in Abhängigkeit von Jahr und Stickstoffverfügbarkeit	118

Abbildung 52: Unkraut- und Kulturdeckungsgrad am Standort TFZ vor dem zweiten und dritten Erntetermin in Abhängigkeit von Jahr und Stickstoffverfügbarkeit	119
Abbildung 53: Unkraut- und Kulturdeckungsgrad am Standort HD vor Reihenschluss und vor dem ersten Erntetermin in Abhängigkeit von Jahr und Stickstoffverfügbarkeit	120
Abbildung 54: Unkraut- und Kulturdeckungsgrad am Standort HD vor dem zweiten und dritten Erntetermin in Abhängigkeit von Jahr und Stickstoffverfügbarkeit	121
Abbildung 55: Trockenmasseertrag von Blütenstand und Stroh im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf am Standort TFZ in Abhängigkeit von Jahr und Vegetationstag bei Ernte in der Variante 160.....	123
Abbildung 56: Trockenmasseertrag von Blütenstand und Stroh im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf am Standort HD in Abhängigkeit von Jahr und Vegetationstag bei Ernte in der Variante 160 (für den Standort HD wird im Jahr 2022 die Variante 200 dargestellt, * verfälschte Ergebnisse durch abweichende Schnitthöhe).....	124
Abbildung 57: Trockenmasseertrag von Blütenstand und Stroh am Standort TFZ in Abhängigkeit von Jahr, Erntetermin und Stickstoffverfügbarkeit	125
Abbildung 58: Trockenmasseertrag von Blütenstand und Stroh am Standort TFZ in Abhängigkeit von Jahr, Erntetermin und Stickstoffverfügbarkeit	126
Abbildung 59: Vergleich der Konzentration des Gesamtgehalts an CBD und THC im extrahierten Material (Blätter, Blüten und Körner der Pflanzenproben) zwischen den Wiederholungen von Erntetermin 1 im Jahr 2020	128
Abbildung 60: Vergleich des Gesamtgehalts an CBD im Probenmaterial im Jahr 2020	129
Abbildung 61: Vergleich des Gesamtgehalts an THC im Probenmaterial im Jahr 2020	129
Abbildung 62: Vergleich der Konzentration des Gesamtgehalts an CBD und THC in Mischproben und Stroh von Erntetermin 3.....	130
Abbildung 63: Vergleich der Konzentration des Gesamtgehalts an CBD und THC im extrahierten Material (Blätter, Blüten und Körner der oberen 30 cm) der Sorten FINOLA und Earlina 8 FC	131
Abbildung 64: Versuch des Mahlens von Hanfstroh mittels Pulverisette 14 mit Vorbehandlung in flüssigem Stickstoff und verschiedenen Geschwindigkeiten (B: 8000 rpm, C: 20 000 rpm)	132
Abbildung 65: Getrocknete Proben in Crisp Bags (A); Schneidwerkzeug (B); Schneidmühle Fritsch SM 100 (C); gemahlene Probenmaterial < 1 mm (D)	132
Abbildung 66: Vergleich des Gesamtgehalts an CBD im Probenmaterial aus dem Jahr 2021	133
Abbildung 67: Vergleich des Gesamtgehalts an THC im Probenmaterial aus dem Jahr 2021	134

Abbildung 68: Vergleich der Gesamtgehalte an CBD und THC in den Proben weiblicher und männlicher Pflanzen sowie ihrer Düngestufen zum ersten Erntezeitpunkt im Jahr 2021	135
Abbildung 69: Vergleich des Gesamtgehalts an CBD im Probenmaterial im Jahr 2022	136
Abbildung 70: Vergleich des Gesamtgehalts an THC im Probenmaterial im Jahr 2022	137
Abbildung 71: N-Zufuhr und N-Abfuhr im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf am Standort TFZ (N-Salden siehe Tabelle 44)	139
Abbildung 72: N-Zufuhr und N-Abfuhr im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf am Standort HD (N-Salden siehe Tabelle 45)	140
Abbildung 73: Feldaufgang und Selbstausdünnung am Standort TFZ im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf in Abhängigkeit von Jahr, Sorte und Stickstoffverfügbarkeit	144
Abbildung 74: Feldaufgang und Selbstausdünnung am Standort HD im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf in Abhängigkeit von Jahr, Sorte und Stickstoffverfügbarkeit	145
Abbildung 75: Unkraut- und Kulturdeckungsgrad am Standort TFZ vor Reihenschluss und Ernte in Abhängigkeit von Jahr, Sorte und Stickstoffverfügbarkeit	147
Abbildung 76: Unkraut- und Kulturdeckungsgrad am Standort HD vor Reihenschluss und Ernte in Abhängigkeit von Jahr und Stickstoffverfügbarkeit der Sorte FINOLA	148
Abbildung 77: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt von Korn und Stroh am Standort TFZ in Abhängigkeit von Jahr, Sorte und Stickstoffverfügbarkeit	150
Abbildung 78: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt von Korn und Stroh am Standort TFZ im Jahr 2021 für den Sortenmix (FINOLA, Earlina 8 FC, Henola) und die Sorten Uso 31 und Fedora 17 in Abhängigkeit der Stickstoffverfügbarkeit	151
Abbildung 79: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt für Korn und Stroh am Standort HD in Abhängigkeit von Jahr und Stickstoffverfügbarkeit für die Sorte FINOLA	153
Abbildung 80: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt für Korn und Stroh am Standort HD im Jahr 2022 in Abhängigkeit von Sorte und Stickstoffverfügbarkeit	153
Abbildung 81: Korngrößenzusammensetzung der geernteten Körner in Abhängigkeit von Sorte und Stickstoffverfügbarkeit am Standort TFZ im Versuchsjahr 2020	160
Abbildung 82: Korngrößenzusammensetzung der geernteten Körner in Abhängigkeit von Sorte und Stickstoffverfügbarkeit am Standort TFZ im Versuchsjahr 2022	161

Abbildung 83: Korngrößenzusammensetzung der geernteten Körner in Abhängigkeit von Sorte und Stickstoffverfügbarkeit am Standort HD im Versuchsjahr 2022	162
Abbildung 84: N-Zufuhr und N-Abfuhr mit N-Saldo (Wert = Zufuhr – Abfuhr) im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf am Standort TFZ im Versuchsjahr 2020	164
Abbildung 85: N-Zufuhr und N-Abfuhr mit N-Saldo (Wert = Zufuhr – Abfuhr) im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf am Standort TFZ im Versuchsjahr 2021	164
Abbildung 86: N-Zufuhr und N-Abfuhr mit N-Saldo (Wert = Zufuhr – Abfuhr) im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf am Standort HD.....	165
Abbildung 87: N-Zufuhr und N-Abfuhr mit N-Saldo (Wert = Zufuhr – Abfuhr) im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf beider Standorte im Versuchsjahr 2022 (N-Salden siehe Tabelle 50 und Tabelle 51).....	166
Abbildung 88: Feldaufgang von Winterhanf des ersten Aussaattermins am 25.08.2021 neben den Parzellen des zweiten Aussaattermins (links) und ungleichmäßiger Bestand am 30.09.2021 (rechts)	168
Abbildung 89: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt von Röststroh im Versuch zum Winterhanfanbau im Versuchsjahr 2021 am Standort HD in Abhängigkeit von Aussaattermin und Sorte	170
Abbildung 90: Auftrennung der Winterhanfstängel in Fasern und den holzigen Teil ohne Brechen	171
Abbildung 91: Faserausbeute im Versuch zu Winterhanf nach dem mechanischen und chemischen Faseraufschluss in Abhängigkeit der Sorte und des Aussaattermins	172
Abbildung 92: Schlechter Feldaufgang (links) und starker Unkrautdruck (rechts) im Versuch zu Körnerhanf in Zweitfruchtstellung im Versuchsjahr 2020 ..	174
Abbildung 93: Feldaufgang am 10.08.2021 (links) und Bestand im BBCH-Stadium 14 am 25.08.2021 (rechts) des Versuchs zu Körnerhanf in Zweitfruchtstellung im Versuchsjahr 2021	175
Abbildung 94: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt im Versuch zur Ermittlung des Ertragsverlusts durch Vogelfraß in Abhängigkeit der Variante (mit Netz bzw. ohne Netz)	177

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Anbauhinweise der Nutzungsrichtungen Körner-, Faser- und CBD-Hanf (verändert nach Schöberl, 2020 [81])	27
Tabelle 2:	Monatswerte der Wärmesumme und Summe der Globalstrahlung von April bis August in den Jahren 2020 und 2022 am Versuchsstandort TFZ, Datengrundlage: BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL) [11], Station Straubing_TFZ	37
Tabelle 3:	Wärmesumme und Summe der Globalstrahlung der Monate April bis August in den Jahren 2020 bis 2022 am Versuchsstandort HD, Datengrundlage: LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN, Station Haus Düsse [35] [60] [61]	38
Tabelle 4:	Übersicht der Versuche im Projekt OptiHemp	40
Tabelle 5:	Eckdaten des Versuchs zur Produktionstechnik im Körnerhanf	47
Tabelle 6:	N _{min} -Werte vor Aussaat inklusive der verfügbaren Stickstoffmenge der einzelnen Varianten in den Versuchsjahren 2020 bis 2022	48
Tabelle 7:	Eckdaten des Versuchs zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf	51
Tabelle 8:	Eckdaten des Versuchs zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf	52
Tabelle 9:	Eckdaten des Versuchs zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf	53
Tabelle 10:	Eckdaten des Versuchs zum Winterhanfanbau	54
Tabelle 11:	Eckdaten des Versuchs zu Körnerhanf in Zweitfruchtstellung	55
Tabelle 12:	BBCH-Skala Nutzhanf; angelehnt an MEDIAVILLA et al. [67] und MEIER et al. [72]	62
Tabelle 13:	Analyseparameter und Methodik der Bodenuntersuchungen [34] [89] [90]	64
Tabelle 14:	Übersicht der Bodenproben in den einzelnen Versuchen am Standort TFZ; BP – Bodenprobe, 1mUKR bzw. 2mUKR – erster bzw. zweiter Termin nach mechanischer Unkrautregulierung	65
Tabelle 15:	Analyseparameter und Methodik der Körner-Analysen [13] [78]	70
Tabelle 16:	Analyseparameter und Methodik Pflanzenanalysen [32] [89]	71
Tabelle 17:	Durchschnittliche Pflanzenhöhe im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf (AST = Aussattermin)	87
Tabelle 18:	Rohfettgehalte im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf in Abhängigkeit des Aussattermins (AST) und der Variante	98
Tabelle 19:	Durchschnittliche Pflanzenhöhe und Stängeldurchmesser vor Ernte im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf	103
Tabelle 20:	Durchschnittliche Pflanzenhöhe im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf	113
Tabelle 21:	Probenbenennung	127

Tabelle 22:	Durchschnittliche Pflanzenhöhe im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf.....	142
Tabelle 23:	Trockenmassekornenertrag an den Standorten Rhede und Versmold im Jahr 2022.....	154
Tabelle 24:	Gehalte an Cannabinoiden (Δ^9 -THC, THCA, CBD, CBDA) in den Körnern bei einer Stickstoffversorgung von 160 kg N/ha an den Standorten TFZ und HD bzw. 240 kg N/ha im Jahr 2022 am Standort HD	156
Tabelle 25:	Rohfettgehalt im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf	158
Tabelle 26:	Ergebnisse der Weender Analyse ausgewählter Varianten und Jahre	159
Tabelle 27:	Pflanzenhöhe vor Ernte im Versuch zum Winterhanfanbau am Standort HD	169
Tabelle 28:	Rohfettgehalt im Versuch zur Ermittlung des Ertragsverlusts durch Vogelfraß	178
Tabelle 29:	Termine für die Bestimmung des UDG, KDG und GDG in den Versuchsjahren 2020 bis 2022; AST – Aussattermin, n. e. – nicht erfasst, (v) – vor Hackmaßnahme, (n) – nach Hackmaßnahme.....	193
Tabelle 30:	Mittelwerte (n = 4) und Standardabweichung der Trockenmasseerträge (TM/ha) und Trockensubstanzgehalte (TS) der Korn- und Stroherträge im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf am Standort TFZ	194
Tabelle 31:	Mittelwerte (n = 4) und Standardabweichung der Trockenmasseerträge (TM/ha) und Trockensubstanzgehalte (TS) der Korn- und Stroherträge im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf am Standort HD.....	194
Tabelle 32:	Mittelwerte (n = 4) der Bestandsdichte zu Vegetationsbeginn (BD1) und Vegetationsende (BD2), Feldaufgang (FA), Selbstausdünnung (SA) und Pflanzenhöhe bei Ernte (HöheE) im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf am Standort TFZ.....	195
Tabelle 33:	Mittelwerte (n = 4) der Bestandsdichte zu Vegetationsbeginn (BD1) und Vegetationsende (BD2), Feldaufgang (FA), Selbstausdünnung (SA) und Pflanzenhöhe bei Ernte (HöheE) im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf am Standort HD	196
Tabelle 34:	Gehalte an Cannabinoiden (Δ^9 -THC, THCA, CBD, CBDA) in den Körnern bei einer Stickstoffversorgung von 120 kg N/ha am Standort TFZ und HD im Versuch zur Produktionstechnik.....	196
Tabelle 35:	Datengrundlage Stickstoffbilanz inklusive Stickstoffentzugs Stroh (N-Entzug Stroh), Stickstoffentzugs Korn (N-Entzug Korn), Stickstoffzufuhr (N-Zufuhr), verfügbarer Stickstoffmenge vor Aussaat (N_{\min} vor Aussaat) und nach Ernte (N_{\min} nach Ernte) zur Ermittlung der N-Bilanz im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf am Standort TFZ	198
Tabelle 36:	Datengrundlage Stickstoffbilanz inklusive Stickstoffentzugs Stroh (N-Entzug Stroh), Stickstoffentzugs Korn (N-Entzug Korn), verfügbarer Stickstoffmenge vor Aussaat (N_{\min} vor Aussaat) und nach Ernte (N_{\min} nach Ernte) zur Ermittlung der N-Bilanz im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf am Standort HD.....	198

Tabelle 37: Mittelwerte (n = 4) und Standardabweichung der Trockenmasseerträge (TM/ha) und Trockensubstanzgehalte (TS) der Stroh- und Röststroherträge im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf am Standort TFZ.....199

Tabelle 38: Mittelwerte (n = 4) der Bestandsdichte zu Vegetationsbeginn (BD1) und Vegetationsende (BD2), Feldaufgang (FA), Selbstaussdünnung (SA) und Pflanzenhöhe bei Ernte (HöheE) im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf am Standort TFZ200

Tabelle 39: Datengrundlage Stickstoffbilanz inklusive Stickstoffentzugs Stroh (N-Entzug Stroh), Stickstoffentzugs Röststroh (N-Entzug RStroh), verfügbarer Stickstoffmenge vor Aussaat (N_{min} vor Aussaat) und nach Ernte (N_{min} nach Ernte) zur Ermittlung der N-Bilanz im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf am Standort TFZ200

Tabelle 40: Mittelwerte (n = 4) und Standardabweichung der Trockenmasseerträge (TM/ha) und Trockensubstanzgehalte (TS) der Korn- und Stroherträge im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf am Standort TFZ201

Tabelle 41: Mittelwerte (n = 4) und Standardabweichung der Trockenmasseerträge (TM/ha) und Trockensubstanzgehalte (TS) der Korn- und Stroherträge im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf am Standort HD.....202

Tabelle 42: Mittelwerte (n = 4) der Bestandsdichte zu Vegetationsbeginn (BD1) und Vegetationsende (BD2), Feldaufgang (FA), Selbstaussdünnung (SA) und Pflanzenhöhe bei Ernte (HöheE) im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf am Standort TFZ.....203

Tabelle 43: Mittelwerte (n = 4) der Bestandsdichte zu Vegetationsbeginn (BD1) und Vegetationsende (BD2), Feldaufgang (FA), Selbstaussdünnung (SA) und Pflanzenhöhe bei Ernte (HöheE) im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf am Standort HD204

Tabelle 44: Datengrundlage Stickstoffbilanz inklusive Stickstoffentzugs Stroh (N-Entzug Stroh), Stickstoffentzugs Korn (N-Entzug Korn), Stickstoffzufuhr (N-Zufuhr), verfügbarer Stickstoffmenge vor Aussaat (N_{min} vor Aussaat) und nach Ernte (N_{min} nach Ernte) zur Ermittlung der N-Bilanz im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf am Standort TFZ205

Tabelle 45: Datengrundlage Stickstoffbilanz inklusive Stickstoffentzugs Stroh (N-Entzug Stroh), Stickstoffentzugs Korn (N-Entzug Korn), Stickstoffzufuhr (N-Zufuhr), verfügbarer Stickstoffmenge vor Aussaat (N_{min} vor Aussaat) und nach Ernte (N_{min} nach Ernte) zur Ermittlung der N-Bilanz im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf am Standort HD.....206

Tabelle 46: Mittelwerte (n = 4) und Standardabweichung der Trockenmasseerträge (TM/ha) und Trockensubstanzgehalte (TS) der Korn- und Stroherträge im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf am Standort TFZ.....207

Tabelle 47: Mittelwerte (n = 4) und Standardabweichung der Trockenmasseerträge (TM/ha) und Trockensubstanzgehalte (TS) der Korn- und Stroherträge im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf am Standort HD208

Tabelle 48: Mittelwerte (n = 4) der Bestandsdichte zu Vegetationsbeginn (BD1) und Vegetationsende (BD2), Feldaufgang (FA), Selbstaussdünnung (SA) und

	Pflanzenhöhe bei Ernte (HöheE) im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf am Standort TFZ.....	209
Tabelle 49:	Mittelwerte (n = 4) der Bestandsdichte zu Vegetationsbeginn (BD1) und Vegetationsende (BD2), Feldaufgang (FA), Selbstausdünnung (SA) und Pflanzenhöhe bei Ernte (HöheE) im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf am Standort HD	210
Tabelle 50:	Datengrundlage Stickstoffbilanz inklusive Stickstoffentzugs Stroh (N-Entzug Stroh), Stickstoffentzugs Korn (N-Entzug Korn), Stickstoffzufuhr (N-Zufuhr), verfügbarer Stickstoffmenge vor Aussaat (N_{\min} vor Aussaat) und nach Ernte (N_{\min} nach Ernte) zur Ermittlung der N-Bilanz im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf am Standort TFZ	211
Tabelle 51:	Datengrundlage Stickstoffbilanz inklusive Stickstoffentzugs Stroh (N-Entzug Stroh), Stickstoffentzugs Korn (N-Entzug Korn), Stickstoffzufuhr (N-Zufuhr), verfügbarer Stickstoffmenge vor Aussaat (N_{\min} vor Aussaat) und nach Ernte (N_{\min} nach Ernte) zur Ermittlung der N-Bilanz im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf am Standort HD.....	212
Tabelle 52:	Mittelwerte (n = 4) und Standardabweichung der Trockenmasseerträge (TM/ha) und Trockensubstanzgehalte (TS) der Korn- und Stroherträge im Versuch zum Winterhanfanbau am Standort HD	213
Tabelle 53:	Mittelwerte (n = 4) und Standardabweichung der Trockenmasseerträge (TM/ha) und Trockensubstanzgehalte (TS) der Korn- und Stroherträge im Versuch zur Ermittlung des Ertragsverlustes durch Vogelfraß am Standort TFZ.....	213
Tabelle 54:	Mittelwerte (n [ohne Netz] = 3; n [mit Netz] = 1) der Bestandsdichte zu Vegetationsbeginn (BD1) und Vegetationsende (BD2), Feldaufgang (FA), Selbstausdünnung (SA) und Pflanzenhöhe bei Ernte (HöheE) im Versuch zur Ermittlung des Ertragsverlustes durch Vogelfraß am Standort TFZ .	214
Tabelle 55:	Mittelwerte (n = 4) und Standardabweichung der Trockenmasseerträge (TM/ha) und Trockensubstanzgehalte (TS) der Korn- und Stroherträge im Versuch zum Anbau von Hanf als Fröhsaat am Standort TFZ.....	214
Tabelle 56:	Mittelwerte (n = 4) der Bestandsdichte zu Vegetationsbeginn (BD1) und Vegetationsende (BD2), Feldaufgang (FA), Selbstausdünnung (SA) und Pflanzenhöhe bei Ernte (HöheE) im Versuch zum Anbau von Hanf als Fröhsaat am Standort TFZ	214
Tabelle 57:	Nährstoffgehalte vor der Aussaat an den beiden Versuchsstandorten TFZ und HD im Jahr 2021	215

1 Einleitung

Sich ändernde klimatische Bedingungen wie Wetterextreme lassen im landwirtschaftlichen Bereich Stimmen nach wirtschaftlichen Alternativkulturen, die auch auf Böden mit geringerer Fruchtbarkeit angebaut werden können, laut werden. Gesucht sind insbesondere Kulturen, die eine Möglichkeit regionaler Wertschöpfung durch lokale Verarbeitung bieten.

Nutzhanf, auch Kultur- oder Industriehanf genannt, ist eine einjährige Pflanze aus der Familie der Hanfgewächse, zu denen unter anderem auch der Hopfen gehört. Die ursprünglich aus Zentralasien stammende Pflanze zählt zu den ältesten und vielseitigsten Nutzpflanzen der Menschheit und wurde deshalb in der Vergangenheit in fast allen europäischen Ländern kultiviert. Der ab dem 19. Jahrhundert an Bedeutung verlierende Nutzhanf erlebt momentan einen Aufschwung als wiederentdeckte Kulturpflanze. In Deutschland spiegelt sich das wiedererwachte Interesse an der vergleichsweise robusten Kultur durch stetig zunehmende Anbauflächen wider.

In der Vergangenheit wurde Nutzhanf insbesondere als Faserpflanze zur Herstellung von Textilien und Seilen verwendet. Heutzutage werden die Bastfasern und Schäben (die holzigen Teile) des Stängels zudem noch als Industrierwerkstoff in der Zellstoff- und Papierindustrie sowie als Baumaterial genutzt. Die ernährungsphysiologisch wertvollen Samen (geschält oder ungeschält, gepresst als Hanföl und Presskuchen bzw. Hanfmehl) werden hauptsächlich im Lebensmittel- und Futtermittelbereich vermarktet. Die Blüten und Blätter von Nutzhanf werden als Nahrungsergänzungs- und Lebensmittel sowie zu medizinischen Zwecken genutzt.

Auch wenn die Anbaufläche von Hanf als Rohstoffpflanze in Bayern bisher noch sehr gering ist, steigt das Interesse an der Kultur stetig. Insbesondere der geringe Bewirtschaftungsaufwand macht die Pflanze als alternative Frucht für die Pflanzenproduktion für Landwirte interessant. Zunehmende Anbauflächen, das Hinzukommen neuer Nutzungsrichtungen sowie Fruchtfolgestellungen stellen allerdings neue Herausforderungen für Produktions- und Erntetechnik sowie nötige Qualitäten dar.

Große Unklarheit besteht auch bezüglich der rechtlichen Situation zum Anbau der Kultur. Das Technologie- und Förderzentrum berät jährlich Landwirte und Berater zur Durchführung des Hanfanbaus und zu den damit verbundenen Meldungs- und Nachweispflichten. Die bisher von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) und dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) bereitgestellten Informationen scheinen für die Klärung der Anforderungen in der landwirtschaftlichen Praxis nicht auszureichen.

Mit den erweiterten Erkenntnissen aus dem aktuellen Projekt zur Verwertung und Anbauoptimierung von Hanf als nachwachsender Rohstoff (OptiHemp) soll die Basis für die Anbauberatung ausgebaut und gefestigt werden. Der vorliegende Bericht enthält die gesammelten Ergebnisse der Versuchsjahre 2020 bis 2022.

2 Stand des Wissens

2.1 Allgemeine Informationen

Hanf oder auch Nutzhanf (*Cannabis sativa* L.) genannt gehört zur Familie der Hanfgewächse (*Cannabaceae*). Es handelt sich um eine einjährige und ursprünglich diözische (zweihäusige) Pflanze, die zu den krautigen, dikotylen Ackerpflanzen zählt und ihren Ursprung in Zentralasien hat [44]. Nutzhanf wird anhand geografischer Formenkreise in die Rassen nördlicher Hanf (*borealis* Serebr.), mittelrussischer Hanf (*prol. medioruthenica* Serebr.), südlicher (mediterraner) Hanf (*prol. australis* Serebr.) und asiatischer Hanf (*prol. asiatica* Serebr.) aufgeteilt.

Aufgrund der vielseitigen Nutzungsmöglichkeiten wurde Hanf über viele Jahrhunderte hinweg als Rohstoffpflanze kultiviert und zählt daher zu den ältesten Nutzpflanzen der Menschheit. In der Vergangenheit wurde Hanf insbesondere wegen seiner guten Eignung als Faserpflanze geschätzt. Die Faser mit hoher Reiß- und Wetterfestigkeit eignete sich besonders für die Verarbeitung zu Seilen, Textilien und Papier [14]. Im Zeitalter der industriellen Revolution verlor der Hanf allerdings aufgrund des Fortschritts in Schifffahrt, Textil- und Papierindustrie an Bedeutung [16] [55]. Dies führte dazu, dass Hanf als Rohstoff für Naturfaser zu teuer wurde. Hinzu kam, dass die Pflanze aufgrund des Cannabinoids Delta-9-Tetrahydrocannabinol, kurz THC, zunehmend als Drogenpflanze in Verruf geriet und in vielen Ländern für illegal erklärt und somit der Anbau verboten wurde [91]. Heutzutage steigt das Interesse an der Multi-Purpose-Pflanze durch das wachsende Umweltbewusstsein der Bevölkerung und sich ändernde klimatische Bedingungen.

Das Wurzelsystem der Pflanze besteht aus einer gut entwickelten Primärwurzel und zahlreichen Seitenwurzeln. Dabei kann die Hauptwurzel Längen von 2 bis 2,5 m erreichen, wobei die Hauptwurzelmasse in einer Tiefe von 40 bis 60 cm zu finden ist. Aufgrund seines Wurzelsystems ist der Hanf in der Lage, auch Nährstoffe in tieferen Bodenschichten zu erreichen [14] [56] [66]. Hanf kann eine Wuchshöhe von 1 bis 4 m mit einem Stängeldurchmesser von 6 bis 20 mm erreichen. Die Blätter der Pflanze setzen sich aus mehreren, voneinander getrennten Teilblättern zusammen. Diese bilden die für Hanf typische fingerförmige, gefiederte Blattform [14].

Ursprünglich handelt es sich bei Hanf um eine zweihäusige Pflanze. Das bedeutet, dass männliche und weibliche Blüten an unterschiedlichen Pflanzen lokalisiert sind. Die Blüten der Hanfpflanze befinden sich im oberen Pflanzendrittel. Die männlichen Blüten sitzen meist in lockeren Rispen, wohingegen die weiblichen Blüten kompakter und blattreicher stehen. Da sich männliche und weibliche Pflanzen bei zweihäusigen Sorten morphologisch stark unterscheiden, wird bei Hanf von einem ausgeprägten Geschlechtsdimorphismus gesprochen [16]. Männliche Individuen werden auch als Femelhanf und weibliche Individuen als Hanfhenne bezeichnet. Männlichen Individuen sind anhand des deutlich höheren Wachstums zum Zeitpunkt der Blüte von den weiblichen Individuen zu unterscheiden. Außerdem unterscheiden sie sich durch ein schnelleres Biomassewachstum, einen früheren Blütezeitpunkt und somit eine verkürzte Vegetationsperiode von den weiblichen Pflanzen [14] [27]. Aus der ursprünglich zweihäusigen Pflanze konnten durch züchterische

Anstrengungen einhäusige Hanfsorten entwickelt werden. Einhäusig bedeutet, dass sowohl weibliche als auch männliche Blüten auf derselben Pflanze lokalisiert sind. Vorteile dieser einhäusigen Sorten sind nicht nur die gleichmäßigere Abreife der Bestände [51], sondern auch ein höherer Kornertag, da alle Pflanzen weibliches Verhalten zeigen [14] [44]. Bei einhäusigen Pflanzen sitzt die weibliche Blüte zumeist an den Spitzen der leicht verzweigten Seitentriebe, die männlichen Blüten vorwiegend an der Basis oder vereinzelt in den Blattachsen. Einhäusige Bestände weisen allerdings noch eine große Inhomogenität auf, daher sind die Blüten bei manchen Individuen auch an anderen Stellen zu finden. Die Bestäubung des Hanfs erfolgt über den Wind (Anemogamie), wobei die Pollen Distanzen von bis zu 12 km zurücklegen können [27] [44].

2.2 Hanfanbau

Hanf zählt zu den quantitativen Kurztagpflanzen. Das heißt, der Übergang von vegetativer zu generativer Phase wird, bei den meisten Sorten, durch das Unterschreiten einer bestimmten Tageslänge (kritische Tageslänge) eingeleitet. Die kritische Tageslänge verschiedener Hanfsorten hängt stark vom ursprünglichen Breitengrad der Sorte ab [27]. So werden Sorten, die aus nördlichen Regionen stammen, früher blühen, wenn sie in südlicheren Regionen angebaut werden [14].

Allgemein ist Hanf eine sehr widerstandsfähige Pflanze, die unter fast allen Bedingungen wachsen kann. Hanf bevorzugt jedoch tiefgründige, humose Böden mit guter Wasserversorgung [16]. Er ist sehr empfindlich gegenüber Bodenverdichtung sowie nährstoffarmen und flachgründige Sandböden. Schwere Ton- und Pseudogleyböden mit hohem Risiko zur temporären oder dauerhaften Verdichtung sind ebenfalls ungeeignet [14] [16] [79]. Der pH-Wert des Bodens sollte über 5,8 liegen. Optimal sind Böden mit einem pH-Wert zwischen 5,8 und 6 [14] [62].

Da Hanf nur mit Hopfen verwandt ist, kann er sehr flexibel in die Fruchtfolge eingebaut werden [14] [16]. Zudem lockert er einseitig auf Winterungen basierende Fruchtfolgen auf. Der Vorfruchtwert von Hanf ist gut, da er den Acker dank seiner raschen Jugendentwicklung und hohen Biomasseproduktion in nahezu unkrautfreiem Zustand hinterlässt [14] [66]. Im ökologischen Landbau wird er oft nach Leguminosen und vor Weizen angebaut [29].

In unseren Breitengraden wird Hanf von Ende März bis Ende Mai gesät. Für die Aussaat sollte die Bodentemperatur bei 5 bis 10 °C liegen [14]. Auch sollte bei der Wahl des Aussattermins beachtet werden, dass der Hanf bis zum Fünflblattstadium gegenüber Temperaturen von weniger als -5 °C empfindlich ist [14] [16]. Bei der Saattiefe ist zu beachten, dass eine zu tiefe Ablage zu einem lückigen Feldaufgang führt, jedoch bei zu seichter Ablage die Gefahr von Vogelfraß oder Austrocknung des Saatkorns besteht. Daher wird eine Tiefe von 3 bis 4 cm empfohlen [12]. Aussaatmenge und Reihenweite hängen stark von der angestrebten Nutzung ab. Allgemein kann allerdings gesagt werden, dass hohe Aussaatmengen zu schnellerer Unkrautunterdrückung führen, und hohe Erträge auch mit niedrigen Aussaatmengen erreicht werden können [95]. Bei Reihenabständen über 30 cm

wird, aufgrund des späten Reihenschlusses, eine mechanische Unkrautregulierung mit der Hacke empfohlen [77]. Weitere Informationen zur Aussaat und zur Sortenwahl der einzelnen Nutzungsrichtungen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Sowohl eine organische als auch eine mineralische Düngung ist möglich. Die mineralische Düngung kann vor, zur sowie nach der Aussaat erfolgen [12] [79]. Die organische Düngung sollte im Frühjahr vor der Aussaat stattfinden [12] [79] [81]. Nähere Informationen zu den Stickstoffbedarfswerten der einzelnen Nutzungsrichtungen sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Bei richtiger Bestandsführung sind Pflanzenschutzmittel nicht erforderlich. Für Deutschland sind bisher keine Pflanzenschutzmittel für Nutzhanf zugelassen. Bei der Unkrautregulierung ist zu beachten, dass den Pflanzen durch eine optimale Aussaat günstige Startbedingungen für eine rasche Jugendentwicklung bereitgestellt werden. Wenn dies gegeben ist, kann der Hanf auch mit Problemunkräutern wie Quecken und Disteln konkurrieren, was insbesondere für den ökologischen Landbau interessant ist [66].

Der Erntetermin ist stark von der Nutzungsrichtung abhängig. Generell wird entweder zur Samenreife, Vollblüte oder zum Ende der Blüte/Anfang der Samenreife geerntet. Die Samenreife ist am „Rascheln“ der Samen in der Samenhülle erkennbar, der Stängel ist hier noch grün. Dieses Stadium entspricht einer Samenreife von ca. 70 %. Die Ernte zur Vollblüte erfolgt insbesondere, wenn feine Fasern gewünscht sind. Dieses Stadium liegt vor, wenn ca. 20 % der männlichen Staubbeutel geöffnet sind [14]. Für technische Fasern wird der Hanf Ende Blüte/Anfang Samenreife geerntet. Dieses Stadium ist ca. vier Wochen nach Beginn der Blüte erreicht, zu diesem Zeitpunkt hat die Pflanze bereits erste Samen angesetzt [14]. Für die Ernte wird hauptsächlich in Körner-, Faser- und CBD-Nutzung unterschieden, wobei die Ernte der Faser noch einmal in Ernte für die Langfasergewinnung und Ernte für technische Fasern differenziert wird. Bei der Langfaserernte ist die Parallelage der Faser qualitätsbestimmend. Bei der Fasernutzung im technischen Bereich ist diese nicht entscheidend, hier ist eine Einkürzung des Stängels charakteristisch. Generell besteht die Ernte für die Fasernutzung aus den Arbeitsschritten Mähen/Schneiden, Rösten des Hanfstrohs und dem anschließenden Pressen zu Ballen. Bei der Körnernernte liegt das Hauptaugenmerk auf dem Korn, dieses wird durch herkömmliche Druschverfahren gewonnen. Bei der CBD-Nutzung wird das obere Drittel der Pflanzen geerntet und getrocknet. Die Trennung von Stängel- und Blütenmaterial geschieht je nach Erntetechnik entweder direkt im Feld oder in einem zweiten Schritt nach der Ernte. Geerntet wird je nach Nutzungsrichtung mit einem Mähdrescher bzw. modifizierten Mähdrescher, verschiedenen Spezialmaschinen und Ballenpressen. Beim Dreschen der Pflanzen für die Körnernernte kann vor allem hochwüchsiger Hanf zu Problemen bei der Ernte führen. Denn je höher die Pflanze ist, umso mehr Biomasse/faseriges Material muss durch den Mähdrescher, was zu einer Limitierung der Druschleistung führt [14]. Darüber hinaus kann das faserige, langstrohige Material eine große Herausforderung für die rotierenden Drusch- und Reinigungselemente der Maschine darstellen [81]. Schüttler eignen sich hier besser als Rotordrescher, Hybridmähdrescher sind nur bedingt geeignet. Modifizierte Mähdrescher besitzen, ähnlich wie beim Rapsschneidwerk, einen verlängerten Tisch. Zusätzlich kann bei modifizierten Mähdreschern das Schneidwerk auf einer höheren Schnitthöhe gefahren werden und der Durchmesser der Dreschtrommel ist größer. Wichtig für das

Schneiden der Pflanzen sind sehr scharfe Messer im Mähwerk, da nur so Ernteverluste vorgebeugt werden kann [14] [81].

Bei der Ernte für die Fasernutzung kommen Maschinen wie das System „HempCut“ mit reihenunabhängigem Kemper-Mähvorsatz, bei dem das Häckseltrommelaggregat aus nur einer Messereinheit besteht, oder das Erntesystem „Tebeco“, bei dem die Einkürzung des Stängels über das Scherenschnittprinzip mit einem dreistufigem Doppelfingerschneidwerk erfolgt, zum Einsatz [43] [42]. Nach der Röste der Pflanzen folgt das Pressen des Röststrohs mit der Ballenpresse zu Ballen. Weitere Informationen zu Erntetermin und Erntetechnik sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Aktuell sind Erntesysteme und Produktionswege im Aufbau, die die Stängel ohne Einkürzung ernten und weiterverarbeiten. Von großer Bedeutung ist dabei die Parallellage der Stängel. Ziel ist es, eine möglichst hohe Faserqualität für die Textilnutzung zu erreichen. Ob sich die Systeme etablieren, gilt abzuwarten.

Für die weitere Verarbeitung der Faser ist insbesondere die Röste ein qualitätsbestimmender Faktor. Während der Röste werden die Kittsubstanzen (Pektine, Lignin) zwischen Faser und Stängel abgebaut und die Faser so für die weitere Verarbeitung freigelegt. Diese Aufgabe wird vorwiegend von Mikroorganismen, Bakterien und Pilzen übernommen. In Deutschland wird vor allem die Feld-/Tauröste angewandt [62]. Das gemähte Hanfstroh wird nach der Ernte auf dem Feld belassen und der Witterung ausgesetzt. Abhängig von dem gewünschten Röstgrad und den Witterungsverhältnissen kann dieser Prozess unterschiedlich lange dauern. So werden im September für die Erreichung eines leichten Röstgrads in der Regel zwei Regentage und Temperaturen über 15 °C empfohlen. Soll ein höherer Röstgrad erreicht werden, werden sieben bis acht Regentage bei Temperaturen über 15 °C empfohlen. Bei geringeren Temperaturen erhöht sich die Anzahl der erforderlichen Regentage. So werden im Oktober bei Temperaturen zwischen 8 und 12 °C Röstzeiten von 15 bis 19 Regentage empfohlen [45].

Tabelle 1: Anbauhinweise der Nutzungsrichtungen Körner-, Faser- und CBD-Hanf (verändert nach Schöberl, 2020 [81])

Maßnahmen	Körnerhanf	Faserhanf	CBD-Hanf
Sortenwahl			
Kriterien	Kornertrag Vegetationsperiode Wuchshöhe	Fasergehalt Strohertrag	Blütenertrag CBD-Gehalt
Aussaat			
Aussaatdichte	80–100 kf Kö/m ² [95]	200–300 kf Kö/m ² [9] [16]	150–250 kf Kö/m ² [95]
Aussaatmenge	5–30 kg/ha [3] [92] [95]	60–80 kg/ha [9] [14]	35–45 kg/ha [95]
Reihenweite	25–30 cm [14]	12–20 cm [14]	20–40 cm [95]
Technik	Getreidedrille, nur jede zweite Säeinheit offen Einzelkorn, nicht bei kleinkörnigen Sorten mit TKM (Tausendkornmasse) < 12 g	Getreidedrille	Getreidedrille
Düngung			
Stickstoffbedarfswert	160 kg/ha für Hanf als Faserpflanze, für Körnerhanf liegt kein gesonderter Bedarfs-wert vor [1] [93]	160 kg/ha bei einer Ertragserwartung von 150 dt/ha [10] [93]	160 kg/ha für Hanf als Faserpflanze, für CBD-Hanf liegt kein gesonderter Bedarfs-wert vor [10] [93]
Ernte			
Termin	Samenreife	Vollblüte Ende Blüte/Anfang Samenreife	Blüte
Technik	Mähdrescher modifizierter Mähdre-scher	Mähwerk Spezialmaschinen Ballenpresse	Grünguternter Spezialmaschinen (z. B. Henry's Hemp Harvester [57])

2.3 Rechtliche Hinweise und Meldeverfahren Hanfanbau

Nach dem Anbauverbot zwischen 1982 und 1995 ist der Anbau von Nutzhanf seit 1996 in Deutschland unter bestimmten Voraussetzungen wieder erlaubt [7]. Gesetzliche Grundlage für diese Entwicklung bildet die Änderung des Betäubungsmittelschutzgesetzes, in dem der Begriff Nutzhanf gesetzlich definiert und vom Betäubungsmittelschutzgesetz ausgenommen wird.

Die folgenden Informationen und rechtlichen Hinweise wurden den „Informationen zum Anbau von Nutzhanf gemäß Betäubungsmittelgesetz“ [18] der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung [7] sowie dem „Merkblatt Anbau von Hanf“ des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten [83] entnommen und vereinfacht zusammengefasst:

- Anbau von Nutzhanf ist **nur landwirtschaftlichen Unternehmen gestattet** (Landwirt muss bei einer landwirtschaftlichen Alterskasse versichert oder von der Versicherungspflicht befreit sein).
- **Andere Unternehmen** (z. B. Forstwirtschaft, Garten- und Weinbau) **sowie Privatpersonen**, die Landwirtschaft nicht als Beruf oder selbstständig ausüben, dürfen **keinen** Nutzhanf anbauen.
- Anbau ist streng **auf die landwirtschaftliche Fläche beschränkt**, Anbau im Gewächshaus/unter Dach/als Zierpflanze strengstens verboten.
- Als Nutzhanf dürfen **nur die im „Gemeinsamen Sortenkatalog für landwirtschaftliche Pflanzenarten“ gelisteten Sorten** angebaut werden (Veröffentlichung durch die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung [BLE] am 15. März des Anbaujahrs).
- **Meldung des Nutzhanfanbaus** erfolgt über Mehrfachantrag an das zuständige Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AELF) **bis 15. Mai des Anbaujahrs** („Erklärung über Aussaatflächen“ und Originaletiketten des verwendeten zertifizierten Saatguts müssen der Meldung beigelegt werden).
- Zusätzlich erfolgt die Meldung des Nutzhanfanbaus mittels Anbauanzeige an die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) **bis 1. Juli des Anbaujahrs** (in dreifacher Ausfertigung).
- **Meldung des Blühbeginns** an die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) zur Kontrolle des THC-Gehalts (THC = Tetrahydrocannabinol; dient der Kontrolle, ob angebaute Sorten den Grenzwert von < 0,3 % THC einhalten und auch im Folgenden wieder angebaut werden dürfen).
- Unter normalen Wachstumsbedingungen ist Nutzhanf bis mindestens zehn Tage nach dem Ende der Blüte weiterzupflegen.
- Beerntung darf erst begonnen werden, wenn die Freigabe der BLE erhalten oder die Kontrolle und die Probenahme auf der Fläche tatsächlich durchgeführt worden ist.

Für die Vermarktung der Ernteprodukte ist ein Δ^9 -THC-Grenzwert von 3,0 mg/kg in den Hanfkörnern und 7,5 mg/kg im Hanfsamenöl zu beachten. Diese wurden von der Europäischen Kommission in der Verordnung (EU) 2022/1393 vom 11. August 2022 festgelegt und gelten ab dem 01.01.2023 [36]. Der Grenzwert beschreibt die Summe aus dem psychotropen Δ^9 -THC und der Δ^9 -THC-Säure, die mit dem Faktor 0,877 multipliziert wird. Eine Messunsicherheit von 40 % ist dabei zu berücksichtigen.

2.4 Nutzungsmöglichkeiten

Im Zuge der Wiederentdeckung und der damit einhergehenden Aufhebung der Anbauverbote in Europa wurden neben den bereits bestehenden weitere neue Verwertungsmöglichkeiten für Nutzhanf entwickelt. Heutzutage werden hauptsächlich die Fasern und Schäben, Samen sowie Blüten und Blätter verwertet [81].

2.4.1 Fasern und Schäben

Früher wurden die Fasern der Hanfpflanze insbesondere zur Herstellung von Bekleidung, Segeltüchern und Seilen genutzt. Heutzutage finden die Fasern der Hanfpflanze unter anderem Anwendung in Spezialzellstoffen und Papier, im Bausektor (z. B. als Dämmstoffe) sowie in Bioverbundwerkstoffen, wie naturfaserverstärkten Kunststoffen (NFK) [25] [81].

Spezialzellstoffe und Papiere aus Hanffaser weisen eine höhere Zug-, Reiß- und Nassfestigkeit auf als aus Holzfasern hergestellte Zellstoffe. Trotz der höheren Preise der aus Hanffaser hergestellten Produkte existiert dafür ein stabiler Markt.

NFK bieten aufgrund ihrer Eigenschaften verschiedene mechanische Vorteile, unter anderem ein geringeres Gewicht, eine höhere Temperaturbeständigkeit sowie eine geringere Splitterneigung im Vergleich zu den glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK). Aufgrund dieser Eigenschaften sind NFK unter anderem in der Automobilindustrie sehr gefragt [24].

Der Bausektor bildet nach Zellstoff und den NFK für die Automobilindustrie die wichtigste Produktlinie für Hanffaser. Heutzutage finden die Hanffasern Verwendung in Dämmvliesen, Trittschalldämmungen sowie im Innenputz und bei Beschichtungen. Zusätzlich existieren bereits Hanfvliestapeten, Akustikvliese und Hanf-Kalk-Mörtel [46] [62].

Bei der Faserverarbeitung fällt als Kuppelprodukt der gebrochene Holzkern des Hanfstängels an. Dieser wird auch als Schäbe bezeichnet. Schäben machen etwa 50 bis 60 % des Stängels aus und stellen damit mengenmäßig die größte Fraktion des Faseraufschlusses dar. Gereinigt und entstaubt eignen sich die Schäben, aufgrund ihres hohen Absorptionsvermögens, hervorragend als Tiereinstreu. Im Bausektor finden sie außerdem Anwendung als Schüttdämmung, Dämm- und Ausgleichsschüttung, Leichtbausteine und -ziegel, Spanplatten sowie in verschiedenen Bereichen mit Kalk gemischt (z. B. Böden, Mauern, Decken) [46] [62]. Die Märkte für Fasern und Schäben sind in Europa etabliert und weitgehend stabil. Ein Marktwachstum wäre nur durch entsprechende Förderprogramme seitens der Politik zu erwarten [76].

2.4.2 Hanfsamen

Hanfsamen werden hauptsächlich im Lebensmittel- und Futtermittelbereich verarbeitet und vermarktet. Hier stellen ungeschälte/geschälte Samen, aus dem Samen gepresstes Hanföl (Kalt-/Heißpressung) und der Presskuchen (Kuppelprodukt der Ölgewinnung) die drei wichtigsten Produktlinien dar. Botanisch gesehen handelt es sich beim Hanfsamen um eine Nuss, die von einer dünnen Fruchtschale umgeben ist. Hanfsamen setzen sich aus 28 bis 35 % Fett, 20 bis 24 % Protein und 30 bis 35 % Kohlenhydraten zusammen. Zusätzlich enthält der Hanfsamen Vitamine (B1, B2, B6, E und Niacin), Kalzium, Magnesium, Kalium und Eisen. Diese Inhaltsstoffe, die günstige Fettsäurezusammensetzung sowie das vollständige Aminosäureprofil machen den Hanfsamen zu einem ernährungsphysiologisch sehr wertvollen Lebens- und Futtermittel [25] [62].

Zu Beginn der 2000er wurden ungefähr 95 % der Hanfsamen im Tierernährungsbereich verwertet. Hier fanden die Samen aufgrund ihres Fettsäure- und Proteinsters insbesondere Anwendung als Fisch- und Vogelfutter [62]. In Europa stieg die Hanfsamenproduktion zwischen 2003 und 2015 um 92 % an, wovon 60 % als Lebensmittel und 40 % als Futtermittel weiterverarbeitet wurden [23]. Als Lebensmittel kann der Samen geschält, zu Hanfmehl oder Proteinpulver verarbeitet oder zu Öl gepresst werden. Samen können unter anderem in Pralinen, Nuss- und Müsliriegeln, Brownies, Käse, Speiseeis und Joghurt Anwendung finden. Das durch Vermahlen des Presskuchens entstehende Hanfmehl kann z. B. zu Brot-, Back- und Teigwaren weiterverarbeitet werden. Hanföl eignet sich insbesondere zur Zubereitung von Salatdressings und Marinaden, findet allerdings auch Anwendung in Kosmetika und als technisches Öl bei der Pflege von Holz. Im Gegensatz dazu wird das ätherische Hanföl, das durch Wasserdampfdestillation gewonnen wird, als Zusatz in Bier, Limonaden, Bonbons und Kaugummi eingesetzt [62].

2.4.3 Blüten, Blätter und sekundäre Inhaltsstoffe

Blüten und Blätter der Hanfpflanze sowie manche Cannabinoide wie z. B. Cannabidiol (CBD) werden heutzutage hauptsächlich im Nahrungsergänzungsmittelbereich vermarktet. Hier reicht die Produktpalette von Tees und Kräutermischungen, die Blüten und Blätter der Hanfpflanze beinhalten, bis hin zu CBD-haltigen Produkten wie Ölen, Kapseln, Extrakten und Kosmetika [49]. Seit Januar 2019 gelten Nahrungsergänzungsmittel, die konzentriertes CBD enthalten, als neuartige Lebensmittel (Novel Food) und sind daher zulassungspflichtig [23] [30].

Aktuell sind mehr als 100 verschiedene Cannabinoide bekannt [41]. Dazu gehört auch CBD, das ähnlich wie endogene (körpereigene, im Körper entstandene) Cannabinoide am zentralen Nervensystem im Endocannabinoid-System (ECS) wirkt. Zur Hauptfunktion des ECS zählt die Regulierung der Botenstoffaktivität im Hirn, wodurch alle wichtigen Körperfunktionen beeinflusst werden können, unter anderem die Serotonin-, Dopamin- und Glutamataktivität. Zusätzlich verstärkt CBD die Signalgebung von Adenosin und führt dadurch zur Hemmung einiger entzündungsfördernder Botenstoffe [41]. Ein therapeutisches Potenzial von CBD wird unter anderem in den Bereichen Epilepsie, Angststörungen, schizo-

phrene Psychosen, Entzündung und entzündungsbedingter Schmerz, Bewegungsstörung, Übelkeit und Erbrechen vermutet. Allerdings steht die Forschung für medizinische Zwecke noch am Anfang und bisher existieren am deutschen Markt keine reinen CBD-Arzneimittel [81]. Tetrahydrocannabinol (THC) ist ein Cannabinoid, das für seine psychotrope Wirkung bekannt ist [62]. Es wird aufgrund seiner schmerzlindernden und muskelentspannenden Wirkung in der medizinischen Therapie verwendet. Bei der Behandlung von Übelkeit, Erbrechen, Appetitlosigkeit, Spastik, Bewegungsstörungen, Schmerzen, Epilepsie und bei psychischen Erkrankungen findet es immer mehr Anklang [41]. Neben CBD und THC werden auch die Cannabinoidsäuren CBDA und THCA hinsichtlich ihrer positiven Eigenschaften für die menschliche Gesundheit untersucht. Es gibt Hinweise darauf, dass CBDA Eigenschaften besitzt, die eine reduzierte Metastasenbildung bei Brustkrebs bewirken könnten [85]. Für das Cannabinoid Cannabichromen (CBC) werden entzündungshemmende, schmerzlindernde, antidepressive und antibiotische Eigenschaften in Tierversuchen beschrieben. Es hemmt, wie das CBD, die psychotropen Effekte des THC [41]. Auch für Cannabigerol (CBG) ließen sich schmerzlindernde, antidepressive und krebshemmende Effekte darstellen. Es wirkt zudem leicht blutdrucksenkend [41]. Ein weiteres bekanntes Cannabinoid ist das Tetrahydrocannabivarin (THCV), das in einigen südafrikanischen Hanfsorten vorkommt und ähnliche Effekte wie das THC verursacht.

Neben Cannabinoiden befinden sich unter anderem noch Terpene in der Hanfpflanze. Terpene, auch als ätherische Öle bekannt, sind für den typischen Geruch der Hanfpflanzen verantwortlich. Mehr als 200 verschiedene Terpene, unter anderem Limonen, Myrcen, Pinen, Eucalyptol, α -Terpineol und Caryophyllen, wurden in Hanfpflanzen gefunden.

3 Problemstellung und Zielsetzung

Der ab dem 19. Jahrhundert an Bedeutung verlierende Nutzhanf erlebt momentan einen Aufschwung als wiederentdeckte Kulturpflanze. In Deutschland spiegelt sich das wiedererwachte Interesse in der Zunahme der Anbauflächen wider. Allein in Bayern stieg die Anbaufläche von 73 ha im Jahr 2005 [69] auf 840 ha im Jahr 2022 [71] an. Deutschlandweit konnte ein Anstieg von 2156 ha (2005) [69] auf 6943 ha (2022) [71] verzeichnet werden.

In der Vergangenheit wurde der Nutzhanf insbesondere als Faserpflanze verwendet. Heute kann die Multi-Purpose-Pflanze Hanf annähernd komplett genutzt werden. Schäben und Bastfasern des Stängels werden als Industriewerkstoffe in der Zell- und Papierindustrie sowie als Baumaterial genutzt. Die ernährungsphysiologisch wertvollen Samen finden Anwendung im Lebensmittel- und Futtermittelbereich. Die Blüten und Blätter der Pflanze werden als Nahrungsergänzungs- und Lebensmittel sowie zu medizinischen Zwecken genutzt. Allerdings stellen diese „neuen“ Nutzungs- und Produktionsrichtungen neue Herausforderungen für den Anbau und die Erntetechnik dieser Kultur dar.

Für den Anbau der Kultur sind Spezialwissen und Erfahrungen notwendig, die für Bayern momentan nur in geringem Umfang zu Verfügung stehen. Damit der Nutzhanf sein Potential zur Wertschöpfung voll entfalten kann, müssen Daten und Erfahrungen zu allgemeinen Produktionstechniken erarbeitet werden.

Generelle Kenntnisse über die geografisch bedingte Anbaueignung und standortbezogene Sortenwahl fehlen momentan genauso wie sorten- und standortbezogene Ertragserwartungen und Richtwerte für Qualitätsziele der verschiedenen Nutzungsrichtungen. Außerdem fehlen Informationen zur Preissituation für Hanfprodukte, die wichtige Entscheidungsgrundlage für den Anbau und die erfolgreiche Vermarktung sind. Verfügbarkeit und Existenz geeigneter Spezialtechnik stellen insbesondere für die Ernte eine große Herausforderung dar.

Ziel dieses Projekts ist es, die im Kurzprojekt „Hanf zur stofflichen Nutzung: Stand und Entwicklung“ gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen zum Hanfanbau zu vertiefen und auf die bereits stattgefundenene Netzwerkarbeit auszubauen.

In dem vorliegenden Forschungsprojekt sollen daher produktionstechnische Fragen in Bezug auf die jeweilige Nutzungsrichtung sowie die Möglichkeit der mechanischen Unkrautregulierung geklärt werden. Hier ist unter anderem die Erarbeitung konkreter Sortenempfehlungen und der Fruchtfolgestellung von großem Interesse. Zudem sollen Standortvoraussetzungen und deren Einfluss auf Ertrags- und Qualitätsparameter geprüft werden. Durch Bestimmung des Stickstoff-Düngebedarfs für die jeweiligen Nutzungsrichtungen und der Gehalte mineralischen Stickstoffs im Boden soll eine ökologische Bewertung des Hanfanbaus stattfinden. Des Weiteren sollen durch das Projekt mögliche Verwertungsoptionen und Möglichkeiten zur Koppelnutzung sowie zur optimalen Wertschöpfung aufgezeigt werden.

Intensive Netzwerkarbeit soll dazu dienen, wichtige Kontakte zur verarbeitenden Industrie, Verleihmöglichkeiten für Erntegeräte, rechtliche Informationen und daraus resultierende Marktanforderungen bereitzustellen. An die Zielgruppen angepasste Veranstaltungen und Informationsmaterialien sollen Praktiker, Multiplikatoren, Verarbeiter und die interessierte Bevölkerung auf den neuesten Stand der Forschung bringen.

4 Material und Methoden

4.1 Standortbedingungen

Die Versuche im Projekt „OptiHemp“ wurden von 2020 bis 2022 an den Standorten Technologie- und Förderzentrum (Straubing, Bayern) und Haus Düsse (Ostinghausen, Nordrhein-Westfalen) durchgeführt.

4.1.1 Beschreibung Versuchsstandort Technologie- und Förderzentrum

Die im Projekt genutzten Versuchsflächen des Technologie- und Förderzentrums liegen zwischen Straubing, Ittling und Aiterhofen und gehören zur Landschaftseinheit des Gäubodens. Diese zählt durch die hohe Mächtigkeit des Ausgangsmaterials Löss zu den fruchtbarsten Böden Bayerns.

Als Bodentyp liegt eine Parabraunerde aus Löss mit den Zustandsstufen L2Lö und L3Lö mit Bodenzahlen zwischen 76 und 84 vor. Bei der Bodenart des Oberbodens handelt es sich im Wesentlichen um schluffigen (uL) bis tonigen Lehm (tL). Die Flächen befinden sich zwischen 331 und 338 m ü. NN. Für jedes Versuchsjahr wurde im Vorjahr auf der jeweiligen Versuchsfläche Winterweizen mit anschließender Senf-Zwischenfrucht angebaut. Im November folgte dann jeweils eine Herbstfurche. Die N_{\min} -Ausgangswerte betragen in den drei Versuchsjahren zwischen 48 und 80 kg N/ha. Die S_{\min} -Ausgangswerte lagen zwischen 93 und 107 kg S/ha. Im Folgenden wird dieser Versuchsstandort als „TFZ“ bezeichnet.

Die drei Versuchsjahre unterschieden sich in Bezug auf die Witterungsverhältnisse deutlich voneinander (Abbildung 1). Insbesondere die Niederschlagssumme schwankte stark. Während der gesamten Vegetationszeit von April bis August wurde ein durchschnittlicher Niederschlag von 277 mm im Jahr 2020, 436 mm im Jahr 2021 und 255 mm im Jahr 2022 festgestellt. In den Jahren 2020 und 2022 waren zu Beginn der Vegetationszeit im April und Mai wenig Niederschläge zu verzeichnen, während es im Jahr 2021 mit 148 mm überdurchschnittlich viel geregnet hat. Nachdem sich im Juni ein gegenläufiges Bild zeigte, waren die Niederschläge im Juli in den Jahren 2020 und 2022 wieder gering. Im Jahr 2022 spiegelte sich die starke Trockenheit durch einen Niederschlag von nur 10 mm im Juli wider. Die trockenen Bedingungen zogen sich bis in den August. Die Temperaturen zeigten geringere Schwankungen zwischen den Jahren. Auffällig sind die hohen Boden- und Lufttemperaturen im Jahr 2022 von Mai bis August. Die niedrigsten Boden- und Lufttemperaturen zu Beginn der Vegetation waren im Jahr 2021 zu beobachten. Im Juni lagen sie dann höher als im Jahr 2020. Im Juli und August ließen sich wieder niedrigere Temperaturen feststellen als in den Jahren 2020 und 2022.

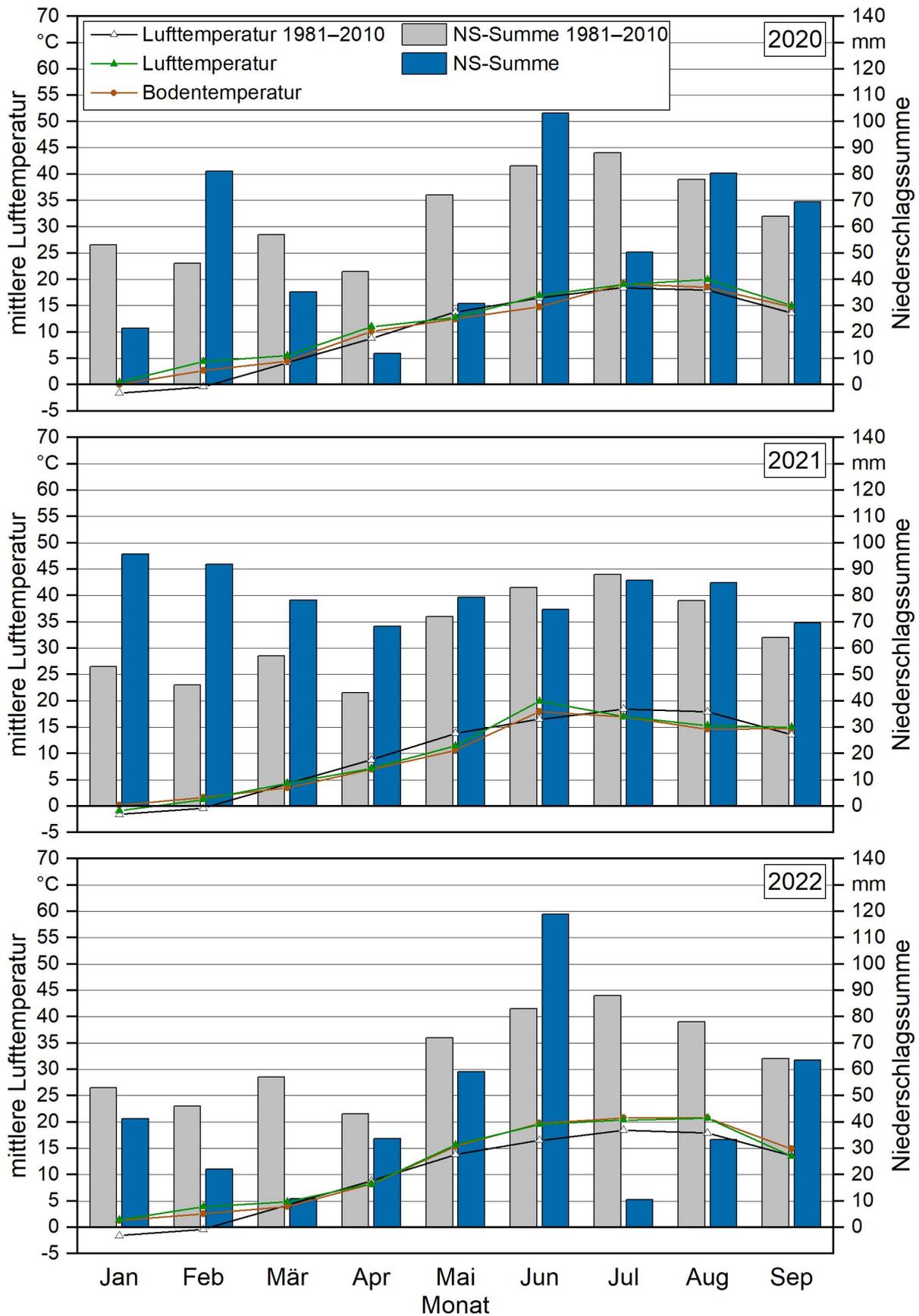


Abbildung 1: Klimadaten für den Standort TFZ in den Jahren 2020, 2021, 2022 und für das langjährige Mittel [11] [31]

Die Werte der Globalstrahlung wichen zwischen den Jahren nur geringfügig voneinander ab, während sich die Wärmesummen deutlich voneinander unterschieden (Tabelle 2). Der Mai 2022 war mit einer Wärmesumme von 236 °C wärmer als in den beiden Vorjahren. Zwar sind die Unterschiede im weiteren Jahresverlauf nicht mehr so groß, dennoch sind Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum besonders zu Vegetationsbeginn zu vermuten.

Tabelle 2: Monatswerte der Wärmesumme und Summe der Globalstrahlung von April bis August in den Jahren 2020 und 2022 am Versuchsstandort TFZ, Datengrundlage: BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL) [11], Station Straubing_TFZ

Jahr		Monat April	Mai	Juni	Juli	August	Summe
2020	Wärmesumme in °C	108	149	273	353	379	1.262
2021		32	113	362	346	297	1.152
2022		51	236	340	380	390	1.397
2020	Globalstrahlung in kWh/m ²	174	158	153	178	143	805
2021		130	148	199	166	133	774
2022		126	174	195	190	160	845

4.1.2 Beschreibung Versuchsstandort Haus Düsse

Das Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Düsse der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen befindet sich nordöstlich der Kreisstadt Soest am Rande der zur Gemeinde Bad Sassendorf gehörenden Ortschaft Ostinghausen. Es liegt in der Region Soester Börde zentral im heutigen Westfalen. Die Höhenlage der Versuchsflächen beträgt im Mittel 70 m ü. NN.

Die Bodenentwicklung auf Haus Düsse ist sehr stark von der hohen Durchfeuchtung und von stark schwankendem Grundwasser beeinflusst worden. Vorherrschende Bodentypen des Versuchsguts sind Gley-Parabraunerden und Parabraunerden-Gleye. In den Senken kommen auch Gleye, braune Aueböden und Auegleye vor. Das Wasserhaltevermögen der Böden ist gut. Die Humusgehalte liegen zwischen 2 % und 4 %, die Schluffgehalte betragen ca. 80 %. Vorherrschende Bodenarten sind fruchtbare Lehmböden aus Löss, mit z. T. mehr als 80 Bodenpunkten.

Mit Niederschlägen im langjährigen Durchschnitt von ca. 745 mm/Jahr und einer Durchschnittstemperatur von ca. 10,5 °C sind die Bedingungen für einen ertragreichen Ackerbau sehr gut, was in dem Anbauumfang der Hauptkulturen Winterweizen, Wintergerste, Winterraps, Mais und Zuckerrüben zum Ausdruck kommt. Im Folgenden wird dieser Versuchsstandort als „HD“ bezeichnet. Im Jahr 2022 wurde auf zwei weiteren Versuchsstandorten Hanf etabliert. Ein Standort befindet sich in Versmold, nördlich von Harsewinkel an der Grenze zwischen Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen. Die Höhenlage der Versuchsfläche beträgt im Mittel 70 m ü. NN. Vorherrschender Bodentyp der Versuchsfläche ist Reinsand, mit 3,7 % Ton, 4,1 % Schluff und 92,1 % Sand. Der Humusgehalt liegt bei

0,93 %. Mit Niederschlägen im langjährigen Durchschnitt von 643 mm/Jahr und einer Durchschnittstemperatur von ca. 10 °C sind die Bedingungen für den Hanfanbau gegeben. In Versmold wurde die Sorte FINOLA etabliert. Der zweite Vergleichsstandort befindet sich in Rhede, östlich von Bocholt an der deutsch-niederländischen Grenze. Die Höhenlage der Versuchsfläche beträgt im Mittel 32 m ü. NN. Vorherrschender Bodentyp der Versuchsfläche sind Lehmsande, mit 7,1 % Ton, 12,6 % Schluff und 80,3 % Sand. Der Humusgehalt liegt bei 4,1 %. Mit Niederschlägen im langjährigen Durchschnitt von 419,6 mm/Jahr und einer Durchschnittstemperatur von 12,0 °C sind die Bedingungen für den Hanfanbau gegeben. In Rhede wurde die Sorte Ferimon etabliert.

Am Standort HD waren während der Vegetationszeit von April bis August 235 mm Niederschlag im Jahr 2020, 356 mm im Jahr 2021 und 208 mm im Jahr 2022 zu beobachten (Abbildung 2). Während 2020 besonders in den Monaten April und Mai sehr geringe Niederschläge zu verzeichnen waren, waren sie im Jahr 2022 von Juni bis August ungewöhnlich niedrig. Im Jahr 2021 waren insgesamt, wie am Standort TFZ, die höchsten Niederschläge festzustellen. Am Standort TFZ waren im Jahr 2022 zwar über die Vegetationszeit auch geringere Niederschläge zu verzeichnen, allerdings stand in den Monaten Mai und Juni deutlich mehr Wasser zur Verfügung als am Standort HD. Die Boden- und Lufttemperatur war im April im Jahr 2020 am höchsten. Die Unterschiede zwischen den Jahren wurden dann im weiteren Jahresverlauf geringer.

Wie am Standort TFZ schwankten die Werte für die Globalstrahlung zwischen den Jahren kaum, während sich bei den Wärmesummen große Unterschiede im Monat Mai zeigten (Tabelle 3). Beim Vergleich der beiden Standorte fällt auf, dass zwar die Wärmesummen nahezu identisch waren, die Globalstrahlung am Standort TFZ aber deutlich höher lag als am Standort HD. Der Grund dafür ist die geografische Lage, während die Wärmesumme vom Versuchsjahr und damit den spezifischen Witterungsbedingungen abhängt.

Tabelle 3: Wärmesumme und Summe der Globalstrahlung der Monate April bis August in den Jahren 2020 bis 2022 am Versuchsstandort HD, Datengrundlage: LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN, Station Haus Düsse [35] [60] [61]

Jahr		Monat April	Mai	Juni	Juli	August	Summe
2020	Wärmesumme in °C	105	135	301	307	410	1.258
2021		21	113	359	351	298	1.143
2022		59	226	320	239	395	1.239
2020	Globalstrahlung in kWh/m ²	128	144	126	117	105	620
2021		101	110	132	111	96	551
2022		101	135	151	86	120	593

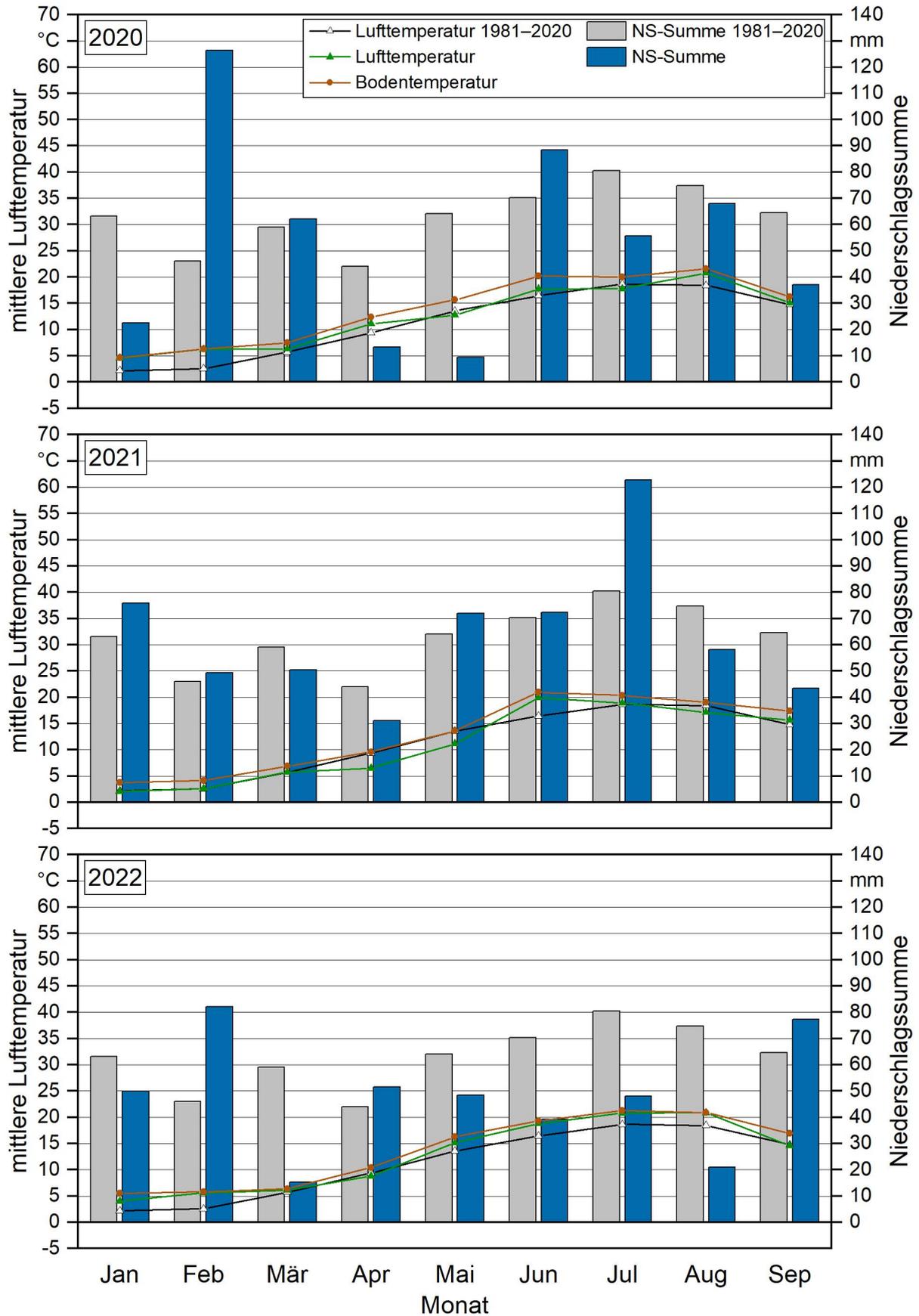


Abbildung 2: Klimadaten für den Standort HD in den Jahren 2020, 2021, 2022 und für das langjährige Mittel [31] [35] [60] [61]

4.2 Versuchsdesign und Bestandsführung

Im Rahmen des Projekts wurde am Versuchsstandort TFZ ein Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf, jeweils ein Versuch zur Stickstoffsteigerung im Faser-, Körner und CBD-Hanf, ein Versuch zum Winterhanfanbau und ein Versuch zu Körnerhanf in Zweitfruchtstellung angelegt. Analog zum TFZ fanden am Standort HD der Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf, der Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körner- und CBD-Hanf und der Versuch zum Winterhanfanbau statt (Tabelle 4). Im Folgenden werden die einzelnen Versuche näher erläutert.

Tabelle 4: Übersicht der Versuche im Projekt OptiHemp

Nutzungsrichtung	Versuch	Standort
Körnerhanf	1. Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf	TFZ und HD
Faserhanf	2. Versuch zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf	TFZ
CBD-Hanf	3. Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-hanf	TFZ und HD
Körnerhanf	4. Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf	TFZ und HD
Faserhanf	5. Versuch zum Winterhanfanbau	TFZ und HD
Körnerhanf	6. Versuch zu Körnerhanf in Zweitfruchtstellung	TFZ
Körnerhanf	7. Versuch zur Ermittlung des Ertragverlusts durch Vogelfraß	TFZ
Körnerhanf und Faserhanf	8. Versuch zum Anbau von Hanf als Frühsaat	TFZ

Zusätzlich zu den Kernversuchen des Projekts wurden im Versuchsjahr 2020 ein Versuch zum Anbau von Hanf als Frühsaat sowie ein Versuch zur Ermittlung des Ertragsverlusts durch Vogelfraß angelegt. Im Versuchsjahr 2021 wurde zusätzlich an beiden Standorten eine Erweiterung des Versuchs zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf angelegt.

Die Kernparzellen in den verschiedenen Versuchen hatten jeweils eine Länge von 6,70 m und eine Breite von 1,50 m. Dies entsprach einer Erntefläche von 10,05 m². Um Randeffekte auszuschließen, wurden die Kernparzellen rechts und links von Randparzellen (1,50 m × 6,70 m) und an den Kopfseiten von Stirnrändern (1,50 m × 1,75 m; Ausnahme war hier der Versuch zum Winterhanf, der lediglich einen Stirrand von 1,50 m × 1,30 m aufwies) eingeschlossen. Nach diesem Schema wurden für den Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf, die drei Versuche zur Stickstoffsteigerung inklusive Erweiterung, den Versuch zum Winterhanfanbau und den Versuch zu Körnerhanf in Zweitfruchtstellung Dreifachparzellen, für den Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf aufgrund der Versuchsstruktur Fünffachparzellen angelegt.

Als „weiter“ Reihenabstand wird im Folgenden ein Abstand von 37,5 cm und als „enger“ ein Abstand von 14 cm (TFZ) bzw. 12,5 cm (HD) bezeichnet.

Der Niederschlag und die Lufttemperatur wurden mithilfe eines Regenmessers und der Daten nahegelegener Wetterstationen (vgl. Abbildung 1 und Abbildung 2) erfasst. Bodenfeuchte und -temperatur wurden bei Bedarf mit dem mobilen Bodenfeuchtemessgerät MST 5000 (Abbildung 14) gemessen.

Gedüngt wurde mit Kalkammonsalpeter (KAS; Gesamtstickstoffgehalt 27 %) und einem Parzellendüngerstreuer (Weihenstephan; Abbildung 3). Genauere Angaben zur Düngung können den einzelnen Versuchen entnommen werden. In HD wurde ebenfalls mit Kalkammonsalpeter gedüngt, der per Hand gestreut wurde.



Abbildung 3: Parzellendüngerstreuer am Standort TFZ

Die Aussaat aller Versuche erfolgte mit der Parzellensämaschine der Firma Inotec Haldrup, die für Bodenöffnung und Saatgutablage mit Kverneland-CX-Scheibenscharen mit Tiefenführungsrolle ausgestattet ist (Abbildung 4). In HD erfolgte die Aussaat mit einer Parzellensämaschine der Firma Hege.



Abbildung 4: Parzellensämaschine am Standort TFZ bei der Aussaat

Gehackt wurde mit einem Hackgerät der Firma Rau mit einer Arbeitsbreite von 1,5 m (Abbildung 5). In HD wurde mit einer Radhacke gehackt, da der Unkrautdruck im Jahr 2022 enorm gering war.

Alle Körnerversuche am TFZ wurden mithilfe des Parzellendreschers Haldrup MT 1067 (Abbildung 6) mit konventionellem Getreideschneidwerk geerntet. Für die Erfassung des Strohertrags wurde an der Rückseite des Parzellenmähdreschers eine Plane befestigt, auf der das ausgedroschene Pflanzenmaterial aufgefangen wurde. Anschließend wurde das Pflanzenmaterial auf eine separate Plane transferiert und per Kranwaage (KERN HUS 600 K 200) am Frontlader verwogen. In den Versuchsjahren 2020 und 2021 wurden die Randparzellen der Versuche mit dem Feldhäcksler Champion 2200 der Firma Kemper mit einer Arbeitsbreite von 1,50 m (bis zu 2,20 m Arbeitsbreite möglich; Abbildung 7) gehäckselt. Aufgrund von Problemen mit Faserwicklungen und einem daraus resultierenden erheblichen Lagerschaden an der Maschine bei der Ernte 2021 wurde im Versuchsjahr 2022 von dieser Praxis Abstand genommen. In HD wurden die Körnerversuche mit dem Parzellendrescher Haldrup C850 geerntet. Eine Ausnahme bildete hier das Versuchsjahr 2022, in dem die Körnerhanfversuche zuerst mit einem Balkenmäher der Firma Herkules bzw. mit der Hege 212 abgeschnitten und dann mit dem Standdrescher Hege 122 C gedroschen wurden. Das anfallende Stroh und Korn wurde getrennt mit einer Plattformwaage gewogen und anschließend aus dem Erntegut die Proben entnommen.



Abbildung 5: Hackgerät der Firma Rau bei Hackmaßnahmen im Hanf



Abbildung 6: Parzellenmähdrescher am Standort TFZ bei der Körnerhanfernte



Abbildung 7: Feldhäcksler der Firma Kemper am Standort TFZ



Abbildung 8: Grüngutererter der Firma Wintersteiger bei der CBD-Ernte am Standort TFZ

Als Grüngutererter kam am TFZ das Modell Cibus der Firma Wintersteiger mit einer Arbeitsbreite von 1,5 m zum Einsatz (Abbildung 8). In HD kam der Grünfüttererter HEGE 212 zum Einsatz.

Der Faserhanf wurde mit einem Balkenmäher der Firma Busatis geschnitten und auf einer hinter dem Mähwerk angebrachten Auffangwanne gesammelt (Abbildung 9). Direkt nach dem Mähvorgang wurde das Pflanzenmaterial per Kranwaage (s. o.) am Frontlader verwogen. Am Standort der Düse wurde der Faserhanf mit dem Balkenmäher der Firma Herkules abgeschnitten und direkt am Versuchsfeld mit einer Plattformwaage gewogen.



Abbildung 9: Faserhanfernte mit Balkenmährescher inklusive Auffangwanne am Standort TFZ

4.3 Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf

Der Körnerversuch zu den produktionstechnischen Eigenschaften (Tabelle 5) wurde mit der Sorte FINOLA als zweifaktorielle Block-Spaltanlage mit vier Wiederholungen angelegt.

Den ersten Faktor stellt der Saattermin (früh/spät), den zweiten die Reihenweite bzw. Unkrautregulierungsmaßnahme mit einer Hacke (eng/weit ohne Unkrautregulierung [weit -], weit mit Unkrautregulierung [weit +]) dar. Im Versuchsjahr 2022 wurden wegen des extremen Unkrautdrucks in der Variante „weit -“ in den vergangenen Jahren nur noch die Varianten „eng“ und „weit +“ etabliert. Für alle drei Versuchsjahre wurde im November des Vorjahrs die jeweilige Versuchsfläche umgepflügt und anschließend für alle Versuchspartzen eine grobe Saatbettbereitung vorgenommen. Die feine Saatbettbereitung fand, mit Ausnahme des zweiten Aussaattermins im Versuchsjahr 2020 am TFZ, direkt vor der Aussaat statt.

Die Aussaat erfolgte jeweils Ende April und Anfang Mai mit einer herkömmlichen Getreidedrillmaschine bei einer Saattiefe von 3 cm und einer Saatstärke von 100 keimfähigen Körnern je Quadratmeter (kf Kö/m²). Beide Aussaattermine (AST) wurden so gedüngt,

dass eine verfügbare Stickstoffmenge von 120 kg N/ha gegeben war. Die Hackmaßnahmen für die Variante „weit +“ wurden Ende Mai/Anfang Juni (1. AST) sowie Anfang/Mitte Juni (2. AST) durchgeführt (Tabelle 5). Aufgrund der Witterungsverhältnisse wurden Düngung und Hackmaßnahmen im Versuchsjahr 2021 am Standort TFZ für beide Aussattermine am selben Tag und nicht mit Abstand durchgeführt. Bei den Hackmaßnahmen des ersten Termins befand sich der Bestand jeweils im Zweiblattstadium (BBCH 12). Am zweiten Termin waren bei den männlichen Pflanzen bereits die Blütenanlagen sichtbar (BBCH 51), bei den weiblichen Pflanzen war das erste Internodium deutlich gestreckt (BBCH 31). Eine Ausnahme ist das Versuchsjahr 2021, in dem aufgrund der Witterungsverhältnisse die Hackmaßnahmen beider Termine am TFZ am selben Tag durchgeführt werden mussten. Dadurch waren beim ersten Aussattermin bereits erste Blütenanlagen sichtbar (BBCH 51).



Abbildung 10: Ernte Körnerhanf – oben links: Parzellenmähdrescher; rechts: Auffangvorrichtung für das Stroh; unten links: Umlagern des Strohs auf die Plane zum Wiegen; rechts: Verwiegen des Strohs mittels Waage am Frontlader

Die Ernte des Versuchs erfolgte Mitte August/Anfang September (Tabelle 5) mit dem Parzellendrescher mit konventionellem Getreideschneidwerk. Korn- und Strohertrag wurden direkt im Feld erfasst (Abbildung 10). Aufgrund technischer Probleme bei der Aussaat wurde der zweite Aussaattermin am TFZ im Versuchsjahr 2021 bereits im Vorfeld der Aussaat aus dem Versuch entfernt. Nach der Ernte wurde ein Teil der Körner direkt mittels Steigsichters (TFZ) bzw. mit Sample Cleaner (mod. MLN von A/S Rationel Kornservice; HD) gereinigt und anschließend mit den restlichen Körnern sechs Tage lang bei Temperaturen zwischen 30 und 40 °C getrocknet und anschließen erneut verwogen. Zusätzlich wurde der Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) der Körner und des Stroh bestimmt (vgl. Abschnitt 4.7.12). Proben der getrockneten Körner, sowohl direkt als auch im Nachgang gereinigt, wurden zur Bestimmung des Öl-, N- sowie THC-Gehalts zusammen mit den Proben aus HD an die Firma Agrolab gesendet.

