

Landbauschule Dottenfelderhof e.V. Jahreskurs 2019-2020

Projektarbeit

Beginn eines Leindotter - Zuchtprogramms am Dottenfelderhof

Ilona Scharf



Inhalt

1	Einleitung	4
2	Leindotter (<i>Camelina sativa</i> (L.) Crantz), ein Kreuzblütengewächs	6
2.1	Die Kreuzblütengewächse (Brassicaceae)	6
2.1.1	Systematik und Verbreitung	6
2.1.2	Blätter	6
2.1.3	Blüte	6
2.1.4	Frucht	7
2.1.5	Besondere Eigenschaften	8
2.2	Leindotter (<i>Camelina sativa</i> (L.) Crantz)	9
2.2.1	Systematik	9
2.2.2	Entwicklung als Kulturpflanze	11
2.2.3	Botanik	13
2.3	Leindotteranbau in Reinkultur und als Mischfrucht	15
2.3.1	Ackerbauliche Grundlagen	15
2.4	Nutzungsmöglichkeiten des Leindotters	17
2.4.1	Leindotteröl, „Camelinaöl“	17
2.4.2	Leindotterpresskuchen als Futtermittel	19
2.4.3	Leindotterpresskuchen als Nahrungsmittel	19
2.4.4	Energetische Nutzung des Leindotters	20
2.4.5	Industrielle Nutzung des Leindotters	22
3	Material und Methodik	23
3.1	Hafer-Leindotter-Mischkultur der Forschung und Züchtung, Dottenfelder Hof (FZD), 2019-2020	23
3.2	Leindotter-Reinkultur der Forschung und Züchtung Dottenfelder Hof (FZD), 2018-2020	24
3.2.1	Sortenscreening	24
3.2.2	Aussaat und Bodenbeschaffenheit	25
3.2.3	Vegetationszyklus der Leindotter Reinkultur 2020	25
3.2.4	Feldplan der Leindotter-Reinkultur 2020	25
3.2.5	Klimatische Bedingungen	27
3.3	Durchführung und Dokumentation der Leindotter Kreuzungen	28

3.3.1	Anleitung für die Leindotter-Kreuzung.....	28
3.4	Beobachtung und Dokumentation der Insektenbesuche.....	30
3.5	Beobachtung und Dokumentation der Wachstumsstadien gemäß BBCH.....	30
3.6	Phänologische Beobachtungen	32
3.6.1	Keimversuch.....	32
3.6.2	Bestimmung der Wuchsform und Wuchshöhe der Leindotterpflanze	33
3.6.3	Beobachtung der Blätter des Haupttriebs.....	34
4	Ergebnisse	34
4.1	Hafer-Leindotter-Mischkultur der Forschung und Züchtung, Dottenfelder Hof (FZD), 2019-2020.....	34
4.2	Leindotter-Reinkultur der Forschung und Züchtung Dottenfelder Hof (FZD), 2018- 2020	36
4.3	Ergebnis der Kreuzungen	38
4.4	Beobachtung und Dokumentation der Insektenbesuche.....	40
4.5	Beobachtung und Dokumentation der Wachstumsstadien gemäß BBCH.....	42
4.6	Ergebnis der Phänologischen Beobachtungen.....	45
4.6.1	Keimversuch.....	45
4.6.2	Bestimmung der Wuchsform und Wuchshöhe der Leindotterpflanze	47
	Beobachtung der Blätter des Haupttriebs.....	53
5	Diskussion.....	54
6	Fazit.....	56
7	Danksagung.....	56
8	Literaturverzeichnis	57

1 Einleitung

Viele vom Menschen benötigte Grundsubstanzen kommen aus der Natur, so z. B. liefern Pflanzen nicht nur die Grundlage für Nahrungsmittel, sondern auch wesentliche Rohstoffe wie Holz, Fasern, Farben, Öle oder Arzneimittel.

In den zurückliegenden Jahrhunderten lieferte vorrangig die Landwirtschaft einen Großteil der Farbstoffe, Öle für Lampenöle, Schmier- oder Reinigungsmittel oder Fasern für die Textilherstellung. Noch heute gründet der Reichtum ganzer Regionen in Deutschland auf dem Anbau und Handel von Pflanzen und den aus ihnen gewonnenen Rohstoffen.

Im Laufe der Zeit rückten fossile Rohstoffe wie Kohle, Erdöl oder Erdgas sowie synthetische Produkte rasch an die Stelle pflanzlicher Rohstoffe, da sie oft preiswerter, haltbarer, praktischer oder vielseitiger einsetzbar waren. Durch die Rückbesinnung auf Umwelt und Gesundheit, sowie forciert durch immer knapper werdende fossile Ressourcen rückt die Nutzung von so genannten Industrie- und Energiepflanzen zurück aus dem Schatten fossiler Rohstoffe [1].

Industriepflanzen dienen der Gewinnung von Rohstoffen für die Industrie außerhalb der Nahrungskette. Die Pflanzen sind ein- oder mehrjährig und dienen der Erzeugung von Öl, Zucker, Stärke, Protein, Fasern, Farben und Arzneien. Energiepflanzen werden als Energieträger für die Wärme- und Strom- bzw. Kraftstoffgewinnung genutzt. Im Jahr 2019 wurden Industrie- und Energiepflanzen als nachwachsende Rohstoffe deutschlandweit auf über 2,7 Mio. ha (ca. 15 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche in Deutschland) angebaut. Mit ca. 2,4 Mio. ha nehmen die Energiepflanzen den größten Anteil an dieser Fläche ein. Nur 0,3 Mio. ha entfallen auf die Industriepflanzen, an denen wiederum die Ölpflanzen den größten Anteil haben. In Deutschland angebaute Ölpflanzen als Industriepflanze sind überwiegend Raps, Sonnenblume und Leinsaat, wobei im Jahr 2019 der Rapsanbau dominierte [2]

Raps und Sonnenblume dienen vorrangig als Nahrungsmittel, werden aber zunehmend auch zur europaweiten Herstellung von z. B. Biodiesel genutzt, weshalb hier eine Diskrepanz zwischen den Werten als Nahrungsmittel und Energielieferant herrscht. Diese Diskrepanz ist einer der Gründe, warum in den letzten Jahrzehnten eine alternative Ölpflanze immer mehr in den Fokus sowohl von Wissenschaftlern als auch Landwirten rückte:

Camelina sativa (L.) Crantz, im Deutschen Leindotter genannt.

Im Vergleich zu anderen Ölpflanzen hat *Camelina sativa* einen kurzen Lebenszyklus und kann aufgrund minimaler Ansprüche selbst auf Grenzertragsböden ökonomisch angebaut werden. Zudem existieren Sommer- und Wintersorten. Ihre vorteilhaften agronomischen und wirtschaftlichen Eigenschaften beinhalten eine gute Ernte bei Trockenheit, Low-Input-Wachstumsbedingungen, die Kompatibilität mit bestehendem landwirtschaftlichem Equipment und ihre allelopathischen Eigenschaften, die eine Unkrautunterdrückung bewirken. Hinzu kommt ein hoher Anteil von Omega-3- und Omega-6-Fettsäuren sowie ein hoher Gehalt an Vitamin E im Öl von *Camelina sativa*, was sie zu einer wertvollen Pflanze für viele Anwendungen sowohl im Nahrungsmittel- als auch im Nicht-Nahrungsmittelbereich macht. Wegen der genannten Vielzahl an Inhaltsstoffen von *Camelina sativa* sind Forscher neben dem

hohen genetischen Potential für die Züchtung auch an den vielfältigen Möglichkeiten zur genetischen Manipulation interessiert [3].

Speziell im Ökolandbau haben sich die positiven Eigenschaften des Leindotters vor allem im Mischfruchtanbau mit Getreide gezeigt. Als sogenannte Kavalierspflanze ist Leindotter ein idealer Partner für den Mischfruchtanbau, in dem sich die Kulturen ergänzen und unterstützen.

Die Forschungs- und Züchtungsabteilung (FZD) des Dottenfelderhofes baut seit 2017 jährlich Leindottersorten von verschiedenen Züchtern und Genbanken für die Leistungsprüfung nach. Die FZD ist aktives Mitglied der Leindotter-Initiative, eine im Oktober 2014 gegründete Netzwerk-Initiative. Ins Leben gerufen wurde sie auf Anregung von Thomas Kaiser, dem Gründer und Geschäftsführer des Instituts für Energie und Umwelttechnik in München. Ziel der Netzwerk-Initiative ist, eine gemeinsame Plattform zu schaffen, um Varietäten, Sortenzüchtung, Anbau und Vermarktung der alten Kulturpflanze Leindotter voranzubringen. Insbesondere soll eine Brücke zwischen naturnaher Landwirtschaft mit Mischfruchtanbau ohne Pestizideinsatz auf der einen Seite und kulturnahem Naturschutz auf der anderen Seite geschaffen werden. Dazu gehört, eine ganzjährige, insektenfreundliche Blütentracht und für Wildbienen geeignete Bedingungen zu schaffen [4]. In der FZD sollen die wissenschaftlichen Untersuchungen und die Züchtung neuer Sorten des Leindotters erfolgen. Im Anschluss an eine Evaluierung von Sorten und genetischen Ressourcen soll ein Züchtungsprojekt begonnen werden, so dass der ökologischen Landwirtschaft in acht bis zehn Jahren eine neue Sorte zur Verfügung stehen könnte. Das Vorhaben wird von der Ölmühle Moog in enger Zusammenarbeit für zunächst drei Jahre unterstützt. Geplant sind u.a. Probe-Pressungen des getesteten Saatgutes.

Darüber hinaus sollen mit dem Projekt bestehende genetische Ressourcen, die noch nicht mit gentechnischen Methoden bearbeitet wurden, für eine zukünftige ökologische Züchtung gesichert sowie die Verbreitung des Leindotters unterstützt werden [5].

Anmerkung:

Viele der wissenswerten, aber rein informativen Fakten und Hintergründe zur Pflanze Leindotter in Kapitel 1 und 2 wurden von ihren Quellen direkt übernommen. Der Einfachheit halber wurde auf eine Differenzierung, was aus eigener Feder stammt und was nicht, verzichtet und der gesamte Text der Kapitel 1 und 2 in blauer anstatt schwarzer Schriftfarbe gedruckt.

2 Leindotter (*Camelina sativa* (L.) Crantz), ein Kreuzblütengewächs

2.1 Die Kreuzblütengewächse (Brassicaceae)

2.1.1 Systematik und Verbreitung

Leindotter zählt zur Familie der Kreuzblütengewächse (Brassicaceae), auch Kreuzblütler genannt. Diese gehören zur Ordnung der Kreuzblütlerartigen (Brassicales) in der Gruppe der Eurosiden II und umfassen zwischen ca. 330 und 420 Gattungen mit etwa 4.060 Arten. Einheimisch sind etwa 55 Gattungen mit über 200 Arten.

Die ersten Arten, die man dieser Familie zurechnen kann, entstanden etwa vor 37 Millionen Jahre in einem warmen und feuchten Klima. Die größte adaptive Radiation innerhalb der Familie erfolgte im Oligozän, während es kühler wurde. Eine Verdopplung des Genoms verbesserte die Voraussetzung, sich an einen solchen Klimawandel anzupassen.

Heute sind Kreuzblütler Kosmopoliten, das heißt, sie können von der Dauerfrostzone bis zu den Tropen weltweit gefunden werden. Ihren Verbreitungsschwerpunkt haben sie in den gemäßigten Zonen der Nordhalbkugel und hier wiederum in den Mittelmeerländern und in Südwest- und Zentralasien [6].

2.1.2 Blätter

Die Blattstellung ist immer wechselständig. Es gibt nur wenige Stängelblätter. Die wenigsten Arten haben kahle Blätter. Bei den meisten Arten sind sie leicht bis stark behaart. Die Form der einzelligen Haare ist dabei sehr variabel und stellt ein wichtiges Bestimmungsmerkmal dar [7].

2.1.3 Blüte

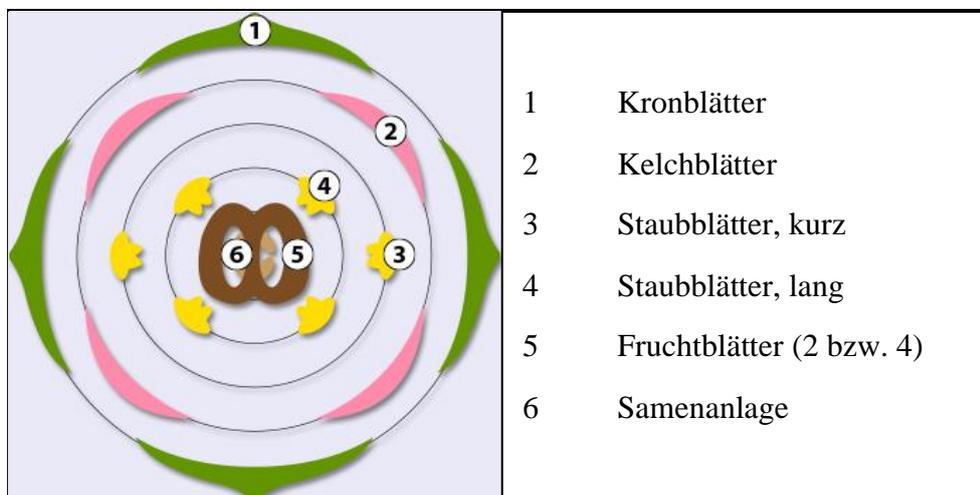


Abb. 1: Blütendiagramm der Brassicaceae [8]

Die Blüten sind immer vorblattlos und fügen sich unmittelbar in der Achsel eines bei den meisten Arten stark reduzierten Tragblattes ein, welches vielfach mit bloßem Auge nicht einmal mehr erkennbar ist. Die Blütenhülle ist in 4 meist grüne Kelch- und 4 häufig auffallend gefärbte Kronblätter unterteilt. Daran anschließend folgen nach innen 6 Staubblätter, die in zwei Kreisen angeordnet sind. Der äußere Staubblattkreis weist nur 2 Staubgefäße in der Transversalebene auf. Die 2 Staubblätter der Medianebene fehlen. Alternierend zum äußeren Staubblattkreis folgt der innere Staubblattkreis, der sich aus 4 Staubblättern aufbaut. Die 2 Staubblätter des äußeren Staubblattkreises sind kurz gestielt, die 4 des inneren Kreises hingegen lang gestielt. Die Staubgefäße des inneren Staubblattkreises alternieren zu den zwei Staubblättern so, als wenn in diesem Staubblattwirtel ebenfalls 4 Staubblätter vorhanden wären. Der Fruchtknoten baut sich aus 4 verwachsenen Fruchtblättern auf, die 2 Karpelhöhlen bilden. Beide sind durch eine Scheidewand getrennt. Ob es sich tatsächlich um 4 Karpelle oder um 2 handelt, ist derzeit noch umstritten. Die beiden Lokumente sind von einer echten Scheidewand voneinander getrennt, folgt man der Interpretation des Fruchtknotens aus 4 verwachsenen Karpellen. Wären es hingegen nur 2 Karpelle, so handelte es sich um eine falsche Scheidewand. Aufgrund der Unregelmäßigkeiten in den zwei Staubblattkreisen gibt es in der Brassicaceen-Blüte lediglich zwei Symmetrieebenen, eine in der Median- und eine in der Transversalebene. Die Blüten sind also disymmetrisch [7].

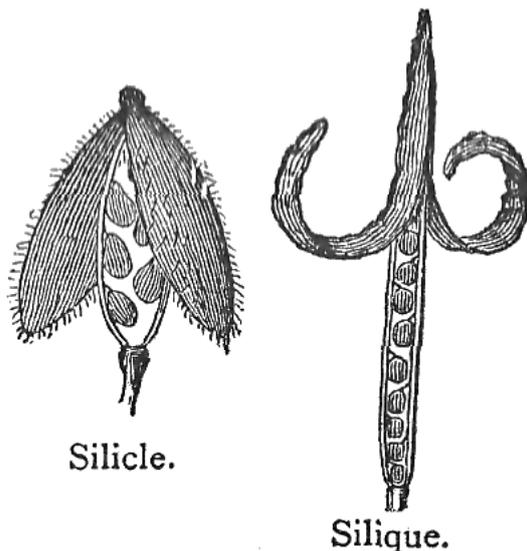


Abb.2: Schötchen und Schote der Brassicaceae [9]

2.1.4 Frucht

Die Frucht der Brassicaceae ist eine Sonderform der Kapsel Frucht, eine valvate Kapsel, die sich zweiklappig öffnet. Für diese valvate Kapsel hat sich die allgemeine Bezeichnung Schote bzw. Schötchen eingebürgert. Die Schoten öffnen sich in der Regel von unten nach oben, bevor dann die einzelnen Klappen ganz abfallen. An der geöffneten Kapsel bleibt lediglich ein Rahmen, das sogenannte Replum stehen, dessen Zwischenraum durch eine häutige, transparente Scheidewand ausgefüllt ist. Am Rand des Rahmens sitzen die zahlreichen Samen, die separat voneinander ausgestreut werden (Streufrucht).

Sind die Früchte mehr als dreimal so lang wie breit, werden sie als Schoten bezeichnet. Sind sie hingegen weniger als dreimal so lang wie breit, heißen sie Schötchen. Auf Grundlage der Ausbildung von Schote und Schötchen darf jedoch nicht auf systematische Zusammenhänge geschlossen werden. Jedoch ist die Richtung, in der sich die Frucht im Querschnitt erstreckt, für systematische Fragestellungen wesentlich relevanter. Ist das Septum so breit wie die Frucht, spricht man von einer Latisepte (z.B. *Lunaria*), ist das Septum hingegen schmaler als die größte Breite der Frucht, so wird diese als Angustisepte (z.B. *Capsella*) bezeichnet. Eine Sonderform der Schote findet sich z.B. beim Rettich bzw. beim Radieschen (*Raphanus sativus*). Hier zerfallen die Früchte nicht entlang der morphologischen Grenzen, sondern zwischen den Samen. Man bezeichnet solche Schoten als Gliederschoten [7].



