



# Entwicklung einer industriellen Bereitstellungskette von Brennnesseljungpflanzen bis zur Nesselfaser (InBeNeFa)

## Schlussbericht

**Teilvorhaben 1:** Koordinierung des Verbundes sowie Realisierung des Teilvorhabens insbesondere zur innovativen Aufschlusstechnologie

**Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie Potsdam-Bornim e.V. mit Auftrag  
NFC GmbH Nettle Fibre Company**

**FKZ: 22033211** (06/15-05/16; 08/17-12/18)

Abteilung Technik der Aufbereitung, Lagerung und Konservierung

Max-Eyth-Allee 100; 14469 Potsdam

Ansprechpartner: Dr. Th. Hoffmann, Dr. H.-J. Gusovius

**Teilvorhaben 2:** Verbesserung der Wirtschaftlichkeit des Fasernesselanbaus durch synthetische Samen

**Institut für Pflanzenkultur e. K.**

**FKZ: 22008315** (06/15-05/18)

Solkau 2; 29465 Schnega

Ansprechpartner: Dr. Carolin Schneider

**Teilvorhaben 3:** Pflanzenbauliche Untersuchungen

**LWK Niedersachsen / 3N Kompetenzzentrum - Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe e.V. mit Auftrag an Landwirtschaftsbetriebe von Frieling und Tölke**

**FKZ: 22008415** (06/15-12/18)

Kompaniestr. 1; 49757 Werlte

Ansprechpartner: Dr. Marie-Luise Rottmann-Meyer

**Teilvorhaben 4:** Qualitätskontrolle entlang der Wertschöpfungskette

**Faserinstitut Bremen e.V.**

**FKZ: 22008515** (06/15-12/18)

Am Biologischen Garten 2; 28359 Bremen

Ansprechpartner: Dr. Holger Fischer

**Teilvorhaben 5:** Herstellung von elementaren Brennesselfasern mechanisch nass aufgeschlossen aus verschiedenen Klonen

**NFC GmbH Nettle Fibre Company**

**FKZ: 22015616** (09/17-05/18)

Tannenhof 1; 21368 Dahlenburg

Ansprechpartner: Dr. Heiko Beckhaus

Laufzeit des Verbundvorhabens:

01.06.2015 bis 31.12.2018

Erstellt: 31.01.2019

Veröffentlicht: 30.04.2020

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Ernährung  
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMEL für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

## Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung für alle Teilvorhaben	10
2	Ziele	12
2.1	Thema und Gesamtziel des Projektes	12
2.2	Planung und Ablauf des Vorhabens	14
2.2.1	TV 1: Koordinierung des Verbundes sowie Realisierung des Teilvorhabens insbesondere zur innovativen Aufschlusstechnologie - ATB mit Unterauftrag an NFC (ab 09/2017 NFC mit erweitertem eigenem TV):	14
2.2.2	TV 2: Synthetische Samen – IFP	15
2.2.3	TV 3: Landwirtschaftlicher Teil; 3N Kompetenzzentrum Niedersachsen-Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe e.V. mit Unteraufträgen an zwei Landwirte	16
2.2.4	TV 4: Faseranalytik - FIBRE	16
2.2.5	TV 5: Herstellung von elementaren Brennesselfasern - NFC/FVT	18
2.3	Stand der Technik	20
2.3.1	Ausgangslage am Markt	20
2.3.2	Vermehrung	21
2.3.3	Landwirtschaftliche Aspekte	24
2.3.4	Technik der Fasergewinnung	24
2.3.5	Grundlagen für späteren Markterfolg	25
2.4	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	25
3	Ergebnisse	26
3.1	TV 1: Koordinierung des Verbundes sowie Realisierung des Teilvorhabens insbesondere zur innovativen Aufschlusstechnologie - ATB/NFC	26
3.1.1	Masseanteile anfallender Zwischenprodukte beim Faseraufschluss von Nesselstroh	26
3.1.2	Faserkennwerte bei Variation Drehzahl Hammermühle	28
3.1.3	Faserkennwerte bei Variation Schnitthäufigkeit und Massestrom	29
3.1.4	Vergleich der erzielten Faserausbeute in der Aufschlussanlage mit der laborbestimmten prozentualen Fasermenge von Nesselstroh	32
3.1.5	Faserausbeute bei Variation Drehzahl Hammermühle	34
3.1.6	Erfassung und Bewertung von Klimadaten während Lagerung und Strohverarbeitung	35
3.1.7	Betrachtung der Faserfestigkeit und der Faserausbeute in Abhängigkeit der Lagerdauer des Nesselstrohs	38
3.1.8	Strohaufbereitung der neuen, faserreichen Nesselklone	39
3.2	TV 2: Synthetische Samen – IFP	46
3.2.1	Kallusinduktion an verbesserten Genotypen	46
3.2.2	Somatische Embryogenese auf Festnährmedium	47
3.2.3	Somatische Embryogenese in Suspensionskultur	50

3.2.4	Konversion der somatischen Embryonen	50
3.2.5	Einkapselung der synthetischen Samen	50
3.2.6	Trocknung der synthetischen Samen	51
3.2.7	Re-Konversion nach Einkapselung, Trocknung und Lagerung	51
3.2.8	Prüfung der genotypischen Stabilität	51
3.2.9	Praxisanbau im Feld	51
3.3	TV 3: Landwirtschaftlicher Teil; 3N Kompetenzzentrum Niedersachsen-Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe e.V. mit Unteraufträgen an zwei Landwirte	56
3.3.1	Witterungsverlauf - Temperaturen und Niederschläge 2017 und 2018	56
3.3.2	Fasernessel-Klonvergleich (Fasernessel-Neuanlagen)	56
3.3.3	Bestandsführung (Fasernessel-Altanlagen)	77
3.4	TV 4: Faseranalytik - FIBRE	83
3.4.1	Materialien und Methoden	83
3.4.2	Datenerfassung/Datenaustausch mit den Projektpartnern	87
3.4.3	Faserfestigkeit	88
3.4.4	Faserfeinheit	93
3.4.5	Faserlänge	98
3.4.6	Aufschließbarkeit	99
3.4.7	Vergleich über Erntejahre und Standorte	101
3.4.8	Ansätze zur Entwicklung eines Verfahrens zur Messung der Atmungsaktivität	104
3.5	TV 5: Herstellung von elementaren Brennesselfasern - NFC/FVT	106
4	Verwertung	107
5	Erkenntnisse von Dritten	109
6	Veröffentlichungen	109
7	Literatur	110

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Projektplanung und Ablauf im Verbundvorhaben InBeNaFa. ....	14
Abbildung 2:	Verfahrenslinie zum Faseraufschluss im Industrie- bzw. Labormaßstab [Abteilungs aus Müssig et al. 2010]. ....	15
Abbildung 3:	Schritte der Embryoausbildung aus embryogenem Kallus (A) und Herstellung synthetischer Samen aus somatischen Embryonen (B).....	21
Abbildung 4:	Faktoren, die einen Einfluss auf den Erfolg bei der Induktion der somatischen Embryogenese bzw. der Regeneration von Pflanzen aus Kallus haben. ....	21
Abbildung 5:	Die nächste Verwandtschaft der Nessel innerhalb der Rosales (nach Sytsma et al. 2002). Biotechnologisch bearbeitete Gattungen sind mit roten Kästen hervorgehoben. Die Abkürzung SE zeigt an, wo somatische Embryogenese als Methode etabliert ist und wo nicht. ....	22
Abbildung 6:	Schematische Darstellung der Entholzung von Nesselstroh in der Aufschlussmaschine im axialen Fluss. ....	26
Abbildung 7:	Schematische Darstellung der wichtigsten Austragsstellen in der Faserreinigung (1. Tambour, 2. Stufenreiniger) sowie der anschließenden Faseröffnung (3. Horizontalöffner). ....	27
Abbildung 8:	Masseanteile der anfallenden Zwischenprodukte für einen Massestrom von 560 kg h <sup>-1</sup> in der Faseraufschlussanlage (Hammermühle 50 Hz, Abweiser 1,9).....	27
Abbildung 9:	Faserkennwerte der „Nesselfaser roh“ bei unterschiedlichen Drehzahlen von der Faseraufschlussmaschine, Nesselstroh Frieling B/Ernte 2013 (HM... Hammermühle, Abw... Stellung der Abweiser in der Hammermühle).....	28
Abbildung 10:	Faserkennwerte [FIBRE] der „Nesselflocke roh“ bei unterschiedlichen Drehzahlen der Faseraufschlussmaschine, Nesselstroh Frieling B/Ernte 2013 (GA... Grobauflöser, HM... Hammermühle). ....	29
Abbildung 11:	zweimaliger Schneidvorgang für ein umgelegtes Ballenpaket im Prozessabschnitt Strohvorbereitung.....	30
Abbildung 12:	Faserkennwerte „Nesselfaser roh“ für unterschiedliche Schnittlängen vom Stroh bei konstantem Massestrom (HM... Hammermühle, BA... Ballenauflöser). ....	30
Abbildung 13:	Schematische Darstellung des Auflöse- und Dosiervorgangs von Nesselstroh in der Verarbeitungsanlage. ....	31
Abbildung 14:	Faserkennwerte „Nesselfaser roh“ für unterschiedliche Masseströme bei konstanter Strohschnittlänge. ....	31
Abbildung 15:	Aus Nesselstrohballen genommene Faserstängelprobe (Frieling B, Ernte 2013). 32	
Abbildung 16:	Mit Laborbrecher und Grobauflöser bestimmter Faseranteil von Nesselstroh. ..	33
Abbildung 17:	Faserlängenanalyse der im Labor mit Brecher und Grobauflöser aufbereiteten Fasern. ....	33
Abbildung 18:	Aufteilung der Faserabgänge bei der industriellen Fasergewinnung von Nesselstroh (Frieling B/Ernte 2013) im Vergleich zum mechanisch freilegbaren Faseranteil von Nesselstängel (Probenahme aus einem gepressten Strohballen). 34	
Abbildung 19:	erzielbare Faserausbeuten von „Nesselfaser roh“ und „Nesselflocke roh“ bei unterschiedlichen Drehzahlen der Hammermühle (Nesselstroh Frieling B/Ernte 2013, Abweiser 1,9, Massestrom ca. 500 kg h <sup>-1</sup> , 2xSchneiden).....	35
Abbildung 20:	Mittelwerte des aufgenommenen Temperatur- und Feuchteverlaufs in der Verarbeitungshalle vom 10.12.2015 bis zum 21.11.2016. ....	36
Abbildung 21:	Einzelwerte des aufgenommenen Temperaturverlaufs in der Verarbeitungshalle vom 10.12.2015 bis zum 21.11.2016. ....	36

Abbildung 22:	Einzelwerte des aufgenommenen Luftfeuchteverlaufs in der Verarbeitungshalle vom 10.12.2015 bis zum 21.11.2016. ....	37
Abbildung 23:	Tagesspannbreiten des aufgenommenen Temperatur- und Feuchteverlaufs in der Verarbeitungshalle vom 10.12.2015 bis zum 21.11.2016. ....	37
Abbildung 24:	Masseanteile und ausgewählte Eigenschaften von Fasern aus Nesselstroh verschiedener Erntejahre in Abhängigkeit der Lagerdauer, Verarbeitung Praxisanlage.....	38
Abbildung 25:	Masseanteile von Fasern aus Nesselstroh verschiedener Erntejahre in Abhängigkeit von Anbaujahr, Klon, Strohfeuchte und Lagerdauer, Verarbeitung Praxisanlage.....	39
Abbildung 26:	Masseanteile von Fasern aus Nesselstängeln verschiedener Erntejahre in Abhängigkeit von Klon und Lagerdauer nach Laborentholung.....	40
Abbildung 27:	Stroh- und Faserertrag (schäbenfreie „Nesselfasern roh“) aus dem Erntejahr 2017 vom Standort Frielingen in Abhängigkeit von Klon und Pflanzdichte, Verarbeitung Praxisanlage. ....	41
Abbildung 28:	Masseanteile („Nesselfasern roh“) aus den Erntejahren 2017/18 vom Standort Frielingen in Abhängigkeit von Klon und Pflanzdichte, Verarbeitung Praxisanlage.....	42
Abbildung 29:	Masseanteile („Nesselfasern roh“) aus dem Erntejahr 2018 vom Standort Nordstemmen in Abhängigkeit von Klon und Pflanzdichte, Verarbeitung Praxisanlage.....	42
Abbildung 30:	Stroh- und Faserertrag (schäbenfreie „Nesselfasern roh“) aus dem Erntejahr 2018 vom Standort Frielingen in Abhängigkeit von Klon und Pflanzdichte, Verarbeitung Praxisanlage. ....	43
Abbildung 31:	Vergleich der Fasererträge (schäbenfreie „Nesselfasern roh“) aus den Erntejahren 2017/18 vom Standort Frielingen in Abhängigkeit von Klon und Pflanzdichte, Verarbeitung Praxisanlage.....	44
Abbildung 32:	Stroh- und Faserertrag (schäbenfreie „Nesselfasern roh“) aus dem Erntejahr 2018 vom Standort Nordstemmen in Abhängigkeit von Klon und Pflanzdichte, Verarbeitung Praxisanlage. ....	44
Abbildung 33:	Vergleich der Masseanteile („Nesselfasern roh“) aus dem Erntejahr 2017 vom Standort Frielingen in Abhängigkeit von Klon und Pflanzdichte bei Aufbereitung ohne Lagerung bzw. nach 1 Jahr Lagerung, Verarbeitung Praxisanlage.....	45
Abbildung 34:	Faserbrennessel-Kallusentwicklung auf unterschiedlichen Medien. Dargestellt sind (A) Klon L2, nach 3 Wochen auf MS-Medium mit 0,2 ppm NAA und 0,1 ppm 2iP, (B) Klon L2, 7 Wochen, MS-Medium, 0,2 ppm NAA, 0,1 ppm Kinetin, (C) Klon Z5, 8 Wochen, 0,2 ppm NAA, 0,1 ppm Kinetin, MS-Medium mit 11,25 mM Phosphat und (D) Klon B13, 8 Wochen, 1 ppm 2,4-D, 0,1 ppm TDZ, DKW-Medium.....	46
Abbildung 35:	Entwicklungsstadien bei der Ausbildung von Sprossen an Explantaten. Unklar ob die Sprosse aus Embryonen entstehen oder es Adventivsprosse sind, da Embryonen nicht eindeutig nachgewiesen werden konnten. ....	49
Abbildung 36:	Methoden zur vegetativen und generativen Vermehrung von Fasernessel-Klonsorten. ....	51
Abbildung 37:	Gegenüberstellung der Kosten die zur Fasernessel-Bestandsetablierung bei den verschiedenen Methoden anfallen, und des vermuteten Entwicklungsaufwands und -risikos dieser Methoden. ....	52
Abbildung 38:	Faser-Flächenertrag im Verhältnis zu den Kosten bei der Bestandsetablierung mit den verschiedenen Methoden zur Fasernessel-Bestandsetablierung. ....	53

Abbildung 39:	Exemplarische Darstellung von genutztem Rhizommaterial. (A) Brennesselrhizome an einem Wildstandort und (B) gereinigt. (C) Fasernesselklone aus Topfkultur und (D) mit gereinigtem Wurzelballen. ....	53
Abbildung 40:	Rhizom-Legen Herbst Verlauf (A, B) Aussaat (19.10.17), (C) 4 Wochen (13.11.17), (D) Austreiben nach 6 Monaten (12.4.18), (E) 6 ½ Monaten (3.5.18) und (F) 7 Monaten (24.5.18).....	54
Abbildung 41:	Rhizom-Legen 2017 und ihr Erfolg in % Überlebenden (A), und (B) ein Flächenplan der Herbstaussaat mit Überlebenden im Mai 2018 von jeweils 10 Pflanzen pro Parzelle. ....	54
Abbildung 42:	Lageplan der Neuanlage bzw. Anordnung der Klone (L2, L6, L18 und Z10) und der zwei Pflanzdichten (B1 und B2) auf der Versuchsfläche Frielingen. ....	57
Abbildung 43:	Lageplan der Neuanlage bzw. Anordnung der Klone (L2, L6 und L18) und der zwei Pflanzdichten (B2 und B3) auf der Versuchsfläche Nordstemmen. ....	57
Abbildung 44:	Nesselbestands-Neuanlage Versuchsfläche Frielingen am 27.10.2016. ....	58
Abbildung 45:	Durchschnittliche Wuchshöhe der Klone (L2, L6 und L18 sowie Z10) der Neuanlagen in Frielingen 2017 (je n = 20). ....	59
Abbildung 46:	Fotoserie der Neuanlagen am Standort Frielingen am 31.05.2017.....	60
Abbildung 47:	Anzahl Triebe pro m <sup>2</sup> der Klone (L2, L6, und L18 sowie Z10) auf der Versuchsfläche der Neuanlage in Frielingen sowie Ertragsmessung zum Zeitpunkt der Balleneinlagerung (Neuanlage) 2017 (n = 1).....	61
Abbildung 48:	Durchschnittliche Wuchshöhe der Klone (L2, L6 und L18) auf den Neuanlagen in Nordstemmen 2017 (je n = 20).....	62
Abbildung 49:	Anzahl Triebe pro m <sup>2</sup> der Klone (L2, L6 und L18) auf der Versuchsfläche Nordstemmen (Neuanlage) 2017 (3 Messtermine, n = 30, Mittelwert und Standardabweichung) sowie Ertragsmessung am 13.10.2017 (n = 3, Mittelwert und Standardabweichung).....	62
Abbildung 50:	Fotoserie der Neuanlagen am Standort Nordstemmen im August 2017.....	63
Abbildung 51:	Durchschnittliche Wuchshöhe des Klone L2, L6 und L18 auf den beiden Versuchsflächen Nordstemmen und Frielingen (Neuanlagen) 2017 (jeweils n = 20). ....	64
Abbildung 52:	Anzahl Triebe pro m <sup>2</sup> der Klone (L2, L6 und L18) in der Bestandsdichte B1 auf den beiden Versuchsflächen Nordstemmen und Frielingen (Neuanlagen) 2017 (3 Messtermine, n = 30, Mittelwert und Standardabweichung).....	65
Abbildung 53:	Anzahl Triebe pro m <sup>2</sup> der Klone (L2, L6 und L18) in der Bestandsdichte B2 auf den beiden Versuchsflächen Nordstemmen und Frielingen (Neuanlagen) 2017 (3 Messtermine, n = 30, Mittelwert und Standardabweichung).....	65
Abbildung 54:	Stängeldurchmesser zum Ernteschnitt der Klone (L2, L6 und L18) in der Bestandsdichte B1 auf den beiden Versuchsflächen Nordstemmen und Frielingen (Neuanlagen) 2017 (n = 10, Mittelwert und Standardabweichung). ..	66
Abbildung 55:	Stängeldurchmesser zum Ernteschnitt der Klone (L2, L6 und L18) in der Bestandsdichte B2 auf den beiden Versuchsflächen Nordstemmen und Frielingen (Neuanlagen) 2017 (n = 10, Mittelwert und Standardabweichung). ..	66
Abbildung 56:	Ertrag der Klone (L2, L6 und L18) in der Bestandsdichte B1 auf den beiden Versuchsflächen Nordstemmen und Frielingen (Neuanlagen) 2017 (n = 1 (Frielingen) bzw. n = 3, Mittelwert und Standardabweichung (Nordstemmen)...	67
Abbildung 57:	Ertrag der Klone (L2, L6 und L18) in der Bestandsdichte B2 auf den beiden Versuchsflächen Nordstemmen und Frielingen (Neuanlagen) 2017 (n = 1 (Frielingen) bzw. n = 3, Mittelwert und Standardabweichung (Nordstemmen)...	68
Abbildung 58:	Stängeleinzelproben aus der Ernte 2017. ....	68

Abbildung 59:	Durchschnittliche Wuchshöhe der Klone (L2, L6 und L18) differenziert nach Pflanzendichten (B1 und B2) auf den Versuchsfeldern Nordstemmen(Tö) und Frielingen(Fr) / Boniturtermin Mai. ....	71
Abbildung 60:	Durchschnittliche Wuchshöhe der Klone (L2, L6 und L18) differenziert nach Pflanzendichten (B1 und B2) auf der Versuchsfeld Frielingen(Fr)/ Boniturtermin Juni. ....	71
Abbildung 61:	Durchschnittliche Wuchshöhe der Klone (L2, L6 und L18) differenziert nach Pflanzendichten (B1 und B2) auf der Versuchsfeld Frielingen(Fr)/ Boniturtermin Juli. ....	72
Abbildung 62:	Durchschnittliche Wuchshöhe der Klone (L2, L6 und L18) differenziert nach Pflanzendichten (B1 und B2) auf den Versuchsfeldern Nordstemmen(Tö) und Frielingen(Fr)/ Boniturtermin August. ....	72
Abbildung 63:	Lageplan der Altanlage bzw. Anordnung der Düngewarianten auf der Versuchsfeld Frielingen. ....	78
Abbildung 64:	Durchschnittliche Wuchshöhe auf der Versuchsfeld Frielingen (Altanlage) 2016. ....	78
Abbildung 65:	Nesselbestands-Altanlage Versuchsfeld Frielingen am 27.10.2016. ....	79
Abbildung 66:	Lageplan der Altanlage bzw. Anordnung der Düngewarianten auf der Versuchsfeld Nordstemmen. ....	80
Abbildung 67:	Durchschnittliche Wuchshöhe der Klone auf der Versuchsfeld Nordstemmen (Altanlage) 2016. ....	80
Abbildung 68:	Nesselbestands-Altanlage Versuchsfeld Nordstemmen am 25.10.2016. ....	81
Abbildung 69:	Durchschnittliche Wuchshöhe auf der Versuchsfeld Frielingen differenziert nach Düngewariante (Altanlage) 2017 (n = 10). ....	81
Abbildung 70:	Muster der verwendeten Datenblattvarianten (a) nur Fasercharakterisierung und (b) mit mechanischem Aufschluss. ....	87
Abbildung 71:	Faserfestigkeit und 95%-Vertrauensbereiche der untersuchten Proben aus den Versuchsreihen zur Aufschlussoptimierung mit / ohne GA. ....	89
Abbildung 72:	Faserfestigkeit und 95%-Vertrauensbereiche der untersuchten Proben aus den Versuchsreihen zur Rohstoffqualität ohne GA. ....	90
Abbildung 73:	Faserfestigkeit und 95%-Vertrauensbereiche der untersuchten Proben aus den Versuchsreihen zu Ernte und Feldparametern mit GA. ....	92
Abbildung 74:	Box-Plots der untersuchten Proben aus den Versuchsreihen zur Aufschlussoptimierung mit Median (+), Box Perzentile 25 – 75; unten und oben Perzentile 5 / 95. ....	94
Abbildung 75:	Box-Plots der untersuchten Proben aus den Versuchsreihen zur Rohstoffqualität mit Median (+), Box Perzentile 25 – 75; unten und oben Perzentile 5 / 95. ....	95
Abbildung 76:	Box-Plots der untersuchten Proben aus den Versuchsreihen zu Ernte und Feldparametern mit Median (+), Box Perzentile 25 – 75; unten und oben Perzentile 10 / 90. ....	97
Abbildung 77:	Faserlänge und Standardabweichung der Proben der B- und D-Serie. ....	98
Abbildung 78:	mechanische Fasergehalte und Entholzbarkeiten mit Standardabweichung für die Ernteproben. ....	100
Abbildung 79:	Fasergehalte des Klons Z 10 im Vergleich über verschiedene Standorte und Anbaujahre. ....	102
Abbildung 80:	Faserfestigkeit des Klons Z 10 im Vergleich über verschiedene Standorte und Anbaujahre. ....	102
Abbildung 81:	Median Faserfeinheit des Klons Z 10 im Vergleich über verschiedene Standorte und Anbaujahre. ....	103
Abbildung 82:	Feuchteaufnahme von getrockneter Nessel und Hanf im Vergleich. ....	105

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Typischerweise zur Induktion von somatischer Embryogenese genutzte Hormone und zugehörige Konzentrationsbereiche (aus Zur et al. 2015). ....	23
Tabelle 2:	Medientests zur Induktion von somatischer Embryogenese. Die gelisteten Medien sind Abwandlungen des Murashige-Skoog-Grundmediums und in der Tabelle in chronologischer Reihenfolge angeordnet. Innerhalb der Spalte ‚Stichpunkte zu den Varianten‘ sind die Hormonnamen mit den gängigen Abkürzungen gelistet. ....	47
Tabelle 3:	Überblick für die Zusammensetzung der Medien, die bei <i>Urtica dioica</i> Sprosse von Kallus induzieren. Die Abkürzungen in der Spalte ‚Differenzierung‘ stehen für S - Spross, P – Primordium und K – Kallus. ....	49
Tabelle 4:	Pflanzenentwicklung/ Wuchshöhe in cm (Frielingen), Durchschnittslänge der Stängel in cm; Mittelwert aus 10 Messungen. ....	69
Tabelle 5:	Abschlussbonitur Pflanzenentwicklung/ Wuchshöhe in cm, Durchschnittslänge der Stängel in cm; Mittelwert aus 10 Messungen. ....	69
Tabelle 6:	Pflanzenentwicklung/ Wuchshöhe in cm (Nordstemmen) Durchschnittslänge der Stängel in cm; Mittelwert aus 10 Messungen. ....	70
Tabelle 7:	Ernteertrag Versuchsfläche Frielingen 2018. ....	73
Tabelle 8:	Ernteertrag Versuchsfläche Nordstemmen 2018. ....	73
Tabelle 9:	Ertragsvarianz pro Klon. ....	73
Tabelle 10:	Erträge auf den Neuanlagen 2017/2018. ....	74
Tabelle 11:	Mittelwert der Bestandsdichten für L6 und L18 2017/2018. ....	74
Tabelle 12:	Abgleich optische Bonitur mit A 1000-Wert (Biskupek-Korell, 2018). ....	75
Tabelle 13:	A 1000-Werte (Proben Versuchsfield Nordstemmen). ....	75
Tabelle 14:	Übersicht der verschiedenen Klone in den Altbeständen der beiden Standorte. ....	77
Tabelle 15:	Düngeplan der Nesselbestands-Altanlagen am Standort Frielingen. ....	77
Tabelle 16:	Erntemenge am Standort Frielingen (Altanlage) 2015 und 2016. ....	79
Tabelle 17:	Ertrag der Düngevarianten am Standort Frielingen in den Versuchsjahren 2015, 2016 und 2017 (n = 1). ....	82
Tabelle 18:	Analysierte Proben der Versuchsreihen zur Aufschlussoptimierung. ....	83
Tabelle 19:	Analysierte Proben der Versuchsreihen zur Rohstoffqualität. ....	84
Tabelle 20:	Analysierte Proben der Versuchsreihen zu Ernte und Feldparametern. ....	85
Tabelle 21:	Faserfestigkeit und 95%-Vertrauensbereiche der untersuchten Proben aus den Versuchsreihen zur Aufschlussoptimierung. ....	88
Tabelle 22:	Faserfestigkeit und 95%-Vertrauensbereiche der untersuchten Proben aus den Versuchsreihen zur Rohstoffqualität. ....	89
Tabelle 23:	Faserfestigkeit und 95%-Vertrauensbereiche der untersuchten Proben aus den Versuchsreihen zu Ernte und Feldparametern. ....	90
Tabelle 24:	Faserfeinheit und 95%-Vertrauensbereiche der untersuchten Proben aus den Versuchsreihen zur Aufschlussoptimierung. ....	93
Tabelle 25:	Faserfeinheit und 95%-Vertrauensbereiche der untersuchten Proben aus den Versuchsreihen zur Rohstoffqualität. ....	94
Tabelle 26:	Faserfeinheit und 95%-Vertrauensbereiche der untersuchten Proben aus den Versuchsreihen zu Ernte und Feldparametern. ....	95
Tabelle 27:	Faserlänge (B) in mm und Standardabweichung der untersuchten Proben. ....	98
Tabelle 28:	Ergebnisse des mechanischen Stängelaufschlusses. ....	99

## 1 Zusammenfassung für alle Teilvorhaben

Dieser Abschlussbericht fasst die Zwischenberichte von Februar 2016, Februar 2017 sowie August 2018 in deren wesentlichen Ergebnissen zusammen und wird um die Resultate der Arbeiten während der kostenneutralen Verlängerung bis Ende 2018 ergänzt.

Die große Brennnessel (*Urtica dioica*) kann auf landwirtschaftlichen Standorten unter unterschiedlichsten Umweltbedingungen angebaut werden und ermöglicht in der Konvarietät Fasernessel (*Urtica dioica* l. convar. fibra) die Bereitstellung hochwertiger Faserrohstoffe. Dabei betragen die Fasergehalte der bis ins letzte Jahrzehnt auf größeren Flächen angebauten Pflanzen ca. 10 - 12 %. Neuere, vor allem im Projektverlauf angepflanzte, Klone zeigen beim Fasergehalte Potentiale von bis zu 22 %. Da bisher keine Ergebnisse von großflächigen Feldversuchen > 0,5 ha vorlagen, waren deren Etablierung und Untersuchung hinsichtlich Ertrag und Qualität der Pflanzen bzw. daraus gewonnener Fasern ein wesentlicher Forschungsschwerpunkt. Zurück greifend auf Ergebnisse von vorherigen Forschungsvorhaben konnte durch den Projektpartner IFP ausreichend Pflanzmaterial der Klone L2, L6 und L18 zur Verfügung gestellt werden und auf den zwei Projektstandorten der beteiligten Landwirtschaftsbetriebe erfolgreich etabliert werden. Umfangreiche Bonituren des Projektpartners 3N in enger Zusammenarbeit mit den Landwirten haben gezeigt, dass sowohl die Bestandsetablierung 2015 als auch die Jugendentwicklung 2016 bis zur den beiden Ernten 2017 und 2018 eine deutliche Verbesserung des Ertragspotentials erwarten lassen. Dies gilt grundsätzlich sowohl für den sandigen Standort in der Lüneburger Heide als auch den durch Löss-Lehm gekennzeichneten Boden in der Hildesheimer Börde. Ein Einfluss der Pflanzendichte (2 bzw. 3 Pfl. m<sup>-2</sup>) scheint erkennbar, kann aber nicht abschließend validiert werden wie auch der direkte Klonvergleich. Das gilt sowohl für den landwirtschaftliche (Anbau und Ernte) als auch den verfahrenstechnischen (Erstverarbeitung des Stroh) Teil der Bereitstellungskette. Weitere Verbesserungen sollen durch zielgerichtete Untersuchungen zur Variation Düngemengen in der praktischen Landwirtschaft erreicht werden. Die Ergebnisse der 3 bzw. 4 Versuchsjahre fallen aufgrund der teils extrem unterschiedlichen Wachstumsbedingungen sehr heterogen aus. Im Mittel ergibt sich jedoch die Schlussfolgerung, dass eine gesteigerte Stickstoffdüngung (180 auf 250 kg N ha<sup>-1</sup>) nicht notwendig scheint, eine Erhöhung der Kaliumdüngung von 200 auf 300 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> dagegen auf dem untersuchten Standort zu positiven Effekten führt.

Neben der etablierten vegetativen Vermehrung ist die Entwicklung von wissenschaftlichen Grundlagen für die Erzeugung und konventionelle Aussaat von in vitro erzeugten somatischen Embryoiden durch das IFP ein wesentlicher Beitrag für die perspektivische Verbesserung der Wertschöpfung in der Bereitstellungskette. Im Verlauf des Vorhabens hat sich aber auch gezeigt, dass die notwendigen Entwicklungsschritte einer umfangreicheren und vertieften Bearbeitung bedürfen. Dies war im zurückliegenden zeitlichen Rahmen nicht in ausreichendem Maße gegeben. Daher wurde ein weiterer alternativer Verfahrensansatz entwickelt und in ersten experimentellen Ansätzen untersucht. Die Gewinnung und Ausbringung von Rhizomfragmenten scheint, wie bereits im Heil- und Gewürzpflanzenanbau genutzt, auch für die vegetative Vermehrung von Fasernesseln sehr aussichtsreich. Zu beachten sind dabei jedoch die natürlichen Gegebenheiten (Standort, Witterung), um eine erfolgreiche Bewurzelung der Rhizome und damit Bestandsetablierung zu ermöglichen. Eine abschließende Aussage zur zeitlichen und verfahrenstechnischen Gestaltung dieser Vermehrungsmethode ist auf Basis der vorliegenden Ergebnisse daher noch nicht möglich. Gelingt es darüber hinaus in einem nächsten Schritt, etablierte Maschinen und Geräte einzusetzen, kann dem Grundsatz dieses Teilvorhabens – eine deutliche Kostenreduktion bei der Vermehrung und Etablierung von landwirtschaftlichen Beständen – in vergleichbarer Weise entsprochen werden.

Für den an die landwirtschaftliche Erzeugung anschließenden Primäraufschluss von Faserpflanzenstroh sind bereits im Vorlauf des Verbundvorhabens durch den Partner ATB verschiedene technische Innovationen z.B. für die Entholzung, entwickelt und in einer Pilotanlage umgesetzt worden.

Durch das nahezu vollständige Lösen der natürlichen Verbindung von Fasern und Nicht-Faserbestandteilen kann eine deutliche Reduzierung der maschinentechnischen Aufwendungen erreicht werden. Mit diesem Forschungs- und Entwicklungsvorhaben konnten nun in Zusammenarbeit mit dem Anlagenbetreiber NFC GmbH Nettle Fibre Company gleichermaßen Grundlagen für den optimierten Betrieb der gesamten Anlagentechnik erarbeitet werden.

Ein wesentlicher Beitrag zur Analyse und Auswertung der Versuche lieferten die Untersuchungen zur Qualitätskontrolle entlang der Wertschöpfungskette im TV4. In enger Abstimmung der Partner wurden die Fasermuster zeitnah bereitgestellt und konnten nach zügiger Bearbeitung durch das FIBRE die für die Durchführung der Aufbereitungsversuche erforderlichen Ergebnisse liefern. Dabei wurden insbesondere Effekte der Materialfeuchte als auch der Anlagenparameter auf ausgewählte Faserkennwerte identifiziert. Grundsätzlich scheinen sich die im Rahmen des Vorhabens untersuchten Fasermuster unterschiedlicher Herkunft (Standort, Klon, Düngevariante, Pflanzdichte, Röste, Verarbeitungsbedingungen) für eine textile Verarbeitung zu eignen. Kennwerte der Entholzbarkeit (unter Laborbedingungen), der Faserfestigkeit und –feinheit sowie Ergebnisse ausgewählter Untersuchungen zur Faserlänge liegen in einem Spektrum, die eine Weiterverarbeitung ermöglichen. Die nachfolgende Veredelung (Degummierung) wurde bisher nur in einem ersten, grundsätzlichen Vorversuch betrachtet, so dass die erzielten Ergebnisse im Rahmen weiterer Forschungsarbeiten zu validieren sind. Von wesentlicher Bedeutung sind in diesem Zusammenhang dann auch übergreifende Betrachtungen der Verarbeitbarkeit resultierender Faserqualitäten in der textilen Wertschöpfung (Spinnen und Flächenherstellung).

So gewinnen die bisher erzielten Ergebnisse auch vor dem Hintergrund der vermehrten Nachfrage nach regional und nachhaltig erzeugten Fasern insbesondere für die Textilindustrie auf der Basis nachwachsender Rohstoffe an Bedeutung.

## 2 Ziele

### 2.1 Thema und Gesamtziel des Projektes

#### Brennnessel – Vermehrung

Die große Brennnessel (*Urtica dioica*) kann auf landwirtschaftlichen Böden von unterschiedlichster Güte angebaut werden. Bewährt hat sich bisher das maschinelle Pflanzen von vorgezogenen Stecklingen in kleinen Vliestöpfen. Die Kosten für eine industrielle Nutzung dieser Verfahrensweise sind relativ hoch, da viele manuelle Arbeitsschritte involviert sind. Die bisherige Vermehrung wird über Stecklinge — das Vorläuferprojekt (Förderkennzeichen 22026207) befasste sich mit der Fasernesselzüchtung und Entwicklung eines effizienten Vermehrungsverfahrens — erfolgreich praktiziert. Gelingt allerdings die *in vitro*-Vermehrung der Fasernessel über somatische Embryogenese sowie die Verkapselung der Embryoide geeigneter Genotypen zur Erzeugung von sogenannten synthetischen Samen, so wäre das ein Fortschritt bei einer zügigen Ausdehnung von Anbauflächen und würde die zurzeit noch schwierige Wirtschaftlichkeit des landwirtschaftlichen Fasernesselanbaus verbessern.

#### Brennnesselfaser: Ausbeutesteigerungen und Qualitätsverbesserungen

Die Faseranteile in den Fasernesseln (*Urtica dioica*), die bisher auf großen Flächen angebaut wurden, betragen ca. 10 – 12 %. Die im Jahr 2012 von NFC neu auf 1,4 ha in Nordstemmen angepflanzten Z-Klone (Z 6 und Z 10), können Fasergehalte von 17 – 20 % enthalten. Es lagen bisher noch keine Ergebnisse von großflächigen Feldversuchen vor. Daneben soll die Ausbeute durch Erkenntnisse von Vorläuferprojekten und neue Forschungsaktivitäten für diese, teilweise noch nicht untersuchten Z-Klone, gesteigert werden durch: Dichte bzw. Anzahl der Nesseljungpflanzen pro Quadratmeter/Hektar sowie die Anpassung von K- und N-Dünger-Mengen. Weitere Ergebnisse der Züchtungsarbeiten sollen in Form neuer, noch faserreicherer Klone, in den landwirtschaftlichen Praxisanbau überführt und untersucht werden.

Die Nesselfaser zeichnet sich gegenüber anderen Bastfasern durch ihre Festigkeit, Feinheit und Atmungsaktivität aus. Bekannt ist aus dem 19. und 20. Jahrhundert die industrielle Wasserröste, die aus Umweltgründen und Kostengesichtspunkten zu ersetzen ist. Daher sollte im industriellen Maßstab untersucht werden, wie die heute praktizierte Feldröste die Qualität der Faser beeinflusst.

#### Separierung der Brennnesselfasern durch mechanische Trennung / Entholzung

In den vergangenen Jahren sind durch das Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie Potsdam-Bornim e.V. (ATB) verschiedene technische Innovationen für den Primäraufschluss von Faserpflanzenstroh entwickelt und ursprünglich in einer Pilotanlage umgesetzt worden. Innovativer Kern der Entwicklungen ist eine Aufschlussmaschine, die über den Stand der Technik hinaus die Verarbeitung prinzipiell von z.B. wenig gerösteten Faserpflanzen und Öllein zu hochqualitativen Fasern bei vergleichsweise hohem Massestrom erlaubt. Die Faserqualitäten waren allerdings nur für technische Zwecke zu verwenden.

Durch das Lösen der nach Ernte und Feldliegezeit verbleibenden natürlichen Verbindung von Fasern und Nicht-Faserbestandteilen kann eine deutliche Reduzierung der maschinentechnischen Aufwendungen für die folgenden Prozessschritte erreicht werden.

Die Pilotanlage wurde nach Abschluss der wesentlichen wissenschaftlichen Arbeiten vom Standort des Institutes zum damaligen Praxispartner — der Nordhanf GmbH in Groß Helle in Mecklenburg-Vorpommern transferiert. Dort war vorgesehen, in Zusammenarbeit mit dem ATB die sukzessive

Weiterentwicklung der gesamten Anlagenkonzeption zum Industriemaßstab (Auslegung  $2 \text{ t h}^{-1}$  Strohaufarbeitung) für die Gewinnung der technischen Hanffaser zu realisieren. Aufgrund von wirtschaftlichen Problemen des Unternehmens stellte das Unternehmen 2011 seine Geschäftstätigkeit ein.

Mit dem hier beantragten Vorhaben bestand das Ziel, in Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und dem neuen Partner – NFC GmbH Nettle Fibre Company (NFC) - gleichermaßen die weitere deutliche Erhöhung des Innovationspotentials der gesamten Anlagentechnik sowie auch einzelner technisch-technologischer Lösungen auch für andere Bastfasern wie z.B. Fasernesseln sowie weitere Anwendungsfelder der resultierenden Fasern anzustreben. Dies gewinnt z.B. vor dem Hintergrund der vermehrten Nachfrage nach regional und nachhaltig erzeugten Fasern insbesondere für die Textilindustrie auf der Basis nachwachsender Rohstoffe an Bedeutung.

In diesem Teilthema sowie mit ersten praktischen Erfahrungen mit Hanf für den non-woven Einsatz am Standort der NFC Groß Helle ist nun im Zuge der im vorliegenden Vorhaben vorgesehenen Entholzungsversuche der Nesselstrohvarianten aus den pflanzenbaulichen Versuche im TV 3.2 insbesondere auch ein erstes Kernthema für den Primäraufschluss von Brennessel-Stroh zu berücksichtigen. Da perspektivisch vermarktbar Faserqualitäten (Herstellung von langstapligen Bastfasern) aus den Feldversuchsvarianten erzeugt werden sollen, ist eine optimale Arbeitsqualität der Aufschlussmaschine zur Impactminimierung und eine weitere Verbesserung der Produktqualität sowie eine hohe Ausbeute für eine gesteigerte Wertschöpfung von großer Bedeutung.

#### Charakterisierung von Nesselstroh und –fasern

Im Rahmen dieses Teilthemas soll durch das Faserinstitut Bremen (FIBRE) eine unabhängige Bewertung der Faserqualitäten verschiedener Proben von *Urtica dioica* vorgenommen werden, die von verschiedenen Anbaustandorten und aus entsprechenden Aufschlussversuchen stammen. Hauptziel der Arbeiten ist dabei die Minimierung der Prozessverluste unter gleichzeitiger Sicherstellung gleich bleibender Faserqualitäten. Schwerpunkt der Untersuchungen ist daher die Messung von:

- *Faserfestigkeit,*
- *Faserfeinheit, und*
- *Relative Feuchtaufnahmevermögen*

um anhand dieser Parameter den Erfolg der zu Grunde liegenden Arbeiten bewerten und geeignete Verarbeitungskriterien festlegen zu können.

Dazu sind Methoden zur quantitativen Bestimmung nötig, die über die Schnellbestimmung von Mittelwerten hinausgehen und eine exakte Analyse von Unterschieden der verschiedenen Proben ermöglichen.

Einen weiteren innovativen Arbeitsbereich des FIBRE bilden Untersuchungen zur Feuchtigkeitsaufnahme der Fasern in unterschiedlichen Klimate. Der Tragekomfort von Textilien wird entscheidend durch die Geschwindigkeit der Feuchtigkeitsaufnahme bzw. –abgabe der Fasern beeinflusst.

Auf Basis der Ergebnisse dieser Untersuchungen soll zukünftig ein Bewertungsschema entwickelt werden, das als Grundlage zur Erarbeitung eines DIN-Normtests dienen kann, mittels dessen die Atmungsaktivität von Textilprodukten bereits am Rohstoff „Naturfaser“ grundlegend vergleichend beurteilt werden könnte.

## 2.2 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt gliedert sich entsprechend des gemeinsamen Arbeitsplanes sowie der Vorhabenbeschreibung in verschiedene Teilvorhaben entlang der Wertschöpfungskette von der züchterischen Bearbeitung über den Anbau und die Erstverarbeitung:

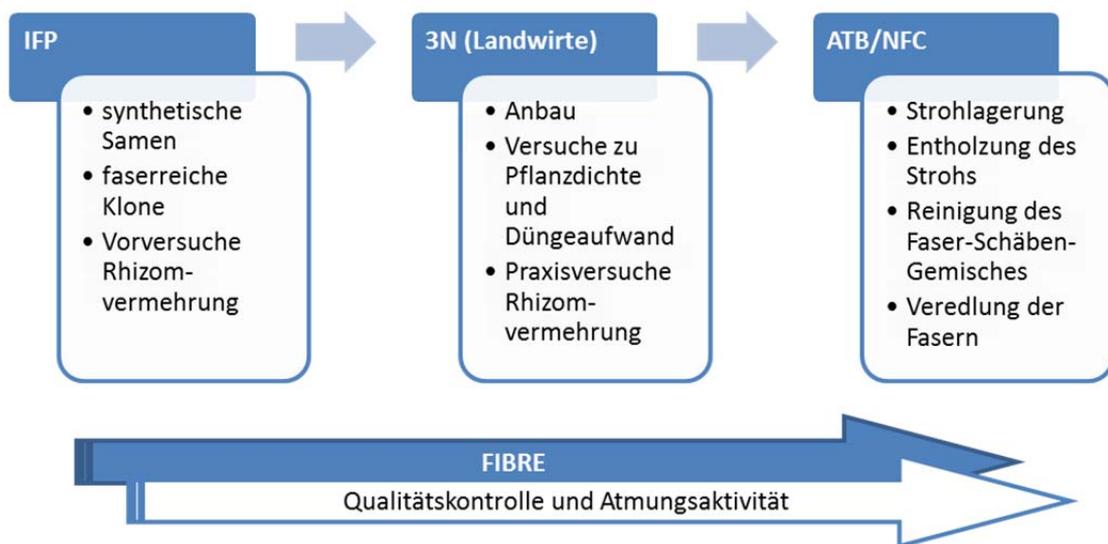


Abbildung 1: Projektplanung und Ablauf im Verbundvorhaben InBeNeFa.

Die Ermittlung von Qualitätseigenschaften des Strohs bzw. resultierender Fasermuster wurde schwerpunktmäßig vom FIBRE im Sinne eines Qualitätsmanagements bearbeitet. Analysen zu ausgewählten Versuchsreihen erfolgten in Kooperation mit dem ATB. Seitens des Faserinstitutes bestand darüber hinaus die Aufgabe, Grundlagen für ein Bewertungsschema zu erarbeiten, um die Atmungsaktivität späterer Textilprodukte beurteilen zu können.

Die Teilvorhaben gliederten sich dabei in folgende Einzelaufgaben auf:

### 2.2.1 TV 1: Koordinierung des Verbundes sowie Realisierung des Teilvorhabens insbesondere zur innovativen Aufschlusstechnologie - ATB mit Unterauftrag an NFC (ab 09/2017 NFC mit erweitertem eigenem TV):

Die Durchführung der Faserstrohaufbereitung aus den pflanzenbaulichen Versuchen sowie Verbesserung der Arbeitsqualität der Aufschlussmaschine im Zusammenhang mit den peripheren Anlagenteilen war ein zentraler Bestandteil des Teilvorhabens. In enger Zusammenarbeit und Abstimmung zwischen der NFC GmbH Nettle Fibre Company (NFC) und dem ATB erfolgten dazu Praxisversuche in der NFC-Faseraufschlussanlage in Groß Helle. Das Ziel sollte es sein, eine möglichst hohe Qualität an Nesselfasern entsprechender Länge bei gleichzeitig hoher Faserausbeute zu erzeugen. Die dargestellten Ergebnisse bilden eine Auswahl der wichtigsten Erkenntnisse der im ersten Projekthalbjahr durchgeführten Versuche. Parallel dazu wurden ausgewählte Faserproben der Versuche am FIBRE bzw. ATB analysiert.

Die Finanzierung und die damit verbundenen Arbeitsinhalte des Teilvorhabens 1 wurde für den Antragsteller ATB sowie den Auftragnehmer NFC zunächst nur im Zeitraum 01.06.2015 bis 31.05.2016 bewilligt.

Im Rahmen der Bewilligungen von Aufstockungsanträgen konnten verschiedene Arbeitsaufgaben im Herbst 2016 sowie zwischen August 2017 und März 2018 fortgeführt werden. Die NFC GmbH Nettle Fibre Company erhielt zudem eine zusätzliche Finanzierung im Rahmen eines Neuantrages ab September 2017 bis 31.05.2018 und einer kostenneutralen Verlängerung bis zum 31.12.2018 (siehe Teilbericht TV 5, FKZ 22015616).

Dies ermöglichte eine überwiegend durchgehende Bearbeitung der gestellten Aufgaben zum Aufschluss von Nesselstroh aus dem landwirtschaftlichen Teilvorhaben und der weiteren Veredelung resultierender Fasern. Schwerpunkt waren dabei nicht nur Untersuchungen unter Praxisbedingungen in der Anlage, sondern teils parallel laufende Analysen des gleichen Ausgangsmaterials unter Laborbedingungen (Abbildung 2). Dabei wurden im Rahmen des Projektes vor allem die Verfahrensschritte zum mechanischen Aufschluss und der Reinigung bearbeitet. Versuche zur weiteren Veredelung über Krempeln und Degummierung hatten lediglich orientierenden Charakter (siehe TV 5).

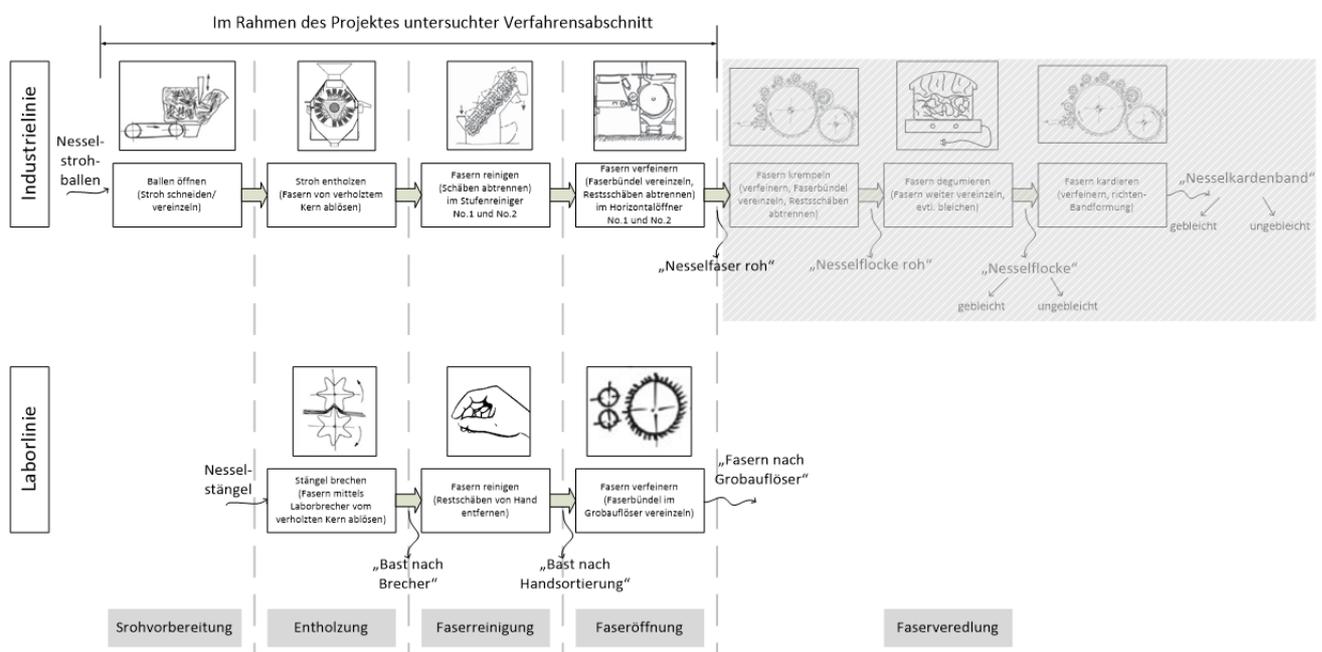


Abbildung 2: Verfahrenslinie zum Faseraufschluss im Industrie- bzw. Labormaßstab [Abb. teils aus Müssig et al. 2010].

## 2.2.2 TV 2: Synthetische Samen – IFP

Die in vitro-Vermehrung der Fasernessel über somatische Embryogenese sowie die Verkapselung der Embryoide geeigneter Genotypen zur Erzeugung von sogenannten synthetischen Samen soll die zurzeit noch schwierige Wirtschaftlichkeit des landwirtschaftlichen Fasernesselanbaus deutlich verbessern. Daher war durch das IFP in diesem Vorhaben die Bearbeitung der folgenden Schwerpunkte vorgesehen:

- *Kallusinduktion an verbesserten Genotypen*
- *Somatische Embryogenese auf Festnährmedium*
- *Somatische Embryogenese in Suspensionskultur*
- *Konversion der somatischen Embryonen*
- *Einkapselung der synthetischen Samen*
- *Trocknung der synthetischen Samen*

- *Re-Konversion nach Einkapselung, Trocknung und Lagerung*
- *Prüfung der genotypischen Stabilität*
- *Praxisanbau im Feld*

Zur Klärung agronomisch wichtiger Fragen sollten Feldversuche auf Praxisflächen angelegt werden und Ergebnisse über drei Anbaujahre ermittelt werden. Begleitend dazu sollten ausgewählte Klone aus dem Vorgängerprojekt am Versuchsstandort Schnega erhalten und ggf. vermehrt werden, um ausreichend Basismaterial zur Anlage neuer Flächen mit den neugezüchteten Klonen zur Verfügung stellen zu können.

### **2.2.3 TV 3: Landwirtschaftlicher Teil; 3N Kompetenzzentrum Niedersachsen-Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe e.V. mit Unteraufträgen an zwei Landwirte**

3.1 Fasernessel-Klonvergleich: Neuanlage von Nesselflächen mit faserreichen Klonen in 2 Pflanzdichten (Fasernessel-Neuanlagen)

An den beiden Standorten der beauftragten Landwirte (Frielingen und Nordstemmen) wurden die in 2015 gepflanzten Neuanlagen zur Prüfung der Anbaueignung verschiedener Nesselklone unter Praxisbedingungen in enger Kooperation von 3N und den beteiligten Landwirten fachgerecht und gemäß Projektplan betreut. Die Bestandsentwicklung wurde jeweils während der gesamten Vegetationsperiode dokumentiert. An beiden Standorten wurden die Bestände jeweils zur Ernteperiode für die Bereitstellung der erforderlichen Nesselstrohmengen gemäht und Proben zur Bestimmung der Fasergehalte und Faserqualitäten genommen.

Im Rahmen der kostenneutralen Projektverlängerung im Jahr 2018 wurden erste praktische Vortests von Feldversuchen zur Bestandsetablierung über die Gewinnung und Ausbringung von Rhizomen begleitet.

3.2 Bestandsführung: Steigerung der Faserausbeute durch optimierte Düngung (Fasernessel-Altanlagen)

An beiden Standorten (Frielingen und Nordstemmen) wurden die Fasernessel-Altanlagen von den beteiligten Landwirten in Absprache mit 3N fachgerecht betreut. Der Düngungsversuch wurde ab 2017 aber nur am Standort Frielingen weiterverfolgt und die Bestandsentwicklung dokumentiert. Am Standort Frielingen erfolgte auch planmäßig wieder eine Ernte. Hier wurden wie in den Vorjahren zum Erntezeitpunkt Proben zur Bestimmung der Fasergehalte und Faserqualitäten genommen.

### **2.2.4 TV 4: Faseranalytik - FIBRE**

Im Teilvorhaben 4 wurde eine unabhängige Bewertung der Faserqualitäten verschiedener Proben von *Urtica dioica* L. vorgenommen werden, die von den beiden Standorten sowie dem entsprechenden Aufschlussversuchen des Fasernesselstrohs stammen. Hauptziel der Arbeiten ist dabei die Minimierung der Prozessverluste unter gleichzeitiger Sicherstellung gleich bleibender Faserqualitäten. Dazu sind den geltenden Normativen entsprechende Methoden zur quantitativen Bestimmung nötig, die über die Schnellbestimmung von Mittelwerten hinausgehen und eine exakte Analyse von Unterschieden der verschiedenen Proben ermöglichen. Die zu verwendenden Methoden sind:

- *Aufschließbarkeit mittels zweistufigem Verfahren „FLAKSY-System“ sowie Labor-Grobauflöser.*
- *Faserbreitenverteilung mit Hilfe des Bildverarbeitungssystems Fibreshape,*
- *Kollektivfestigkeit mit einem nach ASTM D 1445 kalibrierten Stelometer,*

Um weitere Erkenntnisse über die als beste selektierte Klone zu gewinnen, sind zusätzliche Untersuchungen sinnvoll, aber wegen des z.T. hohen Aufwandes nur mit einzelnen Proben durchführbar. In diesem Zusammenhang waren für orientierende Untersuchungen vorgesehen:

- *Einzelfaserfestigkeitsprüfungen mittels Dia-Stron, um Aussagen über das maximal mögliche Festigkeitspotential treffen zu können [Graupner et al. 2007].*
- *Messung der Faserlängenverteilung mittels Almeter [Drieling et al. 1999].*

Die Auswahl geeigneter Proben erfolgte in intensiver Zusammenarbeit der Projektpartner.