Im Verlauf der jeweiligen Vegetationsperiode wurden die Bestandesdichte (vgl. Abschnitt 4.7.3), der Unkrautdeckungsgrad (vgl. 4.7.9), die Pflanzenlänge (vgl. 4.7.6) und der Entwicklungsstand der Pflanzen (vgl. 4.7.10) erfasst. Bodenproben zur Überprüfung der N_{\min} -Werte wurden vor Aussaat, zwei Wochen nach Unkrautregulierung bzw. nach Ernte gezogen (Tabelle 14). Eine Ausnahme bildete hier das Versuchsjahr 2022, in dem keine Bodenprobe zwei Wochen nach Unkrautregulierung gezogen wurde. Vor Aussaat wurde noch eine Grundbodenanalyse der Versuchsfläche durchgeführt. Mängelbonitur und Dokumentation von Ernteschwernissen wurden bei der Ernte durchgeführt.

Tabelle 5: Eckdaten des Versuchs zur Produktionstechnik im Körnerhanf

Arbeitsschritte	TFZ			HD		
	2020	2021	2022	2020	2021	2022
1. Aussaattermin (1. AST)	21.04. 22.04.	28.04.	29.04.	21.04.	28.04.	29.04.
2. Aussaattermin (2. AST)	05.05.	10.05.	12.05.	06.05.	10.05.	11.05.
Düngung 1. AST	05.05.	31.06.	11.05.	29.04.	12.05.	25.05.
Düngung 2. AST	18.05.	31.06.	17.05.	18.05.	26.05.	25.05.
Feldaufgang 1. AST	18.05.	10.05.	19.05.	27.04.	10.05.	06.05.
Feldaufgang 2. AST	02.06.	20.05.	30.05.	15.05.	18.05.	19.05.
Hackmaßnahme 1. AST	19.05.	08.06.	18.05.	19.05.	08.06.	23.05.
Hackmaßnahme 2. AST	03.06.	08.06.	01.06.	02.06.	10.06.	02.06.
Ernte	13.08.	19.08.	09.08.	28.08.	09.09.	16.08.
Vegetationstage (1. AST)	114/115	107	102	129	134	109
Vegetationstage (2. AST)	100	95	89	115	122	97

4.4 Versuche zur Stickstoffsteigerung

Alle Stickstoffsteigerungsversuche wurden vor der Aussaat umgepflügt und es erfolgte anschließend eine Saatbettbereitung. Die Versuche wurden Ende April/Anfang Mai mit einer herkömmlichen Getreidedrillmaschine bei einer Saattiefe von 3 cm ausgesät. Aussaatstärke und Reihenweite variierten je nach Nutzungsrichtung und sind deshalb unter den jeweiligen Einzelversuchen aufgeführt. Die Düngung erfolgte in allen Versuchsjahren Mitte Mai bis Anfang Juni. Hier wurde jede Parzelle in Abhängigkeit der Variante gedüngt. Die verfügbare Stickstoffmenge der einzelnen Varianten kann Tabelle 6 entnommen werden. Im Jahr 2021 wurde die Variante mit 80 kg N/ha aufgrund der hohen N_{\min} -Werte an beiden Standorten durch eine Variante mit 200 kg N/ha ersetzt. Im Versuchsjahr 2022 wurde dann in den Versuchen zur Stickstoffsteigerung im Faser- und Körnerhanf eine weitere Düngestufe mit 120 kg N/ha eingeführt.

Auch in den Stickstoffsteigerungsversuchen wurden die Bestandesdichte (vgl. Abschnitt 4.7.3), der Unkrautdeckungsgrad (vgl. 4.7.9), die Pflanzenlänge (vgl. 4.7.6) und der Entwicklungsstand der Pflanzen (vgl. 4.7.10) erfasst. Die Beprobung des Bodens bezüglich des N_{\min} -Werts fand in allen Stickstoffsteigerungsversuchen jeweils vor der Aussaat und nach der Ernte statt (Tabelle 14). Wie bereits im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf wurde auch in den Stickstoffsteigerungsversuchen vor der Aussaat eine Grundbodenanalyse der Versuchsfläche und eine Mängelbonitur und Dokumentation von Ernteerschwernissen bei der jeweiligen Ernte durchgeführt.

Tabelle 6: *N_{\min} -Werte vor Aussaat inklusive der verfügbaren Stickstoffmenge der einzelnen Varianten in den Versuchsjahren 2020 bis 2022*

Standort	Variante	2020	2021	2022
TFZ	N_{\min}	54 kg N/ha	80 kg N/ha	48 kg N/ha
TFZ	80	80 kg N/ha	Var. verworfen	Var. verworfen
TFZ	120	erst 2022 eingeführt	erst 2022 eingeführt	120 kg N/ha*
TFZ	160	160 kg N/ha	160 kg N/ha	160 kg N/ha
TFZ	200	erst 2021 eingeführt	200 kg N/ha	200 kg N/ha
TFZ	240	240 kg N/ha	240 kg N/ha	240 kg N/ha
HD	N_{\min}	78 kg N/ha	85 kg N/ha	178 kg N/ha
HD	80	80 kg N/ha	Var. verworfen	Var. verworfen
HD	120	erst 2022 eingeführt	erst 2022 eingeführt	vgl. 4.4.2 und 4.4.3
HD	160	160 kg N/ha	160 kg N/ha	vgl. 4.4.2 und 4.4.3
HD	200	erst 2021 eingeführt	200 kg N/ha	200 kg N/ha
HD	240	240 kg N/ha	240 kg N/ha	240 kg N/ha

* trifft nur für den Versuch zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf und den Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf zu

4.4.1 Versuch zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf

Der Versuch zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf (Tabelle 7) wurde mit der Sorte Futura 75 als einfaktorielle, randomisierte Blockanlagen mit vier Wiederholungen angelegt. Die Aussaat erfolgte mit einem Reihenabstand von 12,5 cm bzw. 14 cm und einer Saattiefe von 350 kg Kö/m².

Die Ernte des Versuchs erfolgte Mitte August (Tabelle 7) mit Parzellenhäcksler und Balkenmäher mit Auffangwanne (Abbildung 11). Vor der Ernte wurden die durchschnittliche Höhe und der durchschnittliche Stängeldurchmesser erfasst. Um die Kernparzelle freizulegen, wurden die Randparzellen und Stirnränder in den ersten zwei Versuchsjahren mit dem Parzellenhäcksler entfernt. Da es im zweiten Versuchsjahr durch Wicklungen der Hanffasern zu Schäden am Häcksler kam, wurden die Randparzellen und Stirnränder im dritten Versuchsjahr mit dem Balkenmäher entfernt. Zur Bestimmung des TS-Gehalts wurde aus den Randparzellen je Versuchsparzelle eine Probe entnommen. Die Kernparzellen wurden mit dem Balkenmäher geerntet. Die geschnittenen Stängel wurden direkt im Feld per Kranwaage am Frontlader verwogen. Im Anschluss wurden die Stängel für die folgende Feldröste in Bündeln wieder auf der Kernparzelle abgelegt (Abbildung 12). Ungefähr zwei Wochen nach Ernte erfolgte das Wenden und Auflockern der Bündel (vgl. Tabelle 7). Nach Abschluss der Röste wurden die Stängel nochmals verwogen (im Folgenden als „Röststroh“ bezeichnet) und zusätzlich aus jeder Parzelle eine Probe für die Bestimmung des TS-Gehalts entnommen.



Abbildung 11: Faserhanfernte – oben links: Ernte des Faserhanfs mit dem Mähbalken und Auffangwanne; unten links: Faserhanf in Auffangwanne; rechts: Wiegen des Faserhanfs nach der Ernte mithilfe des Frontladers

Zur Überprüfung der Faserqualität wurden nach der Ernte variantenscharfe Proben entnommen und an die Steinbeis GmbH gesendet (vgl. Abschnitt 4.8.2). Zudem wurden Proben zur N-Bestimmung von Stroh und Röststroh an die Firma Agrolab übermittelt.



Abbildung 12: Verlauf der Röste beim Faserhanf – oben links: frisch geschnittener Faserhanf; rechts daneben: Faserhanf nach dem Wenden; unten: fertig gerösteter Faserhanf

Tabelle 7: Eckdaten des Versuchs zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf

Arbeitsschritte	TFZ 2020	TFZ 2021	TFZ 2022
Aussaat	21.04.	28.04.	29.04.
Düngung	05.05.	31.05.	11.05.
Feldaufgang	19.05.	10.05.	17.05.
Ernte	12.08.	18.08.	16.08.
Wenden	28.08.	01.09. 15.09.	wöchentlich
Faserprobenahme und Erfassung Röststrohertrag	09.09.	28.09.	22.09.
Anzahl Regentage während Feldröste	12	22	20
Durchschnittliche Temperatur während Feldröste	18,3	15,5	16,9
Vegetationstage	113	112	109

4.4.2 Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf

Der Versuch wurde in allen Versuchsjahren mit der Sorte FINOLA als einfaktorielle, randomisierte Blockanlagen mit vier Wiederholungen angelegt (Tabelle 8).

Die Aussaat erfolgte mit einem Reihenabstand von 37,5 cm und einer Saatstärke von 100 kf Kö/m². Aufgrund des sehr hohen N_{min}-Gehalts von 178 kg N/ha am Standort HD im Versuchsjahr 2022 wurde die Variante mit einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160 kg N/ha auf 200 kg N/ha aufgedüngt und an drei Terminen nach dem dritten Erntetermin beerntet (Tabelle 8).

Die Ernte des Versuchs erfolgte entsprechend den einzelnen Varianten im Abstand von sieben bis zehn Tagen ab Ende Juni mit dem Grünguternter (Tabelle 8), am Standort HD mit der Hege 212. Um die Kernparzelle freizulegen, wurden zum ersten Erntetermin alle Stirnränder mit dem Grünguternter entfernt. Im Gegensatz zum Grünguternter des TFZ wurde die Biomasse beim Grünguternter am Standort HD nicht gehäckselt. Zur Ermittlung des CBD-Gehalts wurden vor der Beerntung variantenscharfe Proben aus den Kernparzellen entnommen (vgl. Abschnitt 4.8.3). Anschließend wurden die Blütenstände der Kernparzellen mit dem Grünguternter beerntet. Dazu wurde das Schneidwerk auf die parzellscharf ermittelte optimale Schnitthöhe eingestellt. Die optimale Schnitthöhe ergab sich aus der zuvor ermittelten durchschnittlichen Höhe der einzelnen Parzellen minus 30 cm. Aufgrund der höheren durchschnittlichen Pflanzenhöhe und der Höhenbeschränkung des Schneidwerks von 62 cm im Jahr 2020 und 2021 sowie 80 cm im Jahr 2022 am Standort HD wurden die Hanfpflanzen hier nicht auf der optimalen Schnitthöhe, sondern auf einer Höhe von maximal 62 bzw. 80 cm geschnitten. Danach wurden die Blütenstände verworfen und die Proben für die Bestimmung von TS- und N-Gehalt entnommen. Im Anschluss

erfolgte die Beerntung des Strohs. Hier wurde das Schneidwerk auf eine Schnitthöhe von ungefähr 10 cm eingestellt. Analog der Beerntung der Blütenstände wurden aus dem Erntegut Proben für die Bestimmung des TS- und N-Gehalts entnommen. Details zur Trocknung der einzelnen Proben können Unterkapitel 0 entnommen werden.

Nach der Trocknung wurden die CBD-Proben an die Hochschule Weihenstephan-Triesdorf und die N-Proben an die Firma Agrolab verschickt. Im Versuchsjahr 2021 führte eine Unterbrechung der Kühlkette beim Transport zum Labor dazu, dass die nach der Ernte gezogenen Bodenproben vom Standort TFZ verworfen werden mussten.

Tabelle 8: Eckdaten des Versuchs zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf

	TFZ			HD		
	2020	2021	2022	2020	2021	2022
Aussaat	22.04.	10.05.	02.05.	21.04.	28.04.	11.05.
Düngung	05.05.	01.06.	11.05.	29.04.	12.05.	25.05.
Hackmaßnahme	19.05.	08.06.	18.05.	19.05.	08.06.	02.06.
Feldaufgang	19.05.	20.05.	19.05.	27.04.	10.05.	19.05.
Erntetermin 1	24.06.	28.06.	06.07.	24.06.	17.06.	28.06.
Erntetermin 2	30.06.	06.07.	15.07.	02.07.	30.06.	06.07.
Erntetermin 3	08.07.	20.07.	26.07.	07.07.	22.07.	14.07.
Extraproben	17.06.	–	–	–	–	22.07. 29.07. 05.08.
Vegetationstage	63	49	65	64	50	48
je Ernte	69	57	74	72	63	56
	77	71	85	77	85	64

4.4.3 Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf

Der Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf am Standort TFZ wurde ursprünglich mit den Sorten FINOLA und Earlina 8 FC, ab dem Versuchsjahr 2021 zusätzlich mit der Sorte Henola als zweifaktorielle, randomisierte Blockanlagen mit vier Wiederholungen angelegt (Tabelle 9). In HD wurde der Versuch in den beiden ersten Versuchsjahren nur mit der Sorte FINOLA durchgeführt. Im Versuchsjahr 2022 wurden auch hier alle drei Körnerhanfsorten angebaut.

Wie im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf konnten die Varianten mit 120 kg N/ha und 160 kg N/ha aufgrund des N_{\min} -Gehalts von 178 kg N/ha in diesem Versuchsjahr am Standort HD nicht realisiert werden. Anstelle dieser Varianten wurde eine zweite Variante mit 200 kg N/ha und eine zweite Variante mit 240 kg N/ha angelegt, die dann zu einem späteren Zeitpunkt beerntet wurden. Im Versuchsjahr 2021 wurde an beiden Standorten noch eine Erweiterung des Versuchs mit den Sorten Fedora 17 und

Uso 31 als einfaktorielle, randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen angelegt. Um Vergleichbarkeit mit dem Hauptversuch zu erreichen, wurde die Erweiterung mit einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160 kg N/ha gedüngt. Die Aussaat erfolgte mit einem Reihenabstand von 37,5 cm und einer Saatstärke von 100 kf Kö/m². Die Hackmaßnahme wurde Ende Mai/Anfang Juni durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt befand sich der Bestand im BBCH-Stadium 12 (Zweiblattstadium). An der Düse wurde Anfang Juni gehackt. Der Bestand befand sich einheitlich schon bei BBCH 31/32. Eine Ausnahme bildete hier erneut das Versuchsjahr 2021 am Standort TFZ, in dem sich der Bestand am Hacktermin bereits im BBCH-Stadium 31 (erstes Internodium deutlich gestreckt) befand.

Die Ernte des Versuchs erfolgte Mitte August bis Anfang September (Tabelle 9) mit dem Parzellendrescher. Wie im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf wurden Korn- und Strohertrag direkt im Feld erfasst und anschließend weiterverarbeitet (vgl. Unterkapitel 4.3, Abschnitte 4.7.12, 4.8.4 und 4.8.5). Die Proben der getrockneten Körner wurden zur Bestimmung des N-, Öl- und THC-Gehalts und die Strohproben zur Bestimmung des N-Gehalts an die Firma Agrolab gesendet. Am Standort TFZ wurden 2020 und 2021 Weender Analysen in den Varianten 80 bzw. N_{min} und 160 und im Versuchsjahr 2022 in den Varianten 120 und 160 durchgeführt.

Tabelle 9: Eckdaten des Versuchs zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf

	TFZ			HD		
	2020	2021	2022	2020	2021	2022
Aussaat	22.04.	10.05.	02.05.	21.04.	10.05.	11.05.
Düngung	05.05.	01.06.	11.05.	29.04.	26.05.	25.05.
Hackmaßnahme	19.05.	08.06.	18.05.	19.05.	10.06.	02.06.
Feldaufgang	18.05.	20.05.	19.05.	27.04.	18.05.	19.05.
Ernte	13.08.	25.08.	10.08.	28.08.	03.09.	15.08. 29.08.
Vegetationstage	113	107	100	129	128	96 110

4.5 Versuch zum Winterhanfanbau

Der Winterhanfversuch wurde mit den Sorten Fedora 17 und Santhica 27 als zweifaktorielle, randomisierte Blockanlagen mit vier Wiederholungen angelegt (Tabelle 10).

Den ersten Faktor stellte die Sorte (Santhica 27 bzw. Fedora 17), den zweiten der Aussattermin dar. Aufgrund der schlechten Witterungsverhältnisse war es in den Versuchsjahren 2021 und 2022 am Standort TFZ leider nicht möglich, vier Aussattermine zu realisieren. Als Vorfrucht stand eine Wintergerste auf der Fläche. Eine Ausnahme bildete das Versuchsjahr 2022, in dem am Standort TFZ als Vorfrucht Hafer diente. Am Standort TFZ wurde der Versuch vor der Aussaat gegrubbert und eine anschließend Saatbettbereitung durchgeführt. Am Standort HD wurde die Fläche zusätzlich gepflügt. Die Aussaat erfolgte

ab Mitte Juli im Abstand von ungefähr sieben Tagen mit einer herkömmlichen Getreide-drillmaschine bei einer Saattiefe von 3 cm, einem Reihenabstand von 14 cm (TFZ) bzw. 12,5 cm (HD) und einer Saatstärke von 156 kf Kö/m². Am TFZ erfolgte aufgrund der Auflagen des roten Gebiets keine Düngung des Versuchs, wohingegen der Versuch am Standort HD nach den Vorgaben der 30/60-Regelung gedüngt wurde.

Wie in den anderen Versuchen wurden auch in diesem Versuch die Bestandesdichte, der Entwicklungsstand, der Unkrautdeckungsgrad und die Höhe erfasst sowie eine Bodenprobe zur Überprüfung des N_{min}-Gehalts gezogen.

Tabelle 10: Eckdaten des Versuchs zum Winterhanfanbau

Arbeitsschritte	TFZ			HD		
	2020	2021	2022	2020	2021	2022
Aussaat 1	15.07.	12.08.	07.07.	23.07.	29.07.	14.07.
Aussaat 2	21.07.	20.08.	n. e.*	30.07.	05.08.	25.07.
Aussaat 3	28.07.	20.08.	n. e.*	06.08.	12.08.	04.08.
Aussaat 4	10.08.	20.08.	n. e.*	02.08.	19.08.	11.08.
Düngung	keine	keine	keine	60 kg N/ha	65 kg N/ha	60 kg N/ha
Feldaufgang 1	06.08.	16.08.	n. e.*	n. e.	02.08.	26.07.
Feldaufgang 2	18.08.	n. e.	n. e.*	n. e.	10.08.	02.08.
Feldaufgang 3	02.09.	n. e.	n. e.*	n. e.	19.08.	10.08.
Feldaufgang 4	n. e.	n. e.	n. e.*	n. e.	25.08.	25.08. 16.09.**
Ernte	n. e.*	n. e.*	n. e.*	–	–	n. e.

* nicht erfasst, da der Versuch aufgegeben wurde

** aufgrund der Trockenheit sind 80 % der Pflanzen später aufgelaufen

4.6 Zusätzliche Versuche des TFZ

4.6.1 Versuch zu Körnerhanf in Zweitfruchtstellung

Der Körnerversuch in Zweitfruchtstellung wurde mit den Sorten FINOLA, Earlina 8 FC, Henola und Fedora 17 als einfaktorielle, randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen angelegt (Tabelle 11).

Als Vorfrucht stand ebenfalls Wintergerste auf der Fläche. Vor der Aussaat wurde die Versuchsfläche gegrubbert, anschließend erfolgte für alle Versuchspartellen eine Saatbettbearbeitung. Die Aussaat erfolgte Ende Juli mit einer herkömmlichen Getreidedrillmaschine bei einer Saattiefe von 3 cm und einer Saatstärke von 100 kf Kö/m².

Tabelle 11: Eckdaten des Versuchs zu Körnerhanf in Zweitfruchtstellung

Arbeitsschritte	2020	2021
Ernte Gerste	25.06.	08.07.
Aussaat	01.07.	22.07.
Feldaufgang	09.07.	10.08.
Hackmaßnahme	n. e.*	12.08.
Umbruch	22.07.	15.08.

* nicht erfasst, da der Versuch zuvor umgebrochen wurde

In den Versuchsjahren 2020 und 2021 musste auch dieser Versuch frühzeitig aufgegeben werden. Im Jahr 2022 konnte aufgrund schlechter Witterungsverhältnisse, insbesondere wegen der Trockenheit keine Aussaat erfolgen.

4.6.2 Versuch zur Ermittlung des Ertragsverlusts durch Vogelfraß

Der Vogelfraßversuch wurde mit der Sorte FINOLA als einfaktorielle, randomisierte Blockanlage mit zwei Wiederholungen angelegt.

Dabei wurde nur die Vogelschutzmaßnahme (mit Netz/ohne Netz) variiert. Hierzu wurde eine der vier Wiederholungen Mitte Juni (BBCH W61) mit einem Netz mit den Maßen 11 m (Länge) mal 8 m (Breite) mal 2 m (Höhe) überspannt (Abbildung 13). Aussaat (22.04.), Saatbettbereitung und Ernte erfolgten analog zur Variante „weit +“ im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf (vgl. Unterkapitel 4.3). Der Versuch wurde am 5. Mai mit einer Aufwandmenge von 66 kg/ha gedüngt. Dies entsprach zusammen mit dem N_{\min} -Vorrat des Bodens von 54 kg/ha einer verfügbaren Stickstoffmenge von 120 kg/ha. Die Hackmaßnahme wurde am 19. Mai durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt war das erste Internodium bereits deutlich gestreckt und der Bestand befand sich im Dreiblatt-Stadium (BBCH 21). Die durchschnittliche Höhe der Pflanzen betrug 11,2 cm. Die Ernte erfolgte am 11. August.



Abbildung 13: Schutzmaßnahme der Variante mit Netz im Versuch zur Ermittlung des Ertragsverlusts durch Vogelfraß

4.6.3 Versuch zum Anbau von Hanf als Frühsaat

Der Versuch zum Anbau von Hanf als Frühsaat wurde mit den Sorten FINOLA und Fedora 17 als einfaktorielle, randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen angelegt. Für die Sorte FINOLA erfolgten Aussaat (19.03.), Saatbettbereitung und Ernte analog zur Variante „weit +“ im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf (vgl. Unterkapitel 4.3) und für die Sorte Futura 75 analog zum Versuch zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf (vgl. Abschnitt 4.4.1). Der Versuch wurde am 26. März auf eine verfügbare Stickstoffmenge von 120 kg N/ha gedüngt und in der Sorte FINOLA am 6. Mai Hackmaßnahmen durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt waren bereits die ersten Blütenblätter sichtbar (BBCH 59) und der Bestand hatte eine durchschnittliche Pflanzenhöhe von 15,0 cm. Die erste Ernte des Körnerhanfs wurde am 7. Juli durchgeführt und erfolgte daraufhin alle sieben Tage. Die letzte Ernte fand am 28. Juli statt. Am 14. Juli fand zusätzlich zur Körnerernte die Ernte des Faserhanfs statt.

4.7 Datenerhebung und Bonituren

Um die ertragsbeeinflussenden Parameter zu ermitteln, wurden verschiedene Datenerhebungen und Bonituren durchgeführt. Zur Erhebung der Daten wurden die im Folgenden erläuterten Messungen vorgenommen bzw. Methoden angewandt.

4.7.1 Keimfähigkeit

Die Keimfähigkeit beschreibt den Anteil von Samen eines bestimmten Saatguts, der sich unter festgelegten Bedingungen in eine gesunde Pflanze weiterentwickelt.

Die Prüfung der Keimfähigkeit des Saatguts fand nach der Richtlinie der International Seed Testing Association (ISTA) statt. Für die Kultur Hanf ist vorgeschrieben, dass der Test auf (TP) oder zwischen (BP) Filterpapier, entweder bei konstanten 20 °C oder bei Wechseltemperaturen (8 h bei 20 °C und 16 h bei 30 °C) erfolgt. Die Erstauszählung findet nach drei und die Endauszählung nach sieben Tagen statt. Als normal gilt ein Keimling, der das Potenzial aufweist, sich zu einer gesunden Pflanze weiterzuentwickeln. Er besitzt die für Keimlinge essenziell wichtigen Strukturen wie Wurzelsystem, bestehend aus Primärwurzel und Wurzelhärchen, eine gestreckte Sprossachse (Hypokotyl) und Keimblätter. Bei der Auszählung werden die Keimlinge anhand der 50-%-Regel in drei Kategorien eingeteilt. Hierbei gilt ein Keimling als normal, wenn mehr als 50 % seines Keimblattgewebes funktionstüchtig sind. Er gilt als anormal, wenn mehr als 50 % seines Keimblattgewebes fehlen, nekrotisch, verfault oder verfärbt sind. Unter ungekeimten Samen werden Samen verstanden, die im Betrachtungszeitraum keine Keimlingsstrukturen ausgebildet haben. Diese sind meist von Pilzbefall betroffen oder es handelt sich um harte Samen, die kein Wasser absorbieren können und daher nicht keimen [58].

Die Versuche zur Keimfähigkeit fanden in einer Klimakammer bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 88 bis 95 % und einer konstanten Temperatur von 20 °C statt. Es wurden je Sorte jeweils 100 Körner gleichmäßig in einer Petrischale, die mit Filterpapier ausgelegt war, aufgetragen (TP). Anschließend wurden 5 ml Wasser zugegeben. Die zuzugebende Wassermenge wurde bereits im Projekt „HanfStoff“ ermittelt [81]. Für jede der zu untersuchenden Sorten wurden vier Wiederholungen angesetzt und die Körner nach drei Tagen anhand der beschriebenen 50-%-Regel ausgezählt.

4.7.2 Tausendkornmasse

Die Tausendkornmasse beschreibt die Masse von 1000 Körnern des zu untersuchenden Saatguts. Zur Bestimmung der exakten Saatstärke ist neben Keimfähigkeit und Triebkraft die Tausendkornmasse entscheidend. Diese wurde durch dreifache automatische Auszählung von jeweils 1000 Körnern und deren Verwiegung bestimmt.

4.7.3 Bestandesdichte

Bei der Bestandesdichte handelt es sich um die Anzahl an Pflanzen pro Quadratmeter. In den Versuchen wurde die Bestandesdichte an zwei Terminen bonitiert. Diese wurde jeweils im Zweiblattstadium der Pflanzen sowie kurz vor Ernte der einzelnen Versuche bestimmt. Bei einem Reihenabstand von 37,5 cm wurde die Anzahl der Individuen auf einer Strecke von 67 cm bzw. bei einem Reihenabstand von 14 cm auf einer Strecke von 179 cm gezählt, was jeweils einer Fläche von 0,25 m² entsprach. Anschließend wurde auf einen Quadratmeter hochgerechnet. Die Strecke wurde mit Markierstäben abgesteckt, da-

mit die Bestandesdichte-Erhebung zum zweiten Termin an derselben Stelle stattfinden konnte. Um Verzerrungen zu vermeiden, wurden pro Ernteparzelle jeweils drei Zählungen vorgenommen und anschließend der Mittelwert gebildet. Eine Ausnahme bildete hier der Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf. Hier wurde aufgrund der Fünffachparzellen pro Ernteparzelle jeweils nur eine Zählung vorgenommen. Aufgrund des schlechten Feldaufgangs im Versuchsjahr 2021 wurden vier statt drei Zählstrecken und im CBD-Versuch zwei statt einer Zählstrecke pro Ernteparzelle abgesteckt.

Am zweiten Boniturtermin wurden nur Pflanzen erfasst, die auch geerntet wurden und somit zum Ertrag der jeweiligen Nutzungsrichtung beitragen. Nicht erfasst wurden hier z. B. sehr niedrige Individuen im Körnerhanf und im Faserhanf der sogenannte Unterhanf, zu dem alle Pflanzen zählen, die kleiner als 60 cm sind.

Im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf wurde auf den abgesteckten Strecken zusätzlich das Verhältnis weiblicher und männlicher Pflanzen bestimmt, indem die Anzahl männlicher/weiblicher Pflanzen erfasst, durch die Gesamtanzahl an Individuen geteilt und anschließend mit 100 multipliziert wurde.

4.7.4 Feldaufgang

Der Feldaufgang ist der Anteil der Bestandesdichte im Zweiblattstadium (ZB) in Bezug auf die Aussaatstärke (4.1). Der Feldaufgang wird wie folgt berechnet [65]:

$$\text{Feldaufgang in \%} = \frac{\text{Bestandesdichte ZB in } \frac{\text{Pflanzen}}{\text{m}^2}}{\text{Aussaatstärke in } \frac{\text{kf. Körner}}{\text{m}^2}} \times 100 \quad (4.1)$$

4.7.5 Selbstaussdünnung

Das Phänomen wurde erstmals 1994 beschrieben und ist beim Hanf sehr ausgeprägt [94]. Die Selbstaussdünnung beschreibt den Anteil der in der Vegetationsperiode abgestorbenen Pflanzen und wird wie folgt berechnet (4.2):

$$\text{Selbstaussdünnung in \%} = \left(1 - \left(\frac{\text{Bestandesdichte Ernte in } \frac{\text{Pflanzen}}{\text{m}^2}}{\text{Bestandesdichte ZB in } \frac{\text{Pflanzen}}{\text{m}^2}} \right) \right) \times 100 \quad (4.2)$$

4.7.6 Wuchshöhe

In den ersten beiden Versuchsjahren wurde die Wuchshöhe, gemessen vom Boden bis zur Pflanzenspitze, über einen Zeitraum von zwölf Wochen alle 14 Tage bestimmt. Dazu wurden in den einzelnen Parzellen jeweils drei repräsentative Individuen zufällig ausgewählt und mithilfe eines Zollstocks gemessen. Mit repräsentativen Individuen sind jene Pflanzen gemeint, die den Bestand nicht komplett überragen bzw. deutlich kleiner sind als der restliche Bestand. Anschließend wurde aus diesen drei Messungen der Mittelwert gebildet. Im Jahr 2022 fand, neben der Messung kurz vor der Ernte, nur eine weitere Höhengemessung um das BBCH-Stadium 50 statt.

Für die Bestimmung der Wuchshöhe zum Erntezeitpunkt wurden am Tag vor der Ernte jeweils zehn Individuen pro Parzelle mithilfe eines Zollstocks gemessen. Anschließend wurde aus den zehn Messungen der Mittelwert gebildet.

4.7.7 Ermittlung der Wärmesumme

Die Wärmesummen wurden für die gesamte Vegetationsperiode sowie für die einzelnen Monate bestimmt (4.3). Von dem Mittelwert aus der minimalen Tagestemperatur ($T_{Min.}$) und maximalen Tagestemperatur ($T_{Max.}$) wurde die Basistemperatur abgezogen und die so entstandenen bereinigten Tagessummen für die jeweilige Zeitspanne addiert. Als Basistemperatur wurden 8 °C gewählt, da ab dieser Temperatur von einem Wachstum der Hanfpflanzen ausgegangen wird [14]. Temperaturen unterhalb 8 °C gehen somit als 0 °C in die Wärmesumme ein.

$$\text{Wärmesumme in } ^\circ\text{C} = \frac{T_{Min.} + T_{Max.}}{2} - 8\text{ °C} \quad (4.3)$$

4.7.8 Bodentemperatur und Bodenfeuchte

Bei der Aussaat der verschiedenen Versuche wurden die Bodenfeuchte und die Bodentemperatur im Oberboden mit dem Bodenfeuchtemessgerät MST 5000 gemessen (Abbildung 14). Hierzu wurde die 9,5 cm lange Messsonde in der Mitte der Parzelle zwischen zwei Reihen eingestochen und komplett versenkt.



Abbildung 14: Bodenfeuchtemessgerät MST 5000 bei der Messung der Bodenfeuchte in einem Faserhanfbestand

4.7.9 Unkraut-, Kultur- und Gesamtdeckungsgrad

Der Deckungsgrad (DG) beschreibt den mit Unkraut, Kulturpflanzen oder dem Gesamtpflanzenbestand bedeckten Anteil der Bestandsfläche. Zur Bestimmung wird der Göttinger Zähl- und Schätzrahmen mit einem Flächeninhalt von 0,1 m² und Unterteilung in vier Rechtecke in die zu untersuchende Parzelle gelegt. Anschließend wird abgeschätzt, welcher Anteil der Fläche von Unkraut (UDG), welcher Anteil von der Kultur (KDG) und welcher Anteil insgesamt (GDG) bedeckt wird. Mit Ausnahme vom Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf, bei dem die Unkrautbonitur vor und nach der Hackmaßnahme sowie zur Ernte durchgeführt wurde, wurde die Unkrautbonitur immer kurz vor Reihenschluss und kurz vor der Ernte durchgeführt. Die genauen Termine können Tabelle 29 entnommen werden. Zusätzlich zur Unkrautbonitur wurden die Leitunkräuter und deren Anteil am Unkrautdeckungsgrad in den Parzellen erfasst.

Die Unkrautgesellschaften in den Versuchen am TFZ setzten sich 2020 und 2021 hauptsächlich aus *Chenopodium album* (Weißer Gänsefuß), *Thlaspi arvense* (Acker-Hellerkraut), *Echinochloa crus-galli* (Hühnerhirse), *Cirsium arvense* (Ackerkratzdistel), anderen *Cirsium*-Arten (Kratzdisteln), diversen *Poacea* (Ausfallgetreide), *Polygonum convolvulus/Fallopia convolvulus* (Winden-Knöterich), einer unbestimmten Art der Gattung *Persicaria* (Knöterich), *Veronica persica* (Ehrenpreis), *Matricaria chamomilla* (Echte Kamille), *Capsella bursa-pastoris* (Hirtentäschel), vereinzelt auch *Brassica napus* (Raps) und einer unbestimmten Art der Gattung *Amaranthus* (Amarant) zusammen. Zusätzlich wurden im Jahr 2020 eine unbestimmte Art der Gattung *Malva* (Malve), *Borago officinalis* (Borretsch) und *Helianthus annuus* (Sonnenblumen) und im Jahr 2021 *Raphanus raphanistrum* (Hederich) sowie *Stellaria media* (Vogelmiere) gefunden. Im Jahr 2022 waren überwiegend *Chenopodium album* (Weißer Gänsefuß) und *Echinochloa crus-galli* (Hühnerhirse), vereinzelt auch *Lolium perenne* (Deutsches Weidelgras), eine unbestimmte Art der Gattung *Persicaria* (Knöterich), *Polygonum persicaria* (Flohknöterich), *Polygonum aviculare* (Vogelknöterich), diverse *Poacea* (Ausfallgetreide), *Sonchus asper* (Gänsedistel), *Veronica*

Berichte aus dem TFZ 78 (2023)

persica (Ehrenpreis), *Capsella bursa-pastoris* (Hirtentäschel) und eine unbestimmte Art der Gattung *Amaranthus* (Amarant) vorhanden.

Die Unkrautgesellschaft in HD bestand 2020 aus einer unbestimmten Art der Gattung *Atriplex* (Melde) und *Lamium* (Taubnessel), *Solanum nigrum* (Schwarzer Nachtschatten), *Polygonum persicaria* (Flohknöterich) und *Veronica persica* (Ehrenpreis). Im Jahr 2021 kamen noch *Stellaria media* (Vogelmiere), *Cirsium*-Arten (Kratzdisteln) und unbestimmte Arten der Gattung *Fumaria* (Erdrauch) und *Urtica* (Brennnessel) hinzu. Im Jahr 2022 setzte sich die Unkrautgesellschaft zusammen aus *Rumex obtusifolius* (Stumpfbblatt-Ampfer), *Chenopodium album* (Weißer Gänsefuß), *Taraxacum officinale* (Gewöhnlicher Löwenzahn) und einer unbestimmten Art der Gattung *Atriplex* (Melde).

4.7.10 Bonitur des Entwicklungsverlaufs mittels BBCH-Skala

Die von MEIER et al. [72] entwickelte und inzwischen international anerkannte BBCH-Skala dient der einheitlichen Codierung der auf dem Feld erkennbaren Entwicklungsstadien von mono- und dikotylen Pflanzen. Hierbei beschreibt die erste Ziffer des Codes das Makrostadium, in dem sich die Pflanze befindet. Makrostadien beschreiben immer eine Zeitspanne im Entwicklungsverlauf einer Pflanze, wie beispielsweise das Stadium der Keimung, Blattentwicklung, Blüte oder Samenreife. Die zweite Ziffer drückt das Mikrostadium, in dem sich die Pflanze befindet, aus. Hierbei handelt es sich um kurze, für die jeweilige Pflanzenart charakteristische Entwicklungsschritte.

Ein Forscherteam aus der Schweiz entwickelte die allgemeine BBCH-Skala [72] weiter und leitete aus dem ursprünglich zweistelligen Code ein vierstelliges Dezimalcodesystem ab [67]. Da der Aufbau deutlich von dem der weit verbreiteten BBCH-Skala abweicht, fällt die Anwendung dieses Systems in der Praxis schwer. Aus diesem Grund wurde die allgemeine BBCH-Skala im Zuge dieses Projekts an Hanf angepasst (Tabelle 12), sodass nun auch bei Hanf mit dem bekannten zweistelligen Code gearbeitet werden kann.

Da die Hanfblüte durch einen sehr inhomogenen Ablauf charakterisiert wird, wurde in den Versuchen eine Stichprobengröße von 30 Pflanzen pro Parzelle gewählt und anschließend nach der 50%-Methode gearbeitet. In der Praxis bedeutet das, dass ein bestimmtes Stadium erreicht ist, wenn mehr als 50 % der Pflanzen innerhalb einer Population den für das Stadium erforderlichen Code erhalten haben. Bei Überschneidung verschiedener Stadien sind Mehrfachnennungen möglich. So kann ein Bestand, der sich im Vierblattstadium befindet und bei dem bereits das erste Internodium deutlich gestreckt ist, als „14/31“ vermerkt werden. Wenn allerdings die Angabe nur eines Stadiums erforderlich ist, ist immer das fortgeschrittenere zu wählen. Zur differenzierten Beschreibung männlicher und weiblicher Blüten können diese getrennt voneinander beurteilt werden. Dies wird mit einem vorangestellten „M“ oder „W“ dargestellt. So kann ein Bestand, der gerade mit der weiblichen Blüte begonnen hat und dessen männliche Blüten sich momentan im Stadium der Hauptblüte befinden, als „M65/W61“ bezeichnet werden.

Tabelle 12: BBCH-Skala Nutzhanf; angelehnt an *MEDIAVILLA et al. [67]* und *MEIER et al. [72]*

BBCH-Skala Hanf	
Makrostadium 0: Keimung/Austrieb	Makrostadium 5: Erscheinen der Blütenanlage (Hauptspross)
00 Trockener Samen (Stadium für die Saatgutbehandlung)	<i>vorangestelltes „M“ für männliche Blütenanlagen und vorangestelltes „W“ für weibliche Blütenanlagen</i>
01 Beginn der Samenquellung	M/W 51 Blütenanlagen sichtbar
03 Ende der Samenquellung	M/W 55 erste Einzelblüten sichtbar (geschlossen)
05 Keimwurzel aus dem Samen ausgetreten	M/W 59 Erste Blütenblätter sichtbar, Blüten noch geschlossen
06 Keimwurzel verlängert, bildet Wurzelhaare	Makrostadium 6: Blüte (Hauptspross)
07 Hypokotyl mit Keimblättern bzw. Spross hat Samenschale durchbrochen	<i>vorangestelltes „M“ für männliche Blütenanlagen und vorangestelltes „W“ für weibliche Blütenanlagen</i>
08 Hypokotyl mit Keimblättern bzw. Spross wächst zur Bodenoberfläche	M/W 61 Beginn der Blüte
09 Auflaufen: Keimblätter durchbrechen Bodenoberfläche	M/W 65 Hauptblüte
Makrostadium 1: Blattentwicklung (Hauptsprossachse)	M/W 69 Ende der Blüte
10 Keimblätter voll entfaltet	Makrostadium 7: Fruchtentwicklung
11 1. Laubblattpaar entfaltet	71 erste Früchte erreichen sortenspezifische Größe
12 2. Laubblattpaar entfaltet	72 bis zu 25 % der Früchte erreichen sortenspezifische Größe
13 3. Laubblattpaar entfaltet	75 bis zu 50 % der Früchte erreichen sortenspezifische Größe
... Stadien fortlaufend bis...	77 bis zu 75 % der Früchte erreichen sortenspezifische Größe
19 9 oder mehr Laubblattpaare entfaltet	79 nahezu alle Früchte erreichen ihre sortenspezifische Größe
Makrostadium 3: Längenwachstum	Makrostadium 8: Frucht- und Samenreife
31 1. Internodium deutlich gestreckt (3 cm vom vorherigen Blattpaar entfernt)	81 Beginn der Samenreife
32 2. Internodium deutlich gestreckt (5 cm vom vorherigen Blattpaar entfernt)	85 Samenreife (50 % hart)
33 3. Internodium deutlich gestreckt (5 cm vom vorherigen Blattpaar entfernt)	87 Samenreife (75 % hart)
... Stadien fortlaufend bis...	89 Ende der Samenreife (95% hart)
39 9. Internodium deutlich gestreckt (5 cm vom vorherigen Blattpaar entfernt) Längenwachstum erreicht	Makrostadium 9: Seneszenz
Makrostadium 4: Wechsel Blattstellung	91 Holzwachstum abgeschlossen, Laub aber noch grün
47 GV-Punkt (erster Punkt der wechselständigen Blattstellung)	93 Beginn der Blattverfärbung oder des Blattfalles
	95 50 % der Blätter verfärbt oder abgefallen
	97 Ende des Blattfalles. Pflanze abgestorben
	99 Erntegut (Stadium für die Nacherntebehandlung)

4.7.11 Ermittlung der Korngrößenzusammensetzung

Die Siebung zur Ermittlung der Korngrößenzusammensetzung wurde mit der 3-D-Siebmaschine AS200 der Firma Retsch durchgeführt. Zur Auftrennung in die verschiedenen Fraktionen wurden sieben Siebe mit Maschen- bzw. Lochweiten von 1,0 mm bis 4,0 mm verwendet. Es wurde eine Amplitude von 1,0 mm und eine Siebdauer von 8 min gewählt. Siebdauer und Amplitude wurden zuvor in einem Vorversuch ermittelt. Zur Ermittlung der Siebdauer wurde eine Probe der Hanfkörner so lange gesiebt, bis die Änderung in einer Minute in den einzelnen Fraktionen 0,3 % unterschritten hat [33]. Die Amplitude von 1,0 mm wurde gewählt, da im Vergleich zu größeren Amplituden der mechanische Abrieb gering ist und gleichzeitig die Siebdauer im Vergleich zu kleineren Amplituden deutlich verkürzt wird.

4.7.12 Trockensubstanzgehalt

Zur Bestimmung des Trockensubstanzgehalts (TS-Gehalts) wurden die Proben (Körner, Stroh, Blütenstand, Spreu) direkt nach der Probennahme verwogen (Einwaage) und im Anschluss im Trockenschrank bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Nach dem Trocknen wurde die Probe erneut verwogen (Auswaage). Am Standort HD wurden die Körnerproben lediglich bei 40 °C getrocknet.

Zur Berechnung des TS-Gehalts wird nun die Masse der Auswaage durch die Masse der Einwaage dividiert und anschließend mit 100 multipliziert (4.4).

$$TS\text{-Gehalt in \%} = \frac{\text{Auswaage} - \text{Tara in g}}{\text{Einwaage} - \text{Tara in g}} \times 100 \quad (4.4)$$

4.7.13 Trockenmasseertrag

Zur Bestimmung des Trockenmasseertrags (TM-Ertrag) wurde die Frischmasse (FM-Ertrag) je Parzelle auf einen Hektar hochgerechnet und mit dem TS-Gehalt multipliziert (4.5).

$$TM\text{-Ertrag in } \frac{dt}{ha} = \frac{FM\text{-Ertrag in } dt}{\text{Parzellengröße in } m^2} \times 10\,000 \times \frac{TS\text{-Gehalt in \%}}{100} \quad (4.5)$$

4.8 Analysen

Für die Datenerfassung von Inhaltsstoffen wurden die jeweiligen Proben mittels nachfolgender Methoden vorbereitet und analysiert.

4.8.1 Boden

Vor der Aussaat der jeweiligen Versuche wurde eine repräsentative Probe der Versuchsfläche bis in eine Tiefe von 90 cm gezogen und auf den N_{\min} - und S_{\min} -Gehalt untersucht. Zusätzlich wurde eine Probe für eine erweiterte Grundbodenanalyse entnommen. Diese beinhaltete neben Phosphor, Kalium, Magnesium und dem pH-Wert noch Eisen, Kupfer, Bor, Natrium, Zink, Calcium und Nickel. Die jeweils angewandten Analysemethoden können Tabelle 13 entnommen werden.

Tabelle 13: Analyseparameter und Methodik der Bodenuntersuchungen [34] [89] [90]

Parameter	Analysemethode
TS-Gehalt	VDLUFA I, A2.1.1: 1991
Ammoniumstickstoff (NH_4^+), Boden	VDLUFA I, A6.1.4.1: 2002
Nitratstickstoff (NO_3^-), Boden	VDLUFA I, A6.1.4.1: 2002
Sulfat (SO_4^-)	VDLUFA I, A6.1.4.1: 2002
Phosphor	VDLUFA I, A6.2.1.1: 2012
Kalium	VDLUFA I, A6.2.1.1: 2012
Magnesium	VDLUFA I, A6.4.1; 2002
Mangan	VDLUFA I, A6.4.1; 2002
Kupfer	VDLUFA I, A6.4.1; 2002
Zink	VDLUFA I, A6.4.1; 2002
Eisen (CAT)	VDLUFA I, A13.1.1: 2004
Natrium	VDLUFA I, A6.4.1; 2002
pH	VDLUFA I, A5.1.1: 2016 (CaCl)
Bor	VDLUFA I, A6.4.1; 2002
Calcium	QMP_BIK_C_1201: 2018-06
Cadmium	DIN EN 16170: 2017-01
Nickel	DIN EN 16170: 2017-01

Die anschließenden Bodenanalysen wurden zu den in Tabelle 14 beschriebenen Zeitpunkten durchgeführt. Hierzu wurde je Variante eine repräsentative Probe bis in eine Tiefe von 90 cm gezogen, jedoch nur auf den N_{\min} -Gehalt (Nitrat und Ammonium) untersucht.

Die Proben am TFZ wurden mit einem am Schlepper befestigten Bodenprobenahmegerät der Firma Kubach entnommen. Nach der Probenahme wurden die Proben bis zum Ver-

sand an die Firma Agrolab bei $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ im Gefrierschrank aufbewahrt. In HD wurden die Bodenproben per Hand unter Zuhilfenahme einer Schlagbohrmaschine entnommen und anschließend bis zu Abholung durch LUFA HD im Kühlschrank aufbewahrt.

Tabelle 14: Übersicht der Bodenproben in den einzelnen Versuchen am Standort TFZ; BP – Bodenprobe, 1mUKR bzw. 2mUKR – erster bzw. zweiter Termin nach mechanischer Unkrautregulierung

Versuch	Standort	2020		2021		2022	
		BP vor Aussaat	BP nach Ernte	BP vor Aussaat	BP nach Ernte	BP vor Aussaat	BP nach Ernte
Produktionstechnik im Körnerhanf	TFZ	02.04.	17.08.	28.04.	19.08.	06.04.	11.08.
	1mUKR	02.05.		n. e.		n. e.	
	2mUKR	17.05.		n. e.		n. e.	
	HD	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	11.04.	22.08.
Stickstoffsteigerung im Faserhanf	TFZ	02.04.	17.08.	28.04.	18.08.	06.04.	17.08.
Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf	TFZ	02.04.	25.06. 01.07. 09.07.	28.04.	n. e.	06.04.	06.07. 15.07. 26.07.
	HD	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	02.05.	08.07. 25.07.
Stickstoffsteigerung im Körnerhanf	TFZ	02.04.	17.08.	28.04.	25.08.	06.04.	11.08.
	HD	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	08.07.	22.08. 01.09.
Winterhanfanbau	TFZ	02.04.	n. e.	19.08.	n. e.	12.07.	n. e.
	HD	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	08.07.	n. e.
Körnerhanf in Zweitfruchtstellung	TFZ	02.04.	n. e.	19.08.	n. e.	n. e.	n. e.

4.8.2 Fasern

Zur Bestimmung der Faserqualität wurden pro Parzelle 25 geröstete Pflanzen entnommen. Die Proben der verschiedenen Wiederholungen wurden anschließend zu variantenscharfen Proben mit 100 Pflanzen zusammengefasst. Nach der Probennahme wurden die Pflanzen für den Versand auf eine Länge von 60 cm geschnitten und zur weiteren Analyse an die Steinbeis GmbH geschickt.

Hier wurden die Proben auf Faserausbeute und Prozessverhalten (mechanisch und chemisch) und Faserfeinheit sowie Faserlänge untersucht. Zusätzlich fand eine spektroskopische Untersuchung auf Unterschiede zwischen den Varianten statt. Für die Bestimmung der mechanischen Ausbeute wurden jeweils 15 Stängel der Abschnitte A bis D gewogen (Feuchte 8 %) und entholzt. Nach jeder Passage wurden die Gewichtsverluste erfasst, bis der Verlust konstant blieb (< 2 %). Der Gesamtfasergehalt errechnet sich aus den Sum-

men der Abschnitte. Dann folgt der chemische Aufschluss. Je nach vorhandener Probenmenge werden 128 bis 348 g Stängel (bestehend aus den Sektionen A–D) abgewogen und in Siebstrümpfen für 1 h bei 98 °C in 1,5%iger NaOH gekocht. Anschließend werden die Fasern mittels Wasserstrahls vom Stängel gelöst, aufgefangen und für 30 min in einer Waschlösung (5 g/l Vollwaschmittel) gewaschen, getrocknet und abgewogen. Aus Faserproben der mechanischen Entholzung wird eine repräsentative Probe entnommen, diese wird gemahlen und zu einem Pressling gepresst. Mittels IR-Spektroskopie werden die Spektren aufgenommen und mittels PCA ausgewertet.

4.8.3 CBD

Nach einer umfassenden Recherche der in der Literatur existierenden Methoden zur Analyse von Hanf wurde zunächst die Methode der Probenvorbereitung erarbeitet. Die obersten 30 cm der Pflanzenproben wurden in Crisp Bags (5 Stück/Beutel) bei 40 °C für 48 h unter Frischluftzufuhr am TFZ getrocknet. Das so erhaltene Pflanzenmaterial wies einen Massenverlust von durchschnittlich 62,7 % auf. Im nächsten Schritt wurden die Blätter und Blüten händisch von den Stängeln getrennt und bei der Masse bestimmt. Hier war kein direkter Zusammenhang mit der Düngestufe erkennbar. Die Proben wurden im Anschluss mit einer Schneidmühle zerkleinert und über ein Sieb (Maschenweite 1 mm) aufgetrennt. Bei Blüten/Blättern und Samen funktionierte diese Methode gut, nicht allerdings bei den Realproben (Schnitt mit Grüngütertern) und den Stängeln. Die langen Fasern der Hanfpflanze ließen sich nur schlecht zerkleinern und führten zu Beschädigungen an der Schneidmühle (Abbildung 15).

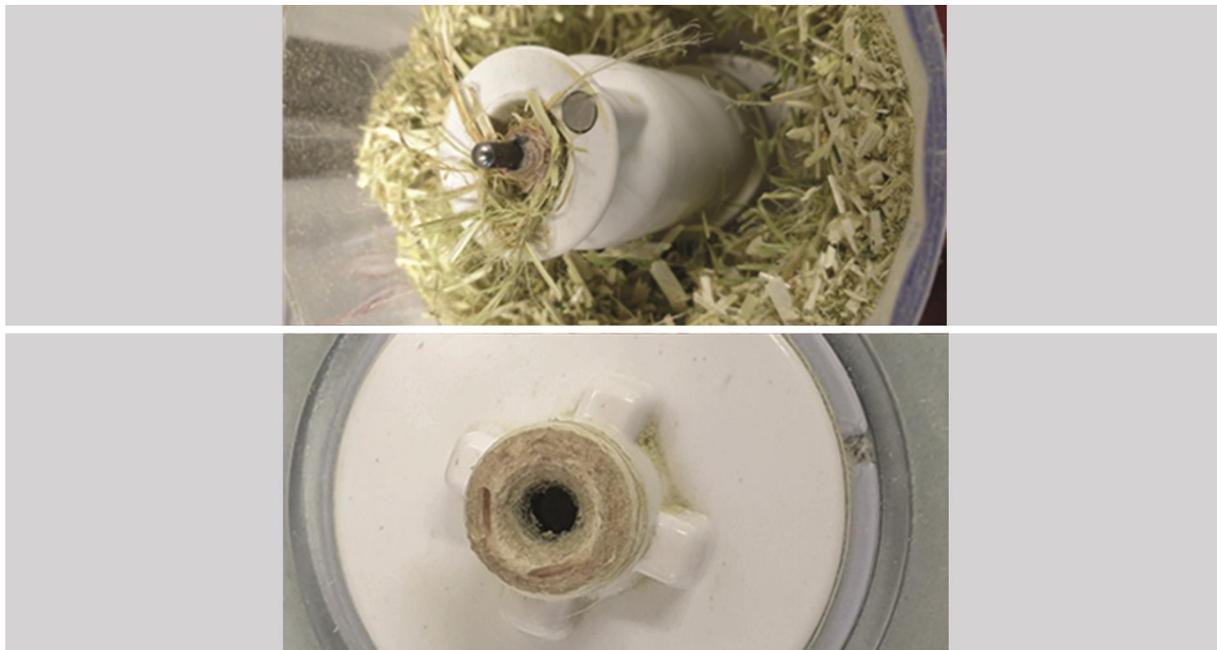


Abbildung 15: *Herkömmliche Schneidmühle (Moulinex), die nach Zerkleinerung des Hanf-Strohs unbrauchbar war*

Vielfach wiesen die Proben Teilchengrößen über 1 mm auf und gingen somit nicht in die Analysen mit ein. Ein weiteres Problem ergab sich bei der Bearbeitung der Proben zu späteren Erntezeitpunkten. Diese enthielten größere Menge an Körnern, welche die Probenaufbereitung zusätzlich erschwerten (Abbildung 16).



Abbildung 16: Probenmaterial der Ernte 3 am TFZ im Jahr 2020 mit hohem Anteil Körner

Anschließend wurde mittels Infrarot-Feuchtebestimmer die Trockenmasse der vorbereiteten Proben bestimmt. Vorversuche zur Extraktion des Pflanzenmaterials zeigten, dass ein feinerer Mahlgrad, als ihn die Schneidmühle erreichte, keinen Einfluss auf die Extraktionsausbeute hat. Des Weiteren ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen der Extraktion mit Ultraschall und der Mazeration. Auch die Verwendung unterschiedlicher, für die Hanfextraktion gebräuchlicher Lösungsmittel wie Hexan und Methanol, ließ keinen signifikanten Unterschied in den Extraktionsausbeuten für CBDA erkennen (Abbildung 17).

Die Extraktionszeit konnte mangels Signifikanz der Ausbeuteunterschiede bei längeren Extraktionszeiten auf 15 min festgelegt werden. Folglich wurden die Pflanzenproben mittels 15-minütiger dynamischer Mazeration unter Verwendung von Acetonitril/Wasser (50/50) als Lösungsmittel für die Analytik mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatografie (HPLC) und Methanol als Lösungsmittel für die Analytik mittels Gaschromatografen gekoppelt mit Massenspektrometer (GC/MS) extrahiert.

Um für die Analyse unterschiedlicher Proben des Hanfs möglichst umfassend aufgestellt zu sein, wurde eine Methode sowohl auf der HPLC als auch am GC/MS erstellt.

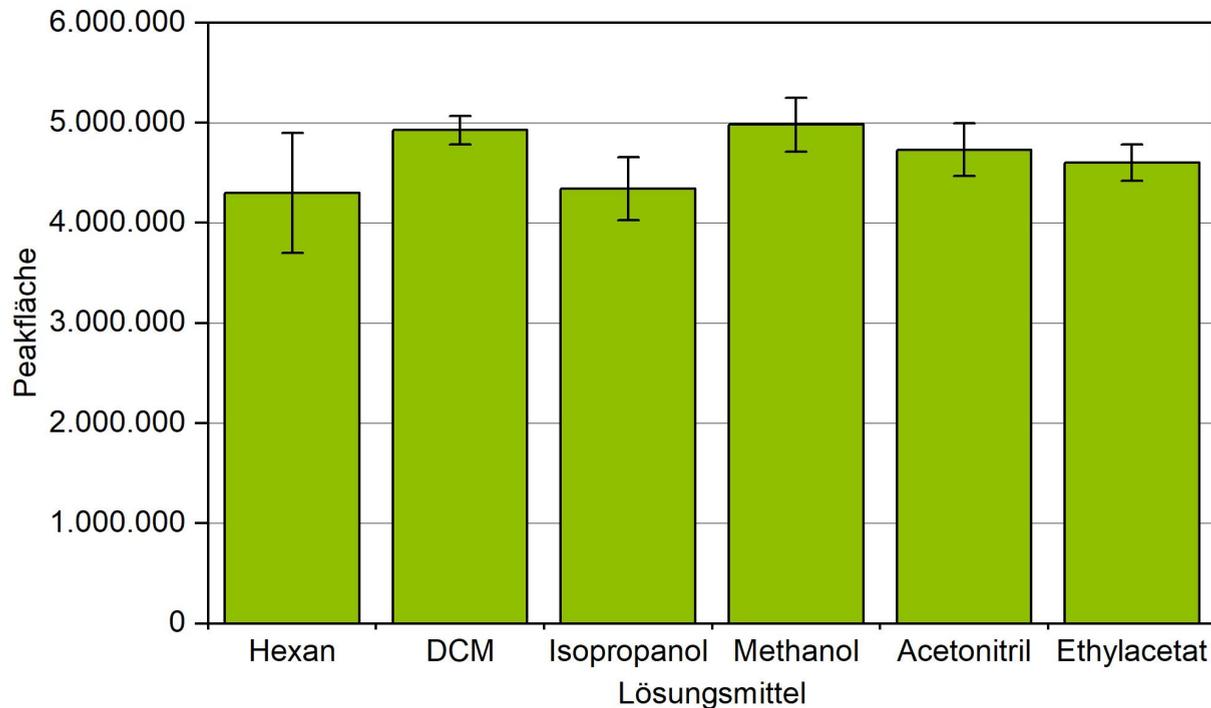


Abbildung 17: Vergleich des Extraktionsvermögens unterschiedlicher Lösungsmittel am Beispiel Cannabidiol-Säure

Zunächst wurde ein GC-2010Plus (Shimadzu), das mit dem Massendetektor QP210SE (Shimadzu) gekoppelt ist, verwendet. Die von der EU vorgeschlagene Methode zur Bestimmung von Tetrahydrocannabinol (THC) mittels GC/MS konnte aufgrund der Überlagerung von Cannabidiol (CBD) und Cannabichromen nicht für die Analyse der Proben in diesem Projekt verwendet werden. Dementsprechend wurde zunächst eine Methode entwickelt, mit der die Überlagerungsproblematik gelöst werden konnte. Bei der Analyse mittels GC/MS gehen die natürlich vorkommenden Cannabinoidsäuren eine Decarboxylierungsreaktion ein und können nur als korrespondierende Cannabinoide bestimmt werden. Zur Evaluierung der Analysemethode wurde deshalb zunächst untersucht, bei welchen Injektortemperaturen eine möglichst vollständige Decarboxylierung der Cannabinoidsäuren CBDA und THCA zu CBD und THC eintrat. Hierzu wurden jeweils Lösungen von 1 $\mu\text{mol/mL}$ hergestellt und bei unterschiedlichen Injektortemperaturen am GC/MS vermessen.

Eine vollständige Decarboxylierung konnte für CBDA ab 220 °C und für THCA ab 240 °C erreicht werden (Abbildung 18, Abbildung 19). Somit wurden eine Injektionstemperatur von 250 °C und ein Heizprogramm von 150 °C bis 240 °C mit einer Rate von 4 °C/min für die GC/MS Analyse gewählt, wobei als Trägergas Helium (1 ml/min) eingesetzt wurde. Die Retentionszeit von CBD betrug 21,75 min und jene von THC 23,96 min.

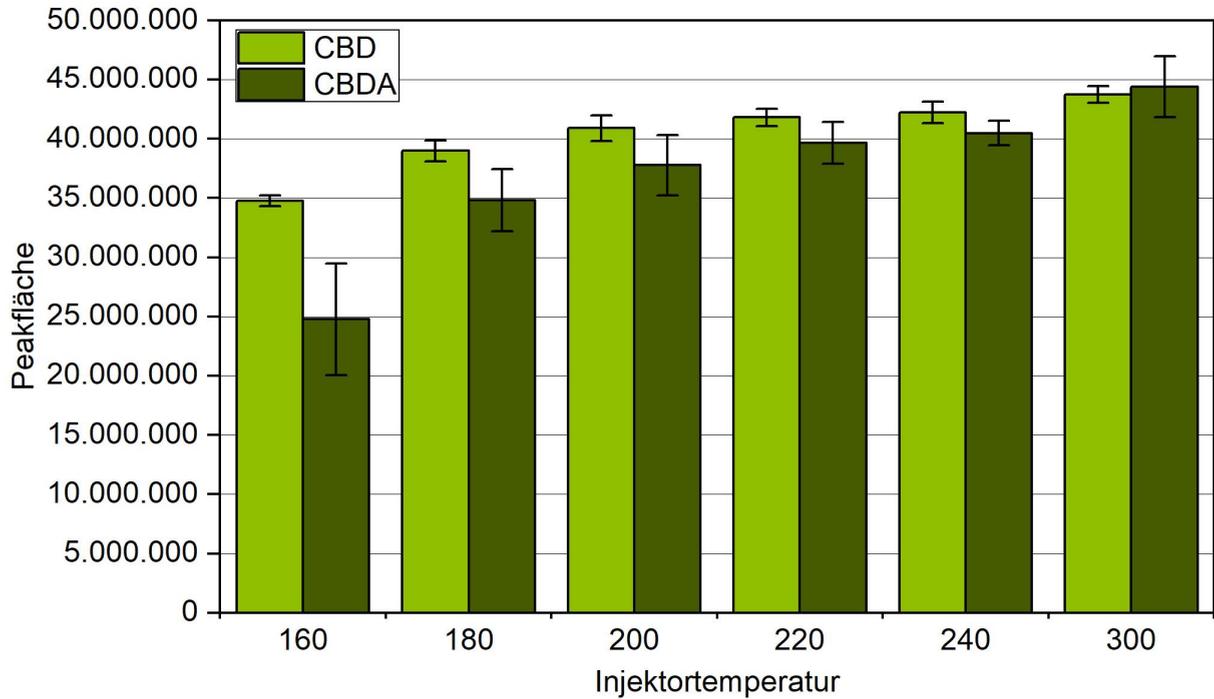


Abbildung 18: Peakflächen von CBD und CBDA bei unterschiedlichen Injektortemperaturen in °C

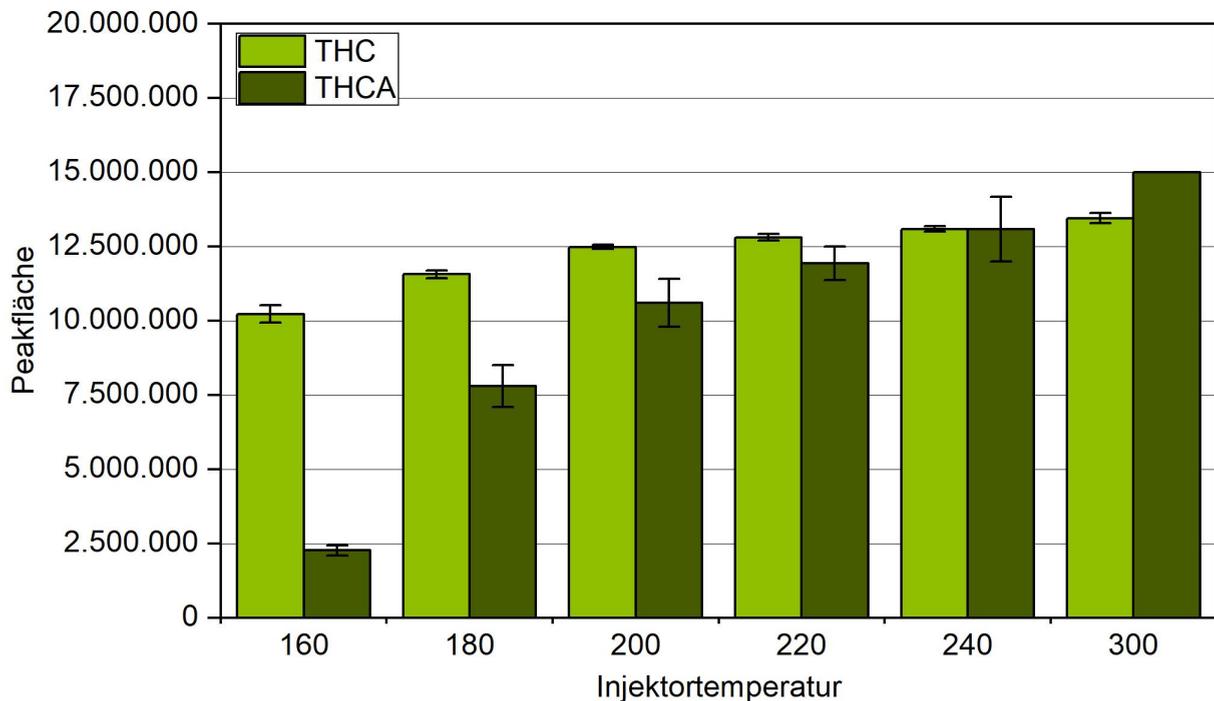


Abbildung 19: Peakflächen von THC und THCA bei unterschiedlichen Injektortemperaturen in °C

Anschließend wurde die GC/MS-Methode nach den Guidelines des International Council for Harmonisation of Technical Requirements validiert [15]. Die Bestimmungsgrenze von CBD lag hier bei 0,023 mg/ml und für THC bei 0,002 mg/ml mit einer Intraday-Präzision

von $102,5 \pm 0,3$ %, einer Interday-Präzision von $106,2 \pm 4,3$ % und einer Wiederfindung von > 95 %.

Für die Erstellung und Evaluierung der HPLC-Methode wurde zunächst eine HPLC (2xLC-20AD, SSIL-20AC HT, CTO-20A, SPD-M20) gekoppelt mit einem hochauflösenden Massenspektrometer (IT TOF, Shimadzu, CDL temperature 210 °C, nebulizer gas 1,5 mL/min, m/z 100-1000, ion accumulation 20 ms) eingesetzt, da schon aus der Literaturrecherche eine gravierende Überlagerungsproblematik bekannt war. Dementsprechend wichtig war die ständige Überprüfung der Selektivität der Methode. Schlussendlich konnte eine zufriedenstellende HPLC-Methode durch Verwendung eines Gradienten (0–0,5 min 50 %B innerhalb von 8,5 min auf 89 %B, innerhalb von 0,5 min auf 95 %B, gehalten für 1,5 min) aus Acetonitril (B) und Wasser (A), jeweils versetzt mit 0,1 % Ameisensäure, einem Fluss von 0,7 mL/min und einer Laufzeit von 15 min auf einer C18-Coreshell-Säule (Kinetex 3,0 × 150 mm 2,6 μ ; Phenomenex) erreicht werden. Die Detektion der Cannabinoide an der HPLC (2xLC-20AD, SSIL-20AC HT, CTO-20A, SPD-M20; Shimadzu) über die Absorptionsmessung erfolgte bei den Wellenlängen 230 und 270 nm. Die Retentionszeiten betragen 7,66 min für CBDA, 8,05 min für CBD, 9,52 min für THC und 10,20 min für THCA

4.8.4 Körner

Zur Bestimmung des Stickstoff- und Öl-Gehalts im Korn wurden nach der Ernte variantenscharfe Proben entnommen und im Anschluss bei 60 °C für 48 Stunden im Trockenschrank getrocknet und anschließend an die Firma Agrolab gesendet.

Tabelle 15: Analyseparameter und Methodik der Körner-Analysen [13] [78]

Parameter	Analysemethode
Weender Analyse:	
Wasser,	VO(EG) 152/2009, III, A: 2009-02
Rohasche,	VO(EG) 152/2009, III, M: 2009-02
Rohprotein,	VO(EG) 152/2009, III, C: 2009-02
Rohfett,	VO(EG) 152/2009, III, H, B: 2009-02
Rohfaser	VO(EG) 152/2009, III, I: 2009-02
d9-Tetrahydrocannabinol	VA14110 (2020-04), L CMS/MS(QS)
Tetrahydrocannabinolsäure	VA14110 (2020-04), L CMS/MS(QS)
Cannabidiol	VA14110 (2020-04), L CMS/MS(QS)
Cannabidiolsäure	VA14110 (2020-04), L CMS/MS(QS)
Rohfett, gesamt	VO(EG) 152/2009, III, H, Verfahren B: 2009-02
Gesamtstickstoff	§ 64 LFGB L 06.00-7: 2014-08 (mod.)

Zur Bestimmung des THC-Gehalts im Korn wurden die direkt gereinigten und vorerst ungereinigten Körner sechs Tage bei Temperaturen zwischen 30 und 40 °C im Trockenschrank getrocknet. Nach der Trocknung wurden die noch ungereinigten Körner ebenfalls

gereinigt. Anschließend wurden variantenscharfe Proben der direkt und nach der Trocknung gereinigten Körner zur Überprüfung des THC-Gehalts an die Firma Agrolab gesendet. Für die Weender-Analyse-Proben wurden die Körner ebenfalls 48 Stunden bei 60 °C getrocknet. Die jeweils angewandten Analysemethoden können Tabelle 15 entnommen werden.

4.8.5 Pflanzenanalysen (Stroh, Blütestand und Spreu)

Zur Bestimmung des Stickstoff-Gehalts in Stroh, Blütestand und Spreu wurden variantenscharfe Proben entnommen und 48 Stunden bei 60 °C im Trockenschrank getrocknet. Die jeweils angewandten Analysemethoden können Tabelle 16 entnommen werden.

Tabelle 16: Analyseparameter und Methodik Pflanzenanalysen [32] [89]

Parameter	Analysemethode
Trockensubstanz	VDLUFA III, 4.1.2 (mod.): 2004
Gesamt-Stickstoff	DIN EN ISO 11885: 2009-09
Phosphor (P ges.)	DIN EN ISO 11885: 2009-09
Kalium	DIN EN ISO 11885: 2009-09
Magnesium	DIN EN ISO 11885: 2009-09
Kalzium	DIN EN ISO 11885: 2009-09

4.9 Nährstoffbilanzierung

Das Nährstoffsaldo errechnet sich aus der Differenz der über Mineraldünger zugeführten und der über Ernteprodukte abgefahrenen Nährstoffmengen. Für die Berechnung der abgefahrenen Nährstoffe wurden die Erträge der einzelnen Versuche erhoben und zusätzlich die Nährstoffgehalte des Ernteguts analysiert. Aus diesen beiden Werten wurde dann die Menge abgefahrter Nährstoffe errechnet. Im Boden verbleibende Ernte- und Wurzelrückstände sowie der Austausch von Nährstoffen innerhalb des Bodens und mit der Atmosphäre wurden in dieser Rechnung nicht berücksichtigt. Mithilfe von Nährstoffsaldo und den nach der Ernte gemessenen N_{\min} -Werten kann die Ausnutzung des zugeführten (mineralischen) Stickstoffs beurteilt werden.

4.10 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mithilfe des Programms SAS, Version 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Mittelwerte und Standardabweichungen wurden durch die Prozedur MEAN (SAS) oder in Microsoft Excel (Microsoft Inc., Redmond, WA, USA) der Version 2108 berechnet. Für die Varianzanalyse wurden die Prozeduren MIXED bzw. GLM angewandt. Generelle Voraussetzungen für die Durchführung einer Varianzanalyse sind Unabhängigkeit und Zufälligkeit sowie Normalverteilung der Versuchsfehler [73]. Dies

wurde mithilfe des Shapiro-Wilk-Tests bzw. anhand der visuellen Überprüfung der Histogramme kontrolliert. Für die Überprüfung der verschiedenen Faktorstufen auf signifikante Unterschiede (im Folgenden durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet) wurde ein multipler Mittelwertvergleich nach Tukey mit einem Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$, durchgeführt. Um die Beziehung zwischen zwei Merkmalen zu beschreiben, wurde eine Korrelationsanalyse mit Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$ nach Pearson durchgeführt. Dafür wurde in dem Programm SAS der Befehl PROC CORR genutzt. Ein Korrelationskoeffizient von $r = 0,3/-0,3$ beschreibt einen schwachen Zusammenhang, $r = 0,5/-0,5$ eine mittelstarke und $r = 0,8/-0,8$ eine starke Korrelation der untersuchten Merkmale. Für die grafische Darstellung der statistischen Ergebnisse wurde das Programm Origin 2021 (Origin-Lab, Northampton, MA, USA) genutzt.

5 Ergebnisse und Diskussion

5.1 Entwicklungsverlauf von Nutzhanf

In den drei Versuchsjahren zeigten sich für den Entwicklungsverlauf von Nutzhanf nur geringe Unterschiede. Daher wird im Folgenden der Entwicklungsverlauf an einem Beispiel verdeutlicht und anschließend nur exemplarisch auf Besonderheiten von Standorten, Aussaatterminen, Jahren und Sorten eingegangen. Im Verlauf des Projekts zeigte sich am Standort TFZ, dass die Pflanzen der Sorte FINOLA bei einem Aussaattermin Anfang Mai in der Regel zwischen dem 7. und dem 14. Vegetationstag vom Stadium 0 (Keimung/Austrieb) in das Makrostadium der Blattentwicklung wechselten. Zwischen dem 21. und 35. Vegetationstag folgte bei den weiblichen Pflanzen der Übergang in Stadium des Längenwachstums. Die männlichen Pflanzen erreichten dieses Stadium einige Tage früher (Abbildung 20).

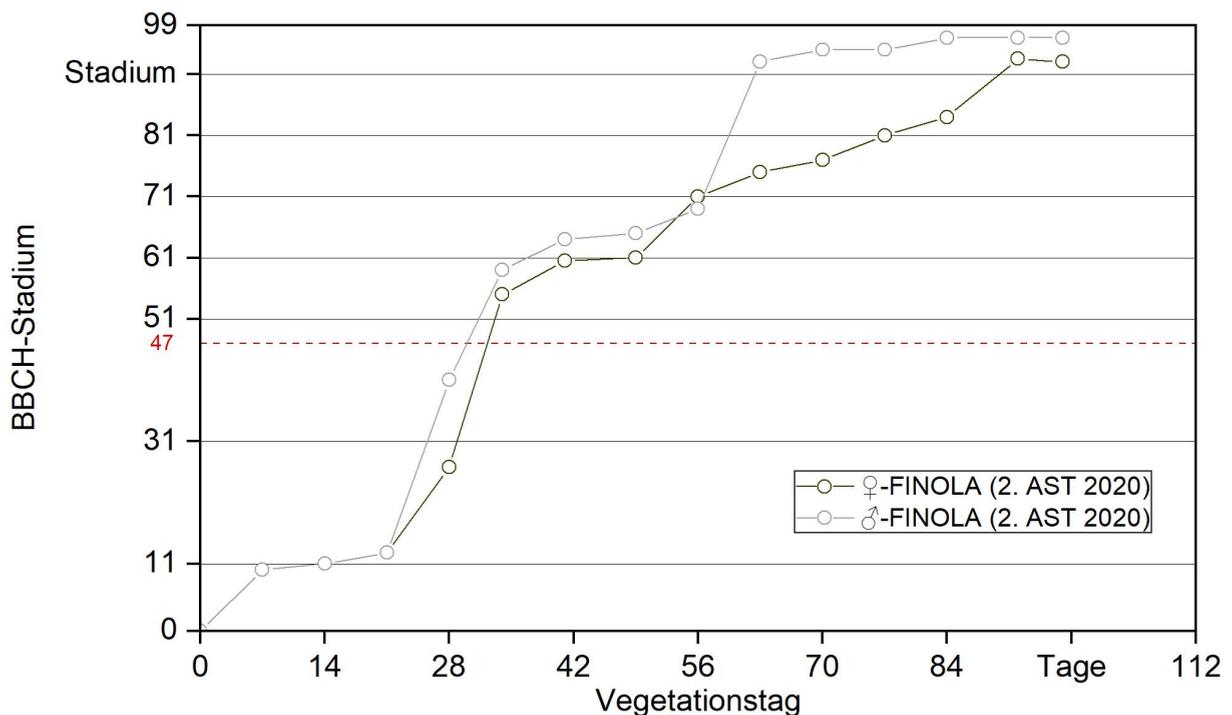


Abbildung 20: Entwicklungsverlauf männlicher und weiblicher Pflanzen der Sorte FINOLA im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf am Beispiel des zweiten Aussaattermins des Versuchsjahrs 2020 (AST = Aussaattermin)

Kurz nach dem Übergang in das Stadium des Längenwachstums wurden bereits die ersten Blütenanlagen beobachtet. Das Erscheinen der männlichen Blütenanlage wurde vor dem der weiblichen beobachtet. Anschließend folgte das Stadium der Blüte. Diese begann bei den männlichen Pflanzen zwischen dem 28. und 35. Vegetationstag und bei den weiblichen zwischen dem 28. und 42. Vegetationstag. Zwischen dem 42. und 56. Vegetationstag wechselten die weiblichen Pflanzen in das Stadium der Fruchtentwicklung. Das Stadium der Samenreife wurde anschließend zwischen dem 63. und 77. Vegetationstag er-

reicht. Die männlichen Pflanzen wechselten bereits zwischen dem 56. und 63. Vegetationstag ins Stadium der Seneszenz, dieses Stadium wurde von den weiblichen Pflanzen erst um den 91. Vegetationstag erreicht. Diese Beobachtungen decken sich mit den Beschreibungen des Züchters vom Entwicklungsverlauf der Sorte FINOLA [22]. Bei den Körnerhanfsorten ist hauptsächlich der Entwicklungsverlauf der weiblichen Pflanzen entscheidend, daher wird im Folgenden auf die Darstellung des Entwicklungsverlaufs der männlichen Pflanzen verzichtet.

Im Vergleich der Standorte (Abbildung 21) wurde in allen drei Versuchsjahren beobachtet, dass sich die Bestände am Standort TFZ schneller entwickelten als die des Standorts HD. Neben der Sonnenscheindauer könnten auch leichte Unterschiede bei der Bonitur zu Unterschieden in der Entwicklungsgeschwindigkeit führen. Am Beispiel des Versuchsjahrs 2022 am Standort TFZ wird auch deutlich, dass sich eine hohe Sonnenscheindauer positiv auf die Entwicklungsgeschwindigkeit auswirkt.

In Abbildung 22 ist der Entwicklungsverlauf der beiden Aussaattermine im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf der Versuchsjahre 2020 und 2022 dargestellt. In beiden Versuchsjahren verlief die Entwicklung des ersten Aussaattermins sehr ähnlich. Ebenfalls war zu beobachten, dass sich der zweite Aussaattermin in beiden Versuchsjahren schneller entwickelte als der erste. Zwischen den beiden Versuchsjahren wurden Unterschiede bezüglich der Aussaattermine beobachtet. So entwickelte sich der zweite Aussaattermin im Versuchsjahr 2022 deutlich schneller als im Jahr 2020. Im Versuchsjahr 2022 entwickelte sich der zweite Aussaattermin so, dass die Entwicklung des ersten und zweiten Aussaattermins ab dem Übertritt ins Makrostadium der Blattentwicklung zeitlich parallel verlief und keine Verzögerung durch die spätere Aussaat mehr erkennbar war. Diese Beobachtungen können auf Temperaturunterschiede bei der Aussaat zurückgeführt werden. Entscheidend beim Anbau von Körnerhanf sind die Aussaatbedingungen. Warme und feuchte Böden sind eine Grundvoraussetzung für den erfolgreichen Anbau [38]. Die Bodentemperatur (5 cm Tiefe) lag im Versuchsjahr 2020 für den ersten Aussaattermin bei rund 11 °C und für den zweiten Aussaattermin bei 10 °C. Durch einen Temperaturabfall auf 8 °C nach dem zweiten Aussaattermin im Jahr 2020 wurde die spätere Aussaat nicht, wie in den Versuchen 2022, durch eine schnellere Entwicklung kompensiert. Daher erreichte der zweite Aussaattermin zeitlich gesehen die einzelnen Entwicklungsschritte in der Regel eine Woche nach dem ersten Aussaattermin und nicht parallel wie im Jahr 2022. Im Gegensatz zum Versuchsjahr 2020 lag die Bodentemperatur im Versuchsjahr 2022 beim ersten Aussaattermin bei rund 8 °C und bei 13 °C am zweiten Aussaattermin. Aufgrund des Unterschieds der Bodentemperatur ist es nicht verwunderlich, dass sich die Bestände des zweiten Aussaattermins im Versuchsjahr 2022, aufgrund der deutlich besseren Startbedingungen, schneller entwickelten als die des ersten und die des zweiten Aussaattermins im Versuchsjahr 2020.