Abb.3: Rahmen und Scheidewand des Schötchens vom einjährigen Silberblatt (*Lunaria annua*) [10]



Abb.4: Halbes Schötchen mit Samen und Scheidewand des Leindotters (*Camelina sativa*)

2.1.5 Besondere Eigenschaften

Die Familie der Kreuzblütler ist eine für den Menschen sehr wichtige Pflanzenfamilie, da sie eine Vielzahl nützlicher Kulturpflanzen umfasst, die von großer wirtschaftlicher Bedeutung sind.

Die Kulturpflanzen verschiedener Gattungen besitzen einen hohen Stellenwert als Öllieferanten oder Gewürzpflanzen und werden weltweit als Gemüse und Salate verzehrt. Besondere Beachtung erhalten viele der Kulturpflanzen aufgrund Ihrer Inhaltsstoffe und deren gesundheitsfördernden Einfluss auf den menschlichen Organismus. Hierzu zählen Senföle, fette Öle und in wenigen Gattungen auch Cardenolide, herzwirksame Steroide.

Zu den Gemüsepflanzen zählen u.a.:

- Raps (*Brassica napus*)
- Kohlrübe (*Brassica napus ssp. rapifera*)
- Gemüsekohl (*Brassica oleracea*) und alle Kohlvarianten

- Rübsen (*Brassica rapa*)
- Chinakohl (*Brassica rapa ssp. pekinensis*)
- Pak Choi (*Brassica rapa ssp. chinensis*)
- Radieschen (*Raphanus sativus var. sativus*)
- Rettich (*Raphanus sativus var. niger*)
- Rucola (*Diplotaxis tenuifolia*)
- Gelber Senf (*Sinapis alba*)
- Meerrettich (*Armoracia rusticana*)

Zu den bekannten Wildpflanzen zählen Ackerschmalwand, Hirtentäschelkraut und Ackerhellerkraut. Als Zierpflanzen sind besonders der Goldlack, Blaukissen, Nachtviole und Levkojen bekannt, als Färberpflanzen die Färberwaid [11].

2.2 Leindotter (*Camelina sativa* (L.) Crantz)

2.2.1 Systematik

Die Familie der *Brassicaceae* ist sehr umfangreich und daher in mindestens 24 Unterfamilien und 25 bis 44 Tribus gliedert.

Leindotter, *Camelina sativa* (L.) Crantz ist eine von acht Arten in der Gattung *Camelina* und gehört der Tribus der *Camelineae* an. Die Tribus der *Camelineae* umfasst 14 Gattungen. Als enge Verwandte gelten die Gattungen *Arabidopsis*, *Capsella* und *Neslia* [6].

Tab. 1: Tribus der *Camelineae*, Beispiel von vier heimischen Gattungen

Gattung	Name	Anzahl der Arten
<i>Arabidopsis</i>	Schaumkresse	10
<i>Camelina</i>	Leindotter	8
<i>Capsella</i>	Hirtentäschel	3
<i>Neslia</i>	Finkensame	1

Präzisere Angaben über die verschiedenen Arten des Leindotters und der sie unterscheidenden Kriterien findet man in einer Arbeit von Zbigniew Mirek (Mirek 1981). Der polnische Botaniker hat die Taxonomie und die Verbreitung des Leindotters in Polen und in Spanien studiert. Seinen Erkenntnissen nach, kann man acht Arten der Gattung *Camelina* unterscheiden. Vier davon (*anomala*, *lasiocarpa*, *hispida*, *laxa*) beschränken sich auf die iranisch-anatolische Region. Eine fünfte, *rumelica*, findet sich einzig und allein im Südosten Europas, im Südosten Frankreichs sowie in Zentralasien, Mittelasien und im südlichen Vorderasien. Die drei anderen, *microcarpa*, *sativa* und *alyssum*, sind in Europa und in Asien weit verbreitet.

Z. Mirek hat 5000 Exemplare dieser drei letzten Arten untersucht, die aus botanischen Gärten in Polen und Europa stammen (in Frankreich aus Bordeaux, Villeurbanne, Montpellier und Paris). Er hat 37 morphologische Merkmale der verschiedenen Pflanzenbestandteile gemessen.

Hierbei ist er zu dem Ergebnis gekommen, dass zwei Merkmale, die Länge der Samen und die Dicke der Schötchen, jeweils ausreichen, um die verschiedenen Taxa zu unterscheiden, weil sie beide auf die gleiche Weise mit der Mehrheit der anderen Merkmale in Korrelation stehen und weil beide die Gesamtheit des untersuchten Materials auf gleiche Weise in zwei Gruppen teilten:

Eine Gruppe, die er *microspermae* nannte und welche die Arten mit kleinen Samenkörnern der Größe (0,9) 1,0 - 1,4 (1,5) mm umfasst

- *Camelina microcarpa* Andr. (syn: *C. sativa* (L.) Crantz subsp. *microcarpa*)

Eine Gruppe, *macrospermae* genannt, welche die Arten mit „dicken“ Samenkörnern der Größe (1,5) 1,6 – 2,8 (2,9) mm umfasst:

- *Camelina sativa* (L.) Crantz: 1,5 - 2,1 mm

- *Camelina alyssum* (Mill.) Thell: 2,1 - 2,9 mm

Die Trennung in diese beiden Gruppen grenzt zudem zwei Gruppen voneinander ab, die starke Unfruchtbarkeits-Barrieren besitzen (Grenze zwischen *microcarpa* und *sativa*, während *sativa* und *alyssum* sich leicht kreuzen) und von denen eine Gruppe Arten umfasst, die auf natürliche Weise gewachsen sind (*microspermae*), während die andere Gruppe nur Arten anthropogenetischer Herkunft zählt (*macrospermae*).

Die zwei Gruppen sind weiter unterteilt in Unterarten, deren Merkmal Samenkornlänge in Tabelle 2 festgehalten ist. Tabelle 2 enthält ebenfalls Angaben bezüglich der Verbreitung jedes Taxons und ihres ökologischen Status. Damit steht ein Schlüssel zur Identifizierung der Samenkornlänge zur Verfügung. Durch ihn sollte die Kulturpflanze (*sativa*) von den Wildpflanzen (*rumelica*, *microcarpa*) oder den Adventivpflanzen anthropogener Herkunft (*alyssum*) unterschieden werden können [12].

Tab. 2: Einteilung der verschiedenen *Camelina*-Arten und Unterarten nach Samenkornlänge (nach Z. Mirek) [13]

Série Espèce	<i>rumelica</i>	Microspermae		Macrospermae		
		<i>microcarpa</i>		<i>sativa</i>	<i>alyssum</i>	
Sous-espèce		subsp. <i>microcarpa</i>	subsp. <i>sylvestris</i>	subsp. <i>zingeri</i> (syn. <i>pilosa</i>)	subsp. <i>sativa</i>	
Longueur des graines (mm)	1,2 -1,45 (min. 1,15)	0,9 - 1,1 (max. 1,2)	1,2 -1,4	1,5 -1,8 (max. 1,9)	1,7 - 2,0 (min. 1,6. max 2,1)	2,1 - 2,9
Zone de distribution	Sud, S.E de l'Europe, Asie du centre et du Sud France : Sud-Est	Est de l'Europe (à partir de la Pologne) et Asie France : non	Europe (sauf extrême ouest), Asie du sud-ouest France : oui	Europe et Asie, plus fréquente à l'Est et au Caucase France : oui	Europe et Asie France : oui	Europe (surtout Nord et centre) France : oui
Statut	Sauvage introduite	Sauvage introduite	Sauvage introduite	Cultivée (?) et adventice	Cultivée (?) et adventice	Adventice (champs de lin)

Tableau 1. – Caractéristiques des différentes espèces et sous-espèces de caméline (F.Toulemonde, d'après Z.Mirek).

2.2.2 Entwicklung als Kulturpflanze

Leindotter war in früheren Jahrhunderten auch in Deutschland eine weit verbreitete Ölfrucht. Dafür sprechen unter anderem die zahlreichen mundartlichen Bezeichnungen wie Flachsdotter, Buttersamen, Butterraps, Schmalzsaat, deutscher Sesam, Dotterkraut, Rillsaat, Finkensamen, gemeine Cameline und weitere.

Obwohl aus ihm auch Speiseöl gewonnen werden kann, diente das Öl des Leindotters vor allem als Lampenöl im Haushalt, als Öl für den industriellen Gebrauch und für die Produktion von Seife, Farbe oder Lack (Jouven 1942). Die Entwicklung neuer Brennstoffe und Energieträger wie Gas, Petroleum und Elektrizität haben die Nutzung des Leindotters und vieler anderer einheimischer Ölpflanzen wie Raps, Schlafmohn und, Ölrüben gegen Ende 19. Jahrhunderts verdrängt.

Heute erfährt der Leindotter eine Wiederentdeckung dank der Entwicklung der biologischen Landwirtschaft, des Interesses für Omega-3-Fettsäuren und der zunehmenden Bedeutung von Biokraftstoffen. Der Anbau des Leindotters ist jedoch noch sehr begrenzt. In Deutschland wird er nur vereinzelt angebaut. Häufiger findet man ihn in Nordfrankreich, Belgien und Holland in Kultur und auf dem Balkan und in Russland zählt er noch zu den gebräuchlichen Ölfrüchten. Auch in Nordamerika wird er kultiviert.

Seine wahre Glanzzeit hatte diese Ölfrucht weitaus früher in unserer Geschichte, nämlich gegen Ende der Bronzezeit und während der Eisenzeit, wo sie sich die Nachweise mehren. Die Zusammentragung von neuen und unveröffentlichten Daten scheint die Hypothese einer früheren Kultivierung zu bestätigen, zumindest ab dem Übergang Bronze- / Hallstattzeit [16].

Die Bronzezeit ist die Periode in der Geschichte der Menschheit, in der Metallgegenstände vorherrschend aus Bronze hergestellt wurden. Diese Epoche umfasst in Mitteleuropa etwa den Zeitraum von 2200 bis 800 v. Chr. Als Hallstattzeit oder Hallstattkultur oder Ältere Eisenzeit wird die ältere vorrömische Eisenzeit in weiten Teilen Europas ab etwa 800 v. Chr. bezeichnet. Die Grenze zur nachfolgenden Latènezeit wird mit 450 v. Chr. angegeben, tatsächlich vollzog sich der Übergang jedoch fließend über mehrere Jahrzehnte [14, 15].

Camelina sativa ist die Kulturpflanze einer Gattung, dessen Zentrum ihrer Vielfalt sich in der iranisch-anatolischen Region befindet (Mirek 1981). Die wilde Urform [Wildpflanze] von der der Leindotter abstammt (*Camelina microcarpa*), findet man heute weit verbreitet in ganz Eurasien – wahrscheinlich als Resultat einer von Menschenhand unbeabsichtigten Einführung ab dem Neolithikum.

Camelina sativa folgt der gleichen Verbreitung und man kennt bis dato die Ursprungsstätte(n) ihrer Domestizierung noch nicht. Die Wildpflanze wurde ab dem Anfang des 6. Jahrtausends v. Chr. in Armenien, ihrem Herkunftsort, angebaut: die in den jungsteinzeitlichen Ausgrabungsstätten von Aratashen und Aknashen im Stampflehbau in großer Menge gefundenen Schötchen-Abdrücke der *Camelina microcarpa* zeugen von der Nutzung dieser Überbleibsel als Fettlöser und deuten darauf hin, dass die Ernte oder der Anbau der Pflanze zur Nutzung seiner ölhaltigen Samen diente (Hovsepyan & Willcox 2008). Für die darauffolgende Zeit (5. bis 3. Jahrtausend) wird von vereinzelt Funden archäologischer Überreste der Gattung *Camelina* berichtet, und zwar in einem Gebiet das vom Nordwesten der Türkei (Miller

1991) bis nach Westfrankreich reicht (Bouby 1998). Von Osten bis in den Westen wird von [gefundenen] Samen oder Schötchen-Abdrücken berichtet, und zwar in Griechenland (Kroll 1991), in Rumänien (Wasylikowa et al. 1991), in Ungarn und in Deutschland (Knörzer 1978; Schultze-Motel 1979), in Skandinavien (Robinson 2007) sowie auch in der Schweiz (Jacomet et al. 1991). Dennoch häufen sich die Funde erst ab dem 2. Jahrtausend und ab dem Ende der Bronzezeit und weisen dann auch höhere Konzentrationen [an Samen] auf. Hieraus konnte geschlossen werden, dass der Leindotter wahrscheinlich zumindest ab dieser Zeit im Nahen Osten und im südöstlichen, östlichen und Mittel-Europa kultiviert wurde (Bouby 1998; Zohary & Hopf 2000). Dort breitet er sich dann während der Eisenzeit aus.

Weiter im Westen findet man ab der Spätbronzezeit eine große Anzahl von Samen oder Schötchen des Leindotters in bestimmten feuchten Gebieten, wie in der Nähe Schweizer oder französischer Alpenseen (Jacquat 1989; Bouby & Billaud 2001) oder ab der Hallstattzeit entlang der Nordsee in den Niederlanden (Bakels 1991; Brinkkemper 1993). Diese Überbleibsel zeugen vom Anbau der Pflanze in diesen Regionen.

In Frankreich (außerhalb der Alpen) zeigte die letzte Synthese über den Nachweis des Leindotters einen weit verbreiteten Anbau zumindest ab dem Ende der Hallstattzeit (Zech-Matterne et al. 2009). Aus Mangel an monotypischen Konzentrationen von Makroresten, stützt sich der Nachweis dieses Anbaus auf den sich wiederholenden Nachweis von Leindottersamen während dieser Zeit, vor allem im Nordosten des Landes.

Die Zusammenstellung von Daten aus älteren Untersuchungen, beweist ein weitaus früheres Vorhandensein des Leindotters, nämlich schon ab der Spätbronzezeit und Hallstatt C. Seine Anwesenheit nimmt bis zum Übergang zwischen den zwei Eisenzeiten zu. Während der Latènezeit gehen die Nachweise dann zurück und für die gallisch-römische Epoche liegen nur noch eine Handvoll Nachweise vor [13].

In der griechisch-römischen Epoche wurde Leindotter weit verbreitet angebaut, danach reduzierte sich dessen Nutzung während des Mittelalters auf die Gewinnung von Rohstoff für Öllampen.

Mitte des 19. Jahrhunderts brachte der Botaniker H. Lecoq aus Clermont auf den Punkt, dass man die Leindotterpflanzen in einer großen geographischen Breite, von Sibirien bis nach Spanien anbauen und ernten kann. Deren Samen wurden sehr oft mit normalem Getreide transportiert.

Indessen, am Ende des 19. Jahrhunderts - ohne großen Erfolg wurde von den Europäern der Leindotter in Nordamerika eingeführt - blieb der Anbau auf dem alten Kontinent auf einige 1.000 Hektar begrenzt und diente zum Schluss nur noch der Ernährung in der Vogelzucht.

Als während und nach dem zweiten Weltkrieg in Europa ein Mangel an Fettstoffen auftrat, wurde ein bemerkenswerter Versuch in Russland, Skandinavien und in Zentraleuropa unternommen, das genetische Material zu sammeln. Dies führte erstens dazu, dass das genetische Material nicht verloren ging und zweitens den Wert dieser Pflanze ermittelt werden konnte, sowie in einigen Fällen mit Züchtungsarbeiten zu beginnen.

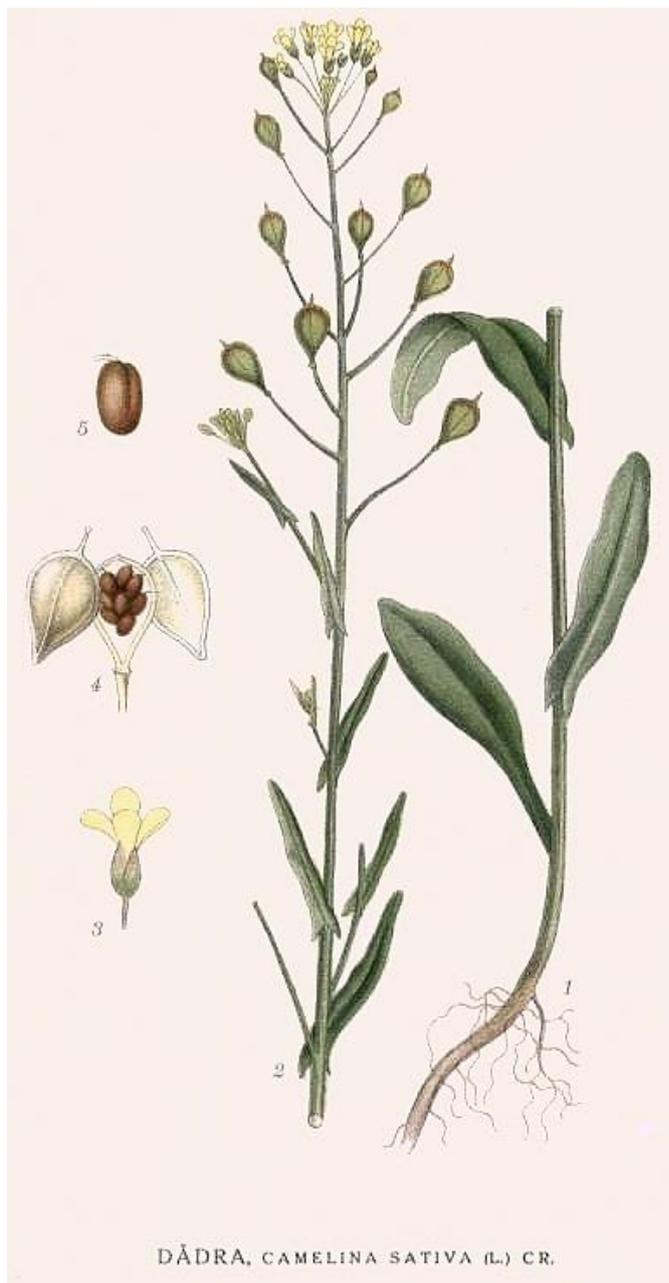
Diese Initiative wurde im Westen vollständig durch den Marshall-Plan unterdrückt, im Osten wurden diese Arbeiten durch den kalten Krieg behindert. Sicher ist, dass der Leindotter eine Art darstellt, welche sich an die Bedingungen des europäischen Anbauweise anpasst und sogar auch an alle Regionen des gemäßigten Klimas, des ozeanischen und des kontinentalen Klimas [16].