Von Nesselfasern ist bekannt, dass sie über eine Feuchteaufnahme von 11–17% bei 65% rel.F. verfügen [Müssig et al. 2010]. Selbst gegenüber anderen Bastfasern wie Flachs (7–12%) und Hanf (6-12%) [Müssig et al. 2010] ist das ein über 40% größeres Feuchteaufnahmevermögen. In die gefühlte **Atmungsaktivität** eines Textils gehen neben dem Feuchteaufnahmevermögen auch die Wasserdampfdurchlässigkeit sowie die Geschwindigkeit der Wasseraufnahme und –abgabe des Textils ein. Sie ist technisch nur schwer zu erfassen, so dass sich namhafte Hersteller wie W.L. Gore (GORE-TEX®) auf die Messung der Wasserdampfdurchlässigkeit nach [DIN EN ISO 15496] bzw. [ASTM F2298] sowie den ReT-Test beschränken. Wichtig ist dabei zu wissen, dass ein Großteil der Wasserdampfdurchlässigkeit durch die Porenöffnungen des Gewebes erfolgt, während der gefühlte Tragekomfort wesentlich davon abhängt, wie feucht sich das Material auf der Haut anfühlt und wie schnell entstehend Feuchte in die Fasern aufgenommen und schließlich nach draußen transportiert wird. Dieses Verhalten wird aber wiederum entscheidend durch die Geschwindigkeit der Feuchtigkeitsaufnahme der Fasern beeinflusst. Zur Messung wird die Kinetik der Feuchteaufnahme und –abgabe in unterschiedlichen Klimate auf einer Waage mit angeschlossener digitaler Datenerfassung verfolgt [BÄUMER 1998]. Die Klimate können durch spezielle Salzlösungen anstelle von Trocknungsmittel in Exsikkatoren eingestellt werden, so dass eine parallele Messung unterschiedlich klimatisierter Proben möglich wird. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei Naturfasern eine Feuchtigkeitshysterese auftritt und eine unterschiedliche Endfeuchte erreicht wird, je nachdem ob man vom trockenen oder feuchten Zustand der Probe startet.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen stellen die Grundlage für ein im Rahmen eines Anschlussprojektes zu entwickelndes normgerechtes **Bewertungsschema** dar mit dem die **Atmungsaktivität späterer Textilprodukte** bereits am Rohstoff „Naturfaser“ grundlegend beurteilt werden kann.

### **Ablauf des Vorhabens**

Die Arbeitsverteilung im Projekt wurde bereits im vorangegangenen Abschnitt dargestellt. Entsprechend dem Arbeitsplan wurden die Arbeiten im Projekt von den Partnern im Juni 2015 begonnen.

Im TV 4 wurden beginnend mit 2016 verschiedene Messreihen an Faserproben sowie Pflanzenstängeln durchgeführt:

- Zwei Messreihen zur Aufschlussoptimierung (Parametervariation Aufschluss, Krempeln)
- Drei Messreihen zur Rohstoffqualität (Erntejahre, Lagerdauer, Degummierung).
- Drei Messreihen zu Ernte und Feldparametern (Feldproben Erntejahre, Erntetermin, Pflanzdichte und Düngevarianten).

Die Durchführung der Messreihen umfasste im FIBRE die zuvor genannten Methoden und Verfahren der Fasercharakterisierung.

Als Voraussetzung für den Datenaustausch mit den Partnern wurden begleitend einheitliche Datenblätter erstellt, um die unterschiedlichen Proben schnell, übersichtlich und gut vergleichen zu können:

- a. für Faserproben mit den Ergebnissen der Fasercharakterisierung und
- b. Stängelproben zusätzlich mit den Resultaten des mechanischen Aufschlusses

Die Ergebnisse wurden direkt nach Abschluss der Messungen mit den jeweiligen Partnern besprochen und auf den regelmäßig stattfindenden Projekttreffen ausführlich vorgestellt. Auf den Projekttreffen Basis dieser Daten wurden die Ergebnisse aller Partner gemeinsam intensiv diskutiert und das weitere Vorgehen im Projekt abgestimmt. So war eine Mitwirkung bei der Planung der Anbauversuche und der folgenden Versuchsreihen in der Produktionsanlage möglich.

Der Partner FIBRE war auf den Projekttreffen am 14.01.2016 / LWK Hannover; 14.02.2017 / LWK Hannover; 14.11.2017 / LWK Hannover und 17.12.2018 / Faserinstitut Bremen sowie bei einem Arbeitstreffen mit dem Partner ATB am 20.02.2018 in Potsdam vertreten. Weiter erfolgte ein Koordinationstreffen zur Entscheidung über die Weiterarbeit in der PrioB des Projekts am 21.03.2017 bei der FNR Gülzow. Als Ergebnis dieses Koordinationstreffens konnte noch im April 2017 ein Aufstockungsantrag gestellt werden, der die Aufnahme der ersten Arbeiten zur PrioB ermöglichte. Nach Bewilligung der Aufstockung konnten so die Arbeiten in den TV 1; TV 3 und TV 4 fortgesetzt werden, sowie die Arbeiten im TV 5 aufgenommen werden; für TV 2 war lediglich eine Mittelumwidmung erforderlich.

Im TV 4 konnte durch die Aufstockung die weitere analytische Begleitung der Messreihen der Partner fortgesetzt werden. Außerdem war es so möglich, ab Ende 2017 die Arbeiten zur Schaffung der Grundlagen für ein Bewertungsschema zu beginnen, mit dem später die Atmungsaktivität von Nesseltextilien im Vergleich zu anderen Textilprodukten beurteilt werden soll.

### **2.2.5 TV 5: Herstellung von elementaren Brennesselfasern - NFC/FVT**

Der Zuwendungsbescheid der FNR vom 18.09. 2017 (FKZ 22015616) erlaubte es der NFC zu beginnen, das Prinzip des Krempelns von Nessel Fasern zu erforschen und in einem Unterauftrag erste Grundlagen für das Verfahren des Degummierens von vollkommen Schäben freien Nessel Fasern bei der Firma FVT GmbH (Faserveredlung Tönisvorst) zu entwickeln.

#### **1. Erfahrungen mit dem Krempeln von Nessel Fasern:**

Die wesentlichen Inhalte dieses Teilvorhabens waren:

- *die Qualität und Ausbeuten der neuen Klone und der landwirtschaftlichen Versuchsvarianten durch systematische Versuche zur Entholzung und weiteren Aufbereitung zu bestimmen*
- *Untersuchungen zum optimalen Feuchtigkeitsgrad des jeweiligen Brennesselstrohs beim Entholzen, Reinigen und Öffnen*
- *Analyse und Anpassung/Optimierung der Krempelanlage auf Nessel Fasern roh*
- *Speisung / Aufgabe von einheitlichen Nessel Fasern roh*
- *Untersuchungen zu Abhängigkeit von Aufgabemenge, Schäbengehalt, Feuchtigkeitsgehalten und Temperaturen*
- *Ermittlung der Betriebsparameter zum Erhalt der langen Fasern (Ausbeute der Lang-fasern)*

## 2. Erstes Degummieren und Bleichen mit einheitlichen Nessel Fasern (B-Klonen)

Die Arbeitsschwerpunkte orientieren sich an der Verfahrenskette zur Veredelung der Nessel-fasern roh mit Reaktoren packen, Waschen, Degummieren, Bleichen, Ausrüsten und Trocknen. Dazu waren experimentelle sowie anwendungsorientierte Untersuchungen zu folgenden Fragestellungen mit einheitlichen Nessel Fasern roh zu bearbeiten:

- *Gleichmäßigkeit des Rohstoffes für eine prozessgerechte Beschickung der Reaktoren*
- *Reaktionsbedingungen beim Degummieren (Zeit, Temperatur und Druck)*
- *Ermittlung und Anpassung der Hilfsmittel in Abhängigkeit der Prozessbedingungen (Tensid und Bleichmittel)*
- *Optimierung des Waschvorgangs*
- *Versuche zu passenden Ausrüstungen sowie zum Trocknungsvorgang*

## 2.3 Stand der Technik

Der Stand der Wissenschaft und Technik wurde bereits im Antrag ausführlich dargestellt und wird im Folgenden nur stark verkürzt wiedergegeben und um die im Laufe des Projektes gewonnenen Erkenntnisse ergänzt.

### 2.3.1 Ausgangslage am Markt

Alle Bestrebungen, Nesselfaser industriell einzusetzen, sind in den vergangenen Jahren letztendlich gescheitert. Dagegen sind die Möglichkeiten, basierend auf der besonderen Qualität der Nesselfaser, ausführlich von diversen Autoren beschrieben. Nach dem 2. Weltkrieg begann aus Kostengründen der Siegeszug der synthetischen Fasern. Nesselfasern verloren wie auch alle anderen Naturstoffe an Bedeutung. Alle jüngeren Bestrebungen zur Renaissance insbesondere der Nesselfaser scheiterten aus verfahrenstechnischen und wirtschaftlichen Gründen. Die Ausbeuten lagen 1940 bei 0,5 t/ha reine Nesselwolle [<http://www.biologie.uni-hamburg.de/bzfo/oknu/nessel/urtica01.html>].

Die Firma Brennells NV, Holland ließ bis 2012 im Lohnauftrag Brennesseln anbauen und Fasern bei verschiedenen Firmen u.a. in China aufarbeiten. Die Kosten sind alleine aus logistischen Gesichtspunkten mit > 20 EUR/kg zu veranschlagen. Die Qualität der Brennells Fasern ist nicht mit denen aus den NFC Versuchsproduktionen zu vergleichen, wobei diese Firma nur für den Eigenbedarf Nesseltextilien produzieren ließ.

Der Textilmarkt sucht zunehmend nach Alternativen wie z.B. Nesselfasern. Das Interesse und die Resonanz, Nesselfasern einzusetzen, ist sehr groß (Mattes & Ammann GmbH & Co. KG) und besonders im Hochpreissegment werden von der verarbeitenden Industrie Einsatzmöglichkeiten gesehen. Seit die Preise insbesondere für Baumwolle (Anfang des Jahres 2010 von 1,50 bis zum Ende auf 4,00 EUR/kg) gestiegen waren, wurden die alternativen nachwachsenden Fasern und besonders die aus Europa interessant. Ferner hat das Umweltbewusstsein, z.B. in Bezug auf den enormen Wasserbrauch und den Einsatz von Pestiziden und Herbiziden bei der Baumwollgewinnung, zugenommen. So liegen Anfragen von Textilherstellern vor, die verstärkenden Kunstfasern durch festere Bastfasern besonders im Bereich Strümpfe bzw. Socken ersetzen wollen.

Von Seiten der Produktion und Vermarktung besteht ein klares Konzept der Absicherung gegenüber möglichen Wettbewerbern. So veröffentlichte die Fa. Mattes & Ammann GmbH & Co. KG sehr oft über die Nesselfaser und Nesselkleidung, hat allerdings ihren Anbau im Umfang von ca. 5 ha nach Ungarn verlagert. Laut zuständigem Projektleiter Herr Moser ruht dieses Nessel-Projekt seit ca. 2 Jahren.

Demgegenüber können die Erntemengen an Brennesselstroh von vertraglich gebundenen, regionalen Feldern für die NFC GmbH pro Jahr in Form von Fasern verkauft werden. Es besteht mit dem Institut für Pflanzenkultur ein Lizenzvertrag zur Nutzung der faserreicheren Nesseln u.a. den Z-Klonen. Ferner bestehen Geheimhaltungsverträge mit der Firma FVT GmbH, (Faserveredlung Tönisvorst) über die vorab im Kleinmaßstab gemeinsam entwickelten Nessel-Nassaufschlussversuche. Ein Patent soll bewusst nicht angemeldet werden, da man auf diesem Gebiet auch durch ein Patent nicht vor Missbrauch geschützt ist. Verschiedene Spinnverfahren wurden unter Exklusivität entwickelt und vertraglich abgesichert.

Für eine ökonomisch rentable Produktion von Nesselfasern in Deutschland kommt dem Bereich Anbau, Ernte und Röste der Nesseln eine besondere Bedeutung zu. Bezüglich einer optimalen Anbautechnik für die Fasernessel hinsichtlich der Parameter Bestandsdichte und Düngung sind in der Literatur insgesamt nur wenige und z.T. nicht eindeutige Aussagen zu entnehmen.

### 2.3.2 Vermehrung

Die somatische Embryogenese wurde Ende der 50er Jahre erstmals an Karottenzellkulturen beobachtet und beschrieben [Übersichtsartikel Fujimura 2014]. Seitdem wurden die auf dem Weg von einer somatischen Zelle zu dem kompletten regenerierten Embryo ablaufenden Entwicklungsvorgänge im Detail, mit allen zur Verfügung stehenden Methoden, z.B. mikroskopisch, biochemisch, molekularbiologisch, zergliedert und beschrieben. Diese wissenschaftlichen Arbeiten wurden nicht nur an Karotte, sondern auch an einer Vielzahl anderer Pflanzenarten vorgenommen. In Abbildung 3 A ist der Ablauf der *in vitro*-Embryogenese bei der Karotte schematisch anhand prägnanter Differenzierungsschritte dargestellt [nach Bhojwani und Razdan 1996]. In Abbildung 3 B ist der Prozess der somatischen Embryogenese um die Arbeitsschritte ergänzt, die für die Produktion synthetischer Samen notwendig sind [nach Molle et al. 1993]. Hier ist auch schon hervorgehoben, welche Arbeitsschritte hier den Arbeitspaketen im TV 2, der „Verbesserung der Wirtschaftlichkeit des Farnesselanbaus durch synthetische Samen“ entsprechen.

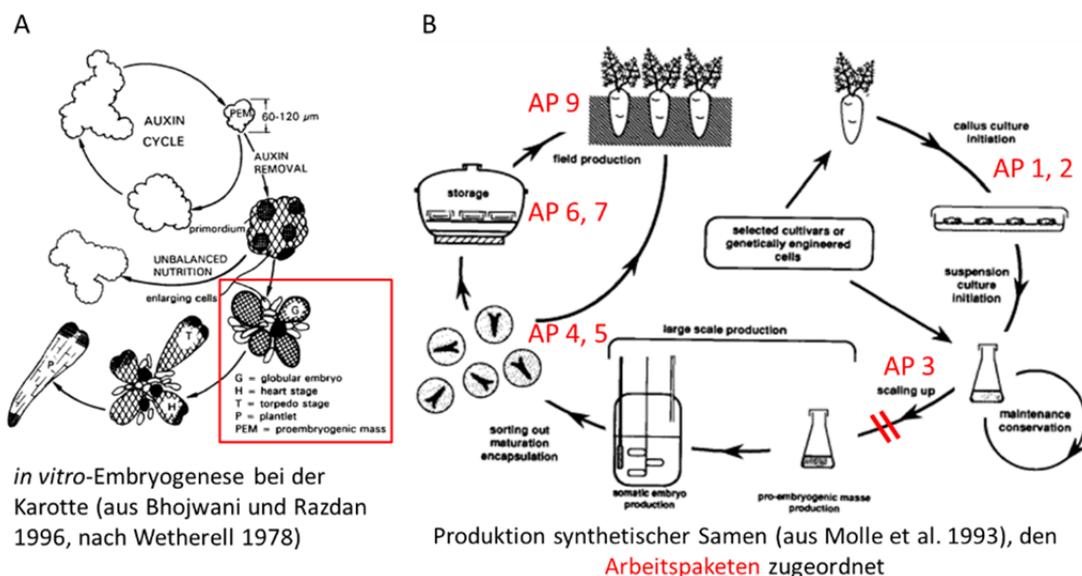


Abbildung 3: Schritte der Embryoausbildung aus embryogenem Kallus (A) und Herstellung synthetischer Samen aus somatischen Embryonen (B)

Es gibt trotz der umfangreichen Kenntnisse über die somatische Embryogenese [Übersicht in Bajaj 1995, Germana und Lambardi 2016, Jain und Gupta 2005, Loyola-Vargas et al. 2016] keine generelle Methode, die ein Vorgehen zur Etablierung der somatischen Embryogenese in einer bisher nicht bearbeiteten Pflanzenart beschreibt, das geradewegs zum Ziel führt. Stattdessen basiert das normale Vorgehen auf der Modifikation von Medien, die bei anderen Pflanzenarten zum Erfolg geführt haben. Dies lässt sich als „trial-and-error“ und „one-factor-at-a-time“ umschreiben [Zur et al. 2015].

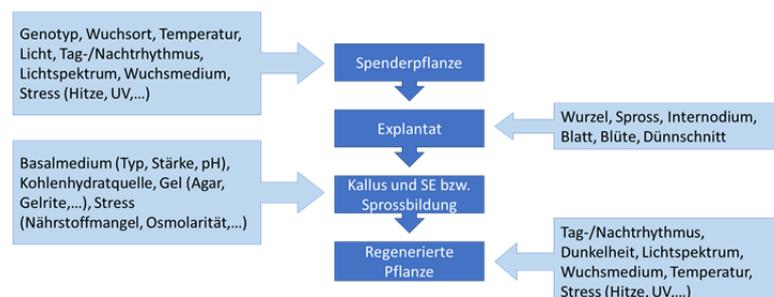


Abbildung 4: Faktoren, die einen Einfluss auf den Erfolg bei der Induktion der somatischen Embryogenese bzw. der Regeneration von Pflanzen aus Kallus haben.

Dabei ist hervorzuheben, dass für viele Pflanzenarten trotz ihres hohen wirtschaftlichen Wertes und einer Vielzahl von Wissenschaftlern, die an ihnen arbeiten, kein Protokoll zur Durchführung von somatischer Embryogenese zur Verfügung steht. Diese Arten werden dann „recalcitrant“ (englisch für bockig, widerspenstig) genannt. Trotz der umfangreichen wissenschaftlichen Erkenntnisse, die zur Verfügung stehen, konnte bisher kein theoretischer Rahmen etabliert werden, der diesen Widerwillen der Pflanzen erklärt und ermöglicht diesen zu überwinden. Eine Reihe der Faktoren, die dabei „one-factor-at-a-time“ variiert werden können sind in Abbildung 4 dargestellt.

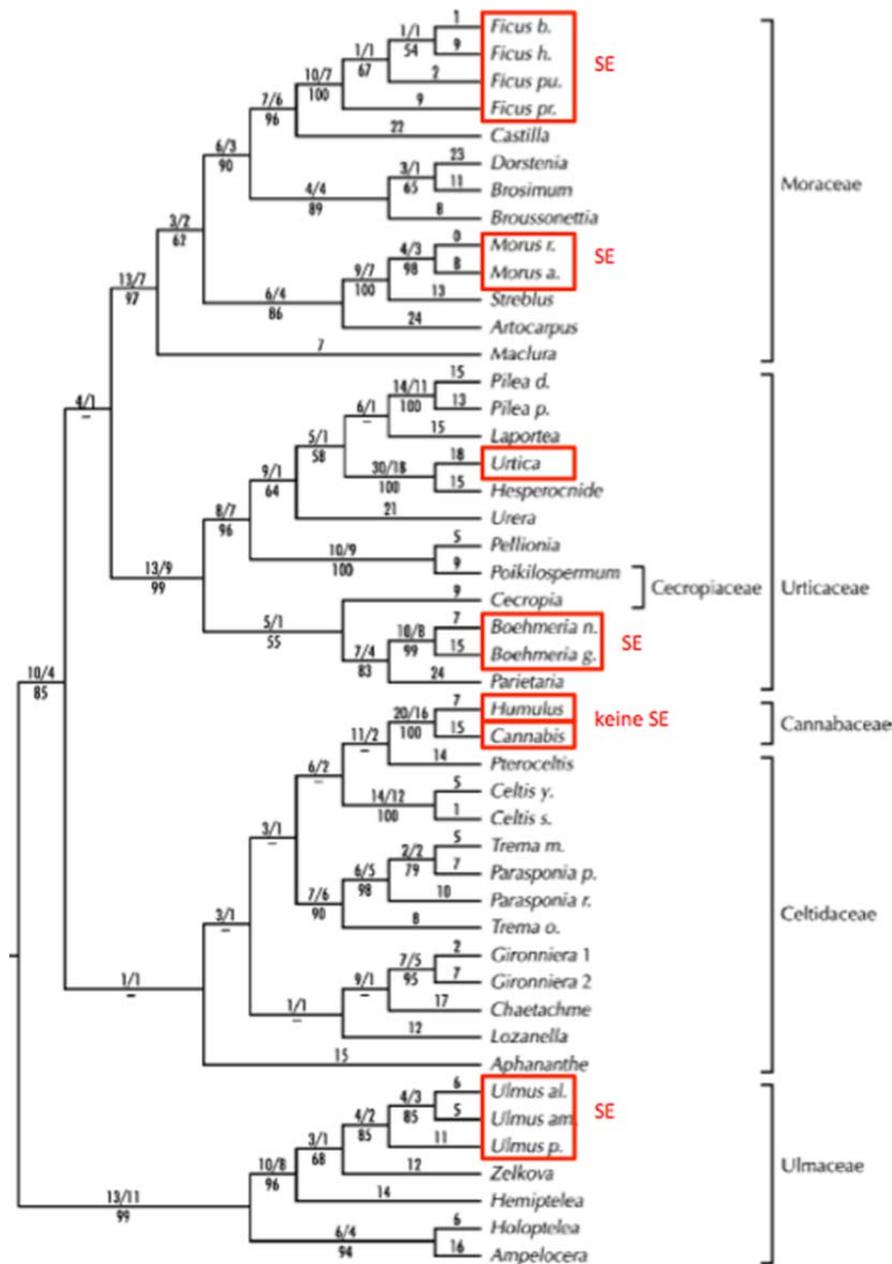


Abbildung 5: Die nächste Verwandtschaft der Nessel innerhalb der Rosales [nach Sytsma et al. 2002]. Biotechnologisch bearbeitete Gattungen sind mit roten Kästen hervorgehoben. Die Abkürzung SE zeigt an, wo somatische Embryogenese als Methode etabliert ist und wo nicht.

Der erfolgversprechendste Weg ein Protokoll zur somatischen Embryogenese bei einer bisher unbearbeiteten Pflanzenart zu etablieren, ist es, Protokolle nahe verwandter Arten zu testen. Das Pflanzenreich gliedert sich, wie auch der Rest der Organismen, in Verwandtschaften, die evolutio-

när nahe verwandt sind, da sie die gleichen Vorfahren teilen. Diese verwandten Organismen ähneln sich dann auch in den Hormonregulationsmechanismen und den Entwicklungsschritten, die bei der somatischen Embryogenese durchlaufen werden.

Für die hier bearbeitete Pflanzenart *Urtica dioica* sind diese am nächsten verwandten Arten, von denen man sich Methoden abschauen kann, in die Phylogenie in Abbildung 5 eingeordnet. Diese Arten gehören zu den Gattungen *Ficus* [Lal et al. 1988, Soliman et al. 2010], *Morus* [Agarwal 2002], *Boehmeria* [Defu et al. 1996] und *Ulmus* [Conde et al. 2004]. In den nahe verwandten und wirtschaftlich sehr wichtigen Arten *Humulus lupulus* und *Cannabis sativa* konnte die somatische Embryogenese bisher nicht etabliert werden. In der etwas fernerer Verwandtschaft befinden sich mit *Prunus* und *Rosa* zwei Gattungen, die sowohl wirtschaftlich wichtig sind, als auch über sehr effiziente und zuverlässige Protokolle zur Induktion der somatischen Embryogenese verfügen.

*Tabelle 1: Typischerweise zur Induktion von somatischer Embryogenese genutzte Hormone und zugehörige Konzentrationsbereiche [aus Zur et al. 2015].*

<b>PGRs</b>	<b>Induction media</b>	<b>Regeneration media</b>
<b>Auxins and synthetic auxin analogs</b>		
IAA	1–4	0.01–3.5
IBA	0.5–1	1–2
PAA	1–100	1–4
2,4-D	0.1–8	0.5–3
NAA	0.5–2.5	0.05–5
Dicamba	0.1–2.5	-
Picloram	0.07–4	-
<b>Anti-auxin and auxin transport inhibitors</b>		
PCIB	1–5	-
TIBA	0.05–2	0.1–1
<b>Cytokinins</b>		
BAP	0.05–3	0.1–5
Kinetin	1	0.1–5
Z/ZR	0.1–1	0.5–2.2
TDZ	0.1–1	-
2iP	0.0001–0.4	0.1
<b>Other PGRs</b>		
GA <sub>3</sub>	0.001–5	0.01–0.1
ABA	0.001–10	0.05–3

Ausgehend von diesen Protokollen zur Induktion von somatischer Embryogenese bei verwandten Arten, können die benutzten Medien und Wuchsbedingungen dann „one-factor-at-a-time“ variiert werden. Einer der wichtigsten Faktoren hierbei ist die Hormonzusammensetzung der Medien. In Tabelle 1 ist eine Übersicht, welche Hormone in welchen Konzentrationen typischerweise zur Induktion somatischer Embryogenese genutzt werden.

Die Etablierung der somatischen Embryogenese für *Urtica dioica* ist nicht nur im Hinblick auf die vegetative Vermehrung über synthetische Samen interessant, sondern auch im Hinblick auf Züchtungsarbeit. Für die schnelle Züchtung mit doppelhaploiden Pflanzen [Forster et al. 2007, Touraev et al. 2009] und gentechnische Züchtungsansätze [Lusser et al. 2012, Kempken und Jung 2010] sind Zellkulturverfahren notwendig, die die Regeneration aus einzelnen Zellen ermöglichen. Die somatische Embryogenese zählt zu diesen Verfahren und die Arbeit daran ist wertvolle Grundlagenarbeit für die züchterische Zukunft der Fasernessel.

### 2.3.3 Landwirtschaftliche Aspekte

Zur Überprüfung des N-Bedarfes der Fasernessel wurden an der TLL in Dornburg 1994 zwei verschiedene Klone zu Vegetationsbeginn mit 160, 200 bzw. 240 kg N ha<sup>-1</sup> gedüngt und die Erträge sowie die N<sub>min</sub>-Gehalte im Boden nach der Ernte analysiert [Graf et al. 2003]. Der K-Bedarf eines Nesselbestandes zur Erzielung eines Strohertrages von 6t ha<sup>-1</sup> wird von den Autoren mit 250 kg K ha<sup>-1</sup> angegeben.

An der Uni Göttingen wurde im Zeitraum von 1997 bis 2001 ein Versuch zur Wirkung verschiedener organischer Dünger auf Ertrag und Fasergehalt der Nessel durchgeführt [Lehne 2005]. In Versuchen zur Düngung der Fasernessel mit Rindergülle in Österreich ergaben sich im zweiten Standjahr Stroherträge von 2,3 – 4,7 t ha<sup>-1</sup> bei einer N-Gabe von 97 kg N ha<sup>-1</sup>; im dritten Jahr Trockenmasseerträge von 5,6- 9,7 t ha<sup>-1</sup> bei einer N-Gabe von nur 40 kg N ha<sup>-1</sup> [Hartl & Vogl 2002]. Ein weiterer Feldversuch mit der Fasernessel in Italien (Toscana) ergab, dass mit einer N-Düngung von 200 kg ha<sup>-1</sup> ein über verschiedene Klone gemittelter Strohertrag von 15,4 t ha<sup>-1</sup> erzielt werden kann. Der mittlere Fasergehalt beträgt dabei 11 % [Bacci et al. 2009]. An der Uni Bonn wurden Versuche zur Abhängigkeit des Faserertrags der Fasernessel von der Bestandsdichte durchgeführt [Francken-Welz 2003]. Nach den Untersuchungen von [Graf et al. 2003] sollte der Abstand zwischen den Nesselpflanzen 50 x 50 cm (= ca. 3 Pfl. m<sup>-2</sup>) betragen, um einen optimalen Bestandsschluss zu erzielen und eine ausreichende Konkurrenzfähigkeit gegenüber Unkräutern zu ermöglichen.

Aus der Zusammenstellung dieser Angaben aus der Literatur wird deutlich, dass es für den erfolgreichen Anbau von Fasernesseln in der landwirtschaftlichen Praxis dringend erforderlich war, eigene, systematische Erkenntnisse bezüglich einer ertrags- und qualitätsorientierten Anbautechnik im Projektgebiet (zwei Produktionsstandorte in Niedersachsen) zu erarbeiten.

### 2.3.4 Technik der Fasergewinnung

Für die aufbereitungstechnischen Arbeitsschwerpunkte wurden im Rahmen des Projektes die Einbringung und anwendungsbezogene Bearbeitung des durch das ATB gehaltenen Patentes DE 199 18 166 B4 genutzt. Bei der Analyse aller bisherigen Aktivitäten in der Praxis ist festzustellen, dass insbesondere seit der Wiedezulassung des Hanfanbaus in Deutschland die Bemühungen zur Etablierung faserbereitstellender Aufbereitungsanlagen intensiviert wurden. Gab es bis zu dieser Zeit überwiegend traditionelle Anlagen für die Erzeugung textiler Flachsfasern, wurden ab Mitte der 90er Jahre verstärkt Konzepte zur Erzeugung technischer Fasern aus Flachs und Hanf entwickelt und teilweise in Praxisanlagen umgesetzt. Dominierend waren dabei vor allem die Firmen Bahmer und Temafa aus Deutschland sowie das belgische Unternehmen Charle. Trotz vielfältiger Modifikationen erwiesen sich jedoch insbesondere die Bahmer-Anlagen (Pritzwalk, Voigtsdorf, Glauchau) bei geringen Durchsätzen und mangelnder Faserqualität als technisch nicht ausgereift und mussten u.a. aus diesen Gründen sukzessive ihren Betrieb einstellen. Gleiches gilt für das Aufschlusskonzept des französischen Herstellers LaRoche, welches durch die Fa. VerNaRo in Gardelegen aufgebaut und bereits nach wenigen Jahren wieder stillgelegt wurde. Das bei der Fa. Nafgo in Niedersachsen realisierte Konzept nach Charle/Demaitere beendete seinen Betrieb im Jahr 2010. Die Temafa-Anlage der Hanffaser Uckermark e.G. ist weiterhin in Betrieb, ermöglicht jedoch aufgrund der Entholzungstechnologie über Brecher nur ein eingeschränktes Spektrum an technischen Faserqualitäten bei optimaler Feldröste sowie vergleichsweise geringen Durchsätzen. Anlagenkonzepte auf Basis eines Prallaufschlusses (jedoch nicht mit Axial- sondern mit Tangentialprinzip) werden im Europäischen Ausland mit sehr unterschiedlicher Wirtschaftlichkeit bzw. resultierender Faserqualität betrieben. Textile Fasern werden in keinem der Betriebe erzeugt.

### **2.3.5 Grundlagen für späteren Markterfolg**

Nesselfasern haben ein großes Potential, um in Textilien eingesetzt zu werden. Jedoch sind die bisher verfügbaren und bereitstellbaren Kapazitäten ein beschränkender Faktor. Die Vermehrung über Stecklinge geht aus Kostengründen zu langsam voran. Dadurch könnte jeweils im Folgejahr die Fläche noch nicht mal verdoppelt werden.

Die Forschungsarbeiten mit den neuen Klonen mit erhöhtem Fasergehalt sowie der optimierten Entholzung könnte sich bei den prognostizierten positiven Ergebnissen die Produktionsmenge bis 2050 etwa verdoppeln. Bei einer Vermehrung über den ursprünglich vorgesehenen Einsatz von Fasernesselsamen aus TV 2 wären der Ausdehnung von Nesselfeldern kaum Grenzen gesetzt. Ein Bedarf von mehreren Tausend Tonnen Nesselstroh bzw. -fasern könnte so bis 2020 gedeckt werden. Hier haben sich aber im Projektverlauf einerseits die Herausforderungen mit dem gewählten methodischen Ansatz gezeigt, andererseits neue Optionen über die Gewinnung und Vermehrung von Rhizomen.

### **2.4 Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Im Rahmen des Verbundvorhabens wurden vom IFP für das Teilvorhaben 3 „Pflanzenbauliche Untersuchungen“ Stecklinge der Klone L6, L12 und L18 für die Feldpflanzungen produziert. Die Ergebnisse der am Institut für Pflanzenkultur e.K. durchgeführten Rhizomversuche wurden mit den Projektpartnern geteilt. Im Rahmen der kostenneutralen Verlängerung des Teilvorhabens 3 „Pflanzenbauliche Untersuchungen“, wurden von den Landwirten Feldversuche angelegt.

Der Arbeitsgruppe Dr. Gea Guerriero am Luxembourg Institute of Science and Technology wurden für ihre biotechnologischen Arbeiten an der Fasernessel im Rahmen des Projekts „Cabernet“ Pflanzen aus der Solkauer Klonsammlung zur Verfügung gestellt. Außerdem wurden die am IFP im Bereich somatische Embryogenese und Sproßinduktion erreichten Forschungsfortschritte mit der Arbeitsgruppe geteilt.

Zusammen mit Partnern aus 15 verschiedenen Ländern hat das Institut für Pflanzenkultur e.K. einen COST-Antrag (Europäische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Wissenschaft und Technologie) vorbereitet und eingereicht. Ziel ist es, mit Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft die letzten Hindernisse zu überwinden, die dem Durchbruch der Fasernessel als einheimische Bastfaserpflanze noch im Wege stehen.

Weitergehende Erfordernisse für eine direkte Zusammenarbeit mit Experten außerhalb des Projektkonsortiums ergaben sich nicht.

In den Teilprojekten arbeiteten die fünf Partner ATB, IFP, 3N, FIBRE und NFC sowie ihre Unterauftragnehmer Landwirtschaftsbetrieb Tölke, Landwirtschaftsbetrieb von Frieling und FVT eng zusammen. Dies gilt verstärkt innerhalb der Teilvorhaben aber auch darüber hinaus. Da die Arbeitspakete der Partner eng verzahnt waren, war eine intensive Abstimmung erforderlich. Bis zu zweimal pro Jahr fanden Projektbesprechungen statt, um die erzielten Zwischenergebnisse zu diskutieren, den weiteren Fortgang der Arbeiten im Detail zu planen und die Einzelarbeiten zeitlich und organisatorisch aufeinander abzustimmen. Weitere Vororttermine wurden aber auch an den Versuchsflächen der Landwirte sowie im IFP wahrgenommen.

Weiter erfolgten Koordinationstreffen zum Fortgang des aktuellen sowie der Beantragung eines möglichen Folgevorhabens 2016, 2017 und 2018 in der Geschäftsstelle der FNR in Gülzow.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 TV 1: Koordinierung des Verbundes sowie Realisierung des Teilvorhabens insbesondere zur innovativen Aufschlusstechnologie - ATB/NFC

##### 3.1.1 Masseanteile anfallender Zwischenprodukte beim Faseraufschluss von Nesselstroh

Für eine Betrachtung der Stoffströme beim Faseraufschluss sind die Verfahrensschritte Entholzung und Faserreinigung von entscheidender Bedeutung. Prinzip bedingt kann dem Hauptproduktstrom schon durch den Einsatz der im axialen Fluss betriebenen Aufschlussmaschine im Entholzungsschritt ein geringer Anteil an Staub bzw. Schäben abgeschieden werden (Abbildung 6).

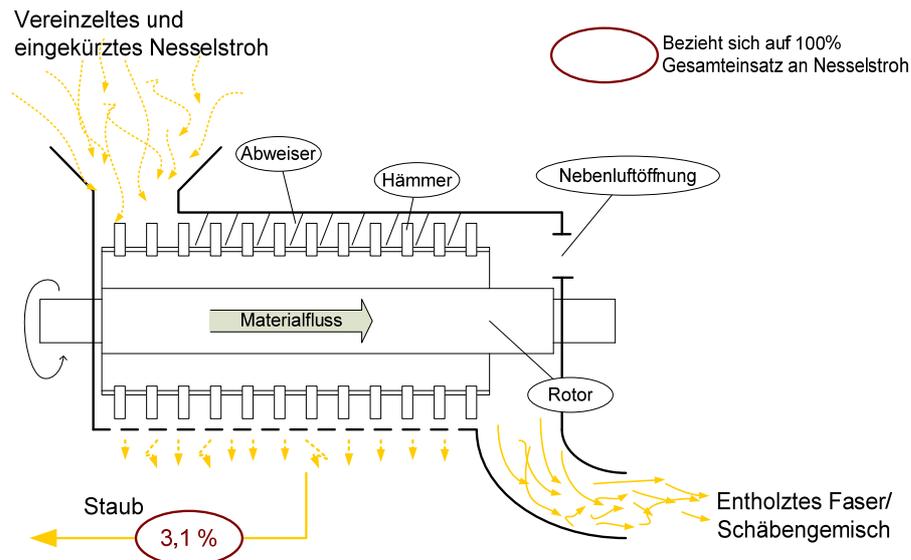


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Entholzung von Nesselstroh in der Aufschlussmaschine im axialen Fluss.

Das entholzte Faser/Schäbengemisch wird anschließend in der Faserreinigung sowie Faseröffnung weiter bearbeitet (Abbildung 7). Prinzipiell besteht die Faserreinigung aus zwei verschiedenen Stufen.

In der ersten Stufe werden in einem sogenannten Tambour durch eine rotierende und mit kurzen Schlagnasen bestückte Walze über einem Sieb bereits viele lose Schäben aus dem Produktstrom abgeschieden. In der zweiten Stufe werden die über den Sieben der Schlagtrommeln des Stufenreinigers geförderten Faserflocken auseinandergezogen. Die somit gelösten Schäben werden durch die Siebböden der Reinigungsstufen abgeschieden. Mit der Abscheidung der Schäben geht aber auch immer ein Faserfehlaustrag einher, was zu einem Schäben-Faser-Gemisch als Nebenprodukt führt. Auch während der sich an die Reinigung anschließenden Prozessstufe Öffnung der noch zunächst groben Faserbündel/-kollektive erfolgt eine weitere Abscheidung von Schäben sowie anhaftender Fasern.

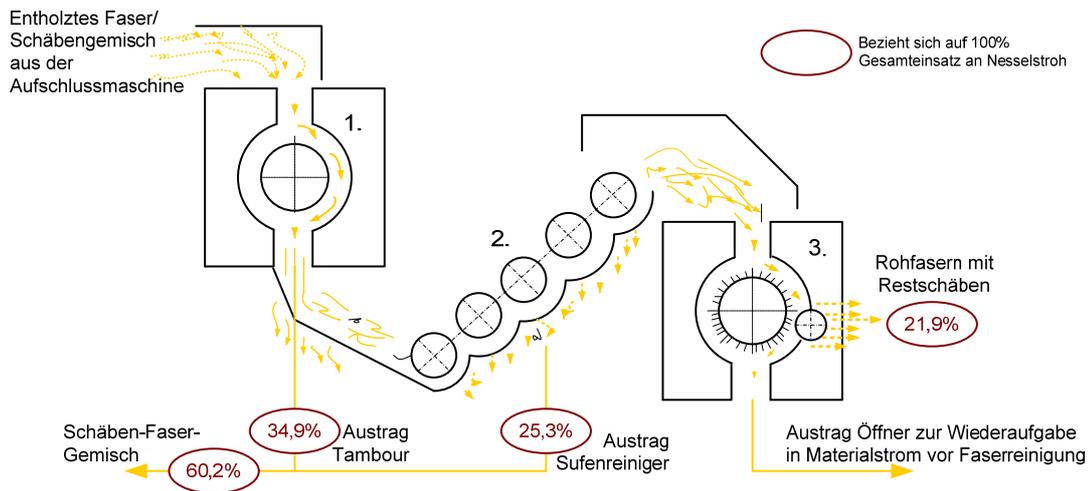


Abbildung 7: Schematische Darstellung der wichtigsten Austragsstellen in der Faserreinigung (1. Tambour, 2. Stufenreiniger) sowie der anschließenden Faseröffnung (3. Horizontalöffner).

Für die ersten Versuche zu den optimalen Betriebsparametern der Verarbeitungsanlage, insbesondere der Entholzung von Nesselstroh sowie des resultierenden Faser-Schäben-Gemisches, konnten u.a. Nesselstrohpartien der NFC aus den Anbaujahren 2013 und 2014 genutzt werden.

Wesentliche Variablen der Untersuchungsmatrix waren dabei die Vorbereitung (Einkürzung) des Faserstrohs und der Massestrom sowie die Drehzahl des Rotors. In den Grundeinstellungen konnte dabei bereits ein für die weitere Wertschöpfung wesentlicher Anteil „Nesselfaser roh“ von bis zu 22 Masse-% erzielt werden. Das mit bis zu 60 Masse-% anfallende Schäben-Faser-Gemisch liegt in einem aus der Bastfaserverarbeitung bekannten Umfang. Dieses fällt in der Faserreinigung am Tambour mit ca. 25 Masse-% und am Stufenreiniger mit ca. 35 Masse-% an. Der Anteil der Absaugung an der Hammermühle, welcher aus mineralischen Bestandteilen, Staub und Kleinstschäben besteht, liegt im Bereich von 3 Masse-%. Alle anderen Austragsstellen werden zusammengefasst als Rest dargestellt, welcher ebenfalls vor allem Staub, Kleinstschäben und Ultrakurzfasern beinhaltet (Abbildung 8).

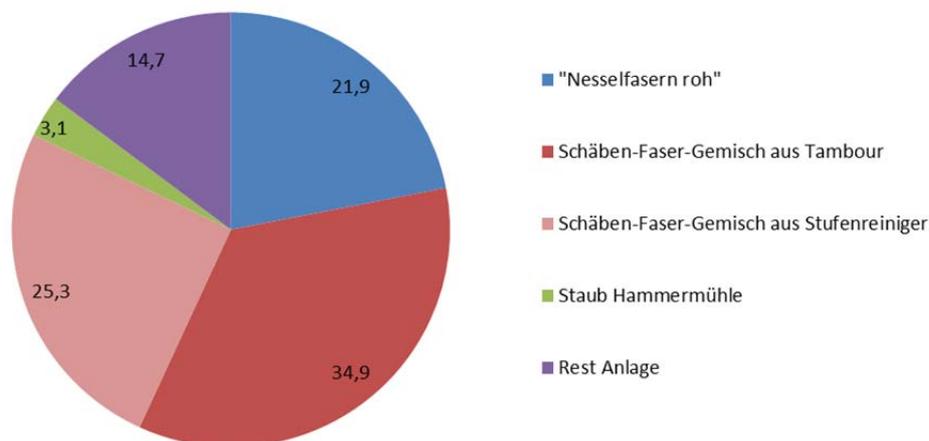


Abbildung 8: Masseanteile der anfallenden Zwischenprodukte für einen Massestrom von 560 kg h<sup>-1</sup> in der Faseraufschlussanlage (Hammermühle 50 Hz, Abweiser 1,9).

Alle nachfolgenden Ergebnisse und Auswertungen der Versuche zu den verwendeten Strohsorten sowie den Maschinenparametern in der Faseraufschlussanlage beziehen sich nur auf den Anteil qualitativ wie quantitativ hochwertiger „Nesselfasern roh“ und deren weiteren Veredlungsstufen. Der mengenmäßige Anteil aller anderen (Neben-) Produktströme wurde nicht gesondert betrachtet und ausgewertet.

Für die Einstellung von speziellen Einbauten in der Entholzungsmaschine sowie des Luftvolumenstromes an den beiden Abscheidestellen wurden zunächst Optima bestimmt, um den Einfluss unterschiedlicher Drehzahlen auf das Entholzungsergebnis ermitteln zu können.

Dabei ist der notwendige Energieeintrag für die gewünschte Ablösung des Bastes vom Stängelkern („Holz“) einzustellen, ohne die späteren Fasereigenschaften negativ zu beeinträchtigen.

### 3.1.2 Faserkennwerte bei Variation Drehzahl Hammermühle

Die Variierung der Drehzahl der Aufschlussmaschine lässt keinen signifikanten Einfluss auf die Kennwerte der Faserfestigkeit der erzeugten „Nesselfaser roh“ erkennen. Die Faserfestigkeit liegt in dem Bereich von  $25 \text{ cN tex}^{-1}$ . Die Kennwerte der ermittelten Faserlängen liegen unabhängig von der eingestellten Drehzahl auf einem vergleichbaren Niveau. Ein zunächst anzunehmender Einkürzungseffekt auf die vom Holz abgelösten Faserbündel durch den erhöhten Energieeintrag beim Entholzen zeigt sich dementsprechend nicht. Mit steigender Drehzahl in der Faseraufschlussmaschine kann eine Zunahme des Feinstfaseranteils aus der Faserlängenanalyse beobachtet werden, was einer Verfeinerung von Faserbündeln bereits im Prozessschritt der Entholzung entspricht (Abbildung 9).

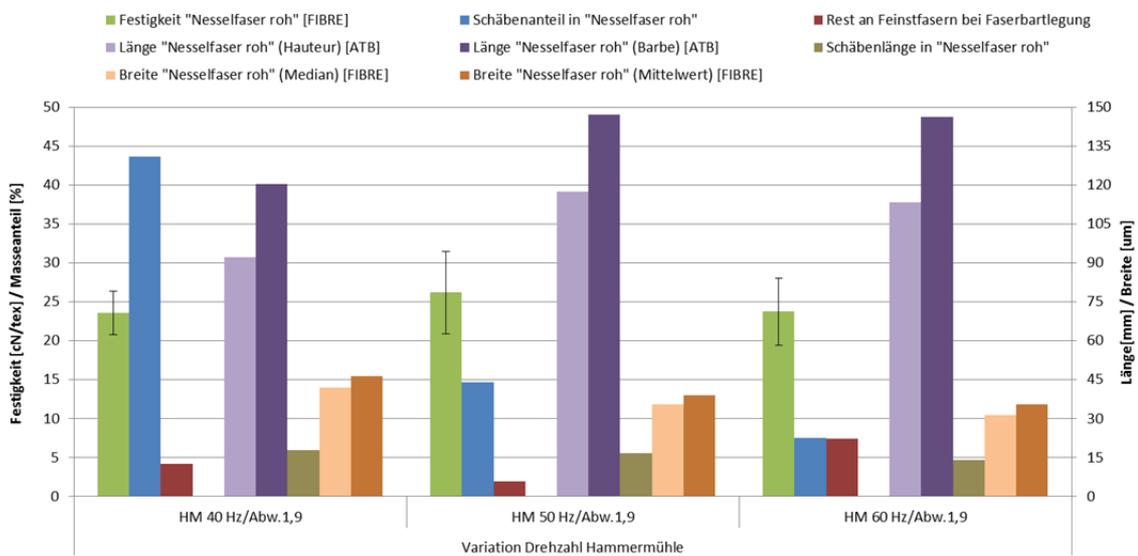


Abbildung 9: Faserkennwerte der „Nesselfaser roh“ bei unterschiedlichen Drehzahlen von der Faseraufschlussmaschine, Nesselstroh Frieling B/Ernte 2013 (HM... Hammermühle, Abw... Stellung der Abweiser in der Hammermühle).

Jedoch nimmt der Schäbenanteil in der „Nesselfaser roh“ mit steigender Drehzahl der Aufschlussmaschine von über 40 Masse-% auf unter 10 Masse-% ab. Die verbesserte Abscheidung der Schäben aus den Fasern in der anschließenden Faserreinigung zeigt, dass ein erhöhter Energieeintrag beim Entholzen zur einer Steigerung des Anteils vollständig vom Bast abgelöster Holzbestandteile führt. Analog lässt sich der Anteil gewinnbarer „Nesselfaser roh“ um bis zu 10 % stei-

gern. Gleiches gilt auch bei Betrachtung der Mengenverhältnisse einschließlich der anschließenden Veredelung über Krempeln („Nesselflocke roh“).

In einem nächsten Aufbereitungsschritt kann die erzeugte „Nesselfaser roh“ mit einer Krempelmaschine weiter verfeinert und noch enthaltene Restschäben ausgekämmt werden. Hier ist abzuschätzen, inwieweit Schädigungen an der Faserstruktur während des Aufschlussprozesses erst nach der weiteren Öffnung und Verfeinerung der Faserbündel zum Vorschein kommen. Weiterhin ist der Einfluss einer weiteren mechanischen Bearbeitungsstufe in der gesamten Faseraufschlusslinie auf die Faserfestigkeit zu ermitteln. Es besteht die Annahme, dass die Faserfestigkeit durch einen weiteren Energieeintrag reduziert wird. Dazu wurden drei verschiedene „Nesselfasern roh“ in Abhängigkeit von der Drehzahl der Hammermühle produziert und unter gleichbleibenden Bedingungen in dem nächsten Verfahrensschritt als Vorversuch zu einem möglichen Folgeprojekt, dem Krempeln zur „Nesselflocke roh“ verfeinert. Als Vergleichswert zu einem Faserschädigungseffekt durch eine weitere Bearbeitungsstufe dient die „Nesselfaser roh“ bei 50 Hz (Abbildung 10).

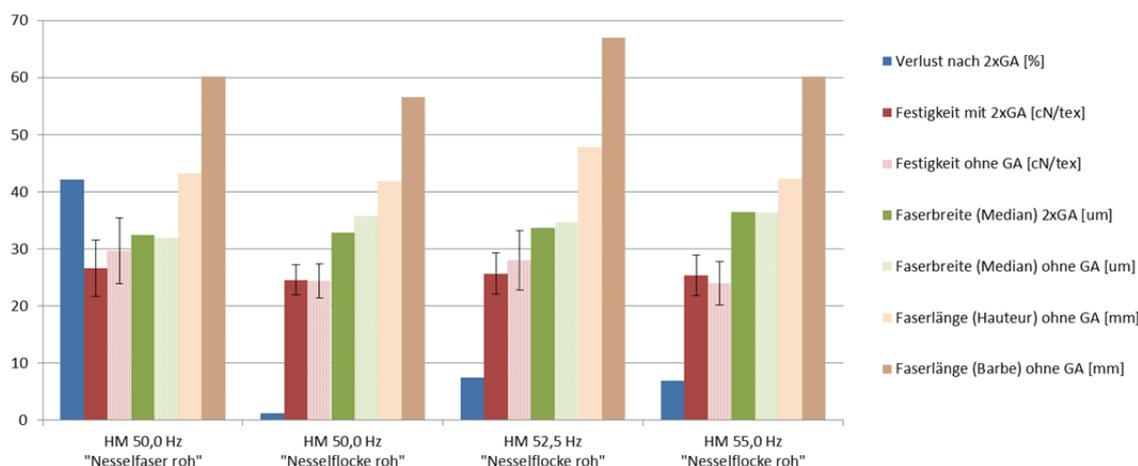


Abbildung 10: Faserkennwerte [FIBRE] der „Nesselflocke roh“ bei unterschiedlichen Drehzahlen der Faseraufschlussmaschine, Nesselstroh Frieling B/Ernte 2013 (GA... Grobaufflöser, HM... Hammermühle).

### 3.1.3 Faserkennwerte bei Variation Schnitthäufigkeit und Massestrom

Der Einfluss der Schnitthäufigkeit am Faserstrohbällen im Prozessschritt der Strohvorbereitung sowie der Massestrom in die Aufschlussmaschine sollten in Bezug auf den Restschäbengehalt und die Faserlänge der „Nesselfaser roh“ untersucht werden. Es werden pro umgelegtes Ballenpaket mittels einer Guillotine 3 verschiedene Schnitthäufigkeiten untersucht (Abbildung 11). Die Länge so eines Ballenpaketes beträgt im Schnitt 120 cm.

Damit ergeben sich für einmal Schneiden zwei Abschnitte mit je 60 cm, für zweimal Schneiden drei Abschnitte je 40 cm und für dreimal Schneiden 4 Abschnitte je 30 cm.

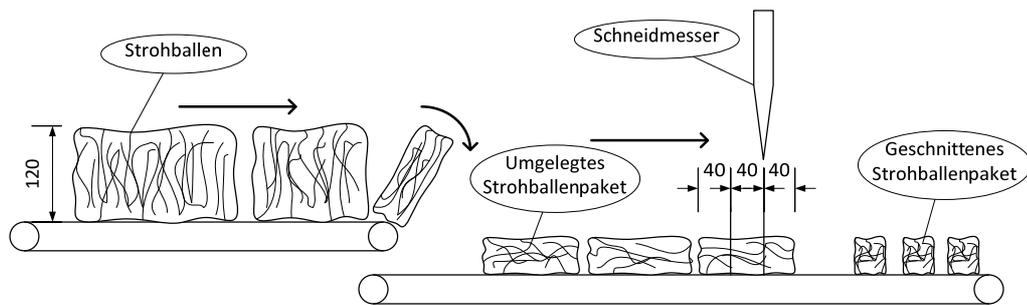


Abbildung 11: zweimaliger Schneidvorgang für ein umgelegtes Ballenpaket im Prozessabschnitt Strohvorbereitung.

Es stellte sich heraus, dass mit einer Erhöhung der Schnitthäufigkeit der Restschäbengehalt in den „Nesselfasern roh“ leicht reduziert werden kann (Abbildung 12). Dies liegt aufgrund der kürzeren Stängелеlemente an einer besseren Ausfüllung des Arbeitsraums der Hammermühle und damit an einer effizienteren Entholzung des Nesselstrohs. Eine Reduzierung der Faserlänge der resultierenden „Nesselfaser roh“ konnte nicht festgestellt werden. Auch die Länge der in der „Nesselfaser roh“ verbliebenen Schäben bleibt aufgrund eines gleichbleibenden Energieeintrages unverändert.

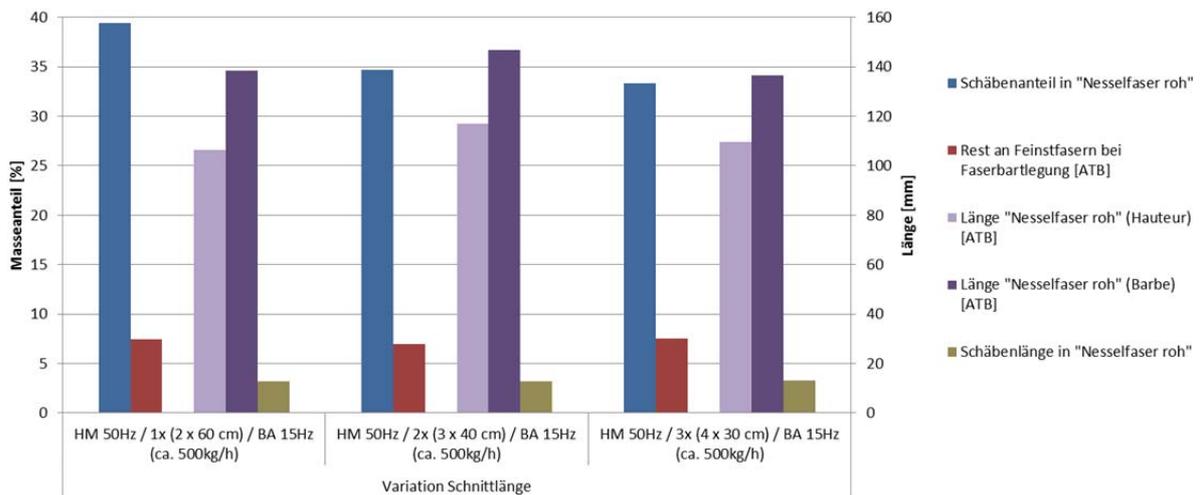


Abbildung 12: Faserkennwerte „Nesselfaser roh“ für unterschiedliche Schnittlängen vom Stroh bei konstantem Massestrom (HM... Hammermühle, BA... Ballenauflöser).

Für einen zweimaligen Schnitt pro umgelegtes Ballenpaket (entspricht einer Schnittlänge von ca. 40 cm) sollte weiterhin der Einfluss des Massestroms in die Aufbereitungslinie untersucht werden. Der Massestrom wird mittels eines sogenannten Ballenauflösers im Prozessschritt der Strohvorbereitung gesteuert (Abbildung 13). Anhand einer frequenzgesteuerten Drehzahlanpassung der oberen Dosier-/Auflösewalze lässt sich der Massestrom variieren.