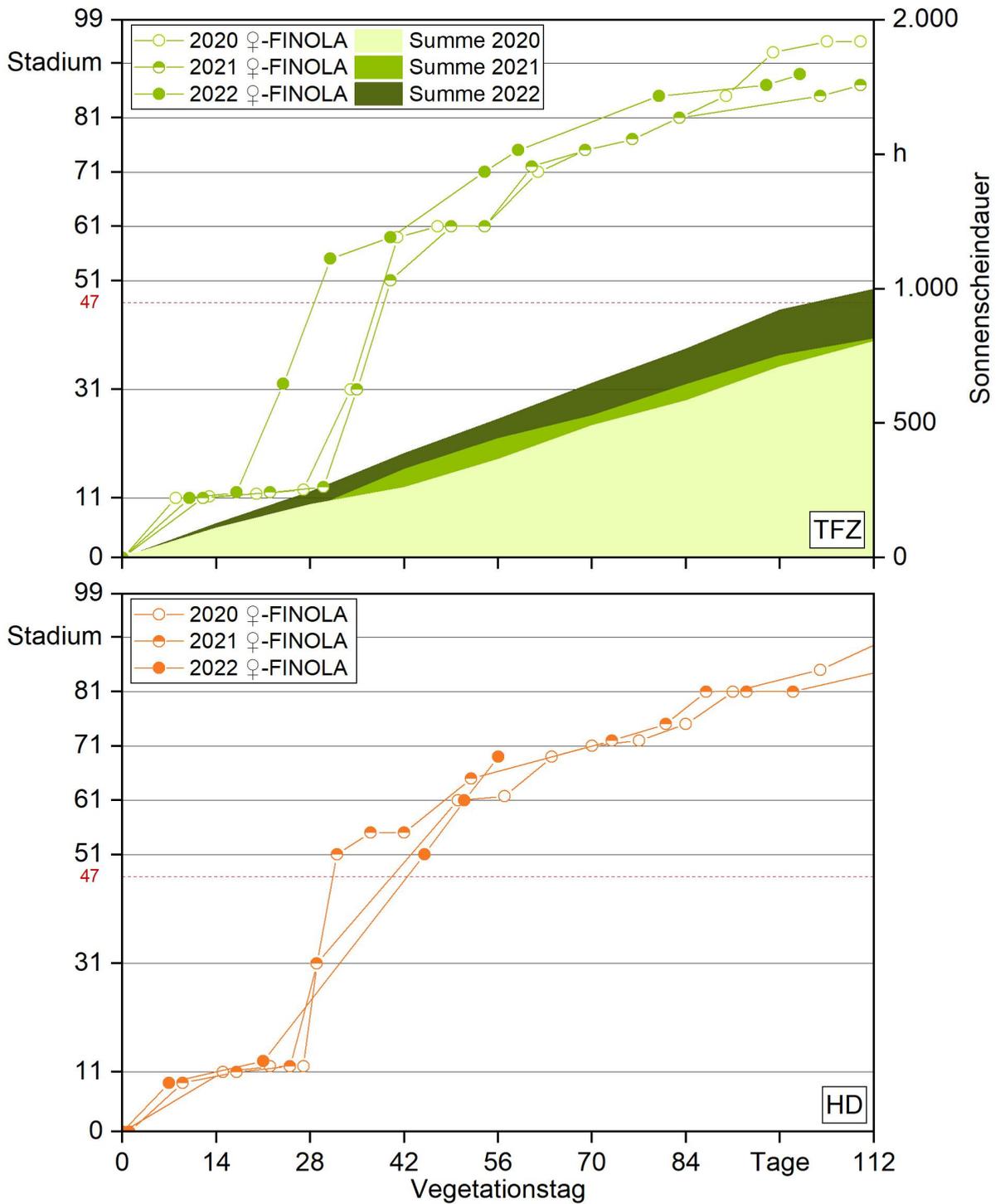


Abbildung 21: Entwicklungsverlauf der Sorte FINOLA am Beispiel des ersten Aussattermins unter Einbeziehung der Sonnenscheindauer und des Standorts, für HD keine Daten zur Sonnenscheindauer verfügbar

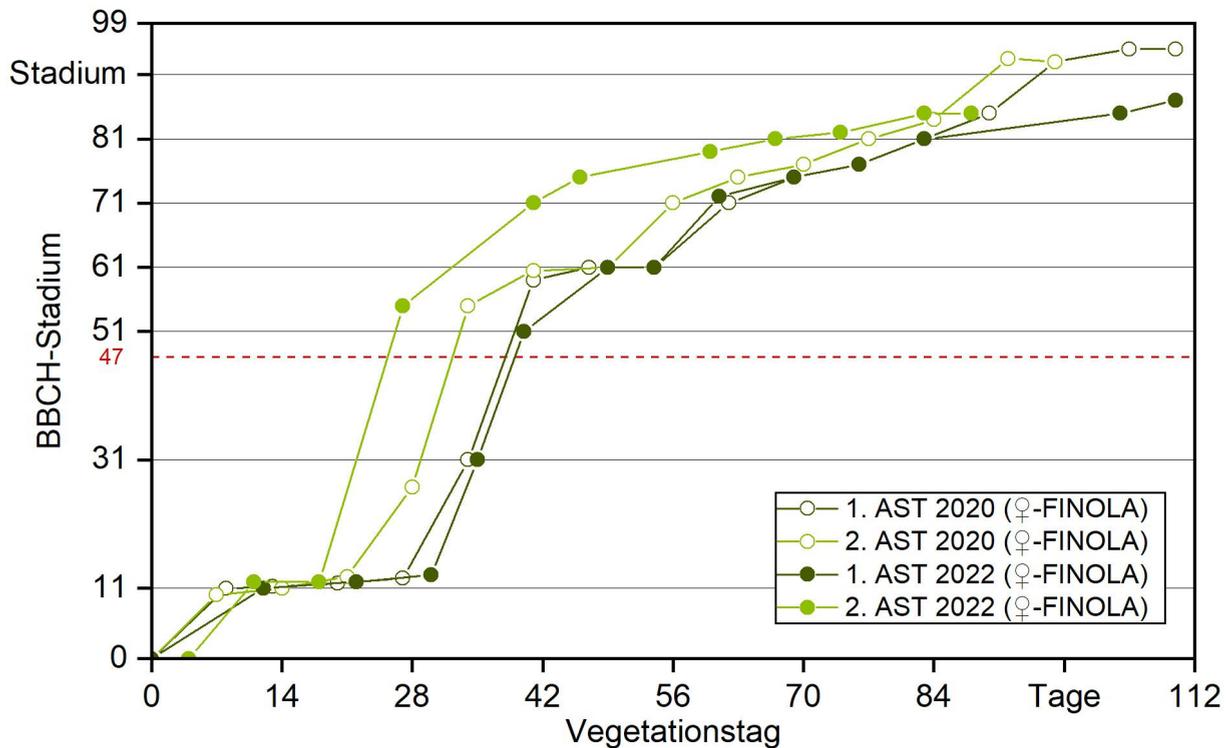


Abbildung 22: Entwicklungsverlauf der zwei Aussattermine (AST) der Sorte FINOLA im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf am Beispiel der Versuchsjahre 2020 und 2022

Die Entwicklungsverläufe der drei Körnerhanfsorten FINOLA, Earlina 8 FC und Henola unterschieden sich im Versuchsjahr 2022 nur geringfügig voneinander (Abbildung 23). Zwischen den einhäusigen Sorten Earlina 8 FC und Henola zeigte sich lediglich an Vegetationstag 37 ein Unterschied. Hier erreichte die Sorte Earlina 8 FC vor der Sorte Henola das BBCH-Stadium 59, indem die Blüten noch geschlossen aber bereits erste Blütenblätter sichtbar sind. Der Entwicklungsverlauf der zweihäusigen Sorte FINOLA verlief bis zum 37. Vegetationstag parallel zur Sorte Earlina 8 FC. Anschließend entwickelte sich die Sorte FINOLA schneller und erreichte die einzelnen Entwicklungsstadien bis zu sieben Tage früher als die anderen beiden Sorten. Lediglich der Übertritt in das Stadium der Samenreife fand bei allen drei Körnerhanfsorten nahezu parallel statt. Die schnelle Entwicklung der Sorte FINOLA deckt sich mit den gängigen Sortenbeschreibungen, in denen die Sorte als „sehr frühe“ Sorte, mit einem Wachstumszyklus zwischen 110 und 120 Tagen beschrieben wird [22]. Auch die leicht verzögerte Entwicklung der Sorte Earlina 8 FC stimmt mit den Angaben des Wachstumszyklus überein, der mit 115 bis 120 Tagen angegeben ist [52].

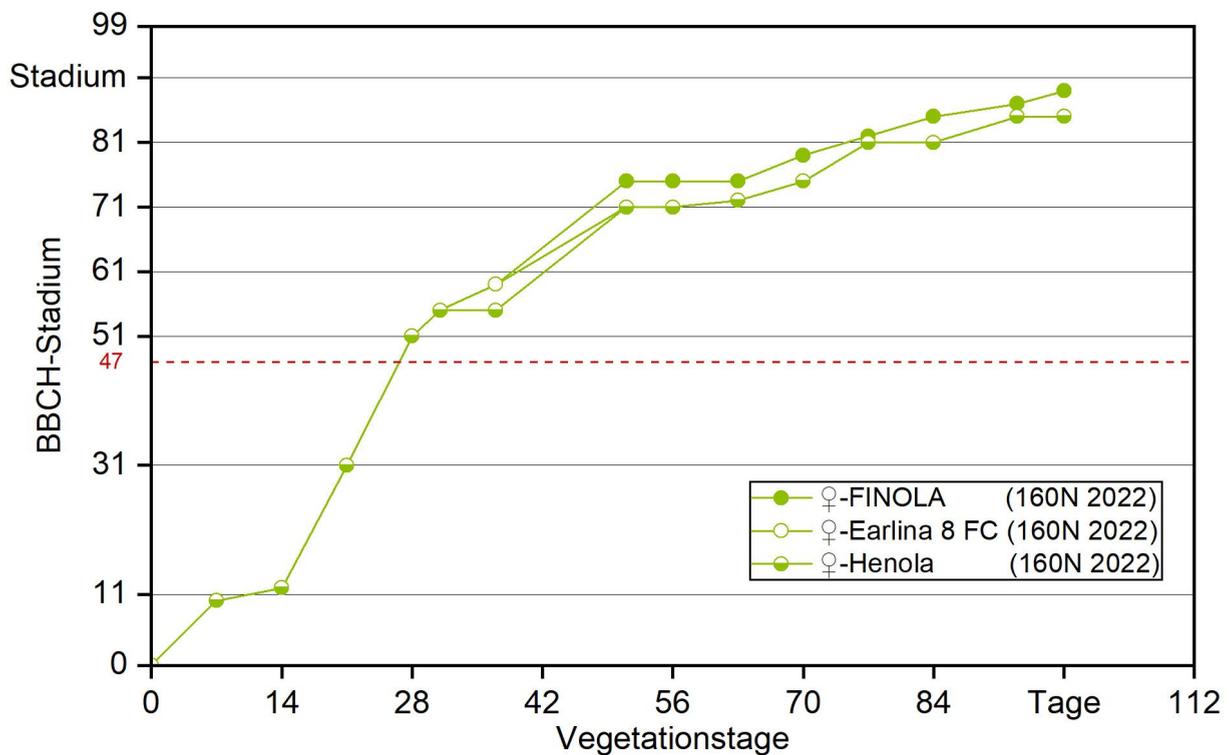


Abbildung 23: Entwicklungsverlauf der verschiedenen Körnerhanfsorten im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf am Beispiel des Versuchsjahrs 2022

Bei der Faserhanfsorte Futura 75 handelt es sich, wie bei den Sorten Earlina 8 FC und Henola, um eine einhäusige Pflanze. Bei dieser Sorte sind, anders als bei der zweihäusigen Sorte FINOLA, männliche und weibliche Blüten an derselben Pflanze lokalisiert. Trotz dieses Umstands wurden die Entwicklungsverläufe der männlichen und weiblichen Blüte im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf getrennt erfasst. Da das Hauptaugenmerk im Faserhanfanbau auf der männlichen Blüte liegt, wurde im Folgenden auf die Darstellung des Entwicklungsverlaufs der weiblichen Blüte verzichtet (Abbildung 24).

Bei einer Aussaat Ende April zeigte sich, dass die Bestände der Sorte Futura 75 zwischen dem 7. und 14. Vegetationstag vom Stadium 0 (Keimung/Austrieb) ins Stadium 1 (Blattentwicklung) wechselten. Anschließend folgte zwischen dem 35. und dem 42. Vegetationstag der Übergang in das Stadium des Längenwachstums. Zwischen dem 76. und dem 84. Vegetationstag erreichten die Pflanzen den GV-Punkt, der insbesondere bei einhäusigen Pflanzen den Beginn der Blüte kennzeichnet. Ab dem 91. Vegetationstag waren bereits die ersten Blütenanlagen sichtbar und zwischen dem 98. und dem 106. Vegetationstag erreichten die Pflanzen den Beginn der Blüte. Bis zur Ernte der Versuche wurde das Stadium M69, das das Ende der männlichen Blüte beschreibt, nicht überschritten.

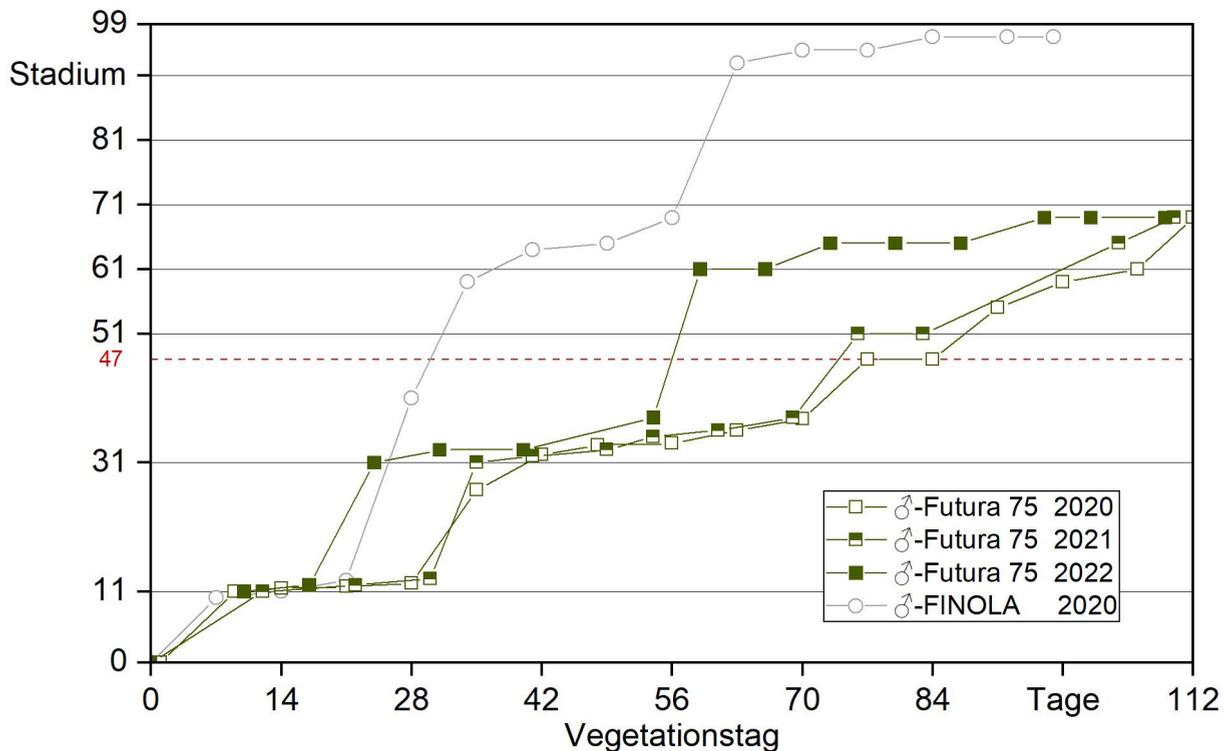


Abbildung 24: Entwicklungsverlauf der Faserhanfsorte Futura 75 mit einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160 kg N/ha in den Versuchsjahren 2020 bis 2022; zum Vergleich wurde der Entwicklungsverlauf der Körnerhanfsorte FINOLA des Versuchsjahrs 2020 dargestellt

Es fällt auf, dass sich der Entwicklungsverlauf des Versuchsjahrs 2022 von denen der beiden anderen Versuchsjahre erheblich unterschied. Ab dem 14. Vegetationstag entwickelten sich die Bestände dieses Versuchsjahrs deutlich schneller als die der anderen Versuchsjahre. Im Jahr 2022 wurden die einzelnen Entwicklungsstadien ungefähr 14 Tage schneller erreicht als in den beiden Vorjahren, wobei sich der grundsätzliche Verlauf der Kurven sehr ähnelte. Dies ist wie bereits beim Körnerhanf festgestellt auf die, im Vergleich zum Vorjahr, deutlich längere Sonnenscheindauer im Jahr 2022 zurückzuführen (Abbildung 21).

Generell ist zu bemerken, dass Faserhanfsorten im Vergleich zu den Körnerhanfsorten einen deutlich längeren Wachstumszyklus aufweisen. Da Faserhanf im Gegensatz zu Körnerhanf allerdings bereits im Stadium der Blüte geerntet wird, werden beide Nutzungsrichtungen zu einem ähnlichen Zeitpunkt geerntet. Laut Züchter ist die Sorte Futura 75 112 bis 117 Tage und die Sorte FINOLA 110 bis 120 Tage nach Aussaat erntereif [22] [53]. Zu Beginn entwickelten sich die Bestände der Faserhanfsorte Futura 75 noch analog zu denen der Körnerhanfsorte FINOLA. Erst um dem 21. Vegetationstag differenzierten sich die Entwicklungsverläufe der beiden Nutzungsrichtungen voneinander. Die Bestände der Faserhanfsorte befanden sich im Vergleich zur Körnerhanfsorte deutlich länger im Stadium des Längenwachstums und im Stadium der Blüte. Dies ist nicht verwunderlich, da bei Faserhanf das Hauptaugenmerk der Züchtung auf der Generierung von Biomasse/Fasern liegt und somit ein ausgedehntes Längenwachstumsstadium explizit gewünscht ist. Im Ge-

gensatz dazu besteht bei den Körnerhanfsorten das Ziel darin, dass die Pflanzen ihre Energie in die Kornbildung und nicht in die Bildung von Biomasse stecken. Daher ist hier kein langes Längenwachstumsstadium gewünscht. Ähnlich verhält es sich mit dem Stadium der Blüte, da aus einem langen Blütenstadium eine ungleichmäßige Abreife resultiert. Bei den Faserhanfsorten ist es nicht nachteilig, wenn sich die Bestände lang in Stadium der Blüte befinden.

Sowohl beim Körnerhanf als auch bei CBD- und Faserhanf wurden zwischen den verschiedenen Dünge­stufen kaum Unterschiede im Entwicklungsverlauf dokumentiert. Dies deutet darauf hin, dass sich die Pflanzen durch die verfügbare Stickstoffmenge nicht in ihrer Entwicklungsgeschwindigkeit beeinflussen ließen.

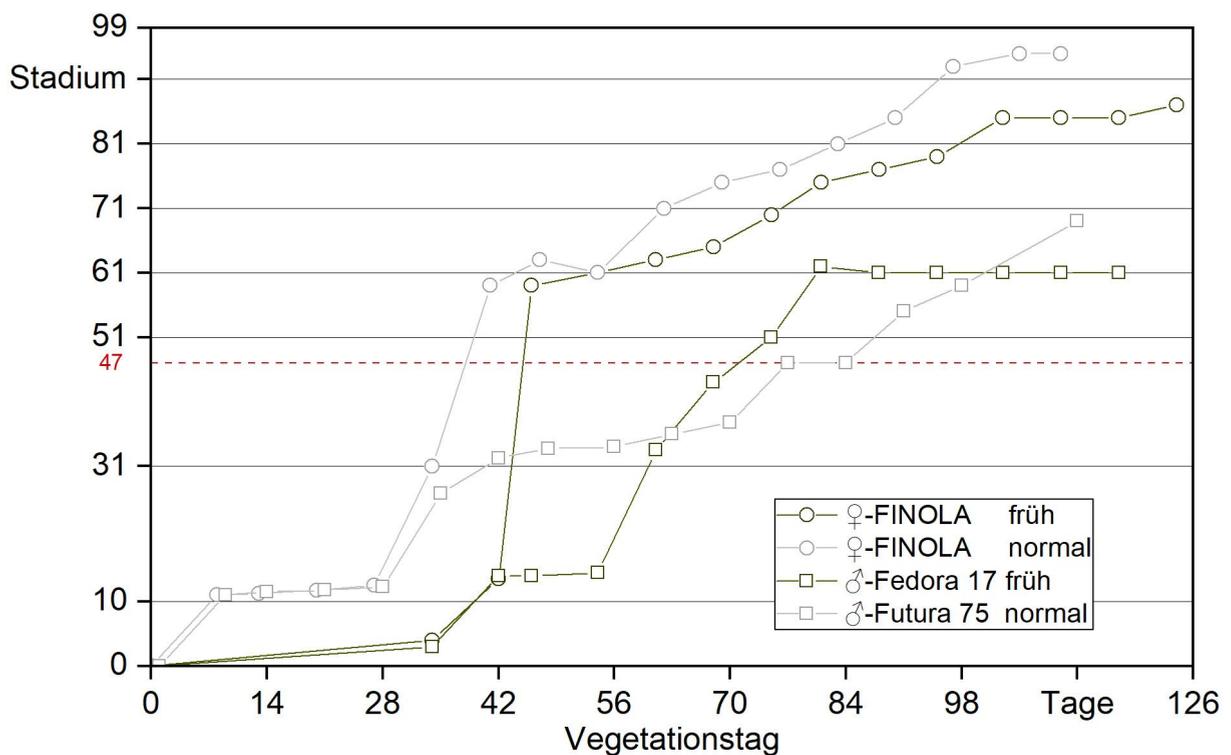


Abbildung 25: Entwicklungsverlauf im Versuch zum Anbau von Hanf als Frühsaat; die rote Linie stellt den GV-Punkt dar

Bei einer sehr frühen Aussaat, wie im Versuch zum Anbau von Hanf als Frühsaat, zeigte sich ein deutlich verzögerter Wechsel in das Stadium der Blattentwicklung. Die Ende März gesäten Bestände wechselten hier erst zwischen dem 35. und 42. Vegetationstag ins Stadium der Blattentwicklung, wohingegen die später gesäten Pflanzen dieses Stadium bereits zwischen dem 7. und 14. Vegetationstag erreicht hatten. Die Bestände der früh gesäten Körnerhanfsorte erreichten im Vergleich zu den Beständen der normal gesäten Körnerhanfsorte die einzelnen Entwicklungsstadien in der Regel 7 bis 14 Tage später und benötigten somit auch etwas länger, um die Erntereife zu erreichen. In den Beständen der Faserhanfsorte Fedora 17 folgte nach dem späten Wechsel ins Stadium der Blattentwicklung der Wechsel ins Stadium des Längenwachstums nahezu zeitgleich mit den Ende April gesäten Beständen. Nach dem Erscheinen der Blütenanlagen verweilten die Bestände

beider Aussattermine bis zur Ernte im Stadium der Blüte. Sowohl die Körnerhanfsorte FINOLA als auch die Faserhanfsorte Fedora 17 wiesen in diesem Versuch zu Beginn der Vegetationsperiode, im Vergleich zu den regulär ausgesäten Beständen, eine deutlich verzögerte Entwicklung auf (Abbildung 25). Dies ist nicht verwunderlich, da niedrigere Temperaturen den Stoffwechsel der Pflanze verlangsamen und so zu einer Behinderung der Entwicklung führen [27]. Allerdings glich sich dieser Rückstand bis zur Ernte wieder weitgehend aus.

5.2 Wachstumsverlauf von Nutzhanf

Ähnlich wie der Entwicklungsverlauf wies der Wachstumsverlauf von Nutzhanf nur geringe Unterschiede auf, daher wurde auf eine detaillierte Darstellung des Wachstumsverlaufs der einzelnen Versuche verzichtet. Stattdessen wurden im Folgenden exemplarisch die grundsätzlichen Besonderheiten, wie Unterschiede im Wachstumsverlauf der verschiedenen Pflanzengeschlechter, Aussattermine, Düngestufen und Sorten, dargestellt.

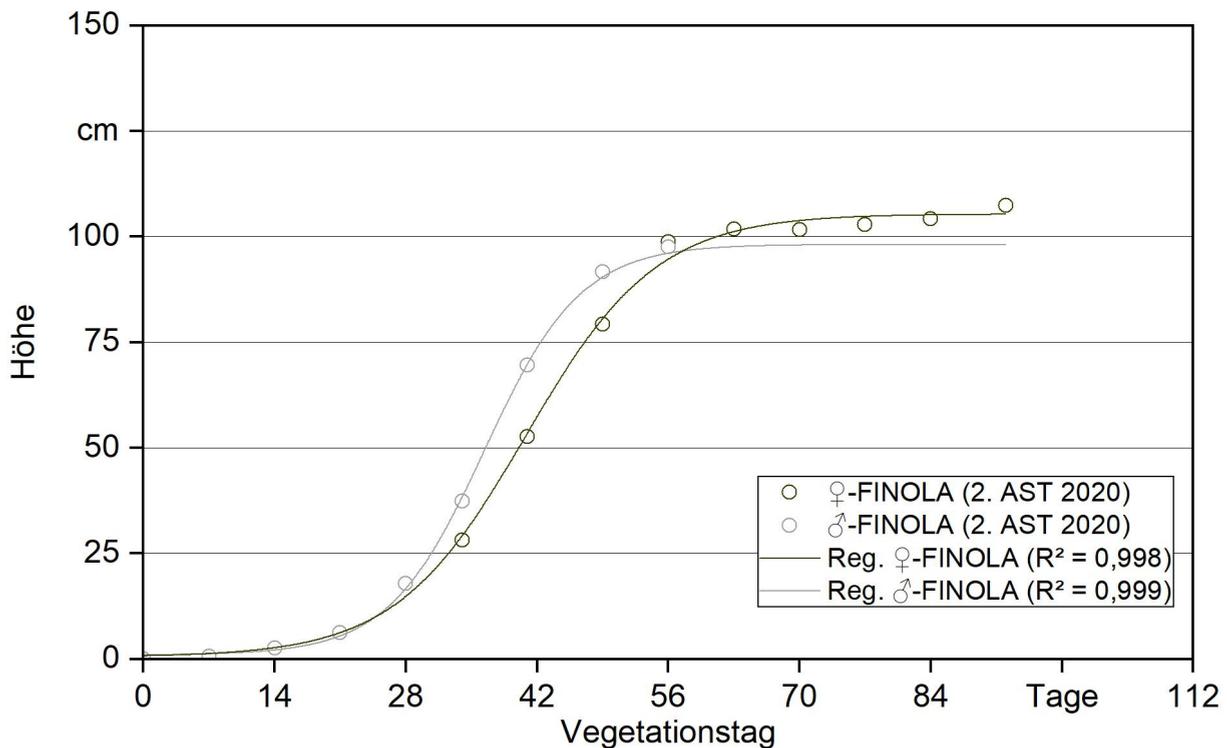


Abbildung 26: Wachstumsverlauf männlicher und weiblicher Pflanzen der Sorte FINOLA im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf am Beispiel des zweiten Aussattermins des Versuchsjahrs 2020 am Standort TFZ (AST = Aussattermin)

Im Verlauf des Projekts zeigte sich, dass die Pflanzen zunächst sehr langsam wuchsen und erst zwischen dem 21. und 28. Vegetationstag mit dem raschen Längenwachstum begannen. Hierbei fiel auf, dass die männlichen Pflanzen bereits vor den weiblichen Pflanzen in die Höhe schossen und somit auch vor den weiblichen Pflanzen ihre endgültige

Höhe erreichten (Abbildung 26). Dies erfolgte in Abhängigkeit des Aussaattermins zwischen dem 56. und dem 70. Vegetationstag. Das ergänzt die Beobachtung im Entwicklungsverlauf, wonach die Abreife bei männlichen Pflanzen stets früher erreicht wurde (vgl. Unterkapitel 5.1). Die weiblichen Pflanzen erreichten ihre endgültige Höhe ein bis zwei Wochen nach den männlichen Pflanzen. Diese Beobachtungen decken sich mit der Literatur, in der beschrieben wird, dass sich die Hanfpflanzen in den ersten vier bis fünf Wochen langsamer entwickeln und erst in den darauffolgenden fünf bis sechs Wochen das rasche Wachstum folgt. In den letzten vier bis sechs Wochen der Vegetationsperiode entwickelt sich das Wachstum dann wieder langsamer [14].

Beim Vergleich der Aussaattermine (Abbildung 27, Abbildung 28) wurde festgestellt, dass die Wuchsgeschwindigkeit des zweiten Aussaattermins, in der Phase des schnellen Längenwachstums, deutlich höher war als die des ersten Aussaattermins. Dieses Phänomen wurde an beiden Standorten und in allen Versuchsjahren, mit Ausnahme des Versuchsjahrs 2022 am TFZ, beobachtet. Es deutet darauf hin, dass ein späterer Aussaattermin neben einer schnelleren Entwicklung der Pflanzen (vgl. Unterkapitel 5.1) zusätzlich zu einer schnelleren Wuchsgeschwindigkeit führt. Eine mögliche Erklärung könnten die höheren Temperaturen und die damit verbundenen verbesserten Stoffwechselaktivitäten der Pflanzen sein [27]. Dies deckt sich auch mit den Beobachtungen am Standort TFZ im Versuchsjahr 2022, da hier die Temperaturen bereits zum ersten Aussaattermin sehr hoch waren und sich damit auch der nahezu gleiche Verlauf der Wachstumskurven beider Aussaattermine erklären lässt.

Generell wurde an beiden Standorten ein ähnlicher Wachstumsverlauf beobachtet. Jedoch fiel auf, dass die Wachstumskurve am Standort HD im Vergleich zur Wachstumskurve des TFZ in der Phase des raschen Längenwachstums deutlich steiler verlief. Ein möglicher Grund hierfür könnte eine bessere Nährstoffverfügbarkeit, aufgrund jahrelanger organischer Düngung, am Standort HD sein. Eine detaillierte Erläuterung zum Zusammenhang zwischen Düngung und Wachstumsgeschwindigkeit befindet sich im nächsten Abschnitt.

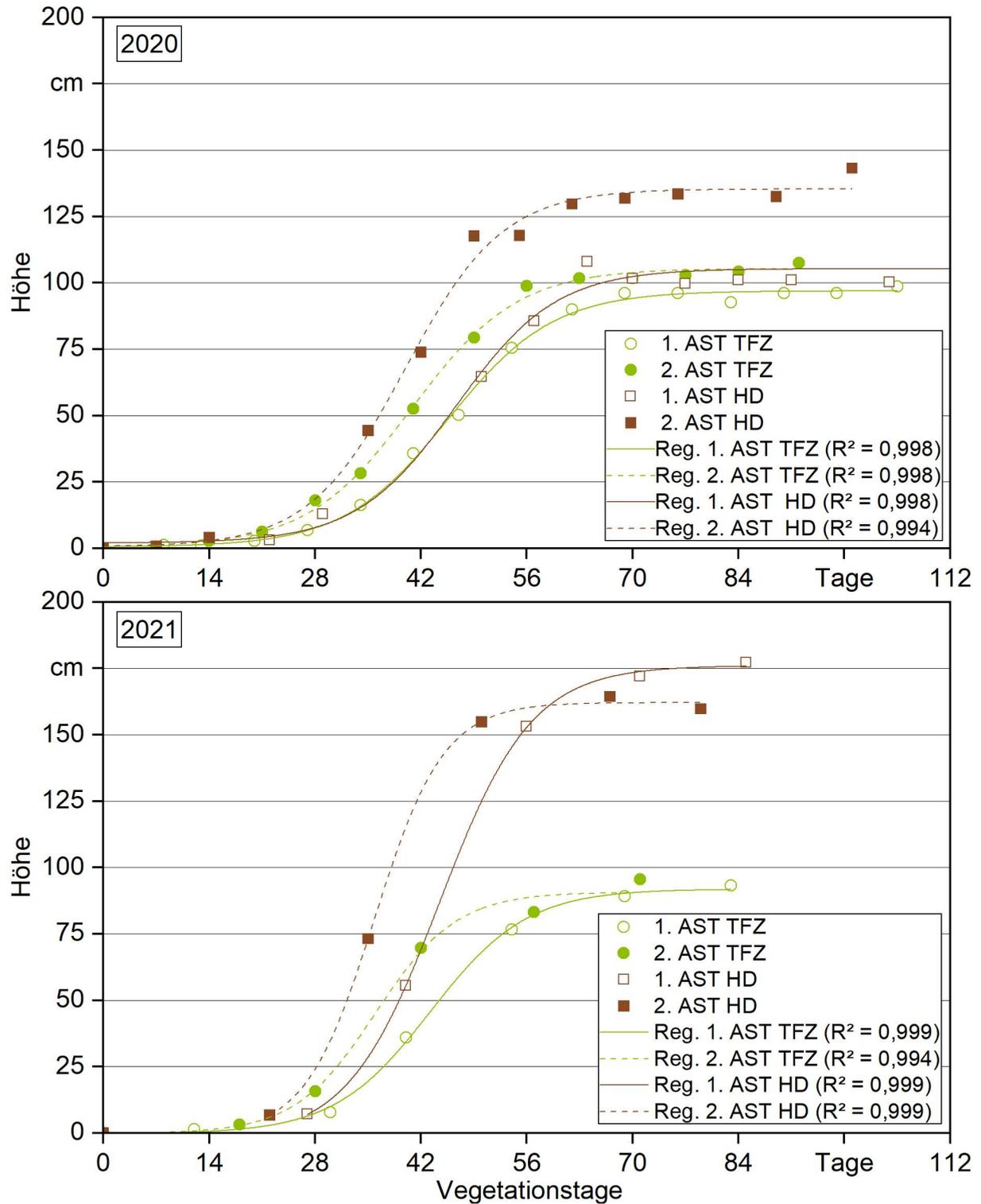


Abbildung 27: Wachstumsverlauf der Sorte FINOLA im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf in den Jahren 2020 und 2021 (AST = Aussattermin)

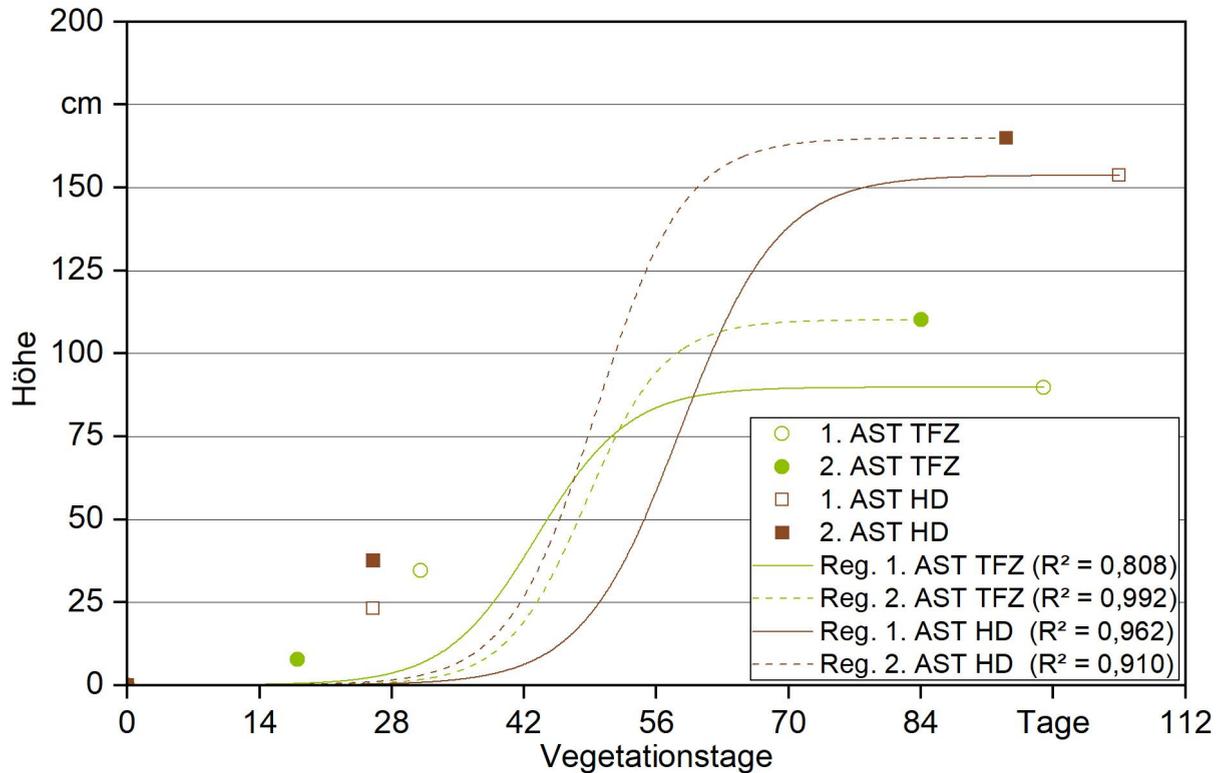


Abbildung 28: Wachstumsverlauf der Sorte FINOLA im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf im Jahr 2022 (AST = Aussattermin)

Zu Beginn der Vegetationsperiode verlief das Wachstum in den Beständen der verschiedenen Varianten in den Versuchen zur Stickstoffsteigerung noch weitestgehend parallel. Dies änderte sich in den Versuchen zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf um den 28. sowie in den Versuchen zur Stickstoffsteigerung im CBD- und Körnerhanf um den 42. Vegetationstag. Ab diesem Zeitpunkt entwickelte sich das Wachstum in den Beständen der verschiedenen Düngestufen unabhängig voneinander (Abbildung 29). Hierbei war bei allen untersuchten Sorten Übereinstimmendes zu beobachten: je höher die Düngestufe desto höher das Wachstum je Zeiteinheit. Auffällig war, dass zwischen den Varianten mit einer verfügbaren Stickstoffmenge von 80 und 160 kg N/ha die Wachstumsgeschwindigkeit eine deutlich größere Zunahme zeigte als zwischen den Varianten mit einer verfügbaren Stickstoffmenge von 54 (N_{\min}) und 80 kg N/ha oder 160 und 240 kg N/ha.

Der Vergleich der Wachstumskurven unterschiedlicher Sorten zeigt, dass zwischen den Wachstumsverläufen der Körnerhanfsorten FINOLA und Earlina 8 FC und der Faserhanfsorte Futura 75 ein deutlicher Unterschied zu erkennen ist (Abbildung 30). So ähnelten sich die Wachstumsverläufe der Körnerhanfsorten, abgesehen von der Geschwindigkeit und daraus resultierenden Endhöhe, indem sie beide eine Phase des langsamen Wachstums bis um den 28. Vegetationstag gefolgt von einer Phase des schnellen Wachstums bis zum 70. bzw. 77. Vegetationstag und erneut einer Phase des langsamen Wachstums bis zum Erreichen der Endhöhe und des damit einhergehenden Plateaus aufwiesen. Die Faserhanfsorte Futura 75 wies bis zum Zeitpunkt der Ernte die Phase des langsamen (42. Vegetationstag) gefolgt von der Phase des schnellen Wachstums und anschließend

lediglich den Beginn der folgenden Phase auf, da die Bestände vor Erreichen des Plateaus bereits beerntet wurden.

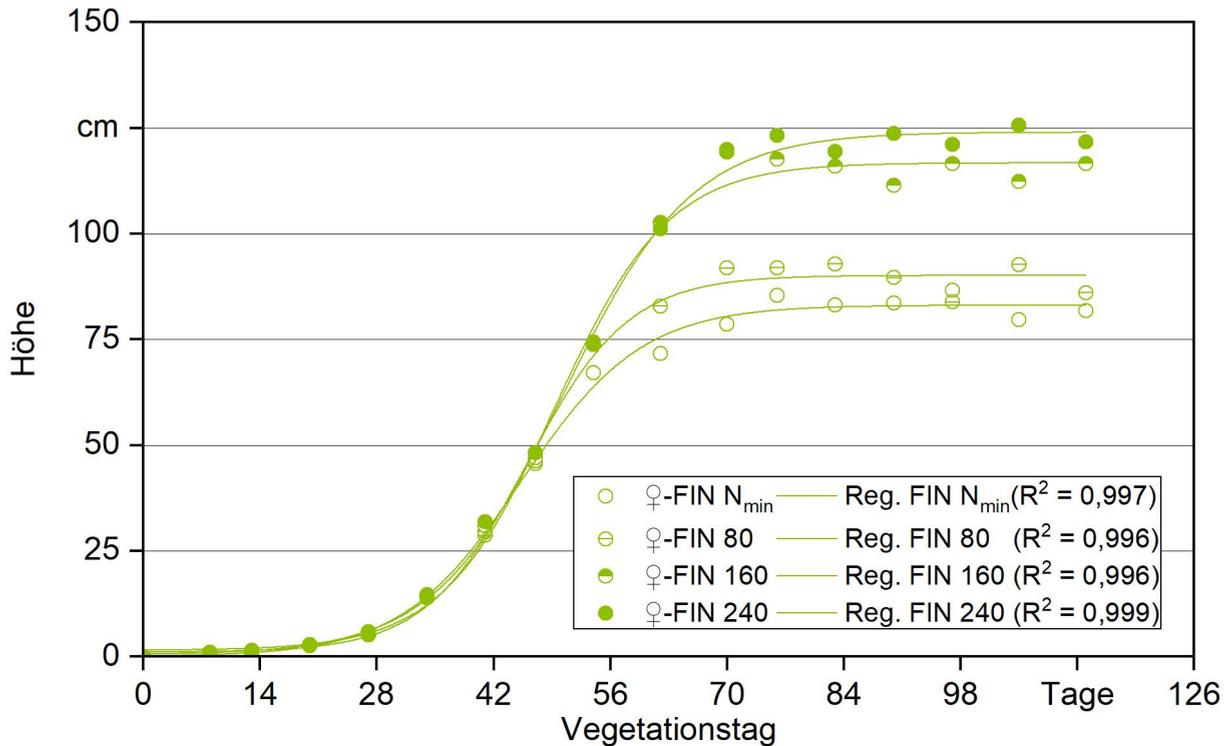


Abbildung 29: Wachstumsverlauf der Sorten FINOLA in Abhängigkeit der verfügbaren Stickstoffmenge im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf am Beispiel des Versuchsjahrs 2020

Bei einer sehr frühen Aussaat Ende März (Abbildung 31) wurde beobachtet, dass das rasche Längenwachstum der weiblichen Pflanzen der Sorte FINOLA erst zwischen dem 42. und dem 84. Vegetationstag stattfand. Jedoch war auch hier die typische Wachstumskurve von Körnerhanf zu erkennen. Auch bei der Sorte Fedora 17 fand das rasche Längenwachstum im Vergleich zu Beständen regulär gesäeter Faserhanfsorten deutlich später statt. Dies ergänzt die Beobachtungen im Entwicklungsverlauf, dass die Ende März gesäten Bestände später in die Phase des raschen Längenwachstums eintreten als regulär gesäte Sorten. Im Wesentlichen verlief das Wachstum aber ähnlich wie das in den Beständen der Sorte Futura 75. Bei der Wuchshöhe der Bestände der Sorte Fedora 17 war allerdings im betrachteten Zeitraum, im Gegensatz zum Stickstoffsteigerungsversuch, noch kein Plateau zu erkennen.

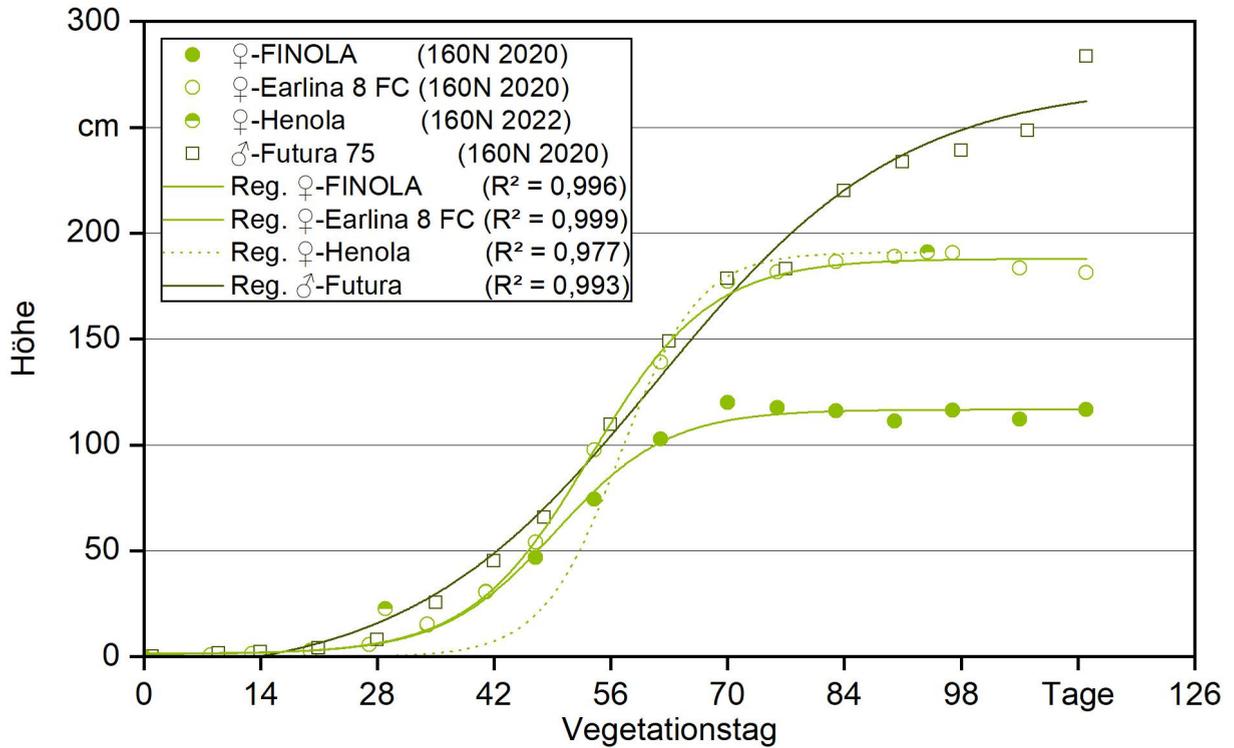


Abbildung 30: Wachstumsverlauf der Sorten FINOLA, Earlina 8 FC und Futura 75 bei einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160 kg N/ha am Beispiel des Versuchsjahrs 2020

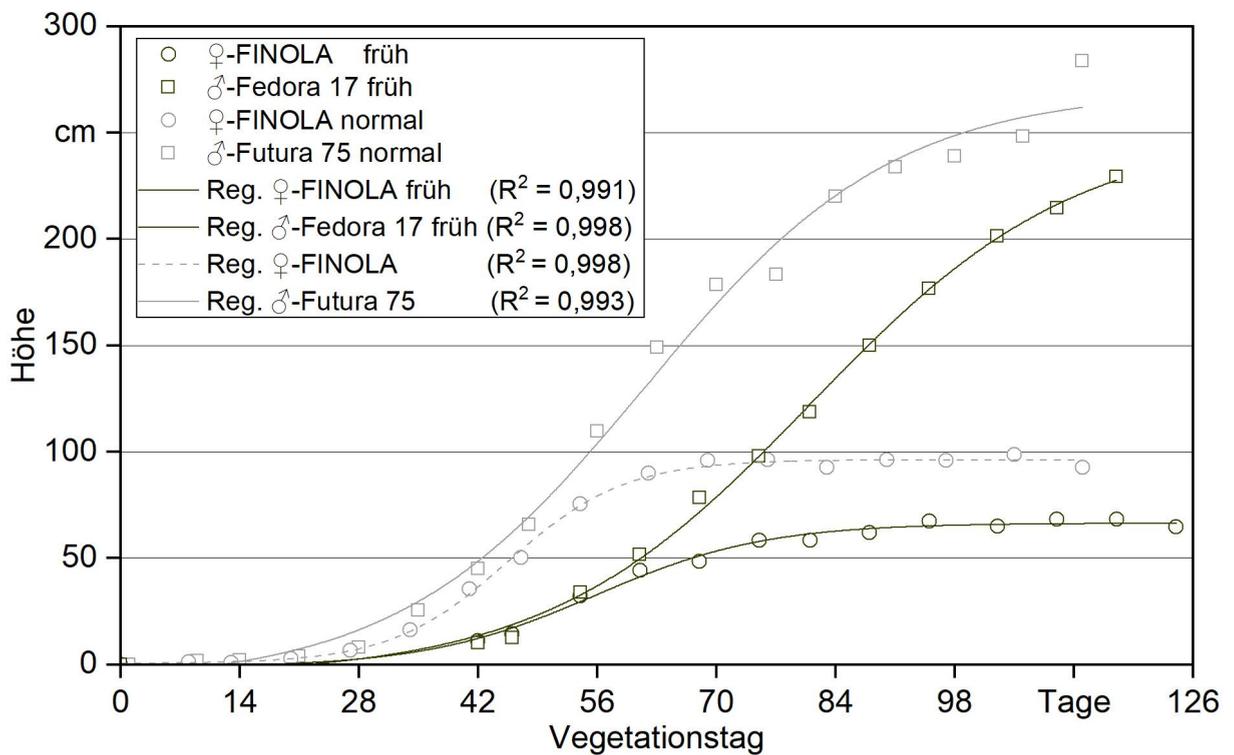


Abbildung 31: Vergleich der Wachstumsverläufe eines sehr frühen und eines normalen Aussaatzeitpunkts der Sorten FINOLA und Fedora 17

5.3 Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf

Im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf wurden der Einfluss des Aussaattermins, der Reihenweite sowie der Unkrautregulierung auf die Entwicklung, den Unkrautbesatz, den Ertrag und qualitätsbestimmende Merkmale des Ernteguts untersucht. Hierzu wurde die Sorte FINOLA zu zwei verschiedenen Aussaatterminen angebaut. Zusätzlich variierte die Reihenweite (eng/weit) bzw. Unkrautregulierungsmaßnahme (weit -/+; wobei „+“ mit Hackeinsatz und „-“ ohne Hackeinsatz bedeutet).

5.3.1 Wuchshöhe

Die Pflanzen der Sorte FINOLA erreichten am Standort TFZ eine Höhe zwischen 88 und 114 cm (Tabelle 17). Über alle Jahre und Varianten ergab sich eine durchschnittliche Höhe von 96 cm. Im Jahr 2020 lag sie bei 93 cm, zwischen den Varianten und Aussaatterminen waren keine Unterschiede zu beobachten. Im Jahr 2021 waren die Pflanzen durchschnittlich 91 cm hoch. Die Pflanzen unter weitem Reihenabstand mit Einsatz der mechanischen Unkrautregulierung (weit +) waren tendenziell etwas größer. Im Jahr 2022 ließen sich signifikante Unterschiede zwischen den beiden Aussaatterminen feststellen. Die zuerst ausgesäten Pflanzen waren durchschnittlich 93 cm hoch. Die zwei Wochen später ausgesäten waren mit 112 cm fast 20 cm höher. Die mit einem engen Reihenabstand gesäten Pflanzen erreichten zudem eine tendenziell höhere Wuchshöhe als die Pflanzen mit weitem Reihenabstand. Insgesamt wurden keine signifikanten Unterschiede in der durchschnittlichen Pflanzenhöhe bei der Ernte zwischen den Aussaatterminen bzw. den Varianten festgestellt. Über alle Jahre betrachtet ließen sich signifikante Wechselwirkungen ermitteln. Dabei zeigte sich auch ein Effekt des Versuchsjahrs auf die Wuchshöhe, was sich insbesondere durch die Witterungsbedingungen erklären lässt. Des Weiteren wurde ein positiver Zusammenhang zwischen Pflanzenhöhe und Aussaattermin ($r = 0,399$), Bestandsdichte zur Ernte ($r = 0,481$), TM-Kornertrag ($r = 0,326$), TM-Strohertrag ($r = 0,452$) und Korngehalt ($r = 0,424$) gefunden. Eine negative Korrelation war nur für die Selbstausdünnung signifikant ($r = -0,455$). Vermutlich ist der positive Zusammenhang zwischen Pflanzenhöhe und Bestandsdichte bzw. TM-Ertrag auf die grundlegend besseren Startbedingungen zurückzuführen. Dies bestätigt die signifikante Korrelation zum Versuchsjahr.

Für gewöhnlich erreicht die Sorte FINOLA eine Pflanzenhöhe von 1,5 m [26]. Am Standort TFZ wurde dies nicht erreicht. Am Standort HD dagegen waren die Pflanzen zwischen 103 und 175 cm groß, durchschnittlich waren die Bestände 151 cm hoch. In allen Jahren waren die Pflanzen in der Variante „weit +“ am höchsten. Dabei wurden signifikante Wechselwirkungen ($r = 0,293$) zwischen der Pflanzenhöhe und der Reihenweite festgestellt. Zudem zeigten sich etwas höhere Bestände bei den später ausgesäten Pflanzen. Besonders auffällig war die vergleichsweise geringe Pflanzenhöhe von 103 und 104 cm im Jahr 2020 in der Variante „eng“ für beide Aussaattermine, die sich signifikant von den Pflanzenhöhen in der Variante „weit +“ unterschied. 2021 und 2022 wurde dies nicht beobachtet. Die Schwankungen in der Pflanzenhöhe zwischen den Versuchsjahren fielen am Standort HD größer aus als am Standort TFZ. Auch hier ergaben sich über alle Jahre signifikante Wechselwirkungen. Positive Zusammenhänge ergaben sich zwischen der Pflanzenhöhe und

der Variante ($r = 0,293$) sowie dem TM-Strohertrag ($r = 0,633$). Negative Korrelationen ließen sich zwischen Pflanzenhöhe und Unkrautdeckungsgrad ($r = -0,544$) feststellen, welche die bessere Unkrautunterdrückung höherer Pflanzen untermauert. Zwischen der Pflanzenhöhe und der Bestandsdichte vor der Ernte gab es ebenfalls einen negativen Zusammenhang ($r = -0,428$), der auf eine erhöhte Selbstausdünnung durch höhere Pflanzen mit mehr Blattmasse und Platzbedarf zurückzuführen ist.

Tabelle 17: Durchschnittliche Pflanzenhöhe im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf (AST = Aussaattermin)

Standort	TFZ			HD		
	2020	2021	2022	2020	2021	2022
Variante	Pflanzenhöhe in cm					
1. AST eng	93	88	96	103	168	144
1. AST weit –	91	90	–	111	167	–
1. AST weit +	93	95	90	146	175	154
2. AST eng	92	n. e.	114	104	172	164
2. AST weit –	91	n. e.	–	141	171	–
2. AST weit +	100	n. e.	110	145	175	165

5.3.2 Feldaufgang

Der durchschnittliche Feldaufgang über alle Varianten am Standort TFZ variierte für den ersten Aussaattermin (AST) zwischen 58 % im Jahr 2021 und 78 % im Jahr 2020 (Abbildung 32). Für den zweiten Aussaattermin lag der durchschnittliche Feldaufgang über alle Varianten zwischen 49 % im Jahr 2021 und 67 % im Jahr 2022. In allen drei Jahren war der Feldaufgang für den ersten Aussaattermin in der Variante „eng“ am höchsten und nahm über die Variante „weit –“ hin zur Variante „weit +“ stetig ab. Für den zweiten Aussaattermin war dieser Zusammenhang mit Ausnahme des Jahres 2022 nicht zu beobachten. Trotzdem zeigt sich über alle Jahre betrachtet der signifikante Zusammenhang zwischen Feldaufgang und Variante ($r = -0,405$). Der Feldaufgang war im Jahr 2020 für den ersten Saattermin signifikant höher als am zweiten Saattermin. Dagegen war im Jahr 2021 kein Unterschied zwischen den Terminen festzustellen. Allerdings zeigten sich signifikant niedrigere Feldaufgänge in den weiten Reihen im Vergleich zur engen Reihe für den zweiten Saattermin. Auch 2022 gab es keine Unterschiede zwischen den Saatterminen und signifikant höhere Feldaufgänge in der Variante „eng“ im Vergleich zur Variante „weit +“. Die Selbstausdünnung schwankte zwischen –10 % (2. AST der Variante „weit +“ im Versuchsjahr 2022) und 55 % (2. AST der Variante „weit –“ im Versuchsjahr 2020). Es ließen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Aussaatterminen oder Reihenweiten in den Jahren 2020 und 2021 feststellen. 2022 gab es ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den Reihenweiten, dafür allerdings zwischen den Aussaatterminen. Die Selbstausdünnung war demnach bei den später gesäten Pflanzen niedriger. Über alle

Jahre ließen sich signifikante Effekte durch das Jahr, und damit durch die Witterungsbedingungen, auf die Selbstaussdünnung beobachten.

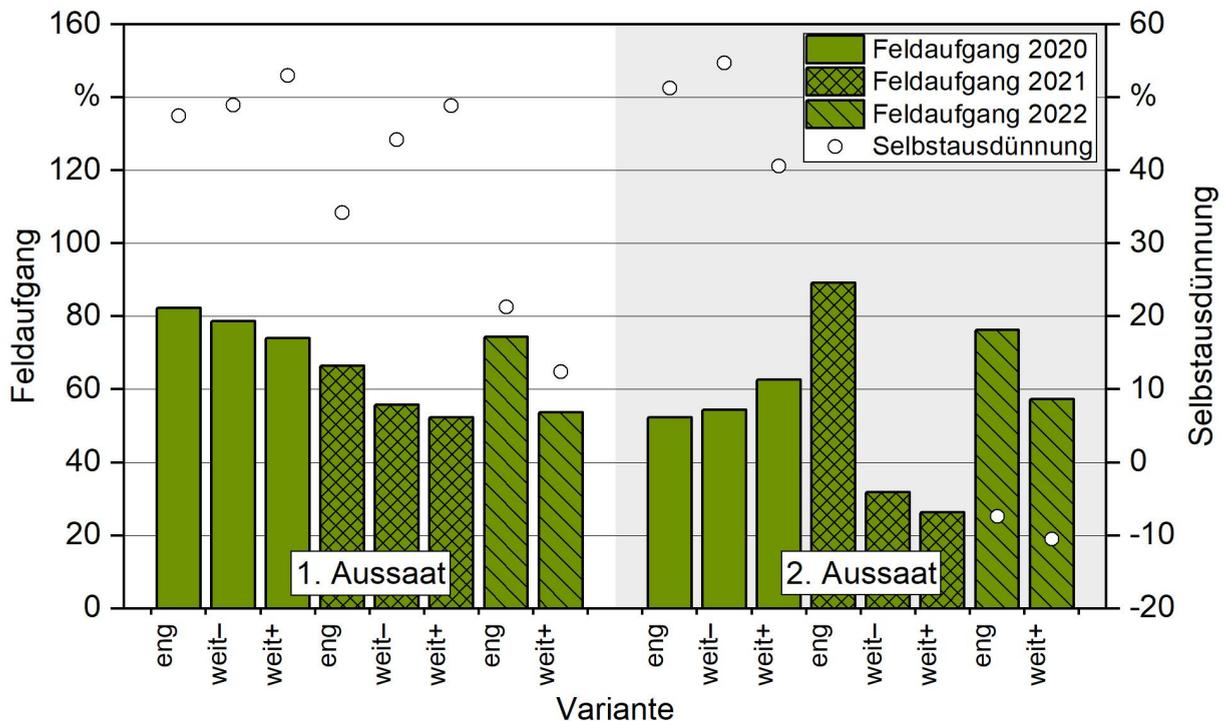


Abbildung 32: Feldaufgang und Selbstaussdünnung am Standort TFZ im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf in Abhängigkeit von Variante und Jahr

Am Standort HD lag der durchschnittliche Feldaufgang zwischen 61 % im Jahr 2022 und 99 % im Jahr 2020 für den ersten und zwischen 65 % im Jahr 2021 und 125 % im Jahr 2020 für den zweiten Aussaattermin (Abbildung 33). Wie am Standort TFZ zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den Feldaufgängen in den drei verschiedenen Versuchsjahren. Während er im Jahr 2020 mit durchschnittlich 112 % aufgrund einer erhöhten Aussaatmenge durch maschinelle Defekte sehr hoch war, lag er im Jahr 2021 bei 66 % und im Jahr 2022 bei 67 %. Verdeutlicht wurde dies durch den negativen Korrelationskoeffizienten zwischen Jahr und Feldaufgang ($R = -0,527$). Beim Vergleich der Varianten ließen sich Schwankungen erkennen, mit Tendenz zu höheren Feldaufgängen bei einer weiten Reihenweite mit Hacke für den zweiten Aussaattermin. Im Jahr 2020 war der Feldaufgang für die Varianten „weit –“ und „weit +“ des zweiten Aussaattermins signifikant höher als in den anderen Varianten. Allerdings gilt dies für die Pflanzen im Jahr 2021 und für die Pflanzen des ersten Aussaattermins im Jahr 2022 nicht. Hier liefen mehr Pflanzen in der Variante „eng“ auf, für den ersten Aussaattermin war dies sogar signifikant. Die Selbstaussdünnung war, mit Ausnahme des zweiten Aussaattermins im Jahr 2022, in der Variante „weit +“ am geringsten. Sie lag im Jahr 2021 bei 13 % für den ersten und bei 20 % für den zweiten Aussaattermin. Im Jahr 2022 wurde in der Variante „eng“ des zweiten Aussaattermins eine durchschnittlich negative Selbstaussdünnung von -186 % festgestellt. Dies ist auf das verspätete Auflaufen der Pflanzen aufgrund der Trockenheit zurückzuführen. Zwi-

schen Feldaufgang bzw. Selbstausdünnung und der Variante wurden keine Wechselwirkungen festgestellt.

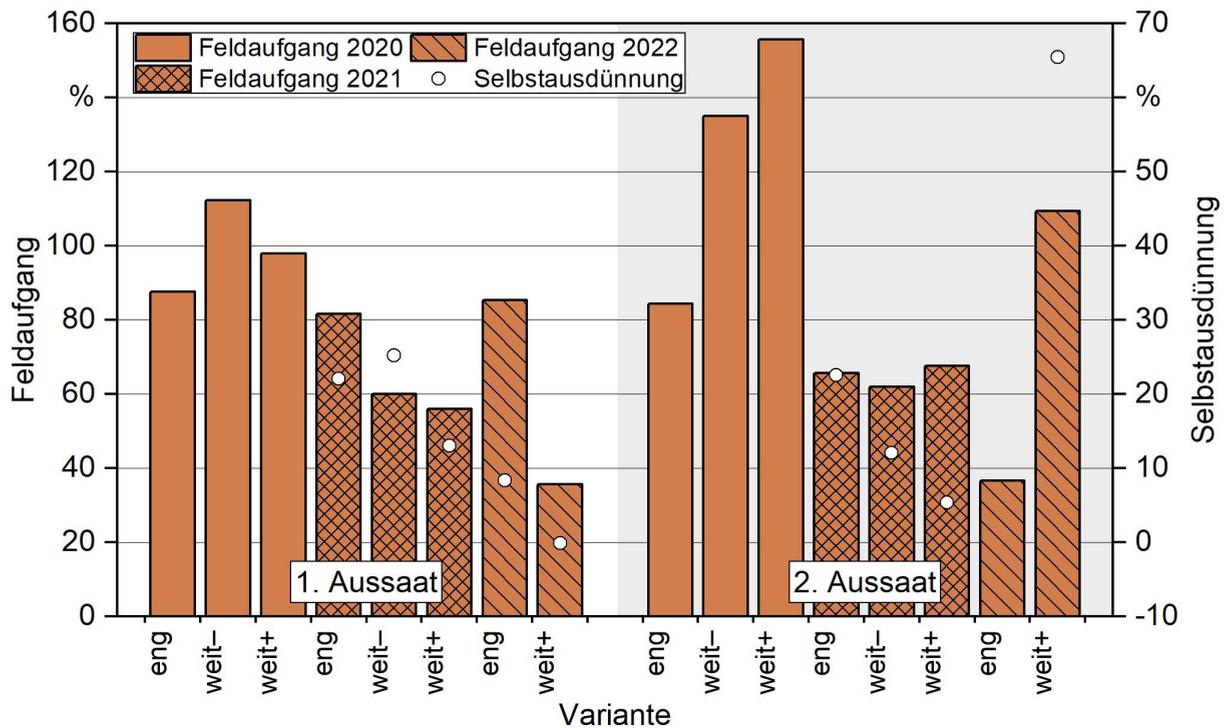


Abbildung 33: Feldaufgang und Selbstausdünnung am Standort HD im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf in Abhängigkeit von Variante und Jahr

5.3.3 Unkrautbesatz

Am Standort TFZ stiegen in allen Versuchsjahren Unkraut- sowie Kulturdeckungsgrad mit fortschreitender Vegetationszeit an (Abbildung 34). Für den ersten Aussaattermin stieg der Unkrautdeckungsgrad (UDG) von durchschnittlich 4,2 % vor der Unkrautregulierung (UKR) auf 12,1 % nach der UKR und schließlich auf 15,5 % vor der Ernte an. Der Kulturdeckungsgrad (KDG) schwankte wenig zwischen den Reihenabständen. Ein Anstieg von 11,7 % vor UKR auf 39,6 % vor Ernte ließ sich feststellen. Der kontinuierliche Anstieg der Flächenbedeckung zeigte sich im zweiten Aussaattermin weniger stark. Dafür waren besonders Unterschiede zwischen dem Versuchsjahr 2020 und den Jahren 2021 und 2022 zu erkennen. Der UDG im Jahr 2020 stieg von 15,5 % vor UKR auf 40,8 % nach UKR und auf 36,8 % vor Ernte an. Der KDG war mit durchschnittlich 19,0 % in diesem Jahr niedriger als der UDG. In den Jahren 2021 und 2022 schwankte der UDG zwischen 0 % und 8,5 %. Der KDG lag höher als im Jahr 2020, aber niedriger als für den ersten Aussaattermin. Dadurch zeigt sich die Bedeutung der Aussaatbedingungen, aber auch des Jahrs und damit der allgemeinen Bedingungen im Vegetationsverlauf für den Deckungsgrad. Der UDG war im Jahr 2022 für beide Aussaattermine gering.

Der geringste UDG vor der Ernte wurde stets für die Variante „weit +“ festgestellt, selbst wenn zu Beginn der Vegetationszeit im Vergleich zu den anderen Varianten ein höherer UDG zu beobachten war. Signifikante Unterschiede waren dabei nur im Versuchsjahr 2022 für den ersten Aussaattermin festzustellen.

Über alle Versuchsjahre gesehen wurden die Einflüsse des Versuchsjahrs anhand von Wechselwirkungen erkennbar. Dabei fiel auf, dass es sich auf UDG und KDG gegenläufig auswirkte. Zwischen der Reihenweite und dem Deckungsgrad wurden keine Wechselwirkungen festgestellt. In Bezug zum Aussaattermin zeigten sich eine schwache positive Korrelation im Unkrautdeckungsgrad und eine negative mittelstarke Korrelation ($r = -0,581$) für den Kulturdeckungsgrad.

Am Standort HD waren die Unterschiede zwischen den Aussaatterminen geringer als am Standort TFZ (Abbildung 35). Für die Pflanzen des ersten Aussaattermins lag der UDG bei 15,7 % vor UKR, 30,1 % nach UKR und 22,7 % vor Ernte. Für den zweiten Aussaattermin bei 1,6 % (nur Jahr 2022), 16,1 % und 16,5 %. Besonders das Jahr 2022 fiel, ähnlich wie am TFZ, wegen seines geringen UDG auf. Der KDG schwankte zwischen den Varianten und den Jahren kaum, er lag kurz vor der Ernte bei durchschnittlich 82,6 % (1. Aussaattermin) und 84,0 % (2. Aussaattermin). Auch am Standort HD wurde der geringste UDG meist in der Variante „weit +“ gefunden. In allen Jahren wurden zwischen den Varianten für den UDG vor der Ernte allerdings keine signifikanten Unterschiede ermittelt. Über alle drei Versuchsjahre betrachtet ergab sich ebenfalls ein intensiver Einfluss des Jahrs auf den Unkrautdeckungsgrad. Zwischen Aussaattermin und UDG zeigte sich nur für den ersten Boniturtermin (vor UKR) eine Wechselwirkung. Zwischen Reihenabstand und UDG ließ sich keine Korrelation feststellen.

Das Jahr 2022 zeichnete sich durch den geringen UDG an beiden Standorten aus. Dies ist auf die optimalen Aussaatbedingungen, insbesondere am Standort TFZ, mit hohen Bodentemperaturen und ausreichend Niederschlägen in den darauffolgenden Tagen zurückzuführen. Am Standort HD war bekannt, dass auf der ausgewählten Fläche ein sehr niedriger Unkrautdruck herrscht.

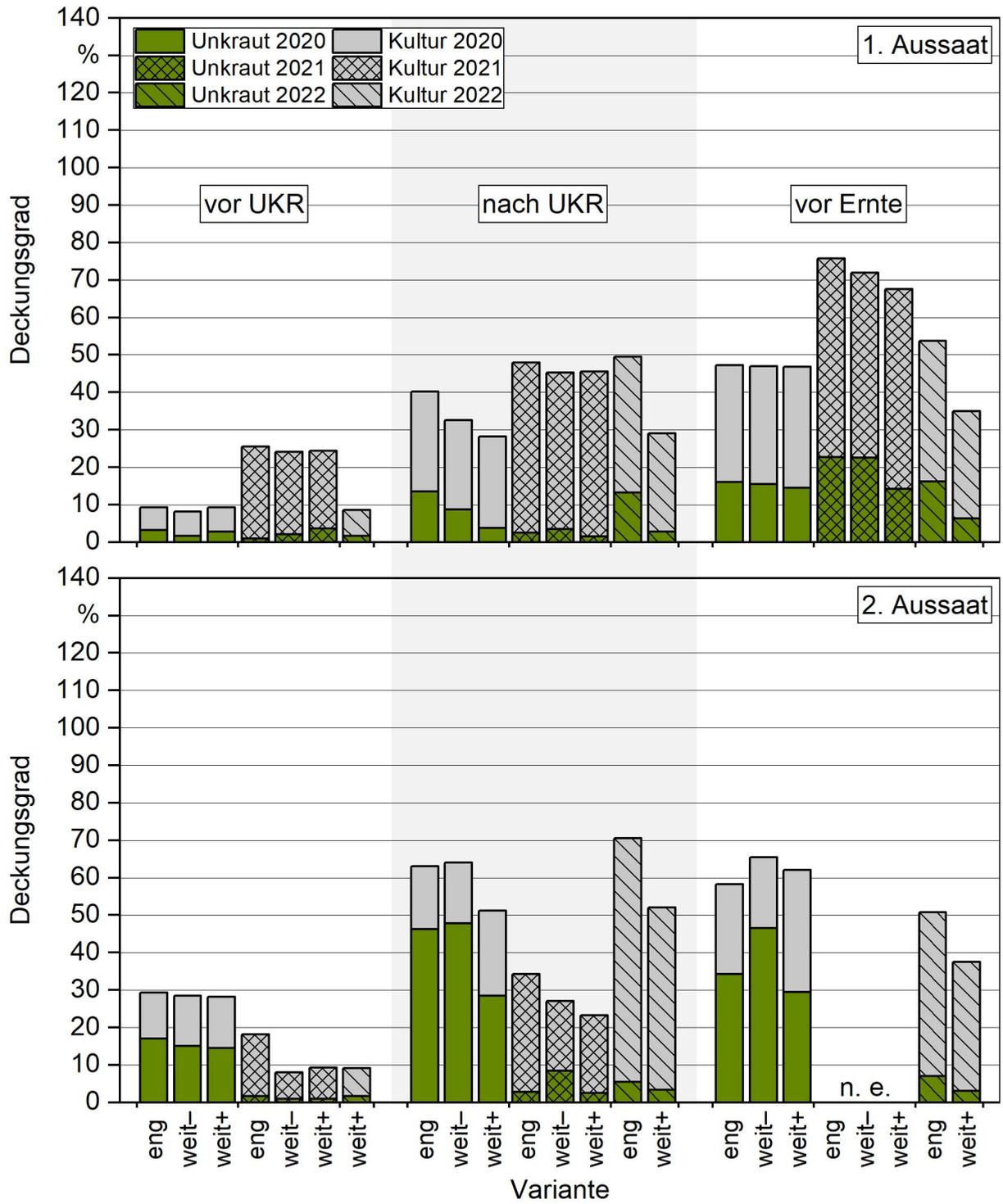


Abbildung 34: Unkraut- und Kulturdeckungsgrad am Standort TFZ vor Unkrautregulierung (UKR), nach UKR und vor der Ernte in Abhängigkeit von Jahr und Variante

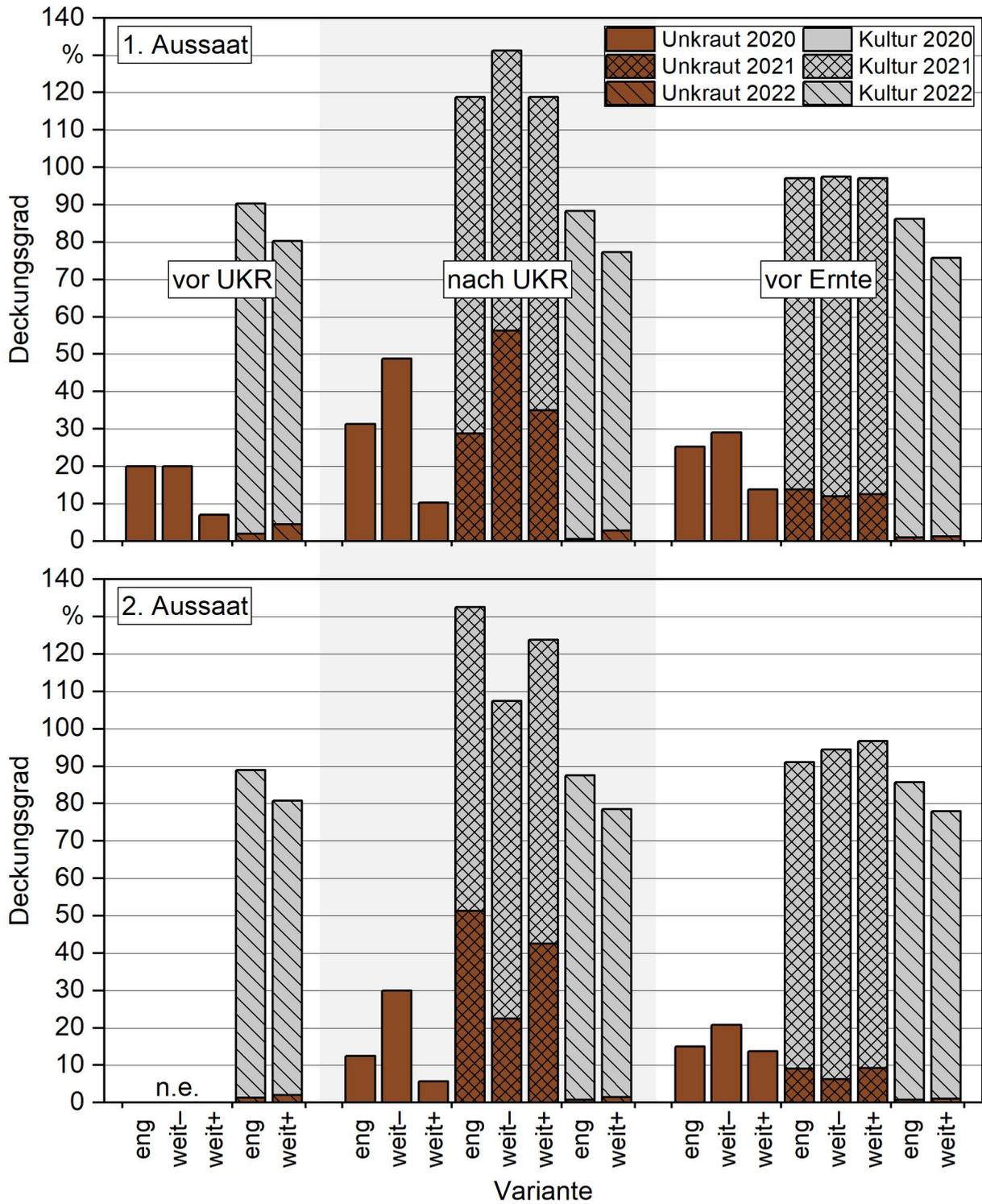


Abbildung 35: Unkraut- und Kulturdeckungsgrad am Standort HD vor Unkrautregulierung (UKR), nach UKR und vor der Ernte in Abhängigkeit von Jahr und Variante

5.3.4 Ertrag

Der Kornertrag am Standort TFZ lag bei durchschnittlich 9,4 dt/ha im Jahr 2020, 9,7 dt/ha im Jahr 2021 und 14,4 dt/ha im Jahr 2022 (Abbildung 36). Innerhalb eines Jahrs waren die Schwankungen zwischen den Varianten sehr gering. Nur im Jahr 2020 war der Kornertrag in der Variante „weit +“ signifikant höher als in der Variante „eng“. Von einem geringen Effekt der Reihenweite auf den Kornertrag wurde auch in einer anderen Studie berichtet [88]. Über alle Jahre betrachtet bestand bei Reihenabstand, Aussaattermin und Kornertrag keine signifikante Korrelation zwischen den Varianten. Im Jahr 2022 wurde ein etwas höherer Kornertrag erreicht als in den ersten beiden Versuchsjahren. Dies zeigte sich durch eine starke Korrelation zwischen Kornertrag und Jahr ($r = 0,834$). Gründe für den erhöhten Ertrag im letzten Versuchsjahr könnten die im Vergleich zu den anderen Jahren höhere Wärmesumme und Globalstrahlung sein, wenngleich in den Monaten Juli und August mit insgesamt 43 mm ein sehr geringer Niederschlag zu verzeichnen war. Der Ertrag war außerdem für den zweiten Aussaattermin etwas niedriger als für den ersten Aussaattermin, der Unterschied erwies sich als signifikant. Da es im Versuchsjahr 2021 in den Parzellen des zweiten Aussaattermins zu maschinellen Schwierigkeiten bei der Aussaat kam, gibt es keine Ertragsdaten, die somit auch nicht in die statistische Auswertung eingingen. Es sind zwar keine signifikanten Unterschiede zwischen den Aussaatterminen erkennbar, allerdings bestehen deutliche Auswirkungen des Aussaattermins auf den Erfolg der Bestandsetablierung und somit auch den Ertrag. Der Strohertrag unterschied sich ebenfalls kaum zwischen den Varianten. Er lag bei 27,9 dt/ha im Jahr 2020, 26,8 dt/ha im Jahr 2021 und bei 28,4 dt/ha im Jahr 2022. Anders als für den Kornertrag waren auch zwischen den Jahren keine Veränderungen im Strohertrag zu beobachten. Der Trockenstoffgehalt war für Körner und Stroh konstant. Er lag in einer Spanne von 69,9 bis 81,4 % im Korn und 31,9 bis 42,0 % im Stroh. Des Weiteren ließen sich positive Wechselwirkungen von der Bestandsdichte auf den Kornertrag ($r = 0,474$) feststellen. Die Selbstausdünnung stand in negativer Wechselwirkung ($r = -0,658$) mit dem Kornertrag.

Am Standort HD wurde ein Kornertrag von 19,0 dt/ha im Jahr 2020, 20,8 dt/ha im Jahr 2021 und 13,8 dt/ha im Jahr 2022 erreicht (Abbildung 37). In keinem Jahr ließen sich signifikante Unterschiede zwischen den Varianten feststellen. Anders als am Standort TFZ war das Jahr 2022 ein ertragsschwächeres Jahr, was vermutlich an den mit 156 mm geringen Niederschlägen im Zeitraum von Mai bis August lag, die die Nährstoffaufnahme und das Wachstum limitierten. Die Ergebnisse am Standort HD in den Jahren 2020 und 2021 korrespondierten mit den Angaben des Züchters, dass um den 50. Breitengrad Kornerträge um 20 dt/ha erreicht werden können [21]. Der Strohertrag blieb zwischen den Varianten innerhalb eines Jahrs beinahe konstant. Lediglich im Jahr 2021 war er in der Variante „weit –“ signifikant höher als in der Variante „eng“. Zwischen den Jahren zeigten sich stärkere Schwankungen. Während im Jahr 2020 mit durchschnittlich 18,4 dt/ha ein geringer Strohertrag zu verzeichnen war, lag er im Jahr 2021 mit 32,5 dt/ha und im Jahr 2022 mit 43,4 dt/ha deutlich höher, obwohl die Pflanzenhöhe niedriger ausfiel als im Jahr 2021. Das Verhältnis von Korn zu Stroh veränderte sich, aufgrund des gleichzeitig niedrigeren Kornertrags im Jahr 2022, dadurch deutlich. Der stärkere Einfluss des Jahrs auf den Strohertrag im Vergleich zum Kornertrag wurde durch einen stärker ausgeprägten

Korrelationskoeffizienten zwischen Strohertrag und Jahr verdeutlicht. Der Trockensubstanzgehalt des Stroh lag in einem Bereich von 35,3 bis 42,0 %. Die Körner hatten einen Trockensubstanzgehalt von 79,1 bis 90,5 % in den Jahren 2020 bis 2021. Im Jahr 2022 wichen die Werte um durchschnittlich 59 % von den Vorjahren ab.

Die Kornerträge waren am Standort TFZ im Jahr 2022 und am Standort HD im Jahr 2021 am höchsten. Aufschlussreich ist, dass in diesen beiden Jahren die Niederschlagssumme in den Monaten Mai und Juni in einem ähnlichen Bereich lag. War deutlich weniger oder mehr Wasser vorhanden, fiel der Kornertrag niedriger aus. Ähnliche Beobachtungen wurden in einem fünfjährigen Versuch zu den Einflüssen von Lufttemperatur und Niederschlag auf die Erträge von Hanf verschiedener Nutzungsrichtungen gemacht, in dem die Ergebnisse deutliche Ertragsrückgänge bei zu viel (> 80 mm) oder zu wenig Wasser zu Vegetationsbeginn zeigten [86]. Ein jährlicher Niederschlag von 600 mm kann als grober Anhaltspunkt zur Sicherstellung des Wasserbedarfs von Hanf genutzt werden [28]. Allerdings ist der Wasserbedarf für Hanf in den ersten sechs Wochen am höchsten [74]. Zusätzlich ist Hanf in dieser Zeit empfindlicher gegenüber Trockenheit, da sein Wurzelsystem noch nicht so stark ausgebildet ist [28]. Dass am Standort HD bereits in dieser Phase Wasser gefehlt hat, könnte den geringeren Ertrag im Vergleich zu den Versuchsjahren 2020 und 2021 erklären, wohingegen am Standort TFZ geringe oder keine Ertragsrückgänge zu verzeichnen waren. Bereits in der Lustigen Hanffibel von 1942 [8] war man sich des hohen Wasserbedarfs von Hanf bewusst: „Es braucht der Hanf, der böse Prasser, in seinem Leben recht viel Wasser.“ Die Wasserverfügbarkeit stellt einen entscheidenden Faktor im Erfolg des Hanfanbaus dar. Dies spiegelt sich auch in den Erträgen der weiteren Versuche wider.