2.2.3 Botanik

Leindotter hat eine dünne spindelförmige Wurzel von hellgelber Färbung. Der Stängel wird ca. 30 - 100 cm hoch. Er wächst zunächst eintrieblich, verzweigt sich aber später entlang des gesamten Stängels oder im oberen Drittel sehr stark. Die Seitentriebe stehen im spitzen Winkel aufrecht. Die Laubblätter sind von lanzettlicher Form. Meistens ungeteilt, manchmal leicht fiederspaltig, ganzrandig oder geschweift gezähnt. Die oberen Blätter sind schmaler als die unteren oder „pfriemlich“ (subulate) und umfassen den Stängel zur Hälfte. Behaarung fehlt meistens, manchmal kommen Typen mit kurzen Haaren vor. Die einzelnen Triebe enden in den traubigen, trugdoldigen Blütenständen. Die Blüte beginnt am Haupttrieb und dauert einschließlich der Nebentriebe etwa 27 Tage. Das Aufblühen der einzelnen Blütenstände erfolgt von unten nach oben, der ganzen Pflanze von oben nach unten. Die Blüten stehen auf 4 - 8 mm langen Stielen. Die vier ca. 4 mm langen Kronblätter sind hellgelb oder dunkelgelb mit dunkleren Nerven. Vier Staubgefäße haben lange Filamente und stehen mit der Narbe auf gleicher Höhe, während zwei weitere unterhalb der Narbe stehen bleiben. Der Pollen der vier längeren Staubbeutel wird meist schon am ersten Tage des Aufblühens entleert und gelangt, da die sich öffnende Seite der Narbe zugekehrt ist, zum großen Teil auf die letztere. Dadurch wird Selbstbefruchtung gewährleistet [16].



Abb.5: Blütenstand *Camelina sativa*



Beschreibung der Blattformen

Lanzettlich (lanceolate): Die Spreite ist (3- bis 8-mal) so lang wie breit. Die breiteste Stelle ist in der Mitte. Die Ränder sind bogig gekrümmt und verschmälern sich nach beiden Enden. In fremdsprachigen aber auch in manchen deutschsprachigen Werken wird für diese Blattform der Ausdruck „schmal elliptisch“ verwendet oder von „eilanzettlich“ nicht getrennt. Der Begriff ist weiter unterteilbar in breitlanzettlich (broadly-lanceolate) (3- bis 4-mal) so lang wie breit, lanzettlich im engeren Sinne (4- bis 5,5-mal so lang wie breit) und schmallanzettlich (narrowly lanceolate) (5,5- bis 8-mal) so lang wie breit. Entsprechendes gilt für andere Begriffe mit gleichem Längen- und Breitenverhältnis.

Pfriemlich (subulate): Die Spreite ist sehr schmal, dreieckig, über 6-mal so lang wie breit, am Grund am breitesten, in eine feine Spitze verschmälert [17]

Abb. 6: Leindotter, *Camelina sativa* [18]

Das sich aus der Befruchtung entwickelnde Schötchen hat eine birnenförmige Gestalt und verholzt ziemlich stark. Bei der Reife platzt es jedoch nicht auf. Charakteristisch ist die sich aus dem Griffel entwickelnde Spitze. Die Gesamtlänge des Schötchens beträgt 7-9 mm, die des Stiels 10-15 mm. Die beiden Schotenklappen sind gewölbt, der Mittelnerv tritt deutlich hervor. Jedes Schötchen enthält mindestens 8-10 goldgelb bis rötlich braun gefärbte Samen von länglich-walzenartiger Form mit deutlich abgesetztem Würzelchen, das sich über die ganze Länge des Samens erstreckt. Die Samenschale enthält Schleimstoffe, die beim Anfeuchten aufquellen [16].

2.3 Leindotteranbau in Reinkultur und als Mischfrucht

Leindotter stellt wenig Ansprüche an den Boden und das Klima. Er gedeiht auch auf trockenen und sandigen Böden, auf denen kaum eine andere Ölf Frucht mehr angebaut werden kann. Höhere und sicherere Erträge gibt er auf besseren Böden, z. B. auf kalkhaltigen, lehmigen Sandböden. Auch auf nicht zu nassen Moorböden ist seine Kultur möglich. Staunässe und Verdichtungen sollten vermieden werden.

Hinsichtlich des Klimas stellt der Leindotter ebenfalls keine besonderen Ansprüche. Er ist nicht empfindlich gegen Spätfröste und toleriert auch extreme Trockenheit, vor allem, nachdem die Pflanzen ausgewachsen sind. Gleichzeitig hat Leindotter eine ausgeprägte Kältetoleranz, jedoch nur eine eingeschränkte Winterhärte (Sommerform). Bei allem bietet er eine hohe Ertragssicherheit.

Seit 25 Jahren wird der Leindotter nicht nur im ökologischen Landbau vermehrt als Mischfrucht zusammen mit Linsen, Erbsen, Sommerhafer oder Sommergerste angebaut. Geschätzt werden hier die positiven Effekte seiner unkrautunterdrückenden Wirkung in Bezug auf Ertragsteigerungen sowie die Verbesserung der Standfestigkeit und somit einer Vereinfachung des Erntens. Wegen seiner Anpassungsfähigkeit gegenüber der Hauptfrucht wird der Leindotter auch „Kavalierspflanze“ genannt.

Der Mischfruchtanbau bietet zum einen die Möglichkeit, die Biodiversität von Standorten zu erhöhen, zum anderen, die Produktion von Pflanzenöl zu erhöhen und zu helfen den Energiebedarf auf Basis nachwachsender Rohstoffe abzusichern [19, 20].

2.3.1 Ackerbauliche Grundlagen

▪ **Leindotter in der Fruchtfolge**

Aufgrund seiner kurzen Vegetationszeit von 85-120 Tagen bietet sich für Leindotter der Zwischenfrucht- und Ersatzfruchtanbau an. Als Blattfrucht lockert er Fruchtfolgen auf, stellt dabei aber selbst kaum Ansprüche an die Vorfrucht. Für die Folgefrucht liefert er eine gute Bodengare. Ein Fruchtfolgeanteil von 25 % sollte aufgrund seiner Selbstunverträglichkeit nicht überschritten werden und er darf nicht nach anderen Kreuzblütlern (Brassicaceae) stehen.

▪ **Saatbettvorbereitung und Saatbetttiefe**

Um optimale Feldaufgänge zu erzielen, stellt Leindotter hohe Ansprüche an das Saatbett. Je flacher die Ablage umgesetzt werden kann, umso sicherer erfolgen Keimung und Auflaufen. Die Witterungsverhältnisse nach Saat sollten dabei berücksichtigt werden. Die Ablage des Saatkorns sollte bei maximal 2 cm liegen und es sollte eine ausreichende Feuchtigkeitsversorgung vorhanden sein. Der Einsatz von Walzen zum Erzielen flacher Saathorizonte, wie auch zum Anwalzen der sehr leichten Saat, ist von Vorteil. Bei schlechten Saatbedingungen kann der Feldaufgang rasch auf 70 oder 50 % absinken.

▪ **Saatzeitpunkt und Saaddichte**

Der beste Aussaatzeitraum für Leindotter ist März/April. Je später die Aussaat erfolgt, desto zögerlicher sind die Entwicklung des Blattapparats und die Ertragsbildung. Bei einer frühen Aussaat in Reinkultur sollte ein Leindotterbestand aus 350 Pflanzen/m², bei einer späten Aussaat aus 500 Pflanzen/m² bestehen. Bei einer Tausendkornmasse (TKM) von 1,0 g entspricht dies 3,5-5 kg/ha. Für die Saat können Drillsämaschinen mit Feinsärädern verwendet werden. Ein Reihenabstand wie bei Getreide ist passend. Beim Gemengeanbau richtet sich die Saatzeit nach der Hauptfrucht. Sie sollte aber direkt im Anschluss an die Saat der Hauptkultur erfolgen, um dem Leindotter keine Konkurrenz Nachteile zu beschern.

Der Bestand sollte aus 500 Pflanzen/m² bestehen. Für eine gesicherte Leindotterernte sollte die Saatstärke nicht unter 5-6 kg/ha liegen, wobei je nach Keimfähigkeit und Tausendkornmasse des Leindotters die Aussaatstärke von den fünf bis sechs Kilogramm abweichen kann. Um den Leindotter gezielt zu fördern, sollte die Saaddichte im Getreide reduziert werden, da sonst die Gefahr besteht, dass das Getreide den Leindotter stark dominiert. Erfahrungen aus mehrjährigem Mischfruchtanbau mit Leindotter zeigen, dass immer wieder sogenannte „Getreidejahre“ vorkommen, in denen das Getreide den Leindotter so stark dominiert, dass die Ernteerträge im Leindotter gegen null tendieren. Bei getrennter Aussaat wird zuerst die Hauptkultur und danach der Leindotter mit einem Schneckenkornstreuer ausgebracht. Möglich ist auch die gemeinsame Aussaat in einem Arbeitsgang, jedoch wird dann eine Sätechnik mit zwei Saatgutbehältern nötig. In gängigen Säegeräten würde es bei einer gemeinsamen Aussaat zur Entmischung des Leindotters aufgrund seines geringen Gewichts gegenüber der Getreidesaat kommen.

▪ **Beikrautregulierung und Nährstoffversorgung**

Grundsätzlich besitzt Leindotter eine gute Konkurrenzkraft gegenüber Unkraut, so dass eine Unkrautbekämpfung nicht notwendig ist. Die Konkurrenzkraft resultiert in erster Linie aus dem Verdecken auflaufender Unkräuter durch die kräftige Rosette des Leindotters. Dieser Vorteil wirkt bei Breitsaat umso mehr – Breitsaat birgt jedoch Risiken beim Feldaufgang. Auch mechanische Maßnahmen durch Striegeln ab dem Rosettenstadium oder Hacken zwischen den Reihen sind möglich. Der Reihenabstand ist dafür dementsprechend anzupassen. Als positiv ist außerdem zu werten, dass durch die Rosettenbildung und die damit verbundene Bodendeckung der Leindotter im Gemengeanbau einen hervorragenden Erosionsschutz bietet.

▪ **Ernte und Erträge**

Ab Mitte bis Ende Juli ist mit der Druschreife des Leindotters zu rechnen. Leindotter ist nur wenig ausfallgefährdet, da seine Schoten weitaus platzfester als die von Raps sind und nur bei starker mechanischer Belastung aufbrechen. Sofern kein Starkregen oder Hagel droht, kann man Leindotter auf dem Acker auch überständig werden lassen und damit eine gute Austrocknung des Korns erzielen. Bei Drusch sollte man die Haspel möglichst wenig einsetzen, um die Schneidewerksverluste so gering wie möglich zu halten. Die Dreschtrommel sollte nicht zu scharf eingestellt, der Drusch aber dennoch intensiv genug sein, um die Körner aus den Schoten zu reiben. Bei zu schonendem Drusch verbleiben viele Körner in den Schoten. Der Wind muss verhalten eingestellt werden.

Beim Mischanbau erfolgt die Ernte zusammen mit der Hauptfrucht. Wichtig beim Drusch ist eine deutliche Reduzierung des Windes, weil ansonsten die leichten Leindottersamen wieder aus dem Mährescher entweichen. Nach der Ernte werden Leindotter und Getreide durch Sieben getrennt. Wie andere Ölfrüchte auch, muss Leindottersamen trocken eingelagert werden (max. 9 % Feuchtegehalt). Leindotter in Reinkultur erreicht üblicherweise Erträge von 20 bis 25 dt Korn/ha, im Mischfruchtanbau zwischen 6 bis 10 dt /ha. Da die Hauptfrucht mit geringerer Saatstärke ausgesät wird, ist auch der Ertrag der Hauptfrucht geringer als in Reinkultur. Die Gesamtleistung der Mischkultur kann jedoch die Leistungen von zwei separaten Reinkulturbeständen deutlich übersteigen [21].

2.4 Nutzungsmöglichkeiten des Leindotters

2.4.1 Leindotteröl, „Camelinaöl“

Leindotteröl besitzt eine kräftige, goldgelbe Farbe und einen milden, leicht erbsigen Geschmack. Das Öl hat einen hohen Gehalt an Omega-6-Fettsäuren (18-22 % Linolsäure), vor allem aber an Omega-3-Fettsäuren (ca. 35-48 % Alpha-Linolensäure). Diese Bestandteile gehören zu den essenziellen Fettsäuren, die man über die Nahrung aufnehmen muss, da der Körper sie nicht selbst herstellen kann.

In jüngster Zeit werden immer mehr Erkenntnisse darüber gewonnen, wie wichtig eine ausreichende und ausgewogene Zufuhr von mehrfach ungesättigten Fettsäuren für die Gesundheit ist. Vor allem Omega-3 spielt dabei eine zentrale Rolle: Ein Mangel kann das Immunsystem schwächen, den Blutkreislauf beeinträchtigen und die Heilung von Entzündungen verzögern [22].

Schon seit vielen Generationen verzehren Menschen Omega-3-Fette aus Fisch, Gemüse, Nüssen oder Ölsaaten. Unsere Gesundheit hängt buchstäblich von der regelmäßigen Zufuhr der lebensnotwendigen Omega-3- und Omega-6-Fettsäuren Alpha-Linolensäure (ALA) und Linolsäure (LA) ab. Der Körper benötigt diese Fettsäuren für die Bildung der Zellmembranen und für eine Vielzahl unterschiedlicher Stoffwechselfunktionen. Im Allgemeinen enthält unsere heutige Ernährung deutlich mehr Omega-6- als Omega-3-Fettsäuren. Das reale Verhältnis liegt im Durchschnitt bei 20:1. Folgt man den Vorgaben der Natur, sollten Omega-6- zu Omega-3-Fettsäuren aber im Verhältnis 2:1 bis 5:1 aufgenommen werden. In der Muttermilch liegt das Verhältnis sogar bei 2:1 bis 1:1. Auch vor der Zeit von Massentierhaltung und industrieller Nahrungsmittelproduktion – als die Fettaufnahme ausschließlich über Öle, spezielle Gemüsesorten oder Fische möglich war – lag das Verhältnis bei ungefähr 2:1. Dass Omega-6-Fettsäuren im richtigen Verhältnis zu Omega-3-Fettsäuren aufgenommen werden sollte, ist aus mehreren physiologischen Gründen wichtig. Dieses Verhältnis macht Leindotteröl, ähnlich wie Leinöl, für eine gesunde Ernährung besonders interessant, denn mit einem Verhältnis von Omega 6- zu Omega-3-Fettsäuren von ca. 1:2 kann es dazu beitragen, die empfohlenen Tagesmengen an Omega-3 Fettsäuren zu erreichen. Täglich sollten – je nach Alter und körperlicher Aktivität – zwischen 0,5 und 1,5 Gramm Omega-3 aufgenommen werden. So empfiehlt es die Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE), die Österreichische Gesellschaft für Ernährung (ÖGE) und die Schweizerische Gesellschaft für Ernährungswissenschaft (SGE)

in einer gemeinsamen Richtlinie (DACH-Empfehlung). Hierzu reicht die tägliche Einnahme eines gesunden Erwachsenen von 1 Esslöffel (15 ml) Leinöl und dementsprechend 20 ml Leindotteröl. Außerdem enthält Leindotteröl reichlich Tocopherole (Vitamin E). In verschiedenen Studien wurde zudem eine cholesterinsenkende Eigenschaft des Leindotteröls festgestellt. Es wird angenommen, dass dies auf die einfach ungesättigte Ölsäure zurückzuführen ist [23].

Eine weitere charakteristische Fettsäure für Ölsaaten der Kreuzblütler ist Erucasäure. Diese ist jedoch in höheren Mengen ernährungsphysiologisch bedenklich. Im Unterschied zu den früher für die Rapsölherstellung verwendeten erucasäurereichen Rapsorten enthalten die heute eingesetzten Sorten in der Regel < 1 % Erucasäure. Leindotteröl enthält zwischen 2,2 und 3,9 % Erucasäure, und höher als der für Rapsöl maximal zulässige Gehalt von 2 % Erucasäure, jedoch niedriger als der in der Erucasäure-Verordnung festgelegte Wert von 5 % für Lebensmittel [24].

Ungewöhnlich hoch in Leindotteröl konzentriert ist 11c-Eicosensäure. Während die meisten Speiseöle davon unter einem Prozent enthalten (Ausnahme Rapsöl: etwas über 1 %), weist Leindotteröl Gehalte zwischen 12 und 24 % auf (mittlerer Gehalt: 16,3 %). Eicosensäure gehört wie Ölsäure bzw. Erucasäure zur Familie der Omega-9-Fettsäuren. Über ihre ernährungsphysiologische Wirkung ist wenig bekannt. Sie könnte sich als einfach ungesättigte Fettsäure ähnlich wie Ölsäure verhalten. Allerdings haben Untersuchungen gezeigt, dass große Mengen an Eicosensäure in Tierexperimenten zu einer Verfettung am Herzen führten, wenn auch wesentlich geringer ausgeprägt als bei Erucasäure. Bei der üblichen Aufnahmemenge von Speiseölen mit der Nahrung dürfte dies keine Bedeutung haben [25].

Abgesehen von der Zusammensetzung eignet sich Leindotteröl hervorragend für die kalte Küche, für Salat-Dressings, Rohkost-Dips, kalte Saucen und vieles mehr. Um die essenziellen Inhaltsstoffe nicht zu beschädigen, sollte Leindotteröl, wenn, nur leicht erwärmt werden. Für eine starke und langanhaltende Erhitzung wie beim Braten ist das Öl nicht geeignet. Leindotteröl ist aufgrund des hohen Gehalts an Antioxidantien vor allem aus der Gruppe der Tocopherole im Kühlschrank bis zu neun Monaten haltbar, deutlich länger als z. B. Leinöl [22].

2.4.1.1 Leindotteröl, Brenn- und Nährwerte je 100 g

Brennwert: 3700 kJ / 900 kcal

Eiweiß: 0 g

Kohlenhydrate: 0 g

Fett: 100 g, davon:

- gesättigte Fettsäuren 10 g
- einfach ungesättigte Fettsäuren 32 g
- mehrfach ungesättigte Fettsäuren 54 g, davon:
 - Omega-3-Fettsäuren 36 g
 - Omega-6-Fettsäuren 18 g
- Vitamin E 5 mg

Es handelt sich um Richtwerte. Die Angaben unterliegen natürlichen und erntebedingten Schwankungen [22].