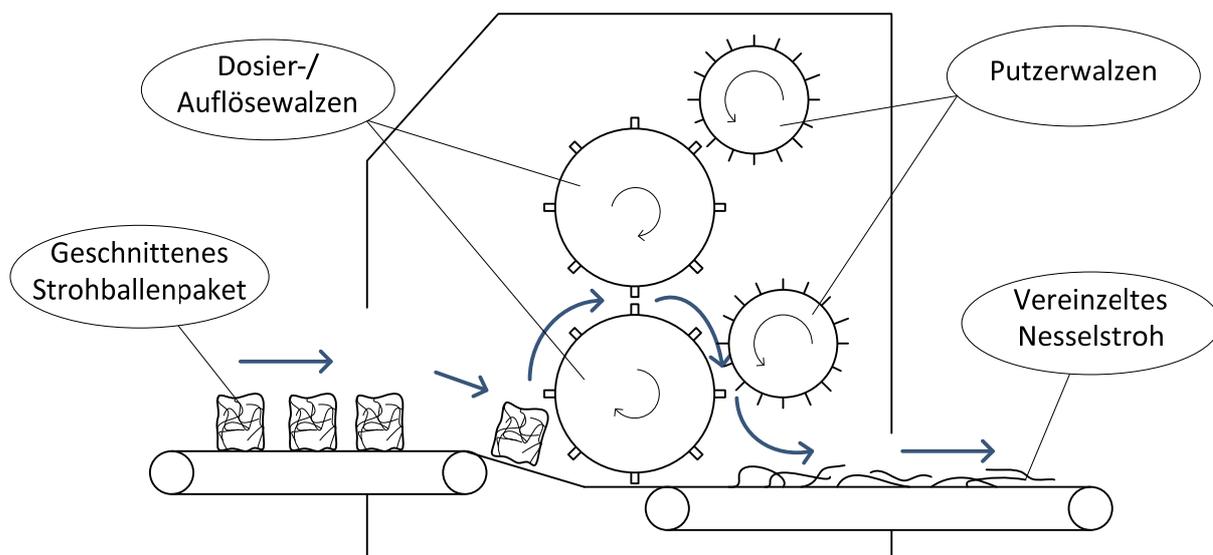


Abbildung 13: Schematische Darstellung des Auflöse- und Dosiervorgangs von Nesselstroh in der Verarbeitungsanlage.

Für die Versuche wurden exemplarisch drei verschiedene Frequenzen von 15, 25 und 35 Hz ausgewählt, die einem Massestrom von ca. 500, 600 und 1000 kg h<sup>-1</sup> entsprachen (Abbildung 12). Obwohl mit einem steigenden Massestrom die zu bearbeitende Materialmenge pro Zeiteinheit zunimmt, zeigte sich eine bessere Entholzung bzw. Reinigung des Nesselstrohs in der Aufschlussanlage. Dies kann eine längere Verweilzeit des Strohs in der Aufschlussmaschine bewirken, die durch eine Abnahme der Saugleistung des pneumatischen Abtransports des entholzten Strohs aus der Aufschlussmaschine hervorgerufen wird. Ein eindeutiger Einfluss auf die Faserlänge in Abhängigkeit vom Massestrom kann nicht erkannt werden. Der prozentuale Masseanteil an Feinstfasern aus der Faserbartlegung nimmt jedoch mit steigendem Massestrom ab.

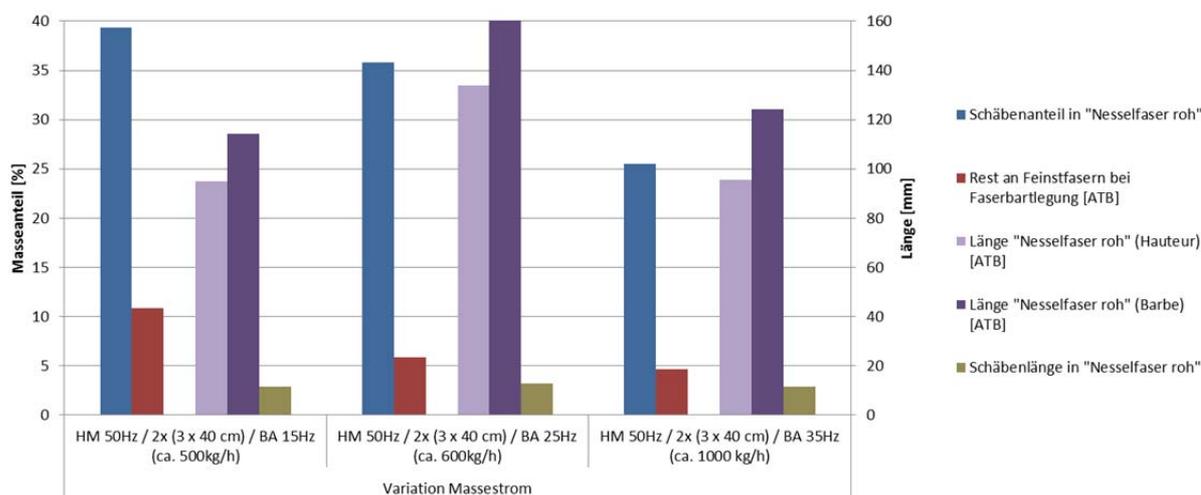


Abbildung 14: Faserkennwerte „Nesselfaser roh“ für unterschiedliche Masseströme bei konstanter Strohmittellänge.

Die Ergebnisse der Versuche zum Schneiden der Strohballenpakete sind bisher nur sehr bedingt aussagekräftig. Es wurde festgestellt, dass eine gleichmäßige Zuführung von Nesselstroh in die Hammermühle entscheidend ist. Eine entsprechende verbesserte Technik - die bereitzustellen ist - sollte im nächsten Projektteil zeigen, ob man überhaupt auf das Schneiden verzichten kann. Dies ist aufgrund der vorhandenen technischen Ausstattung bisher nicht möglich.

Weitergehende Effekte für den Massestrom sind möglich, müssen aber ebenfalls gezielt untersucht und optimiert werden.

### **3.1.4 Vergleich der erzielten Faserausbeute in der Aufschlussanlage mit der laborbestimmten prozentualen Fasermenge von Nesselstroh**

Signifikante Unterschiede in der Faserfestigkeit der resultierenden Zwischenprodukte („Nesselfaser roh“, „Nesselflocke roh“) bei verschiedenen Aufschlussbedingungen konnten bisher nicht festgestellt werden. Daher lässt sich aus den bisherigen Versuchsergebnissen schlussfolgern, dass die Faseraufschluss- bzw. Aufbereitungslinie weitestgehend unabhängig von den Parametern der zur gegenwärtigen Zeit zum Faseraufschluss genutzten maschinentechnischen Lösung wäre. Dies ist allerdings im vorgesehenen zweiten Teilvorhaben unter Einbeziehung der daran anschließenden Bearbeitungsschritten zur weiteren Veredlung der Fasern (Krempeln, Degummieren und Kardieren) zu verifizieren. Damit wäre der Prozess der Fasergewinnung aus Nesselstroh auf eine optimale Faserausbeute mit einem zu erreichenden Faserlängenbereich ausgerichtet und die Wirtschaftlichkeit des Aufschlussprozesses weiter verbessert werden.

Für eine Beurteilung der Faserausbeute im Produktionsprozess war zu klären, welcher Faseranteil überhaupt in dem geernteten Nesselstroh vorhanden ist. Dabei wird von einem mechanisch freilegbaren Bastanteil ausgegangen, der nach anschließender Bearbeitung mit einem Labor-Grobauflöser als Faseranteil bezeichnet wird. Nur im Vergleich zu diesem Wert kann ein mögliches Potential zur Ausbeuteverbesserung aufgezeigt werden. Für die Bestimmung des Fasergehalts vom Nesselstroh wurden die am ATB vorhandenen Laborgeräte, ein Brecher und ein Grobauflöser genutzt. Die Probenahme der Nesselstängel erfolgte direkt aus einem Strohballen, der auch für die industriellen Versuchsversuche in Groß Helle genutzt wurde. Die ursprünglichen Faserstängel liegen zwar geknickt, aber immer noch als ganzer Stängel vor (Abbildung 15).



*Abbildung 15: Aus Nesselstrohballen genommene Faserstängelprobe (Frieling B, Ernte 2013).*

Bei der Versuchsauswertung ist jedoch zu beachten, dass durch das Knicken der Stängel im Strohballen ist bereits ein kleiner Anteil an Schäben beim Pressen des Nesselstrohs auf dem Feld verloren gegangen. Ein direkter Vergleich zu einer Massebestimmung des Faseranteils von einem Stängel, welcher direkt aus dem stehenden Bestand genommen wurde, kann zwar nicht durchgeführt werden, hätte allerdings auch nur einen zu vernachlässigenden Praxisbezug. Entscheidend ist aber der noch vorhandene Fasergehalt im eingesetzten Stroh.

Abbildung 16 zeigt den Faseranteil zwei unterschiedlicher Nesselklone (B/Z10) an zwei unterschiedlichen Anbaustandorten (Landwirtschaftsbetrieb von Frieling in der Lüneburger Heide bzw. Tölke in der Hildesheimer Börde) jeweils für verschiedene Erntejahre. Deutlich zu erkennen ist der höhere Fasergehalt des züchterisch weiterentwickelten Klons Z10. Innerhalb der jeweiligen Strohsorte kann über die Erntejahre von einem gleichbleibenden Faseranteil gesprochen werden. Betrachtet man zusätzlich das Verhältnis der Kennwerte „Bast nach Brecher“ mit „Fasern nach

Grobauflöser“, so lässt sich der Reinheitsgrad, d.h. Schäbenfreiheit der Fasern, nach einer mechanischen Entholzung beurteilen. Hier zeigt sich besonders für das Stroh aus dem Jahr 2013 ein guter Entholzungseffekt, d.h. geringer Restschäbengehalt nach dem Brecher.

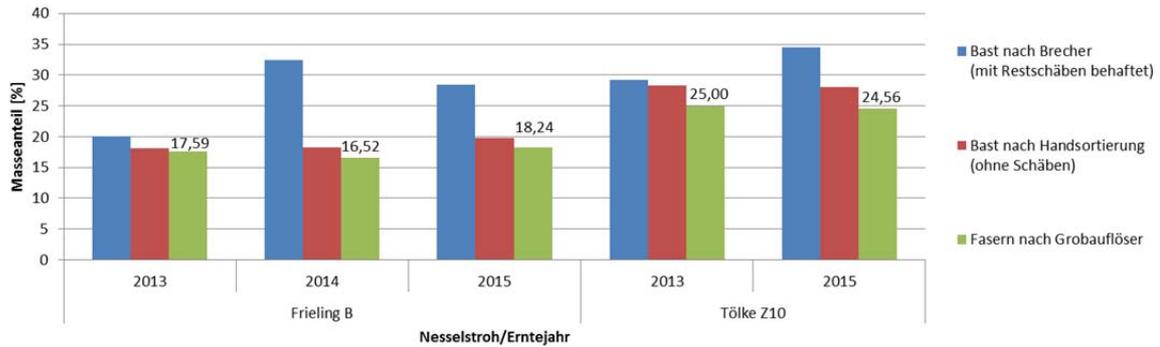


Abbildung 16: Mit Laborbrecher und Grobauflöser bestimmter Faseranteil von Nesselstroh.

Mit den zur Bestimmung des Fasergehalts aufbereiteten „Fasern nach Grobauflöser“ erfolgte zusätzlich die bereits beschriebene Faserlängenanalyse am ATB (Abbildung 17). Bedingt durch das Analyseverfahren wird wieder der prozentuale Masseanteil der anfallenden, aber nicht vermessenen Feinstfasern mit angegeben.

Der anzahlgewichtete Faserlängenwert (Hauteur) liegt im Bereich von 90 – 140 mm, wobei für die Strohvariante Tölke Z10 im Erntejahr 2013 die längsten und im Erntejahr 2015 die kürzesten Werte ermittelt wurden.

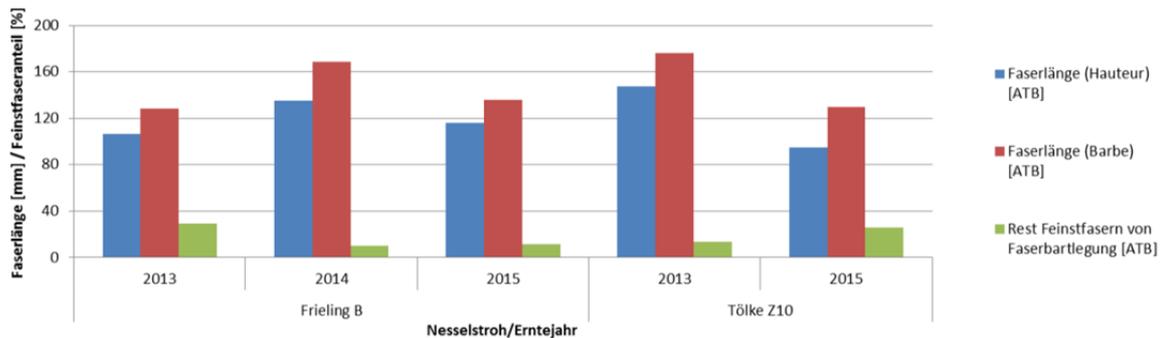


Abbildung 17: Faserlängenanalyse der im Labor mit Brecher und Grobauflöser aufbereiteten Fasern.

Ein Vergleich des unter Laborbedingungen bestimmten Fasergehaltes mit den aus der Industrieanlage gewonnenen Werten zum Faseranteil zeigt die prozentualen Faserabgänge bis zum Bearbeitungsschritt der sogenannten „Nesselfaser roh“ sowie beim anschließenden Krempeln zur „Nesselflocke roh“ (Abbildung 18). Der Schäbengehalt der „Nesselfaser roh“ wurde durch händisches Aussortieren bestimmt.

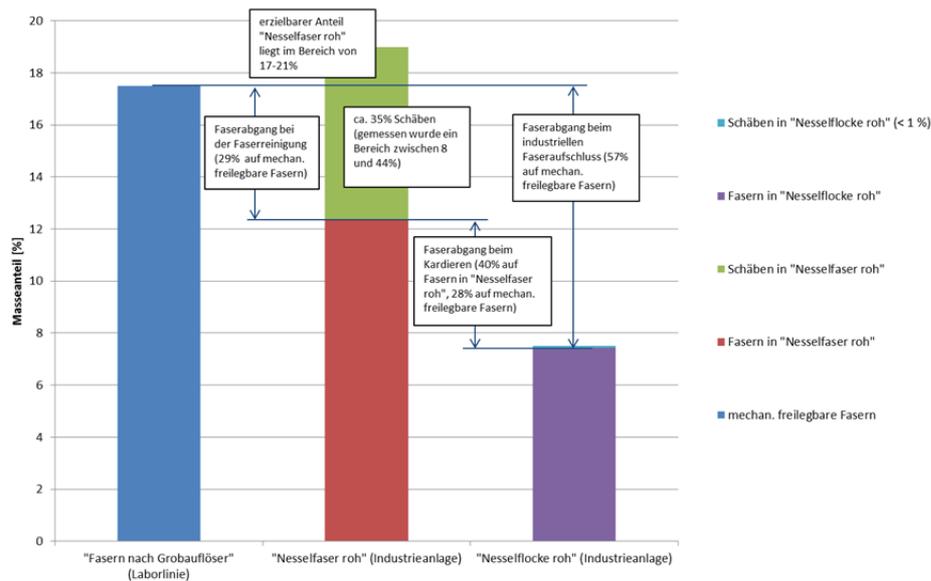


Abbildung 18: Aufteilung der Faserabgänge bei der industriellen Fasergewinnung von Nesselstroh (Frieling B/Ernte 2013) im Vergleich zum mechanisch freilegbaren Faseranteil von Nesselstängel (Probenahme aus einem gepressten Strohballen).

Zur Steigerung der realen Faserausbeute im industriellen Maßstab kann noch ein großes Optimierungspotential identifiziert werden. Ziel sollte es sein, möglichst viele Schäben bereits in den ersten Bearbeitungsstufen abzuscheiden, da ein weiteres Mitführen von Schäben Prinzip bedingt bei einem späteren Ausreinigen durch Mitreißen von Fasern zu einem erhöhten Faserabgang führt. Bereits im Verfahrensschritt des Entholzens ist eine möglichst vollständige Ablösung der Fasern vom verholzten Kern der Pflanze essentiell. Die nachgelagerte Reinigung der Fasern kann nur bedingt noch unvollständig vom Holz gelöste Fasern nachentholzen und resultiert beim Ausreinigen der Schäben und der daran noch anhaftenden Fasern ebenfalls in (vermeidbaren) Faserabgängen.

Ursprünglich ging ein zu großer Anteil an Fasern auch aufgrund ihrer Länge durch die in den Maschinen vorhandene Siebmaschenweite insbesondere von Tambour und Stufenreiniger verloren bzw. konnte an Klemmpunkten im Horizontalöffner zur Übernahme an die Reinigungswalze nicht gehalten werden. Diese Fasern sind aber für die angestrebte Weiterverarbeitung noch ausreichend lang und liegen in ein für cottonisierte Fasern typischen Längenspektrum. Durch die gemeinsame Bearbeitung dieser Fragestellung konnte die Anlagenkonfiguration so überarbeitet werden, dass der Verlustanteil mittlerweile deutlich reduziert ist.

### 3.1.5 Faserausbeute bei Variation Drehzahl Hammermühle

Für eine Steigerung der Ausbeute an schäbenfreien langen Nesselfasern sollte der Einfluss der Drehzahl der Aufschlussmaschine auf die nachgelagerte Faserreinigung untersucht werden (Abbildung 19). Dazu wurde die „Nesselfaser roh“ in Vorversuchen gekrempelt. Allerdings wird grundsätzlich deutlich, dass dieser Prozess nur zur Ermittlung erster Richtwerte genutzt werden kann. Es sollte aber in weiterführenden Untersuchungen systematisch geklärt werden, wie die Verfahrensschritte der weitergehenden Veredlung – Krempeln, Degummieren und Kardieren – optimiert werden können.

Bisher hat sich gezeigt, dass eine Drehzahlerhöhung der Aufschlussmaschine in einem steigenden Masseanteil der zu gewinnenden Fasern „Nesselfaser roh“ resultiert. Aus den bereits vorliegenden Ergebnissen bestand die Annahme, dass der Schäbenanteil mit zunehmender Drehzahl der Aufschlussmaschine reduziert werden kann.

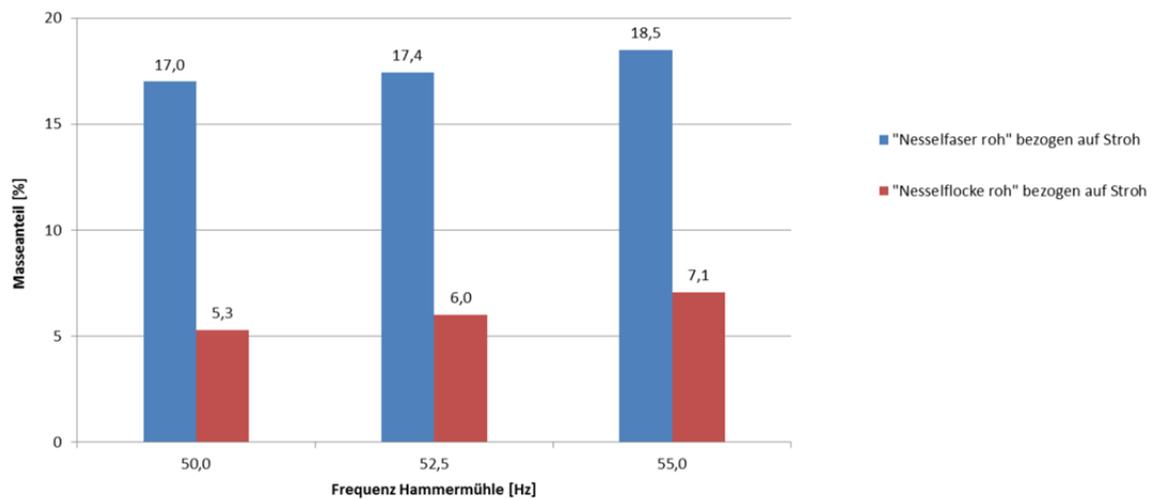


Abbildung 19: erzielbare Faserausbeuten von „Nesselfaser roh“ und „Nesselflocke roh“ bei unterschiedlichen Drehzahlen der Hammermühle (Nesselstroh Frieling B/Ernte 2013, Abweiser 1,9, Massestrom ca.  $500 \text{ kg h}^{-1}$ , 2xSchneiden).

In Relation dazu wird also der beabsichtigte Anteil der „Nesselfaser roh“ erhöht. Der Schäbenanteil selbst ist nicht separat dargestellt (Abbildung 19).

Nach dem nächsten Bearbeitungsschritt, dem Krempeln, steigt der Masseanteil der „Nesselflocke roh“ ebenso an. Bezieht man nun den Masseanteil der gewonnen Fasern „Nesselflocke roh“ auf die zuvor erzielte „Nesselfaser roh“, zeigt sich deutlich eine zunehmende Faserausbeute.

### 3.1.6 Erfassung und Bewertung von Klimadaten während Lagerung und Strohverarbeitung

Zur Überprüfung des Einflusses der Klimabedingungen auf die Nesselstrohverarbeitung und das entsprechende Entholzungsergebnis wurden Messensoren zur Erfassung der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit in der Verarbeitungshalle installiert. Damit konnte kontinuierlich über einen Zeitraum von einem Jahr jeweils zu sechs verschiedenen Zeiten (01:00, 05:00, 09:00, 13:00, 17:00, 21:00 Uhr) am Tag die Klimadaten aufgenommen werden. Eine gute Nesselstrohverarbeitung zeigt sich in einem flüssigen Materialstrom durch die Maschinen und einer geringen Unterbrechungszeit durch Verstopfungen. Das optimale Entholzungsergebnis spiegelt sich besonders in einem hohen Faserertrag mit geringem Restschäbengehalt sowie einer strohabhängigen Faserqualität mit einer hohen Faserfestigkeit wieder.

In der Abbildung 20 sind die Tagesmittelwerte für Temperatur und Feuchtigkeit vom 10.12.2015 bis zum 21.11 2016 gezeigt.

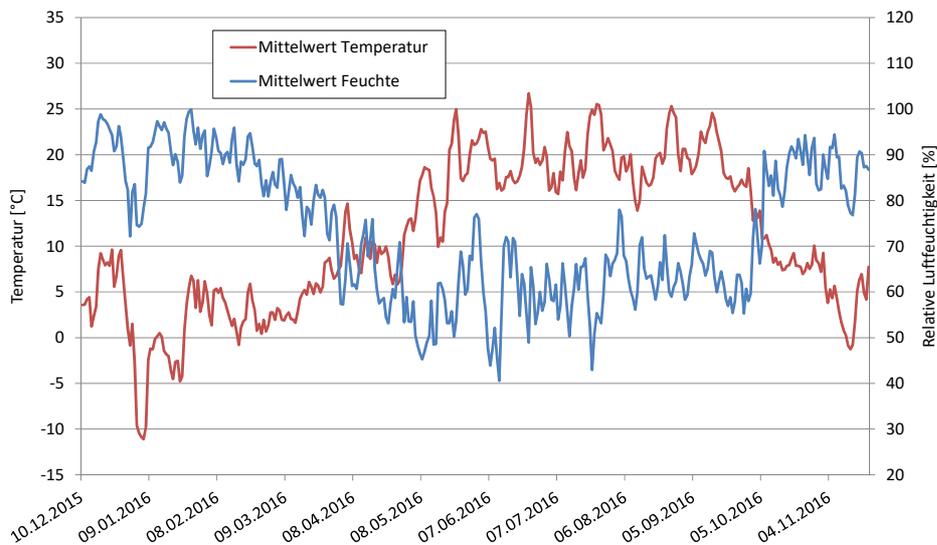


Abbildung 20: Mittelwerte des aufgenommenen Temperatur- und Feuchteverlaufs in der Verarbeitungshalle vom 10.12.2015 bis zum 21.11.2016.

Durchgeführte Vorversuche zeigten, dass die Temperaturen für eine erfolgreiche Nesselstrohverarbeitung mindestens 10°C betragen sollten. Unter 10°C reduziert sich die Faserausbeute aus dem Nesselstroh enorm.

Die Betrachtung der aufgenommenen Temperaturverläufe zu einzelnen Zeitpunkten eines Tag zeigt eine minimale Tagestemperatur zwischen 01:00 und 05:00 Uhr und eine maximale Tagestemperatur zwischen 13:00 und 21:00 Uhr (Abbildung 21).

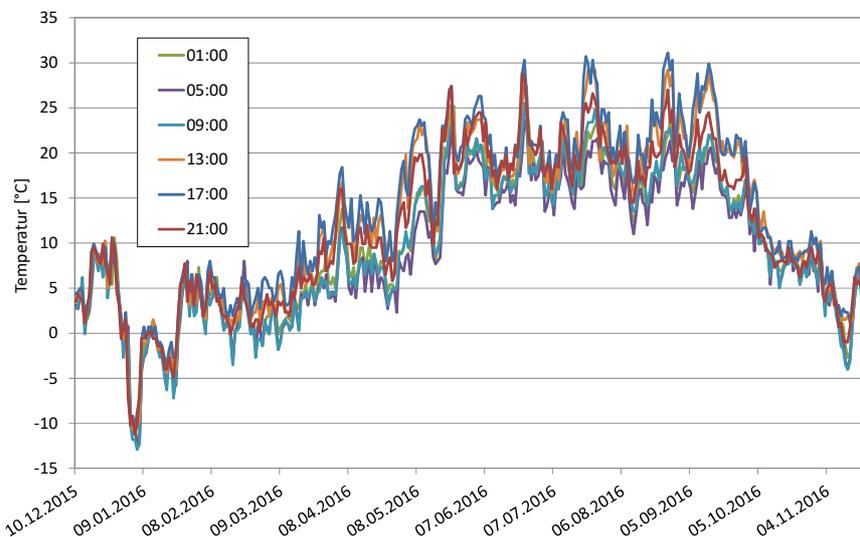


Abbildung 21: Einzelwerte des aufgenommenen Temperaturverlaufs in der Verarbeitungshalle vom 10.12.2015 bis zum 21.11.2016.

Dieser leicht verschobene Effekt zu den Außentemperaturen ist besonders bei der Verarbeitung von Nesselstroh zu beachten. Grundsätzlich beginnt die Verarbeitungsschicht früh morgens, wo die Temperaturen noch nicht das gewünschte Temperaturniveau erreicht haben. Dies kann zu Schwierigkeiten bei der Verarbeitung von Nesselstroh in der Übergangsphase von Sommer zu Winter bzw. Winter zu Sommer führen.

Auch die relative Luftfeuchtigkeit in der Verarbeitungshalle zeigt stark tageszeitabhängige Werte (Abbildung 22). Deren Einfluss auf die Ausgleichsfeuchte des Nesselstrohs kann noch nicht beurteilt werden. Hier fehlt noch eine hinreichend genaue sowie praktikable Messmöglichkeit zur Ermittlung verlässlicher Werte der Strohfeuchte.

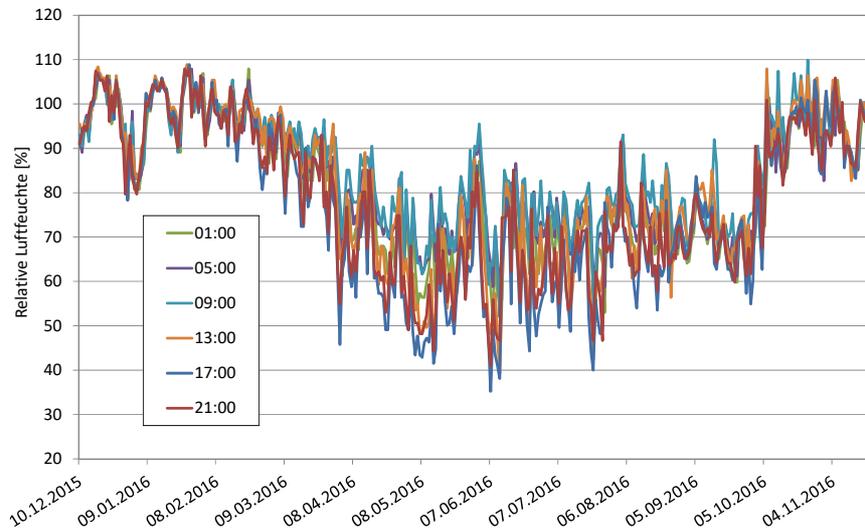


Abbildung 22: Einzelwerte des aufgenommenen Luftfeuchteverlaufs in der Verarbeitungshalle vom 10.12.2015 bis zum 21.11.2016.

Die Darstellung der Spannbreiten mit minimalen sowie maximalen Tageswerten für Temperatur und Luftfeuchtigkeit zeigen eine große Variabilität über den Tagesverlauf (Abbildung 23). Besonders ausgeprägt ist dies in den Sommermonaten. Weiterführende Arbeiten müssen zeigen, inwiefern bestimmte Temperatur- bzw. insbesondere Feuchtebereiche bei der Verarbeitung eingehalten werden müssen. Gleichmaßen sind hier noch die Zusammenhänge zu den materialspezifischen Kennwerten von Stroh und Fasern zu ermitteln und zu bewerten.

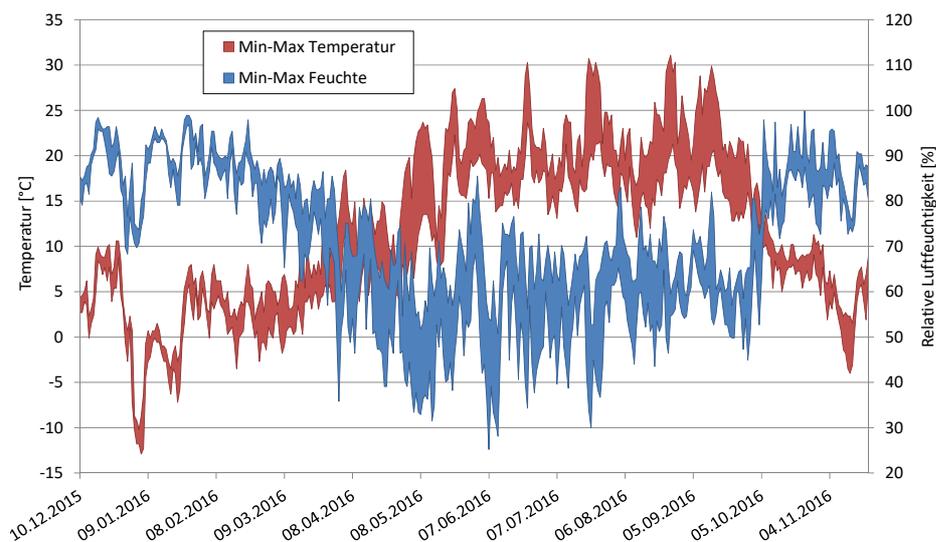


Abbildung 23: Tagesspannbreiten des aufgenommenen Temperatur- und Feuchteverlaufs in der Verarbeitungshalle vom 10.12.2015 bis zum 21.11.2016.

### 3.1.7 Betrachtung der Faserfestigkeit und der Faserausbeute in Abhängigkeit der Lagerdauer des Nesselstrohs

Die erste Ernte aus den Anbauversuchen im Projektumfang konnte im Herbst 2015 sowie im Verlauf des Jahres 2016 verarbeitet werden. Hier war das Ziel, neben optimalen Betriebsparametern der Anlage den Einfluss der Lagerdauer des Strohs auf die Verarbeitbarkeit sowie resultierende Fasereigenschaften zu evaluieren. Zusätzlich wurden parallel, auch bei weiterführenden Versuchen, Klimadaten bei der Lagerung und Verarbeitung des Nesselstrohs aufgenommen.

Für eine Betrachtung der Lagerstabilität des Nesselstrohs in Abhängigkeit der Lagerungsdauer zwischen Ernte und Verarbeitung wurde Pflanzenmaterial des Klons B (Anbau beim Landwirt von Frieling, Soltau) ausgewählt. Dafür sollen die Verarbeitungsdaten des Nesselstrohs direkt nach der Ernte und dann jeweils nach einer definierten Lagerungszeit untersucht werden.

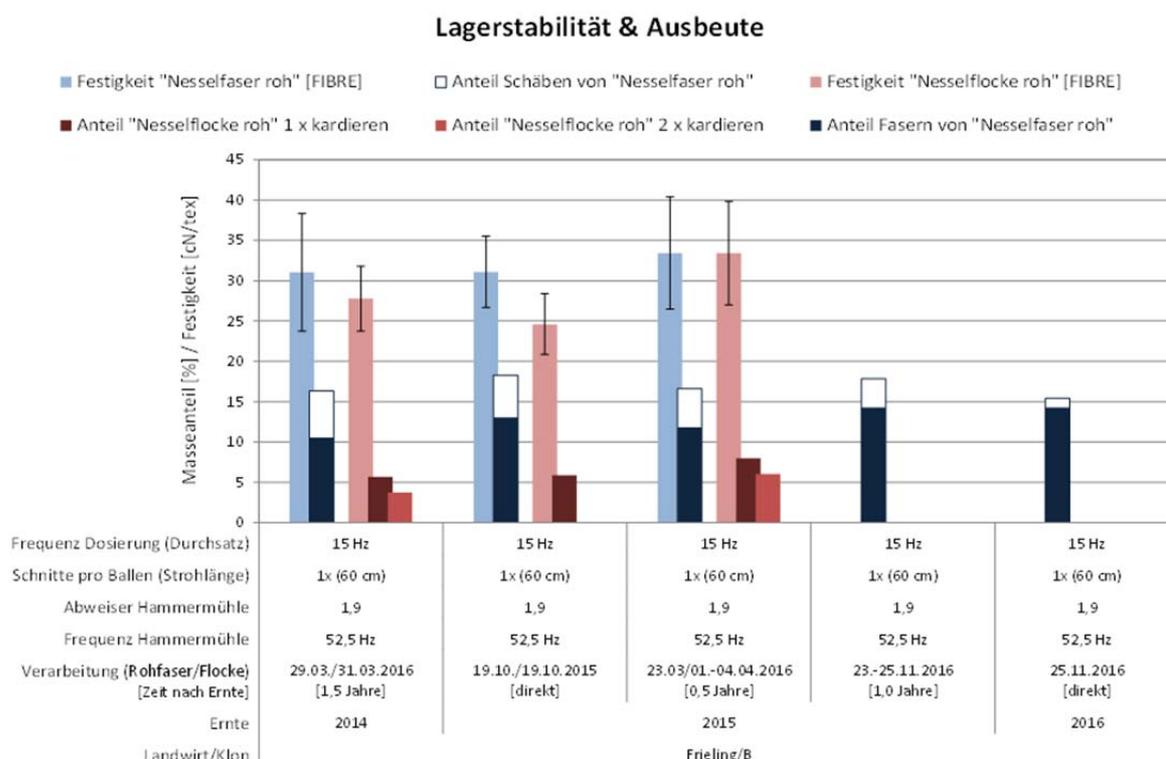


Abbildung 24: Masseanteile und ausgewählte Eigenschaften von Fasern aus Nesselstroh verschiedener Erntejahre in Abhängigkeit der Lagerdauer, Verarbeitung Praxisanlage.

Für die Proben des Erntejahres 2015 mit einjähriger Lagerung und für das Erntejahr 2016 direkt nach der Ernte aufgeschlossen zeigen, dass eine einjährige Lagerung des Nesselstrohs „Klon B“ zu einer Verbesserung führen kann (Abbildung 24). Der Anteil „Nesselfaser roh“ steigt, während sich der Schäbenanteil nach der Entholzung deutlich reduzieren lässt.

Im Rahmen der Untersuchungen konnte aber auch gezeigt werden, dass die Aufbereitungstechnologie deutliche Potentiale zur Optimierung bietet. So ließ sich bei Vergleich des gleichen Nesselklons – allerdings aus unterschiedlichen Anbaujahren – der Anteil freiliegender Fasern (also komplett entholt) um mehr als 50 % steigern. Weiterführende Versuche mit dem Stroh des Erntejahres 2016 nach längerer Lagerung konnten aufgrund der Finanzierungslücke in diesem TV nicht im erforderlichen Umfang durchgeführt werden.

### 3.1.8 Strohaufbereitung der neuen, faserreichen Nesselklone

Insbesondere mit den Erntepartien aus dem Anbau des Jahres 2017 konnten die Aufbereitungsversuche sowie die parallel laufenden Laboruntersuchungen wieder aufgenommen und intensiviert werden. Dabei stand erstmalig Nesselstroh der leistungsstärkeren L-Klone im Mittelpunkt, die auf der Grundlage der bisherigen Erkenntnisse mit konstanten Betriebsparametern der Aufschlussanlage in Groß Helle verarbeitet wurden.

Die Ergebnisse machen zunächst das vom ursprünglichen B-Klon über die Z-Varianten zu den neuen L-Züchtungen deutlich verbesserte Potential eines höheren Fasergehaltes deutlich (Abbildung 25).

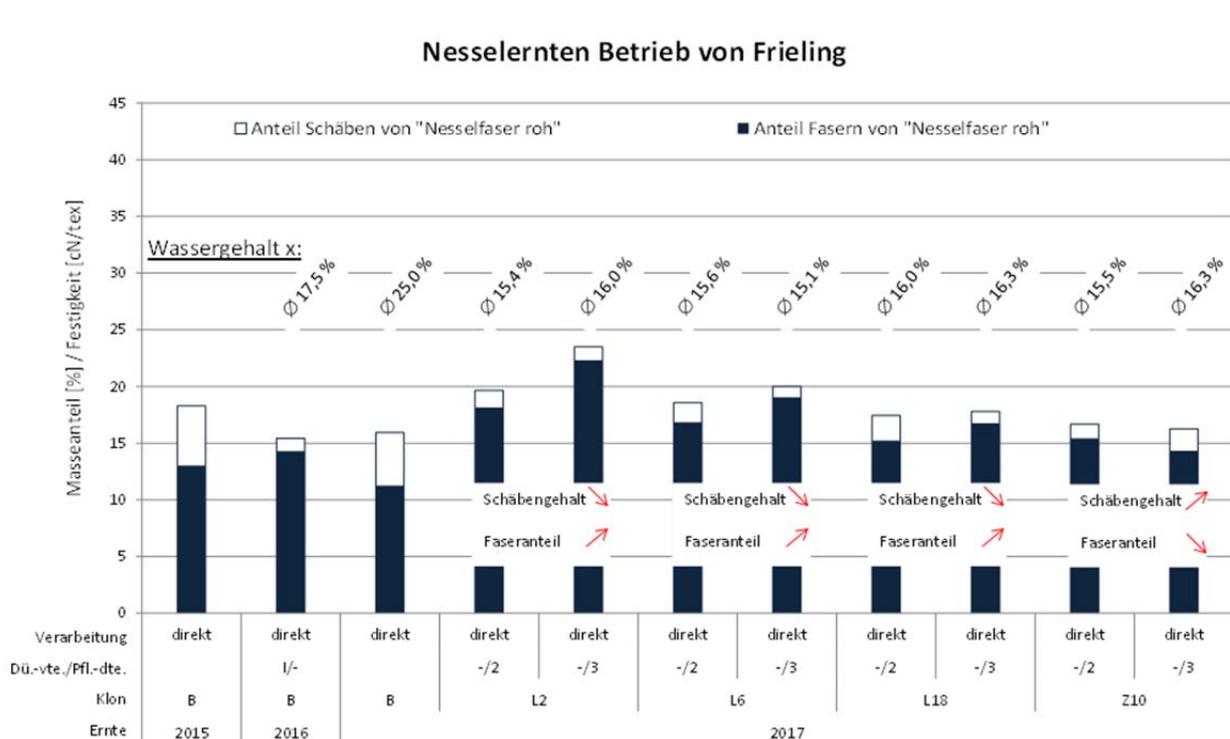


Abbildung 25: Masseanteile von Fasern aus Nesselstroh verschiedener Erntejahre in Abhängigkeit von Anbaujahr, Klon, Strohfeuchte und Lagerdauer, Verarbeitung Praxisanlage.

Die auch Ergebnisse der Vorjahre berücksichtigende Darstellung zeigt darüber hinaus, dass eine erhöhte Feuchtigkeit des verarbeiteten Nesselstrohs einen deutlich negativen Einfluss auf das Entholzungsergebnis hat (Klon B).

Anhand der Kennwerte für die neuen L-Klone wird deutlich, dass sich eine höhere Pflanzdichte tendenziell positiv auf den erzielbaren Faseranteil auswirkt, auch der Restschäbengehalt in der Fraktion „Nesselstroh roh“ ist in diesem Fall niedriger. Allerdings wies die visuelle Einschätzung der angelieferten Strohpartien im Fall der niedrigeren Pflanzdichte auch auf einen erhöhten Anteil an Begleitpflanzen hin. Die Auswirkungen lassen sich aus diesem nur einmaligen Versuch nicht näher verifizieren, zumal die Ergebnisse zum Z-Klon eine entgegengesetzte Tendenz erkennen lassen. Weitere Untersuchungen zu den neuen L-Klonen, sowohl den Lagerzeitversuch als auch die Wiederholung aus mindestens einer weiteren Ernte, sind dringend erforderlich.

Mittels der wiederum parallel durchgeführten Entholzungen mit einem Laborbrecher sollte der Versuch unternommen werden, die Ergebnisse der Praxisversuche unter idealisierten Bedingungen zu validieren. Im konkreten Fall war es so auch möglich, Nesselstängel ohne Fremdbesatz aus den Ballen zu verarbeiten (Abbildung 26).

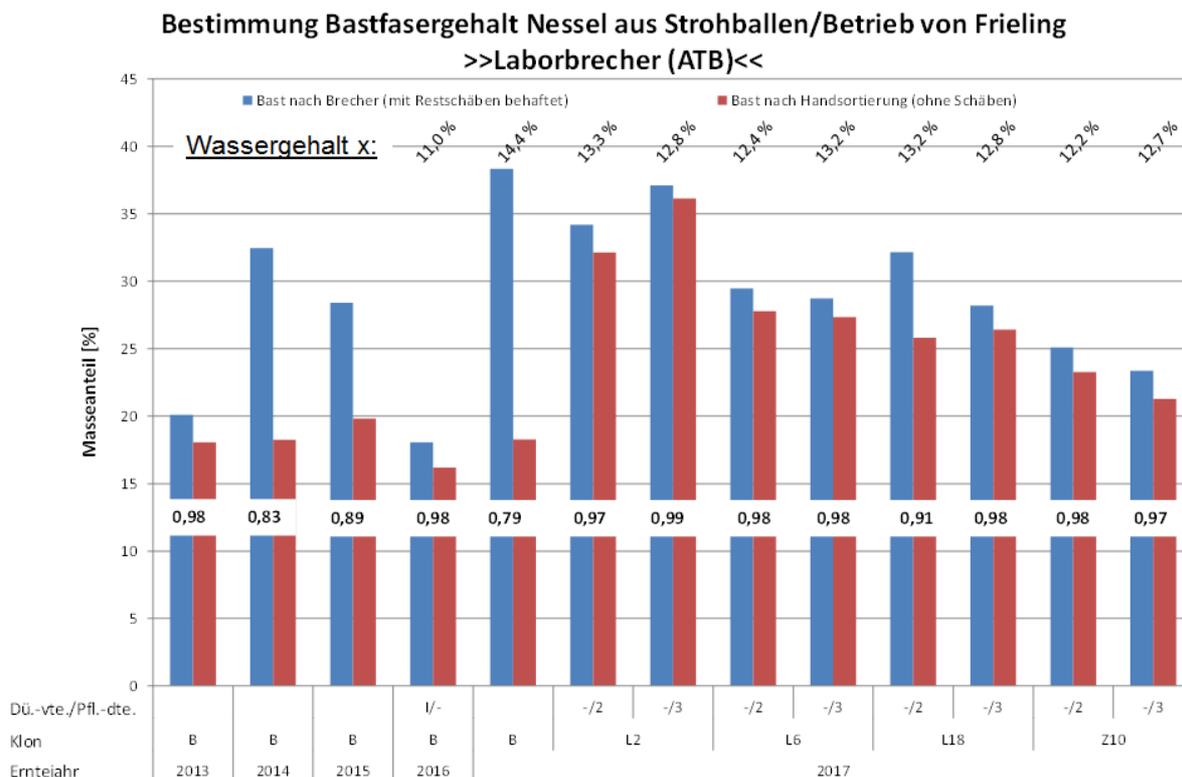


Abbildung 26: Masseanteile von Fasern aus Nesselstängeln verschiedener Erntejahre in Abhängigkeit von Klon und Lagerdauer nach Laborentholzung.

Trotz der durch entsprechende Probenvorbereitung nahezu vereinheitlichten Materialfeuchte zeigen sich zur Praxisverarbeitung vergleichbare Tendenzen im Vergleich der Klone. Die Absolutwerte liegen deutlich über denen aus der Praxisanlage, da die dort an verschiedenen Prozessstufen auftretenden Materialverluste vermieden werden. Insgesamt wird aber auch hier das große Potential des Z-Klons, aber auch der neuen L-Klone deutlich. Dies gilt neben dem Fasergehalt (in diesem Fall Bastanteil nach Entholzung) auch für den Entholzungsindex, dessen Kennwerte bei den L-Klonen teilweise deutlich über den B-Klonen liegen. Eine abschließende Beurteilung auch hinsichtlich möglicher Anwendungsbereiche kann aber nur im Zusammenhang mit einer qualitativen Fasercharakterisierung getroffen werden.

Eine weitere Auswertung der Masseanteile des angelieferten Strohs zu den erzielten Masseanteilen „Nesselfaser roh“ ermöglicht erste Hinweise auf die Leistungsfähigkeiten der neueren Züchtungen nach Aufbereitung in der Praxisanlage der NFC (Abbildung 27).

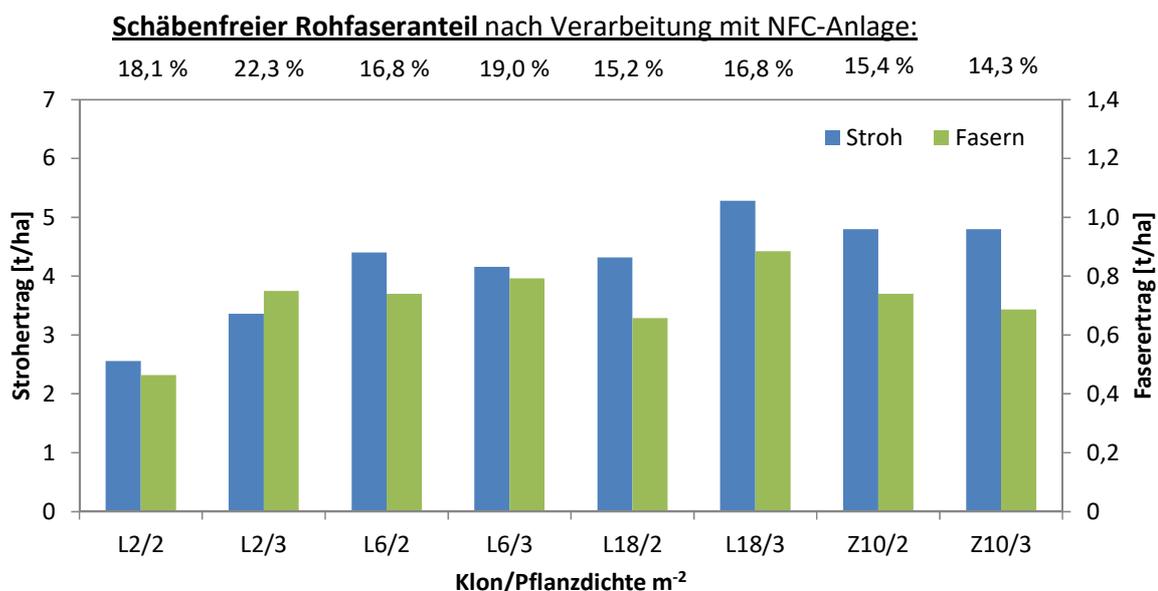


Abbildung 27: Stroh- und Faserertrag (schäbenfreie „Nesselfasern roh“) aus dem Erntejahr 2017 vom Standort Frielingen in Abhängigkeit von Klon und Pflanzdichte, Verarbeitung Praxisanlage.

Zwar liegt der schäbenfreie Rohfaseranteil bei den L2-Klonen höher, jedoch ist der Faserertrag aufgrund der höheren Biomasse der L18-Klone nach dichterem Pflanzung insgesamt größer.

Die erzielten Fasererträge am Standort Frielingen betreffen die erste Ernte der neu angelegten Versuchsfelder. Für die Flächen am Standort Nordstemmen konnten keine Faserertragswerte erhoben werden, da aufgrund der schlechten Witterungsbedingungen kein Stroh eingeholt werden konnte. Eine Verarbeitung des Strohs aus Nordstemmen in der Praxisanlage NFC war somit nicht gegeben.

Im Erntejahr 2018 konnte an beiden Standorten (Frielingen und Nordstemmen) Nesselstroh aus den neu angelegten Versuchsfelder eingebracht werden. Damit stand erstmals für den Standort Nordstemmen, Nesselstroh von den Versuchsfelder zur Aufbereitung in der Praxisanlage NFC zur Verfügung. Dies galt aufgrund des pflanzenbaulichen Zustandes der entsprechenden Fläche allerdings nicht für den Z-Klon.

Die Entholzungsergebnisse der Nesselernte 2018 vom Standort Frielingen sind im Vergleich zu den Werten aus der vorjährigen Ernte in der Abbildung 28 dargestellt. Dabei fällt der deutlich geringere gewonnene Anteil an „Nesselfasern roh“ aus dem Stroh der jeweiligen Klone im Vergleich zum Vorjahr auf. So konnte aus der Ernte 2017 ein Masseanteil an „Nesselfaser roh“ von 16,3-23,5 % erzielt werden. Demgegenüber stehen die Ausbeuten für die Ernte 2018 mit nur 10-15 % an „Nesselfaser roh“. Weiterhin ist der Schäbengehalt in den „Nesselfasern roh“ aus dem Erntejahr 2018 höher als im Vorjahr. Deutlich wird dieser Unterschied am Entholzungsgrad. Aus der Ernte 2017 wurde ein sehr guter Entholzungsgrad von 0,87-0,95 erreicht, während aus der Ernte 2018 nur noch ein Entholzungsgrad von 0,67-0,77 erzielt werden konnte.

Durch die extremen Klimabedingungen mit viel Trockenheit in der Wachstumsperiode im Jahr 2018 kam es am Standort Frielingen auf dem eher sandigen Boden zu einer ungenügenden Wasserversorgung der Nesselpflanzen. Dies führte zu einer geringeren Ausprägung des Stängelmarks (Xylem), wodurch die Entholzung des Strohs im Prallprinzip erschwert wurde und sich der geringere Entholzungsgrad erklären lässt. Weiterhin war das Stroh sehr mürbe und brüchig, wodurch auf ein Schneiden des Strohs bei der Aufbereitung verzichtet wurde. Dennoch entstanden viele Kurz-

fasern die durch die Siebe bei der Entholzung/Reinigung gefallen sind und sich damit der Anteil der produzierten Menge an „Nesselfasern roh“ reduzierte.

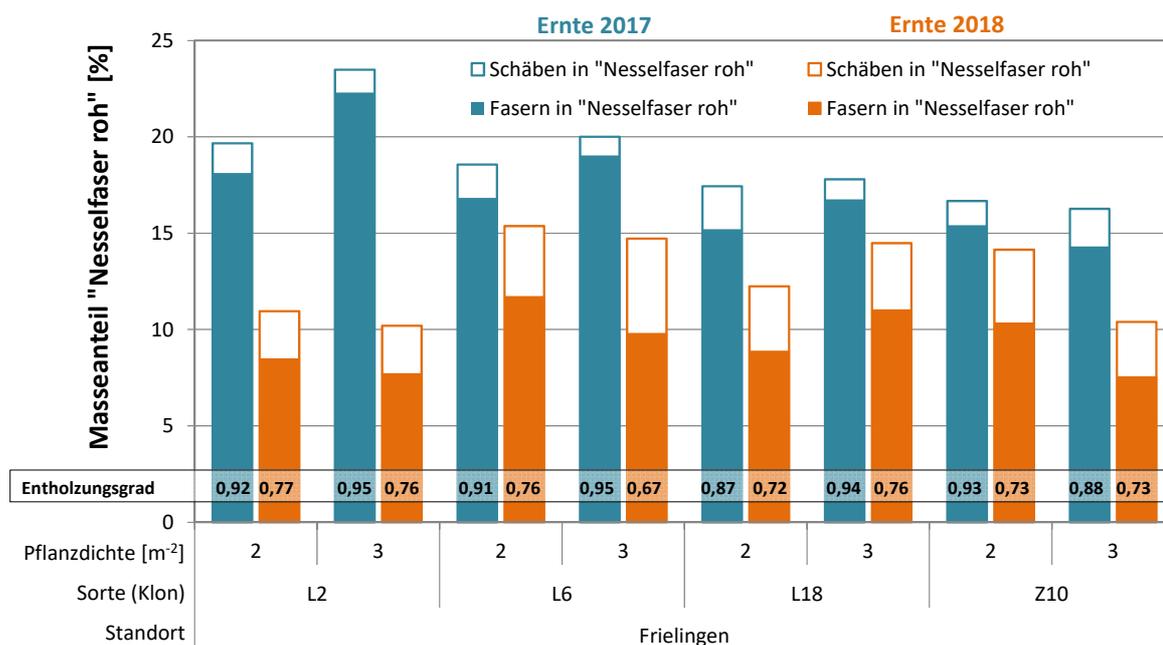


Abbildung 28: Masseanteile („Nesselfasern roh“) aus den Erntejahren 2017/18 vom Standort Frielingen in Abhängigkeit von Klon und Pflanzdichte, Verarbeitung Praxisanlage.

Bei der Nesselernte 2018 vom Standort Nordstemmen kann kein Vergleich der Entholzungsergebnisse zum Vorjahr hergestellt werden, da in 2017 kein Stroh geborgen werden konnte (Abbildung 29).

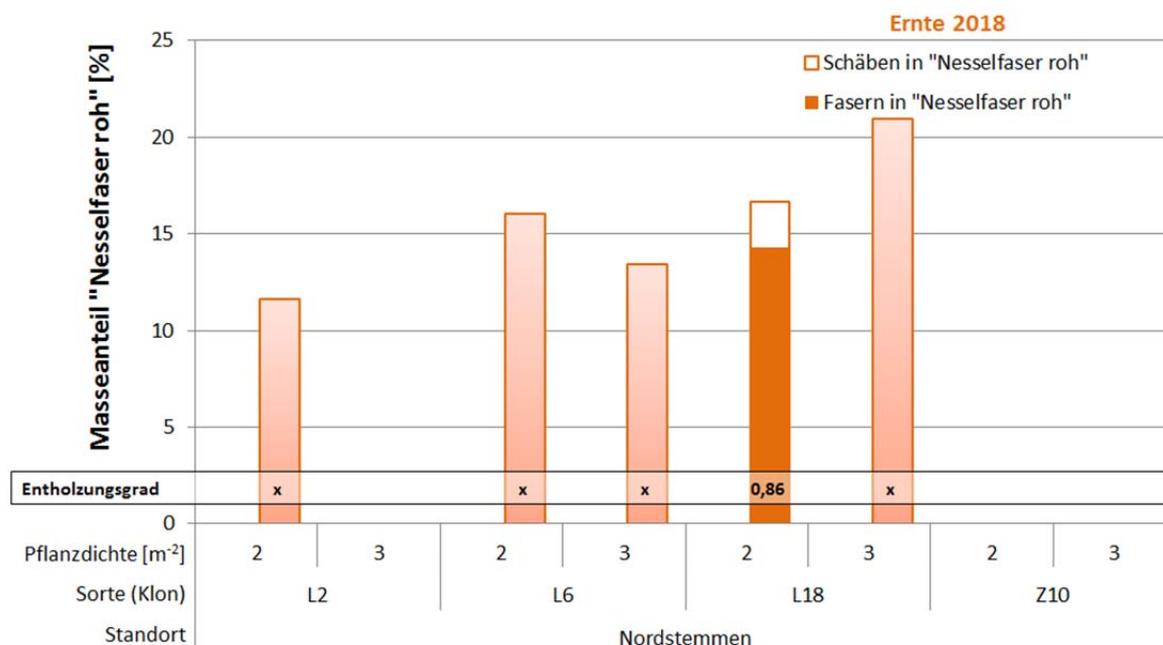


Abbildung 29: Masseanteile („Nesselfasern roh“) aus dem Erntejahr 2018 vom Standort Nordstemmen in Abhängigkeit von Klon und Pflanzdichte, Verarbeitung Praxisanlage.

Weiterhin wurde der Z10 Klon nicht mehr weiter bewirtschaftet und es konnten keine Entholzungsergebnisse generiert werden. Ebenfalls konnte das Stroh vom L2 Klon mit der Bestandsdichte von 3 Pflanzen pro m<sup>2</sup> durch einen zu hohen Gehalt von Unkraut nicht in der Praxisanlage aufgearbeitet werden. Die Analyse der Faserproben aus den Entholzungsversuchen befindet sich gegenwärtig

noch in der Auswertung. Daher sind die dargestellten Ergebnisse zum Schäbengehalt bzw. Entholungsgrad noch unvollständig.