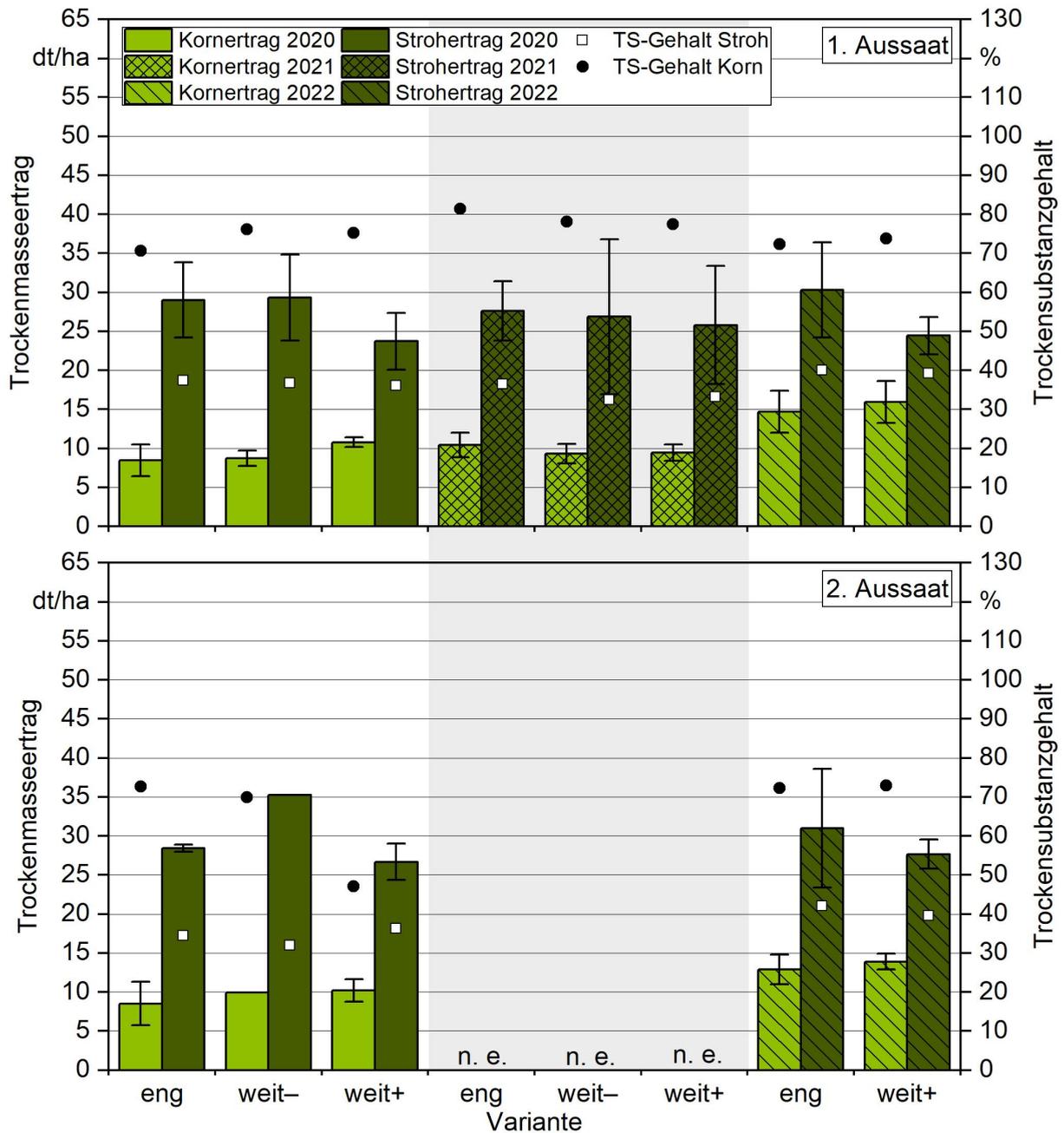


Abbildung 36: Trockenmasseertrag mit Trockensubstanzgehalt von Korn und Stroh am Standort TFZ in Abhängigkeit von Jahr und Variante

Die Grundbodenanalyse Anfang April 2021 gab Aufschluss über die Gehalte der verschiedenen Nährstoffe an den beiden Standorten (vgl. Tabelle 57). Auffällig waren die deutlich höheren Werte für Phosphor (P_2O_5), Kalium (K_2O) und Calcium am Standort HD. Zusätzlich waren auch die Gehalte der Mikronährstoffe Kupfer (Cu), Zink (Zn) und Eisen (Fe) deutlich höher. Am Standort TFZ hingegen war im Boden mehr Mangan (Mn) vorhanden. Unter den Nährstoffen hat Stickstoff den stärksten Einfluss auf die Hanfpflanzen [1]. Sowohl Phosphor als auch Schwefel haben kaum einen Effekt auf die Biomasse, die Pflanzenhöhe und den Ertrag [87]. Der Effekt von Stickstoff ist deutlich größer als der von Phosphor, der wiederum einen größeren Effekt als Kalium hat [1]. Daher scheint der Unter-

schied durch die verschiedenen Gehalte an Nährstoffen im Boden nur geringe Auswirkungen auf den Ertrag und die Pflanzenhöhe gehabt zu haben. Zudem waren die Nährstoffgehalte am Standort HD zwar höher, lagen am Standort TFZ trotzdem in einem normalen Bereich (Gehaltsklasse C, vereinzelt B und D) und lassen auf keinen Nährstoffmangel für die Pflanzen schließen. Eine Ertragssteigerung durch eine mögliche Erhöhung der Gehalte an Phosphor, Kalium und Calcium am Standort TFZ ist daher nicht zu erwarten.

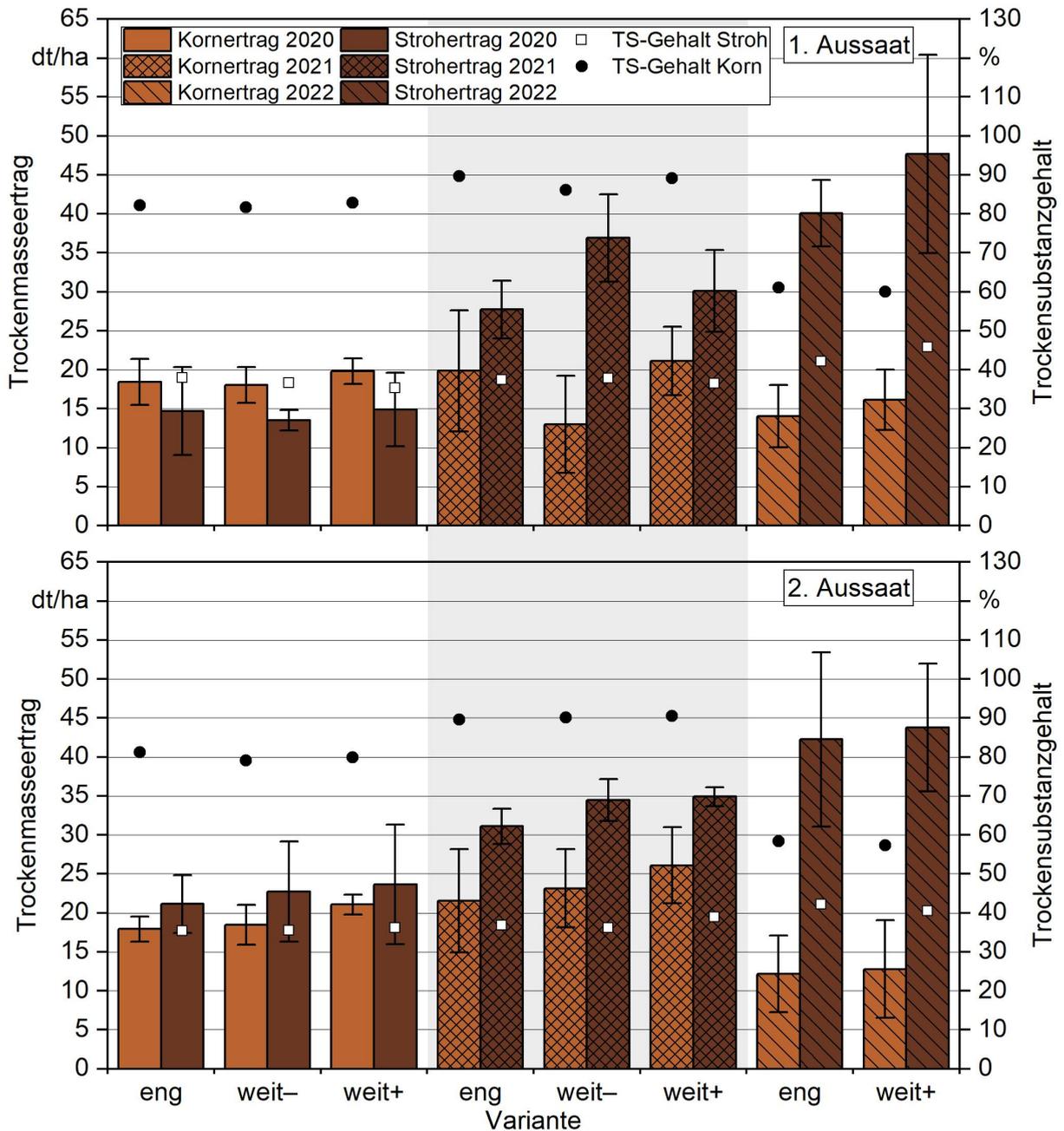


Abbildung 37: Trockenmasseertrag mit Trockensubstanzgehalt von Korn und Stroh am Standort HD in Abhängigkeit von Jahr und Variante

Nach der Trocknung im Versuchsjahr 2020 wurde festgestellt, dass ein Großteil der Körner aufgeplatzt war (Abbildung 38). Dies stellt einen großen Qualitätsmangel dar, denn durch die aufgeplatzte Samenschale gelangt Sauerstoff ins Innere und führt dort zur Oxidation. Chargen mit aufgeplatzen, oxidierten und damit ranzigen Körnern eignen sich nicht mehr für die Lebensmittelindustrie und werden daher von den Verarbeitern nicht angenommen [50]. Dies wurde an beiden Standorten beobachtet. Allerdings war das Phänomen am Standort TFZ deutlicher ausgeprägt. Nach Gesprächen mit mehreren Landwirten stellte sich heraus, dass aufgeplatzte Körner auch bei anderen Landwirten in der Umgebung aufgetreten waren. Es scheint, dass durch die Witterungsbedingungen, insbesondere die Niederschlagsereignisse kurz vor der Ernte, im Erntejahr 2020 ein Teil der Samen bereits auf dem Feld mit der Keimung begonnen hatte. Im Erntejahr 2018 wurde in Österreich von einem ähnlichen Ereignis berichtet [48] [47]. In den Jahren 2021 und 2022 wurde dies nicht beobachtet.



Abbildung 38: *Oben: Hanfkörner nach der Trocknung; unten links: verunreinigtes Erntegut direkt nach der Ernte; unten rechts: nach der Trocknung ausgekeimte Körner*

5.3.5 Rohfettgehalt

Die Rohfettgehalte in den Körnern schwankten am Standort TFZ zwischen 28,9 und 37,0 % (Tabelle 18). Durchschnittlich lag der Rohfettgehalt 2020 bei 33,8 % (1. AST) und 34,2 % (2. AST), 2021 bei 30,0 % (1. AST) und 2022 bei 33,0 % (1. AST) und 31,4 % (2. AST). Am Standort HD enthielten die Körner zwischen 29,7 und 34,7 % Öl. Im Jahr 2020 lag er bei 32,9 % (1. AST) und 33,6 % (2. AST), im Jahr 2021 bei 30,9 % (1. AST) und 32,7 % (2. AST). 2022 wiesen die Körner einen Rohfettgehalt von 32,0 % (1. AST) und 32,1 % (2. AST) auf. Es zeigte sich an beiden Standorten und in allen Jahren ein tendenziell höherer Rohfettgehalt für die Körner des zweiten Aussaattermins. Zwischen den Jahren und generell zwischen den Standorten zeigten sich nur geringe Veränderungen. Allerdings wurde der höchste und niedrigste Rohfettgehalt für den jeweiligen Standort jeweils im selben Jahr festgestellt. Am höchsten lagen sie demnach im Jahr 2022 und am niedrigsten im Jahr 2021, was auf einen Einfluss durch die Witterungsbedingungen schließen lässt.

Tabelle 18: Rohfettgehalte im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf in Abhängigkeit des Aussaattermins (AST) und der Variante

Standort	TFZ			HD		
	2020	2021	2022	2020	2021	2022
Jahr						
Variante	Rohfettgehalt in %			Rohfettgehalt in %		
1. AST eng	34,1	32,5	33,5	32,9	33,1	32,7
1. AST weit –	32,5	26,6	–	32,5	33,4	–
1. AST weit +	34,9	30,9	32,4	33,3	26,6	30,1
2. AST eng	32,3	n. e.	28,9	32,4	34,7	33,1
2. AST weit –	33,2	n. e.	–	34,6	33,6	–
2.AST weit +	37,0	n. e.	33,9	33,7	29,7	32,1

5.3.6 Stickstoffbilanz

Der Nähstoffsaldo (N-Saldo; N-Zufuhr minus N-Abfuhr) am Standort TFZ variierte in den drei Versuchsjahren zwischen –33,4 und +11,8 kg N/ha, wobei die höchsten N-Entzüge im Versuchsjahr 2021 und die niedrigsten im Versuchsjahr 2020 zu finden waren. Grund für die höheren Entzüge im Versuchsjahr 2021 sind die höheren Stickstoffgehalte im Stroh. Diese sind vermutlich auf eine verbesserte Stickstoffaufnahme aufgrund höherer Niederschläge und besserer Temperaturverhältnisse, die zu einer höheren Mineralisation als in den anderen Versuchsjahren führte, zurückzuführen. Am Standort HD bewegte sich der N-Saldo im selben Zeitraum zwischen –107,5 und –36,0 kg N/ha. Hier wurde ein kontinuierlicher Anstieg der N-Entzüge im Verlauf der Versuchsjahre beobachtet. So bewegte sich der N-Saldo im Versuchsjahr 2020 zwischen –61,7 und –36,0 kg N/ha, im Versuchsjahr 2021 zwischen –85,5 und –36,2 kg N/ha und im Versuchsjahr 2022 zwischen –107,5 und –89,3 kg N/ha. Es ist zu bemerken, dass die sehr hohen N-Entzüge im Versuchsjahr 2022

mit den hohen N_{\min} -Werten bei der Aussaat und der dadurch nicht erfolgten Düngung in Zusammenhang stehen. Der Anstieg der N-Entzüge von 2020 auf 2021 kommt hauptsächlich durch die Ertragssteigerung (Korn und Stroh; vgl. Abschnitt 5.3.4) zustande.

Mit Ausnahme des Versuchsjahrs 2021 am Standort TFZ und des ersten Aussaattermins im Versuchsjahr 2022 am Standort HD war der N-Saldo in der Variante mit den weiten Reihen geringer als in den engen Reihen. Zusätzlich wies, abgesehen vom zweiten Aussaattermin im Versuchsjahr 2020 am Standort TFZ, der durch eine starke Verunkrautung in der Variante ohne Unkrautregulierung geprägt war, die Variante mit Unkrautregulierung (weit +) einen geringeren N-Saldo auf als die Variante ohne (weit -). Aufgrund der höheren Korn- und Stroherträge in der Variante „weit +“ (vgl. Abschnitt 5.3.4) ist es nicht verwunderlich, dass eben diese Variante in fast allen Versuchsjahren die beste N-Bilanz aufweist. An beiden Standorten wurden nach der Ernte deutlich niedrigere N_{\min} -Werte ermittelt als vor der Aussaat. Zwischen den beiden Aussaatterminen wurde kein Unterschied in der Stickstoffbilanz festgestellt.

Beim Vergleich der beiden Standorte fällt auf, dass die N-Entzüge am Standort HD deutlich höher sind als die am Standort TFZ. Dies ist auf die deutlich höheren Erträge am Standort HD zurückzuführen (vgl. Abschnitt 5.3.4).

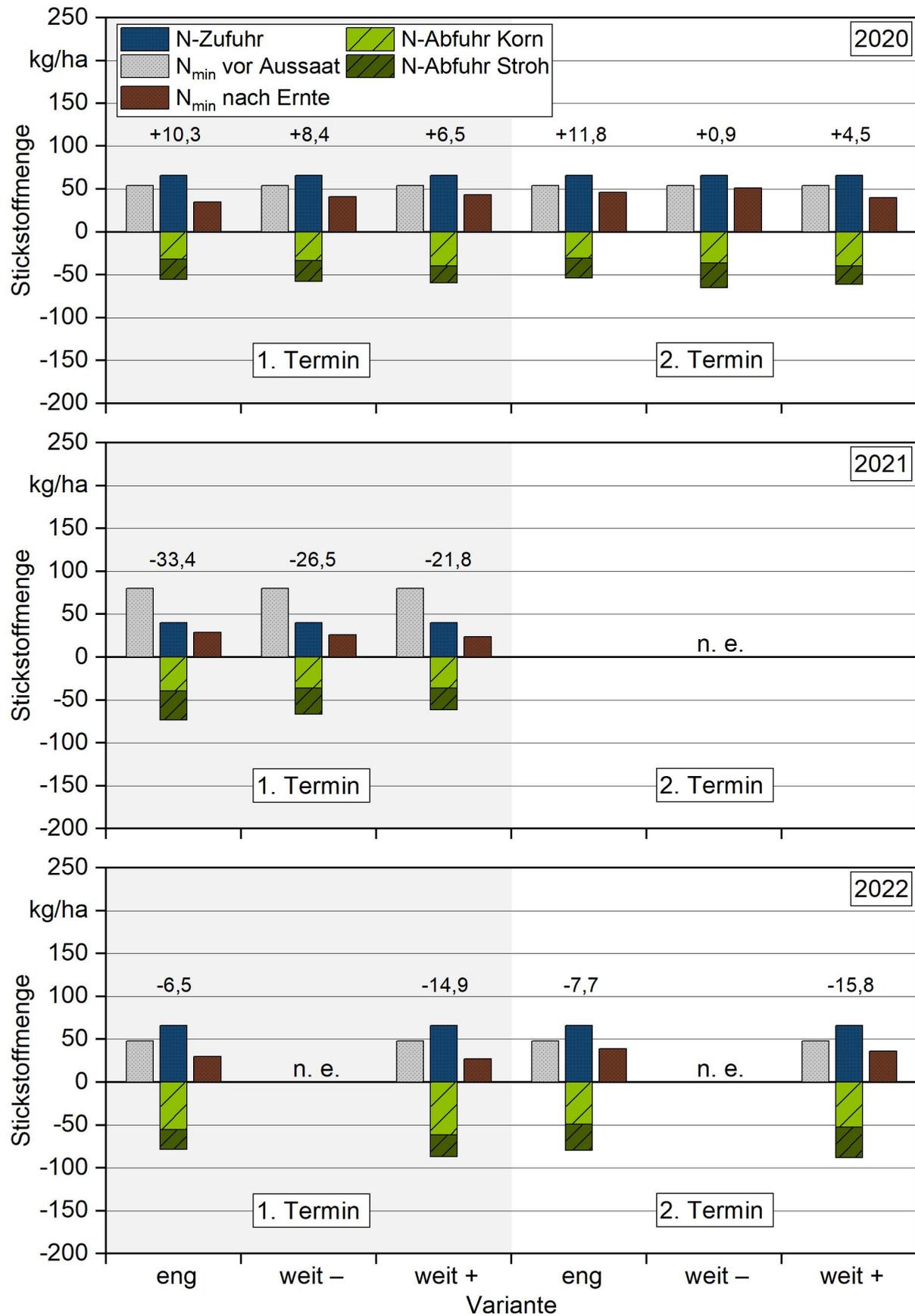


Abbildung 39: N-Zufuhr und N-Abfuhr mit N-Saldo (Wert = Zufuhr – Abfuhr) im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf am Standort TFZ

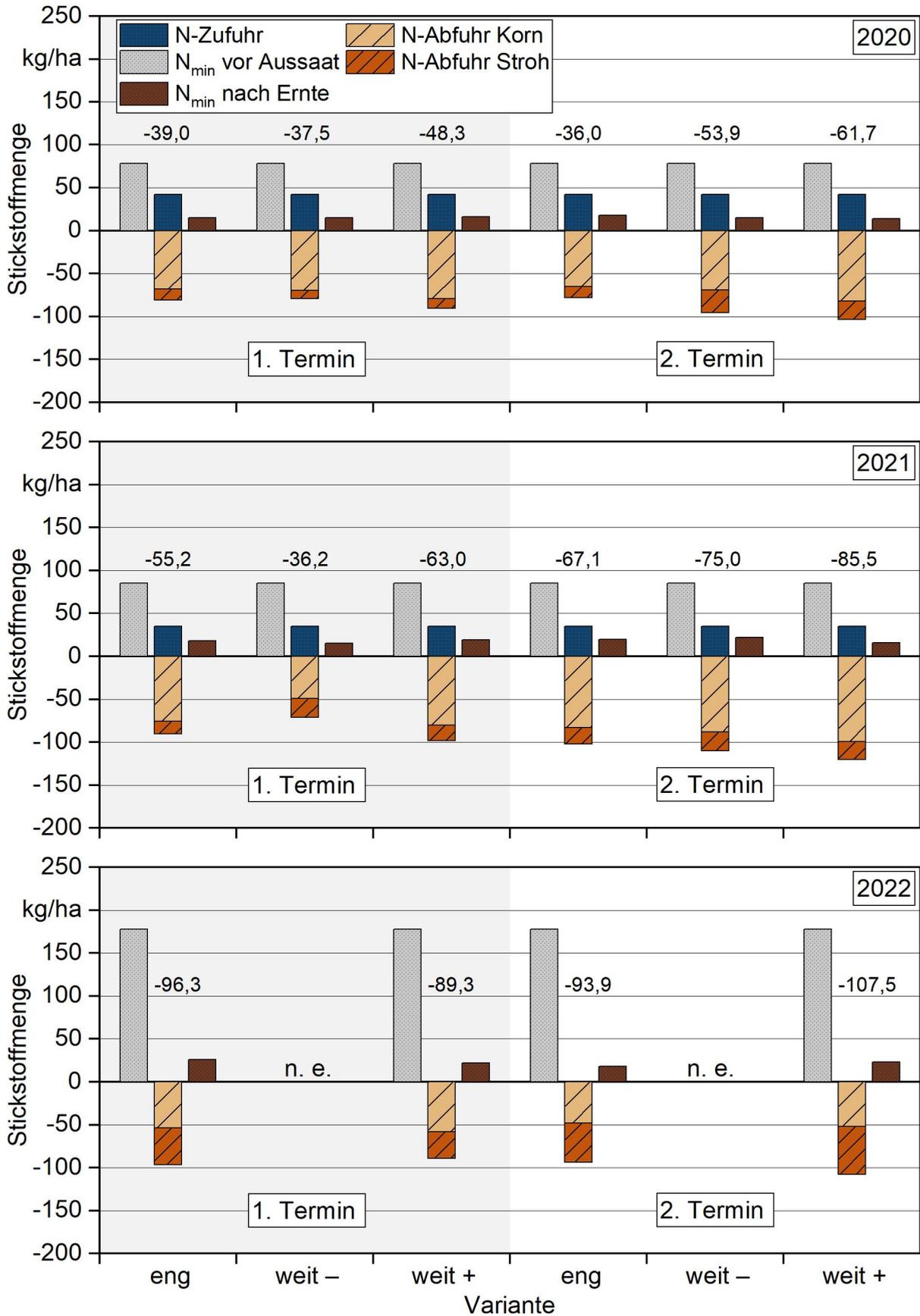


Abbildung 40: N-Zufuhr und N-Abfuhr mit N-Saldo (Wert = Zufuhr - Abfuhr) im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf am Standort HD

5.4 Versuch zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf

Im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf wurde der Einfluss der Stickstoffdüngung auf die Pflanzenentwicklung, den Stickstoffgehalt im Boden, den Ertrag sowie die Qualität der daraus gewonnenen Fasern untersucht. Mithilfe dieser Daten sollen die für diese Nutzungsrichtung existierenden Düngeempfehlungen des Gelben Hefts [93] überprüft und gegebenenfalls angepasst werden. Hierfür wurde die Faserhanfsorte Futura 75 am Standort TFZ angebaut. Die Stickstoffversorgung variierte zwischen N_{\min} , 120 kg N/ha, 160 kg N/ha, 200 kg N/ha und 240 kg N/ha. Die N_{\min} -Werte der einzelnen Versuchsjahre sind in Tabelle 6 zusammengefasst.

5.4.1 Wuchshöhe

Die Höhe der Pflanzen lag über alle Jahre zwischen 182 und 297 cm (Tabelle 19) und im Durchschnitt bei 258 cm. Bei einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160 kg N/ha waren die Pflanzen im Jahr 2020 mit 284 cm am größten, gefolgt von 278 cm im Jahr 2022. Im Jahr 2021 waren sie mit 270 cm am kleinsten. Innerhalb eines Jahrs ließen sich signifikante Unterschiede allerdings nur zwischen der ungedüngten Variante N_{\min} und den gedüngten Varianten, nicht aber zwischen den verschiedenen Düngegraden ermitteln. In den Jahren 2021 und 2022 waren die Pflanzen in der höchsten Stickstoffstufe am größten und ebenfalls in der N_{\min} -Variante am niedrigsten. Der Höhenzuwachs bei zusätzlicher verfügbarer Stickstoffmenge wird zunehmend geringer. Der Stängeldurchmesser stieg mit steigender Stickstoffmenge kontinuierlich an, nahm im Versuchsjahr 2022 allerdings im Vergleich der Varianten 200 und 240 wieder etwas ab. Es zeigte sich für beide Parameter das Prinzip vom abnehmenden Ertragszuwachs. Über alle Jahre gesehen hatten die Pflanzen in den Varianten N_{\min} und 80 kg N/ha signifikant geringere Pflanzenhöhen als in den restlichen Varianten.

Insgesamt wurden positive Wechselwirkungen zwischen der verfügbaren Stickstoffmenge und der Pflanzenhöhe ermittelt ($r = 0,734$). Auch zwischen dem Jahr und der Pflanzenhöhe ergaben sich signifikante Korrelationen ($r = 0,354$), was den Witterungseinfluss verdeutlicht. Besonders durch fehlende Niederschläge zwischen April und Juni werden die Keimung und das Jugendwachstum limitiert [86], was sich wiederum auf die Wuchshöhe auswirken kann. Die erreichte Höhe der Pflanzen und der Stängeldurchmesser haben ebenfalls einen direkten Zusammenhang ($r = 0,509$). Eine negative Korrelation wurde zwischen Wuchshöhe und Feldaufgang ($r = -0,437$) und zwischen Wuchshöhe und Unkrautdeckungsgrad vor der Ernte ($r = -0,314$) beobachtet.

Tabelle 19: Durchschnittliche Pflanzenhöhe und Stängeldurchmesser vor Ernte im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf

Jahr	2020	2021	2022	2020	2021	2022
Variante in kg N/ha	Pflanzenhöhe in cm			Stängeldurchmesser in mm		
N _{min}	182	233	225	3,8	5,0	5,3
2020 = 54						
2021 = 80						
2022 = 47						
80	203	–	–	4,1	–	–
120	–	–	260	–	–	6,1
160	284	270	278	5,5	6,5	6,5
200	–	282	285	–	7,2	7,1
240	266	287	297	6,6	7,4	6,7

5.4.2 Feldaufgang

Zwischen den Jahren waren starke Unterschiede im Feldaufgang erkennbar (Abbildung 41). Im Jahr 2020 lag er bei durchschnittlich 98,6 %. Im Jahr 2021 liefen 72,6 % der ausgesäten Körner auf und im Jahr 2022 war der Feldaufgang mit 55,7 % deutlich geringer als in den beiden Vorjahren. Dies wird auch durch die starke negative Korrelation zwischen Jahr und Feldaufgang ($r = -0,893$) deutlich. Der Zusammenhang konnte allerdings nicht auf einen speziellen Witterungseinfluss zurückgeführt werden. Im dritten Versuchsjahr zeigten sich Schwankungen zwischen den Varianten, die auf einen heterogenen Feldaufgang hinweisen, da die Düngung direkt vor der Bestimmung des Feldaufgangs stattgefunden hat und somit die Varianten keinen Einfluss auf den Feldaufgang haben konnten. Die Selbstausdünnung war bei niedrigem Feldaufgang geringer als bei hohem Feldaufgang. Für die Selbstausdünnung zeigte sich in allen Jahren ein signifikanter Zusammenhang zwischen der verfügbaren Stickstoffmenge und der Veränderung der Bestandsdichte im Wachstumsverlauf. Je mehr Stickstoff zu Verfügung stand, desto stärker hat sich der Bestand ausgedünnt. Dies bestätigt auch die mittelstarke positive Korrelation zwischen Düngemenge und Selbstausdünnung ($r = 0,579$). Der Zusammenhang zwischen Stickstoffdüngung und Selbstausdünnung zeigte sich auch in weiteren Versuchen [68] [84]. Signifikanter Unterschied gab es 2020 zwischen Variante 240 und Variante N_{min} und 80, im Jahr 2021 zwischen Variante 240 und Variante N_{min} und 160 kg N/ha und im Jahr 2022 zwischen Variante 200 und 240 kg N/ha und Variante N_{min}. Durchschnittlich lag die Selbstausdünnung 2020 bei 39,9 %, 2021 bei 22,5 % und 2022 bei 14,8 %. Sowohl die Anpassung der Bestände bei steigender Stickstoffverfügbarkeit als auch die Veränderung angepasst an die Höhe des Feldaufgangs bestätigt, wie stark sich Hanfbestände selbst regulieren.

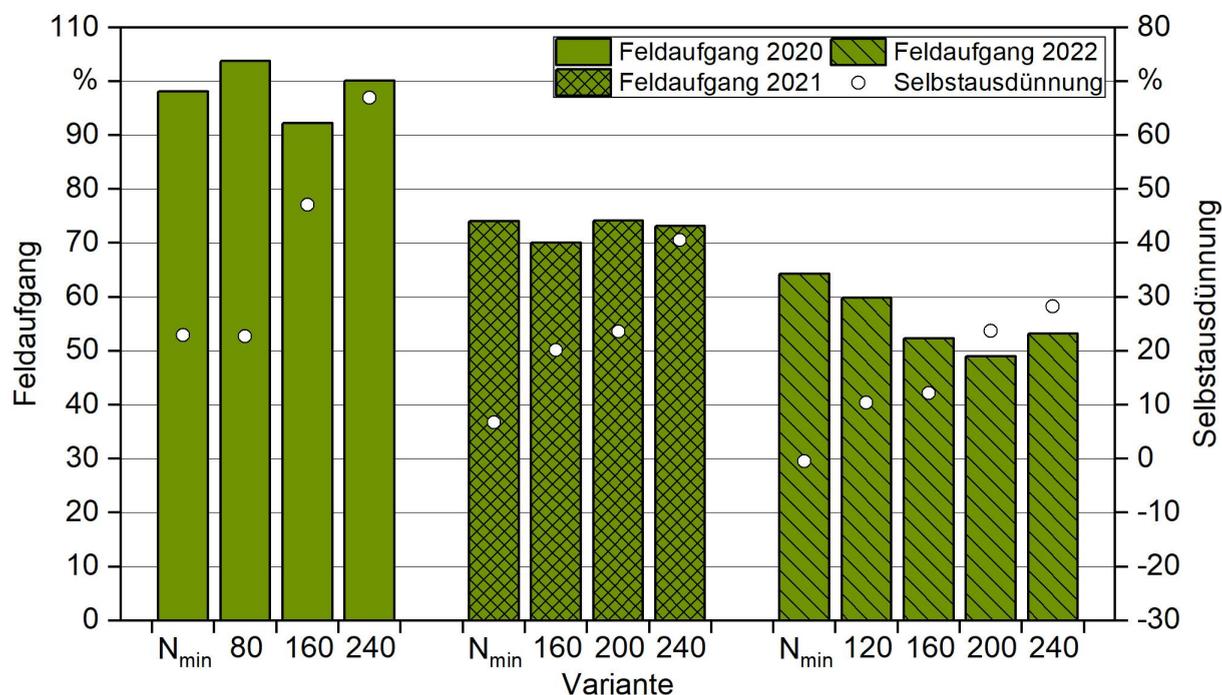


Abbildung 41: Feldaufgang und Selbstausdünnung im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf in Abhängigkeit von Jahr und Stickstoffverfügbarkeit

5.4.3 Unkrautbesatz

In allen Jahren und Varianten war der Unkrautdeckungsgrad (UDG) sowohl bei Reihenschluss als auch kurz vor der Ernte gering (Abbildung 42). Trotzdem ergaben sich signifikante Wechselwirkungen zwischen dem Faktor Jahr und dem Unkraut- bzw. Kulturdeckungsgrad vor der Ernte ($r = -0,417$, $r = -0,681$). Die Unterschiede im Kulturdeckungsgrad (KDG) zum Reihenschluss waren zwischen den Jahren deutlich, vor der Ernte lag der KDG in allen Jahren um die 100 %. Vor Reihenschluss wurde 2020 ein KDG zwischen 67 und 83 % festgestellt, wobei ein tendenzieller Anstieg mit steigender Stickstoffmenge zu erkennen war. Im Jahr 2021 war er zu diesem Boniturtermin mit 34 bis 40 % geringer. Mit einem Wert von durchschnittlich 65 % lag der KDG 2022 zwischen den Werten der beiden vorherigen Jahre. Die Schwankungen zwischen den Dünge­stufen waren gering, aber signifikant ansteigend bis zur Variante 160. Die Höhe der verfügbaren Stickstoffmenge korrelierte leicht positiv mit dem KDG ($r = 0,230$). Bemerkbar machte sich dies allerdings nur im Jahr 2022. Der UDG vor Reihenschluss war in der Variante 160 im ersten Jahr mit 3,6 % im Vergleich zu 2021 mit 1,1 % und zu 2022 mit 2,5 % am höchsten. Gleiches zeigte sich für den zweiten Boniturtermin kurz vor der Ernte. Dort lag der UDG bei 2,9 % (2020), 1,5 % (2021) und 1,3 % (2022). Unterschiede zwischen den Dünge­stufen im Jahr 2021 waren nicht erkennbar, dagegen war der UDG in den anderen beiden Jahren in der Variante 240 tendenziell geringer. Durch den sehr dicht gesäten Faserhanf, der zudem eine hohe Pflanzenlänge erreicht, werden Unkräuter stark beschattet und dadurch effektiv unterdrückt. Sie stellen somit, unter empfohlener Produktionstechnik, keine Konkurrenz zum Faserhanf dar.

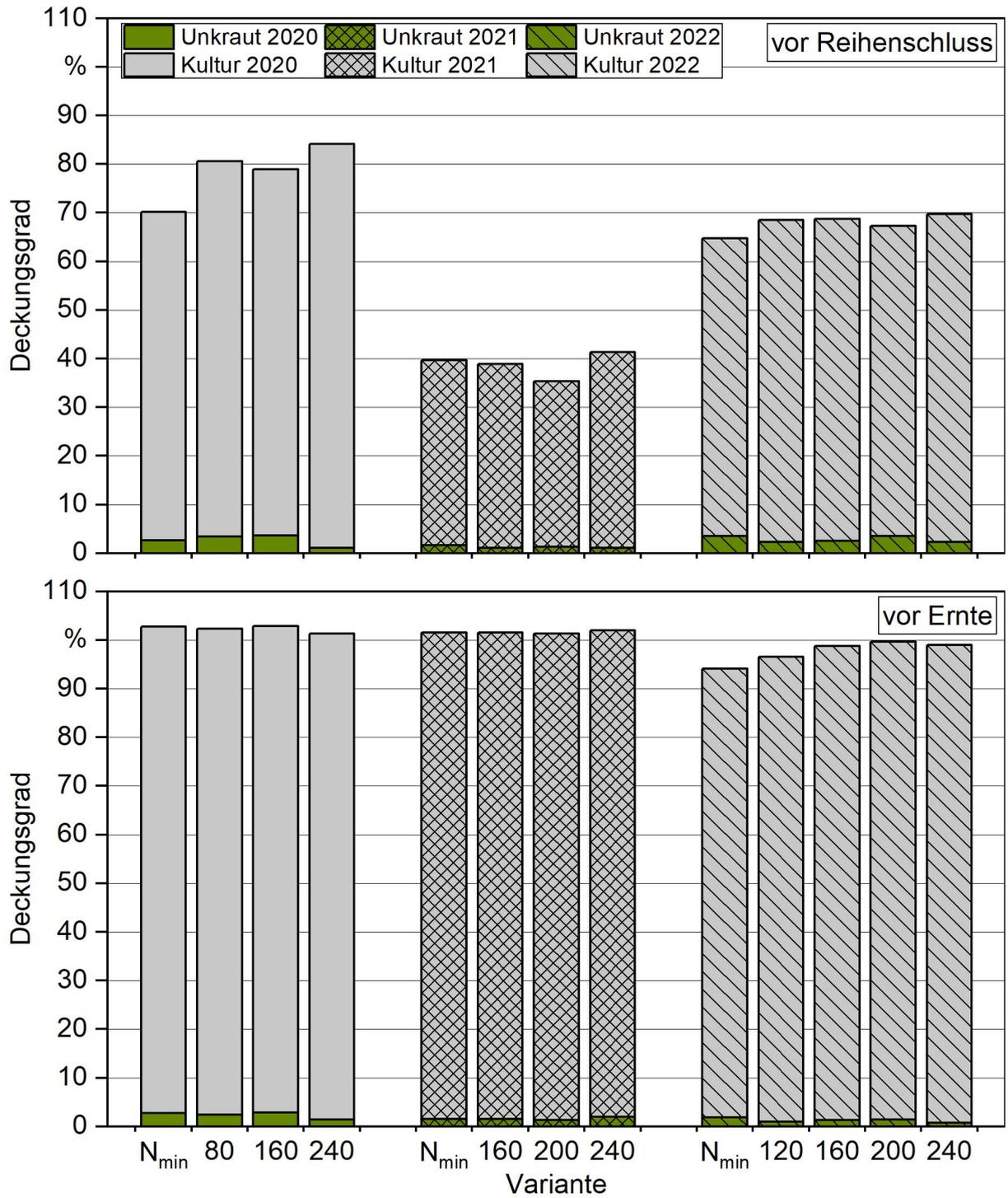


Abbildung 42: Unkraut- und Kulturdeckungsgrad vor Reihenschluss und vor der Ernte in Abhängigkeit von Jahr und Stickstoffverfügbarkeit

5.4.4 Ertrag

Der Trockenmasseertrag des ungerösteten Strohs schwankte deutlich zwischen den Jahren und den Varianten (Abbildung 43). Bei einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160 kg N/ha lag er im Jahr 2020 bei 117,6 dt/ha, im Jahr 2021 bei 125,6 dt/ha und im Jahr 2022 bei 163,7 dt/ha. Alle Jahre hatten gemeinsam, dass er mit zusätzlich verfügbaren Stickstoffmenge anstieg. So lag er im Jahr 2020 in der Variante N_{\min} mit 75,5 dt/ha signifikant niedriger als in den anderen Varianten. Der Strohertrag in der Variante 80 lag mit 100,4 dt/ha zudem signifikant unter dem der Variante 240, in der 134,5 dt/ha erwirtschaftet wurden. Im Jahr 2021 waren die Unterschiede zwischen den Varianten zwar geringer, allerdings war auch hier der Strohertrag in der Variante N_{\min} mit 107,8 dt/ha signifikant niedriger als in der Variante 240 mit 131,8 dt/ha. Gleiches zeigte sich auch im Jahr 2022, in dem in der Variante N_{\min} 124,4 dt/ha und in der Variante 240 171,7 dt/ha ermittelt wurden. Der Röststrohertrag dagegen schwankte weniger stark. Bei 160 kg N/ha war er im ersten Versuchsjahr mit 91,1 dt/ha am geringsten, gefolgt vom Jahr 2021 mit 102,8 dt/ha. 2022 war der Röststrohertrag mit 145,0 dt/ha am höchsten. In den ersten beiden Jahren war er in der Variante N_{\min} signifikant niedriger als in den anderen Varianten, deren Werte dann nur noch tendenziell mit steigender Stickstoffverfügbarkeit anstiegen. Im letzten Versuchsjahr wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten ermittelt, es zeigte sich aber eine Tendenz des zunehmenden Ertrags mit steigender Stickstoffverfügbarkeit bei abnehmendem Ertragszuwachs wie in den vorherigen Jahren. Der Röststrohertrag lag für die Variante N_{\min} bei 56,5 dt/ha (2020), 87,8 dt/ha (2021) und 105,6 dt/ha (2022). In der am stärksten gedüngten Variante 240 lag er bei 93,2 dt/ha (2020), 101,5 dt/ha (2021) und 131,3 dt/ha (2022). Die Röststroherträge bei einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160 kg N/ha, wie allgemein für den Faserhanf empfohlen, unterschieden sich kaum von denen bei verfügbaren 240 kg N/ha. Der Trockensubstanzgehalt im Stroh lag für alle Jahre und Varianten konstant und bewegte sich in einer Spanne von 28,6 bis 38,3 %. Der Trockensubstanzgehalt des Röststrohs war in den ersten beiden Versuchsjahren mit 89,2 bis 91,2 % ebenfalls konstant, im Jahr 2022 lag er mit 70,8 % wesentlich niedriger. Dies ist vermutlich auf eine deutlich längere Röste auf dem Feld zurückzuführen.

Bei der Betrachtung aller Jahre wurden, wie im Versuch zur Produktionstechnik von Körnerhanf, starke Wechselwirkungen zwischen dem Versuchsjahr und den Stroherträgen gefunden. Dies spiegelt den deutlichen Einfluss der Witterungsverhältnisse wider. Während 2020 mit 143 mm im Mai und Juni wenig und 2021 mit 226 mm viel Niederschlag gefallen war, lag er im Jahr 2022 mit 178 genau dazwischen. Dies deutet darauf hin, dass eine mittlere Niederschlagsmenge für den Faserhanf, wie auch für die Nutzungsrichtung Körnerhanf, optimal ist. Es zeigte sich außerdem in allen Jahren und für das ungeröstete Stroh wie auch das Röststroh ein ansteigender Trockenmasseertrag mit steigender Stickstoffverfügbarkeit, wobei ab einer Menge von 120 bzw. 160 kg N/ha der Zuwachs abnahm, teilweise sogar eine Ertragsabnahme erkennbar war. Die Stroherträge wurden durch die Wuchshöhe signifikant beeinflusst. Die Korrelation war für das ungeröstete Stroh ($r = 0,645$) etwas stärker als für das Röststroh ($r = 0,479$).

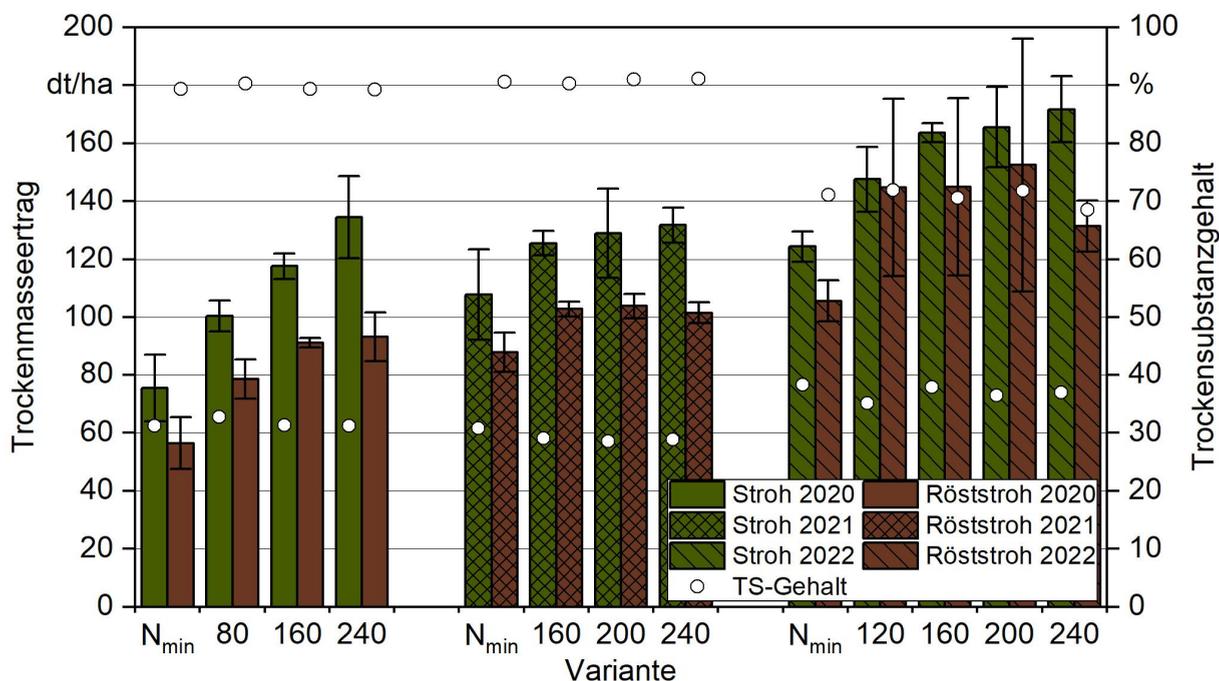


Abbildung 43: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt nicht gerösteten und gerösteten Strohs im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf in Abhängigkeit von Jahr und Stickstoffverfügbarkeit

5.4.5 Fasern

Die optische Veränderung der Proben nach dem mechanischen und chemischen Aufschluss wird in Abbildung 44 gezeigt. Die Faserausbeute in der Düngestufe 160 lag nach dem mechanischen Aufschluss im Jahr 2020 bei 31,4 %, im Jahr 2021 bei 30,3 % und im Jahr 2022 bei 28,2 % (Abbildung 45). Nach dem chemischen Aufschluss reduzierte sie sich auf 23,4 %, 21,3 % und 19,7 %. Zwischen den Jahren waren nur geringe Unterschiede zu erkennen. Allerdings ließ sich die höchste Faserausbeute stets in einer anderen Variante finden. Während 2020 in der Variante 240 mit 26,6 % der höchste Anteil an Fasern erzielt wurde, lag er 2021 in der Variante 200 mit 23,5 % und 2022 in der Variante 120 mit 25,6 % am höchsten.

Eine technologische Faserfeinheits- und Längenmessung war nicht aussagekräftig, da die Schwankungen innerhalb der Fasern zu groß waren und letztendlich immer auf eine Anwendung (Produkt) hin bezogen betrachtet werden müssen. Die Faserdurchmesser streuen (nach dem Aufschluss) zwischen ca. 1 µm und 150 µm, sodass zwischen den Varianten keine Unterschiede festgestellt wurden (Abbildung 46). Lediglich 2021 ergab die optische Beurteilung, dass sich einzig Variante 200 von den anderen unterschied. Sie zeigte die stärkste Fibrillierung bzw. Verfeinerung nach dem Aufschluss. 2022 erschienen die Varianten N_{min} und 120 am gleichmäßigsten geröstet, was sich positiv auf das Prozessverhalten auswirkte und auch am erzielten Fasergehalt erkennbar war. In der mittleren Feinheit und der mittleren technischen Faserlänge wurden ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den Proben festgestellt.



Abbildung 44: Hanffasern nach mechanischem Faseraufschluss der Stängelabschnitte (links) sowie chemischem Faseraufschluss der verschiedenen Varianten (Mitte), optische Beurteilung der Faserfeinheit (rechts)

Bei der spektroskopischen Untersuchung zeigten sich in keinem Jahr signifikante Unterschiede. Dies ist auch darauf zurückzuführen, dass die Proben schon in sich (im Stängel und zwischen den Stängeln) sehr hohe Inhomogenität und damit Varianzen aufwiesen. Auch in den spektroskopischen Daten (chemische Zusammensetzung) sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Proben zu erkennen. Auch hier zeigte sich die große Varianz innerhalb der Stängel. Lediglich im Jahr 2020 unterschied sich die Variante N_{\min} von den restlichen Varianten. Im Jahr 2021 wies die Variante 240 Unterschiede auf und schien mehr Lignin und intrazelluläres Wasser zu enthalten als die restlichen Varianten.

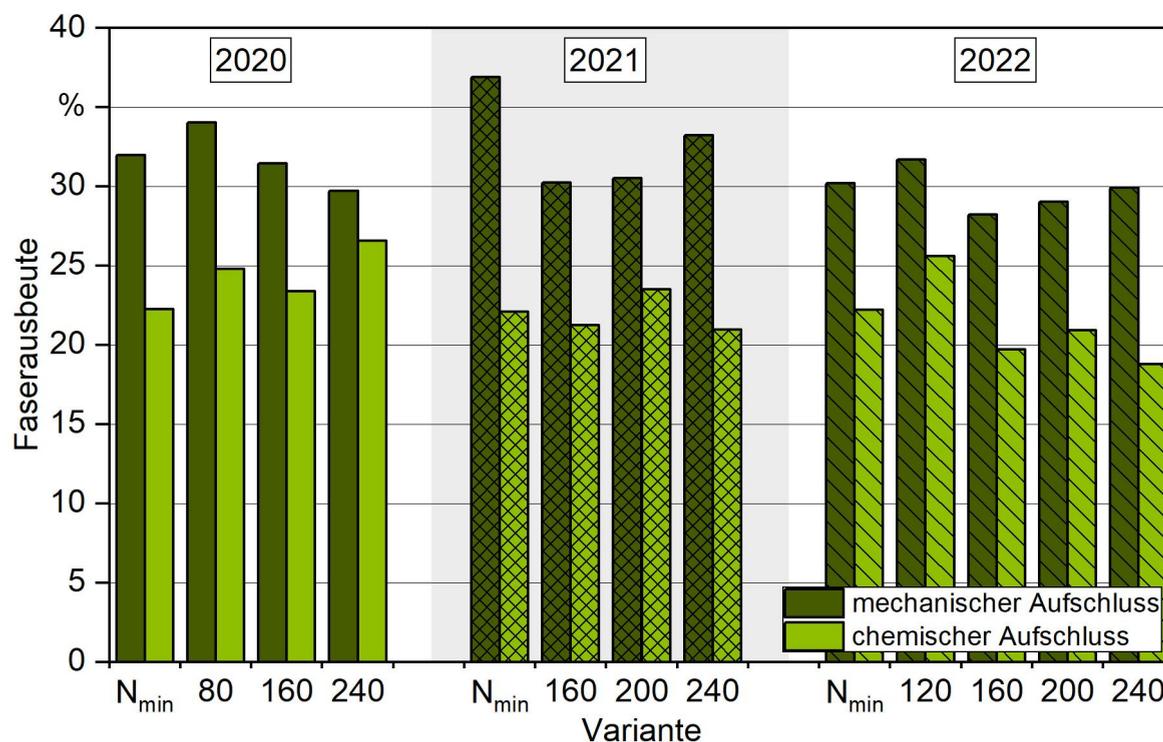


Abbildung 45: Faserausbeute im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf nach dem mechanischen und chemischen Faseraufschluss in Abhängigkeit von Jahr und Stickstoffverfügbarkeit

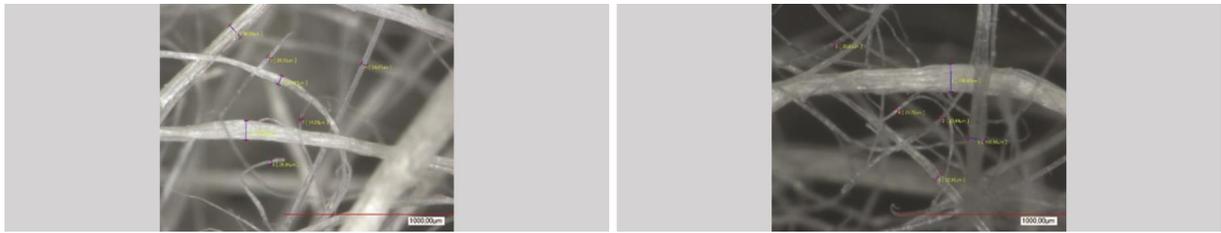


Abbildung 46: Aufnahme der Fasern aus den Röststrohproben der Variante N_{min} (links) und 240 (rechts) im Jahr 2021 unter dem Mikroskop

Um den Röstprozess anschaulicher darzustellen, wurden repräsentativ vier Stängel aus den Varianten N_{min} (a), 160 (b) und 240 (c) einmal wöchentlich nach Röstbeginn unter gleichbleibenden Lichtverhältnissen fotografiert (Abbildung 47). Die Stängel in der ungedüngten Variante (N_{min}) wiesen einen helleren Grünton auf, was sich auch in den Blättern zeigte und auf eine Unterversorgung mit Stickstoff hindeutet. Zudem wurde die Zunahme des Stängeldurchmessers mit zunehmender Stickstoffmenge ersichtlich. Bereits nach einer Woche waren die Stängel braun, das Chlorophyll wurde abgebaut. Dabei zeigten sich in der Variante 240 noch einige grüne Stellen. Nach drei Wochen sind erste Pilzsporen erkennbar, die Farbe wird zunehmend dunkler. In der fünften Woche waren die Stängel grau-schwarz und die Fasern ließen sich sehr leicht von den Schäben lösen.



Abbildung 47: Verlauf der Feldröste im Jahr 2022 über fünf Wochen ab Ernte am Beispiel der Varianten $a = N_{min}$, $b = 160 \text{ kg N/ha}$ und $c = 240 \text{ kg N/ha}$

5.4.6 Stickstoffbilanz

Die N-Abfuhr im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf variierte zwischen 22,02 und 121,95 kg N/ha. Auffällig war, dass die N-Abfuhr mit steigender Düngung zunahm. Auch wurde eine Zunahme der N-Abfuhr im Verlauf der Jahre beobachtet. Dies war aufgrund der verbesserten Stickstoffversorgung und der damit einhergehenden höheren Biomasseproduktion nicht verwunderlich. Zusätzlich wurde ein Anstieg der N-Abfuhr über die einzelnen Versuchsjahre festgestellt. Wurden im Versuchsjahr 2020 lediglich 43,82 kg N/ha durch die Abfuhr von Röststroh entzogen, waren es im Versuchsjahr 2022 bereits 121,95 kg N/ha. Dieser Anstieg ist hauptsächlich auf die im Verlauf des Projekts gesammelte Erfahrung beim Anbau und der Röste von Faserhanf zurückzuführen. Der N-Saldo war, mit Ausnahme der Variante N_{min} , in allen Varianten positiv und stieg mit stei-

gender Düngestufe an. Eine Ausnahme bildete hier lediglich die Variante 200 im Versuchsjahr 2022, in der die N-Bilanz sank. Generell war in allen Jahren ein starker Anstieg des N-Saldos zwischen den Varianten 160 bzw. 200 und 240 zu beobachten. Wie bereits im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf wurden auch hier nach der Ernte geringere N_{\min} -Werte im Boden festgestellt als vor der Aussaat. Eine Ausnahme bildete jedoch die Probe der Variante 240 im Versuchsjahr 2020, bei der der N_{\min} -Wert um 1 kg N/ha im Vergleich zum Niveau vor Anbau anstieg. Dies ist aufgrund des nur geringen Ertragsanstiegs nicht verwunderlich und deutet darauf hin, dass die Pflanzen nicht in der Lage waren, die verfügbare Stickstoffmenge von 240 kg N/ha aufzunehmen.

Generell wurde festgestellt, dass bei einer Düngung von 240 kg N/ha nicht nur der N-Saldo sprunghaft ansteigt, sondern auch der Ertrag zurückgeht. Aufgrund dieser Erkenntnisse kann eine Düngung mit 240 kg N/ha nicht empfohlen werden. Obwohl die N-Entzüge bei einer Düngung von 200 kg N/ha ihren Maximalwert erreichen, kann auch für diese Düngemenge keine Empfehlung ausgesprochen werden, da hier im Vergleich zur Düngung mit 160 kg N/ha, mehr Stickstoff im Boden zurückblieb und demnach nicht von der Pflanze umgesetzt werden konnte. Obwohl in der Praxis meist eine Düngung mit 100 bis 120 kg N/ha empfohlen wird [17], gibt es aufgrund der vorliegenden Untersuchungen keinerlei Anhaltspunkte von den im Gelben Heft empfohlenen Düngemengen für Faserhanf abzuweichen. Auch die Ertragserwartung im Gelben Heft mit 150 dt FM/ha scheint angemessen [10] [93]. In den Versuchen wurde dieser Röststrohertrag lediglich im Versuchsjahr 2022 erreicht. Die Frischmasseerträge des Röststrohs mit 102 (2020), 114 (2021) und 205 dt/ha (2022) bei einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160 kg N/ha zeigen jedoch, dass ein Frischmasseertrag von 150 dt/ha bei guter Bestandsführung und mit Erfahrung erreicht bzw. übertroffen werden kann.

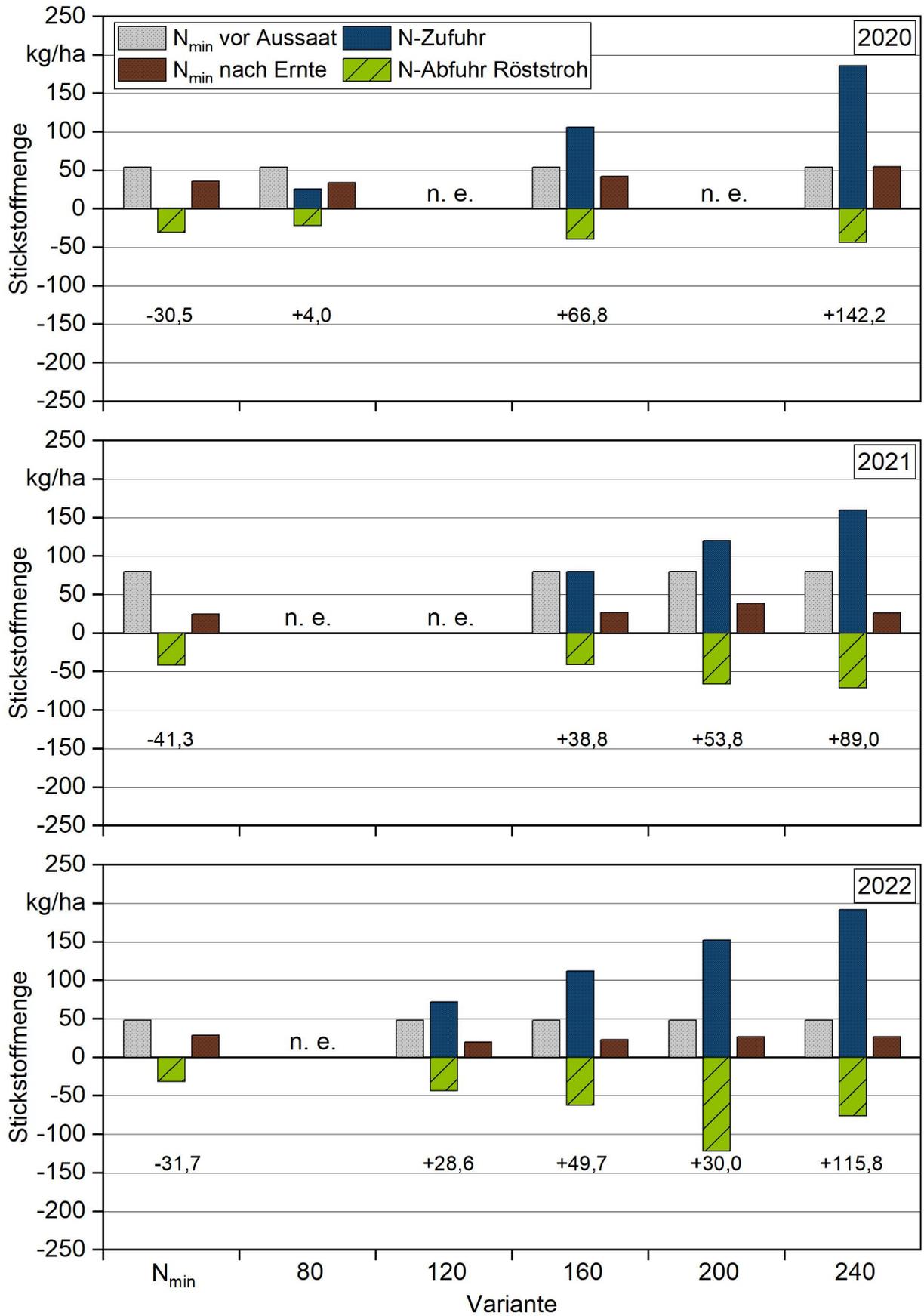


Abbildung 48: N-Zufuhr und N-Abfuhr mit N-Saldo (Wert = Zufuhr - Abfuhr) im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf

5.5 Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf

Da momentan für diese Nutzungsrichtung noch keine Düngeempfehlung im Gelben Heft [93] existiert, soll in diesem Versuch eine solide Datengrundlage geschaffen werden, auf deren Basis eine Düngeempfehlung ausgesprochen werden kann. Hierzu wurde insbesondere untersucht, wie sich die Stickstoffdüngung auf die Entwicklung, den Stickstoffgehalt im Boden, den Ertrag und den CBD-Gehalt des Ernteguts auswirkt. Der Versuch wurde mit der Sorte FINOLA durchgeführt und die Stickstoffversorgung variierte zwischen N_{\min} , 160 kg N/ha, 200 kg N/ha und 240 kg N/ha. Die N_{\min} -Werte der Standorte TFZ und HD in den drei Versuchsjahren sind in Tabelle 6 dargestellt. In allen Jahren wurden die Bestände zu drei unterschiedlichen Terminen geerntet. Darüber hinaus wurden am Standort HD 2022 drei zusätzliche spätere Erntetermine bei einer Stickstoffversorgung von 200 kg N/ha angelegt.

5.5.1 Wuchshöhe

Am Standort TFZ waren die Pflanzen im Jahr 2020 76 bis 113 cm, im Jahr 2021 70 bis 98 cm und im Jahr 2022 81 bis 113 cm groß (Tabelle 20). Dabei zeigten sich Wechselwirkungen zwischen Wuchshöhe und Stickstoffversorgung ($r = 0,499$) wie Erntetermin ($r = 0,215$). In Bezug auf das Versuchsjahr wurden keine signifikanten Wechselwirkungen festgestellt. Mit steigender verfügbarer Stickstoffmenge stieg die Pflanzenhöhe im ersten Versuchsjahr von 84 cm in der Variante N_{\min} auf 110 cm in der Variante 240 und im dritten Versuchsjahr von 85 cm (N_{\min}) auf 108 cm (240) an. Am stärksten stieg die Pflanzenhöhe von der Variante N_{\min} zur Variante 160, danach war der Höhenzuwachs geringer. Lediglich im Jahr 2021 waren kaum Unterschiede zwischen den Dünge­stufen ersichtlich. In der Variante N_{\min} waren die Pflanzen durchschnittlich 78 cm und in der Variante 240 85 cm groß. Die Wuchshöhe innerhalb einer Dünge­stufe stieg mit späterem Erntetermin an. Dies war ebenfalls im Jahr 2020 in den Varianten N_{\min} und 240 deutlich. 2022 waren die Pflanzen zum zweiten Erntetermin am größten. Zu bedenken ist allerdings, dass der letzte Erntetermin später erfolgte als 2020 und 2021 und die Pflanzen teilweise bereits in die Phase der Seneszenz übergingen. Die Pflanzenhöhe wirkte sich allgemein auf mehrere Parameter aus. So ließ sich eine positive Korrelation mit Trockenmassestrohertrag ($r = 0,790$), Trockenmasseblü­ten­ertrag ($r = 0,616$) und Kulturdeckungsgrad ($r = 0,628$) ermitteln. Negative Wechselwirkungen wurden zwischen Wuchshöhe und Bestandsdichte ($r = -0,165$) sowie Unkrautdeckungsgrad vor der Ernte ($r = -0,484$) festgestellt.

Am Standort HD lag die Pflanzenhöhe, wie im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf, höher als am Standort TFZ. Die Pflanzen waren 2020 zwischen 91 und 114 cm, 2021 zwischen 108 und 184 cm und 2022 zwischen 157 und 172 cm groß. Ein Effekt des Versuchsjahrs wurde bewiesen ($r = 0,788$). Auch hier zeigte sich der Anstieg der Pflanzenhöhe mit zunehmender Stickstoffverfügbarkeit ($r = 0,307$). Sie stieg 2020 von der Variante N_{\min} zu Variante 240 von 96 auf 110 cm, 2021 von 142 auf 161 cm und 2022 von 166 auf 167 cm an. Da im Jahr 2022 der N_{\min} -Wert bereits bei 178 kg N/ha lag, fielen die Unterschiede zwischen den Varianten deutlich geringer aus. Der Einfluss des Erntetermins verhielt sich im Jahr 2020 gegenläufig zu den Ergebnissen am TFZ. 2021 und 2022 ver-

hielt es sich wie am TFZ im Jahr 2022. Die höchsten Pflanzen wurden zum zweiten Erntetermin gefunden, teilweise auch zum dritten, allerdings waren dabei die Unterschiede zwischen dem zweiten und dritten Erntetermin sehr gering. Auch die Höhe der Pflanzen des 2022 etablierten vierten Erntetermins unterschied sich nicht von der Höhe der früher geernteten Pflanzen. Allgemein wurden Wechselwirkungen zwischen Pflanzenhöhe und Erntetermin festgestellt ($r = 0,401$). Die Pflanzenhöhe hatte auch am Standort HD Auswirkungen auf andere gemessene Parameter. Es zeigte sich eine positive Korrelation zwischen Pflanzenhöhe und Trockenmasseblütenenertrag ($r = 0,652$). Negative Wechselwirkungen ergaben sich dagegen für den Trockenmassestrohertrag ($r = -0,182$), den Feldaufgang ($r = -0,787$) und die Bestandsdichte vor der Ernte ($r = -0,457$).

Tabelle 20: Durchschnittliche Pflanzenhöhe im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf

Standort		TFZ			HD			
Jahr		2020	2021	2022	2020	2021	2022	
Variante in kg N/ha	Ernte	Pflanzenhöhe in cm						
N _{min} TFZ/HD	1	76	70	85	100	108	157	
	2020 = 54/79	2	80	81	88	96	161	172
	2021 = 80/85	3	89	82	81	91	159	169
80	1	94	–	–	99	–	–	
	2	92	–	–	98	–	–	
	3	93	–	–	95	–	–	
160	1	101	74	102	104	120	–	
	2	105	82	106	103	179	–	
	3	101	94	100	100	174	–	
200	1	–	75	106	–	122	159	
	2	–	85	109	–	182	169	
	3	–	96	101	–	184	172	
	4	–	–	–	–	–	170	
240	1	105	73	107	110	121	159	
	2	113	85	113	100	182	170	
	3	111	98	105	114	179	172	

5.5.2 Feldaufgang

Am Standort TFZ zeigte sich analog zum Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf der starke Einfluss des Jahrs auf den Feldaufgang ($R = -0,599$). Er war im Jahr 2020 mit 72,8 % am größten und im Jahr 2022 mit 35,7 % am geringsten (Abbildung 49). Das Jahr 2021 lag mit 53,0 % dazwischen. Die Selbstausdünnung schwankte dagegen weniger stark zwischen den Jahren. Es waren deutliche Schwankungen zwischen den Düngestufen vorhanden, ein Trend konnte daraus aber nicht abgeleitet werden. Gleiches gilt für den Feldaufgang. Es lässt sich daher sagen, dass besonders die Jahresbedingungen und damit die Witterungseinflüsse den Feldaufgang beeinflussen. Für die Jahre 2021 und 2022 ließen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen der Selbstausdünnung und den verschiedenen Varianten bzw. Ernteterminen feststellen. Im Jahr 2020 war die Selbstausdünnung in der Variante 80 im zweiten Erntetermin höher als im dritten Erntetermin. Zwischen den unterschiedlichen Düngestufen zeigten sich starke Schwankungen, es wurde allerdings keine signifikante Korrelation festgestellt. Die Höhe des Feldaufgangs hatte einen Einfluss auf den Blütenstandertrag ($r = -0,218$) und den Kulturdeckungsgrad vor der Ernte ($r = -0,382$).

Am Standort HD war der Feldaufgang aufgrund der erhöhten Aussaatmengen durch maschinelle Defekte im Jahr 2020 (165 %) deutlich höher als in den Jahren 2021 (54 %) und 2022 (33 %). Es war, wie am Standort TFZ, eine Abnahme des Feldaufgangs im Laufe der Versuchsjahre zu erkennen (Abbildung 50). Der Feldaufgang und die Selbstausdünnung zwischen den Varianten schwankten weniger als am TFZ. Es wurde kein signifikanter Einfluss der verfügbaren Stickstoffmenge oder des Erntetermins auf den Feldaufgang oder die Selbstausdünnung festgestellt. Auffällig ist wie bereits im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf der positive Zusammenhang ($r = 0,891$) zwischen Feldaufgang und Selbstausdünnung.

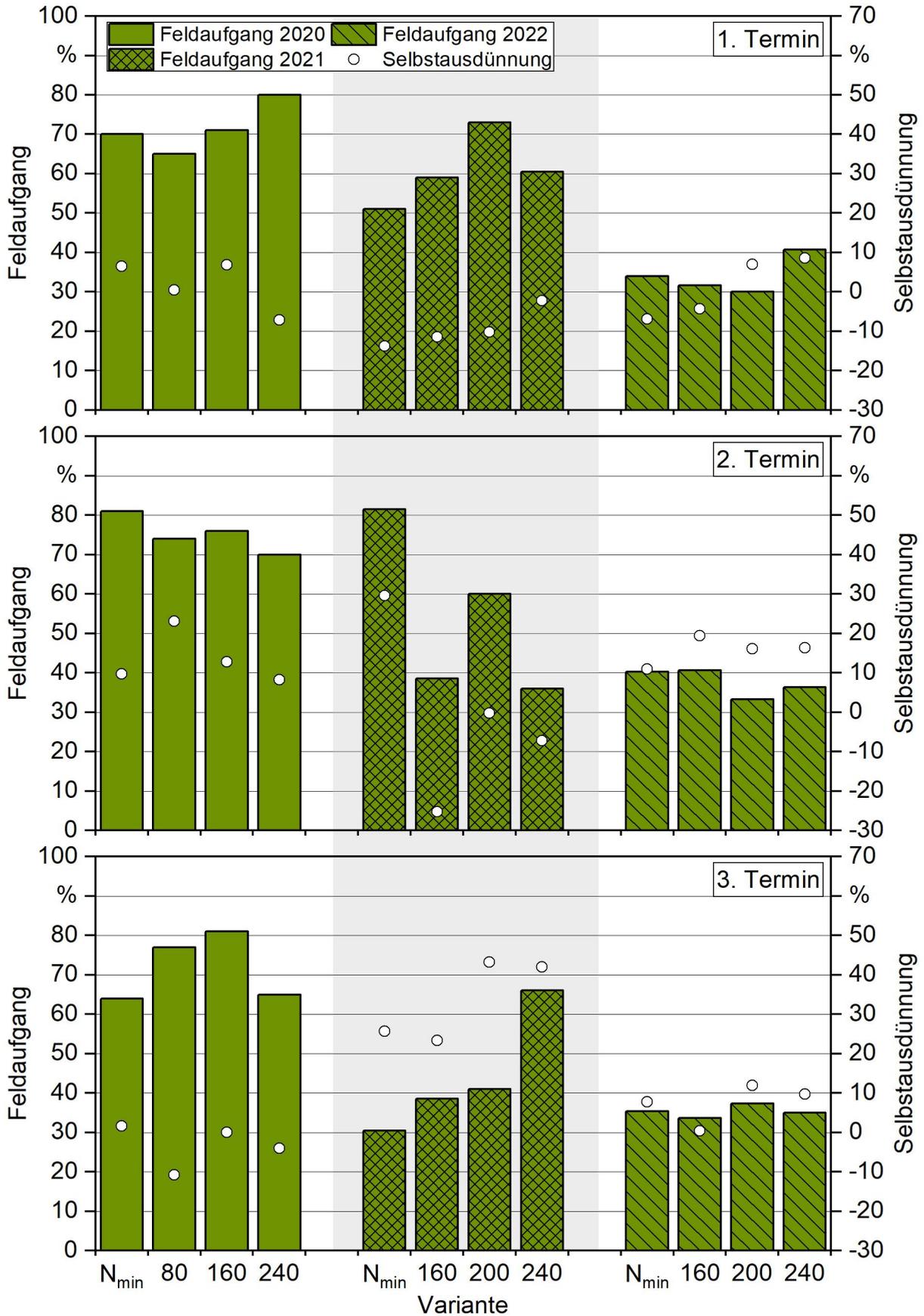


Abbildung 49: Feldaufgang und Selbstaussdünnung am Standort TFZ im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf in Abhängigkeit von Jahr und Stickstoffverfügbarkeit

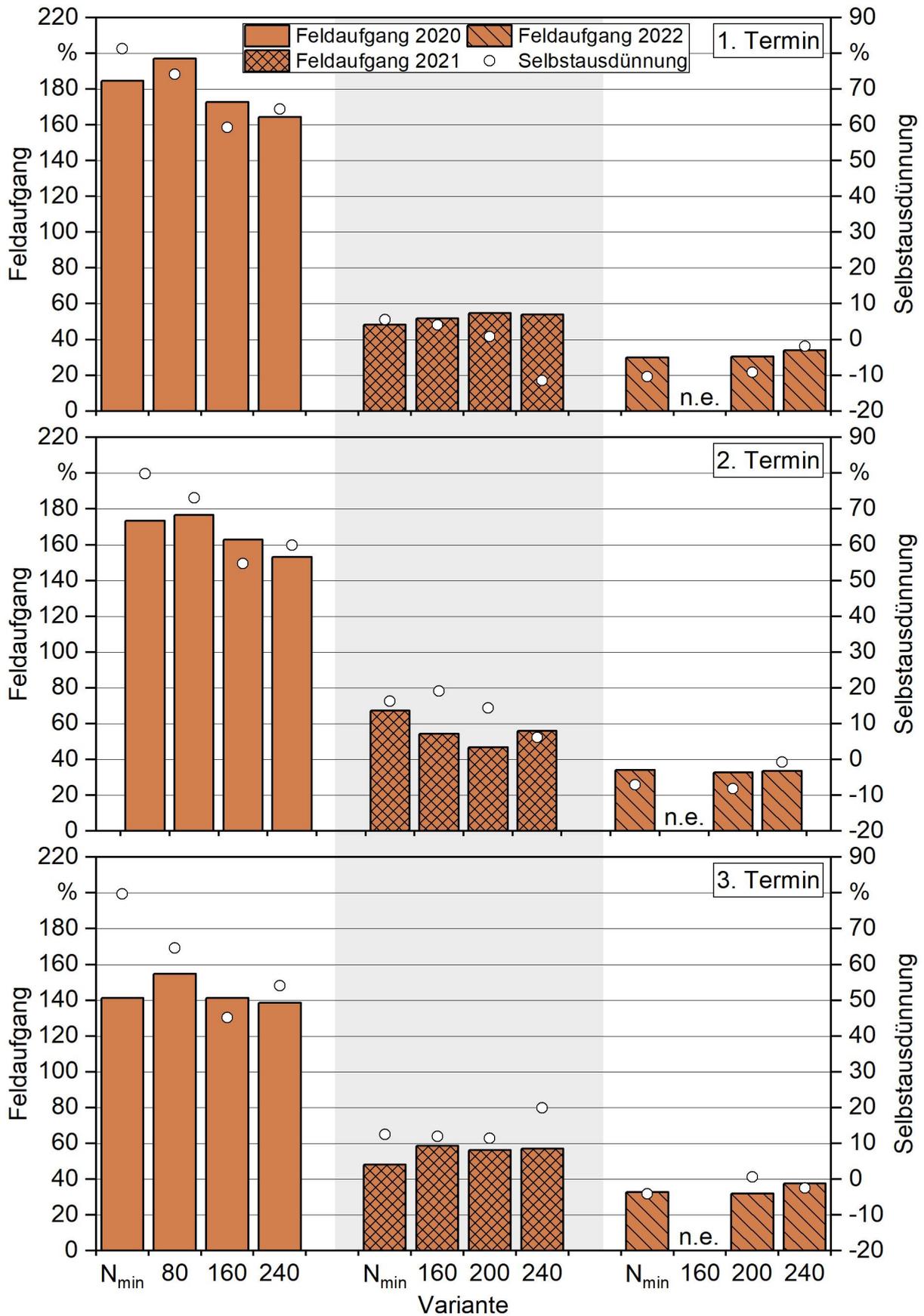


Abbildung 50: Feldaufgang und Selbstaussdünnung am Standort HD im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf in Abhängigkeit von Jahr und Stickstoffverfügbarkeit

5.5.3 Unkrautbesatz

Der Unkrautdeckungsgrad (UDG) war am Standort TFZ in allen Jahren kurz vor Reihenschluss sehr gering (Abbildung 51). Bei 160 kg N/ha lag er 2020 bei 3,0 %, 2021 bei 2,0 % und 2022 bei 1,8 %. Zwischen den Dünge­stufen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede. Der UDG vor der Ernte schwankte zwischen den Jahren beträchtlich (Abbildung 52). Während 2020 bei 160 kg N/ha mit 1,2 % und 2022 mit 2,9 % ein ebenfalls geringer UDG festgestellt wurde, lag er 2021 mit 26,0 % sehr hoch. Auffällig war dabei, dass er besonders zum ersten Erntetermin in den gedüngten Varianten sehr hoch ausfiel. Signifikan­te Unterschiede ließen sich dennoch nur zwischen der Variante 160 kg N/ha des ersten Erntetermins und der N_{min}-Variante des zweiten Erntetermins und allen Varianten des dritten Erntetermins finden. Je später geerntet wurde, desto geringer war im Jahr 2021 der UDG. Dies ist vermutlich auf die höheren Pflanzen und damit bessere Beschattung zurückzuführen. In diesem Jahr fiel der Kulturdeckungsgrad (KDG) vor der Ernte mit 20,7 % in der Variante 160 geringer aus als im Jahr 2020 mit 47,5 % und im Jahr 2022 mit 53,8 %. 2022 war sowohl kurz vor Reihenschluss als auch kurz vor der Ernte ein Anstieg des KDG von der Variante N_{min} zur Variante 160 deutlich und signifikant verschieden, während zwischen den gedüngten Varianten kein weiterer Anstieg festgestellt wurde. Gleiches zeigte sich auch 2021 für den KDG kurz vor der Ernte, wobei keine signifikanten Unterschiede bestätigt wurden. Über alle drei Versuchsjahre betrachtet ergaben sich signifikante Wechselwirkungen. Positive Korrelationen ließen sich zwischen Kulturdeckungsgrad vor der Ernte und Jahr ($r = 0,839$) sowie Stickstoffmenge ($r = 0,342$) feststellen. Der Erntetermin korrelierte negativ mit den Unkrautdeckungsgrad vor der Ernte ($r = -0,288$). Das ist ausschließlich auf die Ergebnisse im Jahr 2021 zurückzuführen. Weitere negative Wechselwirkungen gab es zwischen UDG vor der Ernte und Höhe der Hanfpflanzen ($r = -0,484$), TM-Strohertrag ($r = -0,394$) und TM-Blütenertrag ($r = -0,451$). Außerdem gab es weitere positive Wechselwirkungen zwischen KDG vor der Ernte und Pflanzenhöhe ($r = 0,628$), TM-Strohertrag ($r = 0,615$) und TM-Blütenertrag ($r = 0,785$).

Am Standort HD zeigte sich ebenfalls ein erhöhter UDG im Jahr 2021, der bei 160 kg N/ha kontinuierlich im Laufe der Vegetation von 4,3 % (Reihenschluss) auf 4,8 % (1. Erntetermin), 18,8 % (2. Erntetermin) und 57,5 % (3. Erntetermin) anstieg und sich damit entgegengesetzt zum UDG am Standort TFZ entwickelt hat (Abbildung 53, Abbildung 54). Zwischen den Dünge­stufen waren keine signifikanten Unterschiede festzustellen. Im Jahr 2020 war der UDG ebenfalls etwas höher. Er lag in der Variante 160 vor Reihenschluss bei 6,8 % und vor der Ernte bei 19,0 % und unterschied sich wenig zwischen den Ernteterminen. Im Jahr 2022 war der Unkrautdruck auf der Fläche sehr gering. Durchschnittlich lag der UDG vor der Ernte bei 1,3 %. Der KDG zu diesem Zeitpunkt lag bei durchschnittlich 86,5 % (2021) und 76,7 % (2022). Bei veränderter Stickstoffversorgung zeigte er wenig Abweichungen. Ein Effekt des Erntetermins auf den UDG vor der Ernte wurde bewiesen, er verhielt sich allerdings in den Jahren auf entgegengesetzte Weise. Im Jahr 2020 war er zum ersten Erntetermin signifikant niedriger als zu den anderen beiden Ernteterminen. Im Jahr 2022 war er zum dritten Erntetermin signifikant kleiner als zum ersten und zweiten Erntetermin.