2.4.2 Leindotterpresskuchen als Futtermittel

Im Jahr 2008 wurde das bis dahin geltende Verfütterungsverbot für Leindotter-Nebenprodukte aufgehoben [26]. Der bei der Ölherstellung anfallende Presskuchen ist reich an Proteinen und Vitamin E. Er setzt sich zusammen aus: 45 % Protein, 13 % Fasern und 5 % Vitaminen und Mineralien. Das Protein enthält die Aminosäuren Glutamin, Asparagin, Arginin, Leucin, Glycin, Valin, Serin, Lysin und Prolin in einem Verhältnis, welches vergleichbar ist mit dem von Raps und Soja. Studien haben jedoch gezeigt, dass der Verzehr von Leindotter-Presskuchen in vielen Fällen die Fettsäurezusammensetzung des Gewebes verändert. Da auch gewisse Mengen an Senfölglycosiden und Phytate enthalten sind, darf der Presskuchen nur begrenzt als Tierfütterersatz dienen. So darf der Anteil am Tierfutter bei Geflügel und Rindern 10 % betragen, bei Schweinen 2 % und in der Aquakultur 3 % [3]. Andere Quellen geben an, dass selbst ein Anteil des Presskuchens von bis zu 15 % keinen negativen Effekt auf den Geschmack weder von Eiern noch von Fleisch hat [27].

2.4.3 Leindotterpresskuchen als Nahrungsmittel

Leindotterpresskuchen als hochwertige Eiweißquelle könnte zukünftig auch für die menschliche Ernährung verwendet werden. Der bei der Ölgewinnung entstehende Presskuchen verfügt nach heutigem Wissenstand über hohe Eiweißkonzentrationen mit einer qualitativ dem Raps und Soja vergleichbaren Aminosäure-Zusammensetzung. Der Presskuchen kann z. B. mit Haushalts-Getreidemühlen zu Pflanzenmehl verarbeitet werden. Dieses kann dann wie ein Getreidemehl zum Brotbacken, für Nudeln oder für die Herstellung von Bratlingen verwendet werden. Mit Ölpflanzen können dreimal mehr Menschen ernährt werden als über den Umweg der Fleischproduktion [28].



Abb. 7: Ölpresse und Presskuchen einer Ölsaart [29]

2.4.4 Energetische Nutzung des Leindotters

Leindotteröl kann wie andere Öle auch zu Biodiesel (Fettsäure-Methylester) verarbeitet werden. Als naturbelassener Pflanzenölkraftstoff für pflanzenöлтаugliche Motoren kann Leindotteröl bisher jedoch nur in Mischung mit anderen Ölen die Anforderungen der Pflanzenölkraftstoffnorm DIN SPEC 51623 erfüllen. Leindotteröl hat als Pflanzenölkraftstoff bei niedrigeren Temperaturen bessere Eigenschaften im Startverhalten als etwa Rapsöl, die Nutzung ist allerdings nicht etabliert und entsprechende Aussagen nicht empirisch zu stützen. In einem Forschungsprojekt der Universität Rostock wurden die Eigenschaften von Leindotteröl beim Einsatz als Treibstoff für moderne Schlepper getestet. Dabei ergab sich, dass eine Mischung aus 30 % kaltgepresstem Leindotteröl und 70 % Rapsöl in pflanzenöлтаuglichen Motoren ohne größere Probleme durchaus eingesetzt werden kann, aufgrund einer größeren Verkokung der Düsen (Kokstrompetenbildung an den Injektoren) aber nicht angeraten wird [30].

Leindotter zählt neben vielen anderen Pflanzen auch zu den Energiepflanzen, die als Rohstoff für alternatives Kerosin aus Biomasse genutzt werden können. Diese Energieträger haben den Vorteil, dass sie bei ihrem Wachstum mittels Photosynthese der Atmosphäre in der gleichen Menge Kohlendioxid (CO₂) entziehen, wie bei der späteren Verbrennung abgegeben wird. Sie verbrennen CO₂-neutral. Wenn man einkalkuliert, dass im gesamten Produktionsprozess sowie beim Transport zum Flugzeug Kohlendioxid emittiert wird, können mit Leindotter als Kraftstoff ca. 67 % CO₂ eingespart werden.

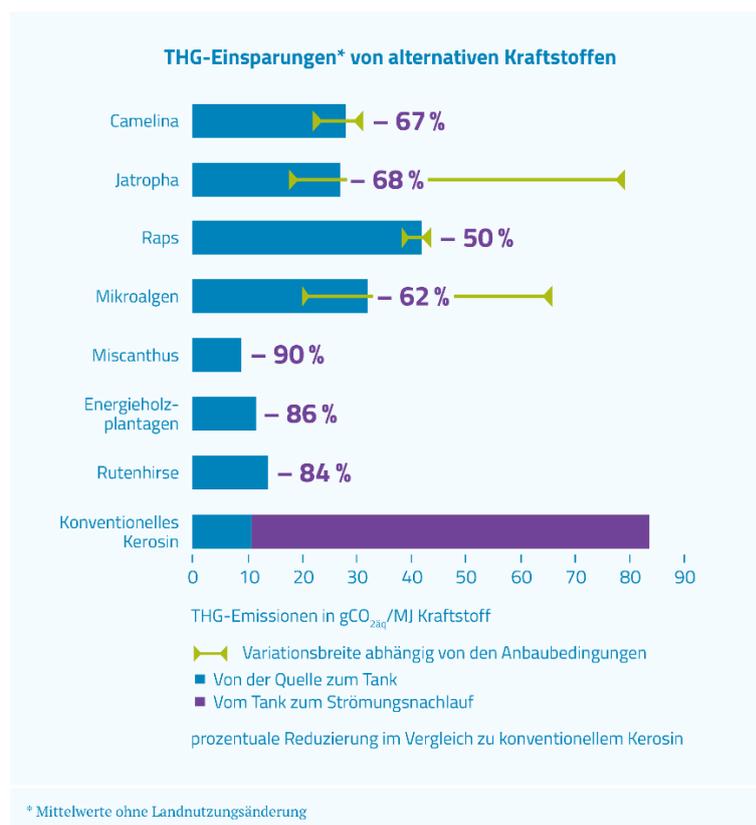


Abb.8: Treibhausgasreduzierung mit alternativen Kraftstoffen [31]

Beim Anbau von Energiepflanzen müssen jedoch bestimmte soziale, ökonomische und ökologische Kriterien beachtet werden. Darunter fällt zum Beispiel, dass weder die Pflanze an sich noch die Anbaufläche in Konkurrenz zu Lebensmitteln stehen dürfen. Zurzeit gibt es eine große Zahl von nationalen und internationalen Forschungsprojekten zur Nutzung von Biomasse als Rohstoff für alternatives Kerosin, um genau diese Nachhaltigkeitskriterien sicher zu erfüllen. Eine weitere Herausforderung ist die Wirtschaftlichkeit, denn Alternativen wie Leindotter sind zurzeit noch mindestens doppelt so teuer wie konventionelles Kerosin. Da alternative Flugkraftstoffe noch nicht in den Mengen und zu einem wettbewerbsfähigen Preis verfügbar sind, wird alternativ erzeugtes Kerosin zurzeit dem herkömmlichen Kerosin nur beigemischt [31].

Am 20. Juni 2011 überquerte eine Boeing 747-8 den Atlantik als erste große Verkehrsmaschine mit einem Gemisch aus Kerosin (85 %) und Treibstoff aus Leindotteröl (15 %). Für den Versuch mussten keine Veränderungen am Flugzeug, den Triebwerken oder Betriebsabläufen vorgenommen werden.

Am 21. August 2013 realisierte die chilenische Fluggesellschaft LATAM Airlines den ersten kommerziellen Flug mit einem Gemisch aus 67 % herkömmlichem Kerosin und 33 % Treibstoff aus Leindotteröl. Der Flug wurde mit einem Airbus A320 zwischen den kolumbianischen Städten Bogotá und Cali durchgeführt [30].

Auch die Lufthansa flog im Rahmen des Projekts BurnFAIR von 2010-2013 die Strecke Hamburg-Frankfurt mit einem Gemisch aus herkömmlichem Kerosin und Biokerosin, welches anteilig Leindotteröl enthielt. Seit Mai 2015 tankt die Lufthansa als Kunde auf Flügen nach Norwegen alle Flugzeuge am Flughafen Oslo mit Biokerosin. Der Flughafen Oslo, hat nach eigenen Angaben als weltweit erster Airport, mit der Belieferung von Biokerosin im regulären Flugbetrieb begonnen. Das Kerosin mit einer Beimischung von alternativem Flugkraftstoff wird in das bestehende Betankungssystem eingespeist und wie herkömmliches Kerosin vertankt [32].

Seit 2019 beliefern Neste, der weltweit führende Hersteller erneuerbarer Produkte aus Reststoffen und Lebensmittelrückständen, und Air BP, ein internationaler Anbieter von Flugtreibstoffprodukten und -services, neben Norwegen auch Fluglinien und Flughafenbetreiber in Schweden mit Biokerosin.

Biokerosin ist derzeit die einzige einsatzfähige Alternative zu fossilem Kerosin in der kommerziellen Luftfahrt. Das Produkt von Neste hat seine technischen Fähigkeiten auf tausenden Flügen bewiesen. Es wird aus erneuerbaren und nachhaltigen Rohstoffen, die nicht auf Palmöl basieren, hergestellt und kann die Treibhausgasemissionen gegenüber konventionellem Kerosin über den gesamten Lebenszyklus hinweg um bis zu 80 Prozent verringern.

Ob die Biokerosin-Rezeptur noch wie in 2011 Leindotteröl enthält, ist unbekannt [33].

2.4.5 Industrielle Nutzung des Leindotters

Auch für die technische Industrie ist Leindotteröl interessant. Aufgrund seiner schnell trocknenden Eigenschaften ist es, ähnlich wie Leinöl in der Oleo-Chemie für die Herstellung von Lacken, Farben und von ölbasierten Polymeren nutzbar. Durch Veresterung lassen sich aus dem Öl zudem langkettige und sehr langkettige Wachsester in hohen Ausbeuten von etwa 90 % gewinnen, die als Grundstoffe in der Pharmazie, Kosmetikherstellung und als Spezial-Schmiermittel Verwendung finden. [30]

Beispielhaft ist in diesem Zusammenhang ein Förderprojekt des Bundesamtes für Naturschutz (BfN) im Rahmen des Bundesprogramms „Biologische Vielfalt“. Naturschutz in Form von Förderung der Biodiversität und nachhaltigem Wirtschaften sind die Ziele eines Projektes, das der südhessische Baufarbenhersteller DAW SE, der auch Mitglied der Leindotter-Initiative ist, in Brandenburg betreibt. Auf Initiative der DAW SE bauen Landwirte in Brandenburg Erbsen in Mischkultur mit Leindotter an. Letzterer dient der DAW SE als Rohstoff für hochwertige Holzveredelungsprodukte wie Lasuren und Öle. Gerade in Regionen wie Brandenburg, welche durch trockene Böden und große Monokulturen bestimmt sind, bietet der Leindotter nicht nur die Möglichkeit den Ertrag der Erbsenreinkulturen zu steigern, sondern auch den Insekten Nahrung zu bieten. Bis zum Jahr 2022 soll die Erbsen-Leindotter-Mischkultur durch 40 Betriebe auf einer Fläche 1000 ha angebaut werden, womit das Projekt für alle Beteiligten sowohl wirtschaftlich als auch ökologisch nachhaltig ist [34].



Abb. 9: In der Erbse-Leindotter-Mischkultur wirkt der Leindotter als Stütze, an der die Erbsen entlangranken [34]

3 Material und Methodik

3.1 Hafer-Leindotter-Mischkultur der Forschung und Züchtung, Dottenfelder Hof (FZD), 2019-2020

Im ökologischen Landbau werden die Vorteile des Leindotters vor allem im Mischfruchtanbau deutlich. Die FZD baut Leindotter seit 2019 zusammen mit Hafer als Mischkultur an. Dabei werden Aussaatstärken sowohl vom Hafer als auch vom Leindotter variiert, um das optimale Verhältnis der Mischfruchtpartner zu ermitteln. Im Jahr 2020 wurde die Hafersorte Kaspero zusammen mit der Leindottersorte Eica angebaut.

Tab. 3: Hafer-Leindotter-Mischkultur 2020

	1	2	3	4	5
12	Rand Kaspero	8c HA 250 LND 250 36	10c HA 150 LND 350 35	5c LND 1000 34	Rand Kaspero
11	Rand Kaspero	9c HA 200 LND 300 31	2c LND Check 500 32	7c HA 350 LND 150 33	Rand Kaspero
10	Rand Kaspero	1c HA Check 350 30	3c HA 500 29	6c LND 250 28	Rand Kaspero
9	Rand Kaspero	11c HA 100 LND 400 25	12c HA 350 LND 500 26	4c HA 250 27	Rand Kaspero
8	Rand Kaspero	3b HA 500 24	4b HA 250 23	1b HA Check 350 22	Rand Kaspero
7	Rand Kaspero	12b HA 350 LND 500 19	5b LND 1000 20	11b HA 100 LND 400 21	Rand Kaspero
6	Rand Kaspero	10b HA 150 LND 350 18	7b HA 350 LND 150 17	9b HA 200 LND 300 16	Rand Kaspero
5	Rand Kaspero	2b LND Check 500 13	6b LND 250 14	8b HA 250 LND 250 15	Rand Kaspero
4	Rand Kaspero	6a LND 250 12	8a HA 250 LND 250 11	10a HA 150 LND 350 10	Rand Kaspero
3	Rand Kaspero	5a LND 1000 7	9a HA 200 LND 300 8	12a HA 350 LND 500 9	Rand Kaspero
2	Rand Kaspero	7a HA 350 LND 150 6	11a HA 100 LND 400 5	2a LND Check 500 4	Rand Kaspero
1	Rand Kaspero	4a HA 250 1	1a HA Check 350 2	3a HA 500 3	Rand Kaspero

Die gemeinsame Aussaat erfolgte am 26.03.2020.

Entsprechend des Feldplans wurden 36 Prüfparzellen einer Größe von je 6 m² angelegt. Auch in den Randparzellen, die den Randeffekt minimieren sollen, wurde die Hafersorte Kaspero ausgesät. In der jährlichen Leistungsprüfung werden die Tausendkornmasse und der Ertrag des Leindotters, sowie die Tausendkornmasse, das Hektolitergewicht und der Ertrag des Hafers evaluiert. Am 13.05.2020 wurde im EC / BBCH Stadium 21 eine Bonitur des Bedeckungsgrades durchgeführt.

3.2 Leindotter-Reinkultur der Forschung und Züchtung Dottenfelder Hof (FZD), 2018-2020

3.2.1 Sortenscreening

Leindotter wird in der Forschung und Züchtung auf dem Dottenfelder Hof erst seit 2017 bearbeitet. Als aktives Mitglied der Leindotter-Initiative übernimmt die FZD die wissenschaftlichen Untersuchungen und die Züchtung neuer Sorten des Leindotters. Vor drei Jahren wurde mit dem Sortenscreening mit Saatgut von 16 verschiedenen Sommerformen aus den unterschiedlichsten Quellen begonnen. Das Saatgut stammte von der Saatgutbank, von Saatgutvertreibern, von Züchtern und Privatleuten und sollte ein Abbild der genetischen Ressourcen der aktuell im An- und Nachbau befindlichen Sommersorten des Leindotters sein. Diese mittlerweile ca. 20 verschiedenen Leindotter-Sorten werden jährlich von der FZD in randomisierten Leistungsprüfungen in drei Wiederholungen und zusätzlich für den Nachbau und weiterführende Untersuchungen in Reinkultur angelegt.

Folgende Sorten wurden für die Leistungsprüfung 2020 aus der Handernte im Jahr 2019 verwendet (Angaben zum Züchter/Ursprung des Saatguts in Klammern):

1. Dolly (KWS)
2. Sonny (KWS)
3. Eica (LLH)
4. Ligena (DSV)

Die Sorten 1-4 stehen derzeit unter Sortenschutz.

5. Calena (Saatbau Linz, bzw. Saaten Union)
6. Morgensonne (Dreschflegel)
7. Smilowska (Semco, Polen)
8. Zuzanna (Proseeds, Tschechien)

Die Sorten 5-8 befinden sich im Anbau und sind als Saatgut erhältlich.

9. Bliesgau (Ligena?)
10. Boha
11. Borowska (Uni Posen)
12. Camena
13. Luna

14. Das 01
15. M344 (LLH)
16. M345 (LLH)
17. M347 (LLH)
18. Omega (Uni Posen)
19. Polina Fant (Agatha)
20. Vellenga

Die Sorten bzw. Herkünfte 9-20 sind nicht im Saatguthandel erhältlich.

Im Rahmen der Leistungsprüfung der Leindotter-Reinkultur werden jedes Jahr die Tausendkornmasse des Samens und der Ertrag evaluiert, sowie Bonituren in verschiedenen BBCH-Stadien durchgeführt. Im Anbaujahr 2020 sollten zum ersten Mal Kreuzungen von verschiedenen Sorten durchgeführt werden. Ein weiterer Fokus lag auf phänotypischen Vergleichen der Pflanzen hinsichtlich der Wuchsform, der Wuchshöhe und der Blattformen. Von großem Interesse war darüber hinaus die Beobachtung der Insektenbesucher, hier vor allem der Bienen.

3.2.2 Aussaat und Bodenbeschaffenheit

Die Leindotter Reinkultur wurde am 26.03.2020 entsprechend des Feldplans (s. Tab. 4) in je 6 m² große Parzellen auf dem Versuchsfeld im Pfaffenwald 2 ausgesät. Zur Aussaat wurde die Hege 90 Sämaschine der FZD verwendet. Die Aussaatstärke betrug standardmäßig 500 Körner/m², in einigen Versuchsvarianten auch 250 oder 1000 Körner/m². Die Aussaattiefe wurde auf 5 cm eingestellt. Als einzige Maßnahme zur Boden- und Saatbettvorbereitung kam die Hacke an der Sämaschine zum Einsatz. Auf der Aussaatfläche lagen oberflächlich viele Pflanzen- und Unkrautreste und das Saatbett war grob und unregelmäßig.