Zur Fasernessel L18 mit der Bestandsdichte 2 pro m<sup>2</sup> können aber bereits exemplarisch die ersten Werte zur Zusammensetzung der „Nesselfaser roh“ gezeigt werden. Der Masseanteil an produzierten Rohfasern liegt bei 11,6-21,0 %. Damit liegen die Werte deutlich über den Werten am Standort Frielingen in 2018 und nur leicht unter den Werten aus 2017. Auch der Entholungsgrad für die eine bereits analysierte Probe deutet auf ein besseres Entholungsergebnis im Vergleich zum Standort Frielingen. Hier scheint der am Standort Nordstemmen vorhandene lehmige Boden trotz der enormen Trockenheit in 2018 noch genügend Wasser für die Nesselpflanzen zur Verfügung gestellt zu haben. Ein direkter Vergleich zwischen zwei Erntejahren am selben Standort in Nordstemmen fehlt aber noch.

Aus den Ergebnissen der Entholungsversuche zu den Masseanteilen an Nesselfaser roh“ konnte mit dem ermittelten Strohertrag von den Versuchsflächen der Faserertrag pro ha berechnet werden. Dazu wurde der schäbenfreie Anteil an „Nesselfaser roh“ herangezogen.

Für den Standort Frielingen lag der Faserertrag im Erntejahr 2018 bei 0,1-0,4 t ha<sup>-1</sup> (Abbildung 30). Die geringen Fasererträge resultieren zum einen aus den niedrigen Stroherträgen und zum anderen aus den geringen schäbenfreien Faseranteilen an „Nesselfaser roh“, welche in der Praxisanlage unter optimalen Bedingungen gewonnen werden konnten.

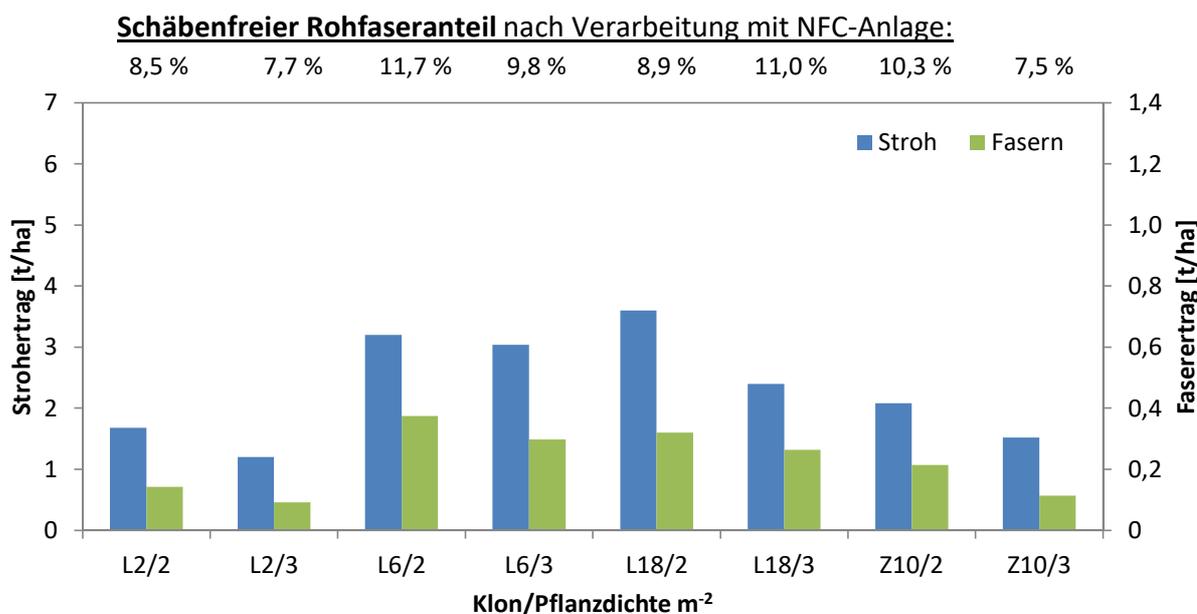


Abbildung 30: Stroh- und Faserertrag (schäbenfreie „Nesselfasern roh“) aus dem Erntejahr 2018 vom Standort Frielingen in Abhängigkeit von Klon und Pflanzdichte, Verarbeitung Praxisanlage.

Im direkten Vergleich der Fasererträge am Standort Frielingen von 2018 mit denen von 2017 werden an dieser Stelle nochmals die extremen Klimabedingungen in 2018 und deren Einfluss auf das Wachstum und die Entholungseigenschaften der Nesselpflanzen deutlich (Abbildung 31).

So konnte 2017 ein Faserertrag von 0,46-0,88 t ha<sup>-1</sup> erzielt werden. Damit lag der Fasergehalt im Jahr 2017 im Vergleich zu 2018 mehr als doppelt so hoch.

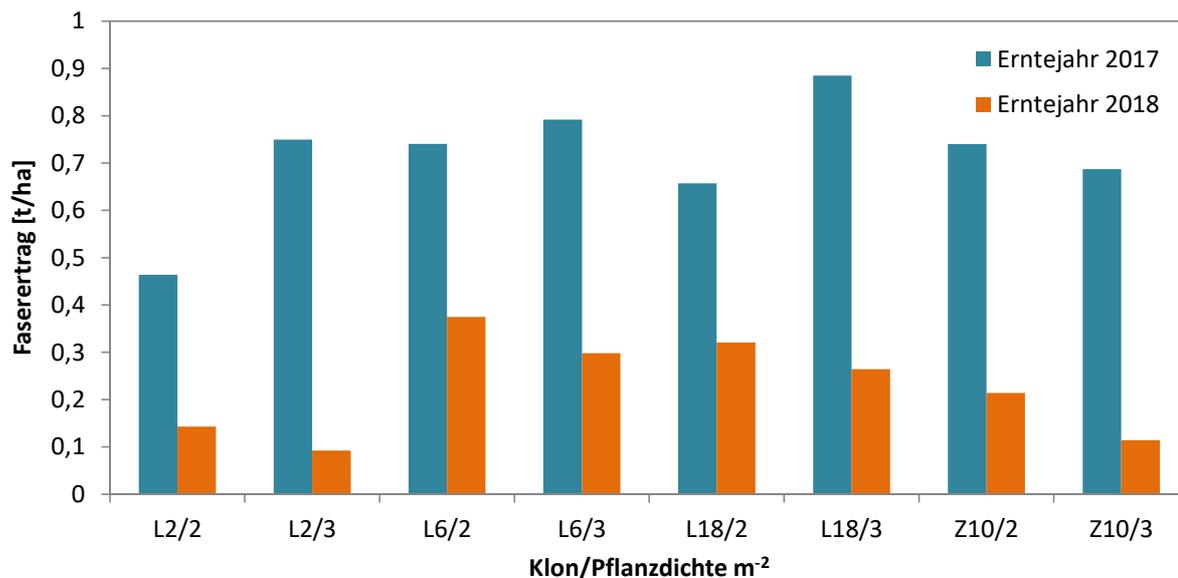


Abbildung 31: Vergleich der Fasererträge (schäbenfreie „Nesselfasern roh“) aus den Erntejahren 2017/18 vom Standort Frielingen in Abhängigkeit von Klon und Pflanzdichte, Verarbeitung Praxisanlage.

Für den Standort Nordstemmen liegt aufgrund der noch ausstehenden Faseranalysen erst ein Faserertrag vor (Abbildung 32). Hier zeigt sich aber schon der Standortvorteil von Nordstemmen gegenüber Frielingen bei Trockenheit, wie sie in der Wachstumsperiode 2018 auftrat. Für den Klon L18 mit der Pflanzdichte 2 pro m<sup>2</sup> konnte mit einem schäbenfreien Anteil von 14,3 %, „Nesselfaser roh“ ein Faserertrag von 0,72 t ha<sup>-1</sup> erreicht werden. Bei einem angenommenen ähnlichen Anteil schäbenfreier „Nesselfasern roh“ von 14,3 % aus der Praxisanlage für einen noch nicht analysierten Klon, könnte dementsprechend für die Fasernessel L18/3 bis zu 0,89 t ha<sup>-1</sup> als Prognose erwartet werden. Dies wäre dann ein ähnlich guter Faserertrag, wie er bei besseren Klimabedingungen in 2017 am Standort Frielingen erzielt werden konnte.

**Schäbenfreier Rohfaseranteil nach Verarbeitung mit NFC-Anlage:**

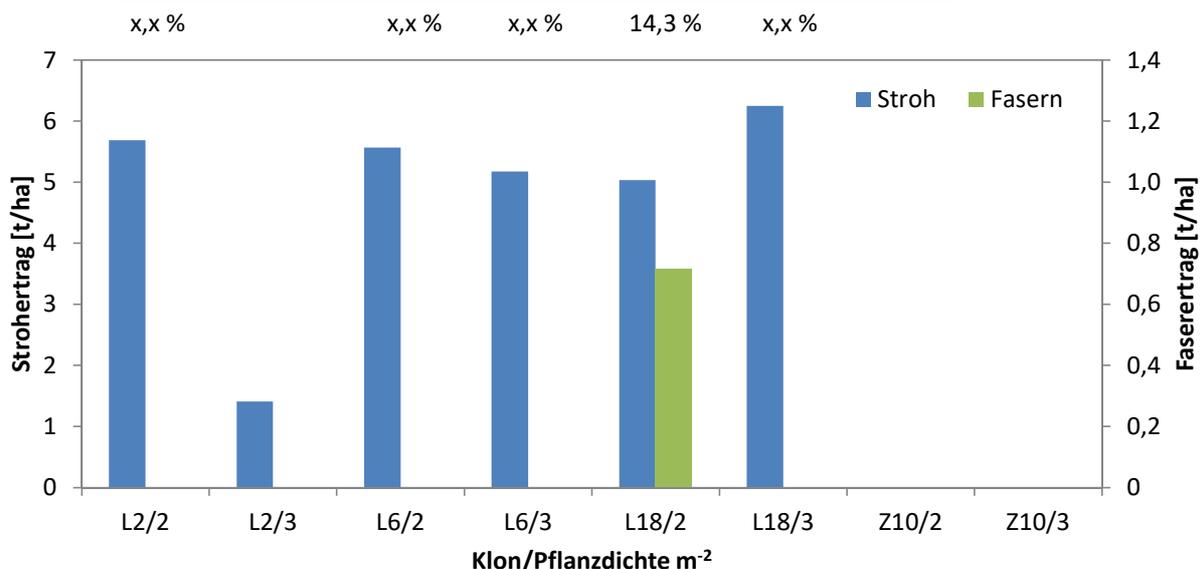


Abbildung 32: Stroh- und Faserertrag (schäbenfreie „Nesselfasern roh“) aus dem Erntejahr 2018 vom Standort Nordstemmen in Abhängigkeit von Klon und Pflanzdichte, Verarbeitung Praxisanlage.

Eine weitere wichtige Untersuchung betraf den Einfluss der Lagerung auf das Entholzungsergebnis der unterschiedlichen Fasernesselklone. Aufgrund des beschränkten Budgets für eine Aufbereitung von halbjährig gelagertem Stroh (Ernte 2017, Standort Frielingen) und des ursprünglichen Projektendes im Mai 2018 für die NFC, konnten die Entholzungsversuche nicht durchgeführt werden. Der Einfluss der Lagerung auf das Nesselstroh blieb somit zunächst ungeklärt.

Im Ergebnis der Eigeninitiative von Herr Dr. Beckhaus ergab sich während der Laufzeit der kostenneutralen Verlängerung für das ATB doch noch die Möglichkeit, alle 8 Varianten der Nesselernthe 2017 aufzubereiten. Damit konnten erstmalig Entholzungsergebnisse für Nesselstroh der neuen Klone über einem Zeitraum von 1 Jahr, unter exakt den gleichen Maschinen- und Betriebsparametern in der Aufschlussanlage NFC, unter wissenschaftlicher Begleitung aufgenommen werden (Abbildung 33). Bei der direkten Aufbereitung des Nesselstrohs nach der Ernte 2017, d.h. ohne Lagerung, konnte für den Masseanteil an „Nesselfaser roh“ 16,3-23,5 % erzielt werden. Für die Aufbereitung des Nesselstrohs nach 1 Jahr Lagerung lag der Masseanteil an „Nesselfaser roh“ mit 12,3-21,2 % tendenziell leicht unter den Werten ohne Lagerung. Für den Entholzungsgrad konnten für das Nesselstroh nach 1 Jahr Lagerung 0,86-0,94 erzielt werden. Damit werden die sehr guten Entholzungswerte aus der Verarbeitung ohne Lagerung (0,87-0,95) wieder erreicht. Dies spricht für eine optimale Ausrichtung der Praxisanlage mit seinen Maschinen- und Betriebsparametern zur Aufbereitung von Fasernessel. Zusammenfassend lässt sich für den Einfluss der Lagerung auf den schäbenfreien Masseanteil „Nesselfaser roh“ sagen, dass die L Klone nach einer Lagerung von 1 Jahr reduzierte Werte erbringen, der Z10 Klon aber noch ähnliche Werte wie bei der Aufbereitung ohne Lagerung aufweist und daher für diesen Zeitraum als lagerstabil betrachtet werden kann.

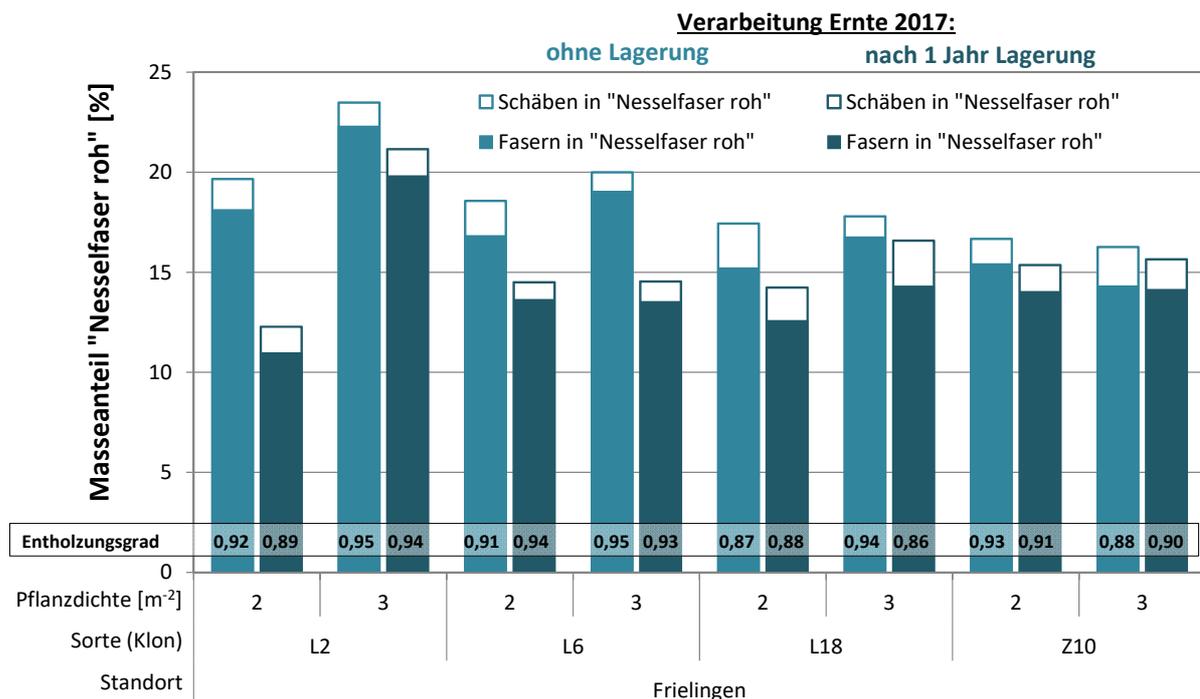


Abbildung 33: Vergleich der Masseanteile („Nesselfasern roh“) aus dem Erntejahr 2017 vom Standort Frielingen in Abhängigkeit von Klon und Pflanzdichte bei Aufbereitung ohne Lagerung bzw. nach 1 Jahr Lagerung, Verarbeitung Praxisanlage.

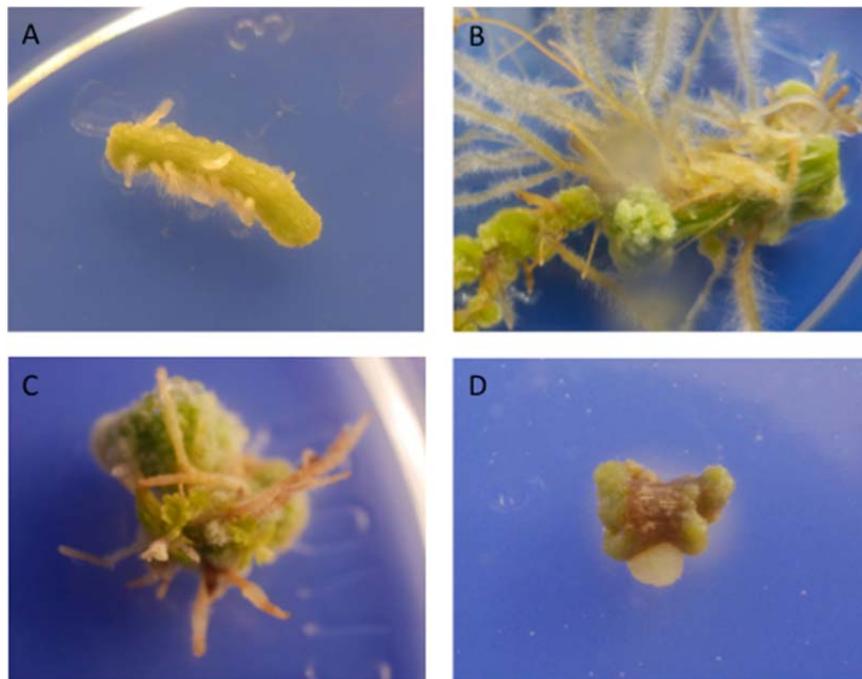
### 3.2 TV 2: Synthetische Samen – IFP

Die Gliederung Arbeitspakete des Projekts folgte wie in Kapitel 2.2.2 dargestellt dem chronologischen Ablauf der Herstellung von Synthetischen Samen. Aus den Problemen bei der Entwicklung der Methode zur Induktion der somatischen Embryogenese und der Herstellung von synthetischen Samen ergab sich eine Fokussierung auf die ersten beiden Arbeitspakete, die sich mit der Induktion und Weiterkultur von Kallus und der Induktion von somatischer Embryogenese beschäftigen.

#### 3.2.1 Kallusinduktion an verbesserten Genotypen

Alle verfügbaren Genotypen wurden auf ihre Regenerierbarkeit über Kalluskultur getestet. Bekanntermaßen kann sich die Regenerierbarkeit verschiedener Sorten der gleichen Art deutlich unterscheiden. Fokus war aber die Nutzung der besten alten (B13, Z10) und der neuen Klone (L2, 6, 18).

Bei der Kallusinduktion zeigen die Genotypen deutliche Unterschiede in Bezug auf die Bildung und Wachstumsrate von Kallus und die Neigung Wurzeln auszubilden. Es wurde festgestellt, dass die Sproßexplantate auf den anfänglich benutzten Medien (Abbildung 34 A und B) sehr stark Wurzeln ausbilden und dies auf Kosten der Kallusentwicklung geschieht. Erfreulicherweise gab es bei diesen *in vitro*-Kulturen aber keine Probleme mit bakteriellen Kontaminationen bzw. Endophyten. Solche traten in vorangegangenen Versuchen auf und die dort entwickelte Lösung scheint zu funktionieren.



*Abbildung 34: Faserbrennnessel-Kallusentwicklung auf unterschiedlichen Medien. Dargestellt sind (A) Klon L2, nach 3 Wochen auf MS-Medium mit 0,2 ppm NAA und 0,1 ppm 2iP, (B) Klon L2, 7 Wochen, MS-Medium, 0,2 ppm NAA, 0,1 ppm Kinetin, (C) Klon Z5, 8 Wochen, 0,2 ppm NAA, 0,1 ppm Kinetin, MS-Medium mit 11,25 mM Phosphat und (D) Klon B13, 8 Wochen, 1 ppm 2,4-D, 0,1 ppm TDZ, DKW-Medium.*

Zur Verbesserung der Kallusentwicklung wurde ein Medienscreening vorgenommen. Dabei wurde die Verfügbarkeit einzelner Nährstoffe wie Stickstoff und Phosphor variiert und auch das Grundmedium ersetzt, DKW oder CXW anstatt MS-Medium, und es wurden verschiedene Hormone zur Kallusinduktion getestet. Die getesteten Hormone waren von den Auxinen IAA, NAA und 2,4-D und von den Cytokinin Kinetin, 2iP und TDZ. Dabei wurden die unterschiedlichen Auxine und Kinetine jeweils miteinander kombiniert und die Hormonkonzentrationen variiert.

Abschließend entsprach das Grundmedium, das die beste Kallusentwicklung ermöglichte dem Medium, das auch die beste Sproßentwicklung erzielte. Dies ist, wie in Tabelle 2 dargestellt, ein Murashige-Skoog-Grundmedium, dem Phosphor- und Stickstoffverbindungen zugegeben werden.

### 3.2.2 Somatische Embryogenese auf Festnährmedium

Für die Etablierung der somatischen Embryogenese für eine Pflanzenart gibt es keinen Experimentablauf, der zielgerichtet zum Erfolg führt. Es handelt sich stattdessen um die Übertragung der Methoden von Pflanzenarten, wo die Methode funktioniert und dann ein Vorgehen über Versuch und Irrtum. Das Ziel ist es, ein großes Gebiet von Optionen abzudecken und die Zwischenergebnisse zu interpretieren. Ursächlich für dieses Vorgehen ist die Tatsache, dass unterschiedliche Pflanzen sehr unterschiedliche Bedingungen brauchen um somatische Embryonen auszubilden und nicht alle Optionen getestet werden können. Die Variablen, die den Möglichkeitsraum ausmachen, sind die Art des Pflanzenmaterials, das benutzt wird, das Grundmedium, Abänderungen des Grundmediums in einzelnen Medienbestandteilen, Zusätze bestimmter Nährstoffe und organischer Verbindungen, die benutzten Hormone, die Auswahl von Kallusmaterials zur Weiterkultur und die zeitliche Abstimmung des Umsetzens des ausgewählten Pflanzenmaterials auf neues Medium mit gegebenenfalls anderer Zusammensetzung.

Bei den durchgeführten Experimenten wurde das Murashige-Skoog-Medium als Grundmedium gewählt, da es bei der näheren Verwandtschaft der Fasernessel somatische Embryogenese ermöglicht hat (Agarwal et al. 2004, Conde et al. 2003, Defu et al. 1996, Lal et al. 1988). Entsprechend wurden auch die Hormone gewählt und als Auxine 2,4-D und NAA in verschiedenen Konzentrationen allein oder in Kombination mit den Cytokininen BAP und Kinetin (KIN) getestet. Da es hierbei zur starken Ausbildung von Adventivwurzeln kam, ausgehend vom Explantat und dem gebildeten Kallus, wurde an der Verfügbarkeit der Makroelemente Stickstoff und Phosphor gearbeitet.

*Tabelle 2: Medientests zur Induktion von somatischer Embryogenese. Die gelisteten Medien sind Abwandlungen des Murashige-Skoog-Grundmediums und in der Tabelle in chronologischer Reihenfolge angeordnet. Innerhalb der Spalte ‚Stichpunkte zu den Varianten‘ sind die Hormonnamen mit den gängigen Abkürzungen gelistet.*

Medium	Anzahl Varianten	Fokus des Versuchs	Stichpunkte zu den Varianten	benutzte Klone
C	8	Zucker	Saccharose	L2, L6, L18, Z10
D	1	Wiederholung 610-13		L2, L6, L18, Z10
E	1	Hormone	2,4-D, KIN	L2, L6, L18, Z10
F	4	Hormone	NAA, KIN	L2, Z5, B13
G	1	Hormone	2,4-D, KIN	L2, L6, L16, B1, Z5, Z10, Kallusweiterkultur
H	4	Hormone, Makroelemente	NAA, TDZ; Phosphat	L2, L6, L18, B1, B13, Z5, Z6
I	4	Hormone, Makro	NAA, KIN; Phosphat	L2, L6, L18, B1, B13, Z5, Z6
L	13	Hormone, Zucker	2,4-D, NAA, KIN; Saccharose	L2, L18, B13, Z5
N	13	Hormone, Zucker	2,4-D, NAA, KIN; Saccharose	L2, L18, B13, Z5
P	8	Zucker, Hormone, Stickstoffverfügbarkeit	Saccharose, Glukose; 2,4-D, NAA, KIN, GA3; Prolin, Glutamin, Caseinhydrolysat	L2, L18, B13, Z10
Q	12	Zucker (Hormone)	Saccharose, Glukose, Mannitol	L2, L18, B13, Z10
R	16	Zucker (Hormone, Stickstoffverfügbarkeit)	Saccharose, Glukose; 2,4-D, PIC, NAA, KIN, CPPU, GA3; Prolin, Glutamin	L2, L18, B13, Z10
R3	1	Klonvariabilität		L2, L6, L18, Z1-11, B1,

Medium	Anzahl Varianten	Fokus des Versuchs	Stichpunkte zu den Varianten	benutzte Klone
				B2, B4, B5, B9, B10, B12, B13, B16, B19, B21, B23, B24, B26
S	6	Zucker, Hormone	Saccharose, Mannitol; 2,4-D, NAA, ZEA, KIN, GA3	L2, L6, L18, B13, Z5, Z10
T	6	Hormone	2,4-D, NAA, KIN, GA3	L2, L6, L18, B13, Z5, Z10
U	8	Hormone	2,4-D, NAA, KIN, GA3	L2, L6, L18, B13, Z5, Z10
V	12	Hormone	PIC, KIN, GA3	L2, L6, L18, B13, Z5, Z10
W	8	Hormone	PIC, NAA, ZEA, BAP, KIN, GA3	L2, L6, L18, B13, Z5, Z10
X	4	Hormone	2,4-D, PIC, NAA, BAP, KIN	L2, L6, L18, B13, Z5, Z10
Z	16	Hormone, Zucker, Makro	2,4-D, NAA, KIN; Saccharose, Mannitol; Prolin, Caseinhydrolysat	L2, L6, L18, B13, Z5, Z10
763	5	Hormone	2,4-D, NAA, IAA, ZEA, GA3, ABA	L2, L6, L18, B13, Z5, Z10
782	20	Hormone	2,4-D, NAA, IAA, ZEA, TDZ, BAP, KIN	L2, L4, L5, L6, L8, L9, L11, L12, L14, L15, L18, L19, B1, B2, B5, B9, B10, B12, B13, B16, B19, B23, B24, B26, B29, B30, Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6, Z7, Z8, Z9, Z10,

Zur Verbesserung der Stickstoffverfügbarkeit wurden Ammonium und Nitrat benutzt und Aminosäuren in Reinform oder als Caseinhydrolysat. Zusätzlich wurde begonnen, die Osmolarität des Mediums und die Energieverfügbarkeit zu verändern, indem die Konzentration des Zuckers Saccharose verändert wurde oder die Saccharose teilweise oder ganz durch Glukose und Mannitol ersetzt wurde. Nachdem festgestellt wurde, dass die Wüchsigkeit des Kallus noch nicht ausreicht, wurden Tests mit weiteren Hormonen gestartet.

In der entfernteren Verwandtschaft der Fasernessel innerhalb der Ordnung Rosales befinden sich die Gattungen Rosa, Fragaria und Prunus. Innerhalb dieser Gattungen wurde z.B. für die Erdbeere (*Fragaria* sp.) und die Rose (*Rosa hybrida*) eine zuverlässig funktionierende somatische Embryogenese etabliert. Weiter entfernte Verwandtschaft mit funktionierender somatischer Embryogenese findet sich in der Ordnungen Fabales mit z.B. der Gartenbohne (*Phaseolus vulgaris*) und der Erbse (*Pisum sativum*) und in der Ordnung Cucurbitales mit z.B. der Zuckermelone (*Cucumis melo*). Bei diesen Arten finden sich Medienzusätze und -abwandlungen, die auch bei *Urtica dioica* die somatische Embryogenese verbessern könnten. Dies ist z.B. der Einsatz von Picloram (PIC) als Auxin, osmotischer Stress durch bis zu 12 % Saccharose oder die Zugabe von Mannitol und die Zugabe von Prolin als Stickstoffquelle. Hier wurden Ansätze von diesen Pflanzen auf die Fasernessel zu übertragen (z.B. Medien V, W), allerdings erbrachten diese keine entscheidenden Fortschritte.

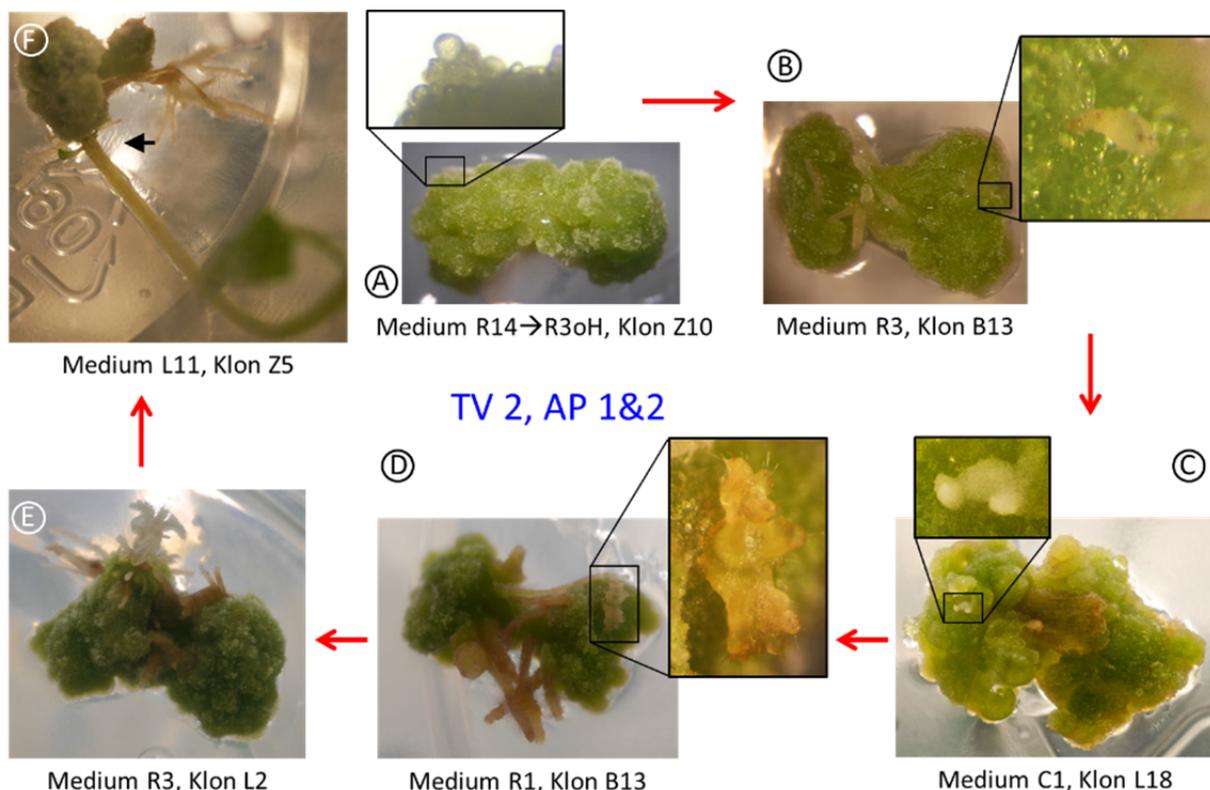


Abbildung 35: Entwicklungsstadien bei der Ausbildung von Sprossen an Explantaten. Unklar ob die Sprosse aus Embryonen entstehen oder es Adventivsprosse sind, da Embryonen nicht eindeutig nachgewiesen werden konnten.

Zusammenfassend ist in Abbildung 35 der erreichte Stand zu Kallusinduktion und somatischer Embryogenese dargestellt. Bei den Experimenten zur Kallusinduktion wird ein gut wüchsiger globulärer Kallus erzielt, der über mehrere Generationen (d.h. Umsetzen des Kallus auf neues Medium im Abstand von 4-6 Wochen) kultiviert werden kann. Ein Beispiel für einen solchen Kallus ist in Abbildung 35 A dargestellt. Aus diesem Kallus kann bei weiterer Kultur Sprossbildung induziert werden, in Abbildung 35 B bis E dargestellt. Diese Sprosse können sich, wie in Abbildung 35 F dargestellt, zu ganzen Pflanzen weiterentwickeln. Die Medien zu den Experimenten, die zu erfolgreicher Sprossbildung führten, sind in Tabelle 3 dargestellt. Die Sprossbildung, die bei den in Tabelle 3 gelisteten Medien war gut reproduzierbar. Jedoch trat die Sprossinduktion immer nur bei unter 10 % der induzierten Sprosexplantate auf. Pro Explantat trat dabei immer nur ein induzierter Sproß auf.

Tabelle 3: Überblick für die Zusammensetzung der Medien, die bei *Urtica dioica* Sprosse von Kallus induzieren. Die Abkürzungen in der Spalte ‚Differenzierung‘ stehen für S – Spross, P – Primordium und K – Kallus.

Medium	Klone	Differenzierung	Hormone							Zucker			Zusätze				
			Picloram	2,4-D (ppm)	NAA (ppm)	IAA (ppm)	Kinetin (ppm)	TDZ (ppm)	GA3 (ppm)	Saccharose (g/l)	Glucose (g/l)	Mannitol (g/l)	Caseinhydrolysat (g/l)	Prolin (g/l)	KNO <sub>3</sub> (g/l)	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (g/l)	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (g/l)
M101 = MS + CH		-								30			0,5				
610-13A	L2, Z5	S			0,2			0,1		30			0,5		2,02	1,6	1,36
650-C-1	L18	P			0,2			0,1		10			1		1	0,8	1,87
660-L	L2	S			0,2			0,1		10			1		1	0,8	1,2

Medium	Klone	Differenzierung	Hormone							Zucker			Zusätze				
			Picloram	2,4-D (ppm)	NAA (ppm)	IAA (ppm)	Kinetin (ppm)	TDZ (ppm)	GA3 (ppm)	Saccharose (g/l)	Glucose (g/l)	Mannitol (g/l)	Caseinhydrolysat (g/l)	Prolin (g/l)	KNO <sub>3</sub> (g/l)	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (g/l)	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (g/l)
10																	
660-L-11	L2, Z5	S			0,1		0,1			10			1		1	0,8	1,2
696-Q-3	Z10	S			0,2		0,1		0,1	20		20		0,8	1	0,8	1,2
696-R-1	B13	S		0,2			0,1				20	20		0,8	1	0,8	1,2
696-R-3	L2, B13	S, P		0,2			0,1		0,1	20		20		0,8	1	0,8	1,2
696-R-14	B13	K	1							20		20		0,8	1	0,8	1,2
782-05	L2, Z5, Z10	S				0,01		0,5		10			1		1	0,8	1,2
782-08	Z10	S		0,2			0,1			10			1		1	0,8	1,2
782-12	L2	S			0,02			0,2		10			1		1	0,8	1,2
782-13	L18	S			0,05			0,5		10			1		1	0,8	1,2
782-18	Z5	S				0,01		2		10			1		1	0,8	1,2

Auffällig beim Medienvergleich ist, insbesondere bei den eingesetzten Hormonen, dass nur ein enges Fenster von Konzentrationen zur Sprossbildung führte. Die höheren und niedrigeren getesteten Konzentrationen hatten keinen Erfolg. Entsprechendes gilt für die aufgeführten Zucker und die weiteren Zusätze. Somit scheint bei der Variation der Hormonkonzentrationen und dem Einsatz von verschiedenen Hormonen nur noch wenig Optimierungspotential vorzuliegen. Auch beim Einsatz von verschiedenen Zuckern, um die Osmolarität des Mediums und die Kohlenstoffquelle zu variieren, konnte keine entscheidende Verbesserung erzielt werden. Desgleichen gilt für die Veränderung der Aminosäuren, die im Medium verfügbar sind.

Der abschließende Stand in dem Arbeitspaket 2, der Somatischen Embryogenese auf Festnährmedium, sind Fortschritte bei der Medienentwicklung zur Kallusinduktion und Sproßbildung an Explantaten und Kallus und möglicherweise somatische Embryogenese, die reproduzierbar, aber nicht in kommerziell nutzbarer Häufigkeit beobachtet werden konnte.

### 3.2.3 Somatische Embryogenese in Suspensionskultur

Für eine kommerzielle Vermehrung der Fasernesselklone über Synthetische Samen ist die Flüssigkultur notwendig, da sie im Gegensatz zur Kultur auf Festmedien, die Automatisierung und so eine Reduzierung der Handarbeit und Kosten ermöglicht. Die Übertragung der Festmedienrezepte auf Flüssigkultur wurde getestet. Die Kallusentwicklung war aber schlechter als auf Festmedium. Unter den getesteten Bedingungen war es nicht möglich, die positiven Ergebnisse von den Festmedien auf die Flüssigkultur zu übertragen. Die Wüchsigkeit des Kallus blieb geringer als auf Festmedien. Die Sproßinduktion in Flüssigkultur führte zu keiner Sproßbildung und daher wurden die Versuche eingestellt.

### 3.2.4 Konversion der somatischen Embryonen

Eine Bearbeitung war während der Projektlaufzeit aufgrund der fehlenden methodischen Fortschritte in den vorgeordneten Arbeitspaketen nicht möglich.

### 3.2.5 Einkapselung der synthetischen Samen

Es wurden Vorversuche in Form von Verkapselung und Keimung von Stängelnodien vorgenommen. Diese Nodien wurden erfolgreich zur Keimung gebracht. Eine Bearbeitung wie innerhalb der Projektplanung vorgesehen war während der Projektlaufzeit aufgrund der fehlenden methodischen Fortschritte in den vorgeordneten Arbeitspaketen aber nicht möglich.

### 3.2.6 Trocknung der synthetischen Samen

Eine Bearbeitung war während der Projektlaufzeit aufgrund der fehlenden methodischen Fortschritte in den vorgeordneten Arbeitspaketen nicht möglich.

### 3.2.7 Re-Konversion nach Einkapselung, Trocknung und Lagerung

Eine Bearbeitung war während der Projektlaufzeit aufgrund der fehlenden methodischen Fortschritte in den vorgeordneten Arbeitspaketen nicht möglich.

### 3.2.8 Prüfung der genotypischen Stabilität

Eine Bearbeitung war während der Projektlaufzeit aufgrund der fehlenden methodischen Fortschritte in den vorgeordneten Arbeitspaketen nicht möglich.

### 3.2.9 Praxisanbau im Feld

Eine wesentliche Kostenreduzierung bei dem Ausweiten von Anbauflächen der Fasernessel ist eine zentrale Forschungs- und Entwicklungsaufgabe, um die Wirtschaftlichkeit des Fasernesselanbaus zu verbessern. Die Fortschritte, die dazu im Projekt erzielt werden sollten, basierten auf der Anwendung der somatischen Embryogenese und der Umsetzung in Synthetische Samen. Der Praxisanbau von Synthetischen Samen im Feld wurde in der Projektlaufzeit nicht erreicht. Die Entwicklung eines hoch effizienten Protokolls zur somatischen Embryogenese innerhalb der Arbeitspakete 2 und 3 ist der Meilenstein, der erreicht sein muss, damit mit den Arbeitspaketen 4-6 begonnen werden kann. Folglich konnten die Arbeitspakete 4, 5 und 6 während der gesamten Projektlaufzeit nicht begonnen werden. Daher wurden innerhalb des Projekts alternative Ansätze gesucht, um zum Projektabschluss eine Verringerung der Kosten zur Bestandsetablierung zu erreichen. Die dafür möglichen methodischen Wege sind wie in Abbildung 36 dargestellt Rhizom-Legen, Saatgut-Direktaussaat und die Optimierung der Stecklingsproduktion. Im Folgenden wird eine Bewertung der alternativen Strategien zur Reduzierung der Kosten zur Bestandsetablierung vorgenommen.



Abbildung 36: Methoden zur vegetativen und generativen Vermehrung von Fasernessel-Klonsorten.

Da es sich bei den Fasernesselsorten um Klonsorten handelt, kommen zu ihrer Vermehrung nur Verfahren der vegetativen Vermehrung in Frage. Dies sind Stecklinge, Synthetische Samen wie hier im Projekt bearbeitet, und die Vermehrung über Rhizome. Es ist auch eine Aussaat von Saatgut der Klonsorten-Pflanzungen möglich, was dann allerdings nur einen reduzierten Fasergehalt beim Stroh erzielt.

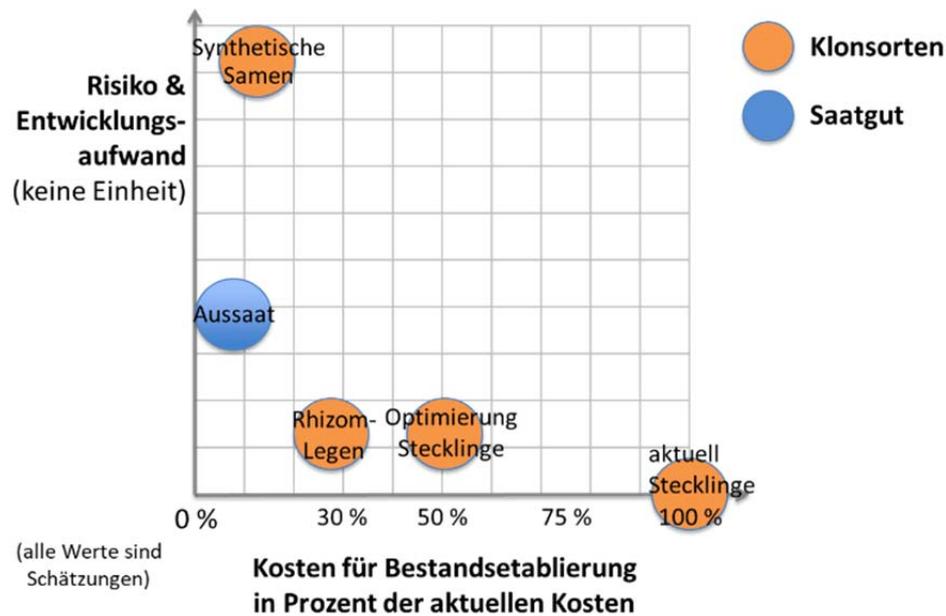


Abbildung 37: Gegenüberstellung der Kosten die zur Fasernessel-Bestandsetablierung bei den verschiedenen Methoden anfallen, und des vermuteten Entwicklungsaufwands und -risikos dieser Methoden.

Eine Optimierung der Produktion von Jungpflanzen aus Stecklingen ist möglich, obwohl das Verfahren gut etabliert ist. Die aktuellen Kosten betragen bei 25.000 Pflanzen pro Hektar etwa 4.000 € Kosten für Jungpflanzen aus Stecklingen, wozu noch die Pflanzkosten kommen. Es ist nach der Pflanzung von einer Kulturdauer von 5 bis 10 Jahren auszugehen. Da im ersten Jahr kein Stroh geerntet werden kann, errechnen sich darauf von bis zu 800 € für die Jungpflanzen pro Erntejahr und Hektar, zzgl. Pflanz- und Pflegekosten. Es ist von einem Optimierungspotential von etwa 50 % der jetzigen Kosten auszugehen, wie in Abbildung 37 dargestellt. Ziel muss es aber sein, auf 20-30 % der jetzigen Kosten zu kommen. Dies können nur die Verfahren Synthetische Samen, Aussaat und Rhizom-Legen leisten. Davon scheidet das Verfahren Synthetische Samen wegen des hohen Risikos bei der Etablierung der Methode jetzt aus, und es bleiben nur die Verfahren Aussaat und Rhizom-Legen übrig.

Beim Faser-Flächenertrag schneiden alle Methoden, die der Vermehrung von Klonarten dienen ähnlich ab (Abbildung 38). Geringe Unterschiede gibt es dort nur durch die unterschiedliche Homogenität der Bestände in den Anfangsjahren. Nur das Saatgut hat ohne weitere Züchtungsarbeit einen deutlich reduzierten Faserertrag, der es als Vermehrungsmethode vorerst unattraktiv macht. Wie in Abbildung 8 dargestellt, ist die Direktaussaat die Methode, die die geringsten Kosten bei der Bestandsetablierung verursacht. Solange nicht in aufwendiger Züchtung Saatgut-Sorten mit dem der aktuellen Klone vergleichbar hohem Fasergehalt erzielt worden sind, ist im Vergleich zu den besten Klonarten ein ~2 % niedrigerer Fasergehalt (z.B. 12 statt 14 %) und damit ein ~15 % niedrigerer Faser-Flächenertrag zu erwarten. Bekannt ist dies aus den in den 40er Jahren durchgeführten Arbeiten von Bredemann und von den in den 90er Jahren durchgeführten Arbeiten des Thüringer Zentrums Nachwachsende Rohstoffe der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. Diese 15 % Minderertrag sind sehr viel, da aufgrund der mehrjährigen Kultur Einbußen beim Flächenertrag jedes Jahr erneut zählen, die anfänglichen Einsparungen beim Anbau aber nur einmal.

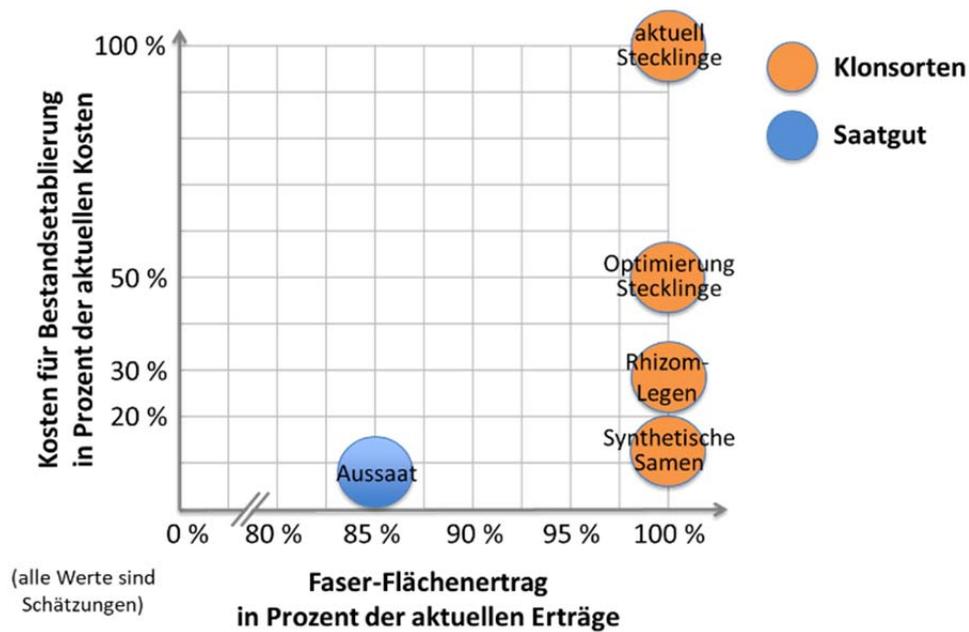


Abbildung 38: Faser-Flächenertrag im Verhältnis zu den Kosten bei der Bestandsetablierung mit den verschiedenen Methoden zur Fasernessel-Bestandsetablierung.

Es wurde basierend auf diesen Abwägungen die Entscheidung getroffen die Methode Rhizom-Legen weiter zu bearbeiten, damit zum Ende der Projektlaufzeit ein Verfahren zur Verfügung steht, dass bei gleichem Faser-Flächenertrag deutlich geringere Kosten bei der Bestandsetablierung verursacht. Während die Entwicklung von Saatgut methodisch das Optimum wäre, aber eine sehr lange Entwicklungsarbeit braucht, stellt Rhizom-Legen eine Möglichkeit dar, kurzfristig eine Kostenersparnis zu erzielen und eine Übergangstechnologie bereit zu stellen. Zur Nutzung von zerkleinerten Stolonen bzw. Rhizomen bzw. unterirdischen Ausläufern war am IFP keinerlei Erfahrung vorhanden. Die Ausläufer in Form von Rhizomen dienen der vegetativen Vermehrung der Pflanze. Es ist allerdings bekannt, dass die Brennnessel typischerweise ein Drittel bis zur Hälfte ihrer Biomasse in den Rhizomen und Wurzeln anlegt und die Rhizome als Überdauerungsorgane gut zur vegetativen Vermehrung geeignet sind. Somit ist ausreichend Material zur Vermehrung vorhanden, dass pro Hektar reifem Fasernesselfeld genug Rhizommateriale geerntet werden kann, um je nach genutzter Rhizomfragmentgröße und -abgedichte 3 bis 30 Hektar neu anzulegen.



Abbildung 39: Exemplarische Darstellung von genutztem Rhizommateriale. (A) Brennnesselrhizome an einem Wildstandort und (B) gereinigt. (C) Fasernesselklone aus Topfkultur und (D) mit gereinigtem Wurzelballen.

Für die Versuchsanlagen wurde Pflanzenmaterial von Wildstandorten und aus Topfkulturen benutzt (Abbildung 39). Das Rhizommateriale wurde manuell in etwa 15 cm große Fragmente zerkleinert und manuell 2 cm tief abgelegt (Abbildung 40 B). Bei Herbst wie auch bei Frühlingsaussaat konnten nach 4 Wochen neu gebildete Sproßtriebe beobachtet werden.



Abbildung 40: Rhizom-Legen Herbst Verlauf (A, B) Aussaat (19.10.17), (C) 4 Wochen (13.11.17), (D) Austreiben nach 6 Monaten (12.4.18), (E) 6 ½ Monaten (3.5.18) und (F) 7 Monaten (24.5.18).

Bei der Herbstaussaat von Wildnesselrhizomen konnte eine Erfolgsquote von 86 % (569 Überlebende von 650 Pflanzen) erzielt werden. Dabei zeigten die Pflanzen eine sehr gute Wurzelentwicklung (Abbildung 40 G) und die Ausfälle von Pflanzen waren fleckig bzw. standortabhängig (Abbildung 41 B), und konnten auf Trockenheit zurückgeführt werden. Die Rhizome können bei Herbstaussaat über Winter auch ohne aktiven Sproß ein gutes Wurzelwerk ausbilden und haben daher im Vergleich zur Frühlingsaussaat bessere Startbedingungen.

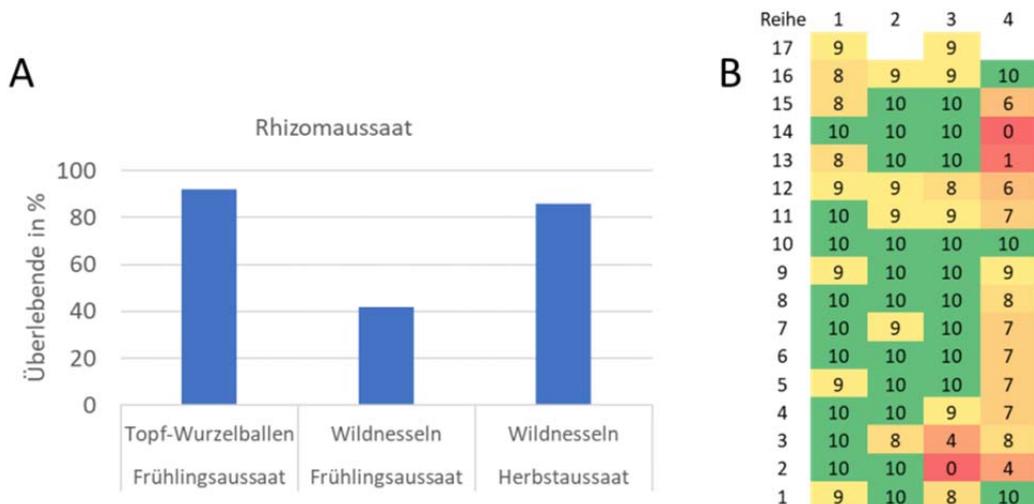


Abbildung 41: Rhizom-Legen 2017 und ihr Erfolg in % Überlebenden (A), und (B) ein Flächenplan der Herbstaussaat mit Überlebenden im Mai 2018 von jeweils 10 Pflanzen pro Parzelle.

Es konnte somit gezeigt werden, dass das Rhizom-Legen methodisch problemlos funktioniert, wenn geeignete Witterungsbedingungen vorliegen oder eine ausreichende Bewässerung während kritisch trockener Zeiträume vorgenommen wird. Für die Umsetzung in den kommerziellen Anbau werden noch Arbeiten zur Mechanisierung von Rhizomernte, -verarbeitung und -ausbringung notwendig sein. Hier ist es aber möglich auf die Erfahrungen zurückzugreifen, die für z.B. Minze und Miscanthus existieren.

### **3.3 TV 3: Landwirtschaftlicher Teil; 3N Kompetenzzentrum Niedersachsen-Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe e.V. mit Unteraufträgen an zwei Landwirte**

#### **3.3.1 Witterungsverlauf - Temperaturen und Niederschläge 2017 und 2018**

Da die extrem unterschiedlichen Witterungsbedingungen der Versuchsjahre starken Einfluss auf die Ertragsleistung zeigen, erfolgte in den bereits vorgelegten Zwischenberichten jeweils zunächst eine nähere Betrachtung des Witterungsverlaufes worauf an dieser Stelle verwiesen wird. Die letzten beiden Prüffahre wiesen jedoch extreme Witterungsverläufe in Niedersachsen auf. 2017 war geprägt durch starke Niederschläge sowohl am Standort Nordstemmen wie auch in Frielingen (Soltau), während in 2018 eine lange anhaltende Hitze- und Sommertrockenheit die Nesselbestände beeinflusste.

Besonders in den Monaten Juni und Juli 2017 wurden sehr hohe Niederschläge verzeichnet. Mit 144,8 und 129,7 mm Niederschlag lagen diese Monate in Soltau um 74,8 und 59,7 mm über dem langjährigen Mittel (DWD; gemessen von 1981-2010). Die Temperaturen lagen auf beiden Standorten ganzjährig im moderaten Bereich des langjährigen Mittelwertes. Es folgte eine regenreiche Überwinterungsphase mit späten Frösten im Frühjahr **2018**. Ab April 2018 lagen die Temperaturen bereits an beiden Versuchsstandorten über dem langjährigen Mittel. Mit den anhaltend sehr hohen Temperaturen von Mai bis Ende August ging eine extreme Trockenheit einher, von der der sandige Standort in Frielingen besonders betroffen war mit einem durchschnittlichen Niederschlag von 28,6 mm pro Monat (langjähriges Mittel mit 66,75 mm Niederschlag). Wuchsdepressionen und Auswirkungen auf die Nesselbestände waren ab Juli zu verzeichnen. In Nordstemmen zeichnete sich ein ähnliches Bild, wobei der lehmige Standort die fehlenden Niederschläge länger kompensieren konnte.

#### **3.3.2 Fasernessel-Klonvergleich (Fasernessel-Neuanlagen)**

In den Anbaujahren 2015 bis 2018 wurden die Untersuchungen zum Vergleich der Nesselklone an den beiden Standorten der Landwirtschaftsbetriebe Tölke (Nordstemmen, Hildesheimer Börde) und von Frieling (Soltau, Lüneburger Heide) planmäßig durchgeführt. Die zur Prüfung vorgesehenen Klone L2, L6 und L18 wurden an beiden Standorten in den zwei Pflanzdichten (B1 = 2 Stecklinge pro m<sup>2</sup> und B2 = 3 Stecklinge pro m<sup>2</sup>) ausgepflanzt. Am Standort Frielingen (Soltau) wurde zum Vergleich der Z-Klon mitgeprüft. Die Versuchsflächen bekamen einheitliche Düngungs- und Pflegemaßnahmen. Die Bestände wurden während der Wachstumsperiode durchgehend boniert sowie die jeweiligen Ernten begleitet.

Die Bestandsetablierung 2015 als auch die Jugendentwicklung 2016 bis zur ersten Ernte 2017 zeigten bei zwei der geprüften Klone bereits eine deutliche Verbesserung des Ertragspotentials. Im Erntejahr 2018 bestätigten sich die Ergebnisse, wobei der schnellwüchsige Klon L18 neben dem Z10 Material, in allen Jahren und an beiden Standorten die besten Ertragsleistungen erzielte, während der Klon L2 in allen Jahren stets die geringsten Erträge realisierte und eine ausgeprägte Kälteempfindlichkeit im Frühjahr aufwies. Dies galt grundsätzlich sowohl für den sandigen Standort in der Lüneburger Heide als auch den durch Löss-Lehm gekennzeichneten Boden in der Hildesheimer Börde.