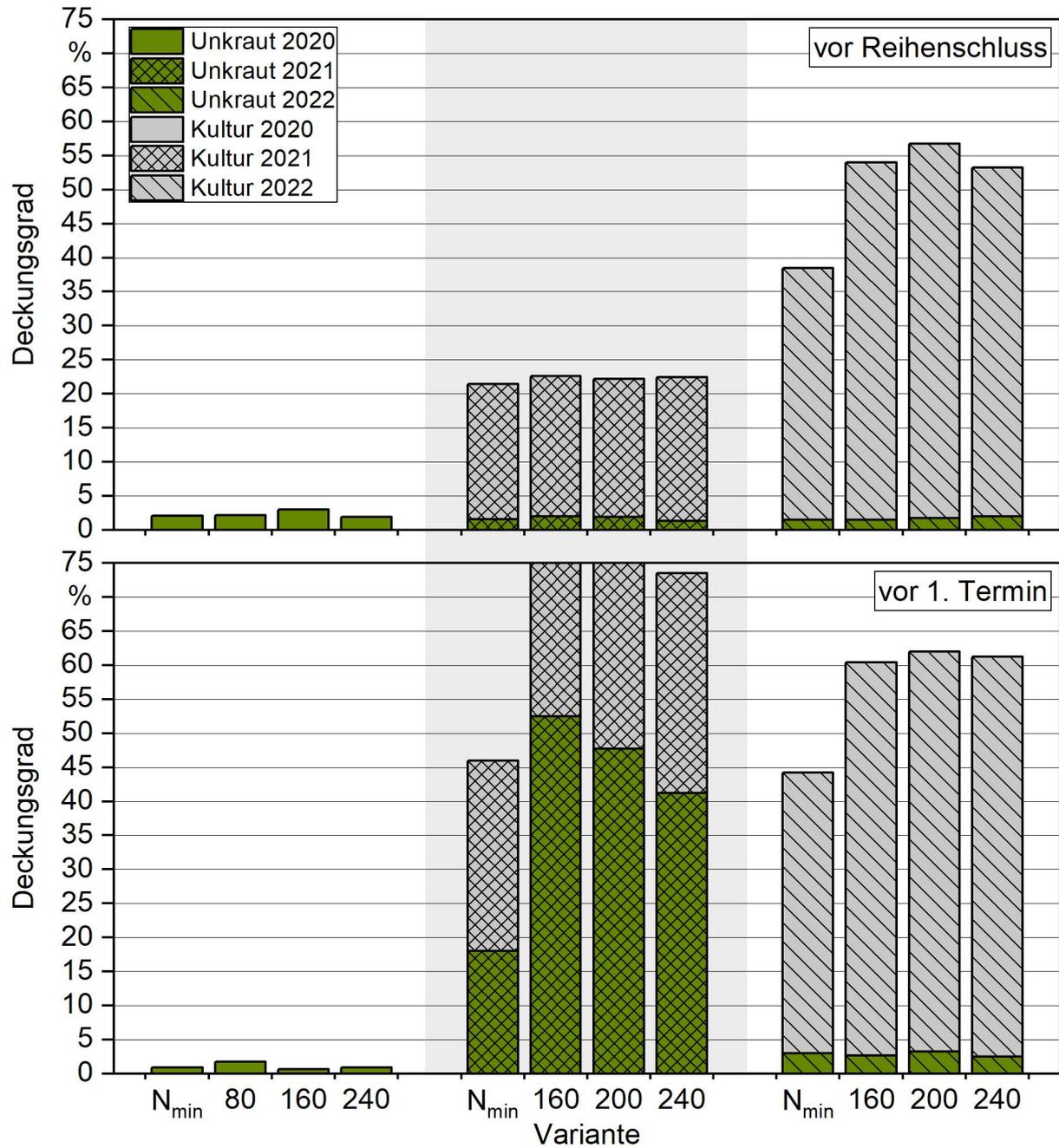


Abbildung 51: Unkraut- und Kulturdeckungsgrad am Standort TFZ vor Reihenschluss und vor dem ersten Erntetermin in Abhängigkeit von Jahr und Stickstoffverfügbarkeit

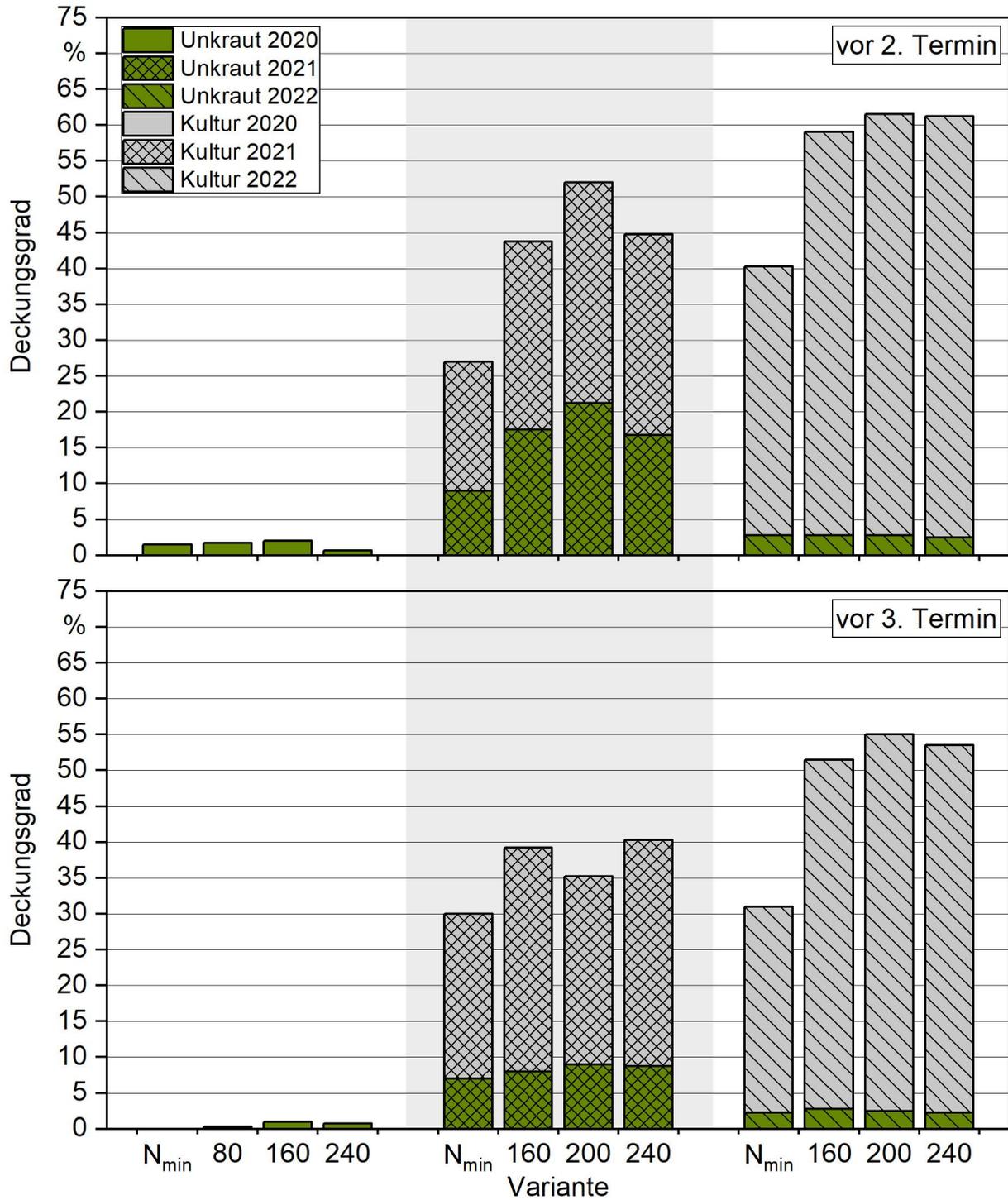


Abbildung 52: Unkraut- und Kulturdeckungsgrad am Standort TFZ vor dem zweiten und dritten Erntetermin in Abhängigkeit von Jahr und Stickstoffverfügbarkeit

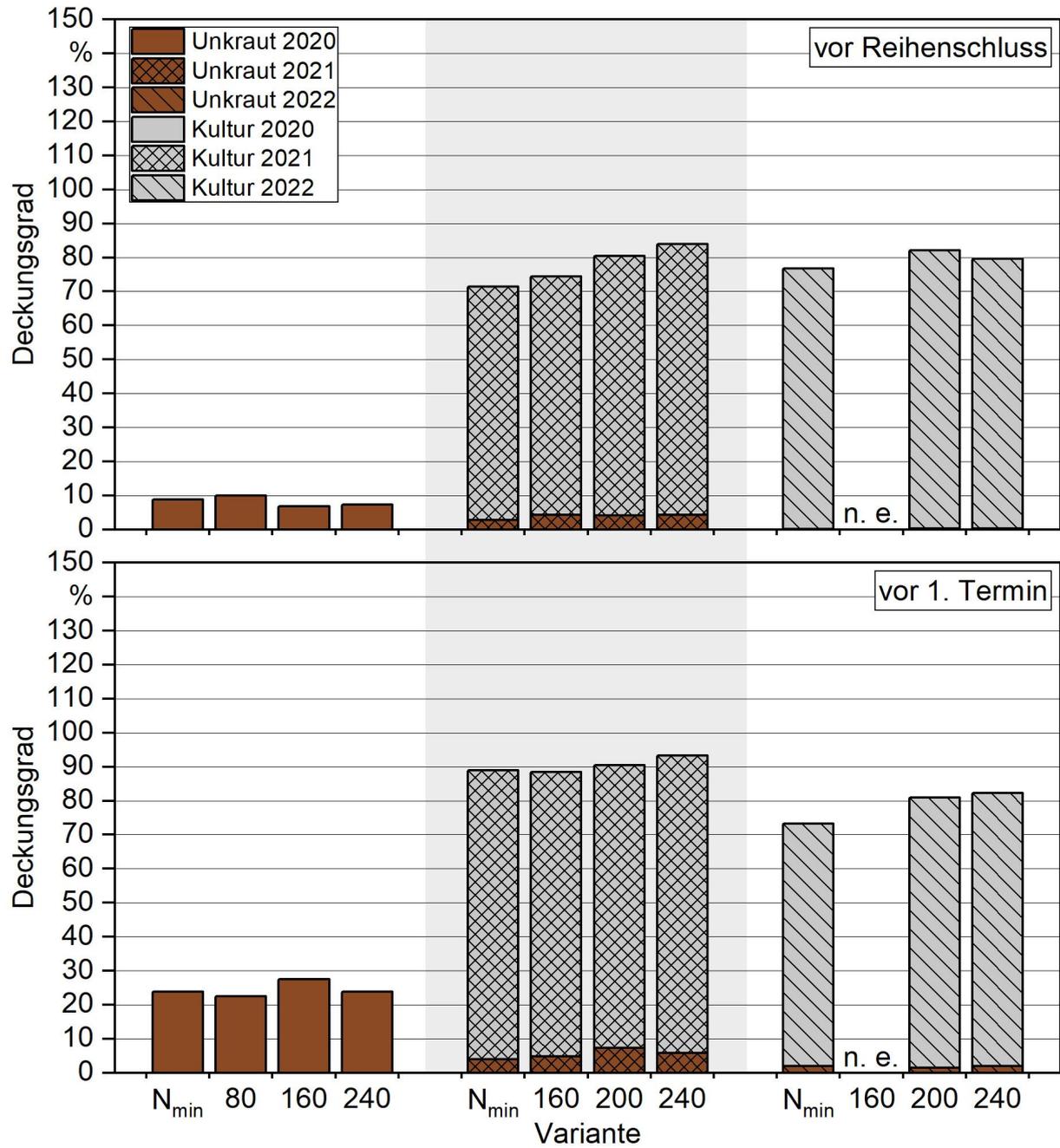


Abbildung 53: Unkraut- und Kulturdeckungsgrad am Standort HD vor Reihenschluss und vor dem ersten Erntetermin in Abhängigkeit von Jahr und Stickstoffverfügbarkeit

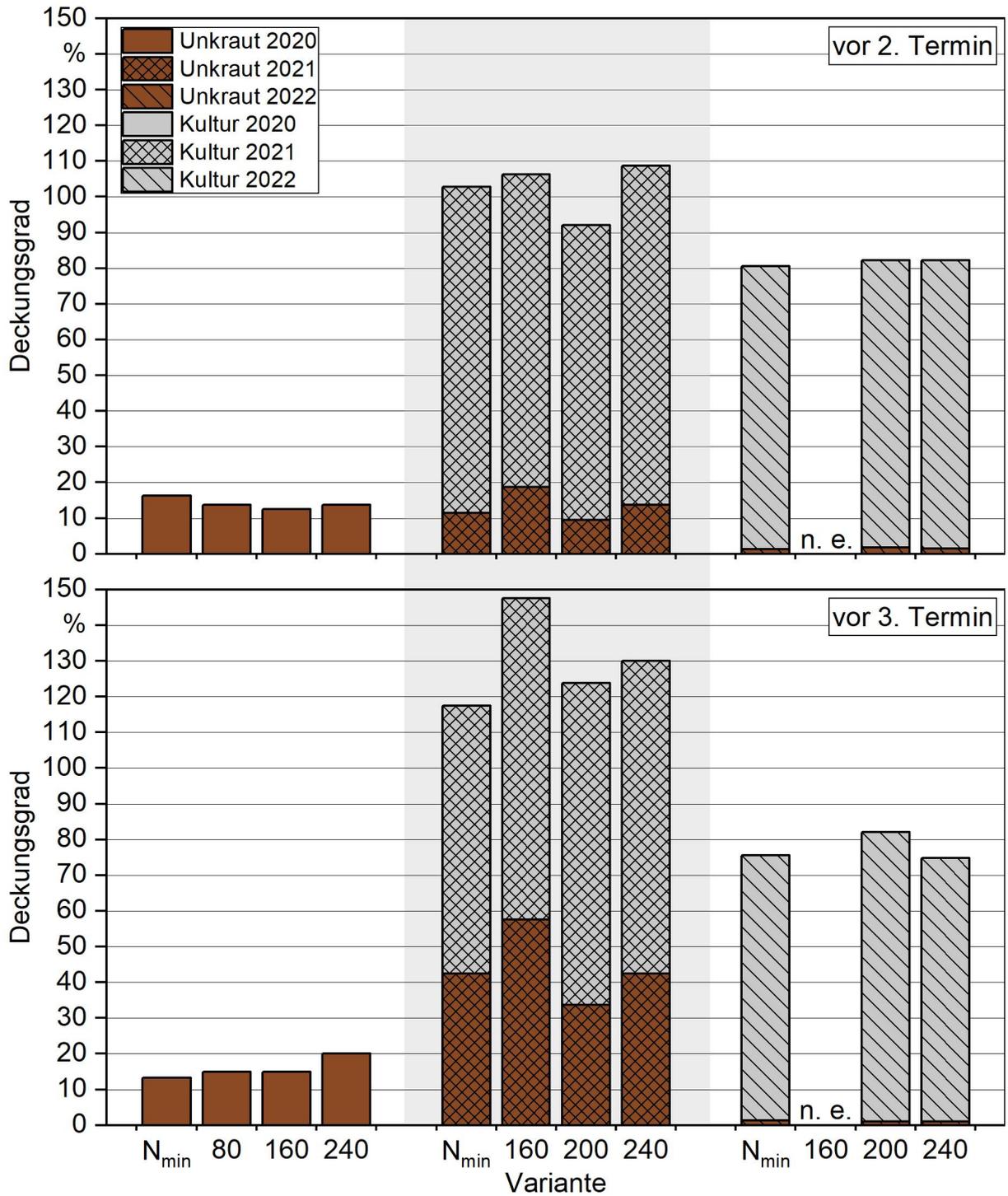


Abbildung 54: Unkraut- und Kulturdeckungsgrad am Standort HD vor dem zweiten und dritten Erntetermin in Abhängigkeit von Jahr und Stickstoffverfügbarkeit

5.5.4 Ertrag

Der Trockenmasseertrag der Blütenstände am Standort TFZ stieg mit späterer Ernte der Pflanzen an (Abbildung 55). Zusätzlich gab es deutliche Unterschiede zwischen den Versuchsjahren. Bei einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160 kg N/ha wurden im Jahr 2020 8,1 dt/ha (1. Erntetermin), 18,9 dt/ha (2. Erntetermin) und 16,4 dt/ha (3. Erntetermin) geerntet. Im Jahr 2021 lag der Blütenstandertrag mit 5,2 dt/ha (1. Erntetermin), 5,3 dt/ha (2. Erntetermin) und 8,1 dt/ha (3. Erntetermin) deutlich niedriger als in den anderen beiden Versuchsjahren. Im Jahr 2022 war der Blütenstandertrag bei 21,7 dt/ha (1. Erntetermin), 20,7 dt/ha (2. Erntetermin) und 21,2 dt/ha (3. Erntetermin) am höchsten. Die Veränderungen zwischen den Ernteterminen waren im letzten Jahr sehr gering, obwohl die Abstände zwischen den Ernteterminen etwas größer waren als in den ersten Versuchsjahren. Jedoch fiel der erste Erntetermin auf einen späteren Vegetationstag, an dem bereits die endgültige Biomasse erreicht wurde. Die verfügbare Stickstoffmenge hatte ebenfalls Auswirkungen auf den Blütenstandertrag. Ein tendenzieller Anstieg von der ungedüngten Variante (N_{\min}) auf die erste Düngestufe war zu erkennen (Abbildung 57). Im Jahr 2020, in dem die zweite Düngestufe mit 80 kg N/ha vergleichsweise niedriger lag, war ebenfalls von dieser zur dritten Düngestufe (160 kg N/ha) ein Anstieg im Ertrag erkennbar. Ab einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160 kg N/ha waren keine Anstiege im Blütenstandertrag mehr festzustellen. Der Strohertrag verhielt sich meist analog zum Blütenstandertrag. Allerdings nahm er häufig mit Zunahme der verfügbaren Stickstoffmenge stärker und auch bei höheren Düngemengen weiterhin zu. In der Variante 160 stieg er 2020 von 12,2 dt/ha (1. Erntetermin) auf 17,9 dt/ha (3. Erntetermin), im darauffolgenden Jahr von 5,7 dt/ha auf 16,4 dt/ha und im letzten Jahr von 17,1 dt/ha auf 16,5 dt/ha an. Über alle Jahre gab es signifikante Wechselwirkungen. Der Blütenstandertrag korrelierte positiv mit der verfügbaren Stickstoffmenge ($r = 0,219$) und dem Erntetermin ($r = 0,247$). Auch der Strohertrag ließ sich von beiden Faktoren beeinflussen. Der Korrelationskoeffizient lag für die verfügbare Stickstoffmenge bei $r = 0,478$ und für den Erntetermin bei $r = 0,347$. Auch das Jahr hatte wie in den anderen Versuchen einen Einfluss auf die Blütenstand- und Stroherträge.

Am Standort HD waren die Erträge im Jahr 2020 am niedrigsten und im Jahr 2021 am höchsten. Je später die Ernte erfolgte, desto höher sind auch hier die Erträge ausgefallen (Abbildung 56). 2020 war eine maximale Schnitthöhe von 62 cm seitens des Grüngüternters möglich, die allerdings durch die niedrigen Pflanzenbestände kaum einen Einfluss auf die geforderte Schnitthöhe (Pflanzenhöhe minus 30 cm) hatte. 2021 waren die Pflanzen deutlich höher, wodurch sich, insbesondere je später die Ernte erfolgte, sehr hohe Blütenstanderträge ergaben. 2022 stand ein Grüngüternter mit einer Schnitthöhe von maximal 80 cm zur Verfügung. Die Pflanzen hatten eine ähnliche Wuchshöhe wie im Jahr 2021. Die Blütenstanderträge fielen somit insgesamt niedriger aus, da höher geschnitten werden konnte, um der geforderten Schnitthöhe möglichst nahe zu kommen. Der Blütenstandertrag stieg bei einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160 kg N/ha im Jahr 2020 von 11,4 dt/ha (1. Erntetermin) über 19,4 dt/ha (2. Erntetermin) auf 26,6 dt/ha (3. Erntetermin) an. Die Ertragszunahme war statistisch signifikant, zwischen den Düngestufen wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Allerdings war ein Trend über ansteigende Erträge von N_{\min} zur ersten gedüngten Variante, insbesondere für den dritten Erntetermin,

zu beobachten (Abbildung 58). Im Jahr 2021 war auch eine Zunahme festzustellen, allerdings sind die Ergebnisse durch die veränderte Schnitthöhe aufgrund hoher Pflanzenlänge nicht mit den anderen Jahren vergleichbar. Im Jahr 2022 wurde in der Variante $N_{\min} = 178 \text{ kg N/ha}$ ebenfalls ein Anstieg von $11,0 \text{ dt/ha}$ (1. Erntetermin) auf $22,1 \text{ dt/ha}$ (2. Erntetermin) und $22,7 \text{ dt/ha}$ (3. Erntetermin) beobachtet. In der Variante 200 wurden zusätzlich drei weitere Erntetermine etabliert, die einen fortlaufenden Ertragsanstieg zeigten. Die Blütenstände erreichten einen Ertrag von $16,1 \text{ dt/ha}$ (1. Erntetermin), $23,3 \text{ dt/ha}$ (2. Erntetermin), $34,0 \text{ dt/ha}$ (3. Erntetermin), $35,9 \text{ dt/ha}$ (4. Erntetermin), $41,8 \text{ dt/ha}$ (5. Erntetermin) und $37,4 \text{ dt/ha}$ (6. Erntetermin). Der Strohertrag schwankte zwischen den Düngestufen kaum und nahm mit späterer Ernte analog zum Blütenstandsertrag zu. 2020 stieg er in der Variante 160 von $19,7 \text{ dt/ha}$ (1. Erntetermin) auf $26,5 \text{ dt/ha}$ (3. Erntetermin) an. Im Jahr 2022 wurde für die Variante $N_{\min} = 178 \text{ kg N/ha}$ eine Zunahme von $11,0 \text{ dt/ha}$ (1. Erntetermin) auf $22,7 \text{ dt/ha}$ (3. Erntetermin) beobachtet. Über alle Jahre zeigte sich eine positive Korrelation zwischen Blütenstandsertrag und verfügbarer Stickstoffmenge ($r = 0,648$) sowie Erntetermin ($r = 0,648$).

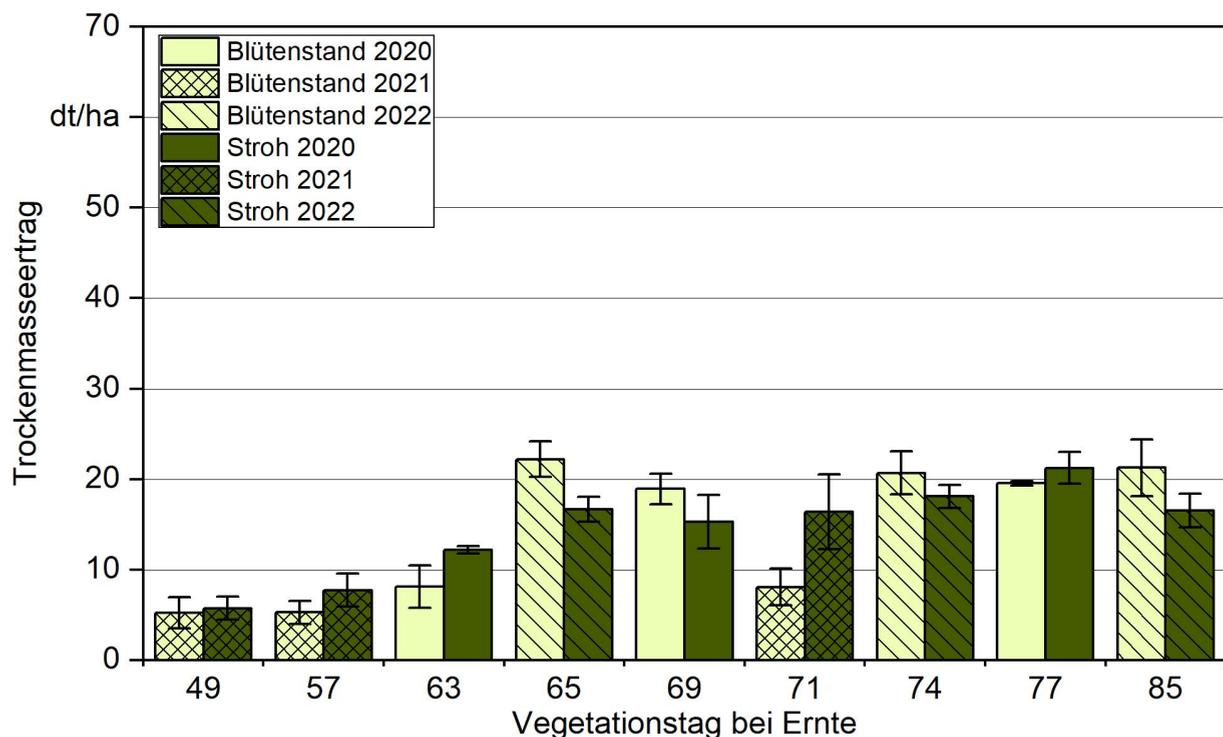


Abbildung 55: Trockenmasseertrag von Blütenstand und Stroh im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf am Standort TFZ in Abhängigkeit von Jahr und Vegetationstag bei Ernte in der Variante 160

Der Einfluss der verfügbaren Stickstoffmenge wurde ebenfalls in einem anderen Versuch aus dem Jahr 2022 deutlich. Mit steigender Stickstoffdüngung wurde mehr Stickstoff in der Biomasse gefunden und der Blüten- und CBD-Ertrag stieg an. Das Optimum lag zwischen 140 und 190 kg N/ha [5]. Wie in den bisher dargestellten Versuchen zur Produktionstechnik von Körnerhanf und Stickstoffsteigerung im Faserhanf zeigten sich auch im CBD-Hanf

der Einfluss des Versuchsjahrs auf die Erträge und damit insbesondere die Bedeutung der Wasserverfügbarkeit.

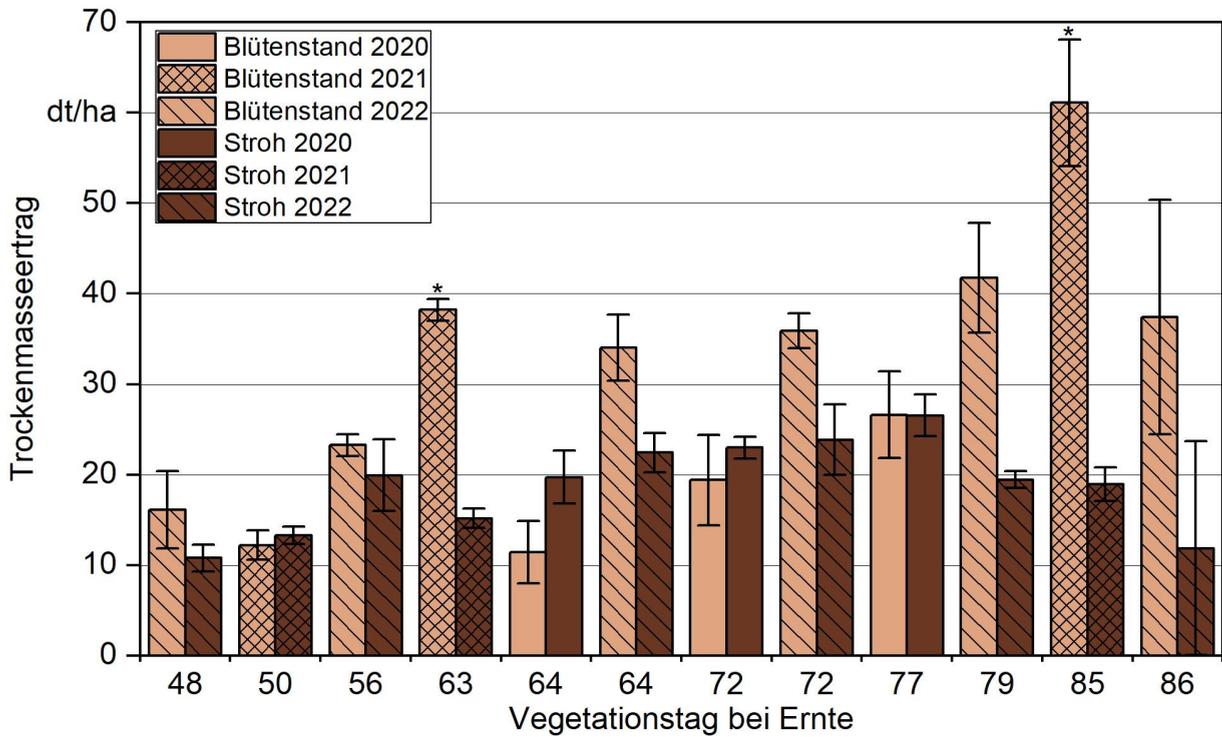


Abbildung 56: Trockenmasseertrag von Blütenstand und Stroh im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf am Standort HD in Abhängigkeit von Jahr und Vegetationstag bei Ernte in der Variante 160 (für den Standort HD wird im Jahr 2022 die Variante 200 dargestellt, * verfälschte Ergebnisse durch abweichende Schnitthöhe)

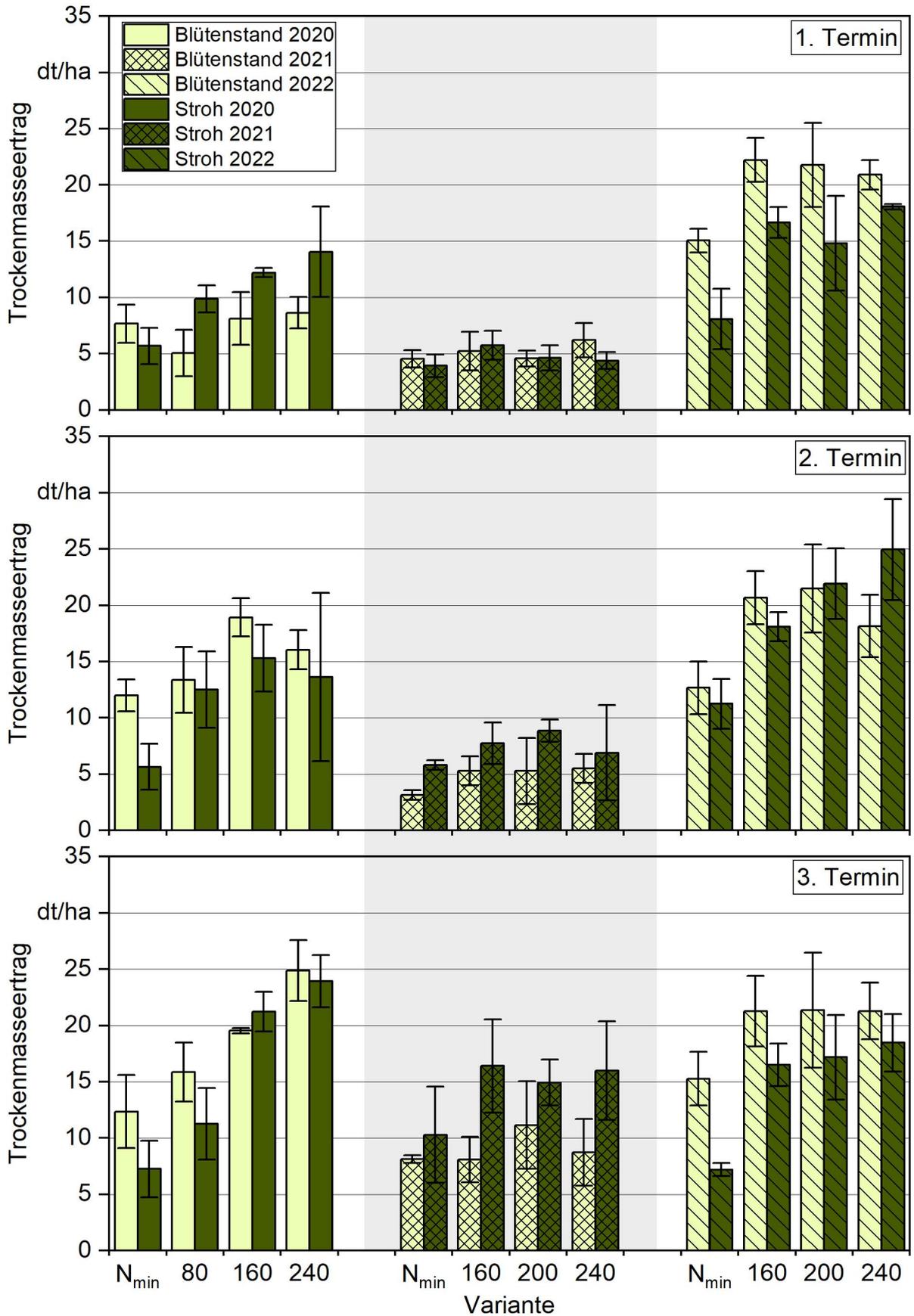


Abbildung 57: Trockenmasseertrag von Blütenstand und Stroh am Standort TFZ in Abhängigkeit von Jahr, Erntetermin und Stickstoffverfügbarkeit

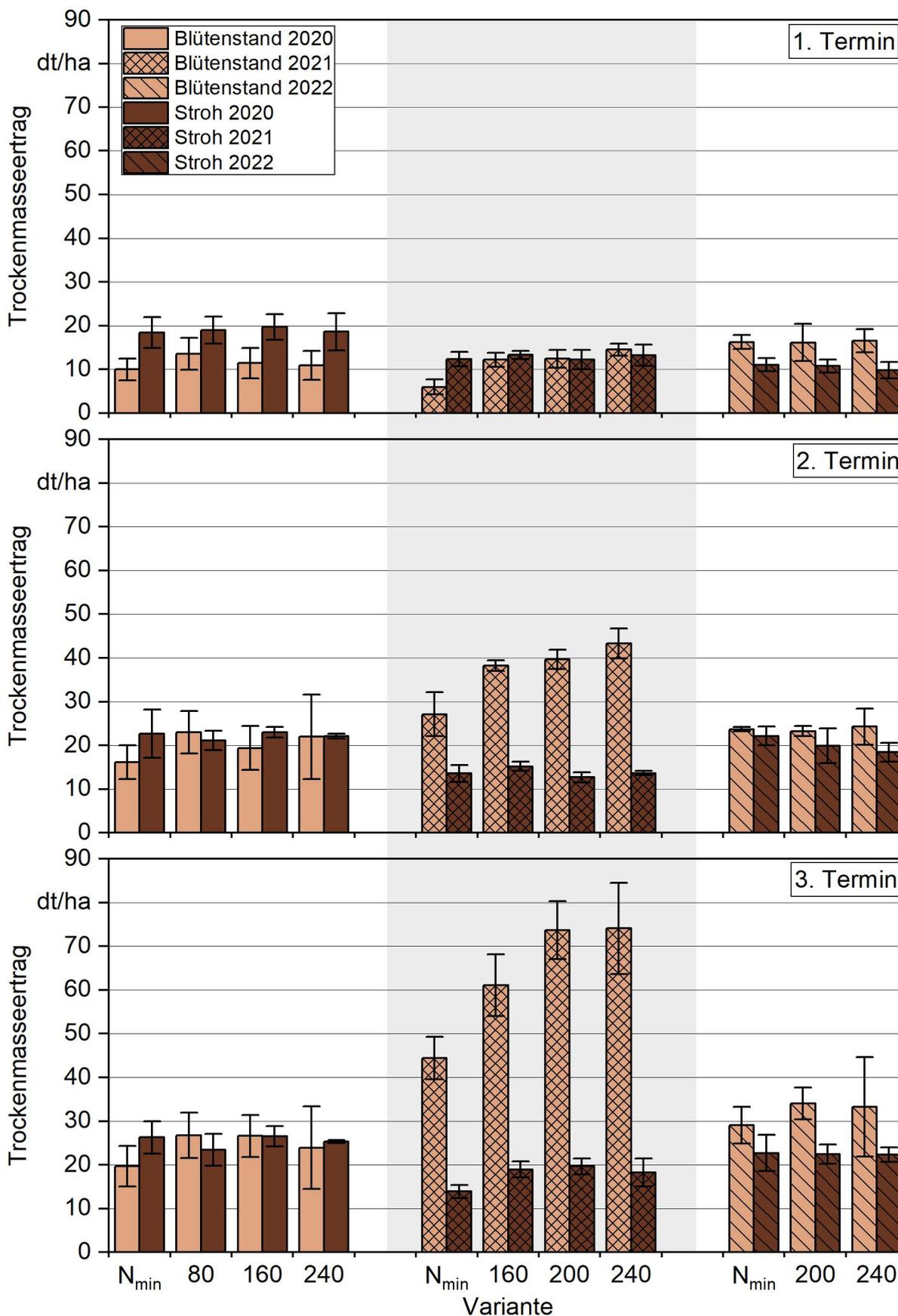


Abbildung 58: Trockenmasseertrag von Blütenstand und Stroh am Standort TFZ in Abhängigkeit von Jahr, Erntetermin und Stickstoffverfügbarkeit

5.5.5 Analytik

5.5.5.1 Analyse des Pflanzenmaterials Ernte 2020

Im Jahr 2020 wurde die HPLC-Methode vor der Analyse der Proben nach den Guidelines des International Council for Harmonisation of Technical Requirements validiert [15]. Die Kalibrierung erfolgte in den Bereichen 0,25 µg/mL bis 5 µg/mL (CBD), 25 µg/mL bis 500 µg/mL (CBDA), 0,1 µg/mL bis 2 µg/mL (THC) und 1 µg/mL bis 20 µg/mL (THCA). Die Bestimmungsgrenzen lagen bei 0,43 µg/mL (CBD), 6,13 µg/mL (CBDA), 0,33 µg/mL (THC) und 0,46 µg/mL (THCA). Dabei ergab sich bei CBD eine Intraday-Präzision von $98,9 \pm 3,05$ % (4,25 µg/mL) und eine Interday-Präzision von $99,5 \pm 0,82$ % (4,25 µg/mL).

Die Extraktion der Proben erfolgte in Acetonitril/Wasser (50/50) als Lösungsmittel. In Dreifachbestimmung wurden 10 mg Probe pro Milliliter Lösungsmittel (15 mg in 1,5 mL Lösungsmittel) in Schraubgewindeflaschen (1,5 mL, 1. hydrolytische Klasse) für 15 min bei Raumtemperatur unter Rühren extrahiert. Das Pflanzenmaterial wurde mittels Zentrifugation (Rotina 420R, FA-10x5 Rotor, 12500 rpm, 5 min) entfernt, 100 µL des Extrakts in Kurzgwindeflaschen (TPX mit 0,2 mL Einsatz) überführt und der Extrakt mittels der etablierten Methode an der HPLC vermessen. Der Gesamtgehalt an CBD und THC wurde aus dem Gehalt der Cannabinoidsäure (multipliziert mit dem Faktor 0,877 für die molare Masse) und dem Gehalt der decarboxylierten Form berechnet.

Tabelle 21: Probenbenennung

TFZ	Technologie und Förderzentrum
HD	Haus Düsse
N _{min}	Düngestufe 1 N _{min}
80	Düngestufe 2 80 kg/ha inkl. N _{min}
160	Düngestufe 3 160 kg/ha inkl. N _{min}
240	Düngestufe 4 240 kg/ha inkl. N _{min}
E1	TFZ: 24.06.2020; 28.06.2021; HD: 17.06.2021
E2	TFZ: 30.06.2020; 06.07.2021; HD: 30.06.2021
E3	TFZ: 08.07.2020; 20.07.2021; HD: 22.07.2021
I–IV	Wiederholung I–IV; Parzellen gleicher Behandlung

Zunächst wurde untersucht, inwieweit sich die Gehalte an CBD und THC in den Wiederholungen der unterschiedlichen Düngestufen unterschieden. In Abbildung 59 sind die Analyseergebnisse der vier Düngestufen (D1–D4) aufgeschlüsselt nach den einzelnen Wiederholungen I–IV des ersten Erntetermins des TFZ dargestellt. Die Gehalte an CBD erstreckten beliefen sich auf $4,2441 \pm 2,058$ g/kg TM, was bezüglich der Düngestufen eine Streuung von $33,88 \pm 9,90$ %, deren Ursachen derzeit noch unbekannt sind, ergab. Eine Analyse der einzelnen Wiederholungen wurde somit für nicht aussagekräftig erachtet.

Dementsprechend wurden im Folgenden Mischproben der Wiederholungen gebildet und somit ausschließlich die unterschiedlichen Düngevarianten untersucht.

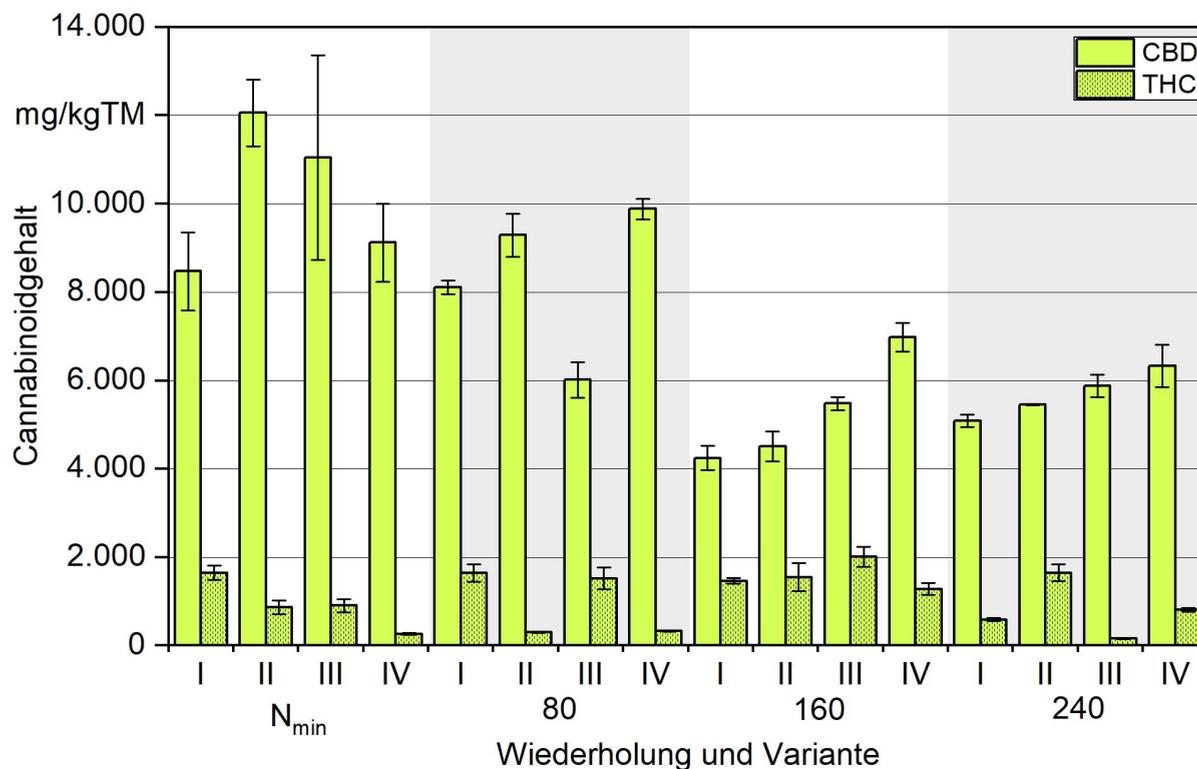


Abbildung 59: Vergleich der Konzentration des Gesamtgehalts an CBD und THC im extrahierten Material (Blätter, Blüten und Körner der Pflanzenproben) zwischen den Wiederholungen von Erntetermin 1 im Jahr 2020

In Anlehnung an die Methode der EU zur Bestimmung des THC-Gehalts wurden zunächst die oberen 30 cm der weiblichen Pflanzen untersucht. Die CBD-Gehalte lagen zwischen $5,3161 \pm 5,753$ g/kg TM (TFZ) und $5,7231 \pm 3,005$ g/kg TM (HD). Abbildung 60 und Abbildung 61 ist ein ansteigender Trend bezüglich der Cannabinoidgehalte und Erntezeitpunkte zu entnehmen. Gegenteiliges ist mit Erhöhung der Düngemenge zu verzeichnen.

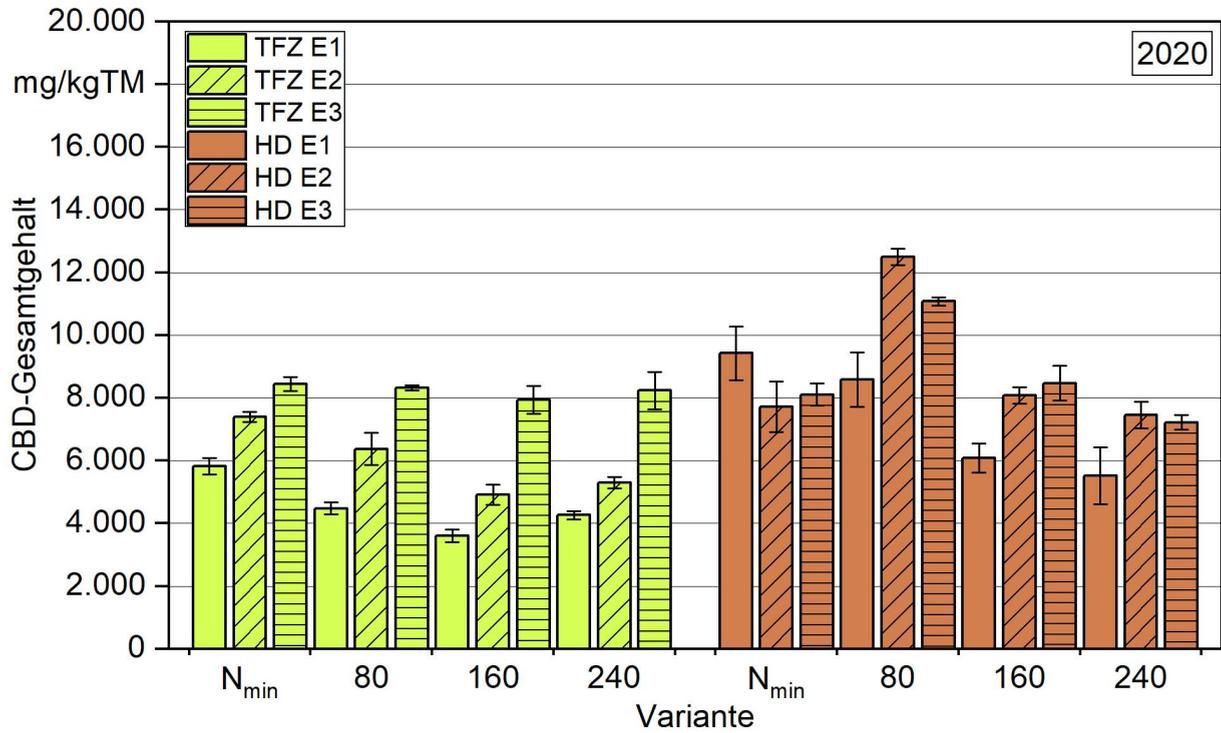


Abbildung 60: Vergleich des Gesamtgehalts an CBD im Probenmaterial im Jahr 2020

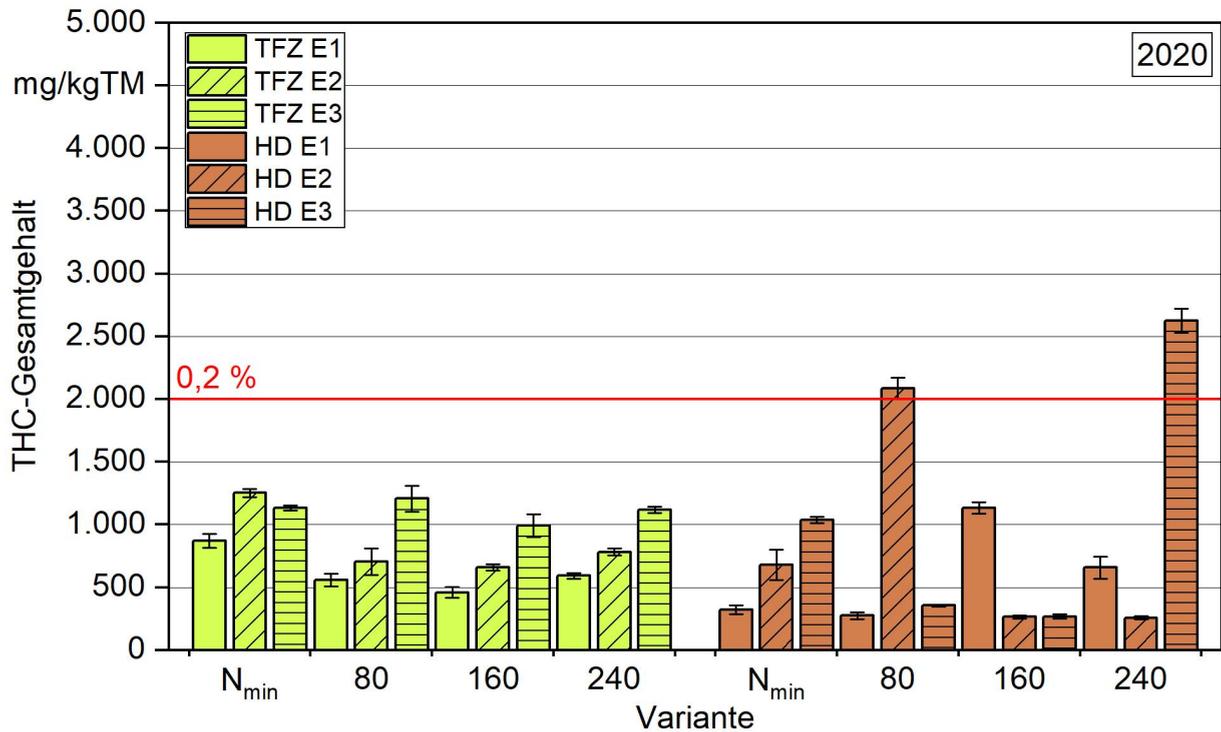


Abbildung 61: Vergleich des Gesamtgehalts an THC im Probenmaterial im Jahr 2020

Da das Pflanzenmaterial möglichst maschinell geerntet werden soll, wurden anschließend Proben untersucht, die mit unterschiedlichen Grüngütertern geschnitten worden waren. Hierdurch ergibt sich ein oberer Pflanzenteil, der als Blütenstand, und ein unterer Pflanz-

zenteil, der als Stroh bezeichnet wurde. Die Blütenstände enthielten sowohl Stängel als auch Blätter, Blüten, aber auch je nach Erntezeitpunkt bereits Körner (vgl. Abbildung 16).

Aus Abbildung 62 ist ersichtlich, dass der Hauptgehalt der Cannabinoide im Blütenstand vorliegt. Trotzdem erscheint der Gehalt im Stroh mit $3,781 \pm 0,155$ g/kg TM (N_{\min}) und $1,255 \pm 0,076$ g/kg TM (80), was 45 % (N_{\min}) und 15 % (80) des Gehalts im Blütenstand entspricht, als signifikant. Generell ist anzumerken, dass das Stroh aufgrund seiner langen Fasern schlecht zu zerkleinern war. Da die Proben nach Zerkleinerung gesiebt wurden und nur Material unter 1 mm verwendet wurde, ist das Verhältnis von Blattanteil zu Stängeln an dem Feinmaterial nicht repräsentativ. Dies wird auch an den unterschiedlichen Verhältnissen aus dem feinen Material < 1 mm zum groben Material mit 2,9 (N_{\min}), 4,3 (80) im Blütenstand und 0,4 (N_{\min}), 0,1 (80) im Stroh deutlich.

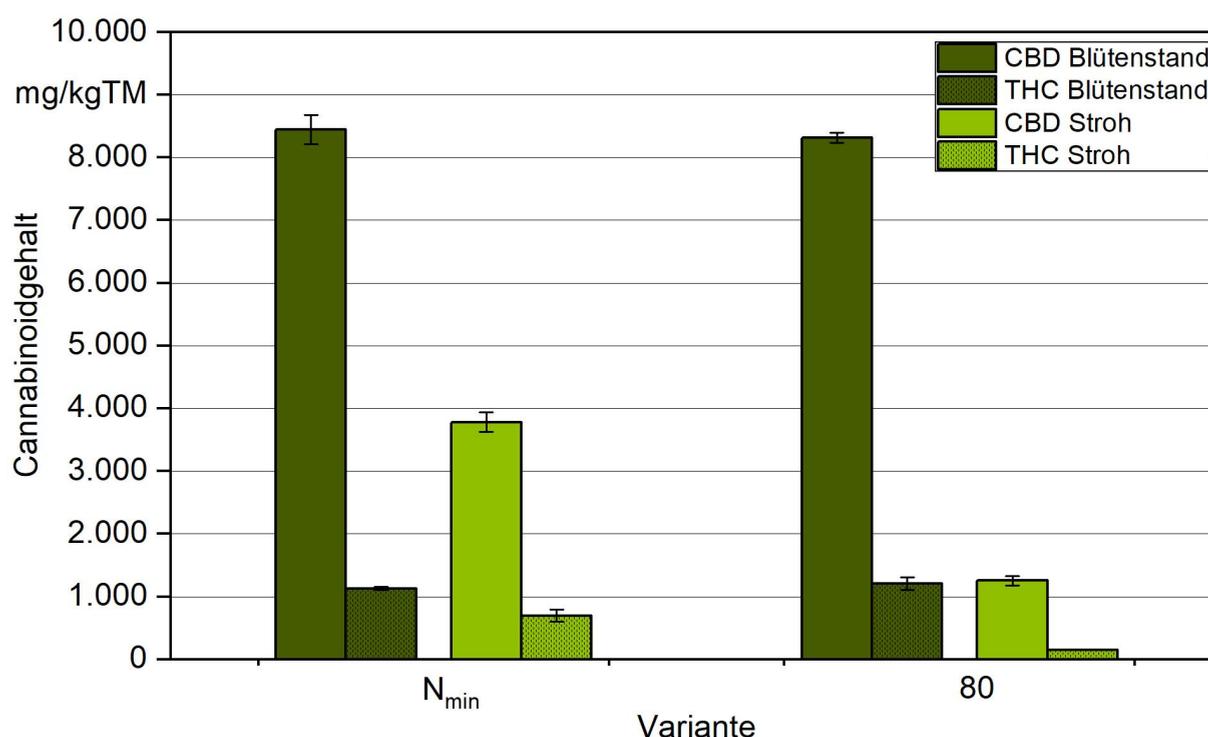


Abbildung 62: Vergleich der Konzentration des Gesamtgehalts an CBD und THC in Mischproben und Stroh von Erntetermin 3

Die CBD-Gehalte lagen bei $5,820 \pm 8,442$ g/kg TM (TFZ) und $5,520 \pm 2,634$ g/kg TM (HD). Dabei wurde bei den Proben des TFZ eine Zunahme des CBD- und THC-Gehalts vom ersten zum dritten Erntetermin sowie ein Trend zu niedrigeren Gehalten bei zunehmender Düngermenge festgestellt. Bei HD waren hingegen keine Trends erkennbar. Zum Vergleich der Sorten FINOLA und Earlina 8 FC wurden zum einen die abgestreiften Blätter, Blüten und Körner der Blütenstände, zum anderen die separierten Körner der Pflanzen zu Proben verarbeitet. Die Analyseergebnisse sind in Abbildung 63 dargestellt.

Der Cannabinoidgehalt der Blätter, Blüten und Körner war bei der Sorte FINOLA mit $14,412 \pm 0,535$ g/kg TM CBD und $1,090 \pm 0,089$ g/kg TM THC höher als bei der Sorte Earlina 8 FC mit $11,197 \pm 0,331$ g/kg TM CBD und $0,365 \pm 0,018$ g/kg TM THC.

In den Körnern waren mit $1,036 \pm 0,064$ g/kg TM CBD, $0,112 \pm 0,004$ g/kg TM THC (FINOLA) und $1,648 \pm 0,331$ g/kg TM CBD, $0,052 \pm 0,005$ g/kg TM THC (Earlina 8 FC) jeweils 7,19 m% CBD und 10,25 m% THC (FINOLA) und 14,72 m% CBD und 14,34 m% THC (Earlina 8 FC) der Cannabinoidgehalte des Probenmaterials aus Blättern, Blüten und Körnern nachweisbar. Die Körner wurden händisch aussortiert und nicht gewaschen, wodurch die Übertragung cannabinoidehaltigen Harzes der Blüten auf die Körner nicht ausgeschlossen ist.

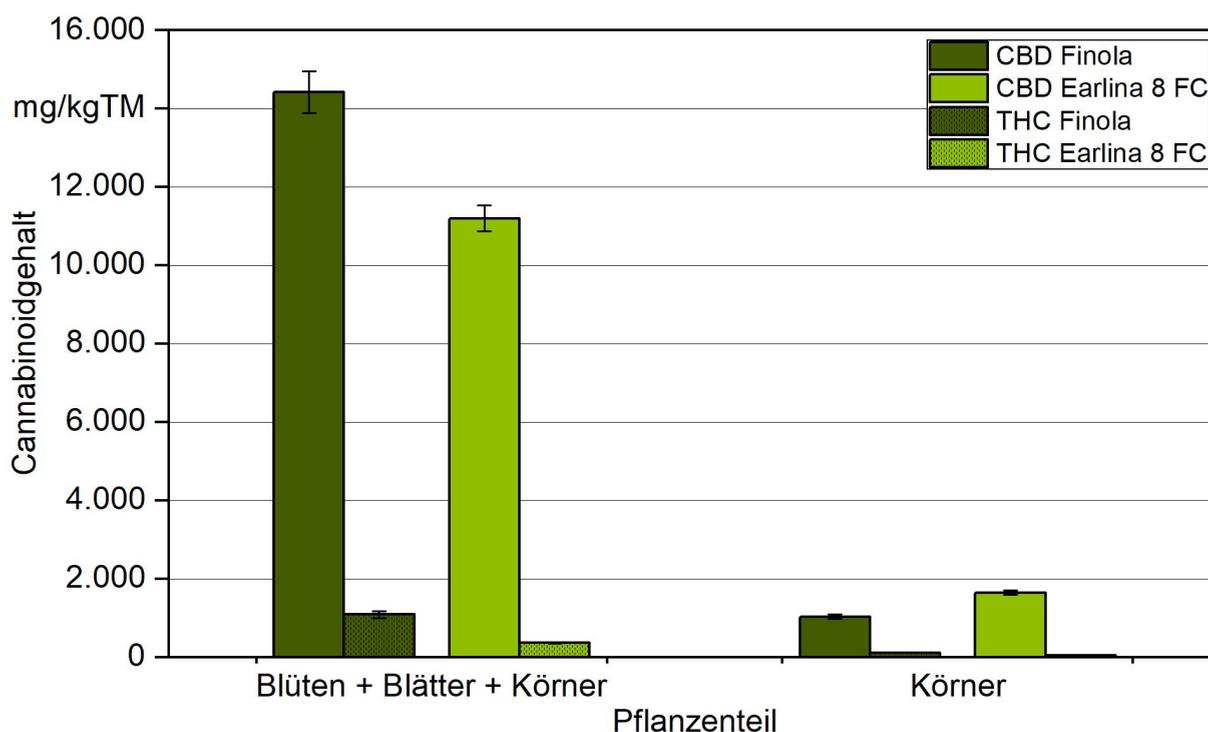


Abbildung 63: Vergleich der Konzentration des Gesamtgehalts an CBD und THC im extrahierten Material (Blätter, Blüten und Körner der oberen 30 cm) der Sorten FINOLA und Earlina 8 FC

5.5.5.2 Analyse des Pflanzenmaterials Ernte 2021

Nach Interpretation der Ergebnisse aus dem Jahr 2021 wurde im Projekttreffen Anfang 2022 festgelegt, im folgenden Jahr nur durch maschinelle Ernte gewonnene Proben zu vermessen. Des Weiteren sollte die Probenvorbereitung an das faserige Material angepasst werden.

Das Pflanzenmaterial der Anbauversuche der Sorte FINOLA wurde bereits vor der Probenübergabe bei 40 °C für 48 h unter Frischluftzufuhr in Crisp Bags (fünf Abschnitte weiblicher Pflanzen/Beutel) am TFZ getrocknet. Durch die maximale Schnitthöhe der unter-

schiedlichen Grünguternter von HD und TFZ bedingt waren die Blütenstand-Abschnitte entsprechend der Wuchshöhe zum Erntezeitpunkt bis zu 90 cm lang.

Zur Anpassung der Probenverarbeitung wurde zunächst versucht, die Proben mit einer Pulverisette 14 zu zerkleinern. Sowohl in Stickstoff vorgefroren als auch ohne Vorbehandlung war dies nicht zielführend (Abbildung 64).



Abbildung 64: Versuch des Mahlens von Hanfstroh mittels Pulverisette 14 mit Vorbehandlung in flüssigem Stickstoff und verschiedenen Geschwindigkeiten (B: 8000 rpm, C: 20 000 rpm)

Als geeignet erwies sich der Einsatz einer Schneidmühle von Fritsch (SM100) mit integriertem Sieb (1 mm) (Abbildung 65). Dadurch konnten $89 \pm 8,6$ m% der Aufgabemenge auf eine Partikelgröße < 1 mm zerkleinert werden, wobei auftretende Differenzen vom Feuchtegehalt und von der Probenmenge abhängig waren. Der Feuchtegehalt und die Trockenmasse aller vorbereiteten Proben wurden mittels Infrarot-Feuchtebestimmers (Sartorius MA35) im Automatik-Modus mit einer Temperatur von 105 °C bestimmt. Der Trockenmassegehalt der vorgetrockneten Proben betrug im Mittel $86,10 \pm 4,07$ m%.



Abbildung 65: Getrocknete Proben in Crisp Bags (A); Schneidwerkzeug (B); Schneidmühle Fritsch SM 100 (C); gemahlene Probenmaterial < 1 mm (D)

Die HPLC-Methode wurde vor der Analyse der Proben erneut nach den Guidelines des International Council for Harmonisation of Technical Requirements validiert [15]. Die Kalibrierung erfolgte in den Bereichen 0,25 µg/mL bis 5 µg/mL (CBD), 15 µg/mL bis 300 µg/mL (CBDA), 0,15 µg/mL bis 3 µg/mL (THC) und 1 µg/mL bis 20 µg/mL (THCA). Die Bestimmungsgrenzen lagen bei 0,90 µg/mL (CBD), 31,99 µg/mL (CBDA), 1,00 µg/mL (THC) und 4,02 µg/mL (THCA). Für CBD ergaben sich eine Intraday-Präzision von $100,5 \pm 5,32 \%$ (2,75 µg/mL) und eine Interday-Präzision von $95,5 \pm 4,03 \%$ (2,75 µg/mL).

Die Probenmessung erfolgte analog zu dem im vorherigen Zeitraum entwickelten Verfahren (vgl. Abschnitt 5.5.5.1). Die Gesamtgehalte an CBD der Proben von HD und TFZ sind in Abbildung 66 dargestellt. Die höchsten CBD-Gehalte wurden bei beiden Standorten an dem jeweils dritten Erntetermin mit $6,307 \pm 1,338$ g/kg TM (TFZ) und $10,335 \pm 1,295$ g/kg TM (HD) gemessen.

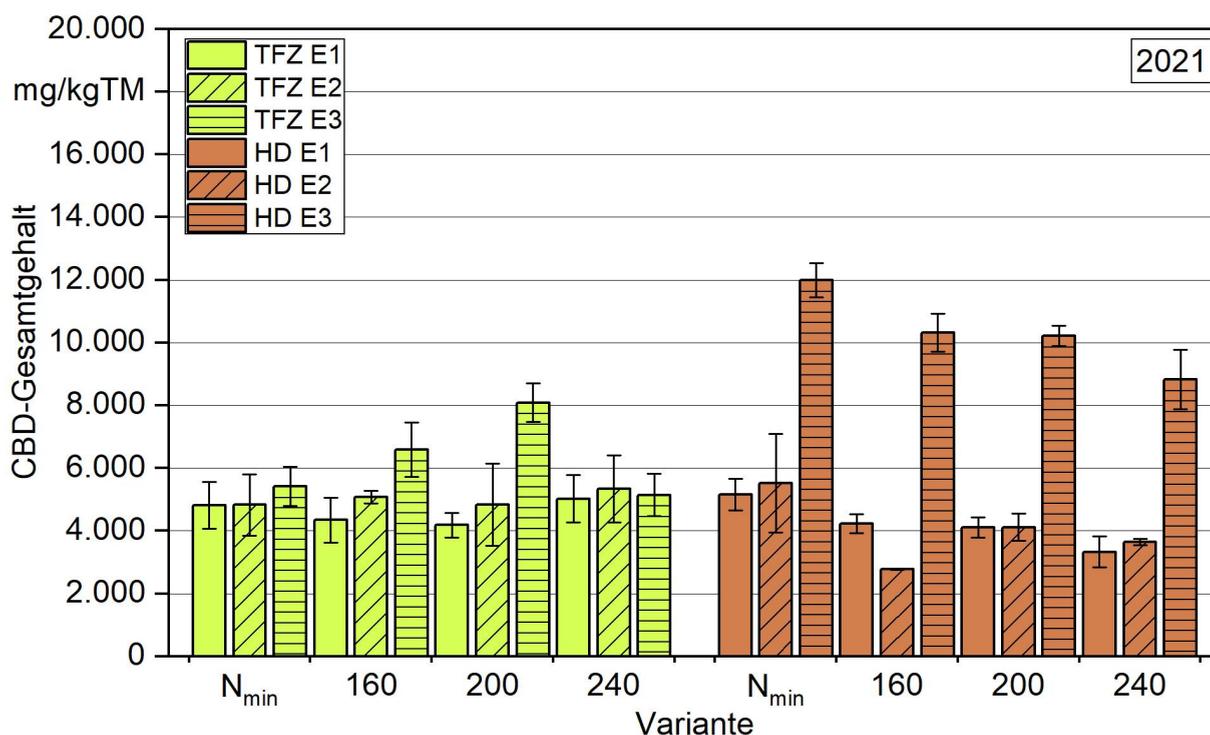


Abbildung 66: Vergleich des Gesamtgehalts an CBD im Probenmaterial aus dem Jahr 2021

Die THC-Gesamtgehalte der entsprechenden Proben sind Abbildung 67 zu entnehmen. Der Grenzwert zum maximal zulässigen THC-Gehalt von Hanf in der EU von 0,2 % wurde dabei mit $2,083 \pm 0,058$ g/kg TM in der Probe des dritten Erntezeitpunkts mit N_{min} am Standort HD geringfügig überschritten.

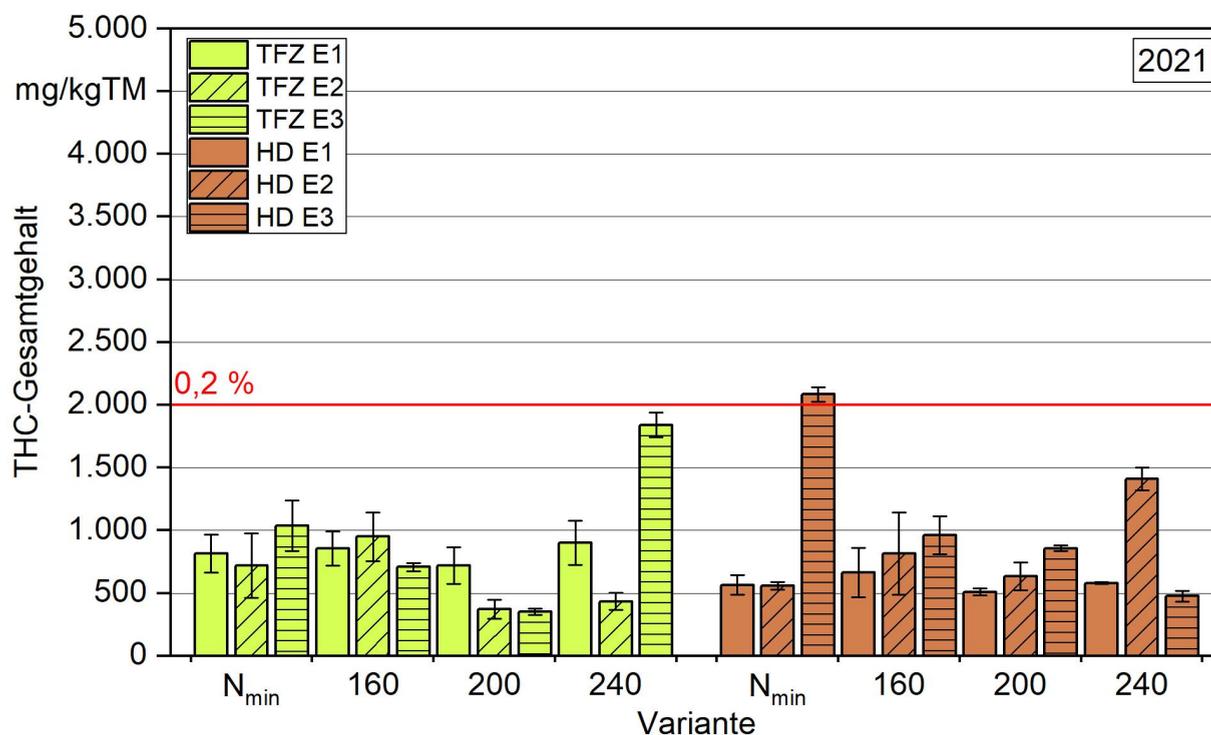


Abbildung 67: Vergleich des Gesamtgehalts an THC im Probenmaterial aus dem Jahr 2021

Aus der vorangegangenen Literaturrecherche sowie der Messmethode der EU ließ sich schließen, dass nur die weiblichen Pflanzen signifikante Gehalte an Cannabinoiden aufweisen. Folglich wurden bisher für die Analyse der Cannabinoidgehalte ausschließlich weibliche Pflanzen verwendet. Aufgrund des zweihäusigen Anbaus der Sorte FINOLA befanden sich in den Parzellen allerdings sowohl weibliche als auch männliche Pflanzen. Die Untersuchung speziell der männlichen Pflanzen zeigte Gehalte von $2,794 \pm 0,354$ g/kg TM CBD und $0,563 \pm 0,200$ g/kg TM THC, was 60,9 % (CBD) und 68,4 % (THC) der durchschnittlichen Gehalte weiblicher Pflanzen entspricht. Hieraus lässt sich schließen, dass auch die männlichen Pflanzen zur CBD-Ausbeute beitragen können. Die Eignung männlicher Pflanzen zur Cannabinoidgewinnung wurde in der Literatur bereits abhängig von der verwendeten Sorte festgestellt [40] [82]. Die Gesamtgehalte an CBD und THC sind in Abbildung 68 gezeigt.

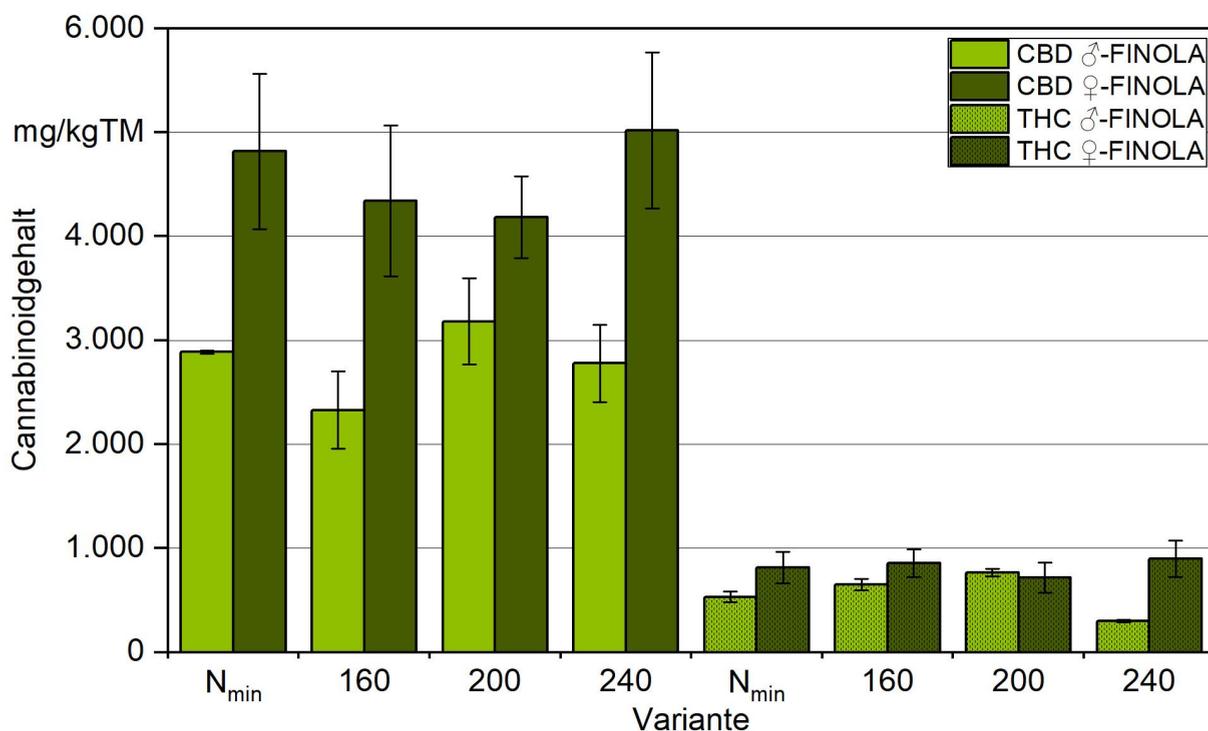


Abbildung 68: Vergleich der Gesamtgehalte an CBD und THC in den Proben weiblicher und männlicher Pflanzen sowie ihrer Düngestufen zum ersten Erntezeitpunkt im Jahr 2021

Bei der Gegenüberstellung der Gehalte an CBD und THC der Blütenstandproben der Berichtszeiträume ist zu beachten, dass durch die nun zur Zerkleinerung der Proben eingesetzte Schneidmühle ein größerer Anteil der Stängel zerkleinert werden konnte und so die Probenzusammensetzungen nicht identisch waren. Im Vergleich der CBD-Gehalte zeigt sich in den Proben beider Betrachtungszeiträume und Standorte wiederum der Trend zu ansteigenden Gehalten mit späteren Ernteterminen. Der im Betrachtungszeitraum 2020 festgestellte Trend zu abnehmenden CBD-Gehalten bei zunehmender Düngemenge konnte nur in den Proben von HD festgestellt werden.

5.5.5.3 Analyse des Pflanzenmaterials Ernte 2022

Das Pflanzenmaterial der Anbauversuche der Sorte FINOLA wurde bereits vor der Probenübergabe bei 40 °C für 48 h (Proben der Ernte 2 für 72 h) unter Frischluftzufuhr in Crisp Bags (fünf Abschnitte weiblicher Pflanzen/Beutel) am TFZ getrocknet. Durch die maximale Schnitthöhe der unterschiedlichen Grünguternter von HD und TFZ bedingt waren die Blütenstand-Abschnitte entsprechend der Wuchshöhe zum Erntezeitpunkt bis zu 120 cm lang. Bei den Proben von HD gab es in diesem Berichtszeitraum keine Düngestufe 2, stattdessen wurden eine 4. und 5. Ernte mit Düngestufe 3 untersucht.

Die Pflanzenabschnitte wurden mittels einer Schneidmühle von Fritsch (SM100) mit integriertem Sieb (1 mm) zerkleinert. Dadurch wurden $66,3 \pm 23,2$ m% der Aufgabemenge auf eine Partikelgröße < 1 mm zerkleinert. Die Unterschiede waren dabei vom Feuchtegehalt und von der Probenmenge abhängig. Der Feuchtegehalt und die Trockenmasse aller vor-

bereiteter Proben wurde mittels Infrarot-Feuchtebestimmers (Sartorius MA35) im Automatik-Modus mit einer Temperatur von 105 °C bestimmt. Der Trockenmassegehalt der vortrockneten Proben betrug im Mittel $88,09 \pm 5,81$ m%.

Die Probenmessung erfolgte analog zu dem im vorherigen Zeitraum entwickelten Verfahren (vgl. Abschnitt 5.5.5.2). Die Kalibrierung wurde in den Bereichen 0,2 µg/mL bis 8 µg/mL (CBD), 10 µg/mL bis 400 µg/mL (CBDA), 0,125 µg/mL bis 5 µg/mL (THC) und 0,625 µg/mL bis 25 µg/mL (THCA) vorgenommen.

Die Gesamtgehalte an CBD der Proben von HD und TFZ sind in Abbildung 69 dargestellt. Der höchste CBD-Gehalt wurde vom TFZ in der höchsten Düngestufe von Ernte 3 mit $16,199 \pm 0,278$ g/kg TM erreicht. Der höchste CBD-Gehalt bei HD wurde bei Düngestufe 3 in der zweiten Ernte mit $13,678 \pm 0,454$ g/kg TM bestimmt.

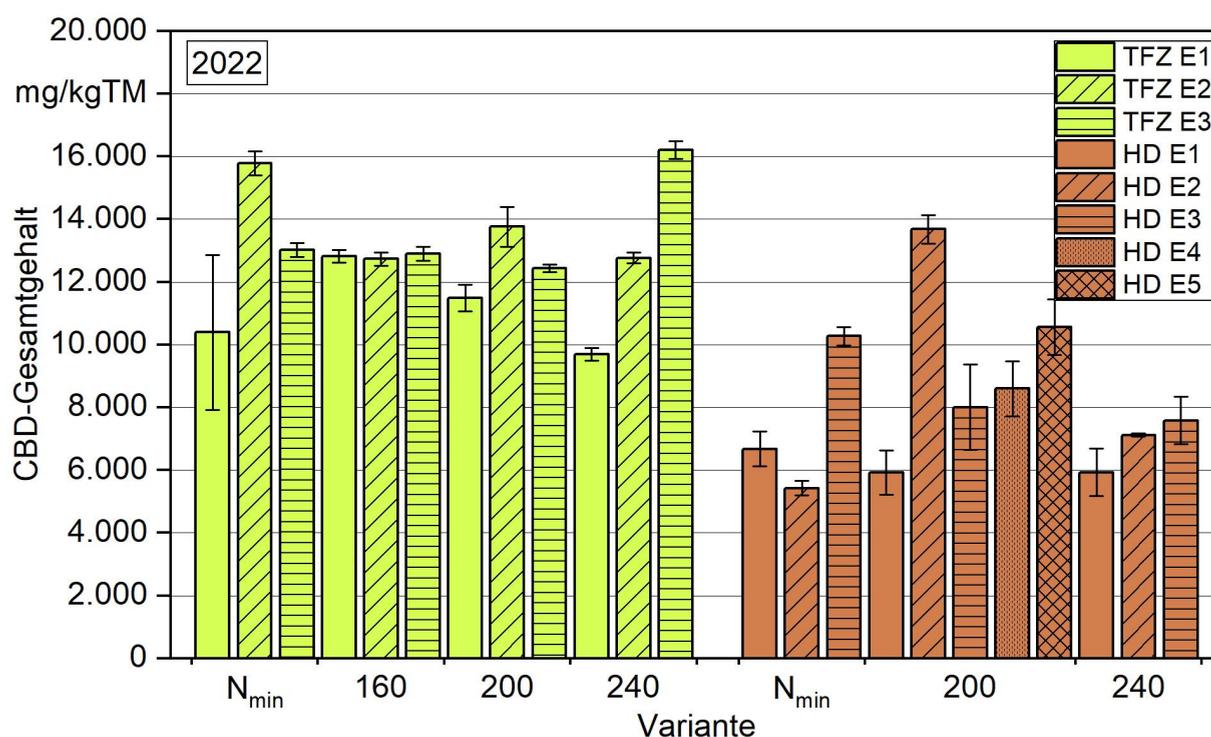


Abbildung 69: Vergleich des Gesamtgehalts an CBD im Probenmaterial im Jahr 2022

Die THC-Gesamtgehalte der entsprechenden Proben sind Abbildung 70 zu entnehmen. Der Grenzwert zum maximal zulässigen THC-Gehalt von Hanf in der EU von 0,2 % wurde dabei mit $4,338 \pm 0,331$ g/kg TM in den Proben der Düngestufe 1 von HD bei Ernte 2 überschritten.

Anders als in den Ergebnissen beobachtet wurde ein signifikanter Anstieg des CBD-Gehalts durch die Düngung (Kontrolle und 160 kg N/ha) bewiesen [59]. Der Effekt der tendenziell steigenden Cannabinoid-Gehalte, je später geerntet wird, zeigt sich auch in anderen Untersuchungen. So stieg der THC-Gehalt in den Blüten im Vegetationsverlauf bis zu einem Maximum kurz vor der Seneszenz an und nahm dann wieder ab, während die Menge an CBD ebenfalls anstieg, es aber zu keinem Rückgang kam [64]. Anders zeigte

sich der Zusammenhang in dem Versuch von NOPPAWAN et al. (2021) unter Gewächshausbedingungen, dessen Ergebnisse eine Zunahme der Cannabinoidgehalte bis zur Vollblüte und eine Abnahme bereits ab der Samenreife zeigten [75].

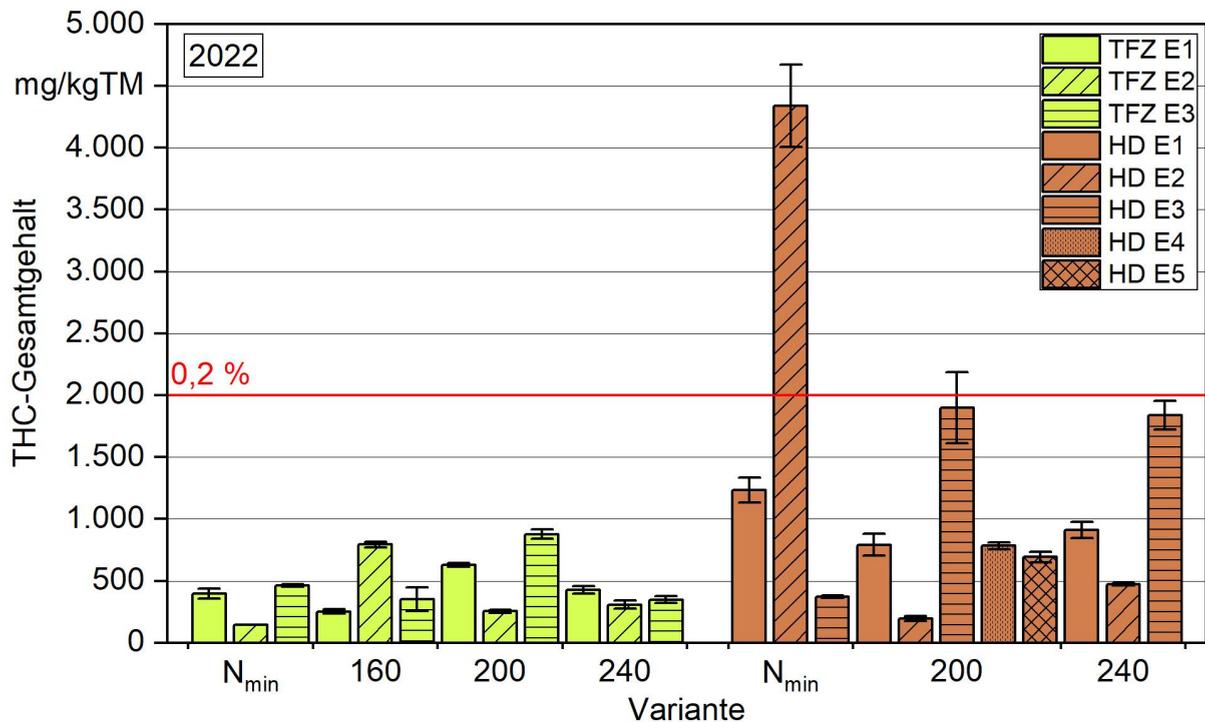


Abbildung 70: Vergleich des Gesamtgehalts an THC im Probenmaterial im Jahr 2022

5.5.6 Stickstoffbilanz

Am Standort TFZ war nur für die Varianten ohne zusätzliche Düngung (N_{\min}) und die Variante mit einer verfügbaren Stickstoffmenge von 80 kg N/ha ein negativer N-Saldo festzustellen (Abbildung 71). Die N-Abfuhr durch das Blütenmaterial lag im Verlauf der drei Versuchsjahre zwischen 6,28 und 70,61 kg N/ha und die des Strohmaterials zwischen 4,03 und 47,31 kg N/ha. Dies führte dazu, dass der N-Saldo für die Varianten mit einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160, 200 und 240 kg N/ha in allen Jahren positiv ausfiel. Die N-Abfuhr durch das Erntegut nahm in den jeweiligen Varianten nicht entsprechend der N-Zufuhr durch die Düngung zu. Daraus ergab sich ein zunehmend höherer N-Saldo mit steigender Menge verfügbaren Stickstoffs. Mit Ausnahme des Versuchsjahrs 2022 sank der N-Saldo vom ersten zum letzten Erntetermin – wegen des Ertragsanstiegs insbesondere in der Strohfraktion. Im Versuchsjahr 2022 könnte es aufgrund der späten Ernte bereits zu einer Reduktion der Biomasse aufgrund von Blattfall und dadurch zu einem Anstieg im N-Saldo gekommen sein. Zudem ist auffällig, dass die verfügbare Stickstoffmenge im Boden nach der Ernte, insbesondere bei den beiden ersten Ernteterminen, höher ist als vor der Aussaat. Dies zeigt deutlich, dass höhere Stickstoffmengen von den Pflanzen in der kurzen Zeit nicht umgesetzt werden konnten und sich der Stickstoff daraufhin im Boden anreicherte. Hingegen wurde beim dritten Erntetermin ein ähnliches Niveau bzw. teilweise sogar eine Reduktion des im Boden befindlichen Stickstoffs beobachtet.