3.2.3 Vegetationszyklus der Leindotter Reinkultur 2020

Der Vegetationszyklus von der Aussaat am 26.03.2020 bis zur Ernte am 23.07.2020 betrug 119 Tage. Der Feldaufgang wurde am 08.04.2020 festgestellt.

3.2.4 Feldplan der Leindotter-Reinkultur 2020

Der Feldplan der Leindotter-Reinkultur 2020 ist in Tabelle 4 dargestellt. Farblich unterschieden sind die Parzellen 1-72 der randomisierten Leistungsprüfung mit drei Wiederholungen (blau, gelb, grün), die Parzellen 73-96 (hellgrau) und die Randparzellen mit der Sorte Eica (dunkelgrau). Die Parzellen 73-96 wurden standardmäßig für die Handernte jeder einzelnen Sorte angelegt und in diesem Jahr für die Durchführung der Kreuzungen verwendet.

Tab. 4: Leindotter-Reinkultur 2020

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	Eica Rand	1 Bliesgau? 73	8 Ligena 72 15 / 41 / 80	10 M 345 71 3 / 30 / 82	13 Das 01 70 8 / 36 / 84	5 Calena? 69 7 / 38 / 77	21 Calena 1000 68 14 / 28	1 Bliesgau? 67 11 / 34 / 73	25 Luna nur Rand 96	Eica Rand
11	Eica Rand	2 Boha 74	22 Calena 250 61 21 / 44	24 Ligena 250 62 10 / 29	14 Morgensonn e 63 18 / 35 / 85	12 M 347 64 20 / 37 / 83	7 Dolly 65 12 / 45 / 79	17 Smilowska 66 2 / 40 / 88	25 Luna nur Rand 95	Eica Rand
10	Eica Rand	3 Borowska 75	23 Ligena 1000 60 9 / 31	20 Zuzana 59 22 / 32 / 91	18 Sonny 58 17 / 26 / 89	3 Borowska 57 19 / 47 / 75	19 Vellenga? 56 24 / 39 / 90	15 Omega 55 23 / 33 / 86	11 M 346 (Eica) 94	Eica Rand
9	Eica Rand	4 Calena 500 76	9 M 344 49 4 / 43 / 81	16 Polina-fant 50 16 / 42 / 87	6 Camena? 51 5 / 25 / 78	2 Boha 52 6 / 48 / 74	4 Calena 500 53 1 / 46 / 76	11 M 346 (Eica) 54 13 / 27 / 94	11 M 346 (Eica) 93	Eica Rand
8	Eica Rand	5 Calena? 77	2 Boha 48 6 / 52 / 74	3 Borowska 47 19 / 57 / 75	4 Calena 500 46 1 / 53 / 76	7 Dolly 45 12 / 65 / 79	22 Calena 250 44 21 / 61	9 M 344 43 4 / 49 / 81	11 M 346 (Eica) 92	Eica Rand
7	Eica Rand	6 Camena? 78	12 M 347 37 20 / 64 / 83	5 Calena? 38 7 / 69 / 77	19 Vellenga? 39 24 / 56 / 90	17 Smilowska 40 2 / 66 / 88	8 Ligena 41 15 / 72 / 80	16 Polina-fant 42 16 / 50 / 87	20 Zuzana 91	Eica Rand
6	Eica Rand	7 Dolly 79	13 Das 01 36 8 / 70 / 84	14 Morgensonn e 35 18 / 63 / 85	1 Bliesgau? 34 11 / 67 / 73	15 Omega 33 23 / 55 / 86	20 Zuzana 32 22 / 59 / 91	23 Ligena 1000 31 9 / 60	19 Vellenga? 90	Eica Rand
5	Eica Rand	8 Ligena 80	6 Camena? 25 5 / 51 / 78	18 Sonny 26 17 / 58 / 89	11 M 346 (Eica) 27 13 / 54 / 94	21 Calena 1000 28 14 / 68	24 Ligena 250 29 10 / 62	10 M 345 30 3 / 71 / 82	18 Sonny 89	Eica Rand
4	Eica Rand	9 M 344 81	19 Vellenga? 24 39 / 56 / 90	15 Omega 23 33 / 55 / 86	20 Zuzana 22 32 / 59 / 91	22 Calena 250 21 44 / 61	12 M 347 20 37 / 64 / 83	3 Borowska 19 47 / 57 / 75	17 Smilowska 88	Eica Rand
3	Eica Rand	10 M 345 82	11 M 346 (Eica) 13 27 / 54 / 94	21 Calena 1000 14 28 / 68	8 Ligena 15 41 / 72 / 80	16 Polina-fant 16 42 / 50 / 87	18 Sonny 17 26 / 58 / 89	14 Morgensonn e 18 35 / 63 / 85	16 Polina-fant 87	Eica Rand
2	Eica Rand	12 M 347 83	7 Dolly 12 45 / 65 / 79	1 Bliesgau? 11 34 / 67 / 73	24 Ligena 250 10 29 / 62	23 Ligena 1000 9 31 / 60	13 Das 01 8 36 / 70 / 84	5 Calena? 7 38 / 69 / 77	15 Omega 86	Eica Rand
1	Eica Rand	13 Das 01 84	4 Calena 500 1 46 / 53 / 76	17 Smilowska 2 40 / 66 / 88	10 M 345 3 30 / 71 / 82	9 M 344 4 43 / 49 / 81	6 Camena? 5 25 / 51 / 78	2 Boha 6 48 / 52 / 74	14 Morgensonn e 85	Eica Rand

3.2.5 Klimatische Bedingungen

Abbildung 10 zeigt die Niederschläge und Temperaturen am Dottenfelder Hof von Januar 2020 bis einschließlich Juli 2020. Vor der Aussaat der Leindotter- und Hafer-Leindotterkultur am 26.03.2020 hatten Niederschläge von 76,3 mm im Februar und 45,3 mm im März 2020 für ausreichend vorhandene Feuchtigkeit im Boden gesorgt. Diese Niederschlagsmengen lagen, besonders im Februar, deutlich über dem 30-Jahre-Mittel.

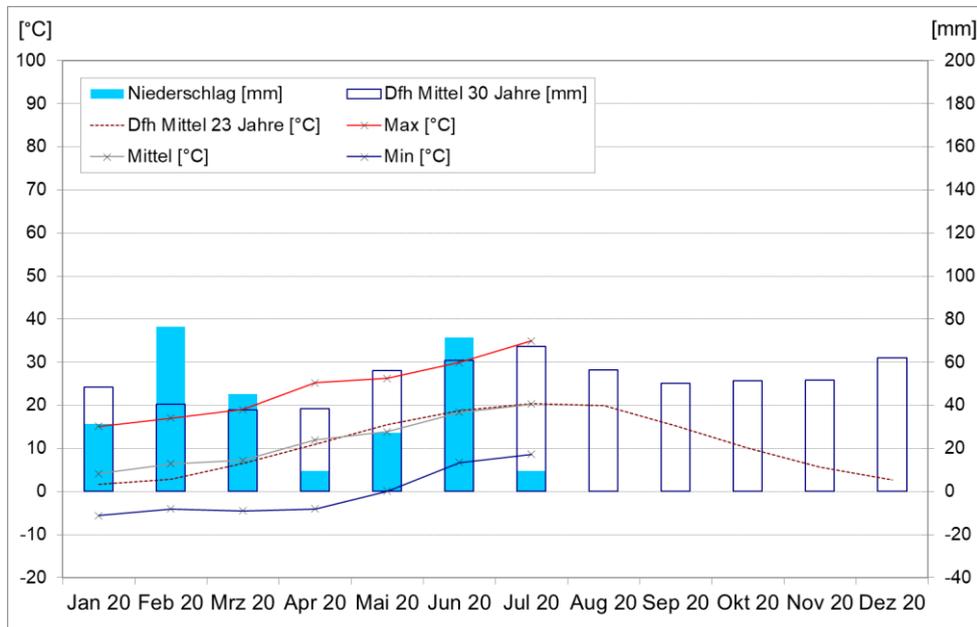


Abb. 10: Klimadiagramm Dottenfelder Hof 2020, B. Schmehe

Die mittlere Temperatur während des Vegetationszyklus entsprach bis auf den Mai annähernd dem 30-Jahre-Temperaturmittel. Im Mai 2020 war die mittlere Temperatur mit 13,8 °C um 2,2 °C geringer als das 30-Jahre-Mittel, was auf einige Nachttemperaturen bis in Gefrierpunktnähe zurückzuführen sein könnte. In den ersten 10 Tagen nach der Aussaat betrug die mittlere Minimaltemperatur -0,4 °C und die mittlere Maximaltemperatur 14 °C bei 0 mm Niederschlag. In Abbildung 11 sind die Tageswerte der Niederschlagsmengen von der Aussaat bis zur Ernte dargestellt. Es ist zu sehen, dass die der Aussaat folgende Periode ohne nennenswerten Niederschlag bis zum 29.04.2020, also 34 Tage dauert. Die Gesamtniederschlagsmenge betrug im April 2020 9,4 mm. Auch die Niederschläge im Mai 2020 lagen mit 27,4 mm deutlich unter dem 30-Jahre-Mittel. Nur an zwei Tagen wurde eine Niederschlagsmenge > 5mm gemessen. Im Juni 2020 hingegen, wurden mit 71,4 mm erneut Niederschläge oberhalb des 30-Jahre-Mittels von 61 mm ermittelt.

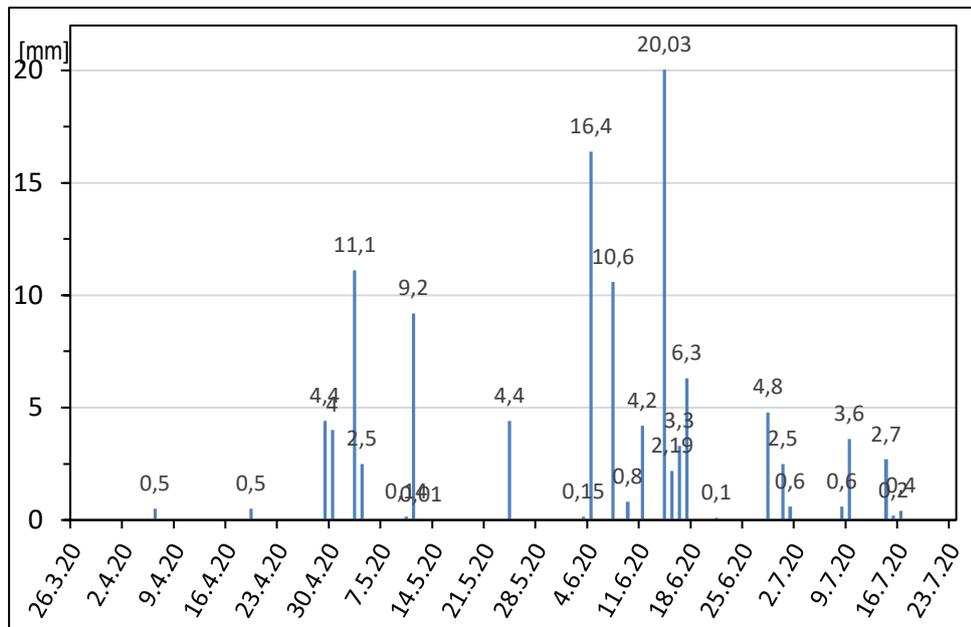


Abb. 11: Niederschlag-Tageswerte [mm] von der Leindotter-Aussaat bis zur Ernte 2020

3.3 Durchführung und Dokumentation der Leindotter Kreuzungen

Am 28.05.2020 wurde mit der Durchführung der Kreuzungen verschiedener Leindottersorten begonnen, wobei zunächst die Vorgehensweise und das Erproben der Kreuzungstechnik im Vordergrund standen. Die Kastration der Mutterpflanzen fand in den Parzellen 74 bis 95 des Versuchsfelds statt. Insgesamt wurden an vier Tagen 16 Sorten gekreuzt, wobei pro Sorte eine Anzahl von neun kastrierten Blüten angestrebt wurde. Zwei Kreuzungen wurden wiederholt, nachdem festgestellt wurde, dass die Bestäubung nicht gelungen war.

3.3.1 Anleitung für die Leindotter-Kreuzung

Für die Kreuzung wurden folgende Utensilien verwendet:

- Stirnlupe
- Spitze Pinzette
- Feine Schere
- Ethanol
- Kreuzungstüten
- Markierungsstäbe

Die Kreuzung wurde wie folgt durchgeführt:

1. Auswahl eines Triebes mit vielen ungeöffneten Blüten und Entfernen aller nicht benötigten Pflanzenteile, wie Blätter, geöffnete Blüten, zu kleine und überschüssige Blüten.

- Das Arbeiten an max. 3 möglichst entfernt voneinander sitzenden Blüten einer Dolde ist praktikabel. Bei mehr Blüten kann das Handling leicht zu einer Verletzung der feinen Blütenstängel führen.

2. Desinfektion der Hände und Pinzette mit Ethanol
3. Halten des Blütenkopfes an der langen Seite zwischen Daumen und Finger und Zurückklappen der Kelchblätter mit der Pinzette
 - Dies erlaubt die Entfernung der zwei seitlichen kurzen Antheren und anschließend der vier langen Antheren, die sich zu zweit gegenüberstehen.
4. Kürzen der Blütenblätter mit der Schere, so dass die Narbe hervorsteht.



Abb.12: Kastrierte Leindotterblüte vor dem Bestäuben

5. Kastrieren weiterer zwei Blüten bei zwischenzeitlichem Desinfizieren von Pinzette und Händen
6. Auswahl einer männlichen Pflanze
 - Die Blüten sollten sich erst vor Kurzem geöffnet haben und man sollte den Pollen sehen können
7. Entfernen der Kelch- und Blütenblätter einer männlichen Blüte, so dass die Antheren hervorstehen
8. Bestäuben der Narbe der kastrierten Blüte, indem die Antheren wie ein Pinsel benutzt werden und anschließendes Schließen der Kelchblätter, um ein Austrocknen der Narbe zu verhindern
 - Der gelbe Pollen sollte nach dem Bestäuben auf der Narbe sichtbar sein
9. Überstülpen einer Kreuzungstüte, in der Weise, dass die Blüten nicht gequetscht werden und genug Platz zum Wachsen für einige Tage haben.
 - Hierzu wird eine Ecke der Tüte um den Trieb gefaltet und an den stützenden Markierungsstab geklammert. Je nach Wachstum der Pflanze muss die Tüte nach einiger Zeit höher gezogen werden, damit die wachsende Frucht Platz hat und der Trieb nicht bricht.



Abb. 13: Präparierte Bestäuber-Blüte (männliche Blüte)

10. Anbringen eines Kreuzungsetiketts oder-schilds mit der notwendigen Information
11. Entfernen der Kreuzungstüte und Überprüfen des Kreuzungsversuchs nach fünf Tagen
 - Bei gelungener Kreuzung entwickelt sich der Fruchtknoten deutlich erkennbar zur Frucht

3.4 Beobachtung und Dokumentation der Insektenbesuche

Leindotter anzubauen, insbesondere im Mischfruchtanbau, bedeutet nicht nur die Artenvielfalt in der Landwirtschaft zu fördern, sondern auch einen insektenfreundlichen Lebensraum zu schaffen. Die Blüentracht des Leindotters im Monat Mai und Juni verlängert die Zeit, in welcher den Insekten auf den Äckern Nektar und Pollen zur Verfügung steht. Die Beobachtung der Insektenbesuche im Versuchsfeld der Leindotter-Reinkultur machte deutlich, wie beliebt sein Nektar und Pollen bei zahlreichen Insekten, wie Honig- und Wildbienen, Hummeln, Schmetterlingen und Käfern ist und unterstreicht den hohen Stellenwert des Leindotters als zusätzliche Nahrungsquelle im späten Frühjahr.

3.5 Beobachtung und Dokumentation der Wachstumsstadien gemäß BBCH

Seit etwa zwei Jahrzehnten besteht vielerorts ein gesteigertes Interesse an der Ölpflanze Leindotter. Eine genaue Beschreibung des Leindotters und seiner Wachstumsphasen wurde erst im Jahre 2011 mit dem Artikel „Phenological growth stages of *Camelina sativa* according to the extended BBCH scale“ veröffentlicht. Mit der Anwendung der erweiterten BBCH-Skala, Allgemein [35] auf die Leindotterpflanze, steht seitdem eine detaillierte und einheitliche Beschreibung der verschiedenen Wachstumsphasen des Leindotters zur Verfügung. Ziel der Beschreibung war, Untersuchungen zur Anpassungsfähigkeit der Pflanzen an Umweltbedingungen, die Durchführung züchterischer Tätigkeiten und die Verbesserung der individuellen Anbaubedingungen zu erleichtern [27].