Ein Einfluss der Pflanzendichte (2 bzw. 3 Pfl. m<sup>-2</sup>) scheint erkennbar, wird jedoch durch die Kloneffekte überlagert und lässt sich nicht statistisch absichern.

Der Einfluss der extremen Witterungsverhältnisse in 2017 (extreme Nässe) und 2018 (langanhaltende Trockenheit) zeigten an beiden Standorten deutliche Effekte auf das Ertragsniveau der Nesselbestände.

### Etablierungsphase 2015/2016

Die Anlage der Nesselklonprüfung auf der Versuchsfläche Frielingen erfolgte am 12.09. 2015 auf einer Fläche von ca. 2 ha. Der Lageplan der Neuanlage bzw. die Anordnung der Klone und der zwei Pflanzdichten sind in Abbildung 42 wiedergegeben.



Abbildung 42: Lageplan der Neuanlage bzw. Anordnung der Klone (L2, L6, L18 und Z10) und der zwei Pflanzdichten (B1 und B2) auf der Versuchsfläche Frielingen.

Die Pflanzung der Nesselbestands-Neuanlage auf der Versuchsfläche Nordstemmen (1,5 ha) erfolgte am 13. Oktober 2015. Es wurden Klone der Sorte L2, L6 und L18 in zwei Pflanzdichten (2 oder 3 Stecklinge pro m<sup>2</sup>) ausgepflanzt. Der Lageplan der Neuanlage bzw. die Anordnung der Klone und der zwei Pflanzdichten (B1 und B2) sind in der Abbildung 43 wiedergegeben.



Abbildung 43: Lageplan der Neuanlage bzw. Anordnung der Klone (L2, L6 und L18) und der zwei Pflanzdichten (B2 und B3) auf der Versuchsfläche Nordstemmen.

Die Bestandsetablierung im Herbst 2015 verlief insgesamt gut, wobei deutliche Unterschiede zwischen den Standorten zu verzeichnen waren. Im darauf folgenden Jahr 2016 war hier aus pflanzenbaulichen Gesichtspunkten jedoch noch keine Ernte möglich, es erfolgte lediglich ein Pflegeschnitt.

Die Boniturergebnisse zeigten auch im Vergleich der Klone sowie Pflanzdichten einen unterschiedlichen Verlauf, wobei der Klon L18 in der höheren Pflanzdichte die größte Stängellänge und – mit Schwankungen – eine große Anzahl von Trieben aufwies.

Von den vier am Standort Frielingen angebauten Fasernessel-Klonen gingen L18 und Z10 im Frühjahr 2016 zügig und am besten in den Wuchs (Abbildung 44). Am lückenhaftesten und spätesten waren der Wiederaustrieb und die Frühjahrsentwicklung bei Klon L2. L2 konnte das Entwicklungsdefizit auch während der Vegetationszeit nicht ausgleichen und erreichte am Ende der Vegetationsperiode 2016 im Mittel nur eine Wuchshöhe von 1,5 m, während alle anderen Klone eine Wuchshöhe von um die 2 m erreichten.

Ähnlich wie auf den Versuchsfeldern in Frielingen zeigte in der Vegetationsperiode 2016 auch in Nordstemmen der Klon L18 den besten Wuchs und Klon L2 die schlechteste Entwicklung. Zum Zeitpunkt des Schröpfens (Ende August) hatte der Klon L2 im Durchschnitt nur eine Wuchshöhe von 1 m erreicht, wohingegen die Klone L6 und L18 zu diesem Zeitpunkt im Durchschnitt schon die doppelte Wuchshöhe hatten.



*Abbildung 44: Nesselbestands-Neuanlage Versuchsfeld Frielingen am 27.10.2016.*

Eine Beerntung zur weiteren Verarbeitung von Nesselstroh erfolgte entsprechend des frühen Entwicklungsverlaufes nicht.

### **Entwicklungsverlauf im zweiten Standjahr**

Im Versuchsjahr 2017 gingen am Standort Frielingen, wie auch schon im Vorjahr, L18 und Z10 im Frühjahr am zügigsten und besten in den Wuchs. Dies zeigten auch die Erhebungen zur Flächenbedeckung, die 2017 in der 14. und 18. Kalenderwoche durchgeführt wurden. Zum Messzeitpunkt 34. Kalenderwoche (Erntezeitpunkt) hatte L18 im Durchschnitt eine Wuchshöhe von 245,5 cm erreicht und Z10 eine Wuchshöhe von durchschnittlich 244,9 cm. Der L6-Bestand hatte bis zum Erntezeitpunkt im Durchschnitt nur eine Wuchshöhe von 225,1 cm erreicht und der L2-Bestand lag mit durchschnittlich 201,2 cm nochmals um mehr als 20 cm darunter. In der letzten Messung (34. Kalenderwoche) zur Wuchshöhe zeigte sich in Bezug auf die beiden Pflanzdichten (2 bzw. 3 Stecklinge pro m<sup>2</sup>) bei den Klonen L18 und Z10 auch leichte Unterschiede. Beim Klon L18 wurde mit der niedrigeren Pflanzdichte eine im Durchschnitt um 12,2 cm niedrigere Wuchshöhe gemessen,

beim Klon Z10 mit der niedrigeren Pflanzdichte eine im Durchschnitt um 13,6 cm höhere Wuchshöhe (Abbildung 45).

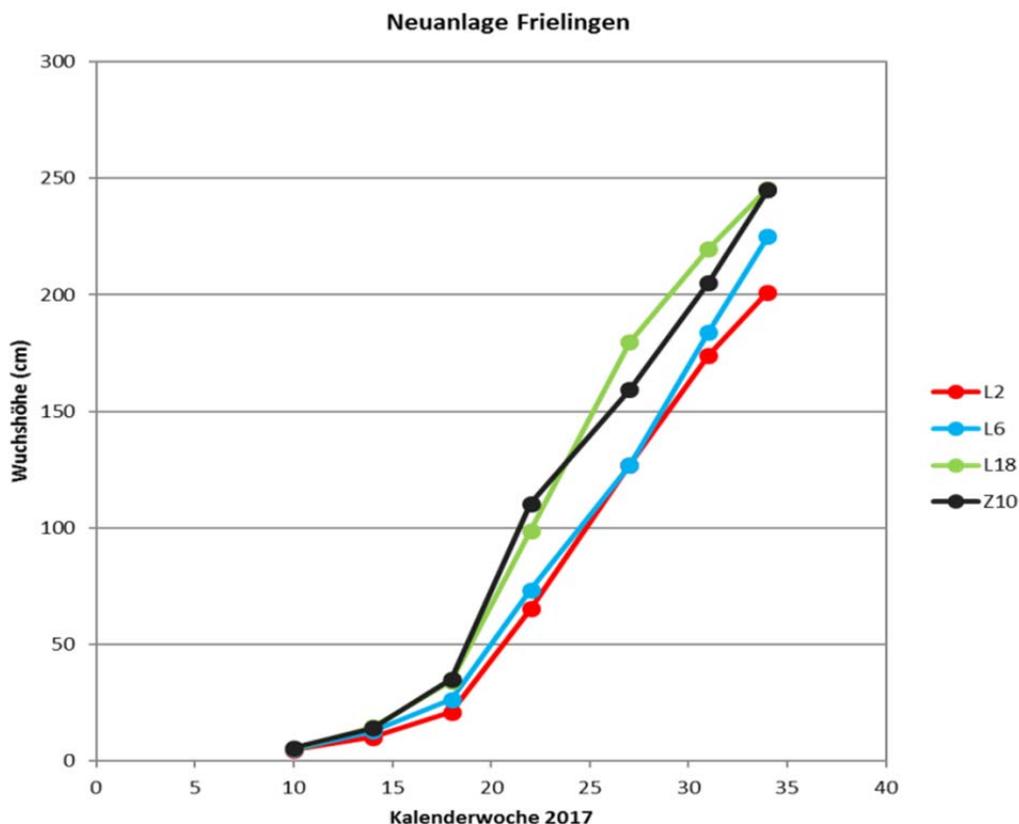


Abbildung 45: Durchschnittliche Wuchshöhe der Klone (L2, L6 und L18 sowie Z10) der Neuanlagen in Frielingen 2017 (je  $n = 20$ ).

2017 wurden auch Auszählungen zur Anzahl der Triebe als wiederholte Messung in der 22., 27. und 31. Kalenderwoche durchgeführt. Die dabei erhobenen Daten zeigen erkennbare Unterschiede zwischen den Klonen. In der Pflanzdichte B1 (2 Stecklinge pro  $m^2$ ) ergab sich für den Klon L2 ein durchschnittlicher Wert von 96 Triebe pro  $m^2$ . Für die anderen Klone ergaben sich in der Reihung L6, L18 und Z10 jeweils höhere Werte, 110, 117 bzw. 134 Triebe pro  $m^2$ . Auch in der Pflanzdichte B2 (3 Stecklinge pro  $m^2$ ) wurden für L2 mit 100 Trieben pro  $m^2$  im Durchschnitt die niedrigsten Werte ermittelt. L6 und L18 hatten mit 104 bzw. 106 ausgezählten Trieben pro  $m^2$  ähnliche Werte. Z10 zeigte in der Pflanzdichte B2 mit 123 ausgezählten Trieben pro  $m^2$  die höchsten Werte. Zu erkennen ist aber auch, dass in der Bestandsdichte B2 für die Klone L6, L18 und Z10 weniger Triebe pro  $m^2$  ausgezählt wurden als in der Bestandsdichte B1 (Abbildung 47).

Eine Fotoserie vermittelt einen Eindruck der Anbauflächen der einzelnen Klone (L2, L6, L18 und Z10) differenziert nach Pflanzdichten (B1 und B2) zum Messzeitpunkt 31.05.2017 (22. Kalenderwoche) (Abbildung 46).



Klon L2, Pflanzdichte 1, am 31.05.2017



Klon L2, Pflanzdichte 2, am 31.05.2017



Klon L6, Pflanzdichte 1, am 31.05.2017



Klon L6, Pflanzdichte 2, am 31.05.2017



Klon L18, Pflanzdichte 1, am 31.05.2017



Klon L18, Pflanzdichte 2, am 31.05.2017



Klon Z10, Pflanzdichte 1, am 31.05.2017



Klon Z10, Pflanzdichte 2, am 31.05.2017

Abbildung 46: Fotoserie der Neuanlagen am Standort Frielingen am 31.05.2017.

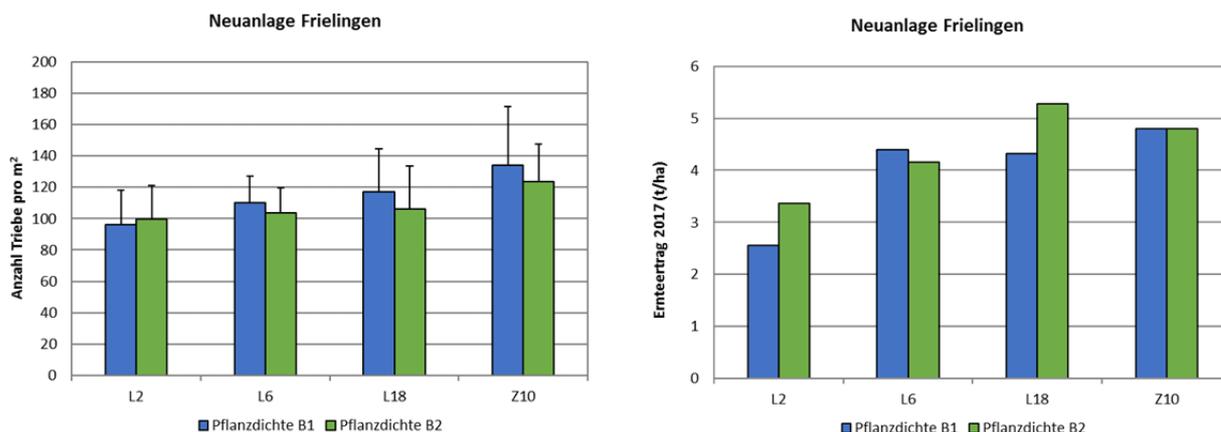


Abbildung 47: Anzahl Triebe pro m<sup>2</sup> der Klone (L2, L6, und L18 sowie Z10) auf der Versuchsfäche der Neuanlage in Frielingen sowie Ertragsmessung zum Zeitpunkt der Balleneinlagerung (Neuanlage) 2017 (n = 1).

Zum Zeitpunkt des Ernteschnitts (34. Kalenderwoche) wurden die Durchmesser der Stängel gemessen. In Bezug auf den Stängeldurchmesser zeigte sich, dass der Klon Z10 mit durchschnittlichen Werten von 10,3 und 9,9 mm für die Bestandsdichten B1 und B2 im Vergleich zu den anderen angebauten Klonen die dicksten Stängel aufwies. Zwischen den Klonen L2, L6 und L18 gab es mit Ausnahme des Klons L2 in Bestandsdichte B2 kaum Unterschiede. Bei diesen Klonen lag der Stängeldurchmesser zwischen 8,3 (L2/B2) und 9,2 mm (L2/B1).

2017 wurde die Neuanlage am Standort Frielingen das erste Mal beerntet und dabei auch erste Ertragswerte ermittelt. Der höchste, gemessene Ertrag ergab sich mit 5,3 t ha<sup>-1</sup> für die Parzelle L18/B2. Der Ertrag für die zweite Parzelle von L18 (L18/B1) lag mit 4,3 t ha<sup>-1</sup> um 1 t ha<sup>-1</sup> darunter. Z10 hatte in beiden Bestandsdichten die gleiche Ertragsermittlung von 4,8 t ha<sup>-1</sup>. Für L6 ergaben sich Werte zwischen 4,2 (B2) und 4,4 t ha<sup>-1</sup> (B1). Von den Parzellen des Klons L2 wurden mit 2,6 t ha<sup>-1</sup> (B1) und 3,4 t ha<sup>-1</sup> (B2) die geringsten Erntemengen geerntet (Abbildung 47).

Ähnlich wie auf den Versuchsfächen in Frielingen zeigte in der Vegetationsperiode 2017 auch am Standort Nordstemmen der Klon L18 die beste und Klon L2 die schlechteste Wachstumsleistung. Zum Schnittzeitpunkt (34. Kalenderwoche) hatte L18 im Durchschnitt eine Wuchshöhe von 244 cm erreicht und L2 nur eine Wuchshöhe von durchschnittlich 177 cm. Der L6-Bestand wuchs bis zum Schnittzeitpunkt im Durchschnitt auf eine Höhe von 207 cm. In der letzten Messung (34. Kalenderwoche) zeigten sich in Bezug auf die Pflanzdichte bei den Klonen L2 und L6 leichte Unterschiede. Jeweils auf der Fläche mit der niedrigeren Pflanzdichte (B1) wurde bei beiden Klonen eine im Durchschnitt um 19 (L2) bzw. 21 cm (L6) höhere Wuchshöhe gemessen (Abbildung 48).

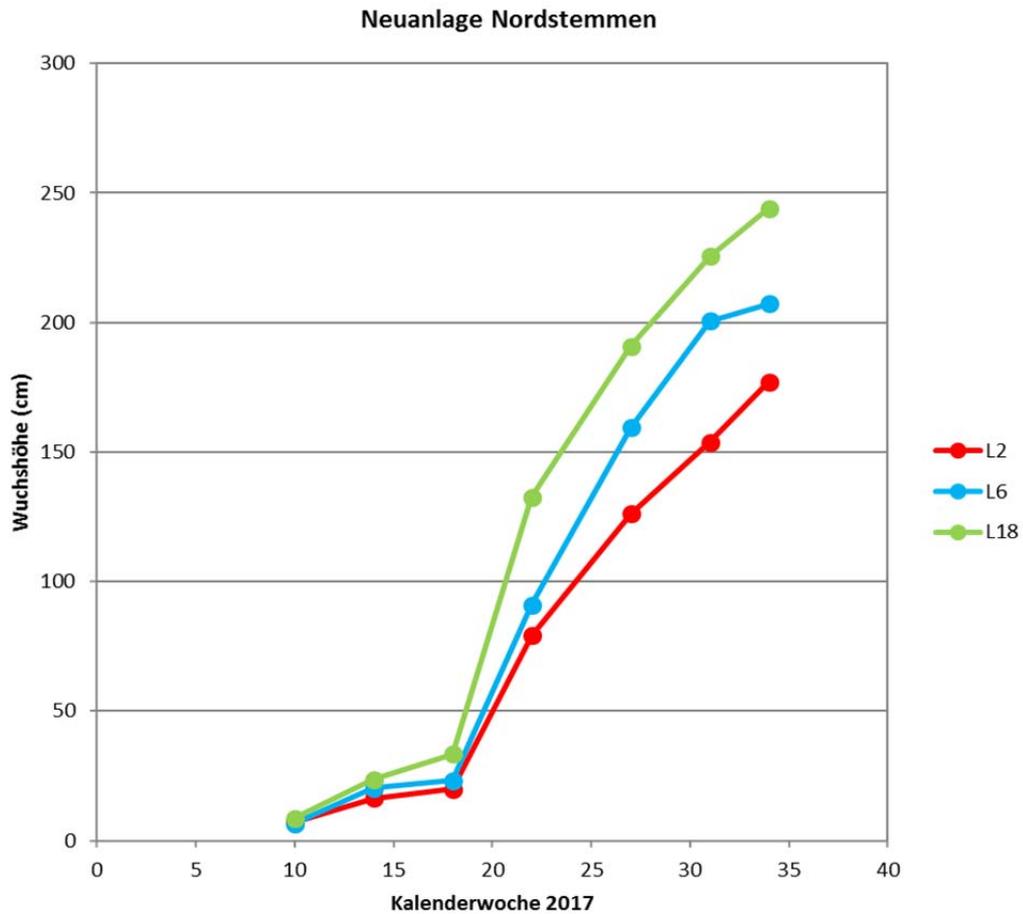


Abbildung 48: Durchschnittliche Wuchshöhe der Klone (L2, L6 und L18) auf den Neuanlagen in Nordstemmen 2017 (je n = 20).

Auch am Standort Nordstemmen wurden Daten zur Anzahl Triebe pro Quadratmeter erhoben. Auch hier zeigten sich im Vergleich zu den anderen angebauten Klonen für L2 mit durchschnittlich 82 (B1) bzw. 100 Trieben pro m<sup>2</sup> (B2) die niedrigsten Werte. Für die anderen beiden Klone (L6 und L18) ergab sich im Durchschnitt eine Anzahl von 126 bzw. 123 Trieben pro m<sup>2</sup> (Abbildung 49).

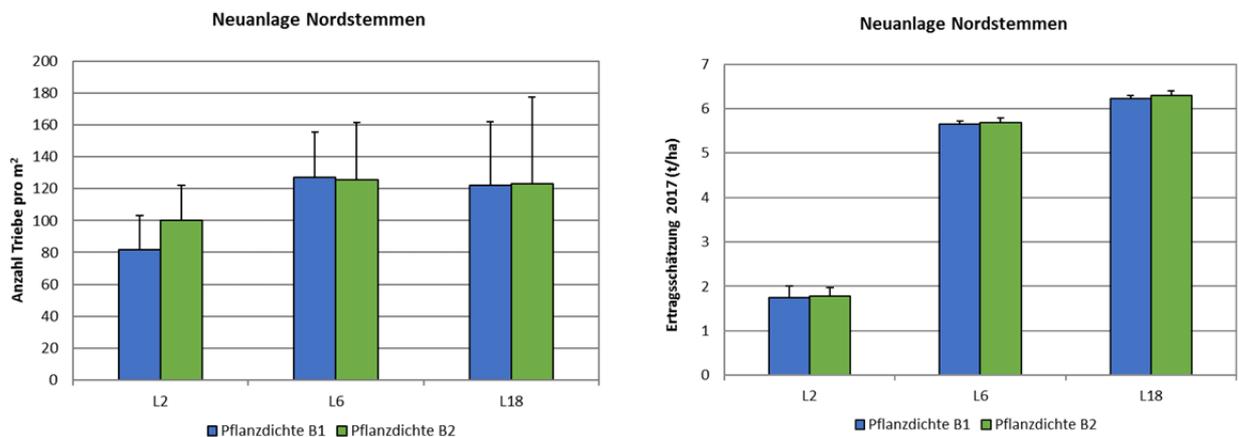


Abbildung 49: Anzahl Triebe pro m<sup>2</sup> der Klone (L2, L6 und L18) auf der Versuchsfläche Nordstemmen (Neuanlage) 2017 (3 Messtermine, n = 30, Mittelwert und Standardabweichung) sowie Ertragsschätzung am 13.10.2017 (n = 3, Mittelwert und Standardabweichung).

Die nachfolgende Fotoserie zeigt die Fasernesselbestände zum Messzeitpunkt 04.08.2017 (31. Kalenderwoche), wobei zwischen dem Klon L6 und L18 optisch keine Unterschiede erkennbar waren (Abbildung 50).

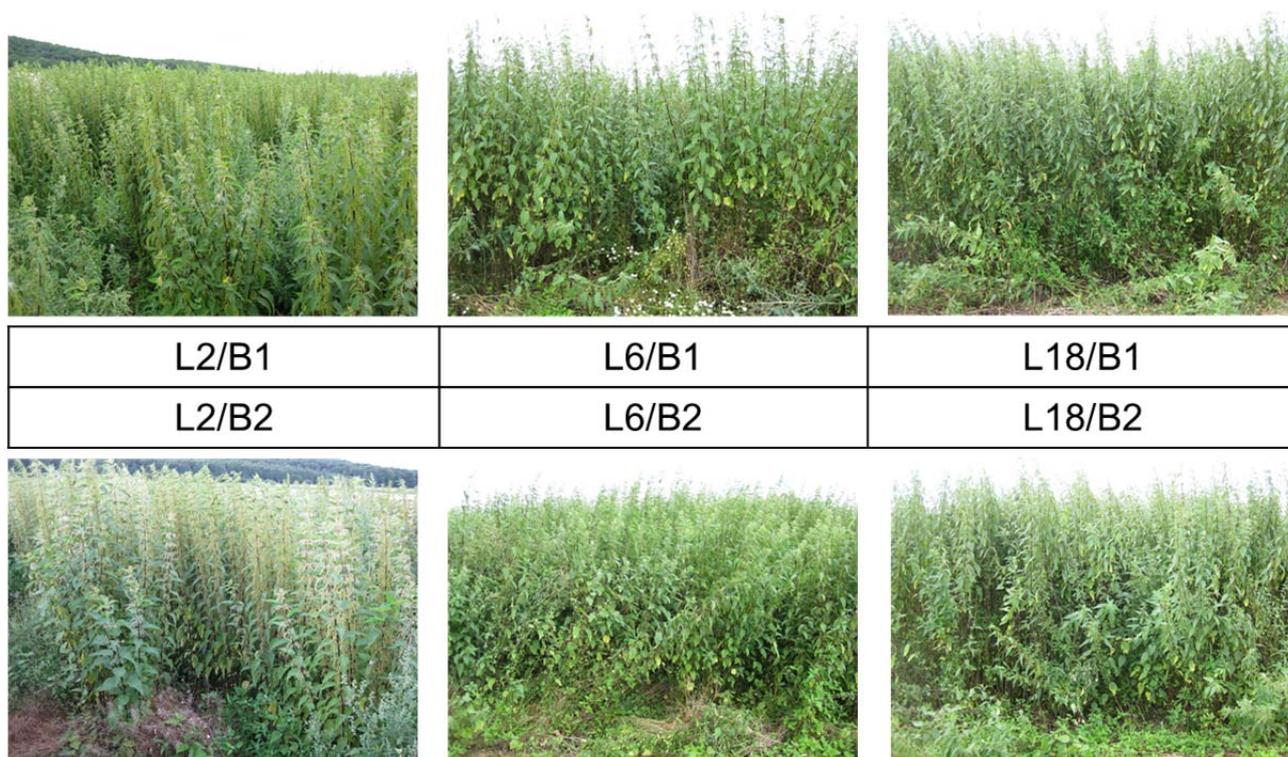


Abbildung 50: Fotoserie der Neuanlagen am Standort Nordstemmen im August 2017.

In Bezug auf die gemessenen Stängeldurchmesser ergaben sich für alle drei angebaute Klone in der niedrigeren Bestandsdichte (B1) im Vergleich zur höheren Bestandsdichte (B2) dickere Stängeldurchmesser. Beim Klon L6 und L18 ergaben sich in der Bestandsdichte B1 ein ähnlicher Durchmesser von durchschnittlich 13,5 bzw. 13,4 mm. L2 erreichte in der Bestandsdichte B1 nur einen durchschnittlichen Stängeldurchmesser von 9,6 mm. Mit der höheren Bestandsdichte wurde für L2 im Durchschnitt ein Stängeldurchmesser von 9,2 mm gemessen. L6 hatte in der Bestandsdichte B2 im Vergleich zu den anderen Klone mit 11,2 mm den dicksten Stängeldurchmesser wohingegen L18 in der Bestandsdichte B2 nur noch einen durchschnittlichen Stängeldurchmesser von 7,7 mm aufwies.

Aufgrund der sehr ungünstigen Witterungsverhältnisse (nasser Boden, zu viel Niederschlag, zu wenig Sonne) konnte die Ernte aus der Neuanlage am Standort Nordstemmen leider nicht gepresst und eingelagert werden. Im langjährigen Mittel hätte man für die Monate Juli bis September eine Niederschlagsmenge von 191 mm erwartet, 2017 gab es aber in diesem Zeitraum mit in der Summe 465 mm Niederschlag mehr als doppelt zu viel Niederschlag. Am 13.10.2017 wurde vom Betriebsleiter eine Ertragsabschätzung durchgeführt. Die höchsten Erträge wurden mit 6,2 bzw. 6,3 t ha<sup>-1</sup> für die beiden Parzellen (B1 und B2) des Klons L18 ermittelt. Für die beiden Parzellen des Klons L6 ergaben sich Werte von 5,6 bzw. 5,7 t ha<sup>-1</sup>. Im Vergleich dazu ergaben sich für die Parzellen des Klons L2 nur 1/3 der für L6 und L18 ermittelten Werte, d.h. Werte von 1,7 bzw. 1,8 t ha<sup>-1</sup> (Abbildung 49). In Bezug auf die am Standort Nordstemmen ermittelten Ertragswerte ist zu berücksichtigen, dass der Feuchtegehalt der Stängel im Durchschnitt aber bei ca. 43% lag.

## Vergleich zwischen Anbauflächen Frielingen und Nordstemmen

Die Abbildung 51 zeigt die Wuchshöhen der an beiden Standorten angebauten Klone (L2, L6 und L18) jeweils im Vergleich für 2017. Im direkten Vergleich zeigt sich, dass Klon L2 am Standort Frielingen nach der 18. Kalenderwoche stetig wuchs und zum Erntezeitpunkt (34. Kalenderwoche) mit 201 cm 24 cm über der durchschnittlichen Höhe für L2 am Standort Nordstemmen lag. Auch für L6 konnten am Standort Frielingen im Vergleich zum Standort Nordstemmen zum Erntezeitpunkt höherer Wuchshöhen gemessen werden, 225 cm versus 207 cm. Zwischen der 18. und 32. Kalenderwoche lag die gemessene Wuchshöhe am Standort Frielingen für L6 aber immer unter der vom Standort Nordstemmen. Ähnliches zeigte sich in den Messwerten zu L18 an den beiden Standorten. Im Vegetationsverlauf 2017 lagen die Werte am Standort Frielingen meistens unter denen vom Standort Nordstemmen. Zum Erntezeitpunkt wurde aber an beiden Standorten die gleiche Wuchshöhe gemessen (245 cm).

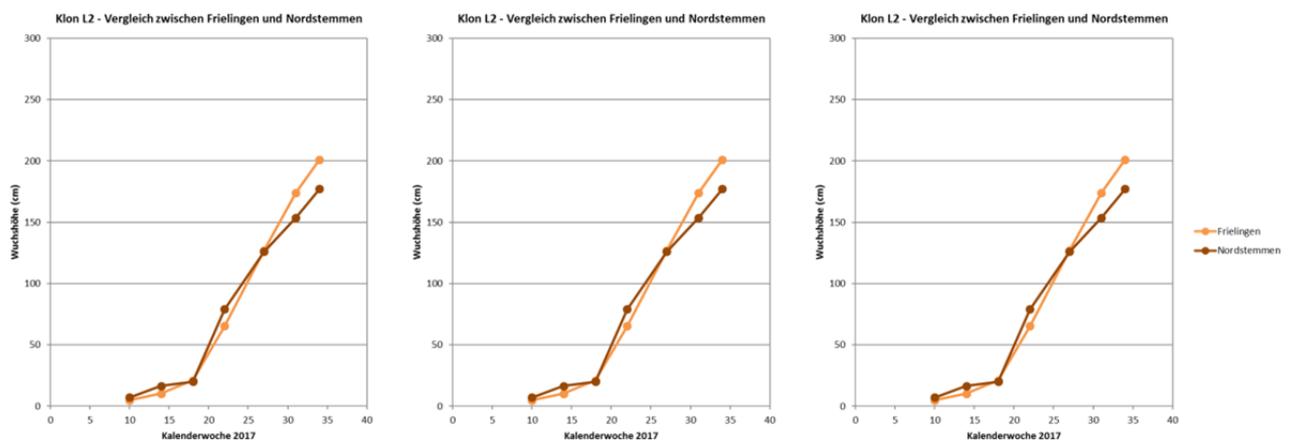


Abbildung 51: Durchschnittliche Wuchshöhe des Klone L2, L6 und L18 auf den beiden Versuchsfeldern Nordstemmen und Frielingen (Neuanlagen) 2017 (jeweils  $n = 20$ ).

In Abbildung 52 sind die Werte für die ausgezählte Anzahl an Trieben pro Fläche für die angebauten Klone (L2, L6 und L18) in der Bestandsdichte B1 auf den beiden Versuchsfeldern Nordstemmen und Frielingen gegenübergestellt. Für den Klon L2 wurden am Standort Frielingen 96 Triebe pro  $m^2$  ausgezählt, wohingegen am Standort Nordstemmen bei der gleichen Bestandsdichte nur 82 Triebe pro  $m^2$  ausgezählt wurden. Im Gegensatz dazu wurden für den Klon L6 am Standort Frielingen 110 Triebe pro  $m^2$  ermittelt und am Standort Nordstemmen ein um 17 Triebe höherer Wert von insgesamt 127 Triebe pro  $m^2$ . Für den Klon L18 ergab sich in der Anzahl Triebe pro Fläche kein Standortunterschied, 117 (Standort Frielingen) versus 122 Triebe pro  $m^2$  (Standort Nordstemmen).

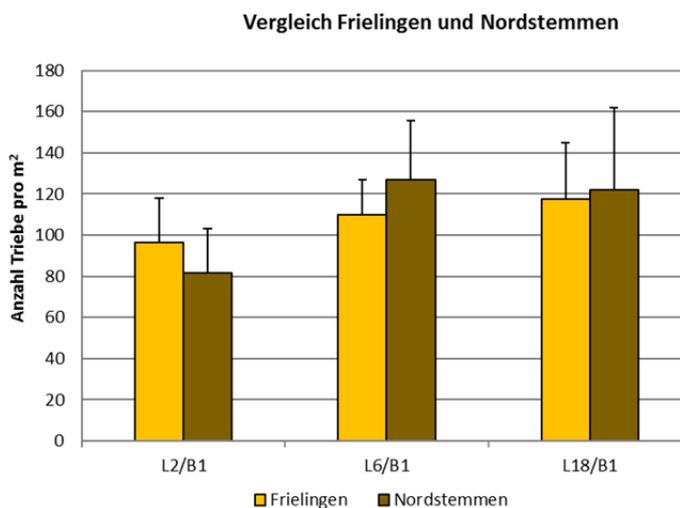


Abbildung 52: Anzahl Triebe pro m<sup>2</sup> der Klone (L2, L6 und L18) in der Bestandsdichte B1 auf den beiden Versuchsf lächen Nordstemmen und Frielingen (Neuanlagen) 2017 (3 Mess-terme, n = 30, Mittelwert und Standardabweichung).

In Abbildung 53 sind für die höhere Bestandsdichte (B2) die Werte für die ausgezählte Anzahl an Trieben pro Fläche für L2, L6 und L18 an den beiden Standorten Nordstemmen und Frielingen gegenübergestellt. Für den Klon L6 ergaben sich mit durchschnittlich 100 Triebe pro m<sup>2</sup> für die Bestandsdichte B2 keine Standortunterschiede in der ausgezählten Anzahl Triebe pro Fläche. Anders sah es für die beiden Klone L6 und L18 aus. Für beide Klone wurden am Standort Nordstemmen im Vergleich zum Standort Frielingen höhere Werte ermittelt, 126 versus 104 Triebe pro m<sup>2</sup> (L6) und 123 versus 106 Triebe pro m<sup>2</sup> (L18).

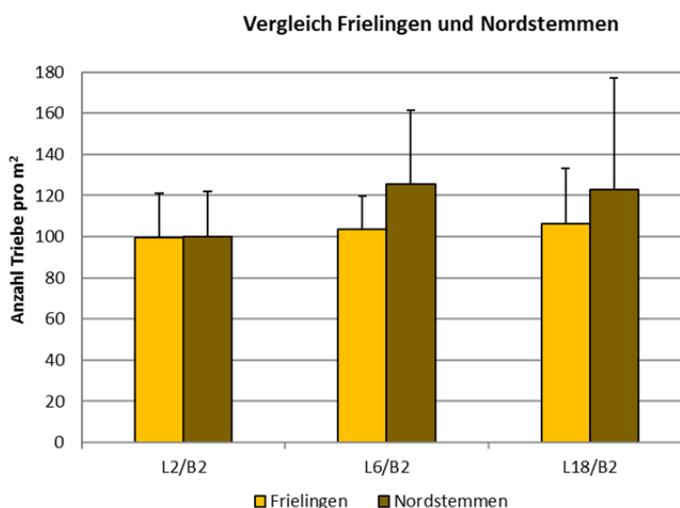


Abbildung 53: Anzahl Triebe pro m<sup>2</sup> der Klone (L2, L6 und L18) in der Bestandsdichte B2 auf den beiden Versuchsf lächen Nordstemmen und Frielingen (Neuanlagen) 2017 (3 Mess-terme, n = 30, Mittelwert und Standardabweichung).

In Abbildung 54 und Abbildung 55 sind die zum Schnittzeitpunkt ermittelten Stängeldurchmesser im Standortvergleich gegenübergestellt. Abbildung 54 gibt die Werte zum Stängeldurchmesser für die angebauten Klone in der Bestandsdichte B1 wieder, Abbildung 55 für die Bestandsdichte B2. In der Bestandsdichte B1 ist augenfällig, dass sich die Stängeldurchmesser der Klone L2, L6 und

L18 am Standort Frielingen, mit Werten von 9,2, 9,0 bzw. 8,9 mm, nicht groß unterscheiden. Für den Klon L2 unterschied sich der Stängeldurchmesser am Standort Nordstemmen nicht groß vom Standort Frielingen, 9,6 versus 9,2 mm. Für die beiden anderen Klone (L6 und L18) wurden aber am Standort Nordstemmen um einiges größere Stängeldurchmesser ermittelt, 13,5 versus 9,0 mm (L6) und 13,4 versus 8,9 mm (L18).

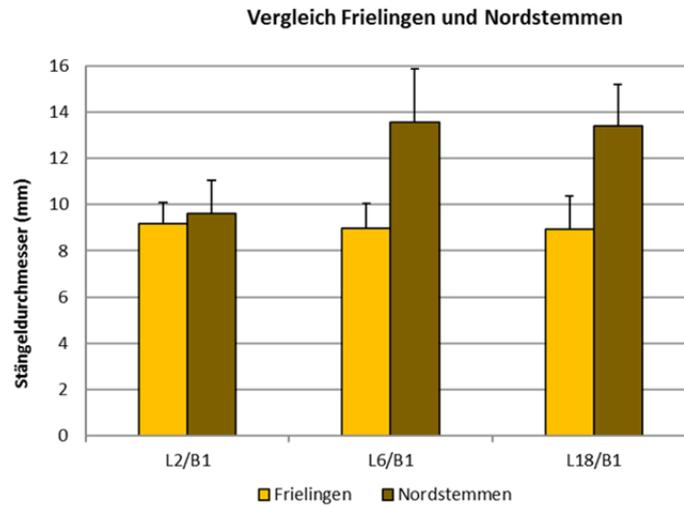


Abbildung 54: Stängeldurchmesser zum Ernteschnitt der Klone (L2, L6 und L18) in der Bestandsdichte B1 auf den beiden Versuchsfeldern Nordstemmen und Frielingen (Neuanlagen) 2017 ( $n = 10$ , Mittelwert und Standardabweichung).

In der höheren Bestandsdichte (B2) waren die Standortunterschiede nicht so ausgeprägt (Abbildung 55). Mit Ausnahme für L6 am Standort Nordstemmen lagen auch alle ermittelten Stängeldurchmesser unter 10 mm. Der ermittelte Wert für L18 am Standort Nordstemmen lag sogar unter 8 mm.

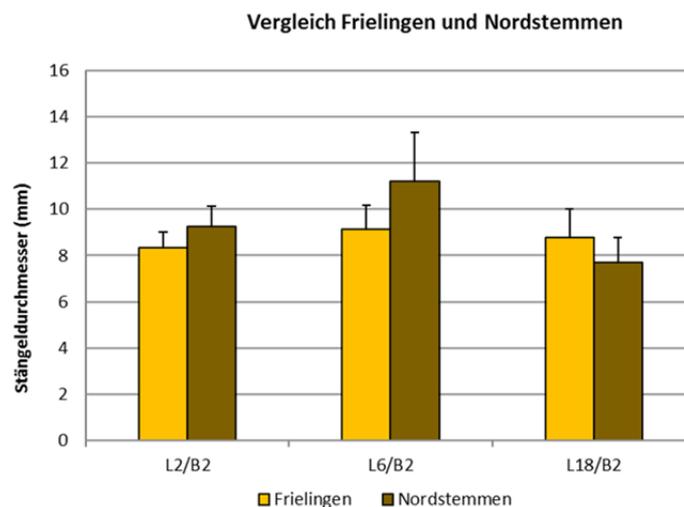


Abbildung 55: Stängeldurchmesser zum Ernteschnitt der Klone (L2, L6 und L18) in der Bestandsdichte B2 auf den beiden Versuchsfeldern Nordstemmen und Frielingen (Neuanlagen) 2017 ( $n = 10$ , Mittelwert und Standardabweichung).

In Abbildung 56 und Abbildung 57 sind die ermittelten Ernteerträge für die Klone L2, L6 und L18 für die beiden Anbaustandorte gegenübergestellt. Für den Standort Nordstemmen erfolgte nur eine Ertragsschätzung, da das Stroh aufgrund zu hoher Niederschlagsmengen und damit einhergehender extremer Vernässung des Bodens und Pflanzenmaterials Regenfälle nicht gepresst und eingelagert werden konnte. Das Probenmaterial für die Ertragsschätzungen am Standort Nordstemmen hatte einen Feuchtegehalt von ca. 43%. Um die Ertragsdaten der beiden Standorte vergleichbar zu machen, wurden die Ertragsmengen vom Standort Nordstemmen auf einen Feuchtegehalt von 13% umgerechnet. 13% Feuchte entsprach dem durchschnittlichen Wert für das Erntegut am Standort Frielingen.

Aus der Abbildung 56 ist zu entnehmen, dass sich in der Bestandsdichte B1 die Ertragsmengen zwischen den beiden Standorten nur für den Klon L2 gravierend unterschieden. Am Standort Frielingen wurden für den Klon L2 2,6 t ha<sup>-1</sup> Ertrag ermittelt, am Standort Nordstemmen aber nur ein um mehr als die Hälfte niedrigerer Ertrag von rund 1,2 t ha<sup>-1</sup>. Für den Klon L6 ergab sich am Standort Frielingen ein Ertragswert von 4,4 t ha<sup>-1</sup> am Standort Nordstemmen ein Wert von 4,0 t ha<sup>-1</sup>. Noch geringer waren die Ertragsunterschiede für den Klon L18, 4,3 (Standort Frielingen) versus 4,4 t ha<sup>-1</sup> (Standort Nordstemmen).

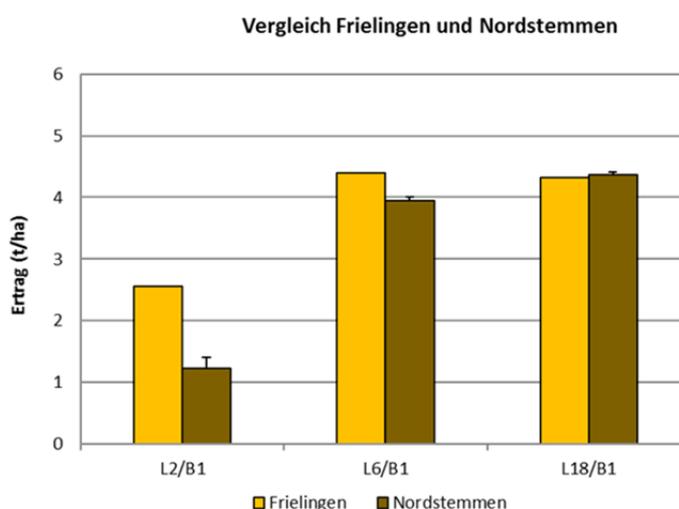


Abbildung 56: Ertrag der Klone (L2, L6 und L18) in der Bestandsdichte B1 auf den beiden Versuchsfeldern Nordstemmen und Frielingen (Neuanlagen) 2017 ( $n = 1$  (Frielingen) bzw.  $n = 3$ , Mittelwert und Standardabweichung (Nordstemmen)).

In der Bestandsdichte B2 sah es im Standortvergleich für den Klon L2 ähnlich aus (Abbildung 57). Am Standort Frielingen wurden für den Klon L2 ein Ertrag von 3,4 t ha<sup>-1</sup> ermittelt wohingegen am Standort Nordstemmen der ermittelte Ertrag nur bei 1,2 t ha<sup>-1</sup> lag. Auch für den Klon L18 ergaben sich im Vergleich zum Standort Nordstemmen am Standort Frielingen erkennbar höhere Erträge, 5,3 (Standort Frielingen) versus 4,4 t ha<sup>-1</sup> (Standort Nordstemmen). Für den Klon L6 wurden keine Unterschiede zwischen den Standorten ermittelt, 4,2 (Standort Frielingen) versus 4,0 t ha<sup>-1</sup> (Standort Nordstemmen).

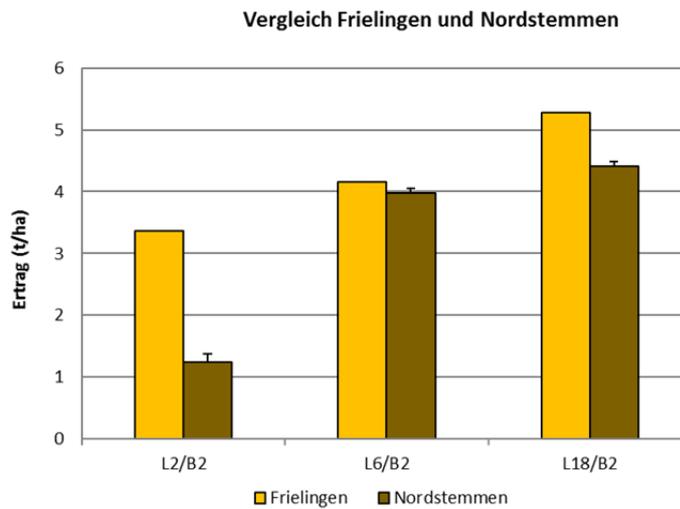


Abbildung 57: Ertrag der Klone (L2, L6 und L18) in der Bestandsdichte B2 auf den beiden Versuchsfeldern Nordstemmen und Frielingen (Neuanlagen) 2017 ( $n = 1$  (Frielingen) bzw.  $n = 3$ , Mittelwert und Standardabweichung (Nordstemmen)).

Für Untersuchungen zum Fasergehalt und zur Faserqualität am Faserinstitut Bremen e.V. wurden zum Schnitzeitpunkt Proben von allen Anbauparzellen der beiden Standorte geholt und an einem gemeinsamen Lagerplatz am Standort Frielingen (Abbildung 58) geröstet. Die Proben wurden im Faserinstitut in Bremen auf Fasergehalt und Faserqualität untersucht.



Proben **Standort Frielingen**  
(Schnitt: 21.8.2017)

Proben **Standort Nordstemmen**  
(Schnitt: 24.8.2017, am Tag der Fotoaufnahme)

Abbildung 58: Stängeleinzelproben aus der Ernte 2017.

### Entwicklungsverlauf im dritten Standjahr

Die Bestandsentwicklung wurde auf der Versuchsfeldfläche Frielingen während der gesamten Vegetationsperiode 2018 bis zum Vegetationsende dokumentiert, ebenso auf der Versuchsfeldfläche Nordstemmen mit Ausnahme der Monate Juni und Juli. An beiden Standorten wurden die Bestände in der Ernteperiode (Juli/August) für die Bereitstellung der Nesselstrommengen gemäht. Proben zur

Bestimmung der Fasergehalte und Faserqualitäten wurden von der Versuchsfläche Nordstemmen genommen.

Die hohe Wassersättigung der Böden im Frühjahr 2018 ist bedingt durch die extremen Niederschläge des Vorjahres. Es kam auf beiden Standorten zu einer verzögerten, aber dennoch sehr positiven Pflanzenentwicklung (Tabelle 4).

Die Klone Z10 und L18 zeigten in Frielingen während der Vegetationszeit das beste Längenwachstum auf. Beide Klone wiesen in 2018 jedoch einen deutlich lückigeren Bestand als im Vorjahr auf, was sich vermutlich auf die hohen Niederschläge Ende 2017 und Januar 2018 zurückführen lässt. Am letzten Boniturtermin vor der Ernte weist der Klon L18 das beste Wachstum mit 178 bis 185 cm Wuchshöhe auf. Die Z10 und L6 Klone erreichten im Mittel ca. 15 cm weniger Wuchshöhe und der L2 Klon zeigte, wie in den Vorjahren, mit nur 125 cm Wuchshöhe die schwächste Entwicklung.

*Tabelle 4: Pflanzenentwicklung/ Wuchshöhe in cm (Frielingen), Durchschnittslänge der Stängel in cm; Mittelwert aus 10 Messungen.*

Termin	Z10/B2	Z10/B1	L18/B2	L18/B1	L6/B2	L6/B1	L2/B2	L2/B1
09.05	37	40	58	41	39	51	45	46
06.06	120	125	133	135	107	119	90	91
04.07	147	140	159	169	130	148	112	115
05.08	159	164	178	185	146	162	125	126

Durch die extreme, langanhaltende Sommertrockenheit wurde der Nesselbestand bereits am 25.07.18 gemäht (ca. 3 - 4 Wochen eher als in den Vorjahren), da kein Zuwachs mehr zu erwarten war und deutliche Trockenschäden sichtbar wurden. Am 27.07.18 und 02.08.18 wurde das Nesselstroh gewendet, am 06.08.18 geschwadet und am 07.08.18 in Ballen gepresst. Dass es durch die extreme Witterung zur vorzeitigen Abreife der Bestände und auch zu keiner Röstphase auf dem Feld kam, wird voraussichtlich die Fasermenge- und Qualität beeinträchtigen. Von Ende August bis Mitte November 2018 wurde der Wiederaustrieb der Fasernessel dokumentiert. Am 12.11.18 fand die Abschlussbonitur des Wiederaustriebs statt. Die Klone erreichten bis zu diesem Datum Wuchshöhen zwischen 12,4 bis 15,8 cm. Die niedrigste Wuchshöhe erzielte dabei der Klon L18/B2. Die höchste Wuchshöhe erreichte der Klon L2/B1. Die anderen Klone erreichten Wuchshöhen von 14 bis 15,3 cm. Insgesamt wiesen die Klone jedoch eine gleichmäßige Entwicklung vor Winter auf (Tabelle 5).

*Tabelle 5: Abschlussbonitur Pflanzenentwicklung/ Wuchshöhe in cm, Durchschnittslänge der Stängel in cm; Mittelwert aus 10 Messungen.*

Termin	Z10/B2	Z10/B1	L18/B2	L18/B1	L6/B2	L6/B1	L2/B2	L2/B1
11.12.	15	14	15,3	12,4	15,2	13,4	15,3	15,8

Die Nesselklone L6 in Bestandsdichte 1 zeigten vermehrt eine gelbliche Färbung der Blätter auf, was auf einen Nährstoffmangel deutet. Demgegenüber zeigten die Blätter der Nesselklone L2 in Bestandsdichte 2 ein dunkleres grün als die der restlichen Klone auf der Versuchsfläche, was auf den geringeren Entzug und Ertrag während der Hauptwachstumsphase hindeutet. Weiterhin war ein sehr dichter Nesselwuchs am östlichen Rand der Parzellen L2 B1 und L18 B2, sowie ein lückiger Bestand in der Parzelle L18 L2 südliche Begrenzung hin zu beobachten.

## Versuchsfläche Nordstemmen

Wie auch auf dem sandigen Standort in Frielingen ist der Entwicklungsverlauf in Nordstemmen im Jahr 2018 durch eine verzögerte, aber gleichmäßige Anfangsentwicklung gekennzeichnet. Nach einer wuchsstarken Phase von Ende April bis Anfang Juni folgte eine Stagnation der Pflanzenentwicklung durch die lange Dürreperiode. Der Klon L18 wies mit 157 cm die besten Wuchsleistungen auf und bildete in beiden Bestandsdichten einen sehr dichten und üppigen Bestand aus. Durch die schnelle Entwicklung des Klons in seiner Bestandsdichte, konnten sich nur wenige Begleitkräuter etablieren.

Aus Sicht der landwirtschaftlichen Praxisbetriebe ist dieses Wuchsverhalten äußerst positiv zu beurteilen, da der Pflegebedarf gering und die Gefahr der Minderung der Ertragsqualität durch eine Problemverkrautung (Distel, Klette) gemindert ist. Im Vergleich zum L18 Klon weisen die anderen Bestände eine deutlich ungleichmäßigere Bestandsdichte und Entwicklung auf

Der Klon L6 erreichte bis zum Erntetermin im Mittel eine Bestandshöhe von 153 cm und der Klon L2 wies im Mittel nur 113 cm Wuchshöhe auf. Beide Parzellen waren, wie bereits in den letzten Jahren, stark verunkrautet (Tabelle 6). Es kam vor allem beim L2 Klon zu starkem Disteldurchwuchs. Der Klon L2 erweist sich zudem als sehr kälteempfindlich.

Am 21.08.18 wurde der Nesselbestand gemäht. In KW 36 wurde das Nesselstroh in Ballen gepresst.

*Tabelle 6: Pflanzenentwicklung/ Wuchshöhe in cm (Nordstemmen), Durchschnittslänge der Stängel in cm; Mittelwert aus 10 Messungen.*

Termin	L18/B2	L18/B1	L6/B2	L6/B1	L2/B2	L2/B1
09.05.18	78	71	62	57	56	65
21.08.18	157	157	153	153	113	113

Für die Monate Juni und Juli liegen keine Daten vor.

## Vergleich der Versuchsflächen 2018

Aufgrund der extremen Witterungsverhältnisse fielen im Anbaujahr 2018 die Wuchsleistung der Klone und damit der Ertrag im Vergleich zum Vorjahr insgesamt geringer aus. Auf dem lehmigen Standort Nordstemmen konnte jedoch die Trockenphase besser ausgeglichen werden.

Im Mai ist die Wuchsleistung auf der Versuchsfläche Nordstemmen deutlich höher als in Frielingen (Abbildung 58). Die Bestandshöhe des leistungsstärksten Klon L18/B2 (Nordstemmen) liegt mit einer Differenz von 20 cm über dem Klon L18/B2 (Frielingen). Der Klon L18/B1 (Nordstemmen) liegt mit 30 cm über dem Klon L18/B1 (Frielingen). Der Klon L6 mit einer unregelmäßigen Entwicklung weist mit der Bestandsdichte B2 eine Differenz von 23 cm auf und mit der Bestandsdichte B1 eine Differenz von nur 6 cm. Bei L2 zeigt sich ein ähnliches Bild, mit einer Differenz von 10-20 cm in der Wuchshöhe zwischen den Standorten. Der nur noch auf der Versuchsfläche Frielingen angebaute Klon Z10 zeigte im Mai 2018 die späteste Entwicklung mit 37 cm Wuchshöhe in der Bestandsdichte B2 und mit 40 cm Wuchshöhe in der Bestandsdichte B1.

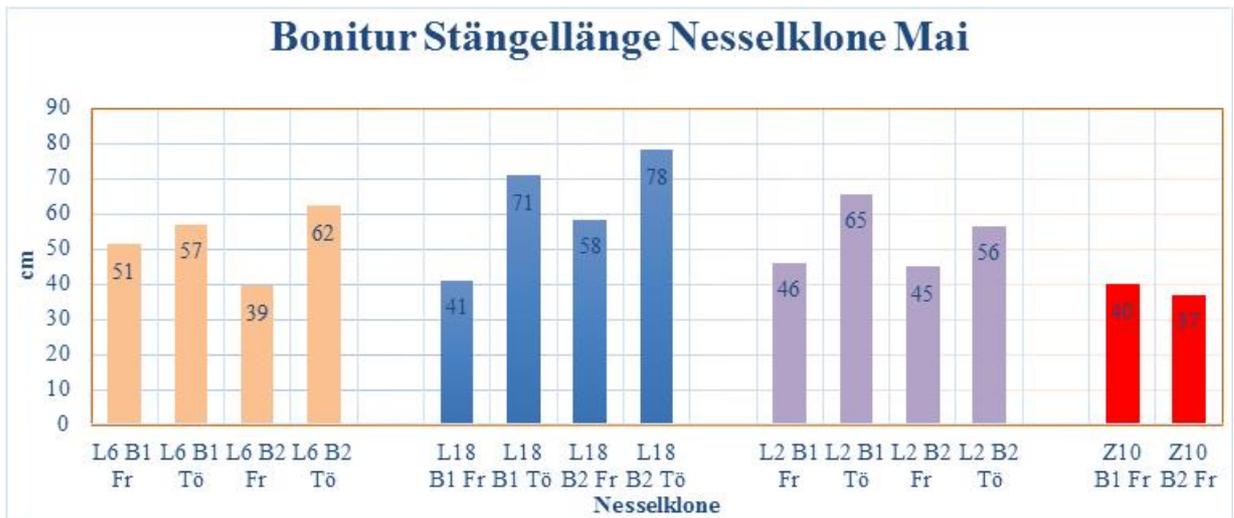


Abbildung 59: Durchschnittliche Wuchshöhe der Klone (L2, L6 und L18) differenziert nach Pflanzendichten (B1 und B2) auf den Versuchsfeldern Nordstemmen(Tö) und Frielingen(Fr) / Boniturtermin Mai.

Die sehr zügige Fröhsommerentwicklung wurde im Juni durch Messungen der Versuchsfeld Frielingen erfasst (Abbildung 60). Hier hat sich die Bestandeshöhe der Klone bei L2 und Z10 Klone im Vergleich zum Vormonat verdoppelt. Die Stängellängen von Klon L6 und Z10 Klon haben sich im gleichen Zeitraum fast verdreifacht. Bei den L18 Klone zeigt sich der Klon mit B1 am auffälligsten mit einer Wuchshöhenunterschied von 94 cm gegenüber dem Vormonat.

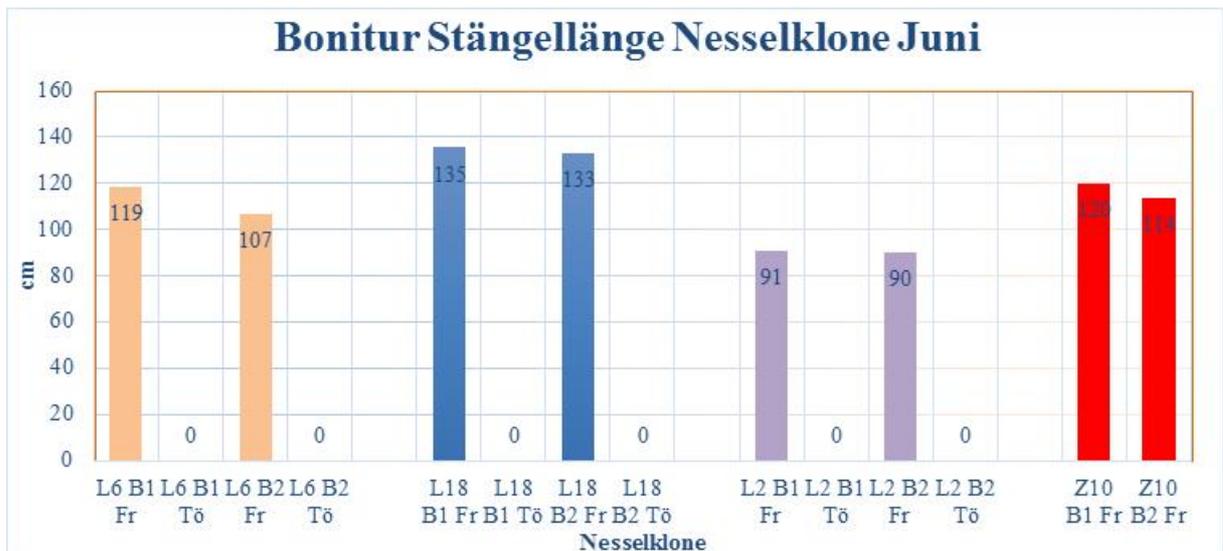


Abbildung 60: Durchschnittliche Wuchshöhe der Klone (L2, L6 und L18) differenziert nach Pflanzendichten (B1 und B2) auf der Versuchsfeld Frielingen(Fr)./ Boniturtermin Juni.