Während am Standort TFZ die N-Abfuhr durch das Stroh meist höher als die der Blütenstände war, verhielt es sich am Standort HD (Abbildung 72) andersherum. Dies ist vermutlich auf die verfälschten Ergebnisse aufgrund der gleichbleibenden Schnitthöhe am Standort HD zurückzuführen. Die Entzüge lagen hier für das Blütenmaterial zwischen 10,81 und 212,32 kg N/ha und zwischen 7,66 und 55,43 kg N/ha für das Stroh. Der N-Saldo war mit einigen Ausnahmen der Varianten mit einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160 und 240 kg N/ha im Versuchsjahr 2020 am Standort HD negativ. Wie auch am Standort TFZ nahm der N-Saldo, mit einigen Ausnahmen in den Versuchsjahren 2020 und 2022, mit zunehmender Düngung zu. Auffällig war, dass die N-Entzüge im Versuchsjahr 2021 über die N_{\min} -Variante hinaus weiter zunahmen. Dies ließ darauf schließen, dass der zusätzliche Stickstoff für die Biomasseproduktion in diesem Versuchsjahr stärker genutzt wurde als am Standort TFZ. Die im Vergleich zum Standort TFZ verbesserte N-Aufnahme wird zusätzlich durch die Ergebnisse der verfügbaren Stickstoffmenge nach Ernte unterstützt. Es zeigte sich, mit Ausnahme der Varianten 160 und 240 des zweiten Erntetermins im Versuchsjahr 2021 und der Variante 240 des ersten Erntetermins im Versuchsjahr 2020, dass die verfügbare Stickstoffmenge im Boden nach Ernte im Vergleich zu den Werten vor der Aussaat sank.

Anhand der N-Bilanz allein kann keine klare Düngeempfehlung ausgesprochen werden. Für den Standort TFZ zeigte sich, dass in Abhängigkeit des Erntetermins bereits eine verfügbare Stickstoffmenge von 160 kg N/ha zu hohen N-Salden und einem Anstieg in der verfügbaren Stickstoffmenge im Boden führen kann. Im Gegensatz dazu konnten am Standort HD teilweise sogar bei einer verfügbaren Stickstoffmenge von 240 kg N/ha negative N-Salden und eine deutliche Reduktion der verfügbaren Stickstoffmenge im Boden erfasst werden. Jedoch stiegen auch hier die N-Salden in der Variante 240 deutlich an, sodass keine Empfehlung für eine Düngung mit 240 kg N/ha ausgesprochen werden kann. Aufgrund der Ergebnisse der Stickstoffbilanz und unter Einbeziehung des Ertrags gibt es momentan keine Anhaltspunkte, von der im Gelben Heft [10] [93] empfohlenen Stickstoffmenge von 160 kg N/ha abzuweichen. Obwohl die Angabe im Gelben Heft für die Nutzungsrichtung Faser gedacht ist, scheint sie auch für die CBD-Nutzung angemessen, sofern die Bestandsstruktur einen angemessenen Ertrag zulässt. Ist aufgrund der Standortteigenschaft mit geringeren Erträgen zu rechnen, sollte ein Abschlag erfolgen. In Abhängigkeit des Erntetermins lagen die Feuchtmasserträge, bei einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160 kg/ha, des Blütenmaterial zwischen 41 und 78 (2020), 23 und 39 (2021) sowie 58 und 78 (2022). Daher wäre anhand unserer Ergebnisse eine Ertragserwartung des Blütenmaterials (obere 30 cm der Pflanzen) von 60 bis 70 dt FM/ha angemessen. Problematisch ist jedoch, dass der Blütenertrag stark von der Schnitthöhe abhängig ist (vgl. Standort HD) und es durch Abweichungen der Schnitthöhe schnell zu sehr hohen Blütenerträgen kommen kann. Daher wäre vermutlich eine Ertragserwartung, die ebenfalls den Strohertrag miteinschließt, sinnvoll.

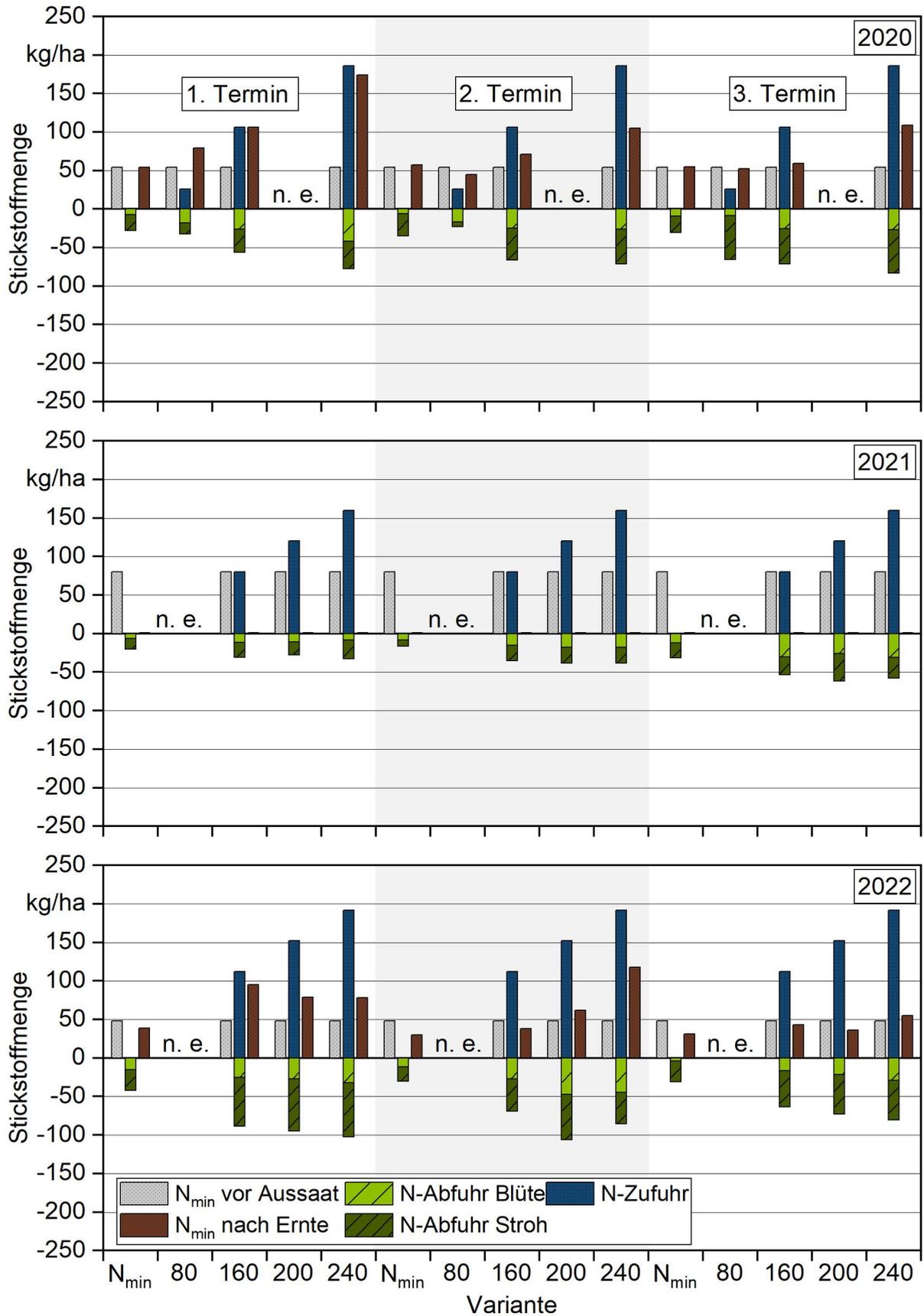


Abbildung 71: N-Zufuhr und N-Abfuhr im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf am Standort TFZ (N-Salden siehe Tabelle 44)

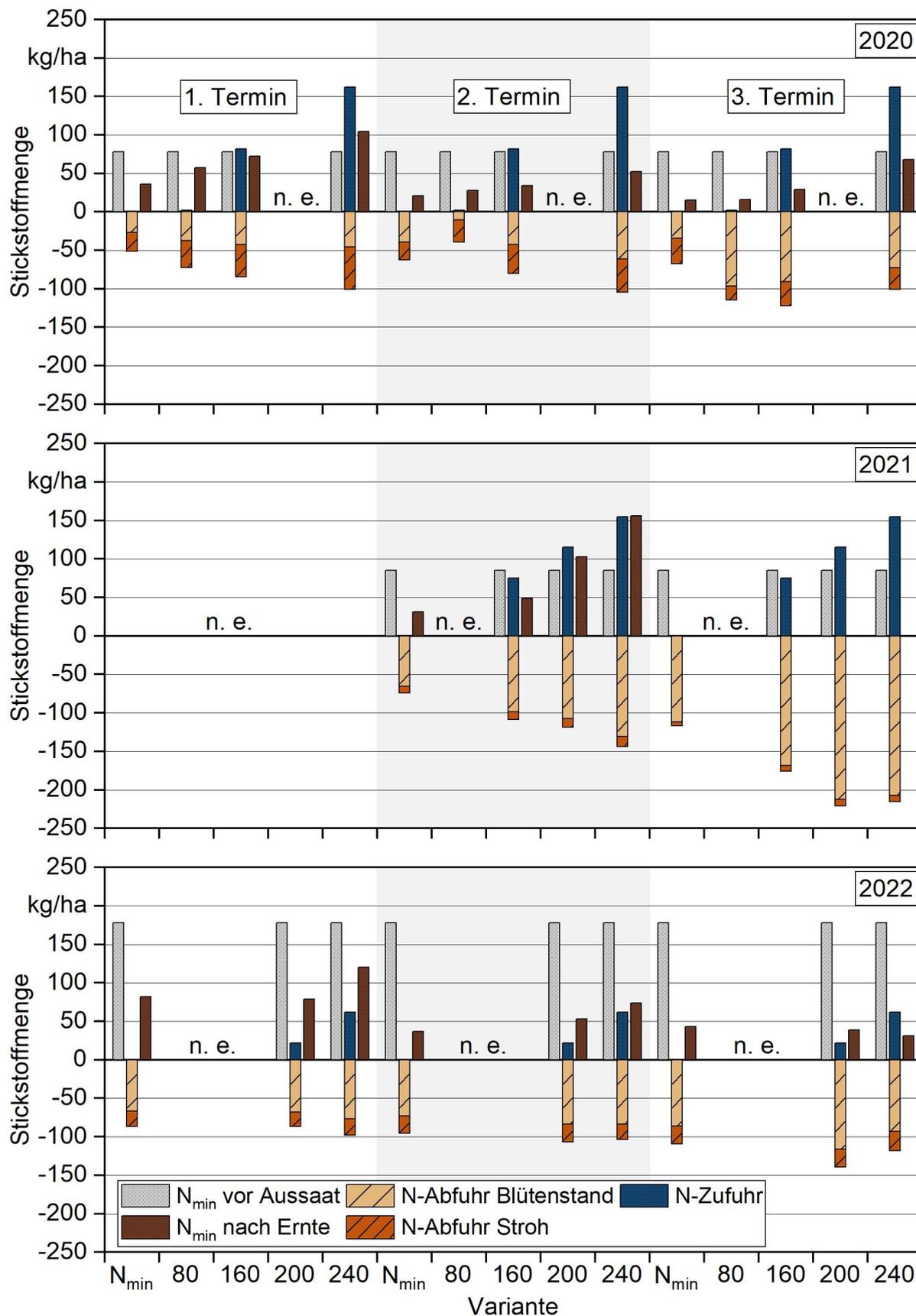


Abbildung 72: N-Zufuhr und N-Abfuhr im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf am Standort HD (N-Salden siehe Tabelle 45)

5.6 Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf

Für die Nutzungsrichtung Korn existiert im Gelben Heft [93] aktuell ebenfalls keine Düngeempfehlung. Daher soll auch mit diesem Versuch eine Datengrundlage geschaffen werden auf deren Basis eine solche Empfehlung ausgesprochen werden kann. Es wurde der Einfluss der Stickstoffdüngung auf die Entwicklung, den Stickstoffgehalt des Bodens, den Ertrag sowie qualitätsbestimmende Merkmale des Ernteguts untersucht. Dieser Versuch wurde mit den Sorten FINOLA, Earlina 8 FC und Henola durchgeführt und die Stickstoffversorgung variierte zwischen N_{\min} , 160 kg N/ha, 120 kg N/ha, 200 kg N/ha und 240 kg N/ha. Die N_{\min} -Werte für diesen Versuch können Tabelle 6 entnommen werden.

Im Versuchsjahr 2021 wurde der Versuch erweitert. In dieser Erweiterung sollte geklärt werden, ob die Sorten Fedora 17 und Uso 31 bei einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160 kg N/ha annehmbare Kornerträge und Kornqualitäten liefern, nachdem sie per Schröpfschnitt eingekürzt wurden, um ihre Druschfähigkeit zu verbessern. Darüber hinaus wurde am Standort HD im Jahr 2022 ein zusätzlicher späterer Erntetermin für die Stickstoffversorgung mit 200 und 240 kg N/ha angelegt.

5.6.1 Wuchshöhe

Am Standort TFZ waren die Pflanzen 82 bis 224 cm hoch (Tabelle 22). Die Größe war abhängig von der Sorte ($r = 0,755$), dem Jahr ($r = 0,416$) und der verfügbaren Menge an Stickstoff ($r = 0,379$). Die Pflanzen der Sorte FINOLA waren mit einer Höhe von 82 bis 123 cm signifikant kleiner als die Pflanzen der Sorten Earlina 8 FC mit 128 bis 224 cm und Henola mit 170 bis 204 cm. Bei einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160 kg N/ha waren die Pflanzen der Sorte FINOLA im Jahr 2020 mit 117 cm und im Jahr 2022 mit 123 cm fast gleich groß. Die Pflanzen der Sorte Earlina 8 FC erreichten dagegen in derselben Düngestufe eine Höhe von 182 cm im Jahr 2020 und 205 cm im Jahr 2022. Die Pflanzen der Sorte Henola waren im Jahr 2022 mit 191 cm etwas niedriger als die der Sorte Earlina 8 FC. In allen Sorten zeigte sich ein Anstieg der Wuchshöhe bei steigender verfügbarer Stickstoffmenge, insbesondere bei dem Vergleich der ungedüngten Variante (N_{\min}) mit der Düngestufe 120 bzw. 160 kg N/ha. Im Jahr 2020 war der Unterschied statistisch signifikant. Zwischen den höheren Düngemengen ergaben sich nur noch geringe Schwankungen. Die Wuchshöhe wirkte sich auf den TM-Strohertrag ($r = 0,903$), den Korngelhalt ($r = 0,293$), die Selbstausdünnung ($r = -0,587$) und den TM-Kornertrag ($r = -0,234$) aus.

Die Pflanzen am Standort HD waren generell stets größer als am Standort TFZ. Verstärkt zu beobachten war dies für die Sorte FINOLA, die auch am Standort HD mit 169 bis 200 cm die kleinste Sorte war. Bei verfügbaren 160 kg N/ha lag die Pflanzenhöhe im Jahr 2021 bei 193 cm. Im Jahr 2022 waren die Pflanzen der Sorte FINOLA durchschnittlich 172 cm hoch. Die der Sorte Earlina 8 FC erreichten eine Höhe von 228 cm und die der Sorte Henola 204 cm. In diesem Jahr waren die Pflanzen einer Sorte in allen Varianten gleich hoch, was an dem hohen N_{\min} -Wert von 178 kg N/ha lag. Daher wurde der sonst typische Höhenzuwachs von der ungedüngten Variante zur ersten Düngestufe nicht beobachtet. Die Beobachtung, dass ab einer gewissen verfügbaren Stickstoffmenge kein wei-

terer Höhenzuwachs stattfindet, wurde durch diese Feststellungen weiter gestützt. Wie am Standort TFZ hängt die Höhe auch am Standort HD stark mit der Sorte ($r = 0,486$) zusammen.

Tabelle 22: Durchschnittliche Pflanzenhöhe im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf

Standort		TFZ			HD		
Jahr		2020	2021	2022	2020	2021	2022
Variante in kg N/ha	Sorte	Pflanzenhöhe in cm					
N _{min}	TFZ/HD	82	138*	97	n. e.	188	171
	2020 = 54/79						
	2021 = 80/85						
	2022 = 47/178						
80		86	–	–	n. e.	–	–
120		–	–	116	–	–	n. e.
160		117	157*	123	n. e.	193	n. e.
200		–	161*	121	–	200	171 173**
240		122	161*	123	n. e.	200	169 177**
N _{min}	Earlina 8 FC	128	–	182	–	–	227
80		143	–	–	–	–	–
120		–	–	212	–	–	n. e.
160		182	–	205	–	–	n. e.
200		–	–	214	–	–	233 226**
240		193	–	218	–	–	224 230**
N _{min}	Henola	–	–	170	–	–	201
120		–	–	193	–	–	n. e.
160		–	–	191	–	–	n. e.
200		–	–	204	–	–	203 202**
240		–	–	204	–	–	209 206**
160	Usó 31	–	190	–	–	n. e.	–
160	Fedora 17	–	179	–	–	n. e.	–

* Sortenmix aus FINOLA, Earlina 8 FC und Henola

** Parzelle später geerntet

5.6.2 Feldaufgang

Der Feldaufgang variierte stark zwischen den Jahren ($r = -0,869$). Im Jahr 2020 war er am Standort TFZ mit durchschnittlich 78 % höher als im Jahr 2022 mit 33 % (Abbildung 73). Es zeigten sich ebenfalls Unterschiede zwischen den Sorten. So lag der Feldaufgang für die Sorte FINOLA im Jahr 2020 bei 67 %, für Earlina 8 FC lag er mit 88 % etwas höher. Im Jahr 2022 liefen 37 % der Samen der Sorte FINOLA, 29 % der Sorte Earlina 8 FC und 35 % der Sorte Henola auf. Die Bestände der Sorte FINOLA haben sich in beiden Jahren signifikant stärker ausgedünnt als in den anderen Sorten. Erklärt werden kann dies durch die höhere Verzweigungsneigung der Sorte FINOLA im Vergleich zu den anderen Sorten. Generell korrelierte die Selbstausdünnung, wie auch der Feldaufgang, stark mit dem Jahr ($r = -0,751$) und lag 2020 deutlich höher als 2022. Je höher der Feldaufgang und damit die Bestandsdichte zu Beginn der Vegetationszeit war, desto stärker regulierte der Bestand die Pflanzendichte und desto höher war die Selbstausdünnung. Zwischen den Dünge-stufen gab es teilweise starke Schwankungen in der Selbstausdünnung, die allerdings keine Aussage über einen konkreten Zusammenhang zulassen.

Am Standort HD war der Feldaufgang im Jahr 2022 ebenfalls niedrig (Abbildung 74). Für die Sorte FINOLA lag er bei 33 %, während 2021 ein Feldaufgang von 56 % beobachtet wurde. Zwischen den drei Körnersorten zeigten sich kaum Unterschiede. Der Feldaufgang der Sorte Earlina 8 FC lag bei 33 % und der der Sorte Henola bei 32 %. Mit durchschnittlich 0,6 % war die Selbstausdünnung sehr gering und wich zwischen den Varianten kaum voneinander ab. Im Jahr 2020 war die Selbstausdünnung mit 19 %, wie bereits am TFZ festgestellt, höher. Zurückzuführen ist dies auch am Standort HD auf den höheren Feldaufgang und die damit verbundene stärkere Selbstregulation der Hanfbestände. Weder zwischen den Dünge-stufen noch den Sorten wurden signifikante Unterschiede im jeweiligen Jahr festgestellt.

Es hat sich gezeigt, dass besonders das Jahr und damit die Umweltbedingungen ausschlaggebend für die Höhe des Feldaufgangs sind. Es wurde allerdings auch deutlich, dass ein hoher Feldaufgang durch die Selbstregulation der Bestände zu einer höheren Selbstausdünnung führt. In den Jahren mit hohem Feldaufgang war an beiden Standorten die Selbstausdünnung bedeutend höher.

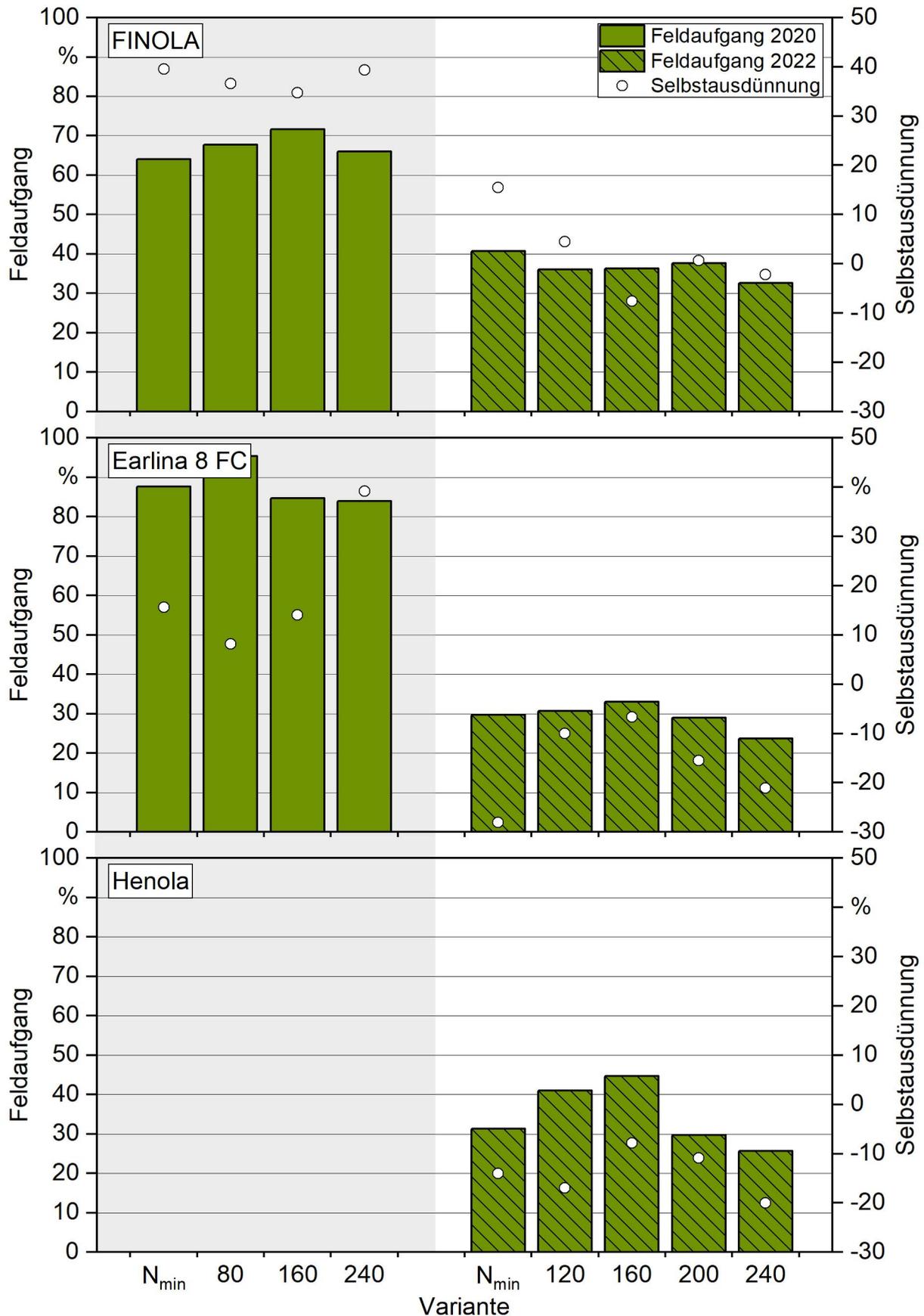


Abbildung 73: Feldaufgang und Selbstaussdünnung am Standort TFZ im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf in Abhängigkeit von Jahr, Sorte und Stickstoffverfügbarkeit

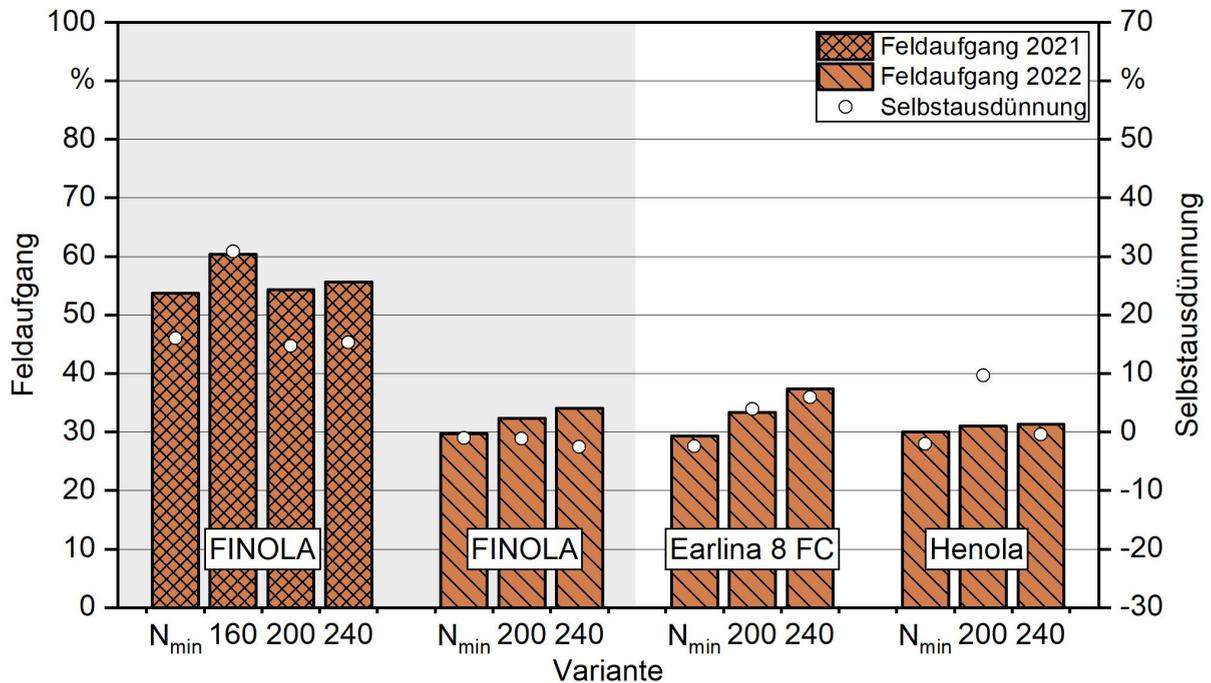


Abbildung 74: Feldaufgang und Selbstaussdünnung am Standort HD im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf in Abhängigkeit von Jahr, Sorte und Stickstoffverfügbarkeit

5.6.3 Unkrautbesatz

Der Unkrautdeckungsgrad (UDG) war sowohl im Jahr 2020 als auch im Jahr 2022 und in allen Sorten niedrig (Abbildung 75). Im Jahr 2020 hat sich der UDG im Laufe der Vegetationszeit reduziert, was auf eine gute Unterdrückung durch die Hanfpflanzen schließen lässt. Vor Reihenschluss lag er in der Variante 160 für die Sorte FINOLA bei 4,8 % und für die Sorte Earlina 8 FC bei 1,9 %. Kurz vor der Ernte war er mit 2,0 % (FINOLA) und 0,6 % (Earlina 8 FC) niedriger. Im Jahr 2022 war der UDG mit 4,8 % (FINOLA), 2,8 % (Earlina 8 FC) und 3,5 % (Henola) kurz vor der Ernte zwar höher als zum Reihenschluss, trotzdem ist der Unkrautbesatz gering. In den Beständen der Sorte Earlina 8 FC gab es einen signifikant geringeren UDG vor der Ernte als in den Beständen der Sorte FINOLA. Während sich verschiedenen Mengen an Stickstoff in der Höhe des UDG kaum bemerkbar machen, sind sie im Kulturdeckungsgrad (KDG) klar unterscheidbar. Der KDG stieg mit steigender verfügbarer Stickstoffmenge in allen Jahren und für alle Sorten an. Im Jahr 2020 erreichte er bei 160 kg N/ha 43,3 % in der Sorte FINOLA und 77,3 % in der Sorte Earlina 8 FC. Im Jahr 2022 bedeckten die Pflanzen der Sorte FINOLA 37,5 %, der Sorte Earlina 8 FC 55,0 % und der Sorte Henola 53,8 % des Bodens. Der KDG nahm dabei vom ersten zum zweiten Boniturtermin aufgrund beginnender Seneszenz und damit Verlusts von Blattmasse ab. Das Versuchsjahr hat den UDG vor der Ernte ($r = 0,541$) beeinflusst. Es gab außerdem Wechselwirkungen zwischen der verfügbaren Stickstoffmenge und dem KDG ($r = 0,783$), nicht aber mit dem UDG vor der Ernte. Die Sorte wirkte sich auf den KDG vor der Ernte aus ($r = 0,463$).

Am Standort HD zeigten sich ebenfalls deutliche Unterschiede zwischen den Jahren (Abbildung 76), die sich durch eine hohe Korrelation bestätigten ($r = -0,905$). 2020 lag der UDG in der Sorte FINOLA vor der Ernte bei einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160 kg N/ha bei 30,8 %, 2021 bei 7,0 % und 2022 in der Variante $N_{\min} = 178$ kg N/ha bei nur noch 1,3 %. Die Schwankung zwischen den Jahren war größer als die Veränderungen innerhalb einer Vegetationszeit. Im Jahr 2021 war allerdings am Standort HD eine leichte Abnahme des UDG im Wachstumsverlauf zu beobachten. Die Pflanzen haben demnach das Unkraut unterdrückt. Im Jahr 2022 war kaum Unkraut auf der Fläche vorhanden, weshalb der UDG besonders niedrig ausfiel. Für die Sorten Earlina 8 FC und Henola, die nur im Jahr 2022 etabliert wurden, wurde in der Variante $N_{\min} = 178$ kg N/ha ein UDG von 0,1 und 0,0 % ermittelt. Er war signifikant geringer als für die Sorte FINOLA. Der KDG war in allen Jahren mit durchschnittlich 75 % hoch und schwankte kaum. Eine klare Veränderung zusammen mit der verfügbaren Stickstoffmenge ließ sich nicht feststellen. In den Beständen der Sorte FINOLA im Jahr 2022 wurde mit 76 % in der Variante $N_{\min} = 178$ kg N/ha ein etwas höherer KDG gefunden als in den Sorten Earlina 8 FC mit 72,5 % und Henola mit 72,3 %. Am Standort TFZ wurde dagegen von den Pflanzen der Sorte FINOLA im Vergleich zu den anderen Sorten weniger Boden abgedeckt, wenngleich der KDG generell niedriger lag.

Der Vergleich zwischen den beiden Standorten in Bezug auf den Deckungsgrad ist schwierig, da die Bonituren von unterschiedlichen Personen durchgeführt wurden und daher nicht direkt vergleichbar sind.

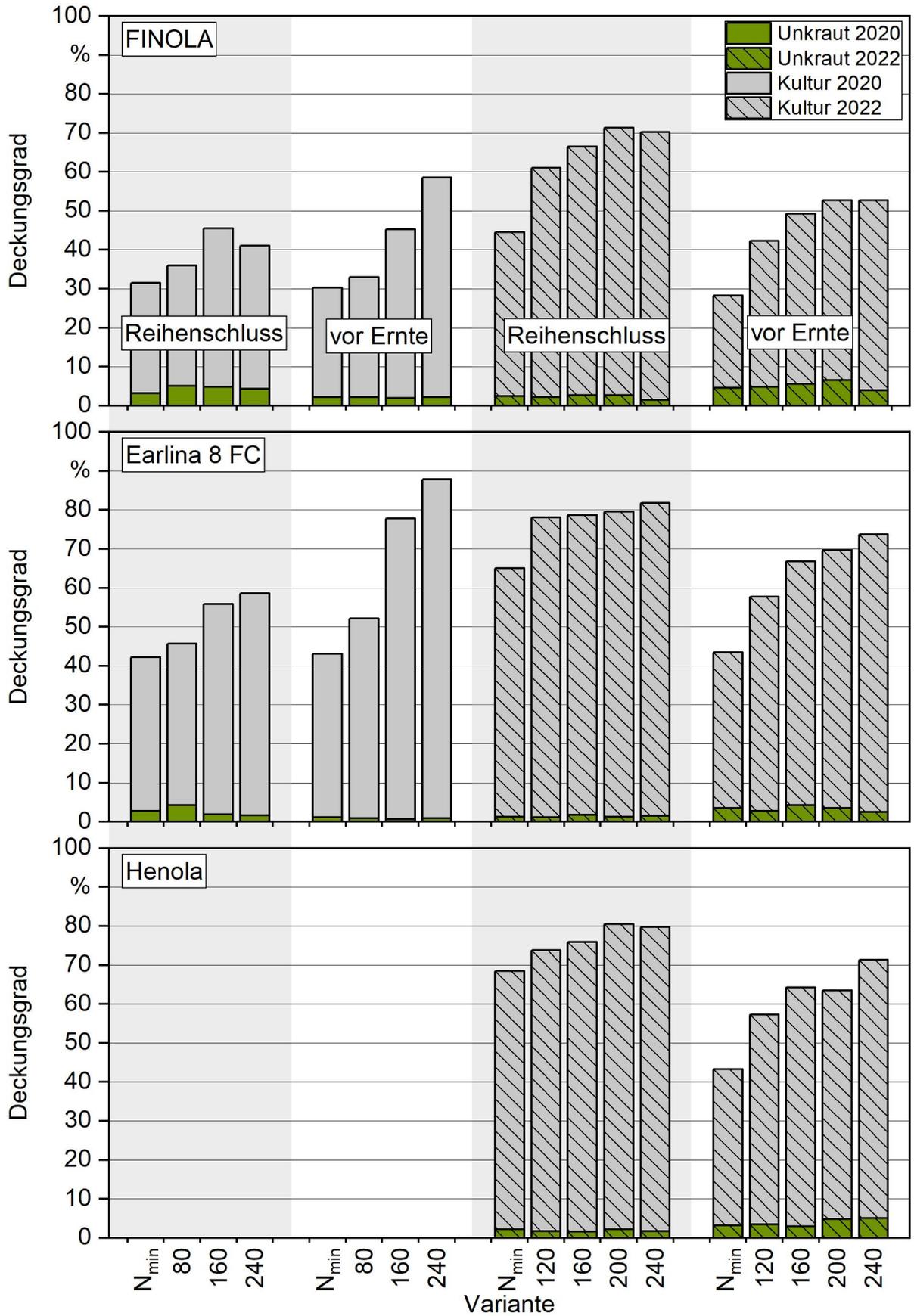


Abbildung 75: Unkraut- und Kulturdeckungsgrad am Standort TFZ vor Reihenschluss und Ernte in Abhängigkeit von Jahr, Sorte und Stickstoffverfügbarkeit

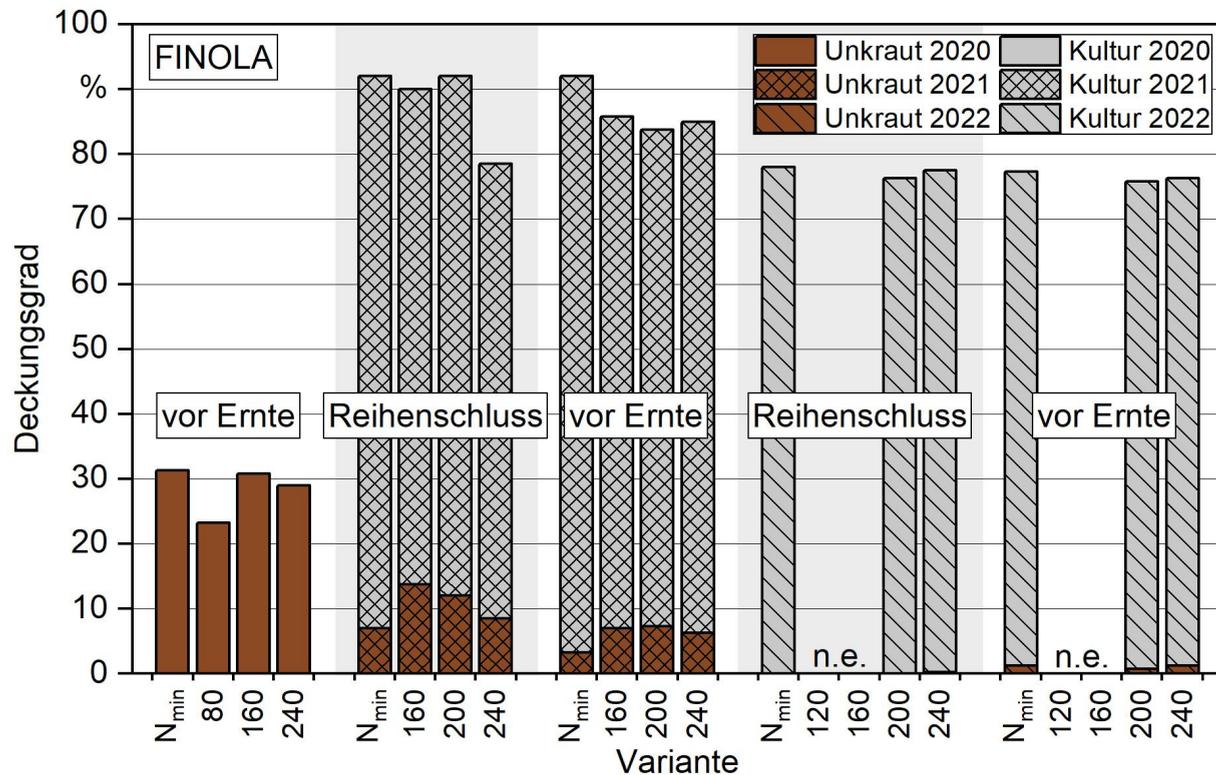


Abbildung 76: Unkraut- und Kulturdeckungsgrad am Standort HD vor Reihenschluss und Ernte in Abhängigkeit von Jahr und Stickstoffverfügbarkeit der Sorte FINOLA

5.6.4 Ertrag

Der Kornertrag am Standort TFZ schwankte wenig zwischen den Versuchsjahren, dafür aber deutlich zwischen den Varianten (Abbildung 77). Im Jahr 2020 wurden zwischen 6,5 dt/ha (N_{\min}) und 21,3 dt/ha (240) Körner der Sorte FINOLA sowie 6,3 dt/ha (N_{\min}) und 14,0 dt/ha (240) Körner der Sorte Earlina 8 FC geerntet. Bei einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160 kg N/ha lag der Kornertrag bei 8,6 dt/ha für FINOLA und bei 7,0 dt/ha für Earlina 8 FC. Ein kontinuierlicher Anstieg des Kornertrags mit steigender verfügbarer Stickstoffmenge wurde deutlich. Signifikante Unterschiede zwischen den Varianten N_{\min} und 160 bzw. 240 bestätigten den Trend in beiden Sorten. Für die Sorte FINOLA waren zudem die höheren beiden Dünge­stufen signifikant höher als die Variante mit 80 kg N/ha. Im Jahr 2022 war der durchschnittlich Kornertrag der Sorte FINOLA ähnlich hoch, allerdings waren die Veränderungen zwischen den Dünge­stufen moderat. Dies lässt sich durch die mit 43 mm geringen Niederschläge im Juli und August erklären. Zu Beginn des Wachstums war ausreichend Wasser vorhanden, woraufhin sich auch die Pflanzen mit weniger verfügbarem Stickstoff gut entwickelt haben. Der Kornertrag der Sorte FINOLA lag zwischen 10,8 dt/ha (N_{\min}) und 18,3 dt/ha (240), wobei sich die Variante N_{\min} signifikant von den Varianten 200 und 240 unterschied. Für die langstrohigen Sorten ergaben sich geringere Unterschiede zwischen den Dünge­stufen. Der Kornertrag lag zwischen 7,2 dt/ha (N_{\min}) und 10,6 dt/ha (240) für Earlina 8 FC sowie 8,6 dt/ha (N_{\min}) und 11,5 dt/ha (240) für Henola. Dabei ließen sich keine signifikanten Unterschiede feststellen. Bei einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160 kg N/ha war der Kornertrag für FINOLA mit 14,4 dt/ha sig-

nifikant höher als für die Sorte Earlina 8 FC mit 8,9 dt/ha. Die Sorte Henola unterschied sich mit 10,6 dt/ha nicht signifikant von den anderen beiden Sorten. Im Jahr 2021 ergaben sich durch maschinelle Fehler bei der Aussaat keine sortenreinen Parzellen, weshalb keine Rückschlüsse auf die einzelnen Sorten gezogen werden konnten. Daher wurden lediglich die Mittelwerte in den verschiedenen Dünge­stufen für alle drei Sorten zusammen bestimmt (Abbildung 78). Ohne zusätzliche Stickstoffversorgung wurde ein Kornertrag von 12,5 dt/ha erreicht. Am höchsten war der Ertrag mit 21,5 dt/ha in der Variante 200, während er bei 240 kg N/ha mit 17,6 dt/ha niedriger lag. Bei einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160 kg N/ha wurden für den Sortenmix 17,2 dt/ha, für die Sorte Fedora 17 5,7 dt/ha und für Uso 31 8,4 dt/ha ermittelt. Bei beiden langstrohigen Sorten kam es bei der Ernte aufgrund ihrer Wuchshöhe zu Schwierigkeiten. Der Strohertrag verhielt sich ähnlich wie der Kornertrag. 2020 stieg er deutlich mit zunehmender verfügbarer Stickstoffmenge an, wohingegen 2022 zwar ebenfalls Zunahmen zu verzeichnen waren, diese aber geringer ausfielen. Der Strohertrag lag 2020 für die Sorte FINOLA zwischen 12,0 dt/ha (N_{\min}) und 32,8 dt/ha (240) sowie für die Sorte Earlina 8 FC zwischen 25,3 dt/ha (N_{\min}) und 62,4 dt/ha (240). 2022 wurden 19,5 dt/ha (N_{\min}) bis 30,9 dt/ha (200) Stroh aus FINOLA, 39,7 dt/ha (N_{\min}) bis 63,0 dt/ha (240) Stroh aus Earlina 8 FC und 41,8 dt/ha (N_{\min}) bis 61,5 dt/ha (240) Stroh aus Henola geerntet. Bei einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160 kg N/ha waren die Stroherträge der Sorten Earlina 8 FC mit 51,1 dt/ha und Henola mit 49,0 dt/ha signifikant höher als die Stroherträge der Sorte FINOLA mit 28,1 dt/ha. 2021 lag der Strohertrag bei 160 kg N/ha in den Sorten Uso 31 mit 63,8 dt/ha und Fedora 17 mit 56,7 dt/ha etwas höher. Über alle Jahre betrachtet wurden signifikante Wechselwirkungen zwischen der Dünge­stufe und dem Strohertrag ($r = 0,535$) sowie dem Kornertrag ($r = 0,608$) ermittelt. Zusätzlich zeigte sich der Einfluss der Sorte auf Strohertrag ($r = 0,662$) und Kornertrag ($r = -0,421$). Im Vergleich zum Strohertrag im Faserhanf (vgl. Abschnitt 5.3.4) lieferten die vorrangig als Körnerhanf vermarkteten Sorten geringere Stroherträge. Allerdings wurden hohe Stroherträge geliefert, wodurch sich eine Doppelnutzung der Körner und des Strohs anbieten würde. Selbst für die kurzstrohige Sorte FINOLA wäre bei der Möglichkeit einer regionalen Weiterverarbeitung ein weiterer Absatzweg denkbar. Die untersuchten langstrohigen Sorten erreichten höhere Stroherträge, wodurch sie sich deutlich besser für eine Doppelnutzung eignen als die Sorte FINOLA. Ein Kompromiss bei der Ernte in Bezug auf den optimalen Erntetermin für die jeweilig gewünschte Qualität ist zu beachten. Mit einer hohen Faserqualität mit langen und feinen Fasern kann allerdings bei einer Ernte zur Samenreife auch bei den langstrohigen Körnerhanfsorten nicht gerechnet werden.

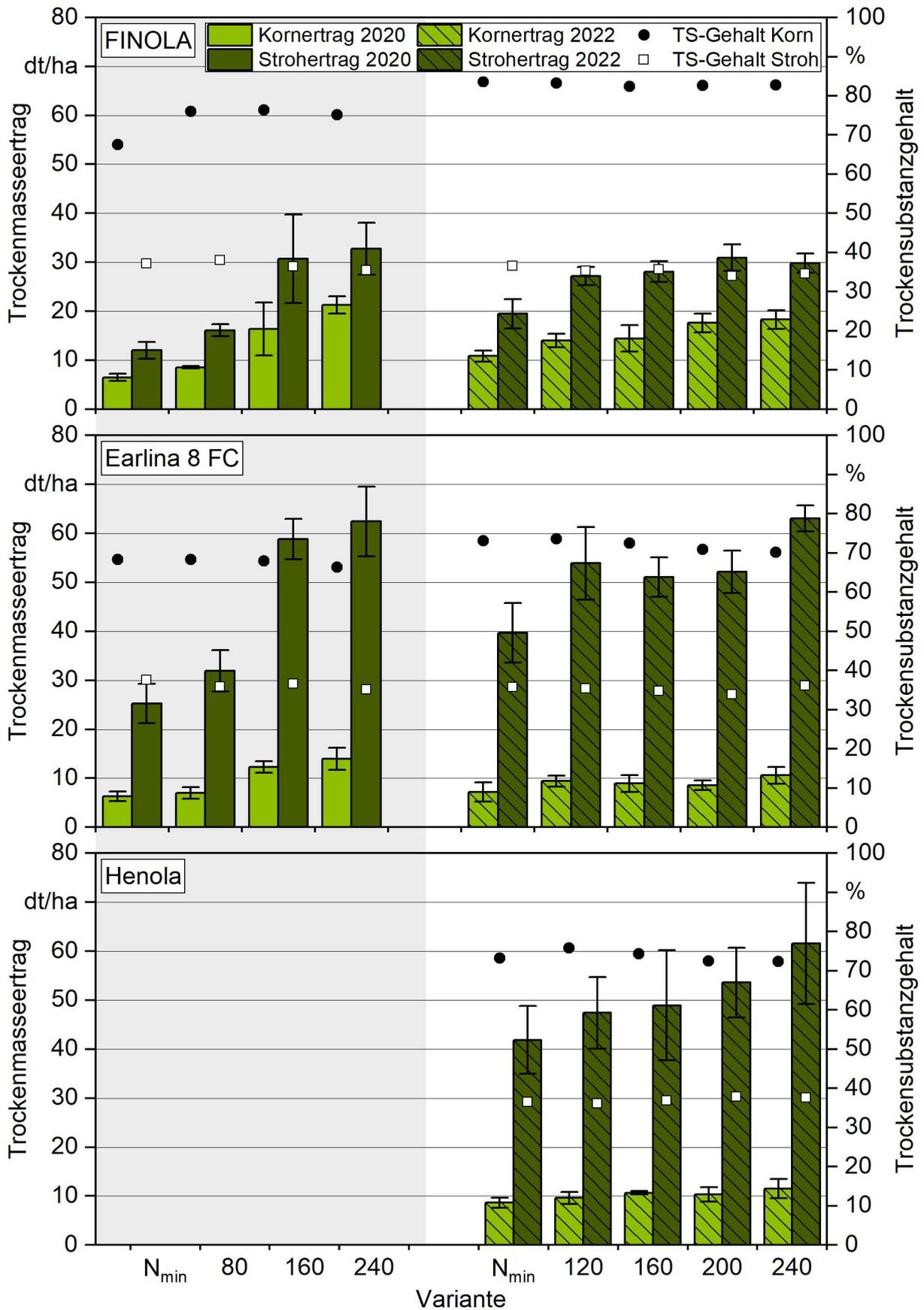


Abbildung 77: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt von Korn und Stroh am Standort TFZ in Abhängigkeit von Jahr, Sorte und Stickstoffverfügbarkeit

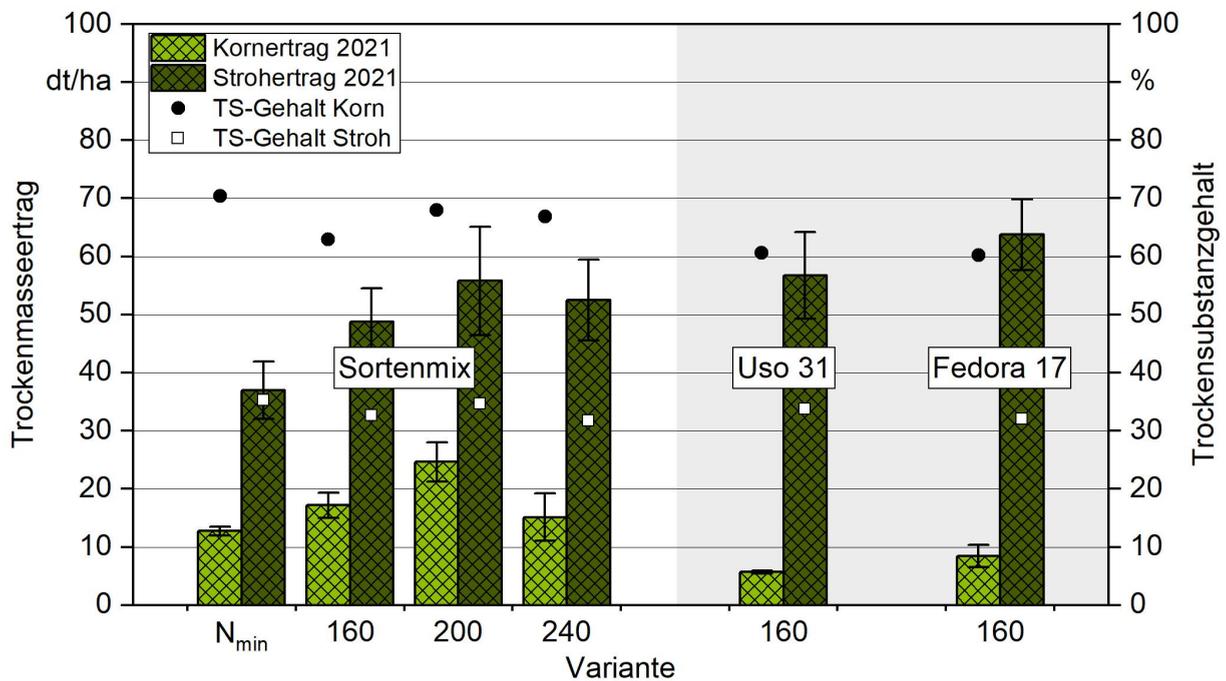


Abbildung 78: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt von Korn und Stroh am Standort TFZ im Jahr 2021 für den Sortenmix (FINOLA, Earlina 8 FC, Henola) und die Sorten Uso 31 und Fedora 17 in Abhängigkeit der Stickstoffverfügbarkeit

Am Standort HD war der Kornertrag grundsätzlich höher, entwickelte sich mit steigender verfügbarer Stickstoffmenge allerdings auf gleiche Weise wie am Standort TFZ. Im Jahr 2020 unterschied sich der Kornertrag für FINOLA in der Variante N_{min} mit 17,7 dt/ha signifikant von der Variante 240 mit 25,7 dt/ha. Im Jahr 2021 lag der Kornertrag zwischen 17,0 dt/ha (N_{min}) und 30,7 dt/ha (240), wobei sich alle vier Düngestufen signifikant voneinander unterschieden. Im Jahr 2022 lag er zwischen 15,8 dt/ha (N_{min}) und 18,0 dt/ha (240), wobei keine Unterschiede zwischen den Düngestufen ersichtlich waren. Der Kornertrag der Sorte Earlina 8 FC lag zwischen 21,5 dt/ha (N_{min}) und 16,6 dt/ha (240), der der Sorte Henola zwischen 18,4 dt/ha (N_{min}) und 19,3 dt/ha (240). Zwischen den Düngestufen kam es 2022 zu geringeren Schwankungen, da der N_{min}-Wert mit 178 kg N/ha bereits hoch ausfiel und somit den Bereich, in dem bisher der stärkste Ertragszuwachs zu verzeichnen war, bereits überschritt. Im Jahr 2022 lag der Kornertrag in der Variante N_{min} für FINOLA bei 15,8 dt/ha, für Earlina 8 FC bei 21,5 dt/ha und für Henola bei 18,4 dt/ha. Zwischen den drei Körnersorten ergaben sich geringere Unterschiede als am Standort TFZ. Dabei gilt es zu beachten, dass am Standort HD die langstrohigen Sorten später geerntet wurden als die Sorte FINOLA, während am Standort TFZ alle Sorten am selben Tag geerntet wurden. Im Jahr 2020 lag der Kornertrag von FINOLA bei einer Stickstoffversorgung von insgesamt 160 kg N/ha bei 21,0 dt/ha und im Jahr 2021 bei 23,8 dt/ha und war somit in diesen beiden Jahren höher als im Jahr 2022 und generell höher als am Standort TFZ. Der vergleichsweise geringe Kornertrag 2022 könnte, wie bereits im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf, an den besonders trockenen Bedingungen in der Zeit von Mai bis August gelegen haben. Auch die geringen Unterschiede zwischen den Düngestufen lassen sich einerseits durch die Trockenheit, aber auch durch das von Beginn an hohe Niveau der Stick-

stoffversorgung erklären. Im Vergleich zum Standort TFZ, an dem in diesem Jahr hohe Kornerträge erwirtschaftet wurden, waren am Standort HD die Globalstrahlung und die Wärmesumme von April bis August geringer als im Jahr 2020. Dies könnte auch einen Einfluss auf den Kornertrag gehabt haben. Der Strohertrag veränderte sich am Standort HD in Bezug auf die Stickstoffversorgung ebenfalls analog zum Kornertrag. Für die Sorte FINOLA lag er zwischen 17,9 dt/ha (N_{\min}) und 23,6 dt/ha (240) im Jahr 2020, zwischen 27,0 dt/ha (N_{\min}) und 43,8 dt/ha (240) im Jahr 2021 sowie zwischen 38,8 dt/ha (N_{\min}) und 47,2 dt/ha (240) im Jahr 2022. In der Sorte Earlina 8 FC wurden 68,8 dt/ha (N_{\min}) bis 76,3 dt/ha (240) und in der Sorte Henola 58,1 dt/ha (N_{\min}) bis 74,7 dt/ha (240) Stroh geerntet. Bei einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160 kg N/ha wurden 22,4 dt/ha Stroh im Jahr 2020 und 35,7 dt/ha im Jahr 2021 der Sorte FINOLA geerntet. Im Jahr 2022 waren es in der Variante N_{\min} 38,8 dt/ha für FINOLA, 68,8 dt/ha für Earlina 8 FC und 58,1 dt/ha für Henola.

Die Kornerträge an dem zusätzlichen Erntetermin lagen für die Sorten FINOLA und Henola in einem ähnlichen Bereich wie für den ersten Erntetermin und stiegen teilweise sogar etwas an. In der Variante 200 wurden 17,5 dt/ha (FINOLA) und 23,6 dt/ha (Henola) und in der Variante 240 20,9 dt/ha (FINOLA) und 22,8 dt/ha (Henola) geerntet. Eine Abnahme der Kornertrags, insbesondere auch bei der höheren Düngestufe war für die Sorte Earlina 8 FC zu beobachten. Der Kornertrag lag bei 16,8 dt/ha in der Variante 200 und bei 10,6 dt/ha in der Variante 240. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Sorten bei einem späteren Erntetermin unterschiedlich verhalten und daher die optimalen Erntetermine zu verschiedenen Zeitpunkten liegen. Für den Rückgang des Kornertrags der Sorte Earlina 8 FC können bereits ausfallende Körner, aber auch Vogelfraß verantwortlich gewesen sein.

Die Erträge schwankten an beiden Standorten stark zwischen den Jahren. Als Grund dafür sind die Witterungsbedingungen, insbesondere die Wasserverfügbarkeit zu nennen. Für die hier dargestellten Erträge gelten dieselben Zusammenhänge in Bezug auf die Witterungsbedingungen wie im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf (vgl. Abschnitt 5.3.4).

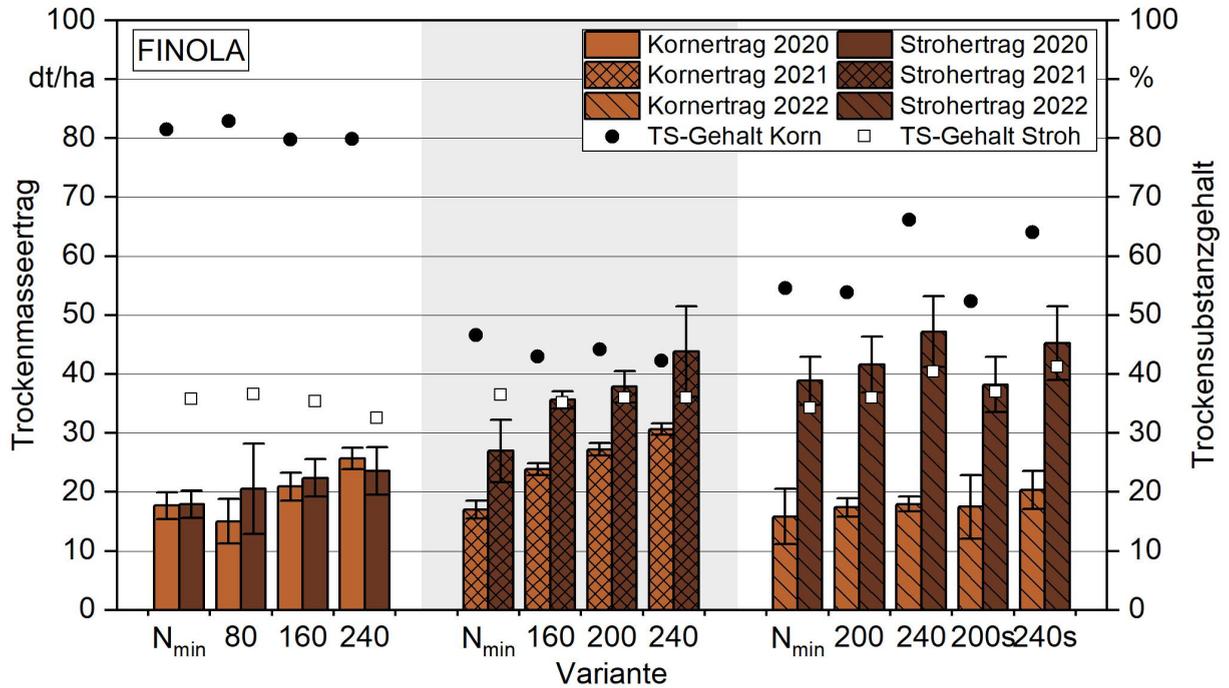


Abbildung 79: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt für Korn und Stroh am Standort HD in Abhängigkeit von Jahr und Stickstoffverfügbarkeit für die Sorte FINOLA

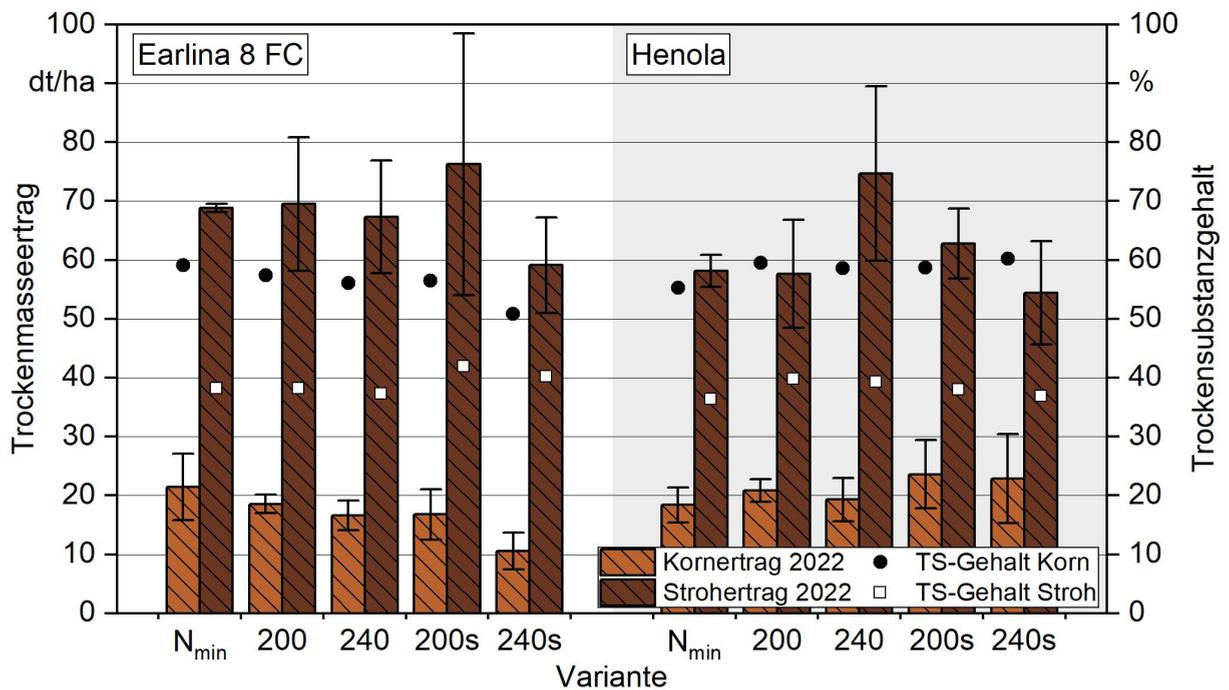


Abbildung 80: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt für Korn und Stroh am Standort HD im Jahr 2022 in Abhängigkeit von Sorte und Stickstoffverfügbarkeit

Neben den Standorten TFZ und HD wurde der Versuch im Jahr 2022 zusätzlich an zwei Praxisstandorten unter Betreuung durch die jeweiligen Landwirte durchgeführt. Am Stand-

ort Rhede wurde die Sorte Ferimon und am Standort Versmold die Sorte FINOLA etabliert. Der N_{\min} -Gehalt lag am Standort Rhede vor der Aussaat bei 65 kg N/ha, in Versmold bei 47 kg N/ha. Die Kornerträge wichen sehr stark voneinander ab (Tabelle 23). Am Standort Versmold ließen sich passable Erträge erwirtschaften. Mit 160 kg N/ha wurde der geringste Kornertrag erreicht. Er lag bei 9,42 dt/ha. Der höchste Kornertrag von 13,36 dt/ha wurde mit 200 kg N/ha erzielt. Ein Zusammenhang zwischen Stickstoffgabe und Kornertrag wurde nicht festgestellt. Am Standort Rhede wurde zwar in der Variante 120 kg N/ha der höchste Kornertrag erzielt, allerdings war er mit 1,59 dt/ha sehr gering. Der Hanfanbau ist an diesem Standort im Jahr 2022 nicht gelungen.

Tabelle 23: Trockenmassekornertrag an den Standorten Rhede und Versmold im Jahr 2022

Ort und Sorte	Rhede, Sorte Ferimon	Versmold, Sorte FINOLA
Variante in kg N/ha	Kornertrag in dt/ha	
N_{\min}	–	10,82
80	0,94	9,82
120	1,59	9,57
160	1,06	9,42
200	1,18	13,36
240	0,85	12,82

5.6.5 THC- und CBD-Gehalte im Korn

In der Praxis kommen häufig zu hohe THC-Gehalte in den Hanfkörnern und den daraus gewonnenen Produkten, wie z. B. Hanfsamenöl, infolge von Verunreinigungen der Körner mit anderen Pflanzenbestandteilen vor [4]. Besonders die Sorte FINOLA ist bekannt dafür, die Grenzwerte an Δ^9 -THC zu überschreiten. Die EFSA hat 2015 [37] als Richtwert eine akute Referenzdosis (ARfD) von 1 μg Δ^9 THC pro kg Körpergewicht für Milchprodukte (aus THC-haltigen Futtermitteln) veranschlagt. Seit 01.01.2023 gilt nach EU-VO 2022/1393 [36] für die Vermarktung der Ernteprodukte ein Δ^9 -THC-Grenzwert von 3,0 mg/kg in den Hanfkörnern und 7,5 mg/kg im Hanfsamenöl.

Die Menge an Δ^9 -THC in den Körnern unterschied sich zwischen den Standorten deutlich (Tabelle 24). Während am Standort TFZ durchschnittlich 2,7 mg/kg festgestellt wurden, waren es am Standort HD 4,6 mg/kg. Um herauszufinden, ob die THC-Gehalte durch den Zeitpunkt der Erntegutreinigung beeinflusst werden können, wurden Körner vor und nach der Trocknung gereinigt. Tendenziell zeigten sich geringere THC-Gehalte bei Reinigung nach der Trocknung als bei Reinigung vor der Trocknung. Dies lässt sich durch eine Harzanhaftung aufgrund mechanischer Beanspruchung bzw. Reibung verschiedener Pflanzenteile bei direkter Reinigung des frischen Ernteguts erklären. So gehen THC-reiche Stäube und Pflanzensäfte auf die Körner über. Da vonseiten des Labors eine Messunsicherheit von 40 % angegeben wurde, sind handfeste Aussagen nicht möglich. Ein statis-

tisch signifikanter Zusammenhang ließ sich nicht feststellen. Die gemessenen Werte bestätigen, dass von den untersuchten Sorten nur die Sorte FINOLA Probleme in Bezug auf die Grenzwertüberschreitung verursacht. Bei den Sorten Earlina 8 FC, Henola, Uso 31 und Fedora 17 wurden deutlich niedrigere THC-Gehalte, unterhalb des Grenzwerts, festgestellt. Aus der Praxis ist bekannt, dass eine gründliche Reinigung, teilweise auch das Bürsten und Polieren der Körner, zu einer Reduzierung des THC-Gehalts durch Entfernung von Stäuben und Pflanzensäften an den Körnern führen kann.

Die THC-Carbonsäure (THCA) ist in größeren Mengen in den Körnern enthalten als das Δ^9 -THC. Da es unter hohen Temperaturen in Δ^9 -THC umgewandelt wird, ist es ebenfalls für die Beurteilung der Lebensmittelsicherheit relevant. Es war zu beobachten, dass die THCA-Gehalte bei einer Reinigung vor der Trocknung höher lagen als bei einer Reinigung nach der Trocknung. Außerdem wurden bei dem Vergleich der Sorten für FINOLA deutlich höhere Werte gefunden als für die anderen Körnersorten. Der THCA-Gehalt für die Sorte FINOLA am Standort TFZ lag bei durchschnittlich 9,8 mg/kg, am Standort HD bei 12,3 mg/kg. Für Earlina 8 FC waren durchschnittlich 5,2 mg/kg am Standort TFZ und 4,0 mg/kg am Standort HD enthalten. Für Henola waren es 3,2 mg/kg am Standort TFZ und 3,8 mg/kg am Standort HD.

Der Gehalt an Cannabidiol (CBD) schwankte stark zwischen den Jahren und den Standorten. Der Unterschied zwischen den Sorten war nicht mehr so stark ausgeprägt wie für das THC. Der CBD-Gehalt für die Sorte FINOLA lag am Standort HD mit durchschnittlich 16,5 mg/kg höher als am Standort TFZ mit 11,5 mg/kg. Die Körner der Sorte FINOLA und Earlina 8 FC hatten an beiden Standorten den höchsten Gehalt an CBD. Durchschnittlich 10,8 mg/kg CBD wurden in den Körnern der Sorte Earlina 8 FC am Standort TFZ und 20 mg/kg am Standort HD festgestellt. Für die Sorte Henola waren es 6,5 mg/kg (TFZ) und 16,5 mg/kg (HD). Die CBD-Carbonsäure (CBDA) war das Cannabinoid mit den höchsten Gehalten im Korn. Sie waren für FINOLA mit 89 mg/kg (TFZ) und 94 mg/kg (HD) deutlich niedriger als für Earlina 8 FC (TFZ: 145 mg/kg; HD: 135 mg/kg) und Henola (TFZ: 115 mg/kg; HD 125 mg/kg).

Die Cannabinoid-Gehalte variierten sowohl zwischen den Sorten als auch zwischen den Standorten und den Versuchsjahren. Zwischen den Veränderungen der verschiedenen Cannabinoide ließen sich eindeutige Zusammenhänge beobachten. Für kein Cannabinoid zeigte sich eine signifikante Korrelation zwischen der Höhe der Düngemenge oder dem Zeitpunkt der Reinigung und der Höhe des Cannabinoid-Gehalts. Ein Effekt des Versuchsjahrs wurde nur für Δ^9 -THC und THCA, am Standort TFZ zusätzlich auch für CBD und CBDA festgestellt. Zwischen dem Δ^9 -THC und dem THCA wurde eine starke positive Korrelation ($R = 0,806$) beobachtet. Außerdem hängen die Gehalte an Δ^9 -THC und CBD ebenfalls direkt positiv zusammen ($R = 0,676$). Am Standort HD zeigte sich darüber hinaus eine positive Korrelation zwischen CBD und CBDA, die am Standort TFZ nicht nachgewiesen werden konnte. Der Gehalt an Δ^9 -THC bewegte sich an beiden Standorten in einem für Nutzhanf gewöhnlichen Rahmen, der allgemein zwischen 0 und 12 mg/kg liegt [54] [80]. Höhe und Zusammensetzung der Cannabinoide in den Hanfpflanzen sind überwiegend genetisch bestimmt, allerdings können Faktoren wie Erntezeitpunkt oder Standortbedingungen Einfluss nehmen. Kommt es zu trockenen Bedingungen steigen die Ge-

halte an THC und CBD [27]. Dies zeigte sich auch bei dem Vergleich der Werte für die Sorte FINOLA am Standort HD, an dem im Jahr 2022 besonders trockene Bedingungen vorherrschten.

Tabelle 24: Gehalte an Cannabinoiden (Δ^9 -THC, THCA, CBD, CBDA) in den Körnern bei einer Stickstoffversorgung von 160 kg N/ha an den Standorten TFZ und HD bzw. 240 kg N/ha im Jahr 2022 am Standort HD

Standort	Inhaltsstoff in mg/kg	Sorte	Jahr	TFZ		HD	
				Reinigung vor Trock- nung	Reinigung nach Trock- nung	Reinigung vor Trock- nung	Reinigung nach Trock- nung
Δ^9 -THC	FINOLA		2020	5,60	4,30	5,60	8,30
	Earlina 8 FC		2020	2,60	1,60	–	–
	FINOLA		2021	1,63*	0,95*	4,50	2,30
	Uso 31		2021	1,00	0,52	n. e.	n. e.
	Fedora 17		2021	0,73	0,68	n. e.	n. e.
	FINOLA		2022	1,70	3,00	5,90	3,60
	Earlina 8 FC		2022	0,96	0,60	2,10	2,30
	Henola		2022	0,75	0,74	2,10	2,30
THCA	FINOLA		2020	16,0	13,0	12,0	16,0
	Earlina 8 FC		2020	8,8	4,6	–	–
	FINOLA		2020	8,1*	5,4*	6,8	5,2
	Uso 31		2021	4,5	2,9	n. e.	n. e.
	Fedora 17		2021	3,8	2,2	n. e.	n. e.
	FINOLA		2022	7,1	5,0	23,0	11,0
	Earlina 8 FC		2022	4,3	2,9	4,7	3,2
	Henola		2022	3,1	3,3	4,6	2,9
CBD	FINOLA		2020	17,0	12,0	17,0	22,0
	Earlina 8 FC		2020	16,0	13,0	–	–
	FINOLA		2021	14,0*	8,8*	24,0	13,0
	Uso 31		2021	8,3	4,8	n. e.	n. e.
	Fedora 17		2021	7,9	6,8	n. e.	n. e.
	FINOLA		2022	5,1	12,0	13,0	10,0
	Earlina 8 FC		2022	8,7	5,2	20,0	20,0
	Henola		2022	5,9	7,0	18,0	15,3
CBDA	FINOLA		2020	100	130	86	94
	Earlina 8 FC		2020	170	130	–	–
	FINOLA		2021	150*	157*	75	57

Standort	Inhaltsstoff in mg/kg	Sorte	Jahr	TFZ		HD	
				Reinigung vor Trock- nung	Reinigung nach Trock- nung	Reinigung vor Trock- nung	Reinigung nach Trock- nung
		Uso 31	2021	150	58	n. e.	n. e.
		Fedora 17	2021	93	83	n. e.	n. e.
		FINOLA	2022	75	50	160	92
		Earlina 8 FC	2022	170	110	160	110
		Henola	2022	110	120	150	100

* Sortenmix aus FINOLA, Earlina 8 FC und Henola

5.6.6 Rohfettgehalt und Weender Analyse

Am Standort TFZ hatten die Körner einen Rohfettgehalt zwischen 29,0 und 36,9 % (Tabelle 25). Durchschnittlich lag er bei 34,5 % im Jahr 2020, 31,3 % im Jahr 2021 und 31,6 % im Jahr 2022. Aufgrund der nicht zu garantierenden Sortenreinheit im Jahr 2021 können die Sortenunterschiede nur für die Jahre 2020 und 2022 beurteilt werden. In der Variante mit 160 kg N/ha haben die Körner der Sorte FINOLA im Jahr 2020 35,5 % und im Jahr 2022 29,0 % Öl enthalten. Bei der Sorte Earlina 8 FC waren es 34,2 % (2020) und 31,3 % (2022). Die Sorte Henola hatte 2022 einen Rohfettgehalt von 31,0 % und wich damit kaum von der Sorte Earlina 8 FC ab. Die Menge verfügbaren Stickstoffs hatte keine Auswirkungen auf den Rohfettgehalt der Körner. Am Standort HD lag der Rohfettgehalt bei durchschnittlich 31,5 % (2020), 33,0 % (2021) und 32,1 % (2022). Insgesamt schwankte der Rohfettgehalt zwischen 29,8 und 34,4 %. Da keine Stufe mit 160 kg N/ha etabliert werden konnte und nur im Jahr 2022 verschiedene Sorten untersucht wurden, werden die durchschnittlichen Werte über alle Düngestufen verglichen. Die Körner der Sorte FINOLA hatten einen Rohfettgehalt von 31,6 %, die der Sorte Earlina 8 FC 33,8 % und die der Sorte Henola 31,0 %. Die Rohfettgehalte lagen in den Jahren 2021 und 2022 an beiden Standorten in einem für Hanf typischen Bereich von 30 bis 34 % [16]. Im ersten Jahr lagen sie am Standort TFZ vergleichsweise hoch.

Tabelle 25: Rohfettgehalt im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf

Standort		TFZ			HD		
Jahr		2020	2021	2022	2020	2021	2022
Variante	Sorte	Rohfettgehalt in %					
N _{min}	FINOLA	33,4	32,2*	32,0	32,7	31,9	32,9
120	FINOLA	–	–	31,5	–	–	n. e.
160	FINOLA	35,5	30,2*	29,0	32,6	31,7	n. e.
200	FINOLA	–	32,3*	33,0	–	34,4	31,1
240	FINOLA	34,1	31,1*	31,7	30,9	33,5	30,7
N _{min}	Earlina	34,3	*	33,4	–	–	34,0
120	Earlina	–	–	32,9	–	–	n. e.
160	Earlina	35,8	*	31,3	–	–	n. e.
200	Earlina	–	*	32,5	–	–	33,0
240	Earlina	36,9	*	31,9	–	–	34,3
N _{min}	Henola	–	*	31,4	–	–	30,7
120	Henola	–	–	31,3	–	–	n. e.
160	Henola	–	*	31,0	–	–	n. e.
200	Henola	–	*	31,1	–	–	32,6
240	Henola	–	*	30,0	–	–	29,8
160	Uso 31	–	30,0	–	–	n. e.	–
160	Fedora 17	–	31,3	–	–	n. e.	–

* Sortenmix aus FINOLA, Earlina 8 FC und Henola

Der Anteil an Wasser in der Kornprobe schwankte zwischen 5,2 und 7,2 % (Tabelle 26). Innerhalb eines Jahrs waren die Werte für die Variante mit einer höheren verfügbaren Stickstoffmenge etwas niedriger. Mit höherer Stickstoffverfügbarkeit hat im Jahr 2022 in allen Sorten der Anteil an Rohasche ab- und der an Rohprotein und Rohfett zugenommen. Bei der Rohfaser und den N-freien Extraktstoffen ließ sich keine einheitliche Veränderung beobachten. Bei den Sorten FINOLA und Henola nahmen die Rohfaser-Anteile zu und die N-freien Extraktstoffe ab, während es sich für die Sorte Earlina 8 FC gegenläufig verhielt. Auffällig ist, dass die Sorte Henola immer einen niedrigeren Gehalt an Rohprotein und Rohfett und einen höheren Rohfaseranteil aufwies als die anderen Sorten in diesem Jahr. Die gemessenen Nährstoffgehalte liegen in dem für die Sorte FINOLA vorgegeben Rahmen [20]. Die hohen Gehalte an Rohfett und Rohprotein machen Hanfkörner zu einem wertvollen Futtermittel [63]. Neben den Gehalten der verschiedenen Nährstoffe im Hanfkorn ist besonders auch die Zusammensetzung der Fettsäuren für die menschliche und tierische Ernährung von Bedeutung. Im Vergleich zu Raps und Sonnenblume hat Hanf zwar einen geringeren Rohfettgehalt [39], dafür allerdings einen höheren Anteil ungesättigter Fettsäuren, insbesondere auch an Omega-3-Fettsäuren [20]. Werden die Hanfkör-

ner als Futtermittel eingesetzt, hat dies auch positive Auswirkungen auf das Fettsäuremuster in tierischen Lebensmitteln, wie Milch und Eier [63].

Tabelle 26: Ergebnisse der Weender Analyse ausgewählter Varianten und Jahre

Variante	Sorte	Jahr	Wasser in % der TS	Roh- asche	Rohpro- tein	Rohfett	Rohfa- ser	N-freie Extrakt- stoffe
$N_{\min} = 80$	Mix*	2021	6,7	5,0	22,8	31,8	21,8	11,8
160	Mix*	2021	5,2	6,7	23,6	31,5	22,6	19,3
	Usó 31		6,5	5,4	22,1	31,3	23,6	11,1
	Fedora 17		6,6	5,3	21,3	29,9	24,2	12,7
120	FINOLA	2022	6,6	4,5	23,3	30,3	21,3	14,0
	Earlina 8 FC		7,0	4,5	23,2	34,3	21,9	9,6
	Henola		7,2	3,7	22,2	29,8	24,6	12,5
160	FINOLA	2022	6,5	4,2	24,9	34,1	22,8	7,5
	Earlina 8 FC		6,5	3,8	23,6	34,4	20,9	10,9
	Henola*		6,8	3,6	22,8	31,7	25,3	9,8

* Sortenmix gemittelt aus FINOLA, Earlina 8 FC und Henola

5.6.7 Korngrößenzusammensetzung

Zusätzlich zu den THC-Gehalten, CBD-Gehalten, Öl-Gehalten und der Weender Analyse wurde die Korngrößenzusammensetzung im Erntegut in den Versuchsjahren 2020 (nur TFZ) und 2022 (TFZ und HD) untersucht. Im Versuchsjahr 2021 konnte die Untersuchung aufgrund des starken Mottenbefalls des Probenmaterials leider nicht durchgeführt werden.

Im Versuchsjahr 2020 (Abbildung 81) waren für die Sorte FINOLA am Standort TFZ die meisten Körner in der Fraktion über 2,5 mm (41 %) zu finden, gefolgt von der Fraktion über 2,0 mm (39 %), der Fraktion über 2,8 mm (13 %) und anschließend der Fraktion über 1,0 mm (5 %). Die Fraktionen mit über 3,15 mm (1 %), über 4,0 mm (< 1 %) sowie der Abrieb in der Restfraktion (< 1 %) hatten mit Abstand den geringsten Anteil. Für die Sorte Earlina 8 FC ergab sich ein ähnliches Bild jedoch lag hier die Fraktion mit einer Korngröße über 2,0 mm (43 %) knapp über der mit 2,5 mm (42 %). Anschließend folgten wie bei der Sorte FINOLA die Fraktionen über 2,8 mm (12 %), über 1,0 mm (2 %) und über 3,15 mm (1 %). Die Fraktion über 4,0 mm (< 1 %) und die Restfraktion (< 1 %) stellten erneut die geringsten Anteile.