BBCH Skala *Camelina sativa*

Die erweiterte BBCH-Skala für *Camelina sativa* beschreibt 10 Makrostadien, die wiederum in Mikrostadien eingeteilt sind. Für die Beschreibung der Makrostadien wurde sowohl der zwei- als auch der dreistellige Zahlencode verwendet. Die Verwendung des dreistelligen Zahlencodes ist z.B. dann notwendig, wenn die Blattentwicklung detailliert beschrieben werden soll. Für eine allgemeine Beschreibung der Pflanze ist in der Regel der zweistellige Code ausreichend:

Makrostadium	BBCH-Code	
0	00 - 09	Keimung
1	10 - 19	Blattentwicklung
2	20 - 29	Bildung von Seitentrieben
3	30 - 39	Haupttrieblänge
4	40 - 49	entfällt
5	50 - 59	Blütenentwicklung (Haupttrieb)
6	60 - 69	Blüte
7	70 - 79	Fruchtentwicklung (Haupttrieb)
8	80 - 89	Fruchtreife
9	97, 99	Absterben

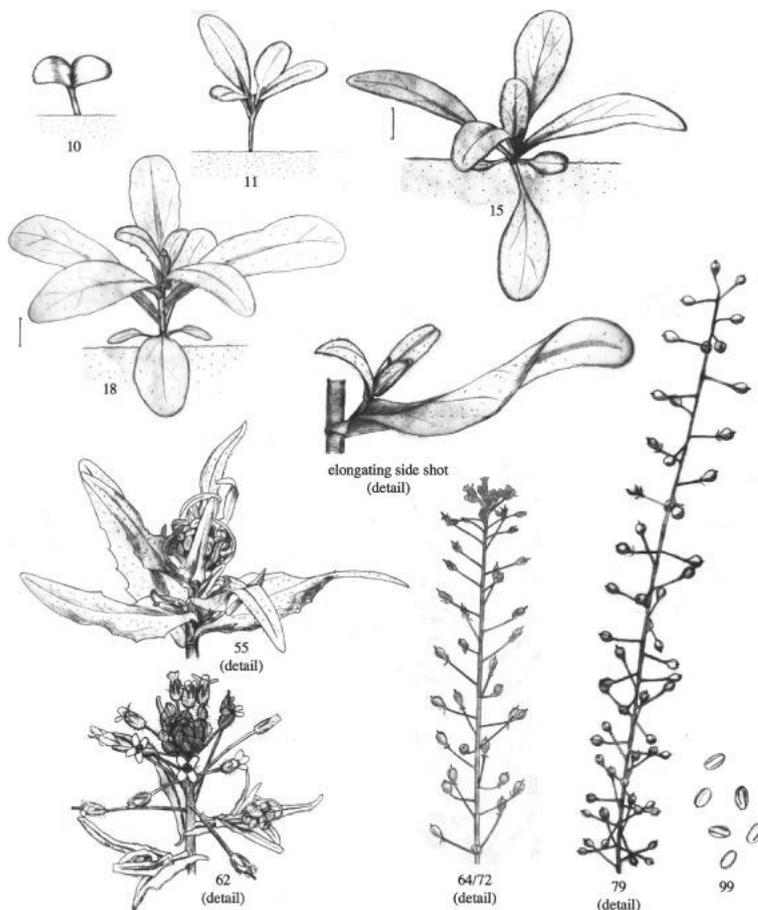


Abb 14: Phänologische Wachstumsstadien von *Camelina sativa* entsprechend der erweiterten BBCH-Skala. Gezeigte Balken entsprechen 1 cm. [36]

3.6 Phänologische Beobachtungen

Die Anzahl der Leindottersorten in der Leistungsprüfung der FZD ist zu groß, um alle Sorten im Rahmen dieser Jahresarbeit phänologisch zu vergleichen und zu beschreiben. Daher werden die phänologischen Beobachtungen im folgenden Teil beispielhaft an den drei Sorten Eica, Morgensonne und Borowska dargestellt. Die Auswahl der Sorten entstand aufgrund des unterschiedlichen Erscheinungsbilds der Pflanzen in der Wachstumsphase.

Die Wuchsform wurde nicht nur von den drei genannten Sorten Eica, Morgensonne und Borowska, sondern von allen Sorten bestimmt. Das gilt auch für die Messung der Wuchshöhe in verschiedenen Wachstumsstadien, mit Beginn der Blüte und bei Erreichen der maximalen Länge des Haupttriebs.

3.6.1 Keimversuch

Gemäß der Beschreibung der phänologischen Wachstumsstadien von *Camelina sativa* entsprechend der BBCH-Skala (Martinelli und Galasso, 2011) [27] ist der Keimvorgang das Wachstumsstadium 0. Die einzelnen Phasen des Keimvorgangs werden durch eine weitere Unterteilung mit den folgenden BBCH-Codes beschrieben:

- 00 Trockenes Samenkorn
- 01 Einleitung des Quellvorgangs
- 03 Quellvorgang ist abgeschlossen
- 05 Die Wurzel tritt aus dem Samenkorn
- 07 Das Erscheinen des Hypocotyls mit den Keimblättern aus dem Samen
- 08 Das Wachstum des Hypocotyls zusammen mit den Keimblättern zur Erdoberfläche
- 09 Das Auftauchen der Keimblätter durch die Bodenoberfläche

In einem Keimversuch sollten die Wachstumsstadien 01-07 von verschiedenen Sorten beobachtet und verglichen werden. Der Versuch wurde in einer Petrischale auf Filterpapier mit 5 ml Wasser durchgeführt. Die Versuchsdauer war 48 Stunden bei einer Temperatur zwischen 25-30 °C.

Der Keimvorgang wurde nach 1, 18, und 44 Stunden beobachtet und dokumentiert.

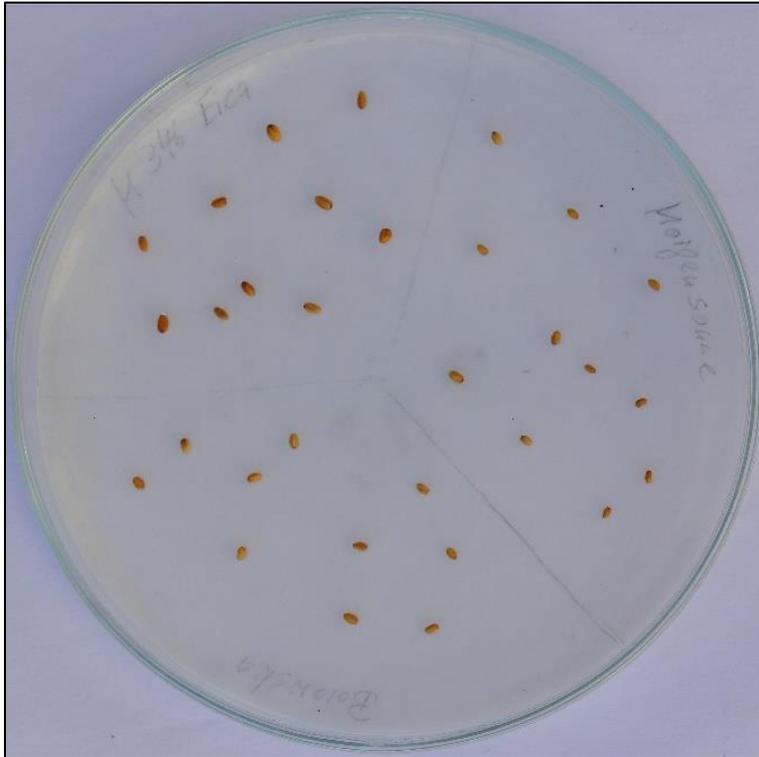


Abb. 15: Versuchsanordnung: Die Samenkörner der drei Sorten Eica, Morgensonne und Borowska wurden relativ gleichmäßig auf jeweils einem Drittel der Filterpapierfläche verteilt und mit 5 ml H₂O dest. befeuchtet.

3.6.2 Bestimmung der Wuchsform und Wuchshöhe der Leindotterpflanze

Als Basis für die Bestimmung der Wuchsformen aller Leindottersorten in der Leistungsprüfung diente der Artikel „Phenotypic Examination of *Camelina sativa* (L.) Crantz Accessions from the USDA-ARS National Genetics Resource Program“ [3].

Der Artikel beschreibt die phänotypische Untersuchung von 41 Leindottersorten. Bezogen auf die Wuchsform der Leindotterpflanze werden 4 verschiedene Arten der Entwicklung von Seitentrieben festgestellt, die als W-, X-, Y- und Z-Typ bezeichnet werden.

W-Typ: Der obere Teil ist stark verzweigt, oft mit sekundären Seitentrieben

X-Typ: Der Haupttrieb ist von oben bis unten verzweigt

Y-Typ: Einem Bestockungstrieb ähnelnd, bilden sich alle Seitentriebe unten an der Basis

Z-Typ: Chaos-Typ, der Haupttrieb ist nicht mehr erkennbar und Seitentriebe entstehen überall

Diese Kategorisierung wurde für die Bestimmung der Wuchsform übernommen, die am 22.06.2020 in 60 Parzellen zeitgleich mit der Messung der Wuchshöhe der ausgewachsenen Leindotterpflanzen durchgeführt wurde.

Die Messwerte einer früheren Messung der Wuchshöhe vom 26.05.2020 ließen sich daraufhin gemäß der BBCH-Skala als Prozentanteil der Gesamthöhe berechnen.

3.6.3 Beobachtung der Blätter des Haupttriebs

Am 26.06.2020 wurden den Sorten Eica, Morgensonne und Borowska jeweils vom Haupttrieb Blattproben zum Vergleichen und Dokumentieren entnommen.

4 Ergebnisse

4.1 Hafer-Leindotter-Mischkultur der Forschung und Züchtung, Dottenfelder Hof (FZD), 2019-2020

Die folgenden Abbildungen 16-18 zeigen die Ergebnisse der Hafer-Leindotter Mischkultur aus dem Jahr 2019. Beim Hafer handelte es sich um die Sorte Sinaba, beim Leindotter um die Sorte Calena. Die Ergebnisse des Anbaujahres 2020 lagen zum Zeitpunkt der Erstellung der Arbeit noch nicht vor.

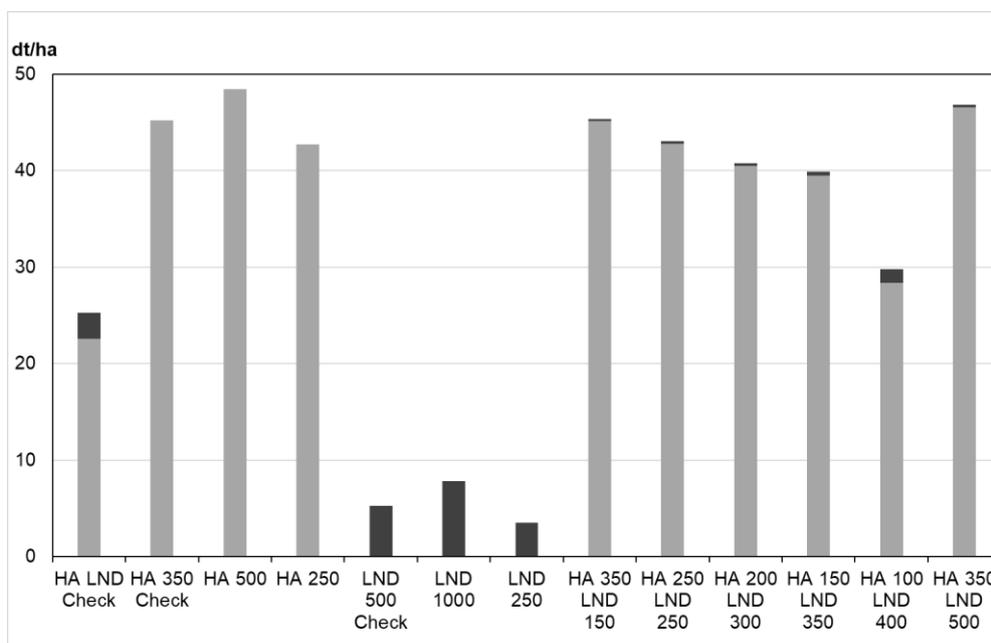


Abb. 16: Hafer und Leindotter-Ertrag in der Mischkultur 2019

Abbildung 16 zeigt, dass die Erträge des Hafers in den Parzellen der Mischkultur im Vergleich zu den Erträgen der Kontrollparzellen in Reinkultur annähernd gleich waren. Geringere Aussaatstärken des Hafers in der Mischkultur führten zu geringeren Hafererträgen, während die Leindotter-Erträge unabhängig von der Aussaatstärke gleichbleibend niedrig waren (Ausnahme Variante HA 100/LND 400). Auffallend ist, dass der höchste Haferertrag der Mischkultur mit der Variante HA 350/LND 500, also mit der höchsten Leindottersaatmenge, bei einem gleichzeitig sehr geringen Ertrag des Leindotters ermittelt wurde. Die Erträge des Leindotters in der Mischkultur waren mit maximal 1,4 dt/ha sehr gering. Die wahrscheinlichste Ursache hierfür waren Probleme mit der Parzellensämaschine.

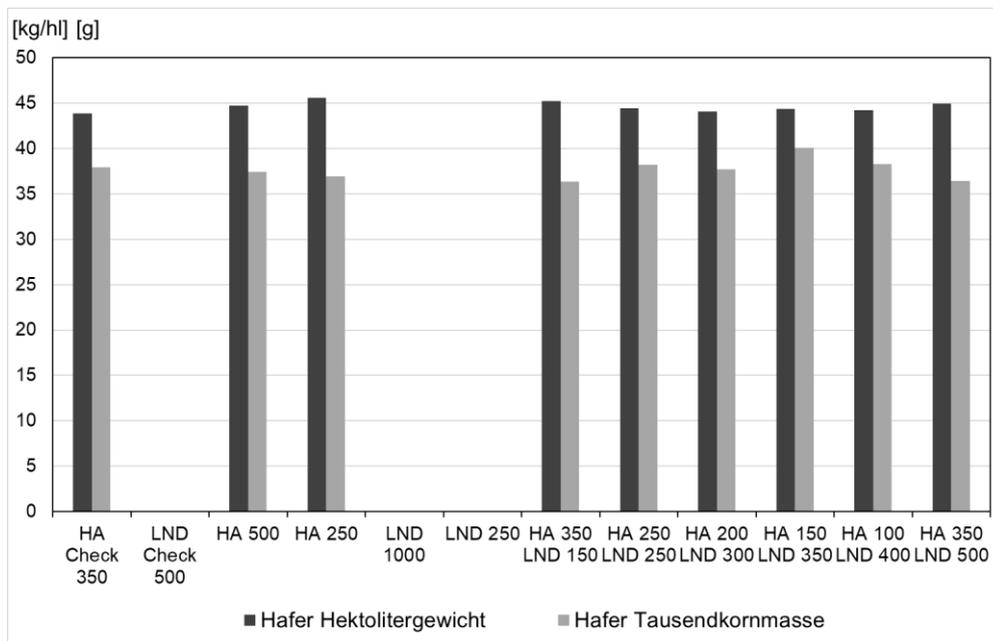


Abb. 17: Hektolitergewicht und Tausendkornmasse des Hafers in der Mischkultur 2019

Abbildung 17 zeigt das Hektolitergewicht und die Tausendkornmasse (TKM) des Hafers aus der Mischkultur und den Kontrollparzellen in Reinkultur. Die Werte aller Aussaatvarianten unterschieden sich nur kaum.

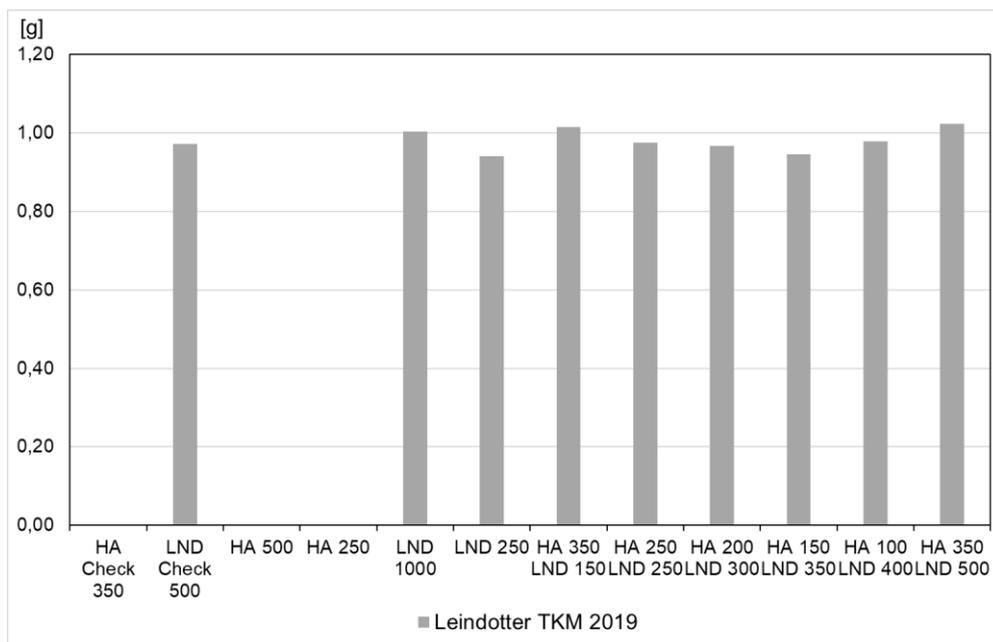


Abb. 18: Tausendkornmasse des Leindotters in der Mischkultur 2019

Die Tausendkornmasse des Leindotters ist in Abbildung 18 abgebildet. Auch beim Leindotter weichen die Werte der TKM der Kontrollparzellen nicht deutlich von denen der Mischkulturparzellen ab. Die höchsten TKM-Werte werden allerdings in der Mischkultur erzielt. Die durchschnittliche TKM von 0,98 g war vergleichbar mit der TKM von 1,02 g, welche von der Sorte Calena in der Leindotter-Reinkultur im Jahr 2019 ermittelt wurde.



Abb. 19: Hafer-Leinodter Mischkultur am 23.06.2020

4.2 Leinodter-Reinkultur der Forschung und Züchtung Dottenfelder Hof (FZD), 2018-2020

Im Folgenden werden die Ergebnisse der randomisierten Leistungsprüfungen mit 19 bzw. 20 Sorten in der Leinodter-Reinkultur der Jahre 2018 und 2019 gezeigt. Ergebnisse aus dem Anbaujahr 2020 lagen zum Zeitpunkt der Erstellung der Arbeit noch nicht vor.