Im Juli setzt sich der Zuwachs deutlich verhaltener fort, wie die Messergebnisse der Versuchsfeld Frielingen zeigen (Abbildung 61). Die Klone erreichen einen Zuwachs von 21 cm (Klon L18/B2) bis 39 cm (Klon L6/B1) im Vergleich zum Vormonat.

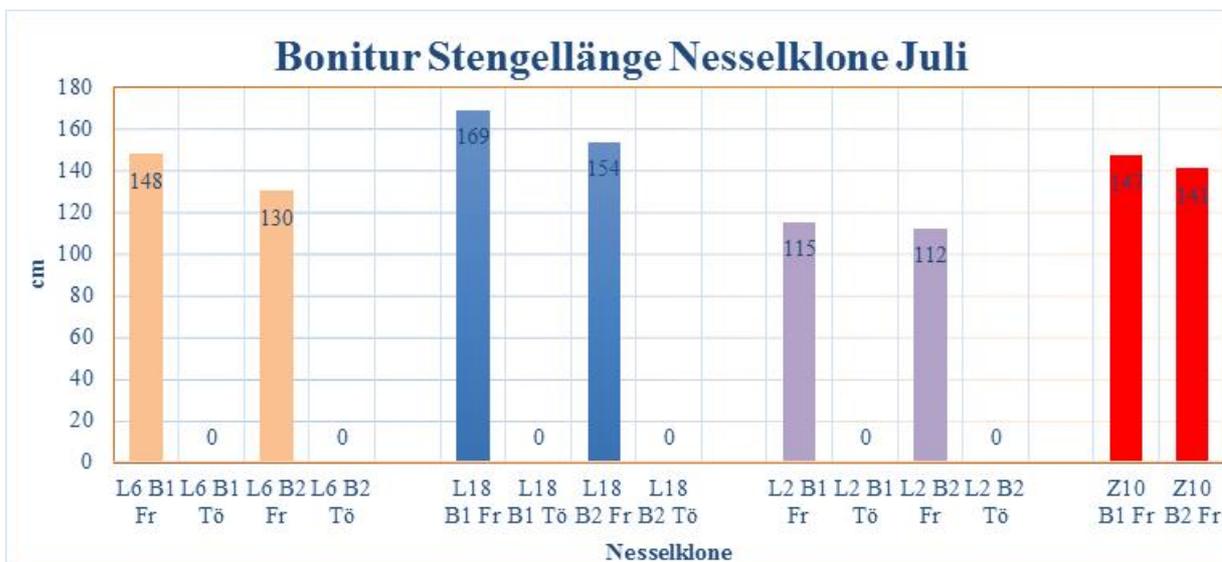


Abbildung 61: Durchschnittliche Wuchshöhe der Klone (L2, L6 und L18) differenziert nach Pflanzendichten (B1 und B2) auf der Versuchsfäche Frielingen(Fr)./ Boniturtermin Juli.

Durch den einsetzenden Trockenstress wird die Pflanzenentwicklung ab Mitte Juli und im August geprägt. (Abbildung 62), wobei der Zuwachs der L18 Klone mit 18 cm (L18/B1), mit 21 cm (L18/B2) und mit 49 cm (L2/B1) noch recht hoch ist. Der Klon L18 weist hinsichtlich der Wuchsleistung mit Stängellängen zwischen 157 cm und 185 cm erneut die beste Entwicklung auf. Die Klone L2 und L6 zeigen vergleichbare Zuwächse um 20 cm, erreichen aber überwiegend geringere Stängellängen. Eine Ausnahme bildet hier die Parzelle L6 B1 mit rund 162 cm Stängellänge.

Die Z10 Klone haben sich über den gesamten Zeitraum am Standort Frielingen gleichmäßig entwickelt und weisen mit 159 bis 162 cm eine gute Wuchsleistung auf.

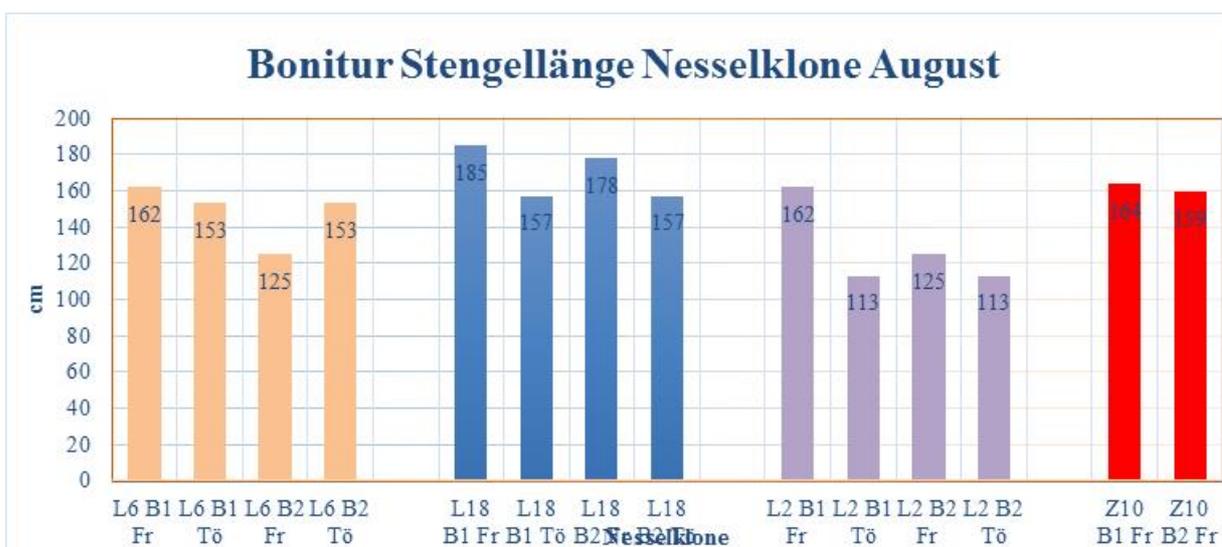


Abbildung 62: Durchschnittliche Wuchshöhe der Klone (L2, L6 und L18) differenziert nach Pflanzendichten (B1 und B2) auf den Versuchsfächen Nordstemmen(Tö) und Frielingen(Fr)./ Boniturtermin August

## Vergleich der Ernteerträge 2018

Die Beerntung erfolgte wie in den Vorjahren mit landwirtschaftlicher Erntetechnik. Es wurden die Stroherträge der Einzelparzellen in Quaderballen gepresst und deren Gewicht bestimmt. Bei der Beerntung sind die zum Teil erhöhten Begleitkrautanteile der Parzellen miterfasst, sodass es sich hier nicht um den Fasernesselreinertrag handelt. Das Gesamtgewicht der geernteten Fasernesselballen der Versuchsfläche Frielingen lag bei 4680 kg, wobei der Ertragsanteil der Klone L2, L6 und L18 – ohne den Z10 Klon – insgesamt 4.301 kg (mit Beikrautbekämpfung) betrug (Tabelle 7).

Tabelle 7: Ernteertrag Versuchsfläche Frielingen 2018.

Klon	L6/B1	L6/B2	L18/B1	L18/B2	L2/B1	L2/B2	Z10/B1	Z10/B2
Gewicht kg	800	760	900	600	420	300	520	380
Anzahl Bunde*	3,75	3,5	5	3,5	2,25	1,5	2,75	2
kg/Bund	213	217	180	172	187	200	189	190

\*in Quaderballen gepresst; Gesamtgewicht 4680 kg auf ca. 2 ha Fläche; 0,25 ha pro Parzelle

Das Gesamtgewicht der geernteten Fasernesselballen der Versuchsfläche Nordstemmen lag bei 5.917 kg, wobei eine hohe Begleitverkrautung in den Parzellen der Klone L2 und L6 vorhanden war (Tabelle 8). Ertragsbeeinflussend wirkten auch eine höhere Verunkrautung, die insbesondere in Teilbereichen (Klon L6 und L2) in Nordstemmen zu verzeichnen war. So konnte der L2 Klon aus Nordstemmen nicht für eine Weiterverarbeitung durch die NFC GmbH akzeptiert werden, da mehr als 20% Beikraut enthalten waren. Eine mechanische Beikrautbekämpfung durch die Landwirte ist für den Praxisanbau daher zwingend erforderlich.

Tabelle 8: Ernteertrag Versuchsfläche Nordstemmen 2018.

Klon	L6/B1	L6/B2	L18/B1	L18/B2	L2/B1	L2/B2
Gewicht kg	1391	1293	1258	1562	1422	352
Anzahl Bunde*	5	5	5	6	4	4,5
kg/Bund	278,2	258,6	251,6	260,3	355,5	78,2

\*in Rundballen gepresst; Gesamtgewicht: 5917 kg von ca. 1,5 ha Fläche; 0,25 ha pro Parzelle

Den Ertrag auf den Hektar umgerechnet, ist die unterschiedliche Ertragsvarianz der Klone an den beiden Standorten zu erkennen (Tabelle 9).

Tabelle 9: Ertragsvarianz pro Klon.

Klon	Tonnen pro Hektar <b>VF Frielingen</b>	Tonnen pro Hektar <b>VF Nordstemmen</b>
L2/B1	1,68	5,69
L2/B2	1,20	1,41
L6/B1	3,20	5,56
L6/B2	3,04	5,17
L18/B1	3,60	5,03
L18/B2	2,40	6,25
Z10/B1	2,08	-
Z10/B2	1,52	-

### Vergleich der Ernteerträge 2018 mit 2017

Die Differenz der Erträge aus den Jahren 2017 und 2018 ist auf beiden Flächen erheblich. Beide Anbaujahre zeugten von extremen Wetterverhältnissen. 2017 mit überdurchschnittlichem Niederschlag und 2018 mit einer langanhaltenden Trockenperiode während der Vegetationsphase. Dementsprechend hoch fällt der Ertragsunterschied zwischen den Anbaujahren 2017 und 2018 aus. Besonders betroffen hiervon ist der Standort Frielingen. Die langanhaltende Trockenperiode in ermöglichte hier keine ausreichende Wasserversorgung der Nesselpflanzen auf dem sandigem Boden. Dennoch bestätigt sich im Vergleichszeitraum ein Trend, der auch 2016 schon zu erkennen war. Auf gutem Ertragsniveau liegt der Klon Z10. Auf beiden Flächen liefert von den neu geprüften Klonen der L18 die höchsten Erträge (Tabelle 10), gefolgt von Klone L6. Der L2 Klon liegt im Durchschnitt kontinuierlich deutlich unter den anderen Erträgen der übrigen Nesselklone. Anzumerken ist das in Nordstemmen die L2/B1 Versuchsparzelle am stärksten verkrautet war und dadurch der Nesselstrohertrag nicht korrekt erfasst werden konnte. Insgesamt war die Ertragsleistung im Mittel aller Nesselklone auf der Fläche in Nordstemmen im Prüfljahr 2018 um  $2,5 \text{ t ha}^{-1}$  höher als in Frielingen.

Tabelle 10: Errechnete Nesselstroherträge im Vergleich der Standorte 2017/2018.

Klon	Tonnen pro Hektar Frielingen 2017	Tonnen pro Hektar Frielingen 2018	Tonnen pro Hektar Nordstemmen 2017	Tonnen pro Hektar Nordstemmen 2018
L2/B1	2,60	1,68	1,70	5,69
L2/B2	3,40	1,20	1,80	1,41
L6/B1	4,40	3,20	5,60	5,56
L6/B2	4,20	3,04	5,70	5,17
L18/B1	4,30	3,60	6,20	5,03
L18/B2	5,30	2,40	6,30	6,25
Z10/B1	4,80	2,08	-	-
Z10/B2	4,80	1,52	-	-
Mittelwert	4,20	2,34	4,55	4,85

In Tabelle 11 zeigt den direkten Vergleich der Klone. Im Durchschnitt beider Bestandsdichten liegt der Klon L18 an der ersten Position im Ertragsvergleich mit Ausnahme von Frielingen 2018. Vermutlich ist dies auf die Bodenbeschaffenheit zurückzuführen. Die Versuchsfläche Frielingen mit sandigem Boden hatte Schwierigkeiten das Wasser pflanzenverfügbar zu halten. Der Klon Z10 liegt im Durchschnitt für das Jahr 2017 gleichauf.

Tabelle 11: Errechnete Nesselstroherträge - Mittelwert der Bestandsdichten 2017/2018.

	Tonnen pro Hektar Frielingen 2017	Tonnen pro Hektar Frielingen 2018	Tonnen pro Hektar Nordstemmen 2017	Tonnen pro Hektar Nordstemmen 2018
L2	3,00	1,44	1,75	3,55
L6	4,30	3,12	5,65	5,37
L18	4,80	2,24	6,25	5,64
Z10	4,80	1,80	-	-

## Röstgradbestimmung 2018

Eine Röstgradbestimmung wurde auf dem Standort in Nordstemmen durchgeführt.

Für die Bestimmung des A1000-Wertes wurden die Proben vom Standort Nordstemmen zunächst auf 2-3 cm große Stücke gekürzt und anschließend mit einer Mühle zerkleinert. Es folgte die Trocknung im Trockenschrank, die Abkühlung im Exsikkator und das Mahlen in einer Kugelmühle. Anschließend erfolgte eine Messung der in Pulver vorliegenden Proben im. Eine erste optische Bonitur lässt sich einem Röstgrad (A 1000-Wert) zuordnen (Tabelle 12). Die Probenstängel der Klone waren braun gefärbt, was einem A 1000-Wert von 0,5-1,0 entspricht.

Tabelle 12: Abgleich optische Bonitur mit A 1000-Wert (Biskupek-Korell, 2018).

Optische Bonitur	A 1000-Wert
Stängel grün	0 - 0,5
braun	0,5 - 1,0
Schwarze Pilze sichtbar	1,0 - 1,5
50% des Stängels schwarz	1,5 – 2,0
100% des Stängels schwarz	>2,0

Die Bestimmung mit Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) erfolgt im Analysegerät Bruker Multi-Purpose Analyzer (MPA) in Zusammenarbeit mit der Hochschule Hannover, Fakultät für Bioverfahrenstechnik. Mit dem MPA lassen sich Spektren im Wellenzahl-Bereich von 12.500-3.600  $\text{cm}^{-1}$  messen. Die für den Röstgrad benötigten 1.000 nm (entspricht 10.000  $\text{cm}^{-1}$ ) und 1370 nm (entspricht 7.300  $\text{cm}^{-1}$ ) liegen im Messbereich des MPA. Für eine Auswertung der aufgenommenen Spektren ist eine vorherige Kalibration notwendig, welche bereits für ältere Versuche an der Hochschule Hannover im Rahmen einer Bachelorarbeit erstellt wurde.

Für die Röstgradbestimmung der Versuchsfläche Nordstemmen wurden zwei Probenentnahmen durchgeführt, um den Verlauf einer Röste dokumentieren zu können. Die erste Probenentnahme erfolgte eine Woche nach der Ernte (KW 35). Die zweite Probenentnahme erfolgte eine Woche später (KW 36). Der A 1000-Wert lässt sich wie folgt berechnen:

$$A\ 1000 = \frac{\text{Absorption bei } 1000\ \text{nm}}{\text{Absorption bei } 1370\ \text{nm}}$$

Tabelle 13: A 1000-Werte (Proben Versuchsfeld Nordstemmen).

Klonprobe	1000 nm	1370 nm	A 1000-Wert
L2/B1 (KW 35)	0,2813	0,2793	1,0072
L2/B1` (KW 36)	0,1855	0,1875	0,9893
L2/B2	0,3164	0,3105	1,0190
L2/B2`	0,2246	0,2285	0,9829
L6/B1	0,1855	0,1836	1,0103
L6/B1`	0,2148	0,2012	1,0676 (Ausreißer)
L6/B2	0,2813	0,2773	1,0144
L6/B2`	0,2090	0,2129	0,9817
L18/B1	0,2793	0,2734	1,0216

Klonprobe	1000 nm	1370 nm	A 1000-Wert
L18/B1`	0,2109	0,2129	0,9906
L18/B2	0,2520	0,2480	1,0161
L18/B2`	0,1855	0,1836	1,0103

Nach Tabelle 12 liegen die Werte bei 0,5-1,0 bei braunen Stängeln und bei 1,0-1,5, wenn schwarze Pilze sichtbar sind. Die ermittelten A 1000-Werte (Tabelle 13) liegen zwischen 0,9817 (L6/B2`) und 1,0216 (L18/B1), passend zur optischen Bonitur.

Die Proben der zweiten Entnahme (KW 36 – Tab. 10, orange) haben, mit Ausnahme von L6/B1`, einen niedrigeren A1000-Wert als die der ersten Entnahme (KW 35 – Tab. 10, blau).

Mit fortlaufender Röste müsste der A 1000-Wert eigentlich steigen. In diesem Fall sinken die Werte bzw. sind nah beieinander. In der Woche zwischen den Probenentnahmen kam es aufgrund von extremen Witterungsbedingungen in Form von hohen Temperaturen und wenig Niederschlägen zu keiner Taubildung, weshalb kein Röstverlauf messbar war.

### **Vortest: Vermehrung durch Stecklinge und Rhizome (Z10-Klone)**

Am Standort Frielingen wurde in 2018 zusätzlich die Auspflanzung von Rhizomen als Möglichkeit zur kostengünstigen Etablierung weiterer Produktionsflächen mittels Dauerkulturpflanztechnik geprüft und vom beteiligten Landwirt in Absprache mit 3N fachgerecht betreut.

Die Versuche wurden auf der Versuchsfläche in Frielingen durchgeführt. Im Mai wurden 0,5 ha Ackerfläche gepflügt und die Rhizome ausgepflügt, zerkleinert und gepflanzt. Ab dem 22.05.18 wurde die Fläche regelmäßig mittels Güllefass bewässert. Am 20.06.18 wurde durch Begutachtung des beteiligten Landwirts festgestellt, dass die maschinelle Pflanzung aufgrund der extremen Trockenheit und vermutlich zu geringer Ablagetiefe gescheitert ist. Der überwiegende Teil von ca. 80% der Rhizome konnte sich nicht etablieren.

Der Pflanztest wurde am 26.09.18 auf einer weitere Teilfläche wiederholt. Entnommen wurden die Rhizome aus einem Altbestand und hier aus einem Flächenbereich von 500 m<sup>2</sup> (2 m\*250 m). Ausgebracht wurden die Rhizome auf einer Fläche von 10.000 m<sup>2</sup> (40 m\*250 m), was einem Verhältnis von 1:20 entspricht. Die Rhizome wurden zunächst in ca. 10-15 cm große Stücke zerkleinert und anschließend mit einer Miscanthuspflanzmaschine in den Boden gepflanzt. Der Abstand in der Reihe zwischen den Rhizomen wurde mit 65 cm gewählt.

Rund 6 Wochen nach der Ausbringung wurden bei der Bonitur am 05.11.18 die ersten Triebe durch den Landwirt beobachtet. Am 12.11.18 und 19.12.18 wurden die Rhizome auf ihre Etablierung hin begutachtet. An der Nordseite des Feldes, konnten die Rhizome teilweise austreiben. Nach drei Messungen auf einer Länge von jeweils 10 Metern wurden vier, null und neun Triebe gezählt. Bei einem Abstand von 65 cm bei der Pflanzung sind auf 10 Metern maximal ca. 15 Austriebe zu erwarten. Im mittleren Bereich sowie im südlichen Teil des Feldes, konnten trotz gleicher Pflanztiefe nur sehr vereinzelt Triebe gesichtet werden. Die Überwinterungsraten müssten im Frühjahr 2019 ermittelt werden.

Die Rhizomvermehrung sollte im Frühjahr erneut durchgeführt werden, um einen direkten Vergleich erzielen zu können. Auch erscheinen systematische Untersuchungen bzw. die wissenschaftliche Begleitung erforderlich, um die Rahmenbedingungen eine erfolgreiche Pflanzenetablierung bestimmen zu können.

### 3.3.3 Bestandsführung (Fasernessel-Altanlagen)

Die Nesselaltbestände wurden von den beteiligten Landwirten in Frielingen (Soltau) sowie in Nordstemmen (Hildesheimer Börde) in das Projekt eingebracht.

Bei dem zu untersuchenden Pflanzenmaterial handelt es sich um vier unterschiedliche Klone von zwei verschiedenen Standorten (Tabelle 14).

Tabelle 14: Übersicht der verschiedenen Klone in den Altbeständen der beiden Standorte.

Frielingen		Nordstemmen	
Klon	B1- und B2-Klone	Klon	Z6- und Z10-Klone
Beschreibung	Etablierung 2008, Mischbestand mit vorwiegend roten Stängeln	Beschreibung	Etablierung 2011, Mischbestand mit vorwiegend roten Stängeln

Das Versuchsfeld am Standort in Frielingen liefert Nesselstroh der B-Klone. Diese wuchsen im Mischbestand und haben sowohl rote als auch grüne Stängel. Für die weiteren Versuche und die Röstgradbestimmung wurden nur die roten Stängel verwendet, da diese einen deutlich größeren Anteil des gesamten Bestandes ausmachten. Dem entgegen stammt das Nesselstroh vom Versuchsfeld in Nordstemmen von zwei verschiedenen Klonen. Bei diesen handelt es sich um den Z6- und Z10-Klon. Auch bei diesen Genotypen handelt es sich hauptsächlich um Fasernesseln mit roten Stängeln. Die Ackerschlagkarteien wurden von den Landwirten geführt und enthalten alle relevanten Angaben zur Bestandsführung. Ferner wurden regelmäßig Bodenuntersuchung im Frühjahr und Herbst 2015 vorgenommen.

Das Versuchsfeld „Heide 2“ ist ca. 7 ha groß. Die Fläche hat einen sandigen Boden und eine durchschnittliche Bodenqualität von 30 Bodenpunkten.

In der Altanlage am Standort Frielingen wurde in den Prüffahren 2016- 2017 der Düngeplan gemäß Tabelle 15 umgesetzt, d.h. es gab zwei Kalium- und zwei Stickstoffdüngestufen. Gedüngt wurde mit organischem (Gärrestsubstrat) und mineralischem Dünger (Kalkammonsalpeter und Kornkali).

Tabelle 15: Düngeplan der Nesselbestands-Altanlagen am Standort Frielingen.

Kalium		Stickstoff	
<b>K1</b>	200 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup>	<b>N1</b>	180 kg N ha <sup>-1</sup>
<b>K2</b>	300 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup>	<b>N2</b>	250 kg N ha <sup>-1</sup>

Der Lageplan der Altanlage und die Anordnung der Düngevarianten sind in Abbildung 63 wiedergegeben.

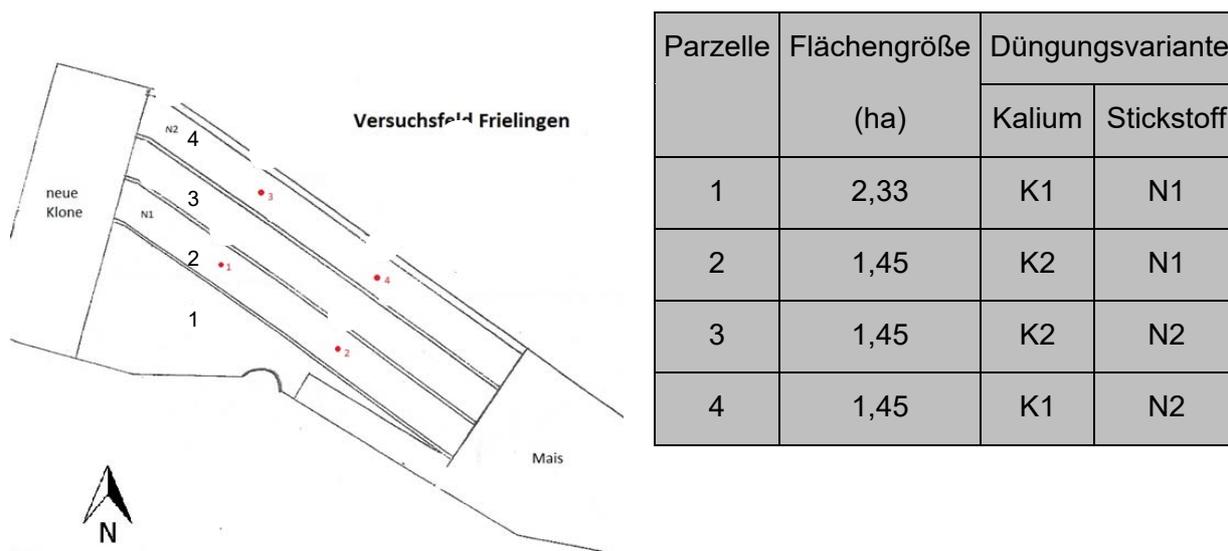


Abbildung 63: Lageplan der Altanlage bzw. Anordnung der Düngevarianten auf der Versuchsfläche Frielingen.

### **Bestandsentwicklung 2016**

Die Abbildung 64 gibt die Entwicklung der durchschnittlichen Wuchshöhe im Altbestand am Standort Frielingen wieder. Zur Ernte (Ende August) hatte der Bestand eine durchschnittliche Wuchshöhe von 1,7 m.

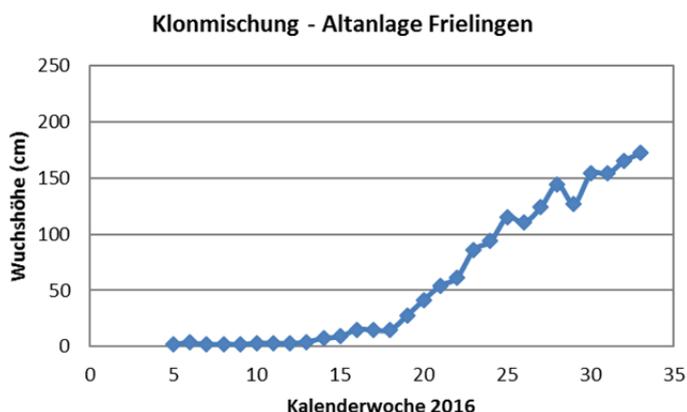


Abbildung 64: Durchschnittliche Wuchshöhe auf der Versuchsfläche Frielingen (Altanlage) 2016.

### **Ernte 2016**

Gemäß Vorgabe des Verarbeiters (Dr. Beckhaus, Geschäftsführer der NFC GmbH Nettle Fibre Company) wurde 2016 keine Röste nach dem Ernteschnitt durchgeführt.

Die Tabelle 16 gibt die Erntemenge 2016 pro Parzelle (Düngungsvariante) für den Standort Frielingen im Vergleich zur Erntemenge 2015 wieder.

Tabelle 16: Erntemenge am Standort Frielingen (Altanlage) 2015 und 2016.

Parzelle	Düngungsvariante		Erntemenge 2015		Erntemenge 2016	
	Kalium	Stickstoff	(t)	(t ha <sup>-1</sup> )	(t)	(t ha <sup>-1</sup> )
1	K1	N1	6,69	2,87	8,43	3,62
2	K2	N1	5,24	3,61	4,70	3,24
3	K2	N2	5,46	3,77	3,14	2,16
4	K1	N2	5,13	3,54	4,12	2,84
Mittelwert				3,45		2,97

Im Durchschnitt aller Parzellen lag der Ernteertrag 2016 um 14% unter dem von 2015 (2,97 t ha<sup>-1</sup> im Vergleich zu 3,45 t ha<sup>-1</sup>) (Tabelle 16). Im Zeitraum von Januar bis Oktober 2016 ergab sich für den Standort Frielingen in der Summe eine Niederschlagsmenge von 578 mm. 2015 wurde im gleichen Zeitraum für denselben Standort in der Summe eine Niederschlagsmenge von 641 mm gemessen, d.h. im Vergleich zu 2016 gab es 2015 eine um 11% höhere Niederschlagsmenge. Dies erklärt wahrscheinlich auch die im Durchschnitt um 0,5 t/ha höheren Ernteerträge im Jahr 2015 im Vergleich zu 2016. Eine Ausnahme bildet die Parzelle 1, die im Jahr 2016 trotz geringerer Niederschlagsmengen höhere Erträge realisieren konnte.

Der höchste Ernteertrag pro ha ergab sich 2015 für die Parzelle 3, d.h. für die Düngungsvariante K2/N2. 2016 wurde auf der Parzelle 1 (Düngungsvariante K1/N1) der höchste Ernteertrag pro ha erzielt. Die vorliegenden Ergebnisse zum Ernteertrag geben im Moment keinen Hinweis darauf, dass es einen Einfluss der Düngungsvariante (Kalium- und Stickstoffdüngung) auf den Ertrag gibt. Für eine abschließende Beurteilung fehlen aber noch die Ergebnisse zur Faserausbeute (Fasergehalte und Faserqualität).

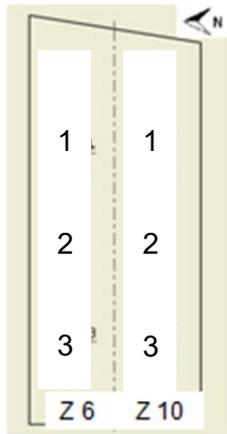
Die Abbildung 65 zeigt den Altbestand am 27.10.2016, d.h. nach der Ernte 2016. Der Wiederaustrieb nach der Ernte erfolgte gleichmäßig und der Altbestand zeigt am Ende der Vegetationsphase 2016 einen guten Vegetationszustand.



Abbildung 65: Nesselbestands-Altanlage Versuchsfäche Frielingen am 27.10.2016.

### **Nesselbestands-Altanlage Versuchsfäche Nordstemmen**

Das Versuchsfeld in Nordstemmen hat eine Größe von circa 1,4 ha. Die Fläche hat einen lößleh-migen Boden mit Bodenpunkten, die zwischen 80 und 90 liegen. Der Lageplan der Altanlage bzw. die Anordnung der Düngevarianten sind in Abbildung 66 wiedergegeben.



Fläche	Kalium	Stickstoff
1	0 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup>	300 kg N ha <sup>-1</sup>
2	200 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup>	300 kg N ha <sup>-1</sup>
3	400 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup>	300 kg N ha <sup>-1</sup>

Abbildung 66: Lageplan der Altanlage bzw. Anordnung der Düngewarianten auf der Versuchsfläche Nordstemmen.

### **Bestandsentwicklung 2016**

Die Abbildung 67 gibt die Entwicklung der durchschnittlichen Wuchshöhe der zwei Klone (Z6 und Z10) in der Altanlage in Nordstemmen wieder. Trotz ähnlicher maximaler Wuchshöhe von 1,7 m am Ende der Messperiode 2016 ist erkennbar, dass der Klon Z6 im Vergleich zum Klon Z10 ein verzögertes Längenwachstum zeigte. Dies wird vor allem in der zeitlichen Periode zwischen Kalenderwoche 22 und 32 deutlich.

Beim Klon Z10 wurden 2016 Vermehrungsschnitte durchgeführt.

Zum Zeitpunkt einer möglichen Ernte wurde das mögliche Erntematerial des Bestandes aufgrund einer sehr starken Verunkrautung und einer zum Teil unnormalen Pflanzenentwicklung vom Verarbeiter (Dr. Beckhaus, Geschäftsführer der NFC GmbH Nettle Fibre Company) abgelehnt, so dass 2016 für den Altbestand in Nordstemmen keine Ernte erfolgte.

Bei der unnormalen Pflanzenentwicklung handelte es sich um in sich gedrehte Stängel (Stängelverwirbelungen). Die Verdrehung des Stängels haben Auswirkungen auf die Stängellangfasern insoweit, dass sie nicht mehr zur Weiterverarbeitung geeignet sind. Der Landwirt beobachtete, dass diese Stängelveränderungen vor allem beim Klon Z6 auftauchte, d.h. von 10 Stängeln waren beim Klon Z6 ca. 2 Stängel verdreht.

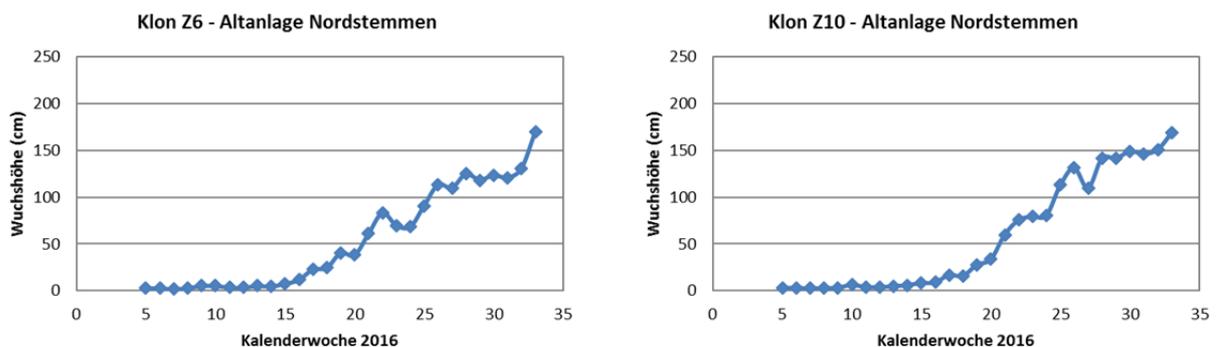


Abbildung 67: Durchschnittliche Wuchshöhe der Klone auf der Versuchsfläche Nordstemmen (Altanlage) 2016.

Aufgrund der Stängelveränderungen sowie der starken Verunkrautung insbesondere mit schwer bekämpfbaren Disteln, wird die Altanlage am Standort Nordstemmen 2017 im vorliegenden Projekt nicht mehr fortgeführt.

Die Abbildung 68 zeigt den Altbestand in Nordstemmen am 25.10.2016.



Abbildung 68: Nesselbestands-Altanlage Versuchsfäche Nordstemmen am 25.10.2016.

In 2017 konnten dementsprechend nur noch in der Fasernessel-Altanlage am Standort Frielingen vier Düngevarianten (Variation in Bezug auf Stickstoff- (N1 und N2) und Kaliumdüngung (K1 und K2)) angelegt und untersucht werden. Bis zum vierten Messzeitpunkt (22. Kalenderwoche) unterschied sich die durchschnittliche Wuchshöhe der verschiedenen Düngevarianten nicht. Ab diesem Zeitpunkt aber scheint es, als ob die Düngervariante 1 (Düngung: K1/N1) sich besser entwickelte als die anderen drei Düngervarianten (Abbildung 69).

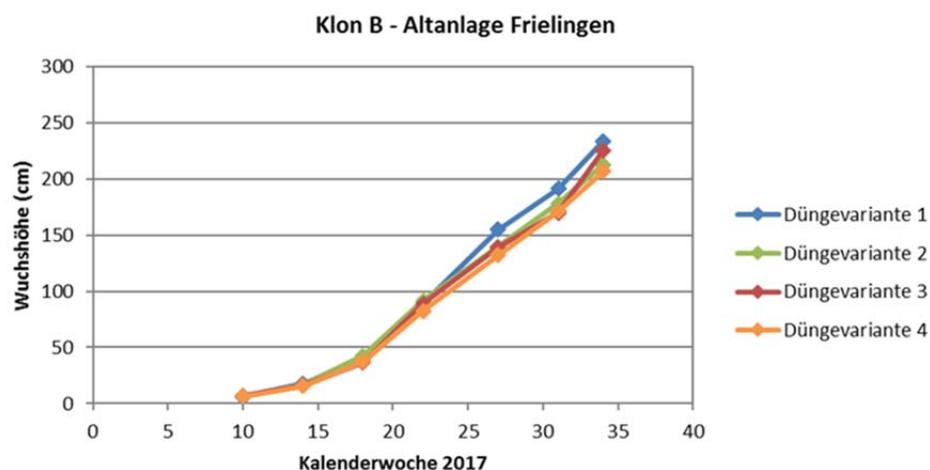


Abbildung 69: Durchschnittliche Wuchshöhe auf der Versuchsfäche Frielingen differenziert nach Düngervariante (Altanlage) 2017 (n = 10).

Zum letzten Messzeitpunkt, in der 34. Kalenderwoche, wurden in der Düngervariante 1 immer noch die durchschnittlich höchsten Wuchshöhen mit 233,4 cm gemessen. Düngervariante 3 (Düngung: K2/N2) zeigte zu diesem Zeitpunkt eine durchschnittliche Wuchshöhe von 225,2 cm. Die beiden

anderen Düngevarianten 2 und 4 aber nur eine durchschnittliche Wuchshöhe von 212,6 bzw. 206,7 cm, was im Durchschnitt 21 bzw. 27 cm unter dem ermittelten Wert für Düngevariante 1 lag.

Im Durchschnitt aller Parzellen lag der Ernteertrag 2017 mit 6,37 t ha<sup>-1</sup> um 85% über dem Ertrag von 2015 und sogar um mehr als das Doppelte (114%) über dem Ertrag von 2016 (Tabelle 17).

*Tabelle 17: Ertrag der Düngevarianten am Standort Frielingen in den Versuchsjahren 2015, 2016 und 2017 (n = 1).*

	Düngevariante		Erntemenge			
			2015	2016	2017	Mittelwert
<b>Parzelle</b>	Kalium	Stickstoff	(t/ha)	(t/ha)	(t/ha)	(t/ha)
<b>1</b>	K1	N1	2,87	3,62	6,45	<b>4,31</b>
<b>2</b>	K2	N1	3,61	3,24	6,40	<b>4,42</b>
<b>3</b>	K2	N2	3,77	2,16	6,81	<b>4,25</b>
<b>4</b>	K1	N2	3,54	2,84	5,75	<b>4,04</b>
<b>Mittelwert</b>			<b>3,45</b>	<b>2,97</b>	<b>6,37</b>	

Parzelle/Düngevariante:

1: 180 kg N/ha + 200 kg K<sub>2</sub>O/ha

2: 180 kg N/ha + 300 kg K<sub>2</sub>O/ha

3: 250 kg N/ha + 300 kg K<sub>2</sub>O/ha

4: 250 kg N/ha + 200 kg K<sub>2</sub>O/ha

Vergleicht man die gemittelten Erträge der Parzellen bzw. Düngevarianten über die Jahre, ergaben sich für die Düngevariante 2 (K2/N1) im Durchschnitt die höchsten Erträge und für die Düngevariante 4 (K1/N2) die geringsten. Im Mittel ergab sich für alle Düngevarianten mit Stickstoffdüngungsstufe N1 ein Wert von 4,37 t ha<sup>-1</sup>. Dies liegt im Durchschnitt 0,22 t ha<sup>-1</sup> über den gemittelten Wert der höheren Stickstoffdüngungsstufe N2. Betrachtet man den Effekt der unterschiedlichen Kaliumdüngung zeigt sich, dass im Mittel die niedrigere Kaliumdüngungsstufe K1 mit 4,18 t/ha um durchschnittlich 0,15 t ha<sup>-1</sup> hinter dem gemittelten Ertrag der höheren Kaliumdüngungsstufe K2 lag.

Das heißt eine Erhöhung der Stickstoffdüngung von 180 auf 250 kg N ha<sup>-1</sup> scheint nicht notwendig zu sein, eine Erhöhung der Kaliumdüngung von 200 auf 300 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> aber wohl schon.

### 3.4 TV 4: Faseranalytik - FIBRE

Dieser Bericht beschreibt die Ergebnisse des Teilvorhabens 4 „Qualitätskontrolle entlang der Wertschöpfungskette“ im Projektzeitraum 06/2015 – 05/2018 und umfasst im Wesentlichen die Analyse von:

- *Aufschließbarkeit,*
- *Faserfestigkeit,*
- *Faserfeinheit,*

der Nesselproben um anhand dieser Parameter den Erfolg der Arbeiten bewerten und geeignete Verarbeitungskriterien festlegen zu können. In Absprache mit den Projekt-partnern wurden einzelne Proben auch auf die Faserlänge untersucht.

Weiteres Material wurde nach der Röste als Stängel angeliefert, um Fasergehalt und Aufschließbarkeit zu bestimmen.

Im letzten Projektjahr konnten schließlich noch Voruntersuchungen zur Messung der Feuchteaufnahme von Nessel Fasern durchgeführt werden.

Die angelieferten Proben, Beschreibung der Messverfahren sowie die Resultate der Analysen sind im Folgenden in separaten Unterabschnitten aufgeführt.

#### 3.4.1 Materialien und Methoden

##### Materialien:

Probenmaterial wurde von den Projektpartnern zur Verfügung gestellt; es repräsentiert verschiedene Messreihen:

- Die Messreihen zur Aufschlussoptimierung umfassen Parametervariation an der Hammermühle (Proben A 1 – A 11), Einfluss des Krempelns (Proben B 1 – B 4) sowie Einfluss der Lagerdauer (Proben D 1 – D 4). Diese Proben sind in Tabelle 18 aufgelistet.
- Die Messreihen zur Rohstoffqualität umfassen Einfluss unterschiedlicher Erntejahre (Proben C 1 – C 6), Einfluss der Lagerdauer (Proben D 1 – D 4) sowie eine orientierende Vorversuche zur Degummierung (Proben F 0 – F 2). Diese Proben sind in Tabelle 19 aufgelistet.
- Die Messreihen zu Ernte und Feldparametern umfassen Feldproben (Z 10 und TP 4) verschiedener Erntejahre, Einfluss des Erntetermins (Proben I - ... und II - ...), sowie Einfluss der Pflanzdichte und verschiedener Düngevarianten (Proben F... und N...). Diese Proben sind in Tabelle 20 aufgelistet.

Beim Partner NFC wurden Messreihen zur Parametervariation an der Hammermühle (Proben A 1 – A 11), sowie zum Einfluss des Krempelns (Proben B 1 – B 4) durchgeführt. Diese Proben sind in Tabelle 18 aufgelistet.

*Tabelle 18: Analytierte Proben der Versuchsreihen zur Aufschlussoptimierung.*

Probe	Beschreibung	Anmerkungen
A 1	HM 40 Hz	
A 2	HM 50 Hz	
A 3	HM 55 Hz	
A 4	HM 60 Hz	
A 5	HM 50 Hz; Abweiser 1,9	
A 6	HM 50 Hz; Abweiser 3,8	
A 7	HM 55 Hz; Abweiser 3,8	
A 8	HM 50 Hz; Nessel Feuchte 17 – 18%	

Probe	Beschreibung	Anmerkungen
A 9	HM 60 Hz; Nessel Feuchte 16%	
A10	HM 55 Hz; Nessel Feuchte 17 – 18%	
A 11	HM 50 Hz; 2. Belüftung	
B 1	50,0 Hz; HM Fasern 1 x gekrempelt	
B 2	52,5 Hz; HM Fasern 1 x gekrempelt	Versuchsreihe
B 3	55,0 Hz; HM Fasern 1 x gekrempelt	Krempeln
B 4	50,0 Hz; HM Rohfaser	

Mit den Proben der Reihe C 1 – C 6 wurde der Einfluss unterschiedlicher Erntejahre analysiert. Als Ergänzung und Weiterführung dieser Messreihe wurde im Folgejahr mit den Proben der Reihe D 1 – D 4 der Einfluss der Lagerdauer analysiert. In Vorbereitung der Arbeiten zum geplanten Anschlussprojekt wurden mit den Proben der Reihe F 0 – F 2 in orientierenden Vorversuchen verschiedene Methoden der Degummierung getestet. Diese Proben sind in Tabelle 19 aufgelistet.

*Tabelle 19: Analytierte Proben der Versuchsreihen zur Rohstoffqualität.*

Probe	Beschreibung	Anmerkungen
C 1	Ernte 2015; B-Klon v. Frieling Rohfaser	
C 2	Ernte 2015; B-Klon v. Frieling Flocke	
C 3	Ernte 2015; Z 10 Tölke Rohfaser	Versuchsreihe Erntejahre
C 4	Ernte 2015; Z 10 Tölke Flocke	
C 5	Ernte 2012; Z 10 Tölke Rohfasern	
C 6	Ernte 2012; Z 10 Tölke Flocke	
D 1	Ernte 2015: B-Klon Soltau roh, 6 Monate (ex C 1)	
D 2	Ernte 2015: B-Klon Soltau Flocke, 6 Monate (ex C 2)	Versuchsreihe Einfluss Lagerdauer
D 3	Ernte 2014: B-Klon Soltau roh, 18 Monate	
D 4	Ernte 2014: B-Klon Soltau Flocke, 18 Monate	
F 0	Nessel, degummiert, NFC	Versuchsreihe Degummierung
F 1	Nessel, degummiert, NFC	
F 2	Nessel, degummiert, NFC	

Anhand der Feldproben Z 10 und TP 4 (Partner Tölke) der Fasergehalt der Pflanzen in verschiedenen Erntejahren untersucht. Die Feldproben I und II vom Partner 3N, die an verschiedenen Daten vom 10. August bis 20. Oktober 2016 genommen wurden, dienen zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Erntetermine. Da diese Proben (betrifft nur Ernte 2016) mit nur drei bis 7 Stängeln und zudem geknickt jeweils gemeinsam in einer Verpackung geliefert wurden, war eine separate Messung der einzelnen Stängel nicht möglich, so dass bei Fasergehalt und Aufschließbarkeit jeweils nur ein Gesamtwert ohne Standardabweichung angegeben werden kann. Durch die verringerte Zahl an Stängeln im Probenumfang ist zudem die statistische Basis der Messwerte für die Proben der I- und II-Serien schmaler als üblich.

Ferner wurde anhand der Feldproben des Partners 3N, die an den Standorten Frielingen und Nordstemmen genommen wurden, der Einfluss der Pflanzdichte an beiden Standorten, sowie der Einfluss verschiedener Düngevarianten am Standort Frielingen untersucht. Die Versuchsreihe zum Einfluss der Pflanzdichte wurde am Standort Nordstemmen in 2018 fortgesetzt. Diese Proben sind in Tabelle 20 aufgelistet.

Tabelle 20: *Analysierte Proben der Versuchsreihen zu Ernte und Feldparametern.*

Probe	Beschreibung	Anmerkungen
Z 10	Ernte 2013; Z 10 Tölke Stängel	Fasergehalt
TP 4	Ernte 2015; Z 10 Tölke Stängel	vs. Erntejahr
I - 10.08.2016	Probe I, anderer Erntetermin	
I - 20.08.2016	Probe I, anderer Erntetermin	
I - 30.08.2017	Probe I, anderer Erntetermin	
I - 20.09.2016	Probe I, anderer Erntetermin	
I - 30.09.2016	Probe I, anderer Erntetermin	
I - 10.10.2016	Probe I, anderer Erntetermin	
I - 20.10.2016	Probe I, anderer Erntetermin	
II - 10.08.2016	Probe II, anderer Erntetermin	Versuchsreihe Einfluss des Erntetermins
II - 20.08.2016	Probe II, anderer Erntetermin	
II - 30.08.2016	Probe II, anderer Erntetermin	
II - 10.09.2016	Probe II, anderer Erntetermin	
II - 20.09.2016	Probe II, anderer Erntetermin	
II - 30.09.2016	Probe II, anderer Erntetermin	
II - 10.10.2016	Probe II, anderer Erntetermin	
II - 20.10.2016	Probe II, anderer Erntetermin	
F17-L2-2 <sup>a</sup>	Klon L2 in Pflanzdichte 2 Stecklinge pro m <sup>2</sup>	
F17-L2-3 <sup>a</sup>	Klon L2 in Pflanzdichte 3 Stecklinge pro m <sup>2</sup>	
F17-L6-2 <sup>a</sup>	Klon L6 in Pflanzdichte 2 Stecklinge pro m <sup>2</sup>	
F17-L6-3 <sup>a</sup>	Klon L6 in Pflanzdichte 3 Stecklinge pro m <sup>2</sup>	
F17-L18-2 <sup>a</sup>	Klon L18 in Pflanzdichte 2 Stecklinge pro m <sup>2</sup>	
F17-L18-3 <sup>a</sup>	Klon L18 in Pflanzdichte 3 Stecklinge pro m <sup>2</sup>	
F17-Z10-2 <sup>a</sup>	Klon Z10 in Pflanzdichte 2 Stecklinge pro m <sup>2</sup>	Ernteproben Versuchsrei- hen Pflanzdichte & Dün- gung
F17-Z10-3 <sup>a</sup>	Klon Z10 in Pflanzdichte 3 Stecklinge pro m <sup>2</sup>	
F17-D1 <sup>a</sup>	Düngevariante 1	
F17-D2 <sup>a</sup>	Düngevariante 2	
F17-D3 <sup>a</sup>	Düngevariante 3	
F17-D4 <sup>a</sup>	Düngevariante 4	
N17-L2-2 <sup>a</sup>	Klon L2 in Pflanzdichte 2 Stecklinge pro m <sup>2</sup>	
N17-L2-3 <sup>a</sup>	Klon L2 in Pflanzdichte 3 Stecklinge pro m <sup>2</sup>	
N17-L6-2 <sup>a</sup>	Klon L6 in Pflanzdichte 2 Stecklinge pro m <sup>2</sup>	
N17-L6-3 <sup>a</sup>	Klon L6 in Pflanzdichte 3 Stecklinge pro m <sup>2</sup>	
N17-L18-2 <sup>a</sup>	Klon L18 in Pflanzdichte 2 Stecklinge pro m <sup>2</sup>	Ernteproben Versuchsrei- hen Pflanzdichte & Dün- gung
N17-L18-3 <sup>a</sup>	Klon L18 in Pflanzdichte 3 Stecklinge pro m <sup>2</sup>	
N18-L2-2 <sup>a</sup>	Klon L2 in Pflanzdichte 2 Stecklinge pro m <sup>2</sup>	
N18-L2-3 <sup>a</sup>	Klon L2 in Pflanzdichte 3 Stecklinge pro m <sup>2</sup>	
N18-L6-2 <sup>a</sup>	Klon L6 in Pflanzdichte 2 Stecklinge pro m <sup>2</sup>	
N18-L6-3 <sup>a</sup>	Klon L6 in Pflanzdichte 3 Stecklinge pro m <sup>2</sup>	
N18-L18-2 <sup>a</sup>	Klon L18 in Pflanzdichte 2 Stecklinge pro m <sup>2</sup>	
N18-L18-3 <sup>a</sup>	Klon L18 in Pflanzdichte 3 Stecklinge pro m <sup>2</sup>	

<sup>a</sup>Fxx = Standort Frielingen; Nxx = Standort Nordstemmen; xx = Anbaujahr

Bei den orientierenden Messungen zur Methodenentwicklung zur Bestimmung der Feuchteaufnahme kamen Nessel- und Hanffasern zum Einsatz, die bereits seit Jahren als Standardmaterialien in verschiedenen Versuchsreihen genutzt werden und umfassend charakterisiert sind:

- Nessel Klon B13, Anbau in Holland, Ernte August/September 2007, Feldröste 4-6 Wochen. Zu Ballen gepresst und eingelagert; Mechanische Entholzung Juli 2008 ähnlich zur Hanfentholzung, auf Flachsmaschinen kardiert. Lieferant: Brennells BV, Kraggenburg, NL. Die Feinheit der Fasern ist  $23,1 \pm 0,2 \mu\text{m}$  (FibreShape, Median  $\pm 95\%$  Vertrauensbereich); die Kollektivzugfestigkeit beträgt  $30,4 \pm 3,3 \text{ cN/tex}$  (Stelometer, Mittelwert aus 20 Einzelmessungen  $\pm 95\%$  Vertrauensbereich) [Fischer et al. 2012]; die mittlere Feuchteaufnahme im Normklima  $20 \text{ °C} / 65 \text{ \% rel.F.}$  beträgt  $9,1 \text{ \%}$  [Ermakov 2009].
- Hanf GDE 02, Sorte Fedora, Anbau in Neerstedt, DE, Ernte 2001, Feldröste. Zu Ballen gepresst und eingelagert; Mechanische Entholzung 2002 auf einer Demtec<sup>®</sup> Anlage mit 4 Tambouren (Demaitre B.V., BE). Die Feinheit der Fasern ist  $26,8 \pm 1,5 \mu\text{m}$  (FibreShape, Median  $\pm 95\%$  Vertrauensbereich); die Kollektivzugfestigkeit beträgt  $44,9 \pm 4,7 \text{ cN/tex}$  (Stelometer, Mittelwert aus 20 Einzelmessungen  $\pm 95\%$  Vertrauensbereich); die mittlere Feuchteaufnahme im Normklima  $20 \text{ °C} / 65 \text{ \% rel.F.}$  beträgt  $7,4 \text{ \%}$  [Müssig et al. 2013].

## **Methoden:**

### Untersuchung der Aufschließbarkeit

Zur Untersuchung der Aufschließbarkeit kommt ein zweistufiges Verfahren wie von [Müssig & Martens 2003] beschrieben zum Einsatz.

Die angelieferten Stängel werden für mindestens fünf Tage im Standardklima bei  $20 \text{ °C}$  and  $65\%$  rel.F. nach DIN EN ISO 1397 konditioniert. Im ersten Schritt werden die Stängel mittels FLAKSY-System (Bahmer) entholzt, d.h. in Schäben und Rinde aufgetrennt. Durch Wägung wird der Schäbenanteil bestimmt.

Die Rinde wird anschließend in einem durch das FIBRE entwickelten Grobauflöser (GA) in zwei Durchgängen verfeinert. Das Gerät besteht aus einer rotierenden Zahnwalze mit  $261 \text{ mm}$  Durchmesser und einer Zufuhrwalze mit  $32 \text{ mm}$  Durchmesser. Die grob aufgeschlossenen Fasern werden im Luftstrom in eine Auffangkammer transportiert. Das Ergebnis dieses Aufschlusses ist mit dem Kardier- oder Krempelprozess vergleichbar und ermöglicht somit auch die Beurteilung, ob die Fasern für industrielle Nutzung geeignet sind.

### Faserfestigkeit mittels Stelometer

Vor der Messung werden die Faserbündel für  $24 \text{ h}$  bei  $20 \text{ °C}$  und  $65 \text{ \% rel.F.}$  konditioniert. Die Faserbündelkollektive werden in Pressley-Klemmen (Belag: PVC-Folie) mit  $3,2 \text{ mm}$  Einspannlänge eingespannt und die Kollektivfestigkeit in einem nach ASTM D 1445 kalibrierten Stelometer geprüft. Um statistisch abgesicherte Ergebnisse zu erhalten, müssen mindestens  $20$  gültige Messwerte akkumuliert werden [Müssig et al. 2010].

### Untersuchung der Faserbreitenverteilung (Fibreshape)

Die Messung der Faserbreitenverteilung erfolgt mit Hilfe des Bildverarbeitungssystems Fibreshape. Dieses System wird im Faserinstitut Bremen seit mehreren Jahren z.B. im Bereich der Messung von Faserbreitenverteilungen von Bastfasern [Schmid & Müssig 2004; Müssig et al. 2010] eingesetzt.

Die im Normklima ( $20 \text{ °C} / 65 \text{ \% rel.F.}$ )  $24 \text{ h}$  konditionierten Proben werden mit einer Schere auf ca.  $2 \text{ mm}$  Länge gekürzt und auf Diarahmen präpariert. Vier dieser Rahmen werden mittels eines Diascanners eingescannt und ausgewertet. Als Ergebnis erhält man eine Faserbreitenverteilung auf der Basis von mehreren Tausend gemessenen Elementen.