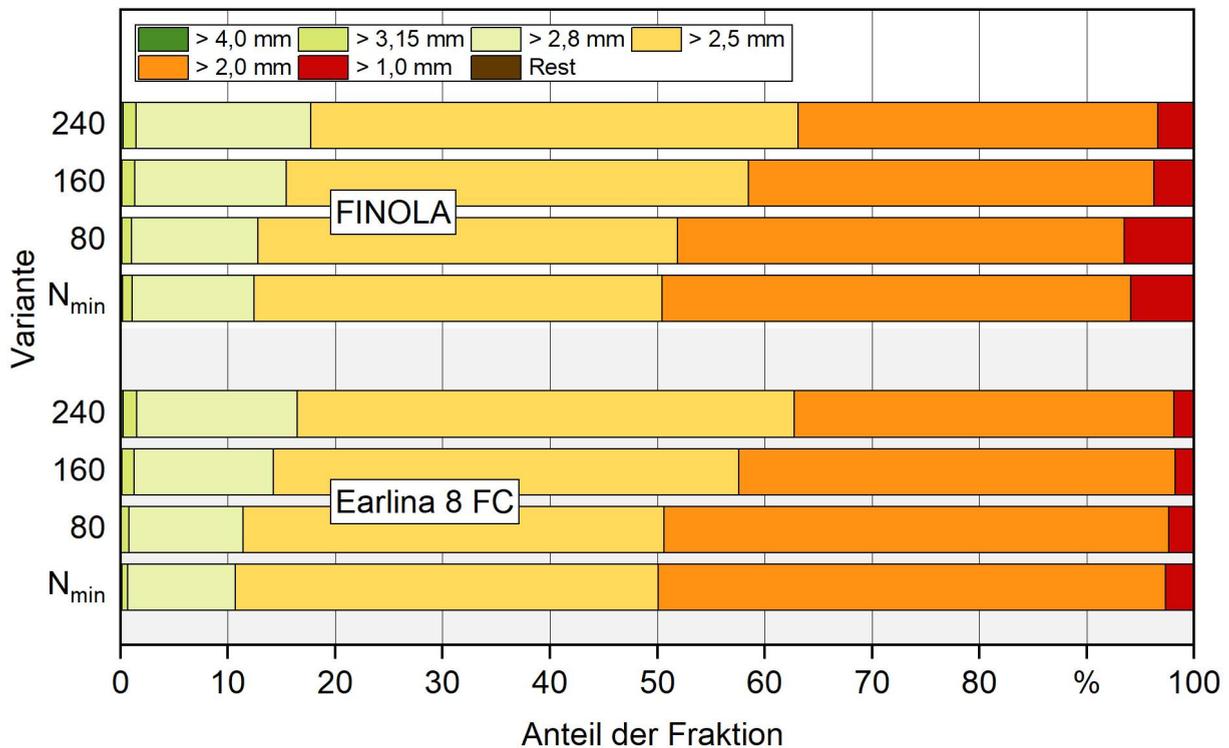


Abbildung 81: Korngrößenzusammensetzung der geernteten Körner in Abhängigkeit von Sorte und Stickstoffverfügbarkeit am Standort TFZ im Versuchsjahr 2020

Im Versuchsjahr 2022 wurde zusätzlich zu den Sorten FINOLA (FIN) und Earlina 8 FC (EAR) noch die Sorte Henola (HEN) untersucht (Abbildung 82). Im Gegensatz zum Versuchsjahr 2020 waren hier die meisten Körner in der Fraktion über 3,15 mm (FIN 44 %, EAR 43 %, HEN 61 %) zu finden. Anschließend folgten wie im Jahr 2020 die Fraktionen über 2,0 mm (FIN 33 %, EAR 36 %, HEN 24 %) und über 2,5 mm (FIN 20 %, EAR 19 %, HEN 13 %). Die Fraktionen über 1,0 mm, über 2,8 mm, über 4,0 mm und die Restfraktion bildeten wie im Vorjahr in allen Sorten die geringsten Anteile.

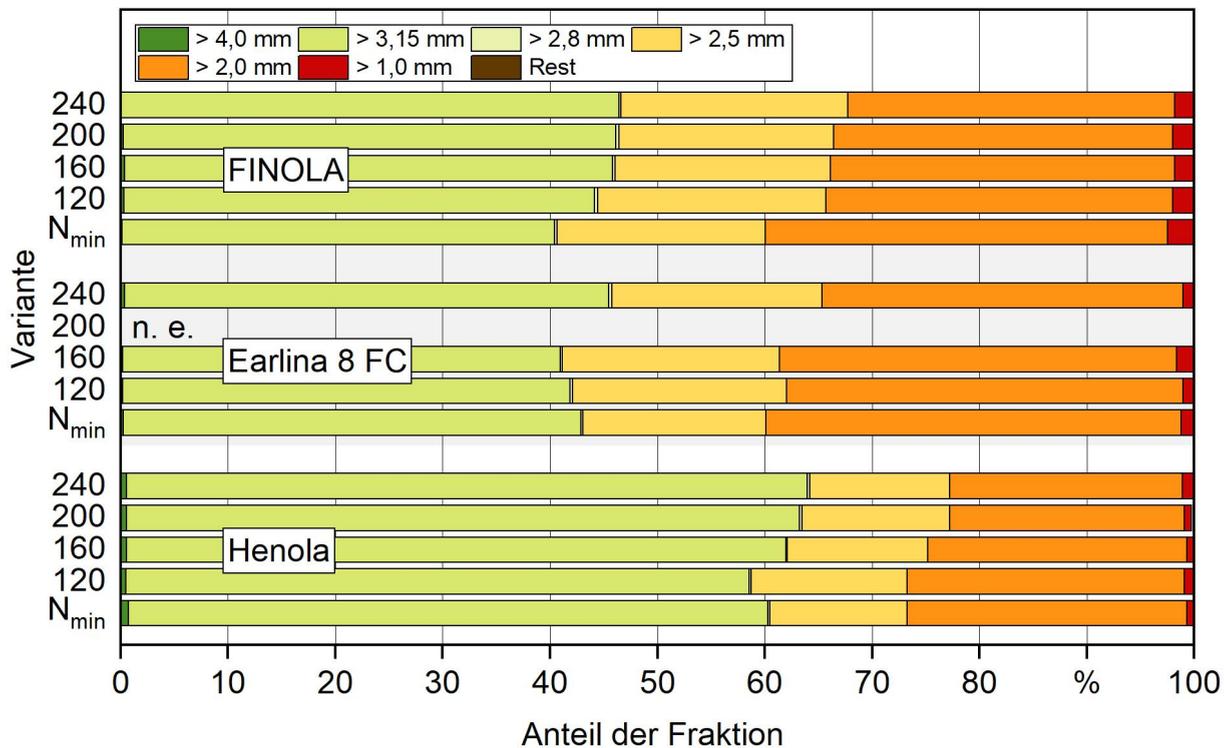


Abbildung 82: Korngrößenzusammensetzung der geernteten Körner in Abhängigkeit von Sorte und Stickstoffverfügbarkeit am Standort TFZ im Versuchsjahr 2022

Am Standort HD (Abbildung 83) ergab sich im Versuchsjahr 2022 ein ähnliches Bild wie am Standort TFZ. So waren auch hier die meisten Körner in der Fraktion über 3,15 mm (FIN 54 %, EAR 40 %, HEN 58 %) zu finden. Es folgten die Fraktionen mit über 2,0 mm (FIN 27 %, EAR 40 %, HEN 29 %) und mit über 2,5 mm (FIN 18 %, EAR 19 %, HEN 12 %). Wie am Standort TFZ bildeten die übrigen Fraktionen mit ≥ 1 die geringsten Anteile.

Bei Betrachtung der beiden Versuchsjahre am Standort TFZ fällt auf, dass der Anteil der Körner in den Fraktionen über 2,5 mm mit steigender Düngestufe stetig zunimmt, wobei der Zuwachs ab einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160 kg N/ha geringer wird. Eine Ausnahme bildeten hier lediglich die Varianten 120 und 160 der Sorte Earlina 8 FC aus dem Versuchsjahr 2022. Am Standort HD kann dieser Zusammenhang im Versuchsjahr 2022 mit Ausnahme der Sorte Earlina 8 FC nicht beobachtet werden. Aufgrund der sehr hohen N_{\min} -Werte vor der Aussaat und der verspäteten Ernte der Sorten Earlina 8 FC und Henola und des damit einhergehenden vermehrten Vogelfraßes könnte es allerdings zu Verzerrungen der Ergebnisse gekommen sein. Generell zeigte sich, dass die Sorte Henola an beiden Standorten mehr große Körner erzeugt hat als die anderen beiden Sorten. Diese Beobachtung deckt sich mit Berichten aus der Praxis.

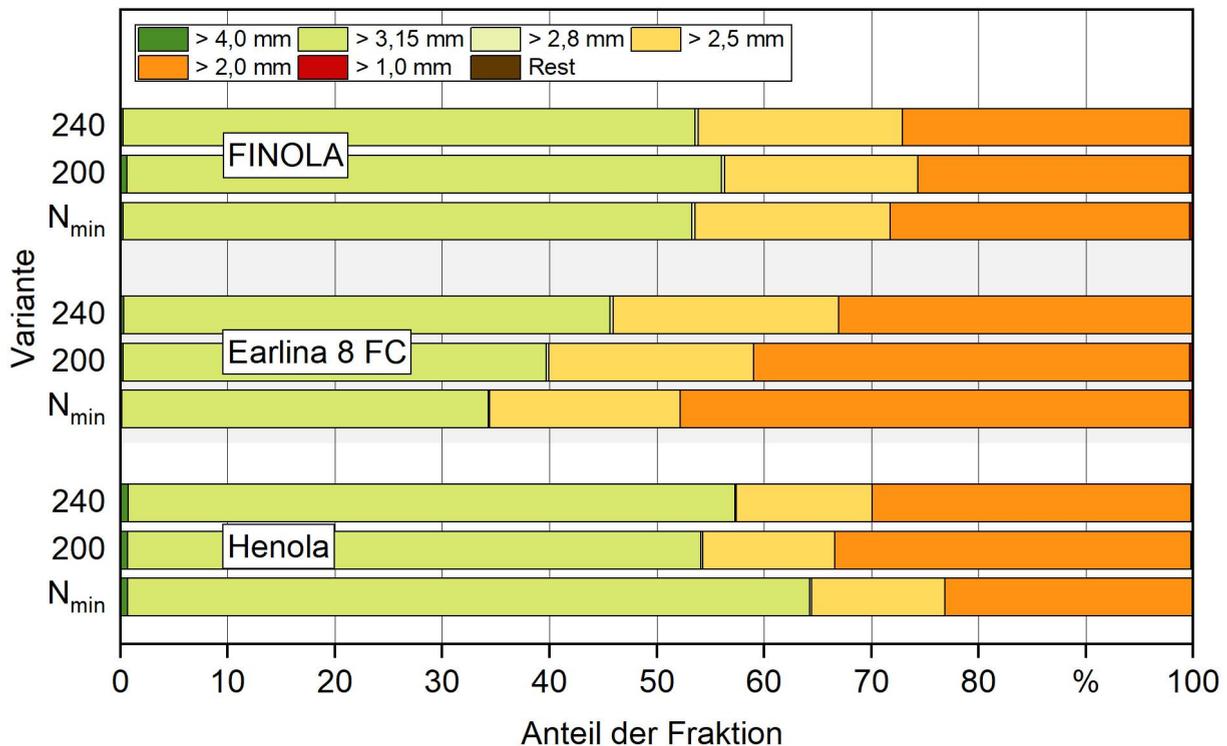


Abbildung 83: Korngrößenzusammensetzung der geernteten Körner in Abhängigkeit von Sorte und Stickstoffverfügbarkeit am Standort HD im Versuchsjahr 2022

Die Korngröße ist ein wichtiger Qualitätsfaktor in der Lebensmittelindustrie, da Körner unter 2,0 mm für die Nutzung als Lebensmittel ungeeignet sind. Diese sind selbst für das Pressen von Öl nicht mehr geeignet und werden von den Abnehmern meist entsorgt. Zwischen 2,0 und 3,0 mm wird ein Großteil der Körner zu Öl weiterverarbeitet. Ab einer Größe von 3,0 mm können Hanfsamen geschält werden und sind somit für die Lebensmittelindustrie interessant [50].

Im Versuchsjahr 2020 waren die erzeugten Kornqualitäten nicht für die Weiterverarbeitung in der Lebensmittelindustrie geeignet. Der Hauptteil der Körner (96 %) war, wenn überhaupt, nur für alternative Verarbeitungen wie z. B. das Pressen von Öl geeignet. Nur bis zu 1,5 % des Ernteguts der Versuche waren für das Schälen geeignet. Zusätzlich waren die Körner wie bereits beschrieben zum Großteil aufgesprungen. Daher wäre an eine Verwendung der Körner in der Lebensmittelindustrie, ungeachtet der Korngröße, nicht zu denken gewesen. Im Gegensatz dazu waren im Versuchsjahr 2022 für die Sorte FINOLA 40 bis 46 %, für die Sorte Earlina 8 FC 43 bis 45 % und für die Sorte Henola 60 bis 64 % des Ernteguts über 3,0 mm und somit für das Schälen geeignet. Je nach Sorte waren 35 bis 57 % des restlichen Ernteguts für das Pressen von Öl geeignet. Im Versuchsjahr 2022 waren in Abhängigkeit von Sorte und Variante lediglich 1 bis 3 % des Ernteguts aufgrund zu geringer Korngröße ungeeignet für eine Vermarktung. Des Weiteren wurden im Versuchsjahr 2022 keine aufgesprungenen Körner im Erntegut beobachtet.

Der Unterschied in den Kornqualitäten der beiden Versuchsjahre ist höchstwahrscheinlich auf unterschiedliche Temperaturverhältnisse der beiden Versuchsjahre zurückzuführen. Die Wärmesumme der Hauptwachstumsphase lag, bei ähnlichen Niederschlagsmengen,

2022 deutlich höher als im Versuchsjahr 2020 (vgl. Abschnitt 4.1.1). Eine andere Erklärung für die unterschiedlichen Kornqualitäten der beiden Versuchsjahre könnten Unterschiede in der Versorgung der Pflanzen mit bestimmten Mikro- und Makronährstoffen sein.

Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass die Korngröße mit steigender Menge verfügbaren Stickstoffs zunimmt und zusätzlich andere Faktoren die Korngröße positiv bzw. negativ beeinflussen. Um diese Einflussfaktoren näher zu bestimmen, müssen allerdings weitere Versuche durchgeführt werden.

5.6.8 Stickstoffbilanz

In Versuch zur Stickstoffsteigerung von Körnerhanf wurden am Standort TFZ nur in den Varianten N_{\min} , 80 und 120 negative N-Salden festgestellt. Die Stickstoffentzüge lagen in diesem Versuch für das Korn zwischen 25,27 und 88,00 kg N/ha (FINOLA), 21,62 und 59,02 kg N/ha (Earlina 8 FC) sowie 27,77 und 43,08 kg N/ha (Henola). Für die Strohfraktion lagen die Entzüge zwischen 10,64 und 34,39 kg N/ha (FINOLA), 13,90 und 62,09 kg N/ha (Earlina 8 FC) sowie 18,43 und 58,45 kg N/ha. Der Sortenmix (Abbildung 85) im Versuchsjahr 2021 wies für das Korn Entzüge zwischen 45,55 und 78,92 kg N/ha und für das Stroh zwischen 29,17 von 87,35 kg N/ha auf. Mit Ausnahme des Versuchsjahrs 2021, in dem ausschließlich negative N-Salden zu verzeichnen waren, wurden in den Versuchsjahren 2020 (Abbildung 84) und 2022 (Abbildung 87) nur in den zwei jeweils niedrigsten Düngestufen der einzelnen Sorten negative N-Salden beobachtet. Im Gegensatz zum Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf, war die verfügbare Stickstoffmenge nach der Ernte, mit einigen Ausnahmen in der Variante 240 im Versuchsjahr 2022, in allen Varianten niedriger als vor der Aussaat.

Am Standort HD (Abbildung 86) bewegten sich die Entzüge für das Korn zwischen 62,28 und 124,50 kg N/ha (FINOLA), 69,17 und 86,03 (Earlina 8 FC) sowie 70,96 und 80,76 kg N/ha und zwischen 12,18 und 68,38 kg N/ha (FINOLA), 69,49 und 80,75 kg N/ha (Earlina 8 FC) sowie 50,00 und 90,36 kg N/ha (Henola) für das Stroh. In der Regel war der N-Saldo negativ und stieg mit steigender Düngung an. Die deutlich höheren Erträge am Standort HD führten zu höheren N-Entzügen, die sich wiederum in geringeren N-Salden und geringeren N_{\min} -Werten nach der Ernte widerspiegelten. Wie bereits im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf nahmen die N-Entzüge nicht entsprechend der N-Düngung zu, sodass ein kontinuierlicher Anstieg des N-Saldos zu beobachten war. Jedoch nahm die verfügbare Stickstoffmenge im Boden, mit Ausnahme der Variante 240 aller drei Sorten im Versuchsjahr 2022 am Standort TFZ, ab.

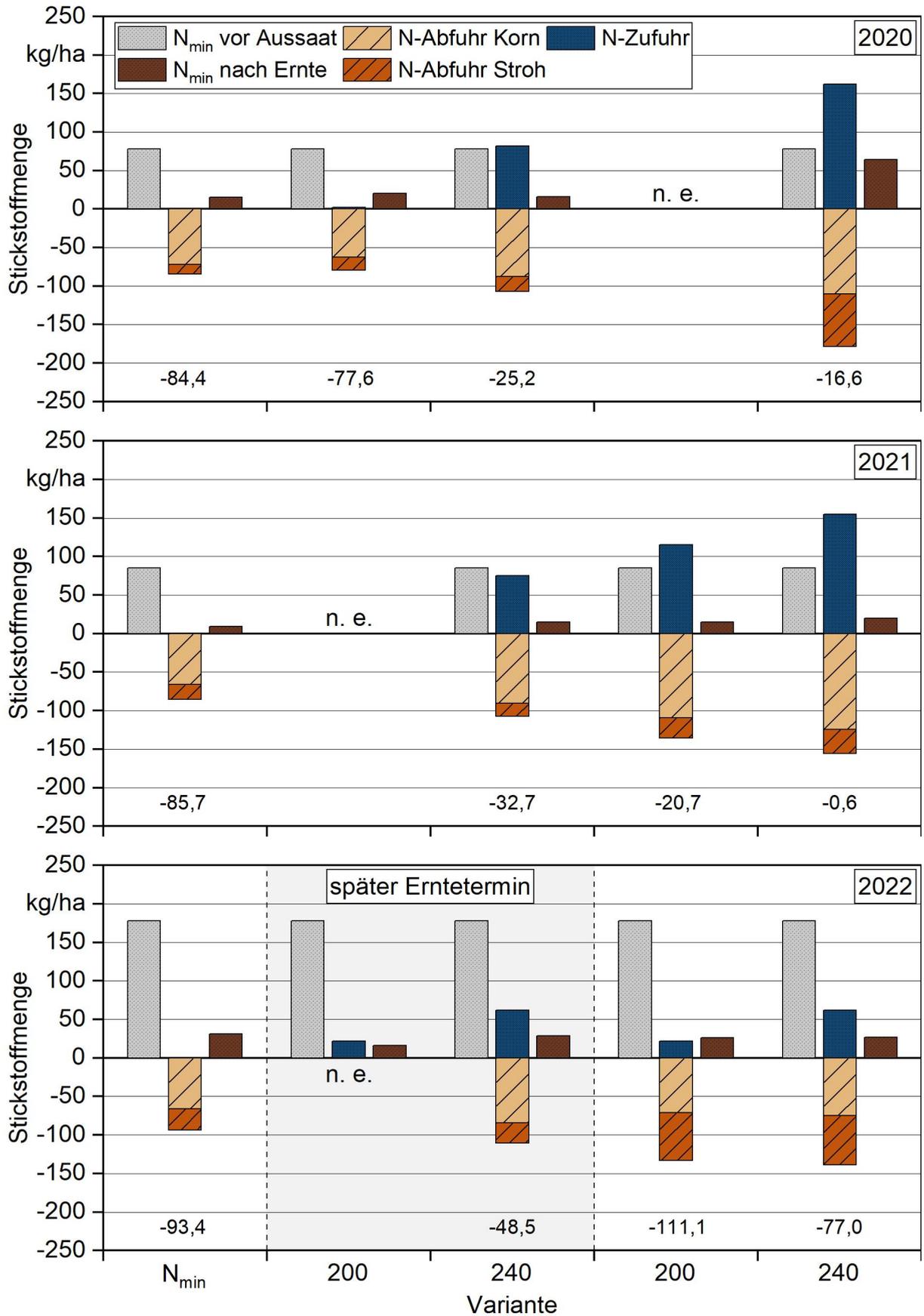


Abbildung 86: N-Zufuhr und N-Abfuhr mit N-Saldo (Wert = Zufuhr – Abfuhr) im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf am Standort HD

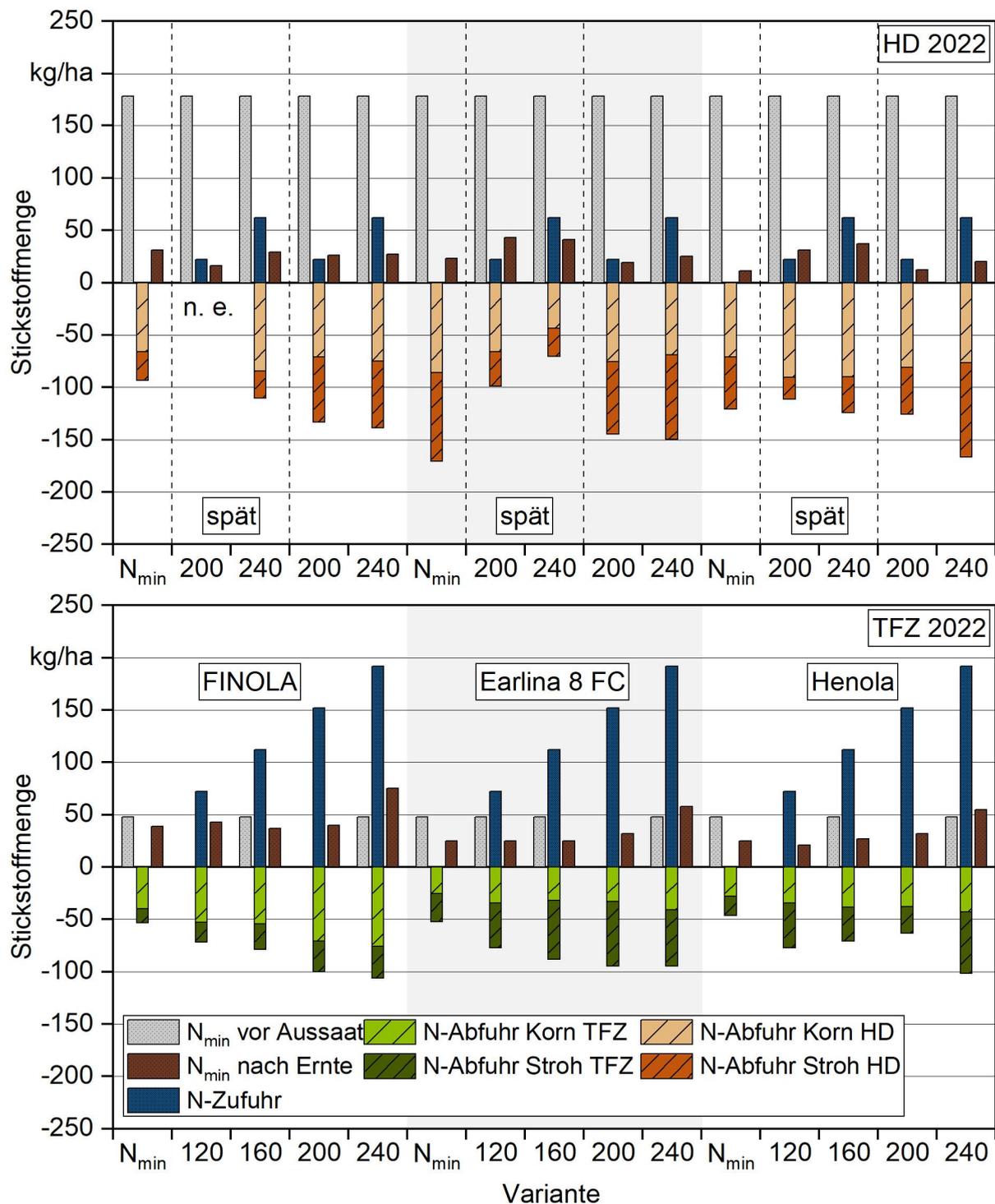


Abbildung 87: N-Zufuhr und N-Abfuhr mit N-Saldo (Wert = Zufuhr – Abfuhr) im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf beider Standorte im Versuchsjahr 2022 (N-Salden siehe Tabelle 50 und Tabelle 51)

Erneut kann anhand der N-Bilanz allein keine eindeutige Düngeempfehlung ausgesprochen werden. Am Standort TFZ wurden bereits bei einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160 kg N/ha positive N-Salden beobachtet. Jedoch befanden sich diese bei einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160 kg N/ha noch in einem akzeptablen Bereich. Am Standort

HD hingegen wurden auch bei einer verfügbaren Stickstoffmenge von 240 kg N/ha noch negative N-Salden beobachtet. Wie bereits im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf stiegen die Salden jedoch in der letzten Düngestufe stark an, sodass auch hier keine Empfehlung für eine Düngung mit 240 kg N/ha gegeben werden kann. In Deutschland werden in der Praxis für die Nutzungsrichtung Körner Stickstoffmengen von 80 bis 120 kg N/ha empfohlen [17] [19]. Hingegen beschreibt eine kanadische Studie, dass der maximale Samenertrag bei einer verfügbaren Stickstoffmenge von 210 kg N/ha erreicht wird [6]. Jedoch erscheint anhand der durchgeführten Versuche und unter Einbeziehung des Ertrags auch für die Nutzungsrichtung Körner eine Düngung mit bis zu 160 kg N/ha in Abhängigkeit des Standorts als angemessen. Auf Standorten, an denen mit niedrigeren Erträgen gerechnet werden muss, sollte ein dementsprechender Abschlag erfolgen. Diese Ergebnisse decken sich mit den aktuellen Düngeempfehlung von Faserhanf im Gelben Heft [10] [93] und bestätigen, dass eine Düngung mit 160 kg N/ha auch für die Körnerhanfnutzung angemessen ist. Der Feuchtmasse-Ertrag lag bei einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160 kg/ha am Standort TFZ im Jahr 2020 bei 21 bzw. 18 dt/ha in den Sorten FINOLA und Earlina 8 FC. Im Jahr 2022 lagen sie bei 18, 12 und 14 dt/ha in den Sorten FINOLA, Earlina 8 FC und Henola. Am Standort HD wurden 26 dt/ha FINOLA im Jahr 2020 und 32 dt/ha im Jahr 2021 erreicht. Anhand der gesammelten Daten scheint ein Ertragsniveau von 15 dt FM/ha realistisch. Jedoch handelt es sich lediglich um eine grobe Einschätzung anhand der gesammelten Daten und eine präzise Berechnung seitens der LfL muss noch erfolgen.

5.7 Versuch zum Winterhanfanbau

Im Versuch zum Winterhanfanbau wurde der Einfluss des Aussaattermins auf die Entwicklung, den Ertrag sowie die Qualität der daraus entstehenden Fasern untersucht. Hierzu wurden die Sorten Fedora 17 und Santhica 27 zu vier verschiedenen Aussaatterminen angebaut.

5.7.1 Standort TFZ

Im ersten Versuchsjahr wurden alle vier Aussaattermine am Technologie- und Förderzentrum erfolgreich etabliert. Jedoch zeigte sich ein deutlich verzögertes Längenwachstum, wodurch die Pflanzen am 08.10.2022 lediglich eine durchschnittliche Höhe zwischen 72 cm und 85 cm aufwiesen. Trotz der geringen Pflanzenhöhe wechselte ein Teil der Hanfpflanzen bereits Ende August in die generative Phase und erreichte bis Ende der Vegetationsperiode sogar die Samenreife. Der Bestand wurde zur Standröste auf dem Feld belassen. Aufgrund der geringen Wuchshöhe und der bereits erfolgten Blüte inklusive der Samenbildung war der Bestand nicht erntewürdig und wurde Anfang 2021 umgebrochen.

Im Jahr 2021 kam es aufgrund der Bodenbeschaffenheit zu Problemen bei der Kultivierung. Die Vorfrucht Gerste trocknete durch die dauerhaft feuchte Witterung nicht ab, konnte nicht gedroschen werden und wurde daher deutlich verspätet mit dem Häcksler entfernt. Das hohe Gewicht der Erntemaschine erzeugte unvermeidbare Bodenverdich-

tungen. Die bekannte hohe Sensibilität von Hanf gegenüber Bodenverdichtungen zeigte sich durch einen heterogenen Feldaufgang und vermindertes Wachstum in den quer zur Parzellenrichtung verlaufenden Spurgassen (Abbildung 88). Wie bereits im Vorjahr ging der Hanf bei geringer Pflanzenhöhe in die generative Phase über und erzeugte eine Notblüte. Der Bestand wurde daraufhin Mitte Oktober aufgegeben.



Abbildung 88: Feldaufgang von Winterhanf des ersten Aussaattermins am 25.08.2021 neben den Parzellen des zweiten Aussaattermins (links) und ungleichmäßiger Bestand am 30.09.2021 (rechts)

Im dritten Versuchsjahr war die Ernte der Gerstenfläche aufgrund der Witterungsverhältnisse nicht fristgerecht möglich. Daher wurde der Versuch auf eine andere Fläche, auf der zuvor Hafer angebaut worden war, verlegt. Der erste Aussaattermin erfolgte Anfang Juli, jedoch wurde bis Anfang August aufgrund der Trockenheit kein Auflaufen der Hanfsamen beobachtet. Die anhaltende Trockenperiode führte dazu, dass die anderen Aussaattermine nicht realisiert und der Versuch schließlich Anfang August verworfen wurde.

5.7.2 Standort HD

Am Standort HD wurde der Versuch in allen drei Versuchsjahren erfolgreich etabliert. Im Versuchsjahr 2020 wurde er, ähnlich wie am TFZ, jedoch für nicht erntewürdig befunden. Daher wurden neben dem Ertrag in diesem Versuchsjahr keine weiteren Daten erfasst bzw. Untersuchungen durchgeführt. Da die Ergebnisse des letzten Versuchsjahrs zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht vorliegen, konzentriert sich der folgende Abschnitt hauptsächlich auf die Ergebnisse des zweiten Versuchsjahrs.

Die Bestände im Winterhanf entwickelten sich ähnlich wie die Bestände der im Sommer kultivierten Pflanzen. Bis zum Ende der Vegetationsperiode im November erreichten die Bestände des letzten Aussaattermins das Ende der Hauptblüte (BBCH 69). Bei den Beständen des ersten Aussaattermins hatten bereits nahezu alle Früchte ihre sortenspezifische Größe erreicht (BBCH 79). Die Bestände der beiden mittleren Aussaattermine lagen mit ihrer Entwicklung, zwischen den BBCH-Stadien 72 und 75 (dritter Aussaattermin) und 75 und 77 (zweiter Aussaattermin), inmitten der beiden anderen Aussaattermine.

Die Ernte des Winterhanfversuchs aus dem zweiten Versuchsjahr fand Anfang 2022 statt. Die durchschnittliche Erntehöhe lag für die Bestände des ersten Aussaattermins der Sorte Santhica 27 bei 152 cm und sank zum vierten Aussaattermin auf 107 cm. Ähnliches wurde für die Sorte Fedora 17 beobachtet. Hier sank die durchschnittliche Erntehöhe von 136 cm beim ersten Aussaattermin auf 109 cm beim vierten Aussaattermin (Tabelle 27). Der Stängeldurchmesser der beiden Sorten lag zwischen 5,5 und 7,5 mm, wobei der Stängeldurchmesser der Sorte Santhica 27 vom ersten zum letzten Aussaattermin kontinuierlich abnahm und der der Sorte Fedora 17 vom ersten auf den zweiten Aussaattermin zunahm, um zum vierten Aussaattermin wieder abzunehmen (Tabelle 27). Im Gegensatz zum Entwicklungsverlauf, der in den Beständen des Sommer- und Winteranbaus vergleichbar war, unterschied sich die Pflanzhöhe der Bestände vor Ernte deutlich von den im Sommer angebauten Beständen. So erreichten die Bestände der Sorte Fedora 17, die als Winterzwischenfrucht angebaut wurden, nur ein Drittel der Höhe der im Sommer 2021 (vgl. Abschnitt 5.6.1) angebauten Pflanzen dieser Sorte. Da die Wuchshöhe stark von den herrschenden Temperaturverhältnissen abhängig ist [27], war diese Beobachtung allerdings nicht verwunderlich. Auffällig war, dass der Höhenunterschied zwischen dem ersten Aussaattermin, Ende Juli, und dem letzten Aussaattermin, Ende August, in den Beständen der Sorte Santhica 27 viel deutlicher war als in den Beständen der Sorte Fedora 17. Zusätzlich wurde beobachtet, dass die Endhöhe der Bestände der Sorte Fedora 17 der beiden späteren Aussaattermine höher lag als die der Sorte Santhica 27. Dies deutete in Kombination mit dem Anstieg des Stängeldurchmessers vom ersten auf den zweiten Aussaattermin darauf hin, dass die Sorte Fedora 17 besser mit den geringeren Temperaturen und der verkürzten Vegetationszeit zurechtkam als die Sorte Santhica 27 und daher bei einer Aussaat nach Mitte August besser geeignet sein könnte.

Tabelle 27: Pflanzhöhe vor Ernte im Versuch zum Winterhanfanbau am Standort HD

Sorte	Santhica 27		Fedora 17	
Variante	Pflanzhöhe in cm	Stängeldurchmesser in mm	Pflanzhöhe in cm	Stängeldurchmesser in mm
Ende Juli	152	7,5	136	6,2
Anfang August	129	6,9	129	6,7
Mitte August	118	6,4	122	6,7
Ende August	108	5,6	109	5,5

Der Feldaufgang lag mit 72 bis 99 % im Vergleich mit den im Sommer angebauten Pflanzenbeständen sehr hoch, wobei der Feldaufgang bei der Sorte Santhica 27 vom ersten zum letzten Aussaattermin durchgängig stieg und bei der Sorte Fedora 17 vom ersten zum dritten Aussaattermin sank, um zum letzten Aussaattermin wieder zu steigen. Die Selbstausdünnung bewegte sich in diesem Versuch zwischen 6 und 20 %, wobei sie in den Beständen der letzten beiden Aussaatterminen der Sorte Santhica 27 mit 17 und 20 % deutlich höher lag als bei den restlichen Varianten im Versuch. Dies ist vermutlich auf den

hohen Feldaufgang und die damit verbundene Konkurrenz um Nährstoffe und Wasser zurückzuführen.

Der Röststrohertrag schwankte bei den Beständen der Sorte Santhica 27 zwischen 7,9 und 12,1 dt TM/ha mit einem Maximalertrag bei einer Aussaat Anfang August. Bei den Beständen der Sorte Fedora 17 stieg der Ertrag ebenfalls zur Variante mit Aussaattermin Anfang August an und erreichte dort das Maximum von 10,4 dt TM/ha. Im Gegensatz zur Sorte Santhica 27, deren Ertrag nach dem Optimum bei einer Aussaat Anfang August stetig sank, wurde bei den Beständen der Sorte Fedora 17 vom dritten zum vierten Aussaattermin erneut ein Ertragsanstieg beobachtet. Im Vergleich zu den Erträgen der typischen Faserhanfsorten die als Hauptfrucht im Frühjahr ausgesät werden, erzielt der Winterhanf deutlich geringere Erträge. Jedoch ist dies aufgrund der geringeren Temperaturen, des geringeren Stickstoffangebots und der verkürzten Vegetationsperiode nicht verwunderlich.

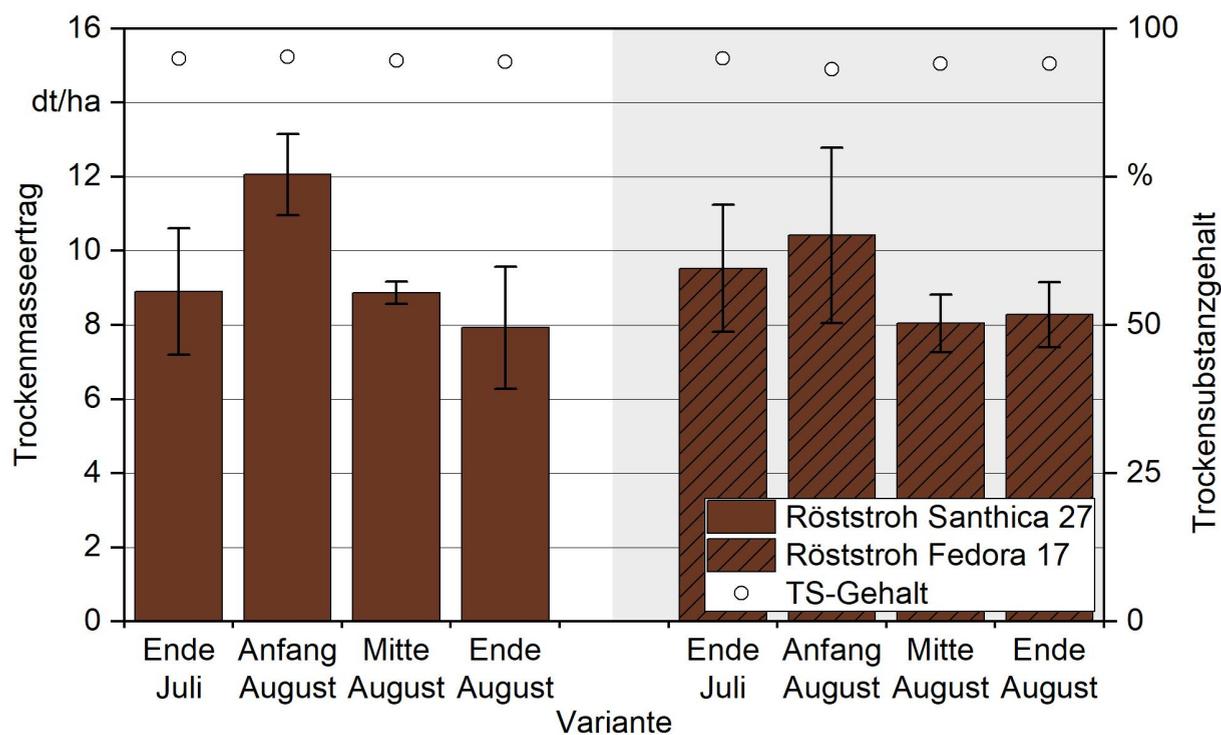


Abbildung 89: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt von Röststroh im Versuch zum Winterhanfanbau im Versuchsjahr 2021 am Standort HD in Abhängigkeit von Aussaattermin und Sorte

Die Faserproben zeigten ein völlig anderes Entholzungsverhalten als der Sommerhanf. Die meisten Bastanteile waren im Jahr 2021 schon vom Holzkern abgelöst, sodass sie abgezogen werden konnten, ohne den Holzkern zu brechen (Abbildung 90). Um die Bastfasern quantitativ zu erfassen, müssen die nicht abgelösten Baste jedoch gebrochen und entholzt werden. Der Entholzungsaufwand war wesentlich geringer als bei Sommerhanf, wodurch eine Schäbenfreiheit bereits nach zwei bis drei Durchgängen erreicht werden konnte. Die Fasern waren relativ spröde und besaßen augenscheinlich eine geringere technische Faserlänge und Festigkeit gegenüber dem Sommerhanf. Es zeigten sich noch

befriedigende Ausbeuten. Sie lagen bei 18,3 % für die Sorte Santhica 27 und bei 17,9 % für die Sorte Fedora 17 (Abbildung 91). Der Aussattermin hatte keine Auswirkung auf die Faserausbeute. Nach dem chemischen Aufschluss sind die Winterhanffasern weniger hell und ungleichmäßiger verglichen mit dem Sommerhanf. Sie lassen sich jedoch verhältnismäßig gut verfeinern, wobei bedingt auch durch die höhere Sprödigkeit eine unterschiedlich starke Einkürzung stattfand. Um Unterschiede im Verfeinerungsgrad der Winterhanffasern zu erkennen, wurden die Fasern nach dem chemischen Aufschluss mechanisch geöffnet. Grundsätzlich waren keine gravierenden Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten zu erkennen. Probe 12 (Santhica 27, 2. AST) zeigte die höchste und Probe 16 (Fedora 17, 2. AST) die niedrigste Verfeinerung (Fibrillierung). Probe 12 besaß einen höheren Anteil teilelementarierter und bereits fibrillierter Fasern (30–50 µm) als Probe 16, während diese einen höheren Anteil unaufgeschlossener Faserbündel enthielt. Bei der spektroskopischen Untersuchung waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten zu erkennen. Allerdings zeigte sich ein deutlicher Unterschied in der chemischen Zusammensetzung zwischen Winter- und Sommerhanf. Ersterer hatte einen höheren Ligninanteil und einen höheren Wasseranteil als der normal geröstete Sommerhanf. Der Winterhanf war eindeutig spröder und weniger fest als der Sommerhanf. Allerdings ist ein direkter Vergleich schwierig, da es sich um unterschiedliche Standorte handelte.



Abbildung 90: Auftrennung der Winterhanfstängel in Fasern und den holzigen Teil ohne Brechen

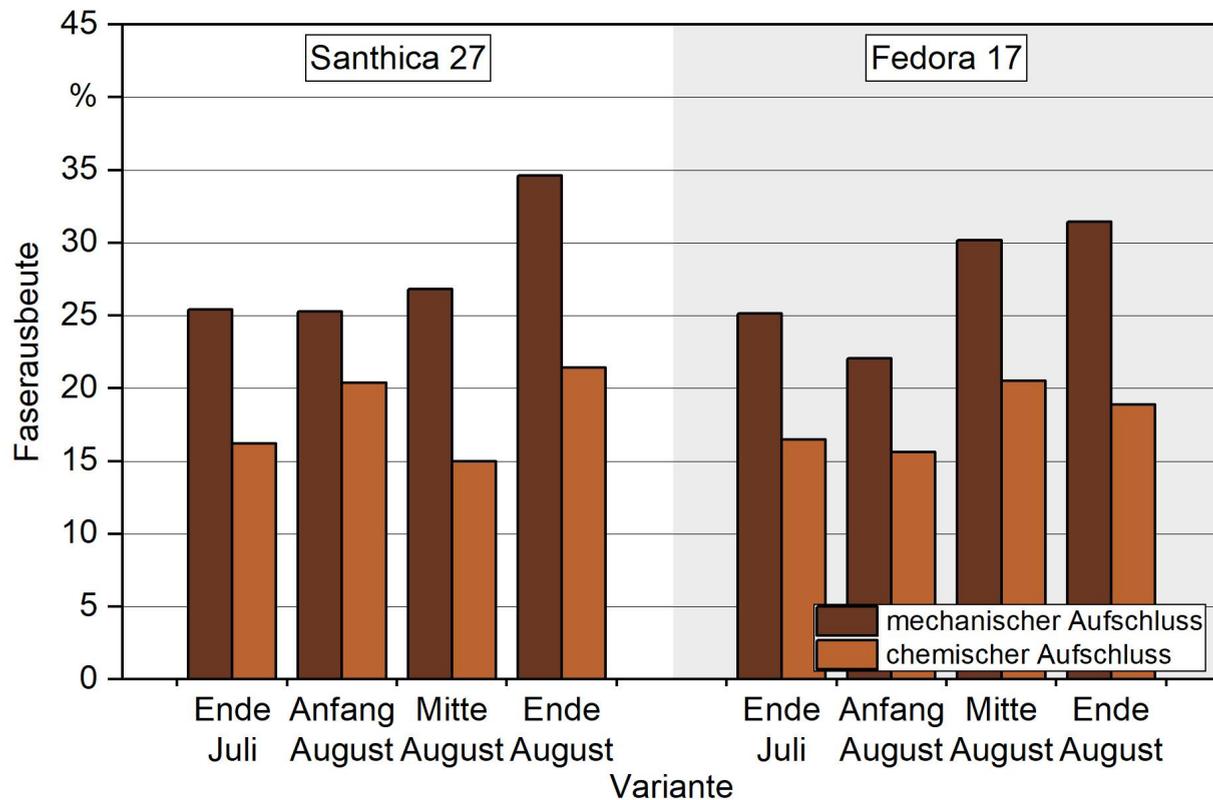


Abbildung 91: Faserausbeute im Versuch zu Winterhanf nach dem mechanischen und chemischen Faseraufschluss in Abhängigkeit der Sorte und des Aussaatstermins

5.7.3 Fazit

Die Ergebnisse und damit auch die Empfehlungen für den Anbau von Winterhanf variieren in Abhängigkeit des Standorts. So kann am Standort TFZ keine Empfehlung für den Anbau von Winterhanf ausgesprochen werden, da in keinem der drei Versuchsjahre ein erntewürdiger Bestand kultiviert wurde. Gründe hierfür sind die ungünstigen Witterungsverhältnisse im Erntezeitraum der Hauptfrucht sowie nach der Aussaat und die Stickstoffverfügbarkeit aufgrund der Lage im roten Gebiet.

Hingegen kann am Standort HD eine teilweise Empfehlung für den Winterhanfanbau ausgesprochen werden. Zwar kam es auch hier zu Ertragsausfällen aufgrund nicht erntewürdiger Bestände, grundsätzlich gelang die Etablierung dennoch und es wurde in einem von zwei Versuchsjahren ein zufriedenstellender Ertrag generiert. Allerdings waren Faserausbeute und -qualität (Faserlänge, Faserfeinheit) 2021 schlechter als beim Sommerhanf am Standort TFZ.

Generell gilt, dass ungünstige Witterungsverhältnisse, die das Abtrocknen der Vorfrucht und somit die Beerntung unter günstigen Bodenbedingungen verhindern, zu sehr unregelmäßigen Beständen führen. Diese unregelmäßigen Bestände kommen zum einen aufgrund der hohen Sensibilität von Hanf gegenüber Bodenverdichtung sowie durch das verspätete Wachstum und den damit einhergehenden deutlich höheren Unkrautdruck zustande. Trockenphasen nach der Aussaat können dieses Phänomen noch verstärken und

zudem durch den Trockenstress die Ausbildung einer Notblüte begünstigen. In Gebieten, in denen aufgrund der gesetzlichen Bestimmungen keine Düngung der Winterzwischenfrucht möglich ist, kommt es mangels verfügbaren Stickstoffs zusätzlich zu sehr niedrigen Beständen. Daher kann der Hanf in diesen Gebieten als Winterzwischenfrucht nicht empfohlen werden.

Im Umkehrschluss kann der Winterhanfanbau nur auf Flächen empfohlen werden, die nicht anfällig gegenüber Bodenverdichtung sind und eine ausreichende Versorgung mit pflanzenverfügbarem Wasser und Stickstoff aufweisen.

Grundsätzlich sollte noch erwähnt werden, dass der Winterhanf, wie viele Winterzwischenfrüchte, einen wichtigen Beitrag zur Biodiversität leistet. Neben den Körnern die den verschiedensten standorttreuen Vogelarten als Winterfutter dienen, dient er in dieser kargen Jahreszeit als beliebter Rückzugsort für Kleinlebewesen.

5.8 Zusätzliche Versuche des TFZ

5.8.1 Versuch zu Körnerhanf in Zweitfruchtstellung

In diesem Versuch wurden im ersten Jahr die Körnerhanfsorten FINOLA und Earlina 8 FC und im zweiten und dritten Versuchsjahr die Sorten FINOLA, Earlina 8 FC, Henola und Fedora 17 bezüglich ihrer Eignung als Zweitfrucht nach Ganzpflanzen-Getreide (GPS) am TFZ untersucht. Im ersten Versuchsjahr variierte zusätzlich zur Sorte die Reihenweite (eng bzw. weit +).

Der Versuch konnte in keinem der drei Versuchsjahre erfolgreich etabliert werden.

Im ersten Versuchsjahr wurde der Versuch aufgrund des schlechten Feldaufgangs und der starken Verunkrautung der Versuchsfläche bereits nach drei Wochen umgebrochen. Als mögliche Ursachen für den lückigen Feldaufgang kamen insbesondere Vogelfraß und schlechte Aussaatbedingungen, wie ausgetrockneter Boden und folgende Trockenphase, in Betracht (Abbildung 92). Als Konsequenz des schlechten Feldaufgangs wurde eine starke Verunkrautung, insbesondere mit Weißem Gänsefuß, Acker-Hellerkraut und Amaranth, beobachtet.



Abbildung 92: Schlechter Feldaufgang (links) und starker Unkrautdruck (rechts) im Versuch zu Körnerhanf in Zweitfruchtstellung im Versuchsjahr 2020

Im darauffolgenden Versuchsjahr kam es erneut zu Problemen bei der Kultivierung. Die feuchte Witterung führte zu einer verspäteten Ernte der Gerste, bei der aufgrund der konstant feuchten Bedingungen Bodenverdichtung erzeugt wurde. Diese verhinderte, in Kombination mit der nach der Aussaat folgenden Trockenphase, eine gute Entwicklung des Zweitfrucht-Hanfs. Am Aussaattermin wurden eine durchschnittliche Bodentemperatur von 29 °C und eine Bodenfeuchte von 25,6 % ermittelt. Am 25. Vegetationstag waren die Pflanzen durchschnittlich 8 cm hoch, wobei sich die höchsten Pflanzen mit durchschnittlich 12 cm in der ungedüngten Variante (N_{\min}) befanden. Im Vergleich dazu waren die Pflanzen in den anderen Versuchen 2021 am entsprechenden Vegetationstag bereits höher (vgl. Abschnitte 5.3.1, 5.4.1, 5.5.1 und 5.6.1). Ende August befanden sich die Pflanzen noch im Makrostadium 1 und hatten sich seit Mitte August kaum weiterentwickelt. Insgesamt war der Bestand lückig und ungleichmäßig (Abbildung 93). Der Versuch wurde daraufhin aufgrund des langsamen Wachstums aufgegeben.



Abbildung 93: Feldaufgang am 10.08.2021 (links) und Bestand im BBCH-Stadium 14 am 25.08.2021 (rechts) des Versuchs zu Körnerhanf in Zweitfruchtstellung im Versuchsjahr 2021

Im dritten Jahr konnte die Gerste aufgrund der feuchten Bodenverhältnisse im Bestand nicht geerntet werden, ohne Bodenverdichtung zu riskieren. Aufgrund der Erfahrungen der vergangenen zwei Versuchsjahre mit ähnlichen Bedingungen fanden daher keine Beerrntung der Gerste als GPS und somit auch keine Aussaat des Versuchs zu Körnerhanf in Zweitfruchtstellung statt.

Aufgrund der bisher gesammelten Erfahrungen mit Hanf in Zweitfruchtstellung muss von einem Anbau abgeraten werden. Das Erreichen der Samenreife wäre zwar theoretisch möglich, allerdings zeigte sich in unseren Versuchen, dass die Witterungsverhältnisse im Fall von Hanf in Zweitfruchtstellung den limitierenden Faktor darstellen. So kam es aufgrund der typischerweise eher feuchten Witterungsverhältnisse im Juni zu Problemen bei der Ernte der Hauptfrucht. Diese Probleme drückten sich dann entweder in einer verspäteten Ernte oder Bodenverdichtung aus. Dies wiederum erschwerte bzw. verunmöglichte die Etablierung eines guten Hanfbestands. Die im Juli folgende Trockenphase erschwerte dann zusätzlich das rasche Jugendwachstum und somit auch die Unkrautunterdrückenden Eigenschaften der Hanfpflanze. In Kombination führen also die ungünstigen Bedingungen bei der Aussaat und das durch Trockenheit verzögerte Wachstum zu lückigen Beständen, die meist einem starken Unkrautdruck unterliegen und somit keinen annehmbaren Ertrag generieren können.

5.8.2 Versuch zu Ermittlung des Ertragsverlusts durch Vogelfraß

In diesem Versuch wurde im Versuchsjahr 2020 der Ertragsverlust durch Vogelfraß im Körnerhanf bestimmt. Hierzu wurde die Sorte FINOLA angebaut und als Schutzmaßnahme eine der vier Wiederholungen mit einem Netz überspannt (vgl. Abbildung 13). Im Folgenden ist diese eine Wiederholung den anderen drei Wiederholungen gegenübergestellt.

Die Bestände der Variante ohne Netz entwickelten sich schneller als die der Variante mit Netz. Zudem erreichten diese Bestände eine Endhöhe von 113 cm, wohingegen die der Variante mit Netz nur eine Endhöhe von 102 cm erreichten. Für die Bestände der Variante mit Netz betrug der Feldaufgang 48 %, wohingegen er bei den Beständen der Variante ohne Netz 69 % betrug. Die Selbstausdünnung in den Beständen der Variante mit Maßnahme betrug 0 % und in den Beständen ohne Maßnahme 19 %. Der Feldaufgang und die Selbstausdünnung in den Beständen dieses Versuchs waren geringer als in den Beständen der anderen Versuche mit der Sorte FINOLA im Versuchsjahr 2020. Zusätzlich lag der Feldaufgang unter dem in der Literatur beschriebenen Wert von 73 % [14].

In den Beständen der Variante mit Netz betrug der Unkrautdeckungsgrad vor Reihenschluss 18 %, der der Variante ohne Maßnahme 11 %. In den Beständen beider Varianten sank der Unkrautdeckungsgrad, sodass die Bestände der Variante mit Netz kurz vor der Ernte lediglich einen Unkrautdeckungsgrad von 7 % und die der Variante ohne Maßnahme einen Unkrautdeckungsgrad von 5 % aufwiesen. Die Unkrautpopulation in diesem Versuch wurde von *Chenopodium album* (Weißer Gänsefuß) dominiert. Der Kulturdeckungsgrad betrug vor Reihenschluss in den Beständen der Variante mit Netz 45 % und sank auf 40 % bei der Ernte. In den Beständen der Variante ohne Netz sank der Kulturdeckungsgrad von 52 % auf 32 %. Der Gesamtdeckungsgrad in den Beständen beider Varianten betrug vor Reihenschluss 55 %. Zum zweiten Boniturtermin (Ernte) betrug der Gesamtdeckungsgrad für die Bestände der Variante mit Netz 45 % und für die der Variante ohne 35 %. Der Unkrautdeckungsgrad in den Beständen beider Varianten des ersten Boniturtermins (vor Reihenschluss) war deutlich höher als der des zweiten Boniturtermins (kurz vor Ernte). Dies lässt darauf schließen, dass die angewandte Unkrautregulierungsmaßnahme für den Bestand passend gewählt war. Im Vergleich zum Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf war der Unkrautdeckungsgrad vor Ernte in diesem Versuch deutlich geringer. Kultur- und Gesamtdeckungsgrad nahmen vom ersten auf den zweiten Boniturtermin in den Beständen beider Varianten deutlich ab. Zusätzlich zeigte sich, dass sowohl der Kultur- als auch der Gesamtdeckungsgrad in den Beständen der Variante mit Netz geringer war als in den Beständen der Variante ohne Netz. Da die Selbstausdünnung in den Beständen beider Varianten eher gering ausfiel, könnten Unterschiede bei der Beurteilung der Fläche für diese Ergebnisse verantwortlich sein. Kultur- und Gesamtdeckungsgrad ähnelten den anderen FINOLA-Beständen im Versuchsjahr 2020.

Der in Abbildung 94 dargestellte Kornertrag betrug für die Bestände der Variante mit Netz 11,9 dt TM/ha bei einem TS-Gehalt von 63,6 % und für die Bestände ohne Netz 9,0 dt TM/ha bei einem TS-Gehalt von 61,3 %. Zwischen den beiden Varianten wurde zudem ein signifikanter Ertragsunterschied festgestellt. Der Strohertrag lag in den Beständen

mit Netz bei 25,7 dt TM/ha bei einem TS-Gehalt von 34,8 %, während er für die Bestände der Variante ohne Netz bei 25,5 dt TM/ha bei einem TS-Gehalt von 36,7 % lag. Im Strohertrag der beiden Varianten wurde kein signifikanter Unterschied festgestellt. Die Bestände der Variante mit Netz lieferten bei ähnlichem Strohertrag einen höheren Kornertrag als die der Variante ohne. Die Ertragsdifferenz der beiden Varianten betrug 2,9 dt TM/ha und damit rund ein Viertel des Kornertrags der Variante mit Netz (potenzieller Kornertrag). Im Vergleich zum Versuchsjahr 2019 [81] und zu den Ergebnissen vergleichbarer Versuche aus dem Versuchsjahr 2020 war der Ertrag der Bestände der Variante mit Netz höher. Die Bestände der Variante ohne Netz ähnelten dem Ertrag im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf (Versuchsjahr 2020). Dies ist nicht verwunderlich, da die Versuche in unmittelbarer Nähe zueinander realisiert und beide Versuche mit der gleichen Menge Stickstoff gedüngt wurden.

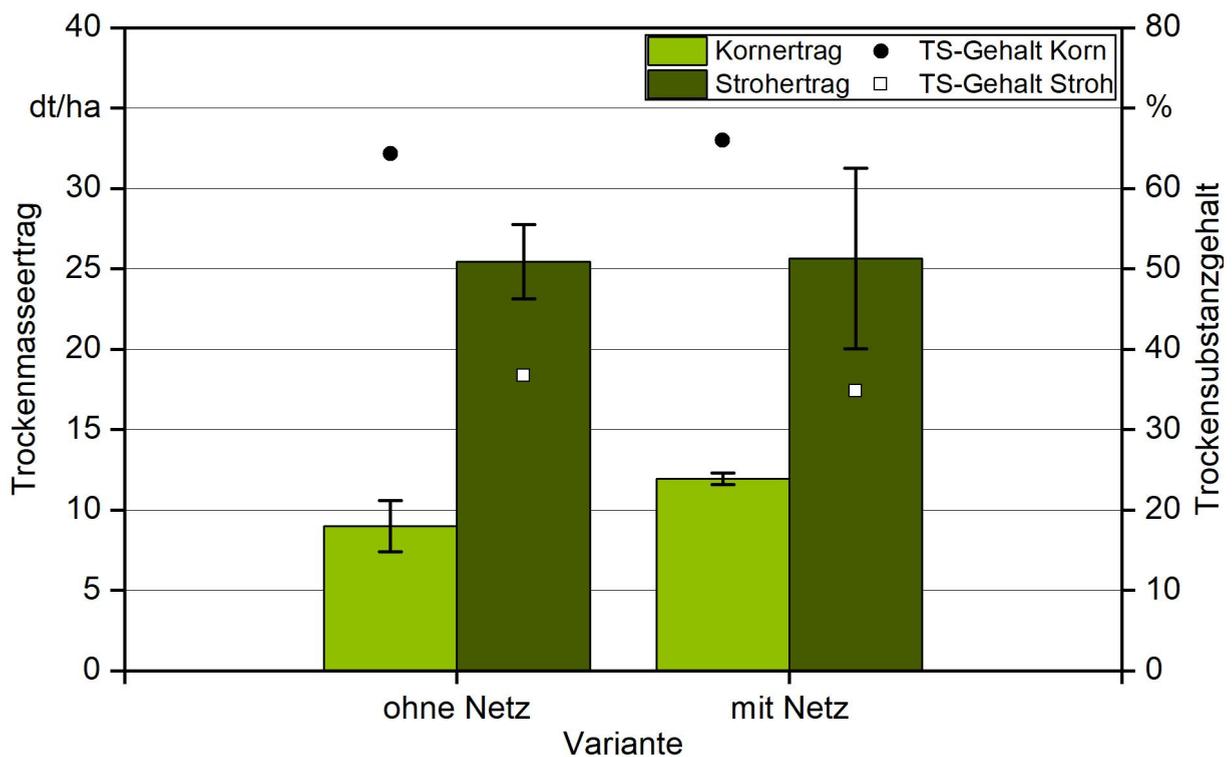


Abbildung 94: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt im Versuch zur Ermittlung des Ertragsverlusts durch Vogelfraß in Abhängigkeit der Variante (mit Netz bzw. ohne Netz)

Im Vergleich zu den anderen Versuchen des Versuchsjahrs 2020 waren die Schwankungen der Ergebnisse der THC-Analyse des Korns (vor Trocknung und nach Trocknung gereinigt) in diesem Versuch deutlich geringer. Beim THC-Gehalt wurde kein großer Unterschied zwischen den Proben der Varianten mit und ohne Netz erkannt. Ähnliches wurde auch für die CBD-Analyse beobachtet.

Der Rohfettgehalt im Korn betrug für die Probe der Variante mit Netz 29,5 % und für die der Variante ohne Netz 33,3 %. Hingegen war der Rohfettertrag in dt/ha in der Probe der

Variante mit Netz höher als in der Probe der Variante ohne. Dies war auf den höheren Samenertrag dieser Variante zurückzuführen (Tabelle 28).

Tabelle 28: Rohfettgehalt im Versuch zur Ermittlung des Ertragsverlusts durch Vogelfraß

Variante	Rohfett in %	Rohfett in dt/ha
mit Netz	29,5	3,52
ohne Netz	33,3	3,00

5.8.3 Versuch zum Anbau von Hanf als Frühsaat

Im Versuch zum Anbau von Hanf als Frühsaat Ende März wurden der Einfluss eines sehr frühen Aussaattermins auf die Entwicklung der Körnerhanfsorte FINOLA sowie der Fasernhanfsorte Fedora 17 untersucht.

Im Gegensatz zu den anderen Versuchen mit der Sorte FINOLA (vgl. Abbildung 31) war die Wuchshöhe in diesem Versuch mit 66 cm deutlich niedriger. Im Vergleich zum Vorjahr, in dem die Sorte Fedora 17 eine Wuchshöhe von 283 cm erreichte [81], war die Wuchshöhe in diesem Jahr mit 229 cm ebenfalls gering. Wie auch beim Entwicklungsverlauf ist die Wuchshöhe stark von den herrschenden Temperaturverhältnissen abhängig [27]. Daher ist es nicht verwunderlich, dass die Endhöhe in diesem Versuch deutlich geringer ausfiel als bei den später ausgesäten Beständen. Der Feldaufgang der Bestände der Fasersorte Fedora 17 betrug 64 % und der der Körnersorte FINOLA 69 %. Die Selbstausdünnung schwankte zwischen 6 % in den Beständen der Fasersorte und 58 % in den Beständen der Körnersorte. Der Anteil der Selbstausdünnung lag leicht über dem Wert in den Beständen anderer Versuche mit der Sorte FINOLA, wohingegen der Feldaufgang den allgemeinen Trend dieser Sorte widerspiegelte. Die Bestände der Körnersorte FINOLA wiesen im Vergleich zu denen der Fasersorte Fedora 17 einen geringeren Feldaufgang sowie eine geringere Selbstausdünnung (in diesem Fall sogar einen Zuwachs) auf. Im Vergleich zu einem früheren Versuch, in dem der Feldaufgang in den Beständen der Sorte Fedora 17 98 % betrug [81], fiel er in den Beständen des diesjährigen Versuchs deutlich niedriger aus. Da es sich bei dem Versuch um einen Frühsaatversuch handelte, waren wahrscheinlich niedrigere Temperaturen für den schlechteren Feldaufgang in den Beständen dieser Sorte verantwortlich. Eine andere Erklärung für den schlechteren Feldaufgang der Bestände der Sorte Fedora 17 könnte sein, dass für diesen Versuch Vorjahressaatgut verwendet wurde, das eine geringere Triebkraft gehabt haben könnte.

Der Anteil weiblicher Pflanzen betrug Anfang Mai 60 % und stieg im Verlauf von zwei Wochen um 3 % an. In normalen zweihäusigen Beständen entspricht das Verhältnis von männlichen zu weiblichen Pflanzen annähernd 1 : 1. In den hier vorgestellten Ergebnissen war eine leichte Verlagerung dieses Gleichgewichts zugunsten der weiblichen Individuen zu beobachten. Dies könnte auf verschiedene Umwelteinflüsse wie Nährstoffverfügbar-

keit, Wasserverfügbarkeit, Temperaturverhältnisse sowie Lichtverhältnisse zurückzuführen sein [94].

Der Unkrautdeckungsgrad der Faservariante betrug vor Reihenschluss 3 % und sank bis zur Ernte auf 2 %. Hingegen betrug der Unkrautdeckungsgrad der Körnervariante vor Reihenschluss 6 % und stieg dann bis zur Ernte auf 28 % an. Die Unkrautpopulation in diesem Versuch wurde wie in allen Versuchen von *Chenopodium album* (Weißer Gänsefuß) dominiert. Der Kulturdeckungsgrad der Faservariante stieg von 45 % vor Reihenschluss auf 100 % bei der Ernte an. In den Beständen der Körnervariante war lediglich ein Anstieg von 22 % vor Reihenschluss auf 43 % bei der Ernte zu verzeichnen. Mit dem Gesamtdeckungsgrad verhielt es sich ähnlich. Für die Faservarianten stieg der Gesamtdeckungsgrad von 47 % vor Reihenschluss auf 100 % bei der Ernte und für die Körnervariante von 28 % vor Reihenschluss auf 69 % bei der Ernte. Es war zu beobachten, dass der Unkrautdeckungsgrad der Körnersorte kurz vor der Ernte deutlich höher war als der der Fasersorte. Zudem sticht der starke Anstieg des Unkrautdeckungsgrads in den Beständen der Körnersorte ins Auge. Dieser war in den anderen Versuchen mit der Sorte FINOLA, in denen wie auch in diesem Versuch eine Hackmaßnahme erfolgte, nicht zu beobachten. Dies könnte auf die langsamere Entwicklung der Kultur in diesem Versuch zurückzuführen sein, die wiederum einen Vorteil für die Unkräuter darstellte. In verschiedener Literatur wird darauf hingewiesen, dass Hanf nur konkurrenzstark gegenüber Unkräutern ist, wenn ihm optimale Bedingungen bei der Aussaat verschafft werden [14] [16]. Generell zeigte sich, dass der Kulturdeckungsgrad der Bestände der Fasersorte deutlich höher war als der der Körnersorte und in beiden Varianten vom ersten zum zweiten Boniturtermin deutlich anstieg. Allgemein war der Gesamtdeckungsgrad in den Beständen der Faservariante deutlich höher als der der Körnersorte.

Der Strohertrag der Bestände der Faservariante betrug 99,4 dt TM/ha. Der Kornertrag war mit 3,0 dt TM/ha deutlich geringer als die Kornerträge in anderen Versuchen. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass die Parzellen der einzelnen Wiederholungen an verschiedenen Terminen geerntet wurden, um ein besseres Gefühl für den Erntezeitpunkt von Körnerhanf zu erlangen. Hingegen war der Unterschied im Strohertrag in den Beständen der Fasersorte im Vergleich zu anderen Versuchen nicht so deutlich. Die geringeren Erträge könnten wie auch die verzögerte Entwicklung unter anderem an den geringeren Temperaturen und somit einer geringeren Fotosynthese-Leistung bei einer so frühen Aussaat gelegen haben [27].

6 Schlussfolgerungen für die Praxis

6.1 Rechtliche Regelungen

Im Vergleich zu anderen landwirtschaftlichen Kulturen muss der Hanfanbau bei dem zuständigen Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AELF) über den **Mehrfachantrag bis 15. März** und bei der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) über die **Anbauanzeige bis 1. Juli** gemeldet werden. Die originalen Saatgutetiketten müssen bei dem zuständigen Landwirtschaftsamt eingereicht werden. Für den Anbau sind nur Sorten zugelassen, die im jährlich zum 15. März veröffentlichten „Gemeinsamen Sortenkatalog für landwirtschaftliche Pflanzenarten“ aufgeführt sind. Ab dem Jahr 2023 wird der zulässige THC-Gehalt in den Hanfpflanzen von 0,2 % auf 0,3 % angehoben. Neben dem Anbau muss bei beginnender männlicher Blüte eine **Blühmeldung** an das BLE erfolgen. Beerntet werden darf die Fläche erst, wenn das BLE die Erntefreigabe erteilt oder eine Kontrolle und Beprobung vor Ort stattgefunden haben. Neben der generellen Erhöhung auf 0,3 % THC-Gehalt in den Pflanzen werden zum 01.01.2023 auch die THC-Grenzwerte für Ernteprodukte wie Hanfkörner (3 mg/kg) und das daraus gewonnene Hanfsamenöl (7,5 mg/kg) eingeführt.

In unseren Versuchen wurden die ab 2023 geltenden Grenzwerte für THC in den Hanfkörnern von 3,0 mg/kg nur selten überschritten. Diese Überschreitungen fanden ausschließlich in der Sorte FINOLA statt. Die Sorten Earlina 8 FC, Henola, Uso 31 und Fedora 17 hatten deutlich niedrigere THC-Gehalte, die stets unter dem Grenzwert lagen. In der Praxis haben sich eine gründliche Reinigung, teilweise das Bürsten oder Polieren, und das Schälen der Körner als hilfreich etabliert, um THC-Anhaftungen an den Körnern durch andere Pflanzenbestandteile zu reduzieren.

Weitere Informationen zum Thema inklusive verschiedener Merkblätter finden Sie auf der Internetseite des Technologie- und Förderzentrums unter www.tfz.bayern.de/rohstoffpflanzen/einjahrigekulturen/236957/.

6.2 Produktionstechnik

Der Anbau von Hanf bietet sich auf vielen Standorten an. Die Aussaat sollte in einen warmen und feuchten Boden erfolgen, der frei von Bodenverdichtungen ist. Es hat sich gezeigt, dass der Erfolg des Anbaus stark von den Aussaatbedingungen abhängt. Eine zu frühe Saat bei niedrigen Bodentemperaturen oder geringer Wasserverfügbarkeit mindert die Ertragserwartung. Auch die ersten Wochen des Wachstums sind entscheidend. In dieser Phase benötigen die Hanfpflanzen viel Wasser. Fehlt dieses, sind Ertragseinbußen zu erwarten. Bei niedrigen Hanfsorten ist eine eigene Unkrautunterdrückung meist nicht gegeben. Es bietet sich an, einen weiten Reihenabstand zu nutzen und eine mechanische Unkrautregulierung mit der Hacke durchzuführen. Die optimale Saatkichte ist abhängig von der Sorte und der Nutzungsrichtung. In unseren Versuchen zeigte sich, dass für die Körner- und CBD-Nutzung eine Aussaatmenge von 100 keimfähigen Körnern pro Quad-

ratmeter und für die Fasernutzung von 350 keimfähigen Körnern pro Quadratmeter ausreichend ist. Die Behandlung mit Pflanzenschutzmittel ist aktuell nicht nötig und mangels zugelassener Mittel auch nicht möglich. Eine ausreichende Stickstoffversorgung ist sicherzustellen. Die Sortenwahl hängt von der Nutzungsrichtung und der vorhandenen Erntetechnik ab. Im Körnerhanf ist z. B. die Sorte FINOLA besonders wegen ihrer niedrigen Wuchshöhe und der dadurch unproblematischen Ernte bei gleichzeitig hohem Kornertrag beliebt. Allerdings neigt sie zu höheren THC-Gehalten in den Hanfkörnern als langstrohige Sorten wie z. B. Earlina 8 FC und Henola. Auch die Korngröße ist für die Lebensmittelproduktion ein wichtiges Qualitätskriterium. In unseren Versuchen lieferte die Sorte Henola einen höheren Anteil großer Körner (> 3,0 mm) als die Sorten FINOLA und Earlina 8 FC.

Die Erntetechnik unterscheidet sich ebenfalls zwischen den Nutzungsrichtungen. Während niedrige Körnerhanfsorten mit gewöhnlichen Mähdreschern geerntet werden können, sind für die Ernte von Faserhanf und allgemein langstrohigen Sorten Spezialmaschinen notwendig. Die Ernte des oberen Pflanzendrittels kann für die CBD-Nutzung durch einen Grüngüternter oder ebenfalls durch Spezialmaschinen erfolgen. Aktuell besteht vermehrt das Bestreben, die Faserstängel ohne Einkürzung zu ernten, um eine möglichst hohe Faserqualität zu erhalten, die sich auch für die textile Weiterverarbeitung eignet. Nach der Körner- und Blütenenernte wird das Erntegut schonend getrocknet und gegebenenfalls gereinigt. Das Stroh bei der Faserproduktion wird auf dem Feld geröstet, in Ballen gepresst und muss in dafür ausgelegten Anlagen aufgeschlossen werden, um die Fasern und Schäben voneinander zu trennen und weiterverarbeiten zu können.

6.3 Stickstoffversorgung

Für alle Nutzungsrichtungen zeigte sich ein Stickstoffbedarf von 160 kg N/ha (inklusive N_{\min}). Zwar steigt der Kornertrag auch bei weiter zunehmender Stickstoffdüngung an, allerdings nehmen die Stickstoffverluste ebenfalls zu, weshalb eine Überschreitung von 160 kg N/ha nicht empfohlen wird. Der Röststrohertrag im Faserhanf dagegen erhöhte sich ab einer verfügbaren Stickstoffmenge von 160 kg N/ha nicht mehr. Wird aufgrund der Standortvoraussetzungen oder einer schlechten Bestandsetablierung von einem niedrigeren Ertragsniveau ausgegangen, ist eine Reduzierung der verfügbaren Stickstoffmenge auf maximal 120 kg N/ha zu empfehlen, um Stickstoffverluste möglichst gering zu halten. Die Höhe der verfügbaren Stickstoffmenge hatte Auswirkungen weder auf die Faserqualität noch auf qualitätsbestimmende Eigenschaften der Körner, wie z. B. Rohfettgehalt oder THC-Gehalt. Dagegen nahm der Anteil großer Körner (> 3,0 mm) mit steigender Stickstoffmenge zu.

6.4 Vermarktung

Bevor Nutzhanf angebaut wird, sollten die Abnehmer für das Erntegut feststehen, da sich der Absatz schwieriger als für andere landwirtschaftliche Kulturen erweist. Während die Vermarktung von Hanfkörnern meist problemlos über Lebensmittelhersteller oder als Direktvermarktung möglich ist, ist die Abnahme des Hanfstrohs nicht garantiert. Um an die Fasern und Schäben zu gelangen, muss es in einem weiteren Verarbeitungsschritt aufgeschlossen werden. Dafür sind spezielle Verarbeiter mit entsprechenden Anlagen nötig, die aktuell in Bayern nicht existieren. Eine regionale Verarbeitung für Faserstroh ist somit ausgeschlossen.