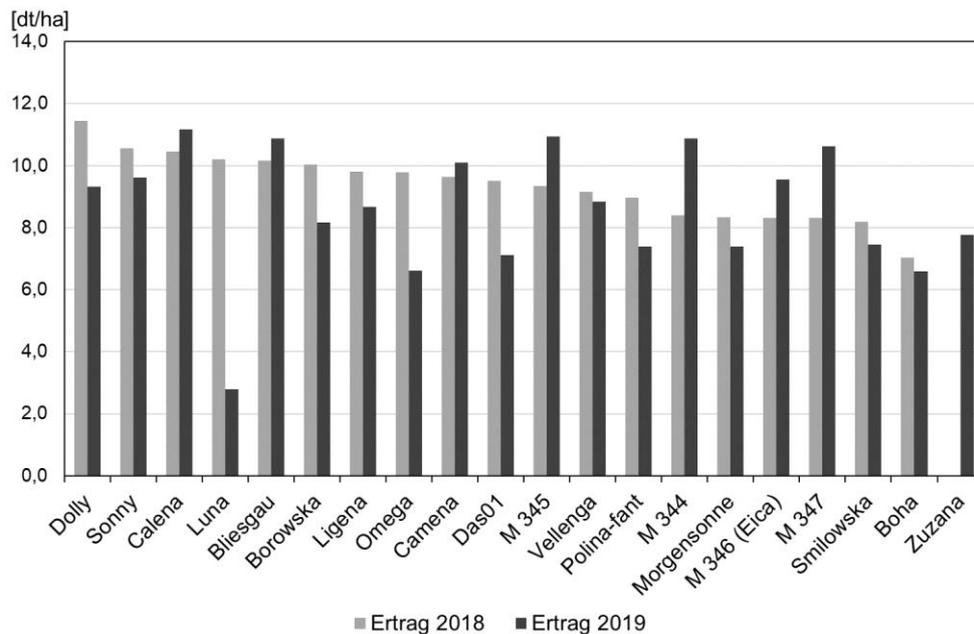


Abb. 20: Ertrag der Leinodter-Leistungsprüfung in den Jahren 2018 und 2019

Abbildung 20 zeigt die Erträge aller Sorten der Jahre 2018 und 2019. In beiden Jahren hatten sechs Sorten einen Ertrag von 10 dt/ha und höher, von denen nur die Sorten Bliesgau und Calena in beiden Jahren einen Ertrag in dieser Höhe erzielten. Der Durchschnitt der Erträge im Jahr 2018 von 9,3 dt/ha fiel etwas höher aus als im Folgejahr mit 9,0 dt/ha (2019 nicht miteinbezogen die Sorte Luna als Ausfall und die Sorte Zuzana, die erst ab 2019 in der Leistungsprüfung war). Die Unterschiede zwischen den Sorten waren im Jahr 2018 kleiner als im Jahr 2019, die Standardabweichung betrug im Jahr 2019 1,06, im Jahr 2018 betrug sie ohne die Sorte Luna 1,58.

Auffallend sind die unterschiedlichen Erträge der M-Sorten, die im Jahr 2018 Erträge zwischen 8,3 und 9,3 dt/ha hatten und im Jahr 2019 mit Erträgen von 9,5 bis 10,9 dt/ha zu den ertragreichsten Sorten zählten. Neben den bereits im Jahr 2018 ertragreichen Sorten Bliesgau, Calena und Camena sind die M-Sorten die einzigen, deren Erträge sich im Jahr 2019 steigerten.

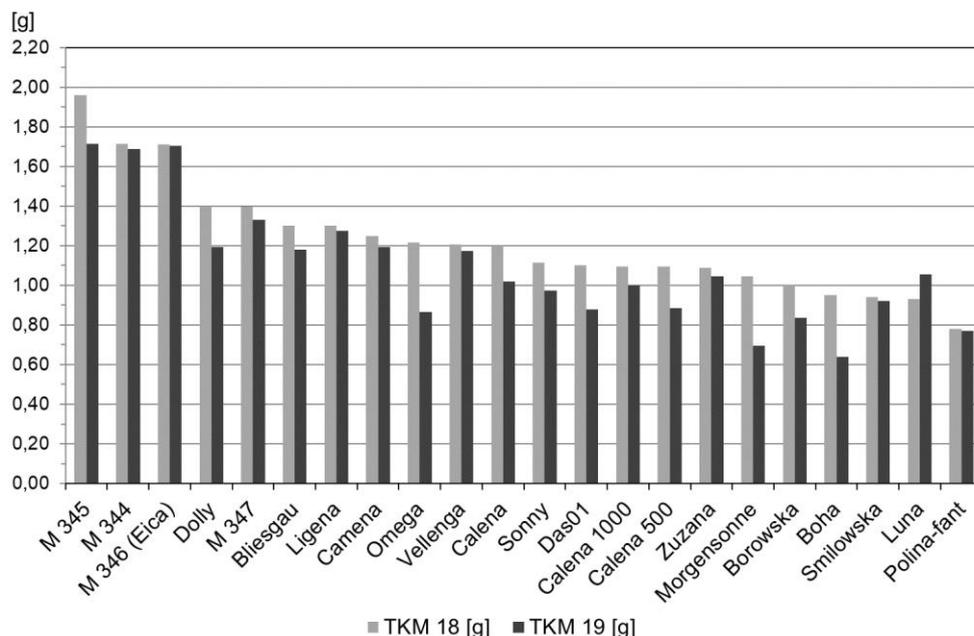


Abb. 21: Tausendkornmasse der Leindotter-Leistungsprüfung in den Jahren 2018 und 2019

Abbildung 21 zeigt die Tausendkornmasse (TKM) der Leindottersamen aus den Leistungsprüfungen in den Jahren 2018 und 2019. Diese ist im Jahr 2019 bei allen Sorten, bis auf die Sorte Luna, geringer geworden. Die Differenz der TKM von 2018 und 2019 einer Sorte reichte von 0,01 g bis 0,35 g bei den Sorten Omega und Morgensonne. Die M-Sorten waren, zusammen mit Dolly, Ligena und Camena die einzigen Sorten, die im Jahr 2019 eine TKM > 1,2 g erzielten. Im Jahr 2018 hatten zusätzlich die Sorten Bliesgau, Omega, Vellenga und Calena eine TKM > 1,20 g. Die TKM der Sorten Boha, Smilowska und Polina-fant erreichte in beiden Leistungsprüfungen nur Werte < 1,00 g.

4.3 Ergebnis der Kreuzungen

Die Entwicklung der bestäubten Fruchtknoten der gekreuzten Pflanzen wurde jeweils 5 Tage nach der Bestäubung überprüft. Bei einigen Pflanzen war eindeutig zu sehen, dass die Kreuzung nicht gelungen war. In diesen Fällen war der Fruchtknoten vertrocknet, deformiert oder im Absterben, so dass einige der Kreuzungen wiederholt wurden (z. B. Kreuzung Nr. 11 und Nr. 12). Bei vielen anderen Pflanzen hatte sich der Fruchtknoten visuell derart verändert, dass eine Weiterentwicklung zur Frucht denkbar war. Nach drei Wochen zeigte sich, dass einige der Triebe, an denen Blüten gekreuzt wurden, aufgrund des starken Pflanzenwachstums nicht mehr eindeutig zu identifizieren waren. Am Ende resultierte die Kreuzung von 148 Blüten in 2 gelungenen Kreuzungen, deren Identifizierung eindeutig war.

Tabelle 5 enthält die Einzelheiten der Kreuzungen. Die Bilder der Kreuzungen auf den Seiten 39 und 40 entstanden 5-7 Tage nach der Bestäubung und ca. 2 Wochen später.

Tab 5: Leindotterkreuzungen vom 28.05.2020 -03.06.2020

Nr.	Name Kreuzung	Parzelle Narbe	Narbe Sorte	Parzelle Anthere	Anthere Sorte	Bestäubte Blüten	Gelungene Kreuzungen
1	Das 01 x M 347	84	Das 01	83	M 347	5	0
2	M 347 x Eica	83	M 347	94	Eica	9	0
3	M 345 x Ligena	82	M 345	80	Ligena	9	0
4	M 344 x Dolly	81	M 344	79	Dolly	8	0
5	Ligena x Calena	80	Ligena	76	Calena	7	0
6	Dolly x Borowska	79	Dolly	75	Borowska	9	0
7	Calena x Boha	76	Calena	74	Boha	6	0
8	Borowska x Morgensonne	75	Borowska	85	Morgensonne	8	0
9	Boha x Luna	74	Boha	95	Luna	9	0
10	Luna x Eica	95	Luna	94	Eica	9	1
11	Calena x Boha	76	Calena	74	Boha	9	0
12	M 347 x Eica	83	M 347	94	Eica	9	0
13	Zuzana x Sonny	91	Zuzana	89	Sonny	9	1
14	Sonny x Smilowska	89	Sonny	88	Smilowska	9	0
15	Smilowska x Omega	88	Smilowska	86	Omega	8	0
16	Polina x Dolly	87	Polina	79	Dolly	8	0
17	Omega x Calena	86	Omega	76	Calena	8	0
18	Morgensonne x Ligena	85	Morgensonne	80	Ligena	9	0



Abb. 22: Kreuzung Nr. 3, M345 x Ligena nach 7 Tagen (oben links) und 24 Tagen (oben rechts); Kreuzung Nr.4, M344 x Dolly nach 7 Tagen (Mitte links) und 24 Tagen (Mitte rechts); Kreuzung Nr.6, Dolly x Borowska nach 5 Tagen (unten links) und 24 Tagen (unten rechte)



Abb. 23: Kreuzung Nr.9, Boha x Luna nach 5 Tagen (oben links) und 24 Tagen (oben rechts); Kreuzung Nr.10, Luna x Eica nach 5 Tagen (unten links) und 24 Tagen (unten rechts)

4.4 Beobachtung und Dokumentation der Insektenbesuche

Regelmäßige Feldbesuche zu unterschiedlichen Uhrzeiten ließ vor allem an heißen Tagen erkennen, dass sich die Hauptaktivität der Insekten, insbesondere die der Bienen, in die späten Nachmittagsstunden verlegte. Zur Hauptblütezeit konnten 8-10 Bienen gleichzeitig in einer Parzelle beobachtet werden. Neben unterschiedlichen Bienen wurden die verschiedensten Insektenarten im Leindotterfeld angetroffen. Eine genaue Identifizierung der Arten steht noch aus.



Abb. 24: Insektenbesucher der Leindotterkultur

4.5 Beobachtung und Dokumentation der Wachstumsstadien gemäß BBCH



Abb. 25: 27.04.2020, **BBCH 11-16** (von rechts nach links)



Abb. 26: 06.05.2020, **BBCH 11-22** (Bild links); 13.05.2020, **BBCH 26** (Bild rechts)



Abb.:27: Entwicklung der Blüte und Blühstadium: 27.05.20, **BBCH 50** (oben links); **BBCH 51** (oben rechts); **BBCH 55** (Mitte links), **BBCH 59** (Mitte rechts); 02.06.20, **BBCH 65** (unten links); 12.06.20, **BBCH 69** (unten rechts)



Abb. 28: Entwicklung der Frucht, **BBCH 71** (Bild links); Reife, **BBCH 89** (Bild rechts)

Tab.6: Ergebnisse der Bonituren in verschiedenen BBCH-Stadien (Mittelwerte)

Sorte	Parzellen	28.04.20 MS	26.05.20 Bed. %	13.06.20 BBCH	01.07.20 Anz. Reife Pfl. BBCH < 81
Bliesgau	34 / 67 / 73 / 11	3	35	72	2,5
Boha	48 / 52 / 74 / 6	7	20	71	4
Borowska	47 / 57 / 75 / 19	5,5	35	71	4,5
Calena 1000	28 / 68 / 14	3	40	72	5
Calena 250	44 / 61 / 21	7	20	71	4
Calena 500	46 / 53 / 76 / 1	6	25	71,5	5
Calena	38 / 69 / 77 / 7	4	40	72	4
Camena	25 / 51 / 78 / 5	5	30	72	5
Das01	36 / 70 / 84 / 8	7	25	71,5	3
Dolly	45 / 65 / 79 / 12	5	30	71	5
Ligena	41 / 72 / 80 / 15	4	30	72	3
Ligena 1000	31 / 60 / 9	3	45	72	2
Ligena 250	29 / 62 / 10	7	20	72	3
Luna nur Rand	95 / 96	4,5	25	71	6,5
M 344	43 / 49 / 81 / 4	5	35	75,5	6
M 345	30 / 71 / 82 / 3	4,5	35	74	3
M 346 (Eica)	27 / 54 / 94 / 13	5	35	74	5
M 347	37 / 64 / 83 / 20	4	40	75,5	7
Morgensonne	35 / 63 / 85 / 18	6	30	71	3
Omega	33 / 55 / 86 / 23	5	30	71	8
Polina-fant	42 / 50 / 87 / 16	5	30	73	4
Smilowska	40 / 66 / 88 / 2	6	30	71,5	6
Sonny	26 / 58 / 89 / 17	5	30	71,5	4
Vellenga	39 / 56 / 90 / 24	4	40	72	4
Zuzana	32 / 59 / 91 / 22	5	35	72	4

In Anlehnung an die Richtlinien für Getreide wurden in verschiedenen BBCH-Stadien des Leindotters Bonituren, wie Mängel im Stand (MS: 1 = kein Mangel, 9 = Totalausfall) und die Bestimmung des Bedeckungsgrades (Bed. %) durchgeführt. Am 01.07.2020, bei beginnender Reife, war der BBCH-Code 81 noch nicht erreicht. Daher wurde die Anzahl der reifen Pflanzen aufgenommen.

4.6 Ergebnis der Phänologischen Beobachtungen

4.6.1 Keimversuch

BBCH 01: Einleitung des Quellvorgangs, 21.07.2020, nach 1 h



Abb. 29: Eica, links; Morgensonne, Mitte; Borowska rechts

BBCH 05: Die Wurzel tritt aus dem Samenkorn; 22.07.2020, nach 18 h



Abb. 30: Eica, oben; Morgensonne, Mitte; Borowska, unten; nach 18 h

BBCH 07: Das Erscheinen des Hypocotyls mit den Keimblättern; 23.07.2020, nach 44 h



Abb. 31: Eica, oben, BBCH 05 (links im Bild) und BBCH 07 (rechts im Bild); Morgensonne Mitte, BBCH 07; Borowska, unten, BBCH 07, nach 44 h

Tab. 7: Ergebnis des Keimversuchs nach 48 Stunden

	Eica	Morgensonne	Borowska
BBCH 05 Keimblätter noch nicht sichtbar [%]	40	0	0
Keimblätter sichtbar, aber noch umhüllt [%]	60	40	50
BBCH 07 Keimblätter ausgetreten und entfaltet [%]	0	60	50

Tabelle 7 zeigt die Auswertung des Keimstadiums aller Samenkörner nach 48 Stunden. Die Sorte Eica keimte deutlich langsamer als die Sorten Morgensonne und Borowska. Weiterhin fiel auf, dass die Samenkörner von Eica deutlich größer als die der anderen Sorten sind. Die

Ursache hierfür könnte die höhere Tausendkornmasse von 1,7 g bei Eica, gegenüber 0,7 g bei Morgensonne und 0,84 g bei Borowska sein. Visuell variierte die Samenkorngröße von Morgensonne deutlich, während die Samenkorngröße von Eica und Borowska überwiegend homogen war.

4.6.2 Bestimmung der Wuchsform und Wuchshöhe der Leindotterpflanze

Allgemein kann gesagt werden, dass keine der in der Reinkultur angebauten Sorten in ausschließlich einer einzigen Form wuchs. Bei allen Sorten waren mindestens zwei der beschriebenen Wuchsformen zu beobachten. Aussagen in der Literatur, dass die Bildung von Seitentrieben jeder Pflanze sowohl von der Bestandsdichte als auch von den klimatischen Bedingungen abhängt, [27] werden durch die eigenen Beobachtungen bestätigt. Beispielsweise ist der Anteil der verzweigten Pflanzen am Rand der Parzelle besonders hoch, ebenso wie innerhalb der Parzellen, die einen von Beginn an lückigen Bestand aufwiesen.

Die folgende Auswertung bildet jeweils den gesamten Pflanzenbestand in einer Parzelle ab.

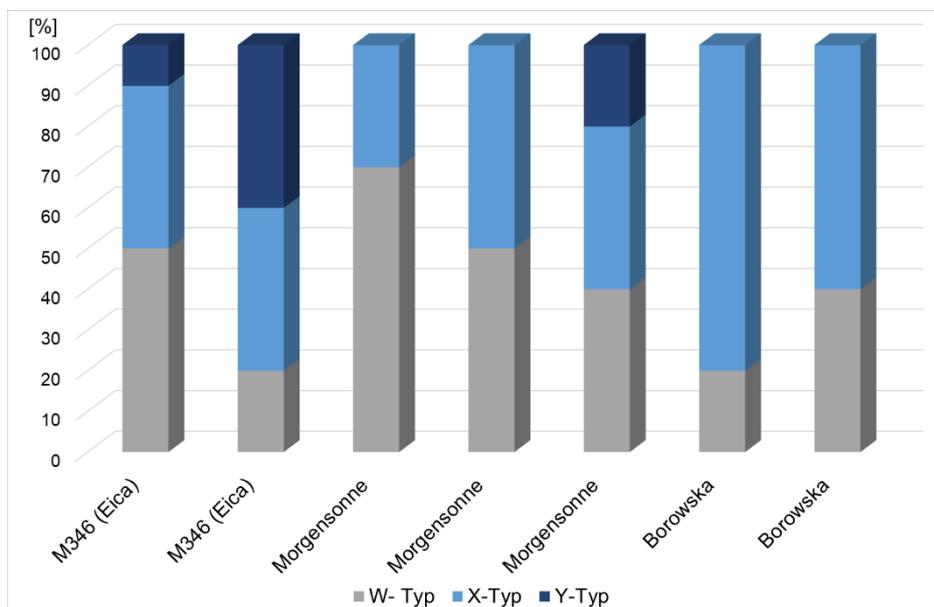


Abb. 32: Wuchsformen der Sorten Eica (Parzelle 13, 27), Morgensonne (Parzelle 18, 35, 85) und Borowska (Parzelle 19, 47)

Abbildung 32 stellt die Anteile der Wuchsform bei den Sorten Eica, Morgensonne und Borowska im jeweiligen Parzellenbestand dar. Die Sorten Eica und Borowska haben einen höheren Anteil an verzweigten Pflanzen (X-Typ) als die Sorte Morgensonne. Ein Anteil zwischen 10 % und 40 % der Pflanzen der Sorten Eica und Morgensonne bildet direkt an der Basis Seitentriebe.