Faserlängenverteilung mittels Almeter

Die Messung der Faserlängenverteilung erfolgt mittels eines Almeter der Fa. Peyer nach einer Verfahrensvorschrift von [Drieling et al. 1999]. Das Almeter besteht aus zwei Geräten: dem Vorbereitungsgerät „Fibroliner“ zur Präparation endengeordneter Faserbärte (d.h. alle Fasern im Bart sind mit ihrem Ende auf derselben Position) und dem Almeter AL-100 zur Messung der Längenverteilung. Die Fasern werden in Form eines Faserbandes oder Kammzugs zugeführt; daraus wird der endengeordnete Faserbart hergestellt. Hier kommen Käme mit 75 Nadeln für Bastfasern zum Einsatz, um eine schonende Probenvorbereitung zu garantieren. Der Faserbart wird anschließend in das Almeter transferiert und zwischen die Platten eines Kondensators gezogen. Darin wird die lokale Summe der Querschnittsflächen ortsaufgelöst über die Länge des Bartes erfasst. Messgröße ist die Änderung der Kapazität des Kondensators. Für Bastfasern werden drei Messungen mit etwa 0,6 g Probenmenge durchgeführt. Das Schema der Messung ist in [Müssig et al. 2010] dargestellt.

**3.4.2 Datenerfassung/Datenaustausch mit den Projektpartnern**

Um unterschiedliche Proben schnell, übersichtlich und gut vergleichen zu können, wurden die relevanten Daten für jede Probe in einheitlichen Datenblättern zusammengefasst.

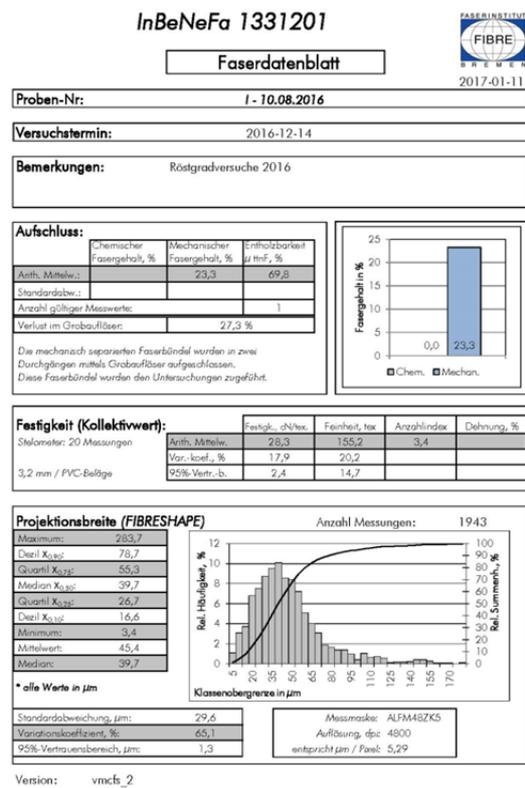
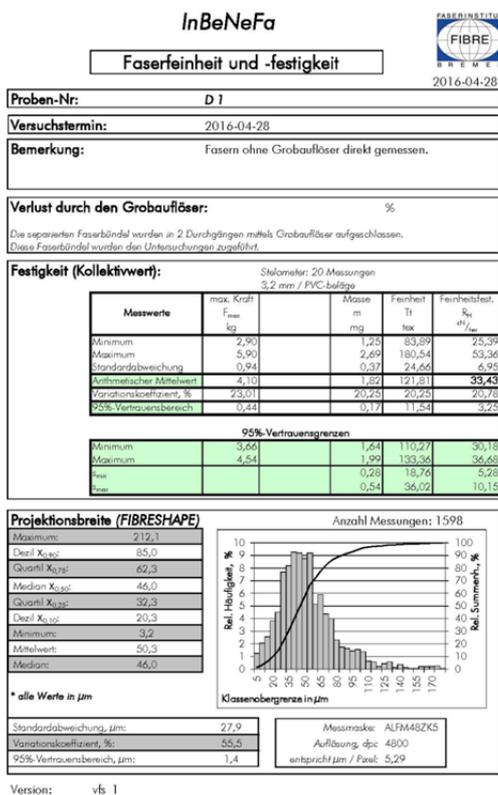


Abbildung 70: Muster der verwendeten Datenblattvarianten (a) nur Fasercharakterisierung und (b) mit mechanischem Aufschluss.

Diese Datenblätter wurden auch zur Übermittlung der Ergebnisse an die Projektpartner genutzt. Zum Einsatz kamen zwei Varianten (a) für Faserproben mit den Ergebnissen der Fasercharakterisierung und (b) Stängelproben zusätzlich mit den Resultaten des mechanischen Aufschlusses. Muster dieser Datenblätter sind in Abbildung 70 dargestellt.

### 3.4.3 Faserfestigkeit

Es war am Anfang des Projektes nicht bekannt, dass die vom Partner NFC bereitgestellten Proben nicht nur aufgeschlossen, sondern auch bereits gekrempelt waren. Aus diesem Grund wurden die Faserproben der ersten angelieferten Versuchsreihen zunächst im Grobauflöser (GA) feinaufgeschlossen, wie für mechanisch entholztes Material üblich. Nach Information konnte ab Beginn der B-Messreihe noch in 2015 auf diesen Zwischenschritt verzichtet werden. Zur Überprüfung, ob der zusätzliche Behandlungsschritt im GA einen Einfluss auf die Ergebnisse hat, wurden die Proben der B-Reihe mit und ohne GA untersucht. Wie bereits im ersten Zwischenbericht [Fischer 2016] dargelegt, hatte der zusätzliche Auflöseschritt keinen Einfluss auf die gemessenen Festigkeiten, so dass alle Messwerte direkt miteinander vergleichbar bleiben. Dementsprechend wurden im weiteren Projektverlauf nur die Faserbündel aus den selbst aufgeschlossenen Stängeln im Grobauflöser (GA) feinaufgeschlossen.

*Tabelle 21: Faserfestigkeit und 95%-Vertrauensbereiche der untersuchten Proben aus den Versuchsreihen zur Aufschlussoptimierung.*

Probe	Festigkeit Mittelwert in cN/tex	
	Mit GA	Ohne GA
A 1	23,62 ± 1,30	
A 2	26,21 ± 2,47	
A 3	22,86 ± 1,61	
A 4	23,76 ± 2,03	
A 5	21,50 ± 1,38	
A 6	22,55 ± 1,37	
A 7	20,98 ± 1,16	
A 8	30,43 ± 3,80	
A 9	24,52 ± 2,48	
A10	26,22 ± 2,45	
A 11	28,47 ± 2,84	
B 1	24,60 ± 1,22	24,35 ± 1,39
B 2	25,68 ± 1,69	28,01 ± 2,46
B 3	25,39 ± 1,67	23,97 ± 1,77
B 4	26,61 ± 2,29	29,68 ± 2,68

Eine Auflistung der erzielten Resultate erfolgt separat für die Messreihen zur Aufschlussoptimierung (Tabelle 21), Rohstoffqualität (Tabelle 22), sowie Ernte und Feldparametern (Tabelle 23). Die Datenblätter aller Proben befinden sich in den Anhängen A.1 bis A.3.

In der grafischen Darstellung der Ergebnisse in Abbildung 71 ist gut zu erkennen, dass alle Proben der A- und B- Messreihen über eine Festigkeit von mehr als 20 cN/tex verfügen; einige auch über 30 cN/tex. Generell ist anzumerken, dass Fasern für eine klassische textile Verarbeitung Festigkeiten von >20 cN/tex aufweisen sollten. Diese Bedingung erfüllen alle untersuchten Proben.

Auffallend ist in der Reihe der A-Proben, dass die Proben mit modifizierter Stellung des Abweisers (A5 – A 7) die niedrigsten Festigkeiten aufweisen, wohingegen die mit erhöhter Feuchte oder 2. Belüftung verarbeiteten Proben A 8 – A 11 höhere Festigkeiten aufweisen.

Die Reihen der B-Serie spiegeln in der Hauptsache den Einfluss des Krempelns bzw. Grobaufschließens wider: anhand der Proben B 1 – B 4 ist zu erkennen, dass die Behandlung im Grobauflöser zusätzlich zum Krempeln keinen signifikanten Einfluss auf die Festigkeit hat. Die Unterschiede sind im Rahmen der üblichen Streuung der Messwerte.

Wie bereits oben angemerkt, wurde deshalb im weiteren Projektverlauf auf eine Vorbehandlung der angelieferten Faserproben im Grobauflöser verzichtet.

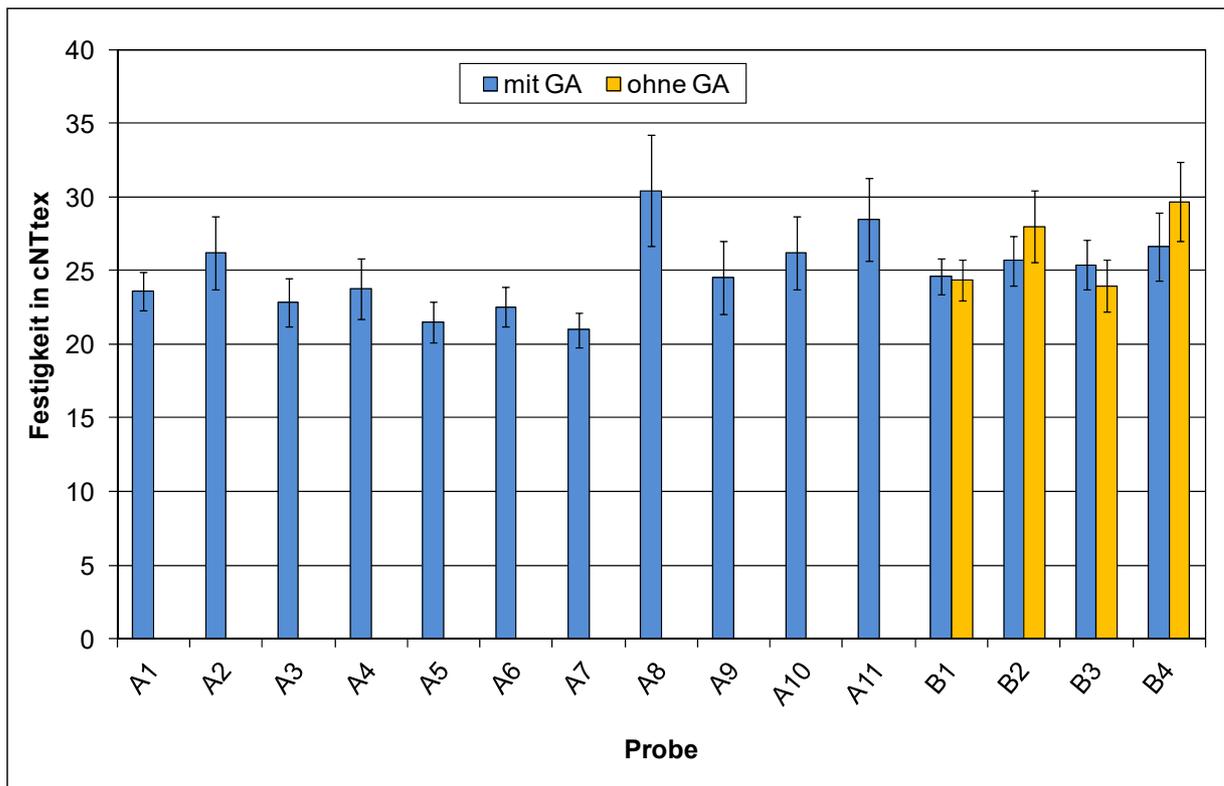


Abbildung 71: Faserfestigkeit und 95%-Vertrauensbereiche der untersuchten Proben aus den Versuchsreihen zur Aufschlussoptimierung mit / ohne GA.

Tabelle 22: Faserfestigkeit und 95%-Vertrauensbereiche der untersuchten Proben aus den Versuchsreihen zur Rohstoffqualität.

Probe	Festigkeit Mittelwert in cN/tex	
	Mit GA	Ohne GA
C 1		31,10 ± 2,07
C 5		24,60 ± 1,77
C 3		28,83 ± 3,22
C 4		25,93 ± 1,96
C 5		31,66 ± 3,19
C 6		30,54 ± 1,87
D 1		33,43 ± 3,25
D 2		33,43 ± 3,00
D 3		31,04 ± 3,42
D 4		27,77 ± 1,89
F 0		21,95 ± 1,71
F 1		18,28 ± 1,06
F 2		20,55 ± 1,09

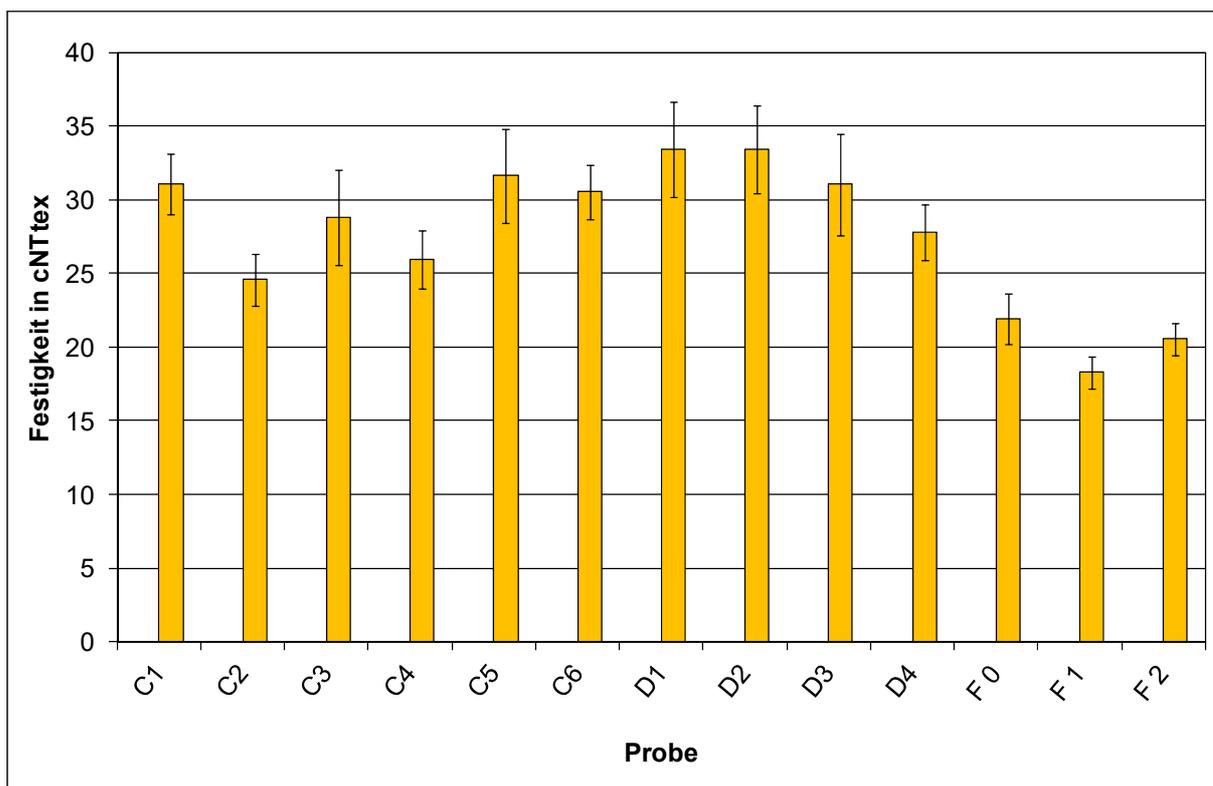


Abbildung 72: Faserfestigkeit und 95%-Vertrauensbereiche der untersuchten Proben aus den Versuchsreihen zur Rohstoffqualität ohne GA.

Wie in der grafischen Darstellung der Ergebnisse in Abbildung 72 gut zu erkennen ist, verfügen alle Proben der C- D- und eingeschränkt auch der F-Serie über eine Festigkeit von >20 cN/tex; einige bis über 30 cN/tex. Generell ist anzumerken, dass Fasern für eine klassische textile Verarbeitung Festigkeiten von >20 cN/tex aufweisen sollten. Diese Bedingung erfüllen alle untersuchten Proben.

Innerhalb der C-Serie ist nur bei C 1 (Rohfaser) und C 2 (gekrepelt) ein signifikanter Abfall der Festigkeit zu beobachten. Es handelt möglicherweise um einen Sorteneinfluss, denn C 1 und C2 sind ein B-Klon, während C 3 – C 6 Klon Z 10 sind. Anhand der D-Proben konnte nachgewiesen werden, dass die Lagerung des Materials über 6 Monate (D 1 & D 2) bzw. 18 Monate (D 3 & D 4) keine signifikante Faserschädigung zur Folge hat, so dass der Verarbeiter hier in seinen Betriebsabläufen variabel agieren kann.

Die degummierten Proben der Vorversuchsreihe F 0 – F 2 liegen dagegen mit ihrer Festigkeit von  $\approx 20$  cN/tex gerade noch im für textile Verarbeitung geeigneten Bereich; Probe F 1 mit 18,3 cN/tex sogar darunter. Dies bedeutet, dass die Degummierung grundsätzlich zur Faserbehandlung geeignet ist, aber aufgrund der möglichen Faserschädigung nicht zu intensiv erfolgen darf. Für eine genaue Bewertung der notwendigen Parameter im Degummierungsprozess wären hier weitere Messreihen erforderlich.

Tabelle 23: Faserfestigkeit und 95%-Vertrauensbereiche der untersuchten Proben aus den Versuchsreihen zu Ernte und Feldparametern.

Probe	Festigkeit Mittelwert in cN tex <sup>-1</sup>	
	Mit GA	Ohne GA
Z 10	37,00 ± 2,40	
TP 4	28,50 ± 2,60	

<i>Probe</i>	Festigkeit Mittelwert in cN tex <sup>-1</sup>	
	Mit GA	Ohne GA
I - 10.08.2016	28,30 ± 2,40	
I - 20.08.2016	41,44 ± 2,80	
I - 30.08.2017	41,30 ± 3,56	
I - 20.09.2016	34,40 ± 3,20	
I - 30.09.2016	39,49 ± 3,98	
I - 10.10.2016	46,84 ± 4,52	
I - 20.10.2016	37,20 ± 2,80	
II - 10.08.2016	32,00 ± 3,00	
II - 20.08.2016	45,24 ± 4,27	
II - 30.08.2016	37,59 ± 3,64	
II - 10.09.2016	44,27 ± 3,26	
II - 20.09.2016	41,70 ± 2,60	
II - 30.09.2016	34,80 ± 3,50	
II - 10.10.2016	40,81 ± 2,89	
II - 20.10.2016	41,80 ± 3,50	
F17-D1	39,90 ± 3,40	
F17-D2	34,50 ± 2,80	
F17-D3	38,30 ± 4,80	
F17-D4	40,20 ± 2,80	
F17-L2-2	34,30 ± 2,60	
F17-L2-3	37,40 ± 3,00	
F17-L6-2	45,00 ± 5,30	
F17-L6-3	42,30 ± 3,40	
F17-L18-2	38,40 ± 3,90	
F17-L18-3	44,20 ± 3,20	
F17-Z10-2	53,00 ± 3,90	
F17-Z10-3	45,70 ± 3,70	
N17-L2-2	37,70 ± 3,00	
N17-L2-3	33,80 ± 3,80	
N17-L6-2	35,60 ± 3,10	
N17-L6-3	40,00 ± 3,00	
N17-L18-2	35,80 ± 2,40	
N17-L18-3	39,40 ± 3,20	
N18-L2-2	42,30 ± 4,40	
N18-L2-3	30,90 ± 3,00	
N18-L6-2	35,00 ± 3,70	
N18-L6-3	33,20 ± 3,40	
N18-L18-2	37,20 ± 3,80	
N18-L18-3	35,00 ± 2,70	

Im Gegensatz zu den bislang in diesem Abschnitt beschriebenen Proben wurden die Proben aus den Versuchsreihen zu Ernte und Feldparametern als Stängel geliefert und diese komplett im Labor unter schonenden Bedingungen aufgeschlossen. Dementsprechend liegen die in Abbildung 73

dargestellten Festigkeiten überwiegend deutlich über den in der Industrieanlage erzielten Werten. Fast alle Proben liegen über 30 cN/tex; einige sogar bis über 40 cN/tex. Generell ist anzumerken, dass Fasern für eine klassische textile Verarbeitung Festigkeiten von >20 cN/tex aufweisen sollten.

Die Proben Z 10 Ernte 2013 und TP 4 2015 repräsentieren verschiedene Erntejahre des Klons Z10 am Standort Nordstemmen. Der signifikant höhere Wert für die Ernte 2013 (37 cN/tex) spiegelt die normale Varianz über unterschiedliche Erntejahre wieder.

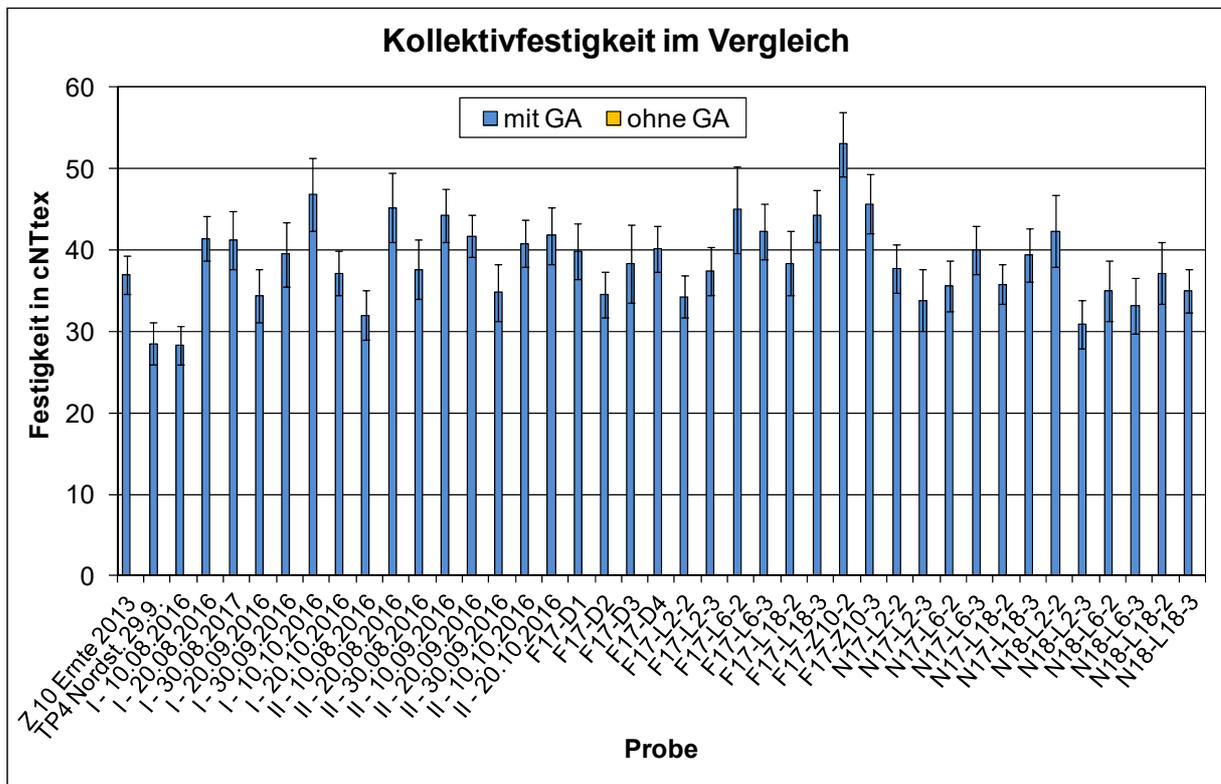


Abbildung 73: Faserfestigkeit und 95%-Vertrauensbereiche der untersuchten Proben aus den Versuchsreihen zu Ernte und Feldparametern mit GA.

In der Reihe der Ernteterminproben I / II ist im zeitlichen Verlauf keine eindeutige Tendenz zu erkennen. Probe II übertrifft mit maximal >40 cN/tex noch leicht den Wert der Ernte 2013 (37 cN/tex [Fischer 2016]). Die Streuung innerhalb der Serien I & II ist vermutlich auf die nicht dokumentierte unterschiedliche Röste zurückzuführen. Im Verlauf der Röste werden die Kittsubstanzen (überwiegend Pektine) zwischen den Elementarfasern abgebaut, so dass die Proben mit geringerem Pektin Gehalt im mechanischen Aufschluss weniger geschädigt werden.

In der Reihe der Ernteproben zur Düngevariante ist der Einfluss klein: F17-D 1; 3 & 4 unterscheiden sich nicht signifikant, lediglich F17-D 2 zeigt eine leicht geringere Festigkeit. In den Messreihen mit unterschiedlicher Pflanzdichte F17-L... / Z... und N17-L... ist keine eindeutige Tendenz zu erkennen. D.h. die untersuchten Dichtevarianten haben keinen signifikanten Einfluss auf die Faserfestigkeit. Herausstechend ist lediglich Probe F17-Z10-2: sie übertrifft mit >50 cN/tex noch leicht den Wert der Ernte 2016 (Variante II mit maximal 45 cN/tex [Fischer 2017]). In Verbindung mit der im folgenden Abschnitt dargestellten groben Feinheit dieser Proben bis >50 µm ist allerdings davon auszugehen, dass diese hohen Festigkeitswerte zum Teil auf den Anzahleffekt zurückzuführen sind. Bei größeren Faserbündeln sind erheblich weniger Faserbündel im jeweils gemessenen Kollektiv als bei den feineren Proben, und der Messwert wird damit größer als bei feineren Proben. Die Proben vom Standort Nordstemmen aus 2018 sind tendenziell etwas weniger fest als in 2017.

Auch dies liegt zum Teil am Anzahleffekt (die Proben sind etwas feiner als 2017). Der Gesamtunterschied ist aber gering.

### 3.4.4 Faserfeinheit

Für die Vorbehandlung der untersuchten Fasern mit und ohne Grobauflöser gelten die bereits am Anfang des vorigen Abschnittes gemachten Anmerkungen. Eine Auflistung der erzielten Resultate erfolgt separat für die Messreihen zur Aufschlussoptimierung (Tabelle 24), Rohstoffqualität (Tabelle 25), sowie Ernte und Feldparametern (Tabelle 26).

*Tabelle 24: Faserfeinheit und 95%-Vertrauensbereiche der untersuchten Proben aus den Versuchsreihen zur Aufschlussoptimierung.*

Probe	Feinheit Median in $\mu\text{m}$	
	Mit GA	Ohne GA
A 1	41,98 $\pm$ 1,30	
A 2	35,59 $\pm$ 0,82	
A 3	50,58 $\pm$ 1,67	
A 4	31,50 $\pm$ 0,73	
A 5	47,36 $\pm$ 1,50	
A 6	47,39 $\pm$ 1,54	
A 7	50,31 $\pm$ 1,65	
A 8	32,37 $\pm$ 0,82	
A 9	40,56 $\pm$ 1,00	
A10	32,48 $\pm$ 0,58	
A 11	36,76 $\pm$ 1,14	
B 1	32,92 $\pm$ 0,88	35,85 $\pm$ 0,97
B 2	33,68 $\pm$ 0,90	34,59 $\pm$ 0,95
B 3	36,50 $\pm$ 0,89	36,33 $\pm$ 1,17
B 4	32,54 $\pm$ 0,81	31,87 $\pm$ 0,92

Wie in der grafischen Darstellung anhand von Box-Plots in Abbildung 74 gut zu erkennen ist, liegt ein großer Teil der Proben mit dem Median im Bereich 30 – 40  $\mu\text{m}$ , die weiteren Proben überwiegend noch darüber bis > 50  $\mu\text{m}$ . Generell ist dazu anzumerken, dass die Fasern mit Feinheiten <40  $\mu\text{m}$  gut für technische Anwendungen geeignet sind; für eine klassische textile Verarbeitung sind dagegen Medianwerte  $\leq$ 30  $\mu\text{m}$  erforderlich, um feine Garne herstellen zu können.

Auffallend ist in der A-Reihe, dass sowohl A 4 (höchste Arbeitsfrequenz) als auch die Proben A 8 und A 10 (höchste Feuchte im Prozess) nahe an die 30  $\mu\text{m}$  herankommen, während die anderen zum Teil bis fast 50  $\mu\text{m}$  im Median aufweisen. Es erscheint damit möglich, durch geeignete Einstellung der Maschinenparameter auch eine schonende Verfeinerung der Faserbündel zu erzielen, ohne dabei die Fasern zu stark zu schädigen (vgl. Festigkeiten im vorherigen Abschnitt).

Die Feinheiten der B-Reihe sind erwartungsgemäß unauffällig. Hervorzuheben ist hier, dass die Vorbehandlung mittels GA im Labor (roh = ohne GA) keinen signifikanten Einfluss auf die Feinheit der bereits vorher gekrempelten Proben hatte. Die Unterschiede sind im Rahmen der üblichen Streuung der Messwerte. Wie bereits zuvor angemerkt, wurde deshalb im weiteren Projektverlauf auf eine Vorbehandlung der angelieferten Faserproben im Grobauflöser verzichtet.

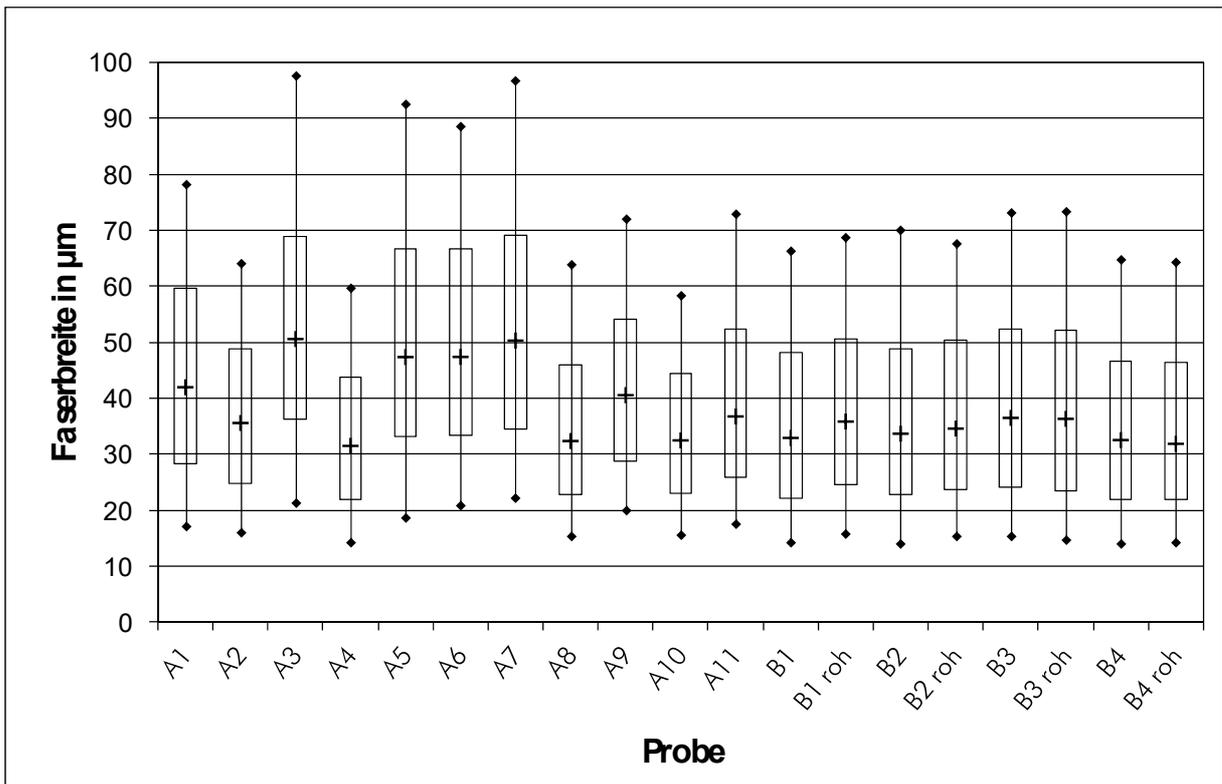


Abbildung 74: Box-Plots der untersuchten Proben aus den Versuchsreihen zur Aufschlussoptimierung mit Median (+), Box Perzentile 25 – 75; unten und oben Perzentile 5 / 95.

Tabelle 25: Faserfeinheit und 95%-Vertrauensbereiche der untersuchten Proben aus den Versuchsreihen zur Rohstoffqualität.

Probe	Feinheit Median in µm	
	Mit GA	Ohne GA
C 1		24,91 ± 0,74
C 2		23,53 ± 0,55
C 3		26,17 ± 0,76
C 4		28,27 ± 0,56
C 5		46,50 ± 1,29
C 6		47,28 ± 1,09
D 1		46,00 ± 1,40
D 2		36,30 ± 1,00
D 3		24,70 ± 0,50
D 4		25,00 ± 0,60
F 0		27,84 ± 0,79
F 1		28,39 ± 0,67
F 2		29,38 ± 0,74

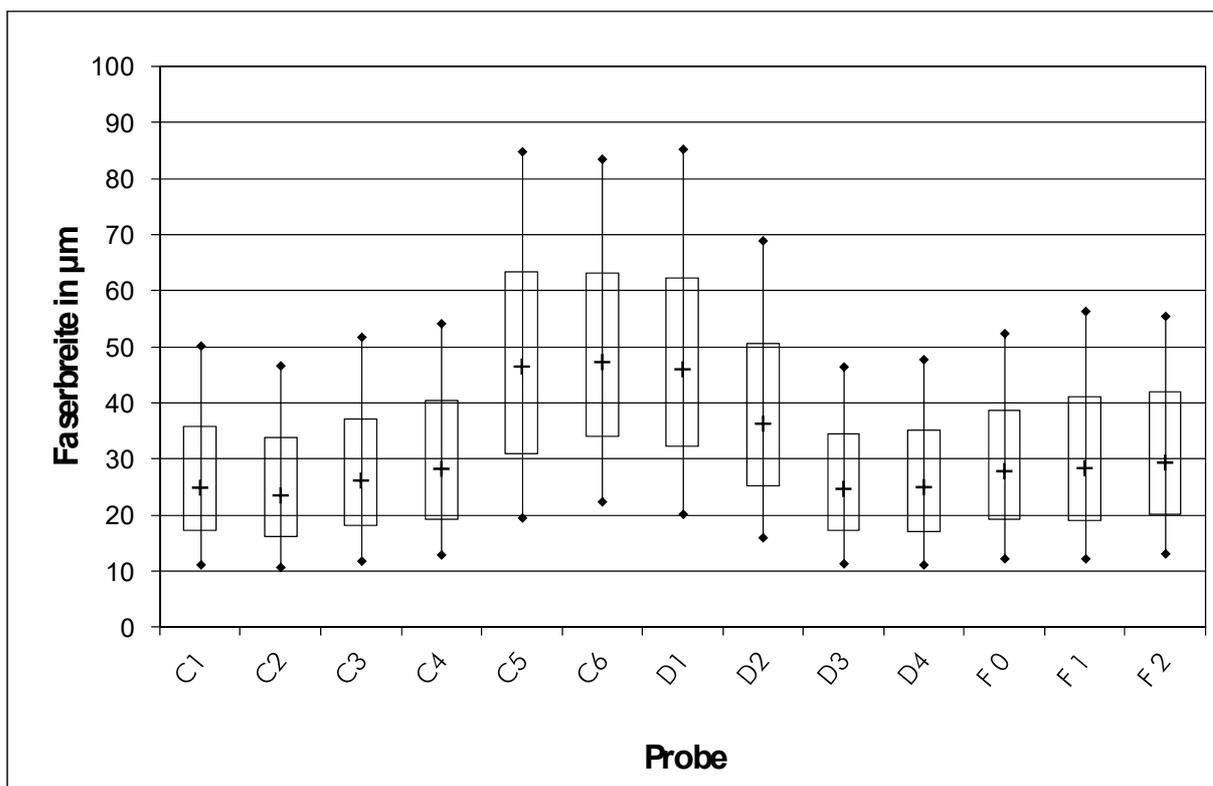


Abbildung 75: Box-Plots der untersuchten Proben aus den Versuchsreihen zur Rohstoffqualität mit Median (+), Box Perzentile 25 – 75; unten und oben Perzentile 5 / 95.

In Abbildung 75 ist anhand der Box-Plots gut zu erkennen, dass die Proben C 1 bis C 4 (alle Ernte 2015) sowie D 3 / D 4 mit Abstand die besten Feinheiten mit  $<30 \mu\text{m}$  aufweisen, während C 5 und C 6 (Ernte 2013) sowie D 1 mit fast  $50 \mu\text{m}$  vergleichsweise grob sind. D 2 liegt mit  $36 \mu\text{m}$  dazwischen.

Bezüglich der Proben F 0 – F 2 muss angemerkt werden dass die Feinheit im Vergleich zu rein mechanisch behandelten Varianten im Degummierungsprozess nicht signifikant gesenkt werden konnte: Referenz- und Degummierungsproben liegen bei  $25 - 30 \mu\text{m}$ .

Generell ist dazu anzumerken, dass die Fasern mit Feinheiten  $<40 \mu\text{m}$  gut für technische Anwendungen geeignet sind; für eine klassische textile Verarbeitung sind dagegen Medianwerte  $\leq 30 \mu\text{m}$  erforderlich, um feine Garne herstellen zu können.

Im Gegensatz zu den bislang in diesem Abschnitt beschriebenen Proben wurden die Proben aus den Versuchsreihen zu Ernte und Feldparametern als Stängel geliefert und diese komplett im Labor unter schonenden Bedingungen aufgeschlossen. Dementsprechend sind die in Tabelle 26 und Abbildung 76 dargestellten Feinheiten überwiegend deutlich gröber als die in der Industrieanlage erzielten Werte.

Tabelle 26: Faserfeinheit und 95%-Vertrauensbereiche der untersuchten Proben aus den Versuchsreihen zu Ernte und Feldparametern.

Probe	Feinheit Median in $\mu\text{m}$	
	Mit GA	Ohne GA
Z 10	$51,81 \pm 1,48$	
TP 4	$26,77 \pm 0,96$	
I - 10.08.2016	$39,70 \pm 1,31$	
I - 20.08.2016	$48,39 \pm 2,25$	
I - 30.08.2017	$43,07 \pm 2,63$	

Probe	Feinheit Median in $\mu\text{m}$	
	Mit GA	Ohne GA
I - 20.09.2016	46,92 $\pm$ 1,24	
I - 30.09.2016	47,91 $\pm$ 2,35	
I - 10.10.2016	46,22 $\pm$ 2,59	
I - 20.10.2016	44,91 $\pm$ 2,84	
II - 10.08.2016	44,91 $\pm$ 2,24	
II - 20.08.2016	34,53 $\pm$ 1,27	
II - 30.08.2016	46,57 $\pm$ 1,92	
II - 10.09.2016	46,50 $\pm$ 2,43	
II - 20.09.2016	49,48 $\pm$ 2,05	
II - 30.09.2016	44,37 $\pm$ 2,16	
II - 10.10.2016	48,80 $\pm$ 1,89	
II - 20.10.2016	39,71 $\pm$ 2,04	
F17-D1	48,54 $\pm$ 6,44	
F17-D2	45,88 $\pm$ 7,63	
F17-D3	50,56 $\pm$ 4,38	
F17-D4	51,49 $\pm$ 5,02	
F17-L2-2	45,92 $\pm$ 2,29	
F17-L2-3	46,97 $\pm$ 4,30	
F17-L6-2	45,49 $\pm$ 2,12	
F17-L6-3	41,66 $\pm$ 1,29	
F17-L18-2	44,07 $\pm$ 2,43	
F17-L18-3	49,66 $\pm$ 2,60	
F17-Z10-2	47,00 $\pm$ 1,18	
F17-Z10-3	46,77 $\pm$ 2,15	
N17-L2-2	47,96 $\pm$ 2,49	
N17-L2-3	46,64 $\pm$ 2,25	
N17-L6-2	53,49 $\pm$ 2,75	
N17-L6-3	48,06 $\pm$ 2,22	
N17-L18-2	53,73 $\pm$ 4,03	
N17-L18-3	53,31 $\pm$ 3,34	
N18-L2-2	48,21 $\pm$ 1,75	
N18-L2-3	48,24 $\pm$ 1,85	
N18-L6-2	49,17 $\pm$ 2,30	
N18-L6-3	45,64 $\pm$ 1,47	
N18-L18-2	47,39 $\pm$ 2,39	
N18-L18-3	46,40 $\pm$ 2,90	

Einen großen Unterschied zwischen den Erntejahren zeigen die selbst aufgeschlossenen Proben Z 10 (2013, grob) und TP 4 (2015, fein). Dies kann außer der wuchsbedingten Varianz zwischen den Jahren auch auf einen unterschiedlichen Röstverlauf zurück-zuführen sein: die Stängel aus 2013 wirkten heller und schwächer geröstet als die sehr dunklen Stängel des Erntejahres 2015.

In der Reihe der Ernteterminproben I / II ist im zeitlichen Verlauf keine eindeutige Tendenz zu erkennen. Beide Proben sind unauffällig mit Faserfeinheiten im Bereich 40 – 50  $\mu\text{m}$ . Die Streuung

innerhalb der Serien I & II ist vermutlich auf die nicht dokumentierte unterschiedliche Röste zurückzuführen. Im Verlauf der Röste werden die Kittsubstanzen (überwiegend Pektine) zwischen den Elementarfasern abgebaut, so dass die Proben mit geringerem Pektingehalt im mechanischen Aufschluss weniger geschädigt werden. Dies erklärt auch die vergleichsweise feinen Ergebnisse für I – 10.08. sowie II – 20.08. und 20.10. Bei sorgfältiger Kontrolle des Röstverlaufes und optimierte Maschinenparameter wäre es aber in jedem Fall möglich, gutes Material für die Textile Wertschöpfungskette zu gewinnen.

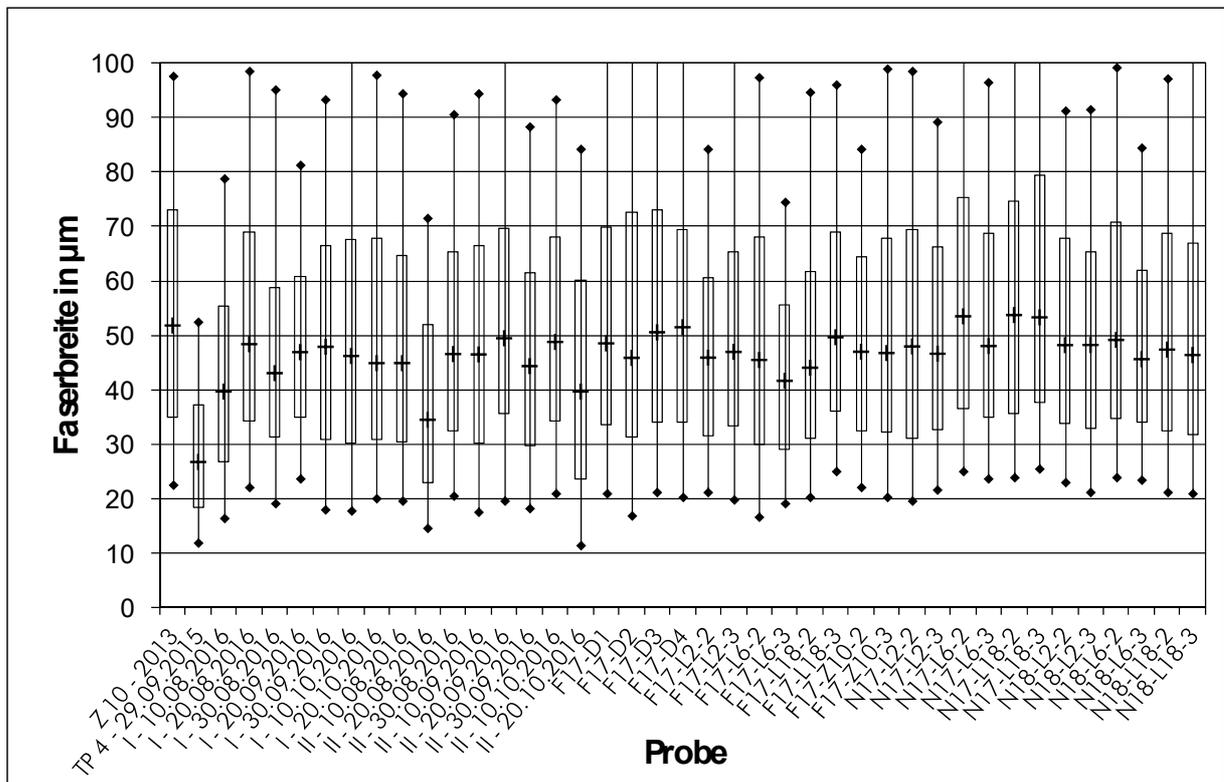


Abbildung 76: Box-Plots der untersuchten Proben aus den Versuchsreihen zu Ernte und Feldparametern mit Median (+), Box Perzentile 25 – 75; unten und oben Perzentile 10 / 90.

Auch in der Reihe der Ernteproben zur Düngevariante ist der Einfluss klein: F17-D 1 – F17-D 4 unterscheiden sich nur unwesentlich: F17-D 1 / 2 liegen knapp unter; F17-D 3 / 4 knapp über 50 µm.

In den Messreihen mit unterschiedlicher Pflanzdichte F17-L... / Z... und N17-L... ist keine eindeutige Tendenz zu erkennen. D.h. die untersuchten Dichtevarianten haben keinen signifikanten Einfluss auf die Faserfestigkeit. Beobachtbar ist aber ein leichter Standorteinfluss: während die Proben aus Frielingen alle im Bereich 40 – 50 µm liegen, erreichen drei der sechs Proben aus Nordstemmen in 2017 >50 µm. In der Folgemessung der Ernte 2018 sind diese Proben etwas feiner, so dass die 50 µm nicht mehr überschritten werden. Insgesamt bleibt der Unterschied zum Vorjahr aber gering.

Wie im Abschnitt zur Aufschließbarkeit dargestellt, sind die Proben der Messreihen Düngevariante und Pflanzdichte nur schwach geröstet (Ziel war hier der Vergleich der Varianten und nicht Weiterverarbeitung) und damit durch ihre schlechte Aufschließbarkeit zwangsweise gröber. Generell ist dazu anzumerken, dass die Fasern mit Feinheiten <40 µm gut für technische Anwendungen geeignet sind; für eine klassische textile Verarbeitung sind dagegen Medianwerte ≤30 cN/tex erforderlich, um feine Garne herstellen zu können.

### 3.4.5 Faserlänge

In Abbildung 77 sind die gemessenen Faserlängen der Proben der B- und D-Serie dargestellt. Die zugrunde liegenden Einzelwerte sind in Tabelle 27 zusammengefasst. Alle Proben sind mit Werten um 60 mm (Barbe) lang genug für eine problemlose Verarbeitung in textilen Anlagen. Baumwolle ist vergleichsweise deutlich kürzer: langstapelige Baumwolle liegt im Bereich 31 – 34 mm; extra langstapelige (ELS) etwas darüber. Synthefasern werden als „Baumwolltype“ mit 40 – 42 mm Schnittlänge vermarktet. Sollten für eine bestimmte Verarbeitung kürzere Nesselfasern benötigt werden, ist ein Kürzen durch Schneiden unproblematisch möglich.

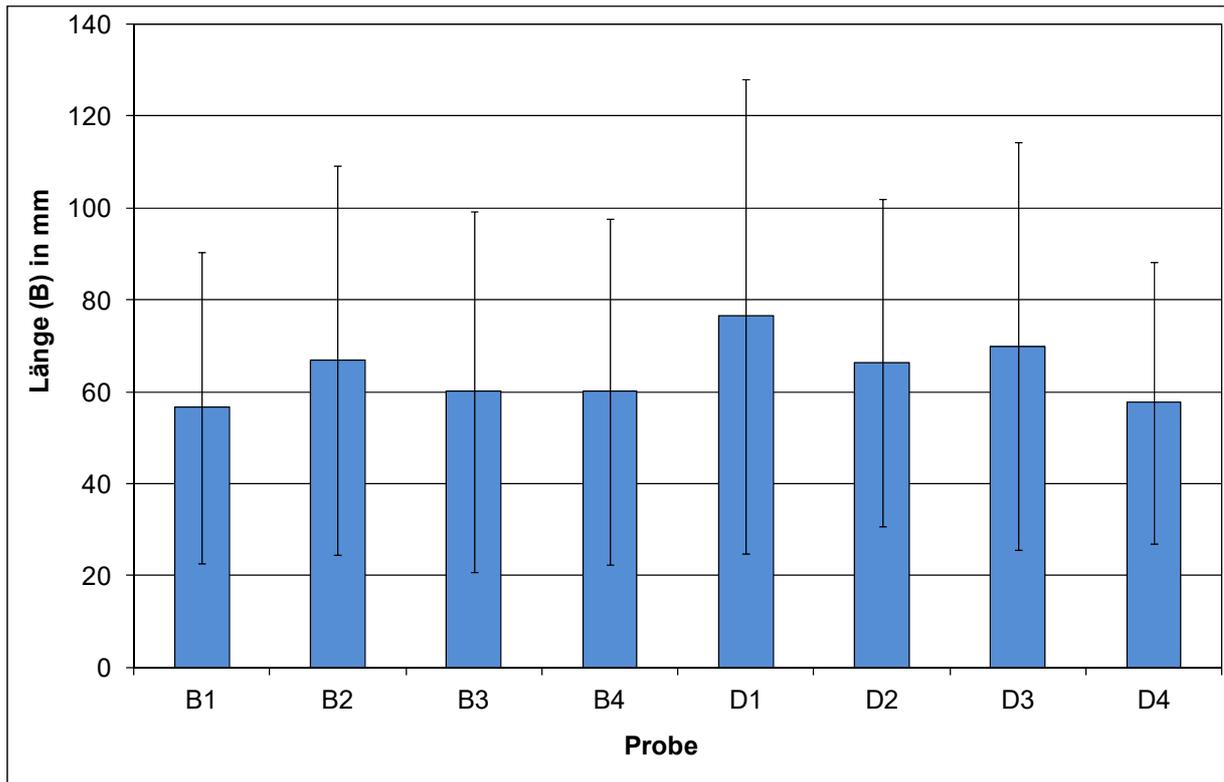


Abbildung 77: Faserlänge und Standardabweichung der Proben der B- und D-Serie.

Tabelle 27: Faserlänge (B) in mm und Standardabweichung der untersuchten Proben.

Probe	Länge (B) in mm
B1	56,60 ± 33,79
B2	66,90 ± 42,41
B3	60,10 ± 39,19
B4	60,10 ± 37,62
D1	76,50 ± 51,56
D2	66,40 ± 35,52
D3	69,90 ± 44,32
D4	57,70 ± 30,64

### 3.4.6 Aufschließbarkeit

Zum Vergleich des eingesetzten Rohstoffs über verschiedene Anbaujahre wurden ausgewählte Proben als Stängel im Labor aufgeschlossen. Die Resultate sind in Tabelle 28 aufgelistet.

Tabelle 28: *Ergebnisse des mechanischen Stängelaufschlusses.*

Probe	Mechan. Fasergehalt in %	Entholzbarkeit $\mu_{\text{tnF}}$ in %	Verlust im GA in %
Z 10 2013	32,9 ±4,0	57,3 ±16,6	20,83
TP 4 2015	29,8 ±4,1	82,2 ±9,3	29,01
I - 10.08.2016	23,29	69,75	27,32
I - 20.08.2016	23,69	64,85	24,96
I - 30.08.2017	27,07	63,29	30,66
I - 20.09.2016	27,08	72,38	21,68
I - 30.09.2016	25,37	64,74	27,32
I - 10.10.2016	21,23	68,74	23,20
I - 20.10.2016	23,43	60,21	31,48
II - 10.08.2016	25,52	67,20	23,55
II - 20.08.2016	23,67	73,18	25,98
II - 30.08.2016	25,55	62,83	24,37
II - 10.09.2016	27,94	72,79	21,99
II - 20.09.2016	27,70	62,91	22,35
II - 30.09.2016	25,64	53,50	24,63
II - 10.10.2016	28,84	73,98	18,04
II - 20.10.2016	26,52	59,71	28,00
F17-D1	25,70 ± 7,20	29,75 ± 15,22	25,41
F17-D2	23,50 ± 5,50	35,03 ± 10,89	23,10
F17-D3	26,43 ± 4,18	26,67 ± 7,54	20,79
F17-D4	23,05 ± 4,02	39,67 ± 11,42	19,01
F17-L2-2	36,57 ± 1,37	76,61 ± 8,44	12,10
F17-L2-3	38,44 ± 1,26	77,76 ± 12,08	10,58
F17-L6-2	29,13 ± 4,01	63,70 ± 4,11	17,92
F17-L6-3	28,05 ± 2,44	60,26 ± 9,20	17,99
F17-L18-2	28,61 ± 2,04	51,35 ± 6,63	19,97
F17-L18-3	26,28 ± 1,56	66,66 ± 9,55	17,60
F17-Z10-2	25,39 ± 2,88	40,22 ± 18,22	20,99
F17-Z10-3	25,86 ± 4,00	63,94 ± 13,07	19,05
N17-L2-2	40,91 ± 3,23	49,27 ± 13,71	12,76
N17-L2-3	41,89 ± 2,26	50,61 ± 15,34	13,34
N17-L6-2	31,34 ± 3,01	30,71 ± 8,58	15,44
N17-L6-3	29,35 ± 1,33	49,97 ± 5,93	18,85
N17-L18-2	28,61 ± 2,04	51,35 ± 6,63	24,41
N17-L18-3	27,83 ± 1,60	65,67 ± 12,11	21,52
N18-L2-2	31,69 ± 5,99	62,49 ± 12,71	23,41
N18-L2-3	30,80 ± 5,69	56,53 ± 11,94	26,53
N18-L6-2	32,71 ± 6,50	42,50 ± 10,93	16,42
N18-L6-3	34,07 ± 3,93	35,29 ± 11,01	29,24
N18-L18-2	34,86 ± 3,01	62,46 ± 13,64	31,87
N18-L18-3	36,50 ± 3,54	57,25 ± 14,71	23,01

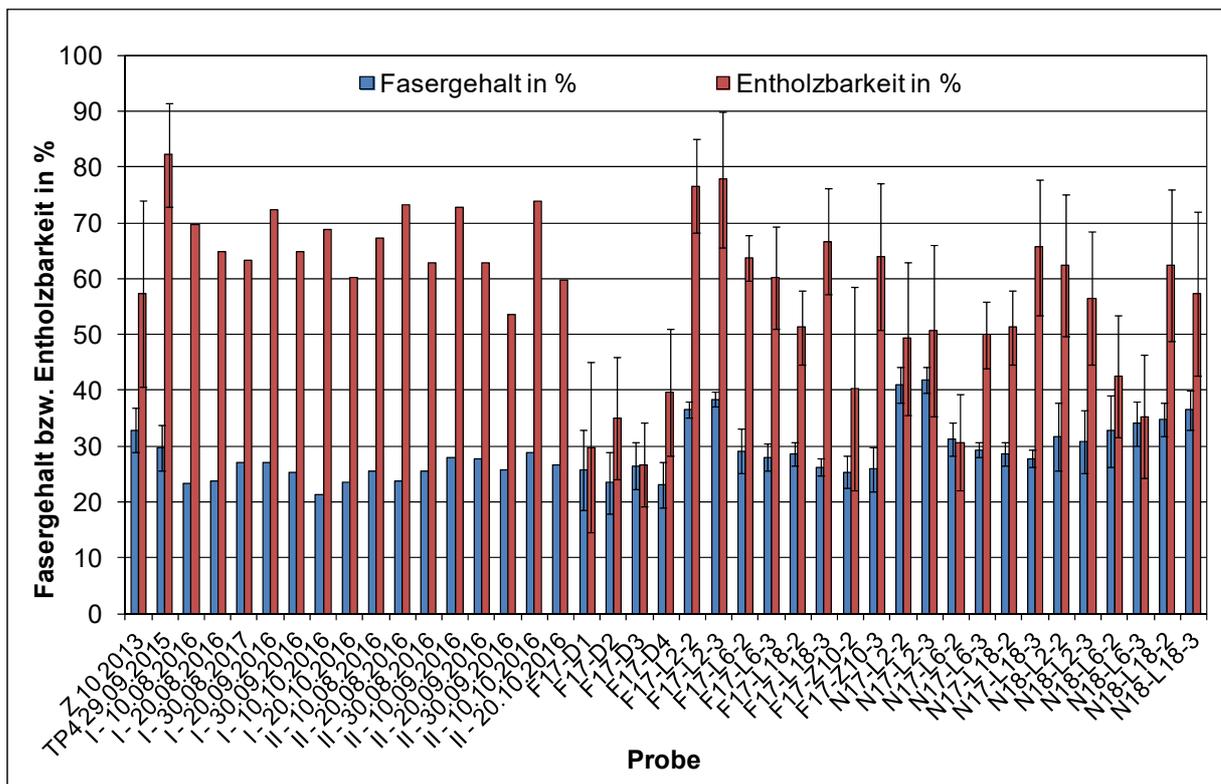


Abbildung 78: mechanische Fasergehalte und Entholzbarkeiten mit Standardabweichung für die Ernteproben.