Quellenverzeichnis

- [1] ADESINA, I.; BHOWMIK, A.; SHARMA, H.; SHAHBAZI, A. (2020): A Review on the Current State of Knowledge of Growing Conditions, Agronomic Soil Health Practices and Utilities of Hemp in the United States. *Agriculture*, Bd. 10, Nr. 4, Art.-Nr. 129, S. 1–15
- [2] AMADUCCI, S.; ERRANI, M.; VENTURI, G. (2002): Response of Hemp to Plant Population and Nitrogen Fertilization. *Italian Journal of Agronomy*, Bd. 6, Nr. 2, S. 103–111
- [3] AMADUCCI, S.; SCORDIA, D.; LIU, F. H.; ZHANG, Q.; GUO, H.; TESTA, G.; COSENTINO, S. L. (2015): Key cultivation techniques for hemp in Europe and China. *Industrial Crops and Products*, Bd. 68, Nr. 8, S. 2–16
- [4] ARCELLA, D.; CASCIO, C.; MACKAY, K. (2020): Acute human exposure assessment to tetrahydrocannabinol (Δ^9 -THC). Scientific Report of EFSA, Question Number: EFSA-Q-2018-00731, Requestor: European Commission. *EFSA Journal*, Bd. 18, Nr. 1, Art.-Nr. e05953, S. 1–41
- [5] ATOLOYE, I. A.; ADESINA, I.; SHAHBAZI, A.; BHOWMIK, A. (2022): Response of cannabidiol hemp (*Cannabis sativa* L.) varieties grown in the southeastern United States to nitrogen fertilization. *Open Agriculture*, Bd. 7, Nr. 1, S. 373–381
- [6] AUBIN, M.-P.; SEGUIN, P.; VANASSE, A.; TREMBLAY, G. F.; MUSTAFA, A. F.; CHARRON, J.-B. (2015): Industrial Hemp Response to Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Fertilization. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, Bd. 1, Nr. 1, S. 1–10
- [7] BACKSMANN, C.; GRÜN, A. (2022): Anbau von Nutzhanf. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) (Hrsg.). Bonn. URL: https://www.ble.de/DE/Themen/Landwirtschaft/Nutzhanf/nutzhanf_node.html, (Stand: 17.05.2022), 2 Seiten
- [8] BAUR, V. (1943): Die lustige Hanffibel. Herausgegeben vom Reichsnährstand. Berlin: Deutsche Landwerbung GmbH, 20 Seiten
- [9] 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 (LBP) (Hrsg.), Freising-München, 129 Seiten
- [10] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL) (2022): Basisdaten für die Umsetzung der Düngeverordnung, für die Beratung und Planung; zur Berechnung des Düngebedarfs, des Nährstoffanfalls im Betrieb, des Lagerraums für organische Dünger, der Stoffstrombilanz. Stand: Juni 2022. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hrsg.), Freising-Weihenstephan, 69 Seiten
- [11] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL) (2022): Agrarmeteorologie Bayern. Frei verfügbare Daten des agrarmeteorologischen Messnetzes der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Wetterstation Straubing TFZ. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hrsg.) (Stand: 30.10.2022)

- [12] BECKER, J. (1928): Handbuch des Hackfruchtbaues und Handespflanzenbaues. Hackfrüchte und Handespflanzen: auf praktisch-wissenschaftlicher Grundlage unter besonderer Berücksichtigung der Pflanzenzüchtung. Handbuch des Gesamten Pflanzenbaues einschliesslich der Pflanzenzüchtung, Nr. 2. Berlin: Verlagsbuchhandlung Paul Parey, 506 Seiten
- [13] BEUTH VERLAG GMBH (Hrsg.) (2020): Inhaltsverzeichnis Lebensmittel. Methodensammlung BVL. Berlin: Beuth Verlag GmbH Berlin, 110 Seiten
- [14] BÖCSA, I.; KARUS, M. (1997): Der Hanfanbau. Botanik, Sorten, Anbau und Ernte. 1. Aufl. Heidelberg: C. F. Müller, 173 Seiten, ISBN 3-7880-7568-6
- [15] BORMAN, P.; ELDER, D. (2018): Q2(R1) Validation of Analytical Procedures. Text and Methodology. Chapter 5. In: TEASDALE, A.; ELDER, D.; NIMS, R. W. (Hrsg.): ICH Quality Guidelines. An Implementation Guide. 1. Aufl. Hoboken, NJ: Wiley, S. 127–166, ISBN 9781118971123
- [16] BOULOC, P.; SERGE, A.; ARNAUD, L. (Hrsg.) (2013): Hemp. Industrial production and uses. Wallingford, Oxfordshire: CABI, 313 Seiten, ISBN 978-1-84593-792-8
- [17] BÜHRER, U. (2021): Hanf-Anbautipps und Erntehinweise. BaFa neu GmbH (Hrsg.). Malsch, 2 Seiten
- [18] BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (BLE) (2022): Information zum Anbau von Nutzhanf gemäß Betäubungsmittelgesetz (BtMG). Anlage 5. Erscheinungstermin: 07.01.2022. Bonn. URL: https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Landwirtschaft/Nutzhanf/Info_BtMG.html, 2 Seiten (Stand: 17.05.2022)
- [19] BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (BLE) (2022): Ökologischer Hanfanbau. URL: <https://www.oekolandbau.de/landwirtschaft/pflanze/spezieller-pflanzenbau/oelfruechte/oekologischer-hanfanbau/> (Stand: 16.09.2021 bzw. 10.11.2022). Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Referat 413, Projektgruppe Ökolandbau (Hrsg.). Bonn, 6 Seiten
- [20] CALLAWAY, J. C. (2004): Hempseed as a nutritional resource: An overview. *Euphytica*, Bd. 140, Nr. 1 (January), S. 65–72
- [21] CALLAWAY, J. C. (2018): Some general information about FINOLA. Finola Oy (Hrsg.). Kuopio, Finnland, 2 Seiten
- [22] CALLAWAY, J. C. (2019): FINOLA Development and Morphology. Updated: 28.12.2019. Finola Oy (Hrsg.). Kuopio, Finnland, 12 Seiten
- [23] CARUS, M. (2018): The European Hemp Industry: Cultivation, processing and applications for fibres, shivs, seeds and flowers. 2017-03-26. European Industrial Hemp Association (EIHA) (Hrsg.). Brüssel, Belgien: EIHA, Nr. 2017-03, 9 Seiten
- [24] CARUS, M.; EDER, A.; SCHOLZ, I. (2015): Bioverbundwerkstoffe – Naturfaserverstärkte Kunststoffe (NFK) und Holz-Polymer-Werkstoffe (WPC). Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (Hrsg.). Gülzow-Prüzen. Kunststoffe – Werkstoffe, Nr. 227, 52 Seiten

- [25] CARUS, M.; GAHLE, C.; PENDAROWSKI, C.; VOGT, D.; ORTMANN, S.; GROTHENHERMEN, F.; BREUER, T.; SCHMIDT, C.; MÜSSIG, J.; STEGER, J.; BROCKMANN, H. (2008): Studie zur Markt- und Konkurrenzsituation bei Naturfasern und Naturfaser-Werkstoffen (Deutschland und EU). Nova-Institut, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (FKZ 22020005). Gülzower Fachgespräche, Nr. 26. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 391 Seiten
- [26] CHANDRA, S.; LATA, H.; EL-SOHLI, M. A. (Hrsg.) (2017): *Cannabis sativa L. – Botany and Biotechnology*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing AG, 474 Seiten, ISBN 978-3-319-54563-9
- [27] CLARKE, R. C. (1997): *Hanf. Botanik, Anbau, Vermehrung und Züchtung*. Aarau, Schweiz: AT-Verlag, 239 Seiten, ISBN 3-85502-573-2
- [28] DENNER, M. (2014): Hanf – mehr als nur ein Suchtmittel! *Der Pflanzenarzt*, Bd. 67, Nr. 11–12, S. 18–21
- [29] DESANLIS, F.; CERRUTI, N.; WARNER, P. (2013): *Hemp Agronomics and Cultivation*. Chapter 6. In: BOULOC, P.; SERGE, A.; ARNAUD, L. (Hrsg.): *Hemp. Industrial production and uses*. Wallingford, Oxfordshire: CABI, S. 98–124, ISBN 978-1-84593-792-8
- [30] DEUTSCHE BUNDESREGIERUNG (2019): *Nutzhanf – Agrarstoff mit Potential*. Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Kirsten Tackmann, Niema Movassat, Dr. Gesine Löttsch, weiterer Abgeordneter und der Fraktion DIE LINKE. Drucksache 19/10604. Vorabfassung – wird durch die lektorierte Version ersetzt. Deutscher Bundestag (Hrsg.). Berlin. Deutscher Bundestag – Drucksache, Nr. 19/11377 vom 04.07.2019, 16 Seiten
- [31] DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) (2022): *Vieljährige Mittelwerte*. Deutscher Wetterdienst (DWD) (Hrsg.). Offenbach am Main. URL: https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/vielj_mittelwerte.html (Stand: 12.05.2022), 2 Seiten
- [32] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (1998): *DIN EN ISO 11885: 2009-09: Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von 33 Elementen durch induktiv gekoppelte Plasma-Atom-Emissionsspektrometrie (ICP-OEA) (ISO 11885:2007)*. Deutsche Fassung EN ISO 11885:2009, 37 Seiten
- [33] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (DIN) (2016): *DIN EN ISO 17827-2: Biogene Festbrennstoffe – Bestimmung der Partikelgrößenverteilung für unkomprimierte Brennstoffe – Teil 2: Vertikales Rüttelsiebverfahren mit Sieben mit einer Lochgröße von 3,15 mm und darunter (ISO 17827-2:2016)*; Oktober 2016. Deutsche Fassung EN ISO 17827-2:2016. Berlin: Beuth, 19 Seiten
- [34] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V.; TECHNISCHES KOMITEE CEN/TC 400 (2017) *DIN EN 16170:2017-01: Schlamm, behandelter Bioabfall und Boden – Bestimmung von Elementen mittels optischer Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES)*
- [35] DICKEDUISBERG, M. (2020): *Wetterdaten Haus Düsse 2020*. E-Mail an Empfänger: K. Mangold. Straubing (Stand: 28.10.2020)

- [36] EUROPÄISCHE KOMMISSION (2022): VERORDNUNG (EU) 2022/1393 DER KOMMISSION vom 11. August 2022 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 hinsichtlich der Höchstgehalte für Delta-9-Tetrahydrocannabinol (Δ^9 -THC) in Hanfsamen und daraus gewonnenen Erzeugnissen, in der Fassung vom 11. August 2022. In: Amtsblatt der Europäischen Union, Nr. L 211, vom 12.08.2022, S. 83–85
- [37] EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (EFSA) (2015): Scientific Opinion on the risks for human health related to the presence of tetrahydrocannabinol (THC) in milk and other food of animal origin. EFSA Journal, Bd. 13, Nr. 6, Art.-Nr. 4141, S. 1–125
- [38] FINOLA OY (2016): 10 Reasons Why FINOLA Fails 2016. Finola Oy (Hrsg.). Kuopio, Finnland. URL: https://finola.fi/wp-content/uploads/2017/10/10_Reasons_Why_FINOLA_Fails_2016.pdf, (Stand: 25.05.2022), 1 Seite
- [39] GEISLER, G. (1991): Farbatlas Landwirtschaftliche Kulturpflanzen. Stuttgart: Ulmer, 204 Seiten, ISBN 3-8001-4079-9
- [40] GRIGOYEV, S.; ILLARIONOVA, K. (2020): Evaluation of Factors having an Effect on Cannabidiol Amount in Cannabis sativa L. Biology Agricultural, Bd. 55, Nr. 1, S. 107–117
- [41] GROTENHERMEN, F.; BERGER, M.; GEBHARDT, K. (2018): Cannabidiol – CBD. Ein cannabishaltiges Compendium – inklusive veganer Back- und Kochrezepte. 4., aktual. Aufl. Solothurn: Nachtschatten Verlag, 161 Seiten, ISBN 978-3-03788-369-3
- [42] GUSOVIOUS, H.; PAULITZ, J. (2009): Current developments for efficient raw material supply procedures enforcing costeffective bast fibre production in Europe. Journal of Biobased Materials and Bioenergy, Bd. 3, S. 262–264
- [43] GUSOVIOUS, H. J.; HOFFMANN, T.; BUDDE, J.; LÜHR, C. (2016): Still special? Harvesting procedures for industrial hemp. Landtechnik, Bd. 71, Nr. 1, S. 14–24
- [44] HANF, C.-H. (1997): 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, ISSN 3-7843-2865-2
- [45] HANFFASER UCKERMARCK EG (2020): Informationen für Vertragspartner. HANFFASER Uckermark eG (Hrsg.). Prenzlau. URL: <https://www.hanffaser.de/uckermark/index.php/uber-hanf/landwirtschaft> (Stand: 12.05.2022), 7 Seiten
- [46] HANFFASER UCKERMARCK EG (2022): Bauen mit Hanf – verträgt alle Strapazen, ist überhaupt unverwüstlich. Produkte – HANFFASER Uckermark. HANFFASER Uckermark eG (Hrsg.). Prenzlau. URL: <https://www.hanffaser.de/uckermark/index.php/produkte/produktpalette> (Stand: 12.05.2022), 5 Seiten
- [47] HANFLAND GMBH (2018): Bericht Hanfernte 2018. Erhalten per E-Mail von Gerda Steinfeldner (Hanfland GmbH) am 12.05.2022. Hanfland GmbH (Hrsg.). Hanfthal – Laa an der Thaya, 9 Seiten
- [48] HANFLAND GMBH (2018): Hanfernte 2018. Hanfland GmbH (Hrsg.). Hanfthal – Laa an der Thaya, 28 Seiten

- [49] HANFLAND GMBH (2022): Hanf Shop. Aktionen, Lebensmittel, Hanfthaler, Geschenkpakete, Schäben, Tierhanf; CBD, Kosmetik, mehr vom Hanf. Hanfland GmbH (Hrsg.). Hanfthal – Laa an der Thaya. URL: <https://www.hanfland.at/shop/> (Stand: 12.05.2022), 5 Seiten
- [50] HANS BRAINFOOD GMBH (2020): Bedingungen zum Anbau von Hanfsamen. HANS Brainfood GmbH (Hrsg.). Regensburg. URL: <https://hansbrainfood.de/>, 3 Seiten
- [51] HAVERKAMP, M. (2014): Einfluss der agronomischen Maßnahmen, Umwelt und Sorte auf die wertbestimmenden Eigenschaften von Faserhanf (*Cannabis sativa* L.) in Nordrhein-Westfalen. Dissertation. Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Landwirtschaftliche Fakultät, Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz Bereich Nutzpflanzengenetik und -biotechnologie, Professur Pflanzenzüchtung, 180 Seiten
- [52] HEMP IT – PRODUCTEURS DES SEMENCES (2022): Earlina 8 FC Monoecious. Premium Varieties seed-oriented. HEMP IT – Producteurs des semences (Hrsg.). Beaufort en Vallee, Frankreich. URL: <https://www.hemp-it.coop/en/produit/earlina-8-fc/> (Stand: 12.05.2022), 6 Seiten
- [53] HEMP IT – PRODUCTEURS DES SEMENES CHANVRE INDUSTRIEL (2022): Futura 75 Monoecious. URL: <https://www.hemp-it.coop/en/produit/futura-75/> (Stand: 24.08.2022). Hemp it – Producteurs des semenes chanvre industriel, C. Février (Hrsg.). Beaufort en Vallee, Frankreich, 5 Seiten
- [54] HEMPHILL, J. K.; TURNER, J. C.; MAHLBERG, P. G. (1980): Cannabinoid Content of Individual Plant Organs from Different Geographical Strains of *Cannabis Sativa* L. *Journal of Natural Products*, Bd. 43, Nr. 1 (Jan.–Feb.), S. 112–122
- [55] HERER, J.; BRÖCKERS, M. (Hrsg.) (1995): Die Wiederentdeckung der Nutzpflanze: Cannabis, Marihuana, Hanf. Frankfurt: Zweitausendeins, 489 Seiten, ISBN 3-86150-026-4
- [56] HEUSER, O.; KÖNIG, P.; WAGNER, O.; FRANK, G. v.; OERTEL, H.; OERTEL, F. (1927): Hanf und Hartfasern. Nachdruck 2013 der Originalausgabe von 1927. *Technologie der Textilfasern*, V. Band, 2. Teil. Berlin: Verlag von Julius Springer, 266 Seiten, ISBN 978-3-642-91015-9
- [57] HHH HEMP HARVESTING TECHNOLOGY (2022): Hemp Harvester 700. Der Blütenernter für Industriehanf und buschige Cannabissorten. HHH Hemp Harvesting Technology (Hrsg.). Burgdorf. URL: <http://henryshempharvester.com/de/> (Stand: 12.05.2022), 9 Seiten
- [58] INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION (ISTA) (Hrsg.) (2015): International Rules for Seed Testing 2015. Chapter 5: The germination test. Including changes and editorial corrections adopted at the Ordinary General Meeting 2014, Edinburgh, Vereinigtes Königreich, in Kraft getreten am 1. Januar 2015. *International Rules for Seed Testing*, Bd. 1, Nr. 1. Bassersdorf, Schweiz: International Seed Testing Association (ISTA), 55 Seiten
- [59] KAKABOUKI, I.; KOUSTA, A.; FOLINA, A.; KARYDOGIANNI, S.; ZISI, C.; KOUNELI, V.; PAPASTYLIANOU, P. (2021): Effect of Fertilization with Urea and Inhibitors on Growth, Yield and CBD Concentration of Hemp (*Cannabis sativa* L.). *Sustainability*, Bd. 13, Nr. 4, Art.-Nr. 2157, S. 1–13

- [60] KARBACH-NÖLKE, K. (2021): Wetterdaten Haus Düsse 2021. E-Mail an Empfänger: S. Scholcz. Straubing (Stand: 28.10.2021)
- [61] KARBACH-NÖLKE, K. (2022): Wetterdaten Haus Düsse 2022. E-Mail an Empfänger: S. Scholcz, K. Eichhoff. Straubing (Stand: 05.09.2022)
- [62] KARUS, M.; GROTENHERMEN, F.; LESON, G.; KUPFER, M. (2003): Das kleine Hanflexikon. 2., vollst. überarb u. erg. Aufl. Nova-Institut (Hrsg.). Göttingen. Die Werkstatt, 80 Seiten, ISBN 3-89533-271-2
- [63] KLIR, Ž.; NOVOSELEC, J.; ANTUNOVIĆ, Z. (2019): An overview on the use of hemp (*Cannabis sativa* L.) in animal nutrition. *Poljoprivreda – Agriculture*, Bd. 25, Nr. 2, S. 52–61
- [64] LINDER, E. R.; YOUNG, S.; LI, X.; HENRIQUEZ INOA, S.; SUCHOFF, D. H. (2022): The Effect of Harvest Date on Temporal Cannabinoid and Biomass Production in the Floral Hemp (*Cannabis sativa* L.) Cultivars BaOx and Cherry Wine. *Horticulturae*, Bd. 8, Nr. 10, Art.-Nr. 959, S.1–12
- [65] LOCHNER, H.; BREKER, J. (2004): *Agrarwirtschaft Grundstufe Landwirtschaft*. München: BLV Buchverlag, 632 Seiten, ISBN 978-3405164027
- [66] LOHMEYER, D. (1997): Hanf im ökologischen Anbau. In: NOVA-INSTITUT (Hrsg.): *Biorohstoff Hanf 97. Tagungsband zum/Proceedings of the Symposium. 2. Biorohstoff Hanf*. Frankfurt am Main, 27.02.–02.03.1997. Köln, Hürth: Nova-Institut, S. 236–243, ISBN 3-9805840-2-X
- [67] MEDIAVILLA, V.; JORQUERA, M.; SCHMID-SLEMBROUCK, I. (1999): Dezimalcode für Wachstumsstadien von Hanf. *Agrarforschung*, Bd. 6, Nr. 10, S. 385–392
- [68] MEDIAVILLA, V.; LEUPIN, M.; MOSIMANN, E. (1999): Agronomische Eigenschaften von Hanfsorten. *Agrarforschung*, Bd. 6, Nr. 10, S. 393–396
- [69] MEIER, J. (2020): Datenauswertung Hanf 2020. E-Mail an Empfänger: K. Mangold. Straubing (Stand: 16.11.2020), 1 Seite
- [70] MEIER, J. (2020): Rechtliche Grundlagen Anbau von Nutzhanf in Deutschland. PowerPoint-Präsentation vom 19.03.2020 (Mitarb.): Mueller-Rees, K. München. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Außenstelle München, 31 Seiten
- [71] MEIER, J. (2022): Datenauswertung Hanf 2022. E-Mail an Empfänger: S. Scholcz. Straubing (Stand: 05.12.2022), 2 Seiten
- [72] MEIER, U.; BLEIHOLDER, H. (2016): BBCH-Skala. Phänologische Entwicklungsstadien wichtiger gartenbaulicher Kulturen, einschließlich Unkräuter. Band 2. Themenbibliothek Pflanzenproduktion. Clenze: Agrimedia Erling Verlag, 82 Seiten, ISBN 978-3-86263-121-6
- [73] MUNZERT, M. (2015): *Landwirtschaftliche und gartenbauliche Versuche mit SAS*. Mit 50 Programmen, 169 Tabellen und 18 Abbildungen. Springer-Lehrbuch. Berlin, Heidelberg: Springer, 449 Seiten, ISBN 978-3-642-544505-4
- [74] NELSON, C. H. (1944): Growth Responses of Hemp to Differential Soil and Air Temperatures. *Plant Physiology*, Bd. 19, Nr. 2, S. 294–309

- [75] NOPPAWAN, P.; BAINIER, C.; LANOT, A.; MCQUEEN-MASON, S.; SUPANCHAIYAMAT, N.; ATTARD, T. M.; HUNT, A. J. (2022): Effect of harvest time on the compositional changes in essential oils, cannabinoids, and waxes of hemp (*Cannabis sativa* L.). *Royal Society open science*, Bd. 9, Nr. 6, Art.-Nr. 211699, S. 1–16
- [76] NOVA-INSTITUT FÜR ÖKOLOGIE UND INNOVATION (30.01.2019): Hanf wird zum Milliarden-geschäft – weltweit größte Konferenz zu Industriehanf im Juni 2019 in Köln. Pressemitteilung, 30.01.2019. Hürth. Nova-Institut für Ökologie und Innovation, 4 Seiten
- [77] OFNER, K. (2014): Einfluss der Sorte und des Standortes bei Hanf (*Cannabis sativa* L.) in der Ganzpflanzennutzung im semiariden Produktionsgebiet. Doktorarbeit. Wien. Universität für Bodenkultur Wien, Department für angewandte Pflanzenwissenschaften, Abteilung für Pflanzenbau, 159 Seiten
- [78] QUALITY SERVICES INTERNATIONAL GMBH (2020): Untersuchungsmethode VA14110 (2020-04), LC-MS/MS(QS): THC und CBD-Analytik, Bremen
- [79] ROEMER, T.; SCHEIBE, A.; SCHMIDT, A.; WOERMANN, E. (1952): Ackerbaulehre. Handbuch der Landwirtschaft, Nr. 1. Berlin: Paul Parey, 634 Seiten
- [80] ROSS, S. A.; MEHMEDIC, Z.; MURPHY, T. P.; EL-SOHLI, M. A. (2000): GC-MS Analysis of the Total Δ^9 -THC Content of Both Drug- and Fiber-Type Cannabis Seeds. *Journal of Analytical Toxicology*, Bd. 24, Nr. 11/12 (November/Dezember), S. 715–717
- [81] SCHÖBERL, V. (2020): Hanf zur stofflichen Nutzung. Stand und Entwicklungen. Stand: Juli 2020. Berichte aus dem TFZ, Nr. 68. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 161 Seiten, ISSN 1614-1008
- [82] SMALL, E.; BECKSTEAD, H. D.; CHAN, A. (1975): The Evolution of Cannabinoid Phenotypes in Cannabis. *Economic Botany*, Bd. 29, Nr. 7–9 (July–September), S. 219–232
- [83] STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (STMELF) (2022): Mehrfachantrag. Mehrfachantrag 2021. Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) (Hrsg.). URL: <https://www.stmelf.bayern.de/agrarpolitik/foerderung/001141/> (Stand: 23.02.2022)
- [84] 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*, Bd. 11, Nr. 2–3, S. 107–118
- [85] TAKEDA, S.; OKAZAKI, H.; IKEDA, E.; ABE, S.; YOSHIOKA, Y.; WATANABE, K.; ARAMAKI, H. (2014): Down-regulation of cyclooxygenase-2 (COX-2) by cannabidiolic acid in human cancer cells. *The Journal of Toxicological Sciences*, Bd. 39, Nr. 5, S. 711–716
- [86] TEIRUMNIEKA, E.; BLUMBERGA, D.; TEIRUMNIEKS, E.; STRAMKALE, V. (2021): Product-oriented production of industrial hemp according to climatic conditions. *Agronomy Research*, Bd. 19, Nr. 4, S. 2026–2036
- [87] VERA, C. L.; MALHI, S. S.; PHELPS, S. M.; MAY, W. E.; JOHNSON, E. N. (2010): N, P, and S fertilization effects on industrial hemp in Saskatchewan. *Canadian Journal of Plant Science*, Bd. 90, Nr. 2, S. 179–184

- [88] 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*, Bd. 86, Nr. 3, S. 911–915
- [89] VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN (VDLUFA) (1976–2012): Das VDLUFA-Methodenbuch. Band III: Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. 3. Aufl., Gesamtwerk einschließlich 1.–8. Ergänzungslieferung. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.). Darmstadt. URL: https://www.vdlufa.de/Methodenbuch/index.php?option=com_content&view=article&id=4&Itemid=111&lang=de (Stand: 12.05.2022), 2190 Seiten
- [90] VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN (VDLUFA) (1991–2016): Das VDLUFA Methodenbuch. Band I: Die Untersuchung von Böden. 4. Aufl. 1991, Gesamtwerk, einschließlich 1.-7. Teillieferung. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.). Darmstadt. URL: https://www.vdlufa.de/Methodenbuch/index.php?option=com_content&view=article&id=7&Itemid=108&lang=de (Stand: 12.05.2022), 1655 Seiten
- [91] VIERING, K. (2016): Nutzpflanzen: Hanf – mehr als nur eine Droge. Heidelberg. Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. URL: <https://www.spektrum.de/wissen/hanf-mehr-als-nur-eine-droge/1397756> (Stand: 12.05.2022), 14 Seiten
- [92] VOGL, C. R.; HEß, J. (1997): Praktische Anbauerfahrungen mit Hanf (*Cannabis sativa* L.) in Österreich. In: NOVA-INSTITUT (Hrsg.): Biorohstoff Hanf 97. Tagungsband zum/Proceedings of the Symposium. 2. Biorohstoff Hanf. Frankfurt am Main, 27.02.-02.03.1997. Köln, Hürth: Nova-Institut, S. 244–252, ISBN 3-9805840-2-X
- [93] WENDLAND, M.; DIEPOLDER, M.; OFFENBERGER, K.; RASCHBACHER, S. (2018): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland. Stand: Januar 2018. 14. Aufl. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hrsg.). LfL-Information, Gelbes Heft. Freising-Weihenstephan: Institut für Ökologischen Landbau (IfÖL), Bodenkultur und Ressourcenschutz, 98 Seiten
- [94] WERF, H. V. D. (1994): Crop physiology of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). Proefschrift (Dissertation). Wageningen. Landbouwniversiteit, 153 Seiten, ISBN 90-9007171-7
- [95] WILLIAMS, D.; MUNDELL, R. (2018): An Introduction to Industrial Hemp and Hemp Agronomy. University of Kentucky, College of Agriculture, Food and Environment, Industrial Hemp Agronomic Research, Cooperative Extension Service (Hrsg.). Lexington, KY: UK-Publication, Nr. 250, 6 Seiten

Anhang

Tabelle 29: Termine für die Bestimmung des UDG, KDG und GDG in den Versuchsjahren 2020 bis 2022; AST – Aussattermin, n. e. – nicht erfasst, (v) – vor Hackmaßnahme, (n) – nach Hackmaßnahme

Versuch	Standort	2020		2021		2022	
		Reihenschluss	Ernte	Reihenschluss	Ernte	Reihenschluss	Ernte
Produktionstechnik im Körnerhanf	TFZ						
	1.AST	18.05. (v)	10.08.	07.06. (v)	16.08.	18.05. (v)	28.07.
	1.AST	03.06. (n)	–	21.06. (n)	–	30.05. (n)	–
	2.AST	02.06. (v)	10.08.	07.06. (v)	n. e.	30.05. (n)	–
	2.AST	15.06. (n)	–	21.06. (n)	–	15.06. (n)	–
	HD						
	1.AST	n. e.	n. e.	04.06. (v)	30.08.	20.05.	12.08.
	1.AST	n. e.	n. e.	n. e.	–	10.06.	–
Stickstoffsteigerung im Faserhanf	TFZ	12.06.	11.08.	08.06.	16.08.	30.05.	08.08.
	HD						
Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf	TFZ	16.06.	24.06. 30.06. 10.07.	16.06.	28.06. 06.07. 20.07.	15.06.	08.07. 18.07. 25.07.
	HD	17.06.	23.06.	04.06.	15.06. 29.06. 16.07.	01.06.	27.06. 05.07. 11.07.
	TFZ	15.06.	10.08.	18.06.	16.08.	15.06.	08.07.
	HD	n. e.	n. e.	09.06.	30.08.	01.06.	12.08. 26.08.
Winterhanf-anbau	TFZ	11.09.	n. e.	22.09.	n. e.	n. e.	n. e.
	HD	n. e.	n. e.	19.08.	03.03.	01.09.	–
Körnerhanf in Zweitfruchtstellung	TFZ	n. e.	n. e.	10.09.	n. e.	n. e.	n. e.

Tabelle 30: Mittelwerte ($n = 4$) und Standardabweichung der Trockenmasseerträge (TM/ha) und Trockensubstanzgehalte (TS) der Korn- und Stroherträge im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf am Standort TFZ

Jahr	Variante Einheit	Korn		Stroh	
		TM/ha dt/ha	TS %	TM/ha dt/ha	TS %
2020	eng 1.AST	8,48 ± 2,03	70,69 ± 3,59	29,01 ± 4,82	37,35 ± 1,17
2020	weit – 1.AST	8,72 ± 1,00	76,11 ± 0,89	29,31 ± 5,48	36,73 ± 0,85
2020	weit + 1.AST	10,79 ± 0,64	75,17 ± 1,75	23,73 ± 3,63	36,08 ± 1,28
2020	eng 2.AST	8,52 ± 2,77	72,64 ± 1,29	28,45 ± 0,45	34,47 ± 1,71
2020	weit – 2.AST	9,92 ± n. e.	69,90 ± n. e.	35,23 ± n. e.	31,90 ± n. e.
2020	weit + 2.AST	10,23 ± 1,44	70,75 ± 0,49	26,68 ± 2,32	36,25 ± 0,32
2021	eng 1.AST	10,45 ± 1,57	81,36 ± 6,62	27,61 ± 3,80	36,46 ± 6,53
2021	weit – 1.AST	9,34 ± 1,24	78,09 ± 2,56	26,87 ± 9,94	32,47 ± 2,51
2021	weit + 1.AST	9,43 ± 1,05	77,40 ± 2,44	25,79 ± 7,58	33,14 ± 2,72
2022	eng 1.AST	14,70 ± 2,68	72,29 ± 2,98	30,29 ± 6,09	39,99 ± 2,64
2022	weit + 1.AST	15,93 ± 2,68	73,78 ± 3,10	24,45 ± 2,39	39,22 ± 1,85
2022	eng 2.AST	12,90 ± 1,90	72,24 ± 1,47	31,01 ± 7,59	42,04 ± 4,50
2022	weit + 2.AST	13,90 ± 1,01	72,90 ± 1,50	27,67 ± 1,85	39,57 ± 1,94

Tabelle 31: Mittelwerte ($n = 4$) und Standardabweichung der Trockenmasseerträge (TM/ha) und Trockensubstanzgehalte (TS) der Korn- und Stroherträge im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf am Standort HD

Jahr	Variante Einheit	Korn		Stroh	
		TM/ha dt/ha	TS %	TM/ha dt/ha	TS %
2020	eng 1.AST	18,45 ± 2,97	82,15 ± 0,47	14,67 ± 5,64	37,96 ± 0,84
2020	weit – 1.AST	18,04 ± 2,30	81,67 ± 0,59	13,51 ± 1,33	36,66 ± 2,21
2020	weit + 1.AST	19,83 ± 1,64	82,86 ± 2,24	14,88 ± 4,72	35,31 ± 1,29
2020	eng 2.AST	17,92 ± 1,59	81,18 ± 0,68	21,13 ± 3,69	35,39 ± 2,63
2020	weit – 2.AST	18,47 ± 2,56	79,08 ± 3,64	22,75 ± 6,43	35,52 ± 0,95
2020	weit + 2.AST	21,07 ± 1,27	79,84 ± 0,43	23,63 ± 7,68	36,14 ± 1,60
2021	eng 1.AST	19,87 ± 7,77	89,70 ± 3,48	27,72 ± 3,69	37,46 ± 2,22
2021	weit – 1.AST	13,01 ± 6,23	86,16 ± 2,06	36,90 ± 5,60	37,81 ± 3,03
2021	weit + 1.AST	21,12 ± 4,40	89,18 ± 1,22	30,12 ± 5,25	36,51 ± 1,81
2021	eng 2.AST	21,56 ± 6,60	89,56 ± 1,61	31,11 ± 2,26	36,79 ± 1,36
2021	weit – 2.AST	23,15 ± 5,02	90,15 ± 1,51	34,47 ± 2,71	36,11 ± 1,88
2021	weit + 2.AST	26,10 ± 4,88	90,51 ± 0,30	34,90 ± 1,20	38,96 ± 1,76
2022	eng 1.AST	14,05 ± 4,02	61,09 ± 2,00	40,06 ± 4,26	42,14 ± 2,48
2022	weit + 1.AST	16,16 ± 3,88	59,96 ± 0,83	47,67 ± 12,75	45,84 ± 4,72

Jahr	Variante Einheit	Korn		Stroh	
		TM/ha dt/ha	TS %	TM/ha dt/ha	TS %
2022	eng 2.AST	12,17 ± 4,90	58,44 ± 3,54	42,25 ± 11,16	42,23 ± 3,50
2022	weit + 2.AST	12,80 ± 6,25	57,33 ± 4,10	43,78 ± 8,18	40,54 ± 3,36

Tabelle 32: Mittelwerte ($n = 4$) der Bestandsdichte zu Vegetationsbeginn (BD1) und Vegetationsende (BD2), Feldaufgang (FA), Selbstausdünnung (SA) und Pflanzenhöhe bei Ernte (HöheE) im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf am Standort TFZ

Jahr	Variante Einheit	BD1	BD2	FA	SA	HöheE
		Pfl./m ²	Pfl./m ²	%	%	cm
2020	eng 1.AST	82	43	82	47	93
2020	weit - 1.AST	79	40	79	49	91
2020	weit + 1.AST	74	35	74	53	93
2020	eng 2.AST	52	26	52	51	92
2020	weit - 2.AST	54	25	54	55	91
2020	weit + 2.AST	63	37	63	41	100
2021	eng 1.AST	67	44	67	34	88
2021	weit - 1.AST	56	31	56	44	89
2021	weit + 1.AST	52	2	52	49	94
2022	eng 1.AST	74	58	74	21	96
2022	weit + 1.AST	54	48	54	12	90
2022	eng 2.AST	76	82	76	-7	114
2022	weit + 2.AST	57	63	57	-11	110

Tabelle 33: Mittelwerte ($n = 4$) der Bestandsdichte zu Vegetationsbeginn (BD1) und Vegetationsende (BD2), Feldaufgang (FA), Selbstausdünnung (SA) und Pflanzhöhe bei Ernte (HöheE) im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf am Standort HD

Jahr	Variante	BD1	BD2	FA	SA	HöheE
	Einheit	Pfl./m ²	Pfl./m ²	%	%	cm
2020	eng 1.AST	88	43	88	51	103
2020	weit – 1.AST	112	42	112	63	111
2020	weit + 1.AST	98	40	98	59	146
2020	eng 2.AST	84	50	84	39	104
2020	weit – 2.AST	135	51	135	61	141
2020	weit + 2.AST	156	56	156	63	145
2021	eng 1.AST	82	63	82	22	168
2021	weit – 1.AST	60	44	60	25	167
2021	weit + 1.AST	56	48	56	13	175
2021	eng 2.AST	66	51	66	23	172
2021	weit – 2.AST	62	54	62	12	171
2021	weit + 2.AST	68	63	68	5	175
2022	eng 1.AST	85	78	85	8	144
2022	weit + 1.AST	36	36	36	0	154
2022	eng 2.AST	37	105	37	-186	164
2022	weit + 2.AST	109	37	109	65	165

Tabelle 34: Gehalte an Cannabinoiden (Δ 9-THC, THCA, CBD, CBDA) in den Körnern bei einer Stickstoffversorgung von 120 kg N/ha am Standort TFZ und HD im Versuch zur Produktionstechnik

Standort	Variante	Jahr	TFZ		HD		
			Inhaltsstoff in mg/kg	Reinigung vor Trocknung	Reinigung nach Trocknung	Reinigung vor Trocknung	Reinigung nach Trocknung
Δ 9-THC	eng 1.AST	2020		5,1	5,3	4,0	6,6
	weit – 1.AST	2020		5,1	5,9	4,5	9,2
	weit + 1.AST	2020		6,9	4,6	4,7	10,0
	eng 2.AST	2020		4,0	8,9	4,0	9,1
	weit – 2.AST	2020		19,0	3,9	6,2	8,5
	weit + 2.AST	2020		10,0	6,1	3,8	9,3
	eng 1.AST	2021		2,0	1,6	3,9	2,7
	weit – 1.AST	2021		2,0	0,7	2,9	2,3
	weit + 1.AST	2021		1,9	1,6	2,9	3,8
	eng 2.AST	2021		n. e.	n. e.	3,3	3,2
	weit – 2.AST	2021		n. e.	n. e.	2,7	3,5

Standort	Inhaltsstoff in mg/kg	Variante	Jahr	TFZ		HD	
				Reinigung vor Trocknung	Reinigung nach Trocknung	Reinigung vor Trocknung	Reinigung nach Trocknung
		weit + 2.AST	2021	n. e.	n. e.	3,3	3,2
THCA		eng 1.AST	2020	15,0	3,1	7,3	11,0
		weit – 1.AST	2020	17,0	3,3	14,0	15,0
		weit + 1.AST	2020	21,0	2,7	7,8	16,0
		eng 2.AST	2020	15,0	4,2	8,2	17,0
		weit – 2.AST	2020	43,0	14,0	12,0	18,0
		weit + 2.AST	2020	31,0	3,7	8,4	19,0
		eng 1.AST	2021	11,0	6,9	8,5	7,6
		weit – 1.AST	2021	8,1	4,1	7,7	7,4
		weit + 1.AST	2021	11,0	7,0	7,7	5,4
		eng 2.AST	2021	n. e.	n. e.	6,6	6,1
		weit – 2.AST	2021	n. e.	n. e.	6,8	7,7
		weit + 2.AST	2021	n. e.	n. e.	6,9	6,1
CBD		eng 1.AST	2020	17,0	20,0	12,0	21,0
		weit – 1.AST	2020	12,0	20,0	12,0	26,0
		weit + 1.AST	2020	20,0	16,0	14,0	27,0
		eng 2.AST	2020	11,0	25,0	11,0	25,0
		weit – 2.AST	2020	39,0	11,0	15,0	23,0
		weit + 2.AST	2020	27,0	22,0	10,0	26,0
		eng 1.AST	2021	9,0	8,4	23,0	19,0
		weit – 1.AST	2021	10,0	6,0	20,0	16,0
		weit + 1.AST	2021	8,7	7,6	17,0	19,0
		eng 2.AST	2021	n. e.	n. e.	17,0	19,0
		weit – 2.AST	2021	n. e.	n. e.	20,0	18,0
		weit + 2.AST	2021	n. e.	n. e.	22,0	16,0
CBDA		Eng 1.AST	2020	97,0	35,0	80,0	100,0
		weit – 1.AST	2020	76,0	32,0	82,0	130,0
		weit + 1.AST	2020	130,0	31,0	80,0	140,0
		eng 2.AST	2020	110,0	46,0	75,0	140,0
		weit – 2.AST	2020	270,0	82,0	100,0	110,0
		weit + 2.AST	2020	190,0	50,0	32,0	140,0
		eng 1.AST	2021	42,0	57,0	73,0	69,0
		weit – 1.AST	2021	70,0	25,0	66,0	63,0
		weit + 1.AST	2021	39,0	57,0	58,0	55,0
		eng 2.AST	2021	n. e.	n. e.	64,0	59,0
		weit – 2.AST	2021	n. e.	n. e.	59,0	52,0
		weit + 2.AST	2021	n. e.	n. e.	67,0	48,0

Tabelle 35: *Datengrundlage Stickstoffbilanz inklusive Stickstoffentzugs Stroh (N-Entzug Stroh), Stickstoffentzugs Korn (N-Entzug Korn), Stickstoffzufuhr (N-Zufuhr), verfügbarer Stickstoffmenge vor Aussaat (N_{min} vor Aussaat) und nach Ernte (N_{min} nach Ernte) zur Ermittlung der N-Bilanz im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf am Standort TFZ*

Jahr	Variante	N-Entzug Korn	N-Entzug Stroh	N-Zufuhr	N_{min} vor Aussaat	N_{min} nach Ernte	N-Bilanz
	Einheit	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha
2020	eng 1.AST	32,0	23,8	66	54	35	10,3
2020	weit – 1.AST	33,6	24,0	66	54	41	8,4
2020	weit + 1.AST	40,0	19,5	66	54	43	6,5
2020	eng 2.AST	30,8	23,3	66	54	46	11,8
2020	weit – 2.AST	36,2	28,9	66	54	51	0,9
2020	weit + 2.AST	39,6	21,9	66	54	40	4,5
2021	eng 1.AST	39,7	33,7	40	80	29	-33,4
2021	weit – 1.AST	36,4	30,1	40	80	26	-26,5
2021	weit + 1.AST	36,0	25,8	40	80	24	-21,8
2022	eng 1.AST	55,1	23,3	72	48	30	-6,5
2022	weit + 1.AST	61,5	25,4	72	48	27	-14,9
2022	eng 2.AST	49,3	30,4	72	48	39	-7,7
2022	weit + 2.AST	52,7	35,1	72	48	36	-15,8

Tabelle 36: *Datengrundlage Stickstoffbilanz inklusive Stickstoffentzugs Stroh (N-Entzug Stroh), Stickstoffentzugs Korn (N-Entzug Korn), verfügbarer Stickstoffmenge vor Aussaat (N_{min} vor Aussaat) und nach Ernte (N_{min} nach Ernte) zur Ermittlung der N-Bilanz im Versuch zur Produktionstechnik im Körnerhanf am Standort HD*

Jahr	Variante	N-Entzug Korn	N-Entzug Stroh	N-Zufuhr	N_{min} vor Aussaat	N_{min} nach Ernte	N-Bilanz
	Einheit	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha
2020	eng 1.AST	68,27	12,76	42	78	15	-39,0
2020	weit – 1.AST	69,80	9,73	42	78	15	-37,5
2020	weit + 1.AST	79,34	11,01	42	78	16	-48,3
2020	eng 2.AST	65,06	12,89	42	78	18	-36,0
2020	weit – 2.AST	69,28	26,62	42	78	15	-53,9
2020	weit + 2.AST	82,16	21,51	42	78	14	-61,7
2021	eng 1.AST	75,50	14,69	35	85	18	-55,2
2021	weit – 1.AST	49,03	22,14	35	85	15	-36,2
2021	weit + 1.AST	80,25	17,77	35	85	19	-63,0
2021	eng 2.AST	82,78	19,29	35	8	20	-67,1
2021	weit – 2.AST	87,97	22,06	35	85	22	-75,0

Jahr	Variante	N-Entzug Korn	N-Entzug Stroh	N-Zufuhr	N _{min} vor Aussaat	N _{min} nach Ernte	N-Bilanz
	Einheit	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha
2021	weit + 2.AST	99,19	21,29	35	85	16	-85,5
2022	eng 1.AST	53,81	42,46	0	178	26	-96,3
2022	weit + 1.AST	58,00	30,99	0	178	22	-89,0
2022	eng 2.AST	47,81	46,05	0	178	18	-93,9
2022	weit + 2.AST	51,95	55,59	0	178	23	-107,5

Tabelle 37: Mittelwerte ($n = 4$) und Standardabweichung der Trockenmasseerträge (TM/ha) und Trockensubstanzgehalte (TS) der Stroh- und Röststroherträge im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf am Standort TFZ

Jahr	Variante Einheit	Stroh		Röststroh	
		TM/ha dt/ha	TS %	TM/ha dt/ha	TS %
2020	N _{min}	75,52 ± 11,58	31,17 ± 1,45	56,45 ± 8,88	89,34 ± 0,00
2020	80	100,39 ± 5,31	32,80 ± 0,98	78,63 ± 6,70	90,32 ± 0,00
2020	160	117,56 ± 4,32	31,29 ± 0,91	91,14 ± 1,70	89,36 ± 0,00
2020	240	134,49 ± 14,24	31,22 ± 1,07	93,23 ± 8,33	89,23 ± 0,00
2021	N _{min}	107,82 ± 15,58	30,80 ± 1,63	87,83 ± 6,80	90,56 ± 0,82
2021	160	125,5 ± 4,26	29,06 ± 0,68	102,79 ± 2,64	90,31 ± 0,80
2021	200	128,96 ± 15,41	28,60 ± 2,55	103,84 ± 4,26	91,00 ± 0,46
2021	240	131,76 ± 6,08	28,82 ± 1,38	101,49 ± 3,59	91,06 ± 0,90
2022	N _{min}	124,41 ± 5,25	38,31 ± 1,57	105,61 ± 7,12	71,06 ± 7,84
2022	120	147,52 ± 11,2	35,11 ± 1,75	144,66 ± 30,57	71,8 ± 2,33
2022	160	163,65 ± 3,35	37,86 ± 0,54	144,96 ± 30,65	70,62 ± 8,72
2022	200	165,50 ± 13,87	36,47 ± 1,78	152,44 ± 43,54	71,77 ± 4,81
2022	240	171,73 ± 11,44	36,98 ± 1,05	131,34 ± 8,81	68,47 ± 5,30

Tabelle 38: Mittelwerte ($n = 4$) der Bestandsdichte zu Vegetationsbeginn (BD1) und Vegetationsende (BD2), Feldaufgang (FA), Selbstaussdünnung (SA) und Pflanzenhöhe bei Ernte (HöheE) im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf am Standort TFZ

Jahr	Variante	BD1	BD2	FA	SA	HöheE
	Einheit	Pfl./m ²	Pfl./m ²	%	%	cm
2020	N _{min}	343	260	98	23	182
2020	80	363	280	104	23	203
2020	160	323	172	92	47	284
2020	240	350	116	100	67	266
2021	N _{min}	259	242	74	7	233
2021	160	245	196	70	20	270
2021	200	260	197	74	24	284
2021	240	256	147	73	41	287
2022	N _{min}	225	222	64	0	225
2022	120	209	188	60	10	260
2022	160	183	160	52	12	278
2022	200	171	128	49	24	285
2022	240	186	133	53	28	297

Tabelle 39: Datengrundlage Stickstoffbilanz inklusive Stickstoffentzugs Stroh (N-Entzug Stroh), Stickstoffentzugs Röststroh (N-Entzug RStroh), verfügbarer Stickstoffmenge vor Aussaat (N_{min} vor Aussaat) und nach Ernte (N_{min} nach Ernte) zur Ermittlung der N-Bilanz im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Faserhanf am Standort TFZ

Jahr	Variante	N-Entzug Stroh	N-Entzug Röststroh	N-Zufuhr	N _{min} vor Aussaat	N _{min} nach Ernte	N-Bilanz
	Einheit	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha
2020	N _{min}	70,99	30,48	0	54	36	-30,5
2020	80	78,31	22,02	26	54	34	4,0
2020	160	108,15	39,19	106	54	42	66,8
2020	240	147,94	43,82	186	54	55	142,2
2021	N _{min}	80,87	41,28	0	80	25	-41,3
2021	160	140,19	41,20	80	80	27	38,8
2021	200	138,82	66,16	120	80	39	53,8
2021	240	119,90	71,04	160	80	26	89,0
2022	N _{min}	170,44	29,57	0	48	29	-31,7
2022	120	303,89	39,06	72	48	20	28,6
2022	160	288,03	56,54	112	48	23	49,7
2022	200	403,81	112,81	152	48	27	30,0
2022	240	238,70	69,61	192	48	27	115,8

Tabelle 40: Mittelwerte ($n = 4$) und Standardabweichung der Trockenmasseerträge (TM/ha) und Trockensubstanzgehalte (TS) der Korn- und Stroherträge im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf am Standort TFZ

Jahr	Variante Einheit	Ernte- termin	Blütenstand		Stroh	
			TM/ha dt/ha	TS %	TM/ha dt/ha	TS %
2020	N _{min}	1	7,66 ± 1,68	24,48 ± 0,00	5,68 ± 1,60	25,29 ± 0,98
2020	80	1	5,05 ± 2,06	21,72 ± 0,00	9,87 ± 1,19	23,84 ± 2,04
2020	160	1	8,11 ± 2,34	19,76 ± 0,00	12,20 ± 0,41	19,79 ± 0,90
2020	240	1	8,64 ± 1,39	20,86 ± 0,00	14,05 ± 4,01	20,41 ± 2,86
2020	N _{min}	2	12,00 ± 1,41	25,47 ± 2,52	5,65 ± 2,04	29,57 ± 0,60
2020	80	2	13,37 ± 2,93	26,02 ± 0,48	12,51 ± 3,41	28,75 ± 0,77
2020	160	2	18,91 ± 1,69	24,23 ± 0,71	15,31 ± 2,97	25,33 ± 0,53
2020	240	2	16,04 ± 1,73	23,29 ± 0,50	13,63 ± 7,47	23,46 ± 1,21
2020	N _{min}	3	12,34 ± 3,24	29,07 ± 0,48	7,26 ± 2,52	32,02 ± 1,12
2020	80	3	15,86 ± 2,61	28,88 ± 0,60	11,24 ± 3,18	31,99 ± 0,75
2020	160	3	19,18 ± 0,71	26,80 ± 0,51	21,23 ± 1,76	29,10 ± 1,23
2020	240	3	18,56 ± 10,61	25,55 ± 0,21	23,95 ± 2,32	27,87 ± 1,39
2021	N _{min}	1	4,55 ± 0,77	24,45 ± 0,77	3,94 ± 1,01	25,30 ± 1,35
2021	160	1	5,24 ± 1,71	22,58 ± 0,69	5,73 ± 1,29	21,94 ± 0,38
2021	200	1	4,56 ± 0,72	21,84 ± 0,20	4,64 ± 1,11	20,66 ± 0,96
2021	240	1	6,20 ± 1,52	21,63 ± 0,30	4,39 ± 0,74	21,46 ± 0,36
2021	N _{min}	2	3,14 ± 0,44	25,31 ± 0,54	5,82 ± 0,43	24,16 ± 2,33
2021	160	2	5,28 ± 1,28	21,68 ± 2,72	7,73 ± 1,85	19,72 ± 3,20
2021	200	2	5,28 ± 2,95	19,69 ± 2,66	8,84 ± 0,98	19,70 ± 1,27
2021	240	2	5,51 ± 1,29	19,82 ± 3,31	6,89 ± 4,22	19,62 ± 1,23
2021	N _{min}	3	8,12 ± 0,36	24,11 ± 1,91	10,29 ± 4,28	21,79 ± 4,13
2021	160	3	8,08 ± 2,03	20,59 ± 2,60	16,40 ± 4,14	16,72 ± 5,62
2021	200	3	11,15 ± 3,90	19,49 ± 3,29	14,93 ± 2,04	16,41 ± 6,22
2021	240	3	8,73 ± 2,95	19,01 ± 3,50	16,00 ± 4,37	17,17 ± 4,91
2022	N _{min}	1	15,05 ± 1,05	29,98 ± 0,25	8,07 ± 2,69	32,42 ± 0,93
2022	160	1	22,21 ± 1,95	28,44 ± 0,12	16,65 ± 1,37	29,90 ± 0,78
2022	200	1	21,77 ± 3,73	27,48 ± 0,12	14,81 ± 4,22	29,15 ± 0,35
2022	240	1	20,89 ± 1,31	27,59 ± 0,44	18,06 ± 0,24	28,83 ± 0,29
2022	N _{min}	2	12,67 ± 2,33	33,65 ± 1,11	11,25 ± 2,21	35,28 ± 0,69
2022	160	2	20,68 ± 2,36	32,70 ± 0,63	18,08 ± 1,28	33,13 ± 0,19
2022	200	2	21,47 ± 3,91	32,30 ± 0,69	21,90 ± 3,15	32,49 ± 0,09
2022	240	2	18,15 ± 2,77	31,93 ± 0,67	24,94 ± 4,49	32,02 ± 0,40
2022	N _{min}	3	15,27 ± 2,38	35,66 ± 0,66	7,19 ± 0,58	39,9 ± 0,39
2022	160	3	21,26 ± 3,13	36,31 ± 1,50	16,51 ± 1,88	38,24 ± 1,50
2022	200	3	21,36 ± 5,13	36,53 ± 0,68	17,17 ± 3,74	39,00 ± 2,51
2022	240	3	21,28 ± 2,50	35,59 ± 1,03	18,47 ± 2,55	37,14 ± 0,61

Tabelle 41: Mittelwerte ($n = 4$) und Standardabweichung der Trockenmasseerträge (TM/ha) und Trockensubstanzgehalte (TS) der Korn- und Stroherträge im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf am Standort HD

Jahr	Variante Einheit	Ernte- termin	Blütenstand		Stroh	
			TM/ha dt/ha	TS %	TM/ha dt/ha	TS %
2020	N _{min}	1	9,98 ± 2,50	25,30 ± 2,99	18,43 ± 3,55	24,40 ± 1,62
2020	80	1	13,54 ± 3,64	24,89 ± 1,95	18,96 ± 3,06	24,34 ± 0,23
2020	160	1	11,42 ± 3,47	22,30 ± 2,04	19,71 ± 2,95	22,07 ± 1,72
2020	240	1	10,88 ± 3,30	22,37 ± 2,65	18,60 ± 4,23	22,37 ± 0,5
2020	N _{min}	2	16,16 ± 3,86	27,45 ± 1,11	22,70 ± 5,53	27,90 ± 2,21
2020	80	2	23,00 ± 4,86	27,10 ± 1,06	21,11 ± 2,20	29,07 ± 0,67
2020	160	2	19,40 ± 5,01	25,51 ± 1,30	22,98 ± 1,20	28,11 ± 2,29
2020	240	2	21,97 ± 9,67	25,70 ± 2,07	22,13 ± 0,59	26,37 ± 1,7
2020	N _{min}	3	19,67 ± 4,61	22,45 ± 14,97	26,27 ± 3,67	23,10 ± 15,48
2020	80	3	26,75 ± 5,14	22,33 ± 15,04	23,44 ± 3,62	23,90 ± 15,99
2020	160	3	26,61 ± 4,79	22,55 ± 15,20	26,53 ± 2,31	23,10 ± 15,51
2020	240	3	23,91 ± 9,46	20,31 ± 13,57	25,29 ± 0,32	21,92 ± 14,65
2021	N _{min}	1	5,97 ± 1,72	18,48 ± 1,29	12,33 ± 1,70	17,36 ± 0,55
2021	160	1	12,22 ± 1,61	18,47 ± 1,08	13,29 ± 0,95	16,20 ± 0,6
2021	200	1	12,43 ± 2,06	17,98 ± 0,87	12,27 ± 2,23	15,36 ± 0,72
2021	240	1	14,50 ± 1,34	17,50 ± 0,34	13,25 ± 2,45	16,17 ± 0,72
2021	N _{min}	2	27,11 ± 5,00	22,77 ± 0,76	13,57 ± 1,93	24,92 ± 1,51
2021	160	2	38,21 ± 1,20	22,13 ± 0,67	15,17 ± 1,06	23,40 ± 1,20
2021	200	2	39,65 ± 2,19	20,67 ± 0,18	12,71 ± 1,14	22,34 ± 0,35
2021	240	2	43,32 ± 3,43	21,16 ± 0,64	13,64 ± 0,49	22,44 ± 0,36
2021	N _{min}	3	44,39 ± 4,87	29,43 ± 1,21	13,90 ± 1,46	33,47 ± 0,76
2021	160	3	61,10 ± 7,02	28,42 ± 1,16	18,96 ± 1,86	31,44 ± 1,51
2021	200	3	73,72 ± 6,62	28,32 ± 2,18	19,66 ± 1,81	30,59 ± 1,09
2021	240	3	74,10 ± 10,43	27,37 ± 1,92	18,23 ± 3,24	29,81 ± 1,97
2022	N _{min}	1	16,25 ± 1,61	21,12 ± 0,59	11,04 ± 1,49	20,99 ± 0,57
2022	200	1	16,11 ± 4,25	20,56 ± 0,95	10,78 ± 1,49	21,50 ± 0,94
2022	240	1	16,55 ± 2,62	21,04 ± 0,9	9,78 ± 1,85	20,97 ± 0,60
2022	N _{min}	2	23,7 ± 0,48	24,50 ± 0,97	22,12 ± 2,15	26,20 ± 1,18
2022	200	2	23,25 ± 1,18	24,90 ± 0,31	19,93 ± 3,96	26,33 ± 0,36
2022	240	2	24,29 ± 4,16	24,53 ± 0,53	18,46 ± 2,16	26,90 ± 1,42
2022	N _{min}	3	29,09 ± 4,21	26,67 ± 0,63	22,70 ± 4,18	31,01 ± 0,20
2022	200	3	34,01 ± 3,66	26,41 ± 0,44	22,42 ± 2,18	30,66 ± 0,92
2022	240	3	33,27 ± 11,36	27,88 ± 2,23	22,32 ± 1,68	31,81 ± 2,85
2022	200	4	35,90 ± 1,94	28,40 ± 2,13	23,85 ± 3,91	36,30 ± 0,94
2022	200	5	41,77 ± 6,07	33,58 ± 1,18	19,45 ± 0,91	40,45 ± 4,18
2022	200	6	37,40 ± 12,95	32,04 ± 3,14	11,84 ± 11,83	36,27 ± 0,92

Tabelle 42: Mittelwerte ($n = 4$) der Bestandsdichte zu Vegetationsbeginn (BD1) und Vegetationsende (BD2), Feldaufgang (FA), Selbstausdünnung (SA) und Pflanzenhöhe bei Ernte (HöheE) im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf am Standort TFZ

Jahr	Variante Einheit	Erntetermin	BD1 Pfl./m ²	BD2 Pfl./m ²	FA %	SA %	HöheE cm
2020	N _{min}	1	70	65	70	6	76
2020	80	1	65	64	65	0	94
2020	160	1	71	65	71	7	101
2020	240	1	80	84	80	-7	105
2020	N _{min}	2	81	72	81	10	80
2020	80	2	74	57	74	23	92
2020	160	2	76	64	76	13	105
2020	240	2	70	63	70	8	112
2020	N _{min}	3	64	63	64	2	89
2020	80	3	77	85	77	-11	93
2020	160	3	81	81	81	0	101
2020	240	3	65	68	65	-4	111
2021	N _{min}	1	51	59	51	-14	70
2021	160	1	59	66	59	-11	74
2021	200	1	73	77	73	-10	75
2021	240	1	61	54	61	-2	73
2021	N _{min}	2	82	44	82	30	81
2021	160	2	39	48	39	-25	82
2021	200	2	60	53	60	0	85
2021	240	2	36	40	36	-7	85
2021	N _{min}	3	31	23	31	26	82
2021	160	3	39	32	39	23	94
2021	200	3	41	23	41	43	96
2021	240	3	66	30	66	42	98
2022	N _{min}	1	34	35	34	-7	84
2022	160	1	32	33	32	-4	102
2022	200	1	30	28	30	7	106
2022	240	1	41	37	41	9	107
2022	N _{min}	2	40	36	40	11	88
2022	160	2	41	33	41	19	106
2022	200	2	33	28	33	16	109
2022	240	2	36	31	36	16	113
2022	N _{min}	3	35	33	35	8	81
2022	160	3	34	33	34	0	100
2022	200	3	37	33	37	12	101
2022	240	3	35	31	35	10	105

Tabelle 43: Mittelwerte ($n = 4$) der Bestandsdichte zu Vegetationsbeginn (BD1) und Vegetationsende (BD2), Feldaufgang (FA), Selbstaussdünnung (SA) und Pflanzhöhe bei Ernte (HöheE) im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf am Standort HD

Jahr	Variante Einheit	Erntetermin	BD1 Pfl./m ²	BD2 Pfl./m ²	FA %	SA %	HöheE cm
2020	N _{min}	1	185	45	185	81	100
2020	80	1	197	61	197	74	99
2020	160	1	173	62	173	59	104
2020	240	1	164	59	164	64	110
2020	N _{min}	2	174	45	174	80	96
2020	80	2	177	61	177	73	98
2020	160	2	163	62	163	55	103
2020	240	2	153	59	153	60	106
2020	N _{min}	3	141	45	141	n. e.	91
2020	80	3	155	61	155	n. e.	96
2020	160	3	141	62	141	n. e.	100
2020	240	3	139	59	139	n. e.	114
2021	N _{min}	1	48	46	48	6	108
2021	160	1	52	49	52	4	120
2021	200	1	55	52	55	1	12
2021	240	1	54	56	54	-11	121
2021	N _{min}	2	67	56	67	16	161
2021	160	2	54	44	54	19	179
2021	200	2	47	40	47	14	182
2021	240	2	56	52	56	6	182
2021	N _{min}	3	48	42	48	13	159
2021	160	3	59	52	59	12	174
2021	200	3	56	49	56	11	184
2021	240	3	57	45	57	20	179
2022	N _{min}	1	30	33	30	-10	157
2022	200	1	30	33	30	-9	159
2022	240	1	34	35	34	-2	158
2022	N _{min}	2	34	36	34	-7	172
2022	200	2	33	35	33	-8	169
2022	240	2	34	34	34	-1	170
2022	N _{min}	3	33	34	33	-4	169
2022	200	3	32	32	32	1	172
2022	240	3	38	39	38	-2	172
2022	200	4	34	35	34	-2	169
2022	200	5	32	33	32	-2	171
2022	200	6	38	39	38	-3	171

Tabelle 44: *Datengrundlage Stickstoffbilanz inklusive Stickstoffentzugs Stroh (N-Entzug Stroh), Stickstoffentzugs Korn (N-Entzug Korn), Stickstoffzufuhr (N-Zufuhr), verfügbarer Stickstoffmenge vor Aussaat (N_{min} vor Aussaat) und nach Ernte (N_{min} nach Ernte) zur Ermittlung der N-Bilanz im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf am Standort TFZ*

Jahr	Variante	Ernte- termin	N-Entzug	N-Entzug	N-Zufuhr	N_{min}	N_{min}	N-Bilanz
	Einheit		Blütenstand	Stroh	kg N/ha	vor Aussaat	nach Ernte	kg N/ha
2020	N_{min}	1	20,61	7,50	0	54	54	-28,1
2020	80	1	13,88	18,35	26	54	79	-6,2
2020	160	1	30,00	26,10	106	54	106	49,9
2020	240	1	36,01	41,87	186	54	174	108,1
2020	N_{min}	2	29,05	5,82	0	54	57	-34,9
2020	80	2	6,28	16,76	26	54	45	3,0
2020	160	2	41,61	24,80	106	54	71	39,6
2020	240	2	44,92	26,45	186	54	105	114,6
2020	N_{min}	3	21,48	9,22	0	54	55	-30,7
2020	80	3	57,11	8,77	26	54	52	-39,9
2020	160	3	45,86	25,26	106	54	59	34,9
2020	240	3	56,23	27,06	186	54	109	102,7
2021	N_{min}	1	13,64	6,30	0	80	n. e.	-19,9
2021	160	1	19,48	11,70	80	80	n. e.	48,8
2021	200	1	16,71	10,94	120	80	n. e.	92,4
2021	240	1	24,29	8,21	160	80	n. e.	127,5
2021	N_{min}	2	8,54	8,14	0	80	n. e.	-16,7
2021	160	2	19,55	15,46	80	80	n. e.	45,0
2021	200	2	20,90	17,77	120	80	n. e.	81,3
2021	240	2	20,88	17,44	160	80	n. e.	121,7
2021	N_{min}	3	19,90	11,94	0	80	n. e.	-31,8
2021	160	3	23,60	30,17	80	80	n. e.	26,2
2021	200	3	35,79	25,83	120	80	n. e.	58,4
2021	240	3	27,06	31,03	160	80	n. e.	101,9
2022	N_{min}	1	27,55	14,92	0	48	39	-42,5
2022	160	1	63,75	25,15	112	48	95	23,1
2022	200	1	67,70	26,96	152	48	79	57,3
2022	240	1	70,61	31,97	192	48	78	89,4
2022	N_{min}	2	18,62	11,58	0	48	30	-30,2
2022	160	2	41,98	26,94	112	48	38	43,1
2022	200	2	59,04	47,31	152	48	62	45,6
2022	240	2	41,39	44,40	192	48	118	106,2
2022	N_{min}	3	27,18	4,03	0	48	31	-31,2

2022	160	3	46,76	16,51	112	48	43	48,7
2022	200	3	51,90	21,30	152	48	36	78,8
2022	240	3	51,50	28,99	192	48	55	111,5

Tabelle 45: *Datengrundlage Stickstoffbilanz inklusive Stickstoffentzugs Stroh (N-Entzug Stroh), Stickstoffentzugs Korn (N-Entzug Korn), Stickstoffzufuhr (N-Zufuhr), verfügbarer Stickstoffmenge vor Aussaat (N_{min} vor Aussaat) und nach Ernte (N_{min} nach Ernte) zur Ermittlung der N-Bilanz im Versuch zur Stickstoffsteigerung im CBD-Hanf am Standort HD*

Jahr	Variante Einheit	Ernte- termin	N-Entzug Blütenstand kg N/ha	N-Entzug Stroh kg N/ha	N-Zufuhr kg N/ha	N_{min} vor Aussaat kg N/ha	N_{min} nach Ernte kg N/ha	N-Bilanz kg N/ha
2020	N_{min}	1	26,85	24,32	0	78	36	-51,2
2020	80	1	37,25	35,26	2	78	57	-70,5
2020	160	1	42,26	42,19	82	78	72	-2,4
2020	240	1	45,37	55,43	162	78	104	61,2
2020	N_{min}	2	39,11	23,38	0	78	21	-62,5
2020	80	2	10,81	28,28	2	78	28	-37,1
2020	160	2	42,69	37,23	82	78	34	2,1
2020	240	2	61,51	42,93	162	78	52	57,6
2020	N_{min}	3	34,22	33,36	0	78	15	-67,6
2020	80	3	96,30	18,28	2	78	16	-112,6
2020	160	3	90,73	31,57	82	78	29	-40,3
2020	240	3	72,45	28,57	162	78	68	61,0
2021	N_{min}	1	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.
2021	160	1	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.
2021	200	1	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.
2021	240	1	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.
2021	N_{min}	2	65,33	8,96	0	85	31	-74,3
2021	160	2	98,58	10,01	75	85	49	-33,6
2021	200	2	107,44	11,18	115	85	103	-3,6
2021	240	2	130,41	13,37	155	85	156	11,2
2021	N_{min}	3	111,87	5,28	0	85	n. e.	-117,1
2021	160	3	168,02	7,77	75	85	n. e.	-100,8
2021	200	3	212,32	8,8	115	85	n. e.	-106,2
2021	240	3	207,48	7,66	155	85	n. e.	-60,1
2022	N_{min}	1	66,45	20,20	0	178	82	-86,7
2022	200	1	67,65	19,30	22	178	79	-65,0
2022	240	1	76,64	21,62	62	178	120	-36,3
2022	N_{min}	2	73,23	22,35	0	178	37	-95,6
2022	200	2	83,71	22,92	22	178	53	-84,6

Jahr	Variante	Ernte- termin	N-Entzug	N-Entzug	N-Zufuhr	N _{min}	N _{min}	N-Bilanz
	Einheit		Blütenstand	Stroh	kg N/ha	vor Aussaat	nach Ernte	
			kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha
2022	240	2	83,30	20,12	62	178	74	-41,4
2022	N _{min}	3	86,39	23,16	0	178	43	-109,6
2022	200	3	116,32	23,32	22	178	39	-117,6
2022	240	3	92,84	25,00	62	178	31	-55,8
2022	200	4	112,74	18,13	22	178	39	-108,9
2022	200	5	116,13	10,89	22	178	21	-105,0
2022	200	6	120,82	5,92	22	178	26	-104,7

Tabelle 46: Mittelwerte ($n = 4$) und Standardabweichung der Trockenmasseerträge (TM/ha) und Trockensubstanzgehalte (TS) der Korn- und Stroherträge im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf am Standort TFZ

Jahr	Variante	Sorte	Korn		Stroh	
			TM/ha	TS	TM/ha	TS
			dt/ha	%	dt/ha	%
2020	N _{min}	FINOLA	6,50 ± 0,71	67,47 ± 19,77	12,01 ± 1,68	37,17 ± 1,07
2020	80	FINOLA	8,55 ± 0,25	75,95 ± 0,92	16,12 ± 1,24	38,00 ± 2,20
2020	160	FINOLA	16,37 ± 5,44	76,31 ± 1,98	30,69 ± 9,03	36,43 ± 2,83
2020	240	FINOLA	21,31 ± 1,77	75,08 ± 1,60	32,75 ± 5,27	35,46 ± 2,03
2020	N _{min}	Earlina 8 FC	6,30 ± 0,99	68,34 ± 0,89	25,27 ± 4,03	37,56 ± 1,23
2020	80	Earlina 8 FC	6,98 ± 1,20	68,26 ± 1,25	31,93 ± 4,18	35,88 ± 1,85
2020	160	Earlina 8 FC	12,30 ± 1,15	67,99 ± 0,56	58,86 ± 4,12	36,57 ± 2,37
2020	240	Earlina 8 FC	13,95 ± 2,24	66,32 ± 1,12	62,41 ± 7,13	35,12 ± 1,84
2021	N _{min}	Sortenmix	12,48 ± 0,74	70,34 ± 0,68	37,00 ± 4,92	35,30 ± 5,60
2021	160	Sortenmix	13,78 ± 12,76	62,90 ± 9,16	54,51 ± 8,70	32,79 ± 2,34
2021	200	Sortenmix	21,46 ± 3,01	68,11 ± 0,79	56,32 ± 8,87	34,37 ± 5,12
2021	240	Sortenmix	17,57 ± 3,44	65,98 ± 1,78	51,34 ± 6,60	31,72 ± 1,26
2021	160	Uso 31	16,58 ± 21,80	60,61 ± 10,84	56,70 ± 7,47	33,77 ± 3,68
2021	160	Fedora 17	8,42 ± 1,90	60,24 ± 9,72	63,77 ± 6,10	32,03 ± 1,57
2022	N _{min}	FINOLA	10,84 ± 1,13	83,55 ± 0,77	19,48 ± 2,97	36,49 ± 1,52
2022	120	FINOLA	14,01 ± 1,40	83,24 ± 0,68	27,19 ± 1,87	35,33 ± 1,96
2022	160	FINOLA	14,44 ± 2,66	82,41 ± 1,75	28,08 ± 2,10	35,63 ± 1,84
2022	200	FINOLA	17,60 ± 1,90	82,63 ± 0,88	30,94 ± 2,71	34,00 ± 1,70
2022	240	FINOLA	18,29 ± 1,95	82,78 ± 0,93	29,78 ± 1,96	34,60 ± 1,15
2022	N _{min}	Earlina 8 FC	7,19 ± 1,98	73,12 ± 2,31	39,69 ± 6,13	35,76 ± 0,94
2022	120	Earlina 8 FC	9,42 ± 1,13	73,65 ± 0,95	53,90 ± 7,40	35,38 ± 1,87
2022	160	Earlina 8 FC	8,92 ± 1,76	72,51 ± 1,28	51,07 ± 4,06	34,80 ± 0,62
2022	200	Earlina 8 FC	8,59 ± 0,97	70,85 ± 1,41	52,18 ± 4,30	33,90 ± 1,32
2022	240	Earlina 8 FC	10,59 ± 1,70	70,20 ± 1,45	63,03 ± 2,66	36,07 ± 1,74

Jahr	Variante	Sorte	Korn		Stroh	
			TM/ha dt/ha	TS %	TM/ha dt/ha	TS %
2022	N _{min}	Henola	8,63 ± 1,03	73,18 ± 0,83	41,88 ± 6,90	36,48 ± 0,95
2022	120	Henola	9,63 ± 1,22	75,77 ± 1,35	47,40 ± 7,31	36,16 ± 3,04
2022	160	Henola	10,64 ± 0,34	74,29 ± 0,38	48,95 ± 11,23	36,80 ± 3,95
2022	200	Henola	10,33 ± 1,49	72,51 ± 1,76	53,61 ± 7,11	37,87 ± 4,68
2022	240	Henola	11,52 ± 1,94	72,37 ± 0,74	61,53 ± 12,37	37,53 ± 2,36

Tabelle 47: Mittelwerte ($n = 4$) und Standardabweichung der Trockenmasseerträge (TM/ha) und Trockensubstanzgehalte (TS) der Korn- und Stroherträge im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf am Standort HD

Jahr	Variante	Sorte	Korn		Stroh	
			TM/ha dt/ha	TS %	TM/ha dt/ha	TS %
2020	N _{min}	FINOLA	17,70 ± 2,26	81,52 ± 1,51	17,91 ± 2,32	35,77 ± 1,21
2020	80	FINOLA	15,04 ± 3,82	82,87 ± 1,08	20,57 ± 7,65	36,60 ± 1,74
2020	160	FINOLA	20,94 ± 2,37	79,81 ± 2,30	22,40 ± 3,21	35,38 ± 0,51
2020	240	FINOLA	25,70 ± 1,82	79,86 ± 1,10	23,58 ± 4,04	32,55 ± 4,48
2021	N _{min}	FINOLA	17,01 ± 1,50	46,58 ± 1,20	26,95 ± 5,27	36,45 ± 5,08
2021	160	FINOLA	23,84 ± 1,00	43,00 ± 1,01	35,65 ± 1,47	35,11 ± 1,77
2021	200	FINOLA	27,23 ± 1,0	44,16 ± 1,06	37,86 ± 2,66	35,93 ± 1,75
2021	240	FINOLA	30,67 ± 0,94	42,31 ± 1,24	43,84 ± 7,64	36,00 ± 2,95
2022	N _{min}	FINOLA	15,84 ± 4,68	54,57 ± 2,72	38,84 ± 4,06	34,25 ± 1,74
2022	200	FINOLA	17,37 ± 1,59	53,83 ± 2,92	41,62 ± 4,73	35,99 ± 2,97
2022	240	FINOLA	17,95 ± 1,25	52,38 ± 2,28	47,18 ± 6,01	37,00 ± 3,66
2022	200 spät	FINOLA	17,48 ± 5,38	66,10 ± 3,77	38,21 ± 4,67	40,39 ± 2,71
2022	240 spät	FINOLA	20,31 ± 3,24	64,07 ± 4,86	45,23 ± 6,24	41,16 ± 2,74
2022	N _{min}	Earlina 8 FC	21,45 ± 5,65	59,11 ± 3,05	68,82 ± 0,67	38,21 ± 4,00
2022	200	Earlina 8 FC	18,56 ± 1,60	57,34 ± 2,42	69,49 ± 11,33	38,15 ± 2,64
2022	240	Earlina 8 FC	16,59 ± 2,51	56,06 ± 1,89	67,30 ± 9,57	37,24 ± 1,46
2022	200 spät	Earlina 8 FC	16,77 ± 4,31	56,44 ± 3,07	76,30 ± 22,26	41,87 ± 8,15
2022	240 spät	Earlina 8 FC	10,57 ± 3,09	50,79 ± 4,56	59,10 ± 8,14	40,24 ± 7,48
2022	N _{min}	Henola	18,38 ± 3,00	55,27 ± 5,02	58,14 ± 2,72	36,34 ± 3,45
2022	200	Henola	20,34 ± 1,89	59,65 ± 1,97	56,82 ± 7,69	39,02 ± 3,43
2022	240	Henola	19,32 ± 3,68	58,58 ± 3,83	74,68 ± 14,84	39,26 ± 1,49
2022	200 spät	Henola	23,61 ± 5,81	58,67 ± 4,93	62,75 ± 5,95	37,96 ± 3,82
2022	240 spät	Henola	22,84 ± 7,57	60,20 ± 3,12	54,40 ± 8,77	36,92 ± 2,35

Tabelle 48: Mittelwerte ($n = 4$) der Bestandsdichte zu Vegetationsbeginn (BD1) und Vegetationsende (BD2), Feldaufgang (FA), Selbstausdünnung (SA) und Pflanzenhöhe bei Ernte (HöheE) im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf am Standort TFZ

Jahr	Variante Einheit	Sorte	BD1 Pfl./m ²	BD2 Pfl./m ²	FA %	SA %	HöheE cm
2020	N _{min}	FINOLA	64	39	64	40	82
2020	80	FINOLA	68	43	68	37	86
2020	160	FINOLA	72	47	72	35	117
2020	240	FINOLA	66	39	66	39	122
2020	N _{min}	Earlina 8 FC	88	74	88	16	128
2020	80	Earlina 8 FC	95	88	95	8	143
2020	160	Earlina 8 FC	85	71	85	14	182
2020	240	Earlina 8 FC	84	52	84	39	193
2021	N _{min}	Sortenmix	37	25	37	22	138
2021	160	Sortenmix	44	37	44	21	171
2021	200	Sortenmix	38	27	38	26	164
2021	240	Sortenmix	45	29	45	30	158
2021	160	Usó 31	59	50	59	13	190
2021	160	Fedora 17	59	49	59	12	179
2022	N _{min}	FINOLA	41	33	41	15	96
2022	120	FINOLA	36	35	36	5	116
2022	160	FINOLA	36	39	36	-8	123
2022	200	FINOLA	38	37	38	1	121
2022	240	FINOLA	33	32	33	-2	123
2022	N _{min}	Earlina 8 FC	30	37	30	-28	182
2022	120	Earlina 8 FC	31	34	31	-10	212
2022	160	Earlina 8 FC	33	35	33	-7	205
2022	200	Earlina 8 FC	29	34	29	-16	214
2022	240	Earlina 8 FC	24	28	24	-21	218
2022	N _{min}	Henola	31	35	31	-14	170
2022	120	Henola	41	48	41	-17	193
2022	160	Henola	45	49	45	-8	191
2022	200	Henola	30	33	30	-11	204
2022	240	Henola	26	30	26	-20	204

Tabelle 49: Mittelwerte ($n = 4$) der Bestandsdichte zu Vegetationsbeginn (BD1) und Vegetationsende (BD2), Feldaufgang (FA), Selbstausdünnung (SA) und Pflanzhöhe bei Ernte (HöheE) im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf am Standort HD

Jahr	Variante Einheit	Sorte	BD1 Pfl./m ²	BD2 Pfl./m ²	FA %	SA %	HöheE cm
2020	N _{min}	FINOLA	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.
2020	80	FINOLA	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.
2020	160	FINOLA	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.
2020	240	FINOLA	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.
2021	N _{min}	FINOLA	54	44	54	16	188
2021	160	FINOLA	60	39	60	31	193
2021	200	FINOLA	54	46	54	15	200
2021	240	FINOLA	56	47	56	15	200
2022	N _{min}	FINOLA	30	30	30	-1	171
2022	200	FINOLA	32	32	32	-1	171
2022	240	FINOLA	34	35	34	-3	169
2022	200 spät	FINOLA	35	34	35	1	173
2022	240 spät	FINOLA	35	33	35	5	175
2022	N _{min}	Earlina 8 FC	29	30	29	-2	227
2022	200	Earlina 8 FC	33	32	33	4	233
2022	240	Earlina 8 FC	37	35	37	6	224
2022	200 spät	Earlina 8 FC	34	34	34	0	226
2022	240 spät	Earlina 8 FC	33	34	33	-2	230
2022	N _{min}	Henola	30	31	30	-2	201
2022	200	Henola	31	28	31	10	203
2022	240	Henola	31	32	31	0	209
2022	200 spät	Henola	35	36	35	-2	202
2022	240 spät	Henola	31	32	31	-3	206

Tabelle 50: *Datengrundlage Stickstoffbilanz inklusive Stickstoffentzugs Stroh (N-Entzug Stroh), Stickstoffentzugs Korn (N-Entzug Korn), Stickstoffzufuhr (N-Zufuhr), verfügbarer Stickstoffmenge vor Aussaat (N_{min} vor Aussaat) und nach Ernte (N_{min} nach Ernte) zur Ermittlung der N-Bilanz im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf am Standort TFZ*

Jahr	Variante	Sorte	N-Entzug Korn	N-Entzug Stroh	N-Zufuhr	N_{min} vor Aussaat	N_{min} nach Ernte	N-Bilanz
	Einheit		kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha
2020	N_{min}	FINOLA	25,27	13,33	0	54	38	-38,6
2020	80	FINOLA	30,52	10,64	26	54	42	-15,2
2020	160	FINOLA	62,69	27,01	106	54	39	16,3
2020	240	FINOLA	88,00	34,39	186	54	48	63,6
2020	N_{min}	Earlina 8 FC	21,62	13,90	0	54	31	-35,5
2020	80	Earlina 8 FC	24,02	16,92	26	54	31	-14,9
2020	160	Earlina 8 FC	41,09	49,44	106	54	31	15,5
2020	240	Earlina 8 FC	59,02	61,16	186	54	42	65,8
2021	N_{min}	Sortenmix	45,55	29,17	0	80	26	-74,7
2021	160	Sortenmix	64,48	53,89	80	80	27	-38,4
2021	200	Sortenmix	78,92	72,35	120	80	23	-31,3
2021	240	Sortenmix	76,68	87,35	160	80	30	-4,0
2021	160	Uso 31	57,86	42,53	80	80	n. e.	-20,4
2021	160	Fedora 17	29,39	52,93	80	80	n. e.	-2,3
2022	N_{min}	FINOLA	40,10	13,25	0	48	39	-53,3
2022	120	FINOLA	52,80	19,03	72	48	43	0,2
2022	160	FINOLA	54,17	24,43	112	48	37	33,4
2022	200	FINOLA	70,76	29,39	152	48	40	51,8
2022	240	FINOLA	75,90	30,38	192	48	75	85,7
2022	N_{min}	Earlina 8 FC	25,23	26,99	0	48	25	-52,2
2022	120	Earlina 8 FC	34,47	42,58	72	48	25	-5,0
2022	160	Earlina 8 FC	31,83	56,18	112	48	25	24,0
2022	200	Earlina 8 FC	32,64	62,09	152	48	32	57,3
2022	240	Earlina 8 FC	40,87	53,57	192	48	58	97,6
2022	N_{min}	Henola	27,77	18,43	0	48	25	-46,2
2022	120	Henola	34,19	43,13	72	48	21	-5,3
2022	160	Henola	38,52	32,31	112	484	27	41,2
2022	200	Henola	37,71	25,73	152	48	32	88,6
2022	240	Henola	43,08	58,45	192	48	55	90,5

Tabelle 51: *Datengrundlage Stickstoffbilanz inklusive Stickstoffentzugs Stroh (N-Entzug Stroh), Stickstoffentzugs Korn (N-Entzug Korn), Stickstoffzufuhr (N-Zufuhr), verfügbarer Stickstoffmenge vor Aussaat (N_{min} vor Aussaat) und nach Ernte (N_{min} nach Ernte) zur Ermittlung der N-Bilanz im Versuch zur Stickstoffsteigerung im Körnerhanf am Standort HD*

Jahr	Variante	Sorte	N-Entzug Korn	N-Entzug Stroh	N-Zufuhr	N_{min} vor Aussaat	N_{min} nach Ernte	N-Bilanz
	Einheit		kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha
2020	N_{min}	FINOLA	72,22	12,18	0	78	15	-84,4
2020	80	FINOLA	62,28	17,28	2	78	20	-77,6
2020	160	FINOLA	87,95	19,26	82	78	16	-25,2
2020	240	FINOLA	110,27	68,38	162	78	64	-16,6
2021	N_{min}	FINOLA	66,00	19,67	0	85	9	-85,7
2021	160	FINOLA	90,60	17,11	75	85	15	-32,7
2021	200	FINOLA	109,20	26,50	115	85	15	-20,7
2021	240	FINOLA	124,50	31,13	155	85	20	-0,6
2022	N_{min}	FINOLA	66,20	27,19	0	178	31	-93,4
2022	200	FINOLA	71,06	62,01	22	178	26	-111,1
2022	240	FINOLA	74,85	64,16	62	178	27	-77,0
2022	200 spät	FINOLA	n. e.	n. e.	22	178	16	22,0
2022	240 spät	FINOLA	84,28	26,23	62	178	29	-48,5
2022	N_{min}	Earlina 8 FC	86,03	84,64	0	178	23	-170,7
2022	200	Earlina 8 FC	75,37	69,49	22	178	19	-122,9
2022	240	Earlina 8 FC	69,17	80,75	62	178	25	-87,9
2022	200 spät	Earlina 8 FC	65,89	32,81	22	178	43	-76,7
2022	240 spät	Earlina 8 FC	43,45	27,19	62	178	41	-8,6
2022	N_{min}	Henola	70,96	50,00	0	178	11	-121,0
2022	200	Henola	80,76	44,89	22	178	12	-103,6
2022	240	Henola	76,51	90,36	62	178	20	-104,9
2022	200 spät	Henola	90,43	20,71	22	178	31	-89,1
2022	240 spät	Henola	90,0	34,27	62	178	37	-62,3

Tabelle 52: Mittelwerte ($n = 4$) und Standardabweichung der Trockenmasseerträge (TM/ha) und Trockensubstanzgehalte (TS) der Korn- und Stroherträge im Versuch zum Winterhanfanbau am Standort HD

Jahr	Variante Einheit	Sorte	Röststroh	
			TM/ha dt/ha	TS %
2020	1	Santhica	6,39 ± 0,58	87,32 ± 0,58
2020	2	Santhica	7,51 ± 0,78	87,78 ± 0,75
2020	3	Santhica	5,43 ± 2,68	88,19 ± 0,97
2020	4	Santhica	5,38 ± 2,93	91,50 ± 7,32
2020	1	Fedora 17	6,06 ± 1,23	89,56 ± 3,78
2020	2	Fedora 17	6,31 ± 1,25	89,89 ± 2,14
2020	3	Fedora 17	4,54 ± 1,91	87,72 ± 1,19
2020	4	Fedora 17	7,03 ± 1,31	88,95 ± 0,40
2021	1	Santhica	8,90 ± 1,71	94,94 ± 0,67
2021	2	Santhica	12,06 ± 1,10	95,23 ± 0,47
2021	3	Santhica	8,87 ± 0,30	94,64 ± 0,23
2021	4	Santhica	7,92 ± 1,64	94,42 ± 1,11
2021	1	Fedora 17	9,53 ± 1,72	94,96 ± 1,02
2021	2	Fedora 17	10,42 ± 2,36	93,14 ± 1,47
2021	3	Fedora 17	8,04 ± 0,78	94,04 ± 0,47
2021	4	Fedora 17	8,28 ± 0,87	94,09 ± 0,34

Tabelle 53: Mittelwerte ($n = 4$) und Standardabweichung der Trockenmasseerträge (TM/ha) und Trockensubstanzgehalte (TS) der Korn- und Stroherträge im Versuch zu Ermittlung des Ertragsverlustes durch Vogelfraß am Standort TFZ

Jahr	Variante Einheit	Korn		Stroh	
		TM/ha dt/ha	TS %	TM/ha dt/ha	TS %
2020	mit Netz	11,94 ± 0,35	63,63 ± 3,55	25,66 ± 5,62	34,82 ± 1,83
2020	ohne Netz	9,00 ± 1,60	61,33 ± 3,18	25,45 ± 2,32	36,71 ± 1,22

Tabelle 54: Mittelwerte (n [ohne Netz] = 3; n [mit Netz] = 1) der Bestandsdichte zu Vegetationsbeginn (BD1) und Vegetationsende (BD2), Feldaufgang (FA), Selbstausdünnung (SA) und Pflanzenhöhe bei Ernte (HöheE) im Versuch zur Ermittlung des Ertragsverlusts durch Vogelfraß am Standort TFZ

Jahr	Variante	BD1	BD2	FA	SA	HöheE
	Einheit	Pfl./m ²	Pfl./m ²	%	%	cm
2020	mit Netz	48	48	48	0	102
2020	ohne Netz	69	56	69	19	113

Tabelle 55: Mittelwerte (n = 4) und Standardabweichung der Trockenmasseerträge (TM/ha) und Trockensubstanzgehalte (TS) der Korn- und Stroherträge im Versuch zum Anbau von Hanf als Frühsaat am Standort TFZ

Jahr	Variante	Sorte	Korn	Stroh
			TM/ha	TM/ha
			dt/ha	dt/ha
2020	Faser	Fedora 17	–	99,39 ± 11,08
2020	Korn	FINOLA	2,77 ± 0,75	–

Tabelle 56: Mittelwerte (n = 4) der Bestandsdichte zu Vegetationsbeginn (BD1) und Vegetationsende (BD2), Feldaufgang (FA), Selbstausdünnung (SA) und Pflanzenhöhe bei Ernte (HöheE) im Versuch zum Anbau von Hanf als Frühsaat am Standort TFZ

Jahr	Variante	Sorte	BD1	BD2	FA	SA	HöheE
	Einheit		Pfl./m ²	Pfl./m ²	%	%	cm
2020	Faser	Fedora 17	226	244	64	–6	229
2020	Korn	FINOLA	69	43	69	58	66

Tabelle 57: Nährstoffgehalte vor der Aussaat an den beiden Versuchsstandorten TFZ und HD im Jahr 2021

Nährstoff	Einheit	TFZ	HD
P ₂ O ₅	mg/100g	18	33
K ₂ O	mg/100g	14	22
Mg	mg/100g	12,3	11
Mn	mg/kg	289	121
Cu	mg/kg	3,8	14
Zn	mg/kg	3,3	75
Fe	mg/100g	17,1	45
Na	mg/kg	14	22
B	mg/kg	0,67	0,51
Cd	mg/kg	0,22	0,37
Ni	mg/kg	25,9	13
Ca	mg/100g	182	331

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 Holzzentralheizungsanlagen 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 pflanzenöлтаuglichen 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 Bestimmungsmethoden
- 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 als 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 Abgasstufen I und II
- 32 Pflanzenöлтаugliche Traktoren der Abgasstufe IIIA – Prüfstanduntersuchungen 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 Prüfstanduntersuchungen
- 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 bayerische 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 Optimierungspotenziale bei Kaminöfen – Emissionen, Wirkungsgrad und Wärmeverluste
- 58 Überführung einer Siloabdeckung auf Basis Nachwachsender Rohstoffe in die Praxisreife
- 59 Regionalspezifische Treibhausgasemissionen der Rapsverarbeitung 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 Amaranth als Biogassubstrat – Selektion zur Erarbeitung praxistauglicher Amaranthlinien für bayerische Standorte
- 65 Schwierige Pelletbrennstoffe für Kleinf Feuerungsanlagen – 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
- 69 Grundlagenorientierte Untersuchungen zum Zünd- und Verbrennungsverhalten von Pflanzenölkraftstoff und Übertragung auf ein Motorsystem der Abgasstufe V (EVOLUM)
- 70 Effiziente Lagerungs- und Aufbereitungsverfahren für Holzhackschnitzel
- 71 Ertragsstabilität, Etablierung und Umweltparameter mehrjähriger Energiepflanzen – Dauerkulturen II
- 72 Stoffliche Nutzung von Biomasseaschen als Baustein der Bioökonomie
- 73 Agri-Photovoltaik – Stand und offene Fragen
- 74 Erweiterte Holzpelletcharakterisierung – Einfluss bekannter und neuer Brennstoffparameter auf die Emissionen aus Pelletöfen und -kesseln
- 75 Entwicklung von Umbruchstrategien für Dauerkulturflächen und Weiterführung des Gärrestdüngungsversuchs in Durchwachsener Silphie
- 76 Mineralisch verschmutzte Holzbrennstoffe – Teil 1: Auswirkung auf die Verbrennung
- 77 Paludikulturen für Niedermoorböden in Bayern – Thermische Verwertung
- 78 Verwertung und Anbauoptimierung von Hanf als nachwachsender Rohstoff
- 82 Innovative Verfahrensketten für Holzbrennstoffe mit einem Duplex-Schneckenhacker