Zum Vergleich sind die mechanischen Fasergehalte und Entholzbarkeiten in Abbildung 78 grafisch dargestellt. Bei den Ernteproben Z 10 und TP 4 handelt es sich um Klon Z 10 vom selben Standort (Nordstemmen) aus Ernte 2013 und 2015. Der mechanisch erzielbare Fasergehalt liegt mit Werten um 30% im normalen Rahmen. Auffällig ist der große Unterschied in der Entholzbarkeit: der Wert von 57% aus 2013 entspricht einer relativ schlechten Entholzbarkeit, d.h. nur schwach geröstetem Material. Probe TP 4 aus 2015 liegt dagegen mit 82% im Bereich guter Entholzbarkeit. Dies spricht dafür, dass das Material in 2015 mindestens gut geröstet war.

Dazu passt auch der deutliche Unterschied in der Feinheit dieser Proben (vgl. Abschnitt 4.2.2): geröstete Fasern sind i.d.R. deutlich feiner als ungeröstete.

Zur Beobachtung des Einflusses des Erntetermins wurden Proben von zwei Positionen im Zeitraum vom 10. August bis 20. Oktober 2016 genommen. Diese Proben wurden mit nur drei bis sieben Stängeln und geknickt jeweils gemeinsam in einer Verpackung geliefert. Demzufolge war eine separate Messung der einzelnen Stängel nicht möglich, so dass bei Fasergehalt und Aufschließbarkeit jeweils nur ein Gesamtwert ohne Standardabweichung angegeben werden kann. Auch die Stängelmaße konnten so nicht mehr erfasst werden. Durch die verringerte Zahl an Stängeln im Probenumfang ist zudem die statistische Basis der Messwerte schmäler als üblich. Unter Berücksichtigung dieser Einschränkungen wurden die Stängel im Labor aufgeschlossen. Die Resultate sind in Tabelle 11 enthalten.

Weiter wurde anhand von Feldproben des Partners 3N der Einfluss verschiedener Düngevarianten am Standort Frielingen, sowie der Einfluss der Pflanzdichte an den Standorten Frielingen und Nordstemmen untersucht. Entsprechend der kurzen Röste lässt sich sagen, dass der mechanisch erzielbare Fasergehalt mit Werten bis 40% im zu erwartenden Rahmen liegt. Durch die nicht vollständige Röste verbleiben in der Rinde noch Pektine und Hemicellulosen, die mechanisch nicht komplett von den Fasern abgetrennt werden. Als Folge ergibt die Untersuchung scheinbar hohe Fasergehalte und — wie in den vorangegangenen Abschnitten gezeigt auch hohe Faserbreiten,

d.h. sehr grobes Material. Gut geröstete Nessel kommt auf mechanische Fasergehalte <30%; sehr gut geröstete <25%. Die Werte der mechanischen Fasergehalte sind nicht zu verwechseln mit dem chemisch bestimmbareren Reinfasergehalt: dieser erreicht für Nessel je nach Klon 15 – 18% [Fischer 2013] und beinhaltet praktisch nur noch die reine Cellulose in Form von Elementarfasern.

Bezüglich der Entholzbarkeit erreichen nur die zwei besten Proben (F17-L2-2 und -3) noch knapp den guten Bereich >70%; wenige Proben den mittleren Bereich mit Werten von 60 – 70%. Viele Proben, darunter die komplette Messreihe Düngevariante, erreichen nicht einmal 40% Entholzbarkeit, so dass hier von einer schlechten bis sehr schlechten Röste auszugehen ist. Eine gute Röste hätte zu Werten >80% Entholzbarkeit geführt.

Dazu passen auch die Ergebnisse der Festigkeit (vgl. Abschnitt 4.2.1) sowie der Feinheit dieser Proben (vgl. Abschnitt 1.2.2): die Feinheiten sind mit Werten bis >50 µm sehr grob, und die Festigkeiten sehen auch durch den Anzahleffekt mit Werten bis 50 cN/tex zunächst gut aus, gleichzeitig wäre aber ein weiterer mechanischer Aufschluss nur unter signifikanter Materialschädigung (d.h. Festigkeitsverlust) möglich.

Eine Auswertung der mechanischen Kennwerte und interner Vergleich der Proben (vgl. Abschnitte 4.2.1 und 4.2.2) konnte jedoch so sichergestellt werden.

Die wichtigste Erkenntnis bleibt aus dem Vergleich der Erntejahre (TP 4 und Z 10), dass es bei sorgfältiger Kontrolle des Röstverlaufes in jedem Fall möglich wäre, gutes Material für die textile Wertschöpfungskette zu gewinnen.

### **3.4.7 Vergleich über Erntejahre und Standorte**

Die hier untersuchten Proben spiegeln naturgemäß nur die Eigenschaften einer vergleichsweise kleinen Stichprobe wider. Es handelt sich um den Nesselklon Z 10, der auch im FNR-geförderten Verbundvorhaben „Züchtung faserreicher, ertragreicher und widerstandsfähiger Fasernesselklone — Teilvorhaben 2: Charakterisierung von Fasernesselproben und Bewertung der Qualität in Abhängigkeit von Klonparametern“ (FKZ 22026307) über fünf Jahre an zwei Standorten in Niedersachsen umfassend untersucht wurde. Die Daten aus diesem Projekt [Fischer 2013] stellen damit eine sehr gute und breite Grundlage für Vergleiche dar. Im folgenden können somit die hier erzielten Ergebnisse auch im größeren Kontext diskutiert werden.

In Abbildung 79 sind die Fasergehalte des Klons Z 10 vom Standort Nordstemmen aus diesem Projekt im Vergleich zu Daten für Z 10 aus den Jahren 2009 bis 2012 an den Standorten Solkau und Hannover aufgetragen. Im Vergleich der Standorte Hannover und Solkau lässt sich auch gut die Varianz erkennen, die schon durch die unterschiedlichen Böden und leicht abweichende lokale Klimabedingungen entstehen. Die gut geröstete Probe von 2015 hat mit rund 30% einen Fasergehalt, der gut vergleichbar mit den Proben aus Solkau ist. Lediglich die nur leicht geröstete Probe aus 2013 liegt noch leicht höher. Dies ist dadurch zu erklären, dass in diesen Faserbündeln noch das gesamte Material enthalten ist (Pektine, Hemicellulosen etc.), welches sonst im Verlauf der Röste abgebaut wird. Für 2016 standen lediglich die Proben der I... und II...-Reihen zur Verfügung; der angegebene Wert ist der Mittelwert über alle 15 Proben mit Standardabweichung. Diese Proben aus 2016 liegen trotz ihrer geringeren Röste noch unter den Werten aus 2013 und 2015. Insgesamt liegen aber alle Ernten des Klons Z 10 aus diesem Projekt im Bereich der aus dem Vorläuferprojekt üblichen Varianz.

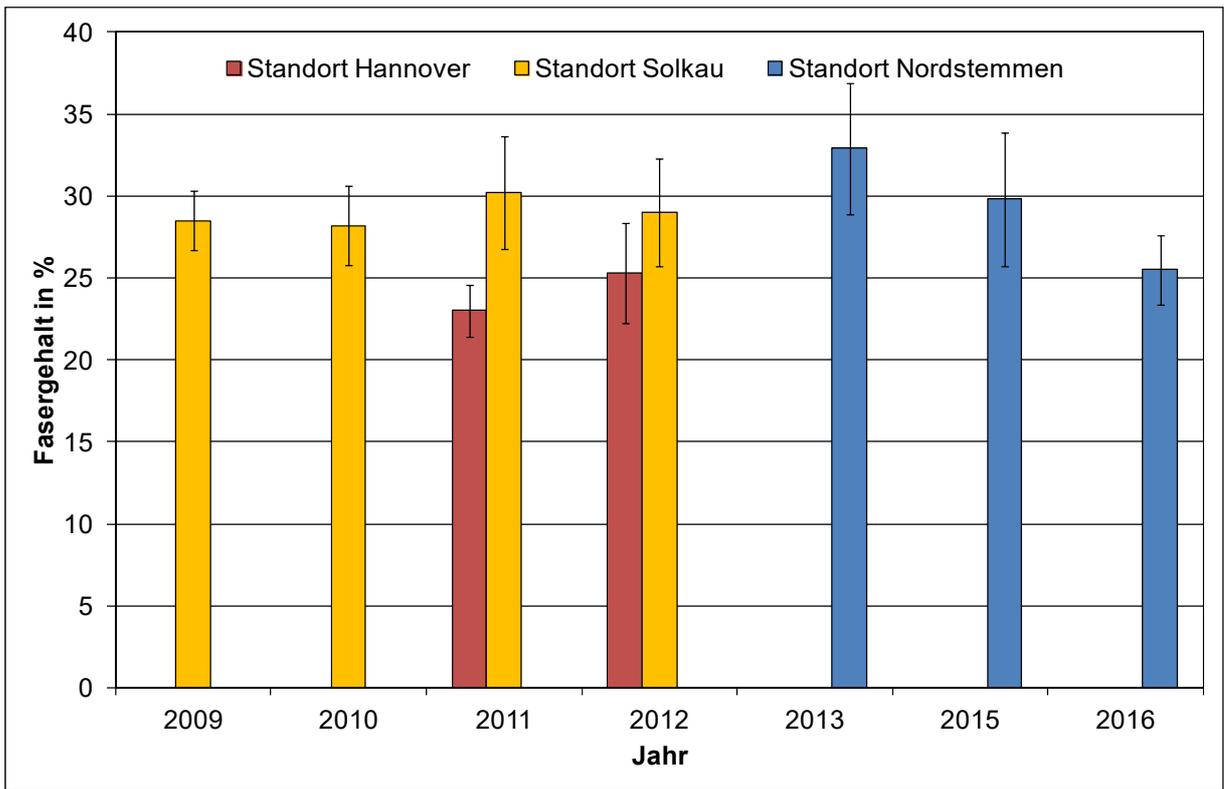


Abbildung 79: Fasergehalte des Klons Z 10 im Vergleich über verschiedene Standorte und Anbaujahre.

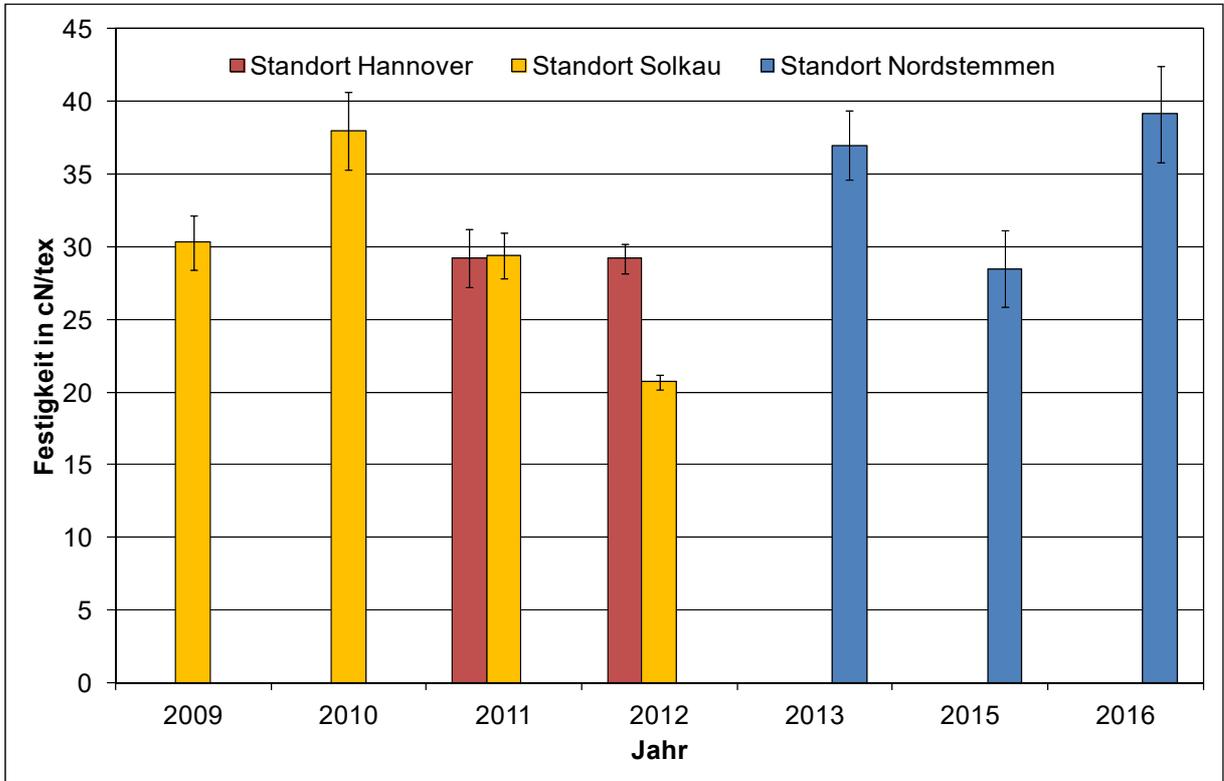


Abbildung 80: Faserfestigkeit des Klons Z 10 im Vergleich über verschiedene Standorte und Anbaujahre.

Auch bezüglich der Faserfestigkeit liegen die hier untersuchten Proben im Bereich der Varianz, die an den „alten“ Standorten beobachtet wurde. Wie in Abbildung 80 dargestellt, liegt die Faserfestigkeit von Z 10 meist bei rund 30 cN/tex, wobei aber minimal nur 22 cN/tex und maximal 38 cN/tex erreicht werden. Die Proben dieses Projektes liegen mit 37; 29 und 39 cN/tex im selben Bereich.

Hierzu muss angemerkt werden, dass die höhere Festigkeit der Probe aus 2013 zum Teil auf den Anzahleffekt zurückzuführen sein dürfte, weil diese Fasern erheblich gröber als die des Erntejahres 2015 sind. Dadurch sind erheblich weniger Fasern im jeweils gemessenen Kollektiv als bei den feineren Proben, und der Messwert wird damit größer als bei feineren Proben.

In Abbildung 81 sind die gemessenen Feinheiten der Proben dargestellt. Während die Referenzproben aus den Jahren 2009 – 2012 alle im Bereich 28 – 37  $\mu\text{m}$  liegen, befindet sich die Probe aus 2013 mit 52  $\mu\text{m}$  deutlich darüber, während die Probe aus 2015 mit 27  $\mu\text{m}$  sogar knapp darunter liegt. Dies spricht ebenfalls dafür, dass die Röste im Jahr nur sehr schwach war, und die Proben im Erntejahr 2015 wahrscheinlich sogar leicht überröstet waren. Die Probe aus 2016 ist dagegen mit 45  $\mu\text{m}$  wieder ähnlich wie 2013 entsprechend der kurzen Röste recht grob.

Aus den Feinheiten ist zu folgern, dass die an diesen Fasern gemessenen Festigkeitswerte für 2015 direkt vergleichbar sind; lediglich bei den Proben aus 2013 und 2016 sollte der Anzahleffekt berücksichtigt werden.

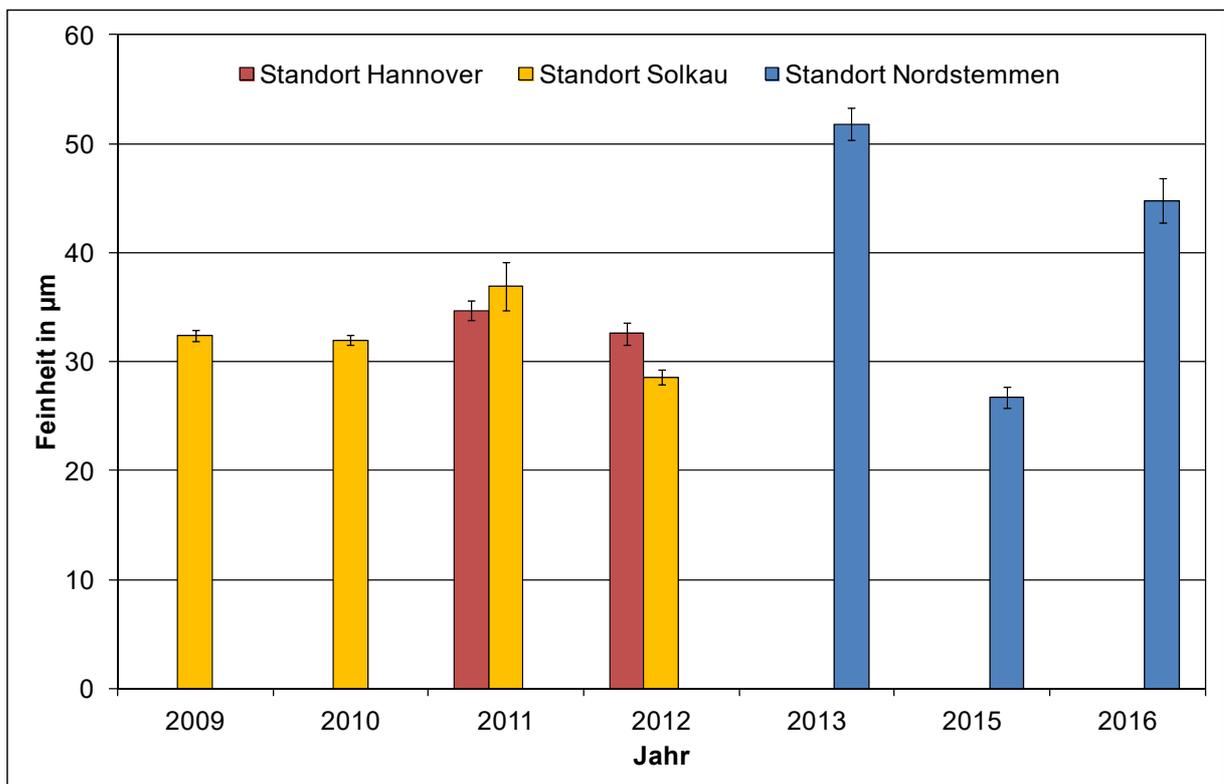


Abbildung 81: Median Faserfeinheit des Klons Z 10 im Vergleich über verschiedene Standorte und Anbaujahre.

Insgesamt lässt sich aus diesen Werten schließen, dass auch der Anbau an den Standorten in diesem Projekt vergleichbares pflanzliches Material liefert. Die Fasergehalte sind sehr gut mit den im Vorgängerprojekt erzielten Werten vergleichbar. Die Faserqualitäten schwanken hier über die Jahre durch unterschiedliche Röste. Dieser Einfluss kann durch aber eine gute Kontrolle des Röstverlaufs eliminiert werden. Damit kann auch eine industrielle Produktion mit gleich bleibenden Qualitäten sichergestellt werden.

### 3.4.8 Ansätze zur Entwicklung eines Verfahrens zur Messung der Atmungsaktivität

Von Nesselfasern ist bekannt, dass sie über eine Feuchteaufnahme von 11–17% bei 65% rel.F. verfügen [Müssig et al. 2010]. Selbst gegenüber anderen Bastfasern wie Flachs (7–12%) und Hanf (6–12%) [Müssig et al. 2010] ist das ein über 40% größeres Feuchteaufnahmevermögen. In die gefühlte Atmungsaktivität eines Textils gehen neben dem Feuchteaufnahmevermögen auch die Wasserdampfdurchlässigkeit sowie die Geschwindigkeit der Wasseraufnahme und –abgabe des Textils ein. Sie ist technisch nur schwer zu erfassen, so dass sich namhafte Hersteller wie W.L. Gore (GORE-TEX®) auf die Messung der Wasserdampfdurchlässigkeit nach [DIN EN ISO 15496] bzw. [ASTM F2298] sowie den ReT-Test beschränken. Wichtig ist dabei zu wissen, dass ein Großteil der Wasserdampfdurchlässigkeit durch die Porenöffnungen des Gewebes erfolgt, während der gefühlte Tragekomfort wesentlich davon abhängt, wie feucht sich das Material auf der Haut anfühlt und wie schnell entstehende Feuchte in die Fasern aufgenommen und schließlich nach draußen transportiert wird. Dieses Verhalten wird aber wiederum entscheidend durch die Geschwindigkeit der Feuchtigkeitsaufnahme der Fasern beeinflusst. Zur Messung wird die Kinetik der Feuchteaufnahme und –abgabe in unterschiedlichen Klimaten auf einer Waage mit angeschlossener digitaler Datenerfassung verfolgt [BÄUMER 1998]. Die Klimaten können durch spezielle Salzlösungen anstelle von Trocknungsmitteln in Exsikkatoren eingestellt werden, so dass eine parallele Messung unterschiedlich klimatisierter Proben möglich wird. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei Naturfasern eine Feuchtigkeitshysterese auftritt und eine unterschiedliche Endfeuchte erreicht wird, je nachdem ob man vom trockenen oder feuchten Zustand der Probe startet.

Im Berichtszeitraum konnten erste Untersuchungen mit Nessel im Vergleich zu Hanf in verschiedenen Klimaten vorgenommen werden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen stellen die Grundlage für ein später im Rahmen der geplanten Projektaufstockung zu entwickelndes normgerechtes Bewertungsschema dar, mit dem die Atmungsaktivität späterer Textilprodukte bereits am Rohstoff „Naturfaser“ grundlegend beurteilt werden kann.

Die orientierenden Versuche wurden mit einer Probe Nessel B13 (Brennells BV) und einer Probe Hanf GDE02 (Nafgo) in verschiedenen Klimaten durchgeführt (Abbildung 82). Neben vorgetrockneten Fasern (3h / 105 °C, Labortrockenschrank Memmert) wurden Fasern in Exsikkator über gesättigten Lösungen 24 h vorkonditioniert (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> / 97,6% rel.F. und LiCl / 11,3% rel.F. [Greenspan 1977]). Die größten Unterschiede wurden dabei in der Feuchteaufnahme der vorgetrockneten Fasern beobachtet. Wie in Abbildung 14 zu erkennen ist, erfolgt die Feuchteaufnahme von Nessel B13 wesentlich schneller als die von Hanf GDE02. Die Aufnahme der Nesselprobe ist nach 3 Min 65 % und nach 30 Min noch 45 % höher als die der Hanfprobe. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass Nesselfasern tatsächlich ein größeres Feuchteaufnahmevermögen haben als Hanffasern.

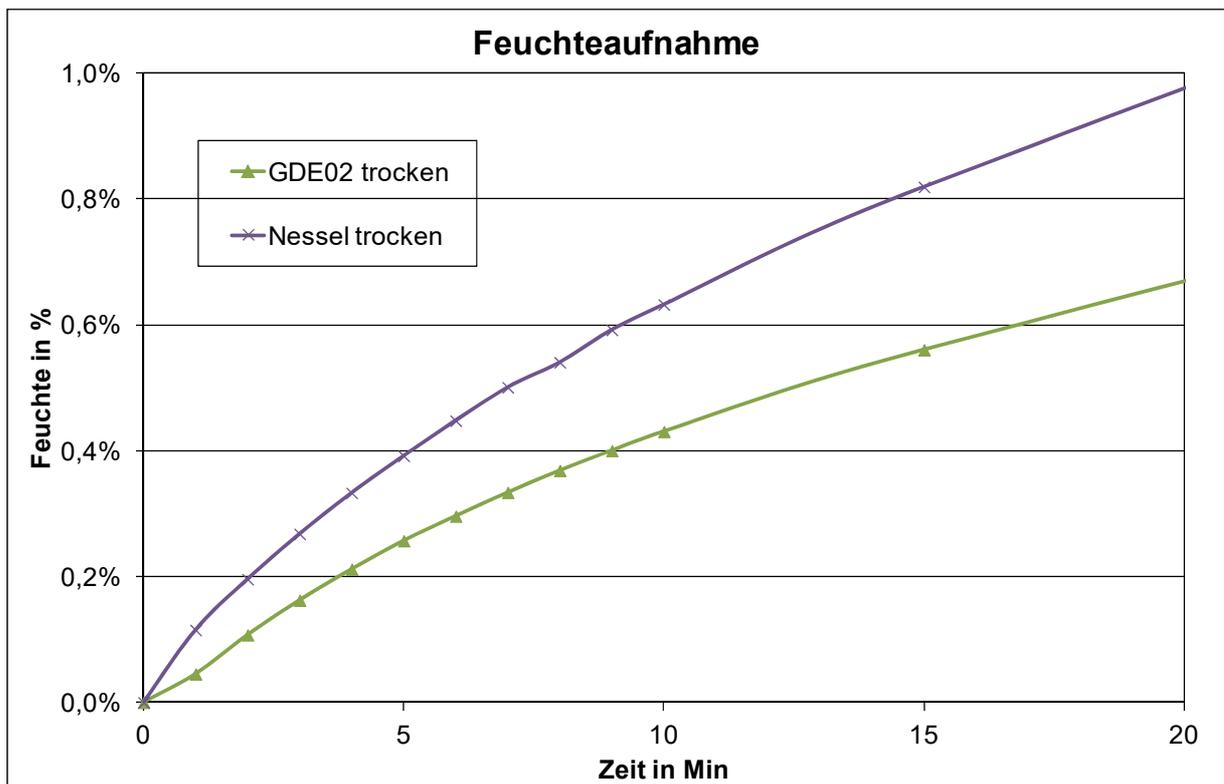


Abbildung 82: Feuchtaufnahme von getrockneter Nessel und Hanf im Vergleich.

Es ist damit sinnvoll, diese Art der Messung zu einem Schnellverfahren zur Messung der Feuchtaufnahme auszubauen und vor Allem auch zu validieren. Dazu wird es erforderlich sein, die Untersuchungen auf andere Faserarten wie z.B. Cotton auszudehnen, den Einfluss der spezifischen Oberfläche als Funktion der Faserfeinheit zu berücksichtigen, den Einfluss möglicher Störgrößen zu bilanzieren und die Messgenauigkeit zu validieren.

### **3.5 TV 5: Herstellung von elementaren Brennesselfasern - NFC/FVT**

(Berichtsteil für die Laufzeit des eigenen Teilvorhabens 19.09.17 – 31.01.2018)

#### 1. Erfahrungen mit dem Krempeln von Nesselfasern:

Entholzte Nesselfasern aus B-Klonen, die aus einem einheitlichen Bestand aus den Ernten 2013 und 2014 stammen, wurden bei den verschiedensten Bedingungen in zwei verschiedenen Anlagen gekrempelt. Dabei wurden folgende Parameter variiert:

- a. Aufgabemenge
- b. Walzengeschwindigkeit
- c. Abstand der Walzen zueinander

Ferner wurden Daten zur Feuchte der Fasern und Raumtemperaturen erfasst, um deren Einflüsse auf die Ergebnisse korrelieren zu können. Die Ausbeute an langen Fasern und die Menge an ausgeschiedenen Kurzfasern zusammen mit den Schäben sind die entscheidenden Erfolgsfaktoren für die jeweiligen Versuchsparameter.

Die Einstellungen wurden bisher nur einmal reproduziert. Grundsätzlich lassen sich schäbenhaltige rohe Nesselfasern von den Schäben bei bestimmtem Durchsatz und Maschineneinstellungen reinigen. Die Einstellungen sind bei der feinen und der zweiten mit groben Nadeln bestückten Krempel unterschiedlich, um den gleichen Reinigungsgrad zu erreichen. Die Ausbeuten an langen Fasern sind um 7,6 % bei der groben Krempel unter gleichen Arbeitsbedingungen höher.

Die Untersuchungen konnten Ende 2017 lediglich zum Teil bis zum Eintreten zu geringer Temperaturen in Groß Helle durchgeführt werden.

#### 2. Erstes Degummieren und Bleichen mit einheitlichen Nesselfasern (B-Klonen)

Die Degummierungsversuche bei FVT haben zu der Erkenntnis geführt, dass sich die gereinigten Nesselfasern unter Druck und bei erhöhter Temperatur gut degummieren lassen. Die Analysen aus dem FIBRE zeigen, dass die Festigkeiten beim Bleichprozess deutlich nachlassen, aber noch fest genug erscheinen, um diese Fasern verspinnen zu können. Bessere Ergebnisse wurden mit den nicht gebleichten Ansätzen erzielt.

Ein weitere Optimierung und die Übertragung in große Produktionschargen sind notwendig. Bisher wurden nur die Grundlagen erforscht. In einem Nachfolgeprojekt müssen dringend die neuen Fasern aus den Brennesselklonen mit den 20 % igen Fasergehalten degummiert werden.

## 4 Verwertung

Die Ergebnisse von F&E in diesem Verbundvorhaben sind wichtige Voraussetzungen für den späteren Markterfolg in der textilen Wertschöpfungskette wie z.B. von Garnmischungen aus Nesselfasern mit anderen Naturfasern. Solche Nesselbeimischungen resultieren in geschmeidigeren, knitterarmen sowie atmungsaktiven Geweben. Das Verdrängen von Kunstfasern in Arbeitsbekleidung im Klinikbereich und besonders in Strümpfen würde die Haltbarkeit nicht mindern und von Allergikern begrüßt werden. Ebenso lassen sich die Nesselfasern mit Schafwolle mischen, um das typische Kratzen reduzieren. Bettwäsche und Schlafanzüge können wegen der besonderen Atmungsaktivität der Nesselgewebemischungen bevorzugt den Markt erobern. Jacketts und Anzüge wären luftiger zu gestalten. Selbst Mischungen mit Seide sollte deren nicht vorhandene Atmungsaktivität und Empfindlichkeit gegen Feuchtigkeit verbessern. Die medizinische Kompetenz der Nessel könnte selbst in Pflastern Anwendung finden, wenn die synthetischen Acetatgewebe nach klinischen Prüfungen durch Nesselgewebe ersetzt würden. All diese Produkte sind am Markt bisher nicht verfügbar und stellen somit vollkommen neuartige und innovative Lösungen für einen zunehmend nach Alternativen suchenden Textilmarkt dar.

Auch textile Hanffasern wurden bisher nicht in Deutschland hergestellt. Die nach herkömmlichen Prozessen bereitgestellte, dann etwas dickere nicht so geschmeidige Hanffaser könnte dennoch durch Mischen mit Nesselfasern oder Schafwolle in Jeans-, Jacken und Mantelstoffen eingesetzt werden. Darüber hinaus eröffnen neuere Entwicklungen eines Projektpartners zusätzliche Perspektiven für Hanffasern aus einem alternativen Bereitstellungsprozess.

Erste wesentliche Grundlagen von der züchterischen Bearbeitung und Verbesserung der Vermehrung über die Anbauoptimierung bis zum Strohaufschluss konnten erarbeitet werden. Die begleitende Rohstoff- und Fasercharakterisierung ermöglichte die Bewertung der gewonnenen Erkenntnisse und erlaubt damit einen Ausblick auf die Potentiale einer Umsetzung in die Praxis.

Seitens des IFP wurden im Bereich Fasernessel-Zellkultur und Regeneration von Pflanzen aus Kallus keine Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und Schutzrechte erteilt. Es wird nicht angestrebt, die im Rahmen des Projekts gemachten Fortschritte zu schützen. Bisher wurden vom Zuwendungsempfänger für die im Verbundvorhaben auf Anbauwert getesteten L-Klone keine Sortenrechte beantragt. Dies ist nach Auswertung der Versuchsdaten der im Rahmen einer kostenneutralen Verlängerung fortgeführten Feldversuche geplant. Diese Sortenrechte sollen mittels Anbaulizenzen kommerziell verwertet werden. Dies ist insbesondere bei einer Flächenanlage über Rhizom-Legen notwendig, da hier die Vermehrung in den Händen der Landwirte liegt.

Wissenschaftliche Erfolgsaussichten könnten mittelfristig aus der während der Projektlaufzeit entwickelten Zusammenarbeit mit Dr. Gea Guerrieros Arbeitsgruppe am LIST (Luxembourg Institute of Science and Technology) entstehen. Die Forscher um Gea Guerriero versuchen Methoden zur Pflanzenregeneration (Kalluskultur, Sproßinduktion, somatische Embryogenese) der Fasernessel für gentechnische Versuchsansätze zu entwickeln. Dabei führen sie Arbeiten aus, die auf den Fortschritten basieren, die am Institut für Pflanzenkultur e.K. erarbeitet wurden.

Die Vermehrung von Fasernesseln über somatische Embryogenese ist nach Projektende noch nicht praxistauglich und es ist darüber zurzeit keine Produktion von Synthetischen Samen möglich. Aus den Arbeiten zur Produktion von Synthetischen Samen hat sich keine direkte Verbesserung der Wirtschaftlichkeit des Fasernesselanbaus ergeben. Es wird auch nach den Erfahrungen im Projekt nicht erwartet, dass sich das Verfahren in Zukunft wirtschaftlich nutzen lässt.

Technische Erfolgsaussichten gibt es kurzfristig in der Zusammenarbeit mit den Projektpartnern 3N und NFC in der Umsetzung der Vermehrungsmethode Rhizom-Legen. Im Rahmen einer kostenneutralen Verlängerung bis Jahresende 2018 geschieht dies mit einem Landwirt, der im Projekt Feldversuche durchführt, und auch Vertragsanbau für die NFC durchführt.

Erste Ansätze für die Umsetzung der Arbeiten zur Alternativmethode Rhizom-Legen in die landwirtschaftliche Anwendung sind im Rahmen der kostenneutralen Verlängerung erfolgt. Es wird erwartet, dass das Rhizom-Legen eine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit des Fasernesselbaus erbringt. Der vollständige Nachweis erfordert zukünftig allerdings eine detailliertere Untersuchung und Erprobung. Die dabei erzielte Kostenreduzierung beim Ausweiten von Anbauflächen hat das Potential, zu einer deutlichen Steigerung der Anbaufläche zu führen. Mit der Sicherung der Sortenrechte für die besten L-Klon Klonsorten (L-Klone) durch das IFP können diese für den kommerziellen Anbau angeboten werden und ermöglichen wegen ihres überlegenen Fasergehalts deutlich höhere Faserflächenerträge. Auch sind diese Genotypen evtl. eine gute Ausgangsbasis für zukünftige Kreuzungsstrategien. Das zukünftig zentrale Ziel sollte die Etablierung einer langfristigen Züchtungsstrategie sein. Dazu gehört die Erfassung und Nutzung aller bisher zur Verfügung stehenden Züchtungsressourcen und Verfügbarmachung weiterer Ressourcen wie Ökotypen mit besserer Jungpflanzenentwicklung, höherer Trockenresistenz oder größeren Samen mit höherer Keimfähigkeit. Ein weiteres Ziel bei diesen Bemühungen wäre die Etablierung sortenechten Saatgutes mit hohem Fasergehalt, um die vegetative Vermehrung mittels Stecklingen oder Rhizome abzulösen. Es wäre zu testen, ob hier bei der Nessel die Kreuzung aus zwei Klonen besser geeignet ist als die Entwicklung einer Populationssorte. Um darüber hinaus einen langfristigen Fortschritt bei der Fasernessel-Sortenentwicklung zu ermöglichen, sollten weiterhin Anstrengungen unternommen werden, die biotechnologischen Grundlagen zu verbessern. Dazu zählen Zellkulturtechniken wie hier im Projekt bearbeitet, insbesondere der Regenerierung von Pflanzen aus Zellkultur, Einzelzellen und Blütenorganen zur Erzeugung von doppelhaploiden oder transgenen Pflanzen.

Für die zukünftige Gestaltung der Anbauverfahren muss auf eine ausreichende Pflege der Nesselklone geachtet werden. Sollten die Nessel durch Konkurrenzpflanzen nicht dicht wachsen, muss das Feld rechtzeitig durch Hacken oder Grubbern bearbeitet werden. Die Bearbeitung, insbesondere das Hacken, hat den positiven Nebeneffekt, dass weitere Keimlinge entstehen. Es zeigte sich ein deutlicher Einfluss der Genotypen auf die Bestandsetablierung, wobei aus landwirtschaftlicher Sicht die Ertragsleistung des Klon L18 und Z10 überzeugten.

Untersuchungen zur Rhizomvermehrung sollten weitergeführt werden, um weitere Erkenntnisse zu den bisherigen Versuchen sowie einer Optimierung gewinnen zu können. Ein Vermehrungspotential von 1:20, d.h. Mutterknolle zu Rhizomfragmenten, konnte realisiert werden. Die Rhizomvermehrung könnte und der Verwendung einer etablierten mechanischen Lösung zur Ausbringung von Rhizomfragmenten, im direkten Vergleich zur pflegeintensiven Stecklingsvermehrung, eine interessante Alternative sein.

Insgesamt hat sich während der Projektlaufzeit ein erheblicher Einfluss der jeweiligen Witterungsverhältnisse mit entsprechenden Auswirkungen auf Pflanzenetablierung, Düngewirkung und damit letztlich Biomasseerträge, aber auch Nachernteprozesse wie Feldtrocknung und –röste sowie Faserausbeuten und –qualitäten gezeigt. Für den Fall von Nachfolgevorhaben sollte daher angestrebt werden, diese Fragen in ausreichendem Maße auch weiterhin zu betrachten.

Die Etablierung von Naturfasern setzt perspektivisch neben der Erzielung nachhaltig positiver Betriebsergebnisse und marktorientierter Produktpreise ebenso die Einhaltung gleich bleibend hoher Produkt-, d.h. Faserqualitäten voraus. Die Spezifik der am ATB entwickelten sowie in Zusammenarbeit mit NFC deutlich verbesserten Entholzungstechnologie erlaubt den vollständigen Aufschluss der Faser-Schäbenbindung bei vermeidbarer Faserschädigung schon in diesem ersten Prozessschritt auch für den textilen Anwendungsbereich in guten Ausbeuten. Damit besteht die Möglichkeit, das witterungsbedingte Verfahrensrisiko bei der Feldröste und –trocknung zu minimieren, da

das Pflanzenmaterial nicht bis zum Erreichen eines für die bisher bekannten Aufschlussprinzipien erforderlichen Röstgrad auf dem Feld belassen werden muss.

Die erforderliche Feldliegezeit kann deutlich reduziert werden. Solche Technologien sind auf dem Markt bisher nicht verfügbar und stellen in Kombination mit der Möglichkeit zur Verarbeitung von textilen Nessel- und Hanffaserqualitäten eine erstmalig verfügbare Innovation dar.

Durch die Versuchsreihen zur Aufbereitung von Nesselstroh konnte festgestellt werden, dass sich die benannten Wirkprinzipien grundsätzlich auf diesen Rohstoff anwenden lassen. Deutlich wurde dabei in einem direkten Vergleich zu anderen Aufschlussanlagen, dass ein geringerer Schäbengehalt in der resultierenden Faserfraktion durch wenige Modifikationen erreichen lässt. Allerdings sind notwendige Prozessschritte — zur nahezu vollständigen Abtrennung der Schäben — noch gründlich zu erforschen bzw. zu entwickeln. Wesentlich ist dabei, dass eine hohe Ausbeute an langen Nesselfasern erzielt wird. Das Teilvorhaben Optimierung der Entholzung mit der Hammermühle trägt einen wesentlichen Anteil am wirtschaftlichen Erfolg des Verbundvorhabens.

Nesselfasern können nach einem gut überwachten Röstprozess in reproduzierbarer Qualität für den Markt technischer Fasern erzeugt werden. Für die Nutzung im Bekleidungstextilsektor sind die Erfolgsaussichten weiter noch nicht absehbar, da weitere wesentliche Aufgaben noch nicht bearbeitet werden konnten. Dies umfasst u.A. die Optimierung des Degummierungsprozesses, um feinere Fasern reproduzierbar ohne Abhängigkeit von der wetterabhängigen Feldröste bereitstellen zu können und die Entwicklung eines normgerechten Schnelltests zur Messung der Feuchteaufnahme zu forcieren, um damit auch das Marketing für hochwertige Nesseltexilien zu ermöglichen.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass wesentliche wissenschaftliche und technische Grundlagen für die Betrachtung der weiteren Wertschöpfungskette erarbeitet werden konnten. Eine letztlich vollständige Umsetzung und Verwertung in der Praxis bedarf nun der Bearbeitung der verbliebenen offenen Fragen aus diesem Vorhaben sowie Überführung und Erweiterung der Erkenntnisse in die textile Verarbeitung hochwertiger Nesselfasern.

## **5 Erkenntnisse von Dritten**

Während der Durchführung des Vorhabens sind keine Ergebnisse von dritter Seite bekannt geworden, die für die Durchführung des Vorhabens relevant waren. Aus den entsprechenden Aktivitäten des scheinbaren Mitwettbewerbs, Brennells N.V. (aufgegeben) und Mattes & Ammann GmbH & Co. KG (Projektstatus unbekannt) ergaben sich keine projektrelevanten Erkenntnisse.

## **6 Veröffentlichungen**

Eine im Rahmen des Projekts durchgeführte Bachelorarbeit im Bereich Fasernessel-Zellkultur wurde nicht öffentlich zugänglich gemacht. Für die im Teilvorhaben 3 „Pflanzenbauliche Untersuchungen“ in Feldpflanzungen getesteten Klone L6, L12, L18 ist eine Sortenanmeldung geplant. Neben dem hier vorliegenden Schlussbericht ist keine weitere Veröffentlichung diesbezüglicher Ergebnisse geplant. Vorgesehen sind dagegen noch Publikationen zu den pflanzenbaulichen sowie aufbereitungstechnischen Ergebnissen.

Von anderen Projektbeteiligten wurden im Projektzeitraum eine Reihe von Publikationen, Poster und Vorträgen veröffentlicht.

1. VORTRAG Fischer, H.; Bäumer, R. & Drieling, A.: *Qualitätsklassierung von Baumwolle und Bastfasern für die textile oder technische Anwendung*. In Sachsen-Leinen e.V. (Organis. & Verant.): *Fachtag Naturfaserbasierte Industrierohstoffe, Lätwitz und Chemnitz, 15. bis 16. September 2015*. Sachsen-Leinen e.V., Waldenburg, DE (2015), Vortrag, 23 Seiten.
2. ONLINE Fischer, H.: *Projekt: InBeNeFa*. Projektinformation auf der Institutswebseite <https://www.faserinstitut.de/forschungs-projekte/40-inbenefa>. Gesehen 2018-01-26.
3. ONLINE Fischer, H.: *InBeNeFa*. Englischsprachige Projektinformation auf der Institutswebseite <https://en.faserinstitut.de/research-projects/36-inbenefa>. Gesehen 2018-01-26.
4. FLYER Fischer, H: *Projekt InBeNeFa: Entwicklung einer industriellen Bereitstellungskette von Brennesseljungpflanzen bis zur Nesselfaser. Teilvorhaben 4: Qualitätskontrolle entlang der Wertschöpfungskette*. Projektflyer, 2 Seiten. Faserinstitut Bremen e.V., Bremen, DE 2016. Online erhältlich [https://www.faserinstitut.de/downloads/52-inbenefa\\_projekte](https://www.faserinstitut.de/downloads/52-inbenefa_projekte). Gesehen 2018-01-26.
5. FLYER Fischer, H: *Project InBeNeFa: Development of an industrial supply chain from nettle seedlings to nettle fibre. Part 4: Quality control along the value-added chain*. Projektflyer, 2 Seiten. Faserinstitut Bremen e.V., Bremen, DE 2015. Online erhältlich [https://en.faserinstitut.de/downloads/48-inbenefa\\_projects](https://en.faserinstitut.de/downloads/48-inbenefa_projects). Gesehen 2018-01-26.
6. VORTRAG Fischer, H.: *Natural Fibre-reinforced Bioplastics: a step towards sustainable construction materials*. In weißensee kunsthochschule berlin (Organis. & Verant.): *Symposium Green Design 7.0, weißensee kunsthochschule berlin, Berlin 2018-04-13*. Weißensee kunsthochschule berlin, DE (2018), Vortrag, 30 Seiten.
7. VORTRAG Beckhaus, H.: *Die Renaissance der feinen Nesselfaser ist eingeläutet; C.A.R.M.E.N. -Symposium 2018; Märkte der Zukunft- erneuerbar & nachhaltig in Würzburg 2018-07-10*.

## 7 Literatur

- [Agarwal 2002]** Agarwal, Sandhya. „Genetic Transformation and Plant Regeneration Studies in *Morus Alba L.*“ Phd, Dr. Y.S. Parmar University of Horticulture and Forestry, 2002.
- [ASTM F2298]** ASTM F2298:2009. *Standard Test Methods for Water Vapor Diffusion Resistance and Air Flow Resistance of Clothing Materials Using the Dynamic Moisture Permeation Cell*. ASTM, West Conshohocken, PA, USA.
- [Aydin et al. 2004]** Aydin, Y., Z. Ipekci, T. Talas-Oğraş, A. Zehir, K. Bajrovic, und N. Gozukirmizi. „High Frequency Somatic Embryogenesis in Cotton“. *Biologia Plantarum* 48, Nr. 4 (2004): 491–95.
- [Bacci et al. 2009]** Bacci, L.; Baronti, S.; Predieri, S. & di Virgilio, N.: *Fiber yield and quality of fiber nettle (*Urtica dioica L.*) cultivated in Italy*. *Industrial Crops and Products* 29,2 (2009), 480 – 484. ISSN 0926-6690.
- [Bao et al. 2012]** Bao, Ying, Guofeng Liu, Xueping Shi, Wen Xing, Guogui Ning, Juan Liu, und Manzhou Bao. „Primary and Repetitive Secondary Somatic Embryogenesis in *Rosa Hybrida*“

- 'Samantha'. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)* 109, Nr. 3 (Juni 2012): 411–18.
- [Bajaj 1995]** Bajaj, Y. P. S., Hrsg. *Somatic Embryogenesis and Synthetic Seed* I. Bd. 30. *Biotechnology in Agriculture and Forestry*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1995.
- [Bäumer 1998]** Bäumer R.: *Einfluß der Klimatisierung auf mechanischen Eigenschaften von Rohbaumwolle und Baumwollgarnen*. Abschlussbericht AiF/FK Textil-Projekt 10983, Faserinstitut Bremen e.V. 1998. — Autorenmanuskript.
- [Bredemann 1959]** Bredemann, G. (1959): *Die Große Brennessel Urtica dioica L.*, Berlin, Akademie-Verlag 1959.
- [Chowdhry et al. 1993]** Chowdhry, Constance N., A. K. Tyagi, N. Maheshwari, und S. C. Maheshwari. „Effect of L-proline and L-tryptophan on somatic embryogenesis and plantlet regeneration of rice (*Oryza sativa* L. cv. Pusa 169)“. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 32, Nr. 3 (1993): 357–361.
- [Conde et al. 2004]** Conde, P., J. Loureiro, und C. Santos. „Somatic embryogenesis and plant regeneration from leaves of *Ulmus minor* Mill.“ *Plant Cell Reports* 22, Nr. 9 (1. April 2004): 632–39.
- [DE19918166B4 2006]** Patent „Vorrichtung zur Gewinnung von Kurzfasern“, Anmelder Institut für Agrartechnik Bornim e.V..
- [DIN EN ISO 15496]** DIN EN ISO 15496:2004. *Textilien — Messung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Textilien als Qualitätskontrolle (ISO 15496: 2004)*. Beuth Verlag, Berlin.
- [Drieling et al. 1999]** Drieling, A.; Bäumer, R.; Müssig, J.; & Harig, H.: *Festigkeits-, Feinheits- und Längenprüfung an Bastfasern*. Faserinstitut Bremen e.V. 1999, 14 Seiten. — Autorenmanuskript. Standort: Bibliothek der FH Niederrhein.
- [Ermakov 2009]** Ermakov, E.: *Nessel-PLA-Verbunde*. Bachelorarbeit, FH Hannover / Technologie Nachwachsender Rohstoffe und Faserinstitut Bremen., Bremen 2009, 108 Seiten. Datum der Prüfung: 2009-07-21.
- [Fischer 2013]** Fischer, H.: *Züchtung faserreicher, ertragreicher und widerstandsfähiger Faser-nesselklone — Charakterisierung von Fasernesselproben und Bewertung der Qualität*. Schlussbericht FNR-Projekt FKZ 07NR263. Forschungsberichte aus dem Faserinstitut Bremen **45**, September 2013, 246 Seiten. BoD GmbH, Norderstedt 2013. ISSN 1618-7016. ISBN 978-3-7322-3242-0.
- [Fischer 2016]** Fischer, H.: *Verbundvorhaben: Entwicklung einer industriellen Bereitstellungskette von Brennesseljungpflanzen bis zur Nesselfaser; Teilvorhaben 4: Qualitätskontrolle entlang der Wertschöpfungskette (FNR FKZ 22008515) — Zwischenbericht Nr. 1*. Faserinstitut Bremen e.V., Bremen 2016.
- [Fischer 2017]** Fischer, H.: *Verbundvorhaben: Entwicklung einer industriellen Bereitstellungskette von Brennesseljungpflanzen bis zur Nesselfaser; Teilvorhaben 4: Qualitätskontrolle entlang der Wertschöpfungskette (FNR FKZ 22008515) — Zwischenbericht Nr. 2*. Faserinstitut Bremen e.V., Bremen 2017.
- [Fischer 2018]** Fischer, H.: *Verbundvorhaben: Entwicklung einer industriellen Bereitstellungskette von Brennesseljungpflanzen bis zur Nesselfaser; Teilvorhaben 4: Qualitätskontrolle entlang der Wertschöpfungskette (FNR FKZ 22008515) — Zwischenbericht Nr. 3*. Faserinstitut Bremen e.V., Bremen 2018.

- [Fischer et al. 2012]** Fischer, H.; Werwein, E. & Graupner, N.: Nettle Fibre (*Urtica dioica* L.) Reinforced Poly(Lactic Acid) (PLA): A First Approach. *Journal of Composite Materials* 46,24 (2012), 3077 – 3087. ISSN 0021-9983.
- [Forster et al. 2007]** Forster, Brian P., Erwin Heberle-Bors, Ken J. Kasha, und Alisher Touraev. „The resurgence of haploids in higher plants“. *Trends in plant science* 12, Nr. 8 (2007): 368–375.
- [Francken-Welz 2003]** Francken-Welz, H.v.: *Vergleichende Bewertung der Ertragsfähigkeit und Faserqualität von Lein, Hanf und Fasernessel zur Produktion hochwertiger Industriefasern*. Schriftreihe des Institutes für Pflanzenbau, Universität Bonn, Bonn, DE 2003, S. 118.
- [Fujimura 2014]** Fujimura, Tatsuhito. „Carrot Somatic Embryogenesis. A Dream Come True?“ *Plant Biotechnology Reports* 8, Nr. 1 (Januar 2014): 23–28.
- [Germana et al. 2016]** Germana, Maria Antonietta, und Maurizio Lambardi, Hrsg. *In Vitro Embryogenesis in Higher Plants*. Bd. 1359. *Methods in Molecular Biology*. New York, NY: Springer New York, 2016.
- [Graf et al. 2003]** Graf, T., Biertümpfel, A., Vetter, A., Wurl, G.: *10 Jahre anbautechnische Versuche zu Fasernesseln (Urtica dioica L.) in Thüringen*. Thüringer Zentrum Nachwachsende Rohstoffe der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Dornburg, DE 2003.
- [Hartl & Vogl 2002]** Hartl, A. & Vogl, R.: *Dry matter and fiber yields, and the fiber characteristics of five nettle clones (Urtica dioica L.) organically grown in Austria for potential textile use*. *American Journal of Alternative Agriculture* 17,4 (2002), 195 – 200.
- [Jain et al. 2005]** Jain, S. Mohan, und Pramod K. Gupta, Hrsg. *Protocol for somatic embryogenesis in woody plants*. *Forestry sciences*, v. 77. Dordrecht ; New York: Springer, 2005.
- [Kempken and Jung 2010]** Kempken, Frank, und Christian Jung, Hrsg. *Genetic modification of plants: agriculture, horticulture and forestry*. *Biotechnology in agriculture and forestry*, v. 64. Berlin ; London: Springer, 2010.
- [Lal et al. 1988]** Lal, M., P. Narayan, und V. S. Jaiswal. „Induction of Somatic Embryogenesis and Associated Changes in Peroxidase Activity in Leaf Callus Cultures of *Ficus religiosa* L.“ *Proc. Indian natn. Sci. Acad.*, Nr. 4 (1988): 171–75.
- [Lehne 2005]** Lehne, P.: *Ertragsbildung, Nährstoff- und Schadelementeinflüsse in Beständen der Fasernessel (Urtica Dioica L.) bei unterschiedlicher Düngung unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus*. Dissertation, Universität Göttingen. Cuvillier-Verlag, Göttingen, DE 2005. ISBN 3-86537-493-X.
- [Loyola-Vargas and Ochoa-Alejo 2016]** Loyola-Vargas, Víctor M, und Neftalí Ochoa-Alejo, Hrsg. *Somatic Embryogenesis: Fundamental Aspects and Applications*. Cham: Springer International Publishing, 2016.
- [Lusser et al. 2012]** Lusser, Maria, Claudia Parisi, Damien Plan, und Emilio Rodríguez-Cerezo. „Deployment of new biotechnologies in plant breeding“. *Nature Biotechnology* 30 (7. März 2012): 231.
- [Molle 1993]** Molle, F. „Carrot somatic embryogenesis and its application to synthetic seeds“. *Syn-seeds: applications of synthetic seeds to crop improvement*, 1993, 257–87.
- [Müssig et al. 2010]** Müssig, J.; Fischer, H.; Graupner, N. & Drieling, A.: *Testing Methods for Measuring Physical and Mechanical Fibre Properties (Plant and Animal Fibres)*. Chapter 13 in Müssig, J. (ed.): *Industrial Applications of Natural Fibres — Structure, Properties and*

*Technical Applications*. Wiley-VCH, Weinheim, 2010, pp. 269 - 309. ISBN 978-0-470-69508-1.

- [Müssig et al. 2013]** Müssig, J.; Cescutti, G. & Fischer, H.: Integrated quality management for bast fibres in technical applications. Chapter 10 in Bouloc, P.; Allegret, S. & Arnaud, L. (Hrsg.): *Hemp — Industrial Production and Uses*. CAB International, Wallingford, Oxfordshire, UK, (2013), 162 – 186. ISBN 978 1 845937 935.
- [Müssig & Martens 2003]** Müssig, J. & Martens, R.: *Quality Aspects in Hemp Fibre Production — Influence of Cultivation Harvesting and Retting* —. *Journal of Industrial Hemp* **8,1** (2003), 11 – 32. ISSN 1537-7881.
- [Noriega and Söndahl 1991]** Noriega, Clemencia, und Maro R. Söndahl. „Somatic Embryogenesis in Hybrid Tea Roses“. *Nat Biotechnol Bio/Technology* **9**, Nr. 10 (1991): 991–93.
- [Quiroz-Figueroa et al. 2006]** Quiroz-Figueroa, Francisco R., Rafael Rojas-Herrera, Rosa M. Galaz-Avalos, und Víctor M. Loyola-Vargas. „Embryo Production through Somatic Embryogenesis Can Be Used to Study Cell Differentiation in Plants“. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* **86**, Nr. 3 (September 2006): 285–301.
- [Rout et al. 1991]** Rout, G. R., B. K. Debata, und P. Das. „Somatic embryogenesis in callus cultures of *Rosa hybrida* L. cv. Landora“. *Plant cell, tissue and organ culture* **27**, Nr. 1 (1991): 65–69.
- [Razdan 1996]** Razdan, M. K. „Plant Tissue Culture : Theory and Practice. Studies in Plant Science, Volume 5.“, 1996.
- [Schmid & Müssig 2004]** Schmid H.G. & Müssig J.: *Characterisation of hemp fibre width with quantitative image analysis*. In European Industrial Hemp Association (EIHA, Verantst.): *2<sup>nd</sup> International EIHA Conference, CD-ROM Proceedings. Nov. 2004, 18–19, Hürth, Germany*. nova Institut GmbH, Hürth, 2004.
- [Soliman et al. 2010]** Soliman, Hemaïd Ibrahim, Mahdia Gabr, und Naglaa A. Abdallah. „Efficient Transformation and Regeneration of Fig (*Ficus Carica* L.) via Somatic Embryogenesis“. *GM Crops* **1**, Nr. 1 (1. Januar 2010): 40–51.
- [Touraev et al. 2009]** Touraev, Alisher, Brian P. Forster, und S. Mohan Jain, Hrsg. *Advances in Haploid Production in Higher Plants*. Dordrecht: Springer, 2009.
- [Zur et al. 2015]** Zur, Iwona, Ewa Dubas, Monika Krzewska, und Franciszek Janowiak. „Current insights into hormonal regulation of microspore embryogenesis“. *Frontiers in Plant Science* **6** (10. Juni 2015).