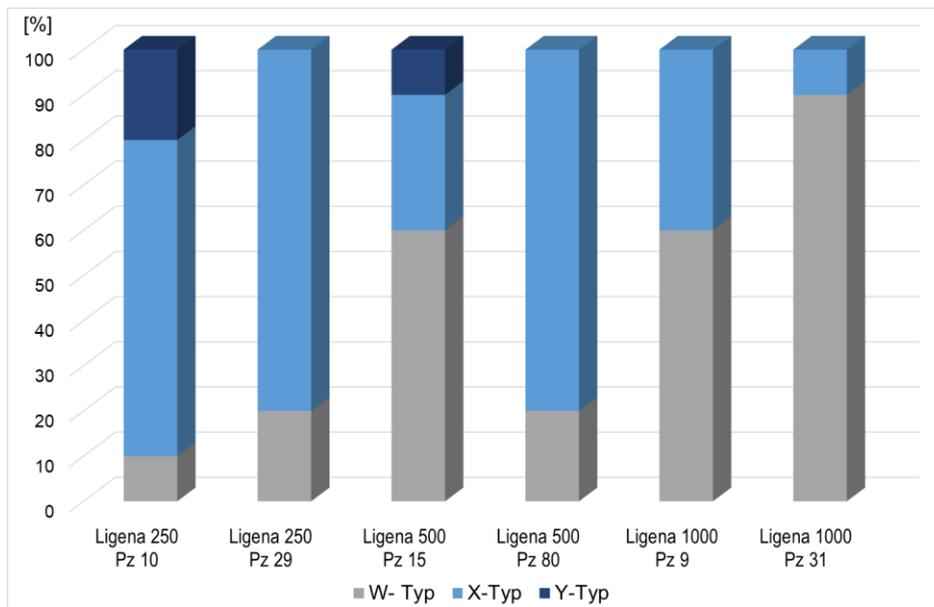


Abb. 33: Wuchsformen der Sorte Ligena / Parzelle (Pz) bei verschiedenen Aussaatstärken

Abbildung 33 zeigt deutlich die unterschiedliche Pflanzenentwicklung in Abhängigkeit von der Aussaatstärke am Beispiel von Ligena. Bei geringer Bestandsdichte verzweigten die Pflanzen deutlich stärker (Ligena 250) als bei einem dichten Bestand. In Parzelle 31 mit Ligena 1000, der einzigen Parzelle mit einem durchgehend dichten Bestand, zeigten die Pflanzen eine Wuchsform im Verhältnis von 90 % W-Typ zu 10 % X-Typ.

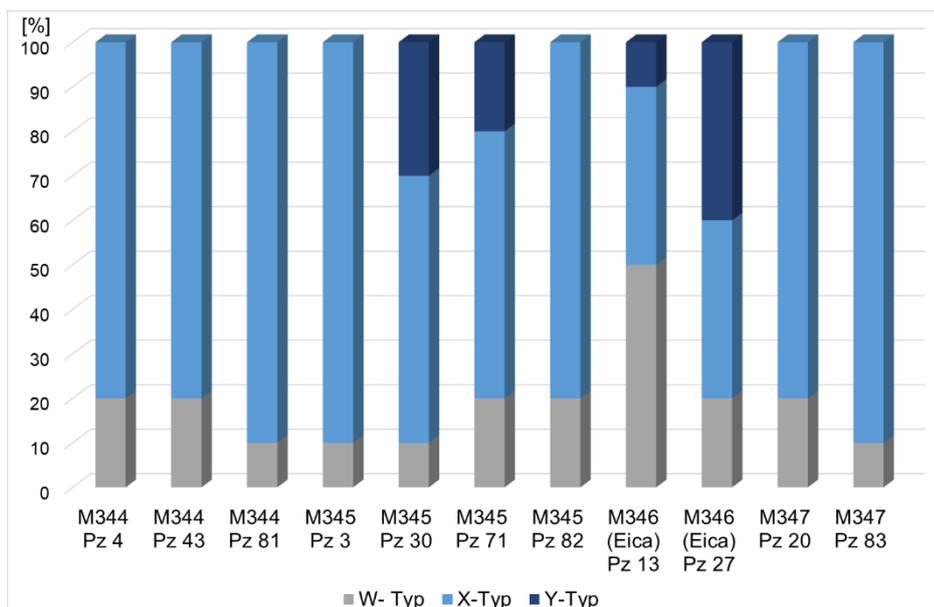


Abb. 34: Wuchsformen der M-Sorten (LLH) / Parzelle (Pz)

Abbildung 34 stellt die Wuchsform aller Pflanzen in den Parzellen mit M-Sorten dar. Alle Parzellen hatten eine Aussaatstärke von 500 Korn/m². Es ist deutlich zu sehen, dass sich die Pflanzen dieser Sorten unter den gegebenen Bedingungen und unabhängig von der Bestandsdichte, weitestgehend als X-Typ verzweigten. Die Sorten M345 und M346 haben

zusätzlich die Eigenschaft, direkt an der Basis, oberhalb der Wurzel, Seitentriebe zu bilden, die dann annähernd so lang wie der Haupttrieb werden (Y-Typ). Es wurde beobachtet, dass bei den M-Sorten der Haupttrieb später nicht, oder nur wenig dicker als die Seitentriebe und somit nicht mehr, oder nur schwierig zu unterscheiden ist. Die Pflanzen der M-Sorten sind durch den dünnen Haupttrieb sehr instabil und gehen leicht in Lager.

Am 26.05.2020 wurde im BBCH-Stadium 51-55, kurz vor Beginn der Blüte, die mittlere Wuchshöhe in mindestens einer Parzelle pro Sorte gemessen. Diese Messung wurde an den ausgewachsenen Pflanzen am 22.06.2020 wiederholt. Aus beiden Messungen resultiert, gemäß BBCH, die prozentuale Wuchshöhe, gemessen an der maximalen erreichten Wuchshöhe.

Tabelle 8 enthält alle Daten dieser Messungen, Abbildung. 35 zeigt die bereits beschriebenen Wuchsformen am Beispiel der Sorten Eica, Morgensonne und Borowska.

Tab. 8: Bestimmung des Anteils der Wuchsform pro Parzelle und Daten der Wuchshöhe, gemäß BBCH, *Wuchsform: *W-Typ*: Der obere Teil ist stark verzweigt, oft mit sekundären Seitentrieben; *X-Typ*: Der Haupttrieb ist von oben bis unten verzweigt; *Y-Typ*: Einem Bestockungstrieb ähnelnd, bilden sich alle Seitentriebe unten an der Basis

No.	Sorte	Pz	Anteil der Wuchsform/Pz [%] *			Mittlere Pflanzhöhe		BBCH
			W-Type	X-Type	Y-Type	22.6.20 [mm]	26.05.20 [mm]	26.05.20 [%]
14	Bliesgau	11	50	50		580	220	38
58	Bliesgau	73	80	20		700		
45	Bliesgau	34	60	40		700	300	43
51	Boha	48	30	70		680		
52	Boha	52	90	10		550		
26	Borowska	19	20	80		600	240	40
50	Borowska	47	40	60		680		
19	Calena 1000	14	90	10		660	300	45
37	Calena 1000	28	60	40		680	280	41
54	Calena 1000	68	90	10		700		
28	Calena 250	21	70	30		530	240	45
2	Calena 500	1	20	80		450	200	44
10	Calena?	7	50	50		600	300	50
55	Calena?	69	90	10		700		
6	Camena?	5	20	80		580	280	48
34	Camena?	25	20	80		670	280	42
15	Dolly	12	20	70	10	600	260	43
48	Dolly	79	50	50		720	380	53
20	Ligena 500	15	60	30	10	650	300	46
33	Ligena 500	80	20	80		640	270	42
12	Ligena 1000	9	60	40		650	240	37
42	Ligena 1000	31	90	10		720	290	40
13	Ligena 250	10	10	70	20	550	220	40
38	Ligena 250	29	20	80		550	220	40
59	Luna	95	50	50		620		
5	M344	4	20	80		540	300	56
49	M344	43	20	80		630		
32	M344	81	10	90		580	320	55
4	M345	3	10	90		600	300	50
39	M345	30	10	60	30	620	300	48
57	M345	71	20	60	20	660		
17	M345	82	20	80		700	350	50
18	M346 (Eica)	13	50	40	10	680	330	49
36	M346 (Eica)	27	20	40	40	660	300	45
27	M347	20	20	80		550	300	55
16	M347	83	10	90		560	330	59
11	Das01	8	50	50		500	240	48
47	Das01	36	50	50		600	270	45
56	Das01	70	80	20		680		
1	Das01	84	50	40	10	450	200	44
23	Morgensonne	18	70	30		560	220	39
46	Morgensonne	35	50	50		670	300	45
8	Morgensonne	85	40	40	20	550	280	51
30	Omega	23	60	40		630	250	40
44	Omega	33	60	40		650	280	43
9	Omega	86	60	30	10	580	250	43
21	Polina Fant	16	60	40		600	280	47
24	Polina Fant	87	90	10		550	230	42
3	Smilowska	2	40	10	50	530	220	42
53	Smilowska	66	80	20		660		
25	Smilowska	88	20	80		600	240	40
22	Sonny	17	85	15		620	260	42
35	Sonny	26	60	40		660	230	35
40	Sonny	89	90	10		650	230	35
31	Vellenga	24	60	40		640	280	44
41	Vellenga?	90	90	10		670	260	39
29	Zuzana	22	70	30		580	230	40
43	Zuzana	32	70	30		650	340	52



Abb. 35: Wuchsformen von **Eica**, oben; **Morgensonne**, Mitte; **Borowska**, unten;
W-Typ links, X-Typ, Mitte, Y- Typ, rechts

Abbildung 36 veranschaulicht den Y-Wuchstyp, der bei einigen Sorten wiederkehrend auftrat. Im Bild erkennbar ist die Wurzel und der Übergang in den Haupttrieb bei den Pflanzen der Sorten Eica, Morgensonne und Borowska. Bei der Sorte Eica und Morgensonne (Bild links und Bildmitte) sind die Seitentriebe an der Basis des Haupttriebs erkennbar. Bei der Sorte Borowska (Bild rechts) trat diese Form der Seitentriebbildung nicht in Erscheinung.

Auffallend ist die deutlich längere Wurzel der Sorte Borowska gegenüber der Sorte Morgensonne. Die Wurzel der Sorte Eica ist nicht vollständig erhalten.



Abb. 36: Wurzel, Haupt- und Seitentriebe an der Basis: Eica (Bild links), Morgensonne (Bildmitte), Borowska (Haupttrieb ohne Seitentriebe, Bild rechts)

Beobachtung der Blätter des Haupttriebs

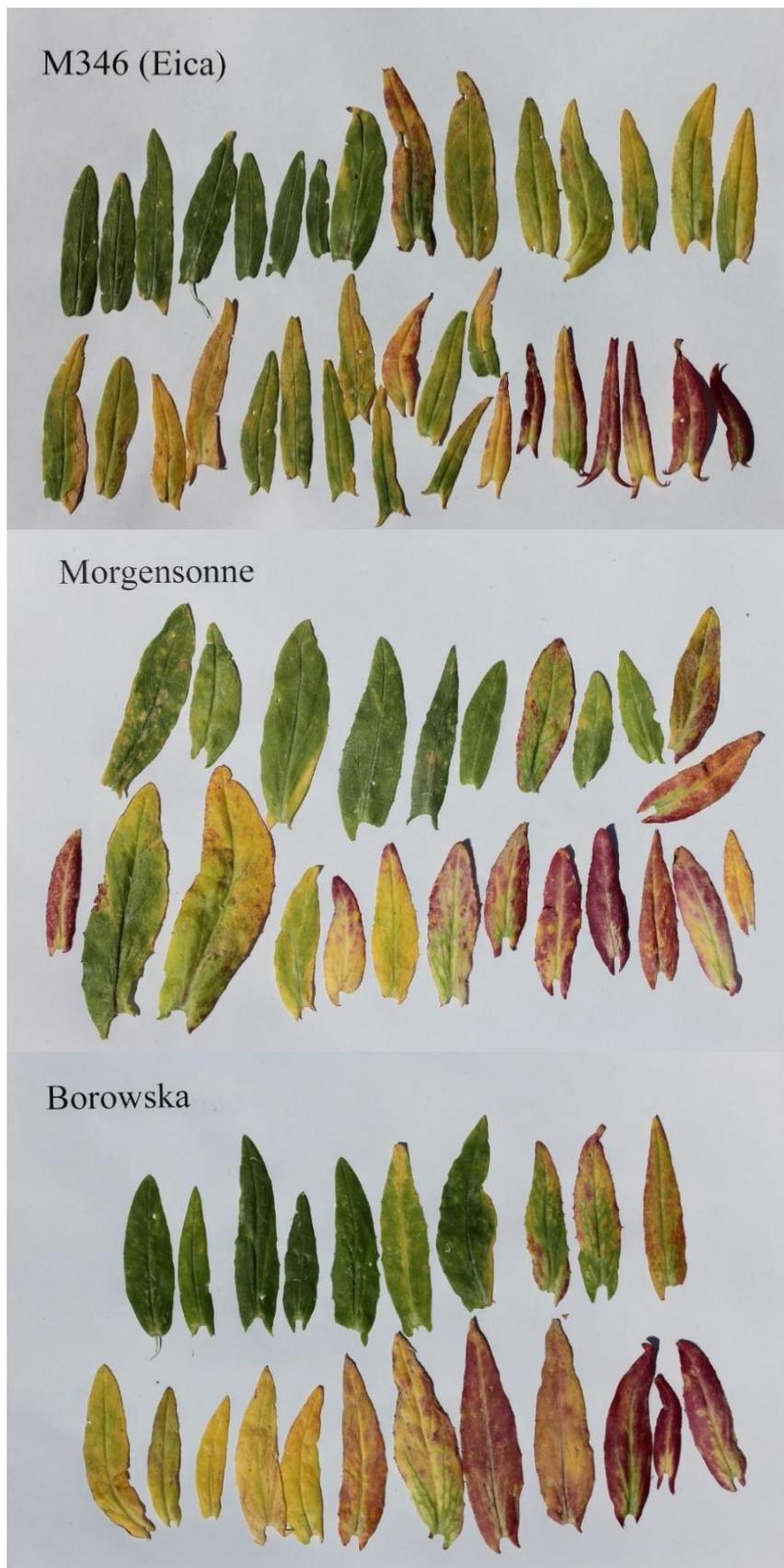


Abb. 37: Blätter des Haupttriebs der Sorten Eica, Morgensonne und Borowska

Bei der Sorte Eica lassen sich zwei verschiedene Blattformen beobachten: Eindeutig ist die pfriemliche (subulate) Blattform, die nur im oberen Teil der Pflanze zu finden ist. Die Blätter im mittleren und unteren Teil der Pflanze sind weder pfriemlich noch eindeutig lanzettlich (lanzeolat), da sich die Blattspreite von der Mitte bis zum Stängel oft nicht, oder nur kaum bogig verjüngt. Pfriemliche Blätter wachsen stängelumfassend, die schmal-lanzettlichen Blätter nicht immer. Der Blattrand ist fein behaart, Stacheln treten wenig und nicht sehr akzentuiert auf.

Die Blätter der Sorte Morgensonne sind deutlich größer als die von Eica. Die Blattform ist lanzettlich oder breit-lanzettlich, Letzteres besonders bei den großen Blättern im unteren Teil der Pflanze. Im oberen Teil der Pflanze haben die Blätter die pfriemliche Form. Beide Blattformen wachsen stängelumfassend, nur wenige Blätter nicht. Der Blattrand ist gestachelt, wobei die Stacheln stark hervortreten. Die Größe und Anzahl der Stacheln variierten jedoch von Blatt zu Blatt.

Die Blätter der Sorte Borowska sind schmal-eilanzettlich, da sich die breiteste Stelle der Blattspreite meistens eher in Richtung des Stängels anstatt in der Blattmitte befindet. Diese Blattform wird eilanzettlich genannt. Die Blattränder sind gestachelt. Die Stacheln sind noch ausgeprägter und größer als die Stacheln der Sorte Morgensonne, variieren aber in der Stärke und Anzahl von Blatt zu Blatt. Bis auf Ausnahmen wachsen die Blätter stängelumfassend.

Bei allen Sorten haben Blätter der Seitentriebe die pfriemliche (subulate) Form.

5 Diskussion

Mit der Durchführung von Kreuzungen der Leindottersorten in der Leistungsprüfung sollte das Leindotter Zuchtprogramm der FZD im Jahr 2020 beginnen. Insgesamt wurden an 16 Leindottersorten Kreuzungen durchgeführt. Die praktische Tätigkeit wurde von zwei Personen durchgeführt, von denen die erste viel, die zweite keine praktische Kreuzungserfahrung hatte. Das Resultat der Kreuzungen war enttäuschend: Nur 2 der 148 Fruchtknoten entwickelten sich zum Schötchen und trugen Samen. Als Ursache für dieses Ergebnis wird daher ein systematischer Fehler vermutet.

Während andere Forscher die Züchtungsarbeiten am Leindotter unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus durchführen, wurden die Kreuzungen am Dottenfelder Hof im Freiland, im Pfaffenwald 2 durchgeführt. Die Freilandkreuzung bringt bei hohen Außentemperaturen und direktem Sonnenlicht eine Schwierigkeit mit sich: Das Kastrieren der kleinen Blüten, ohne Teile des Fruchtknotens zu verletzen, nimmt gewisse Zeit in Anspruch. Dauert der Vorgang der Kastration und das Präparieren der Blüte zum Bestäuben zu lang, trocknen die Blüten- und Kelchblätter aus und können anschließend nicht dem Schutz des Fruchtknotens vor dem Austrocknen dienen. Eine Verkürzung des Prozesses lässt sich in gewissem Maße durch Übung, mit feinerem Werkzeug und einer optimierten Lupe erzielen. Ob dies ausreichend ist, wird sich zeigen müssen.

Trotz zur Verfügung stehender Anleitung herrschte Unklarheit darüber, in welchem Blühstadium die Bestäuber-Blüte zur Verwendung der Antheren sein musste. Umso problematischer war es, dass der Pollen, trotz des Gebrauchs einer Stirnlupe nicht zu erkennen war und die Bestäubung der Narbe visuell nicht kontrolliert werden konnte. Bevor neue Kreuzungen gemacht werden, soll ein Test für Gewissheit bei der Blütenwahl sorgen.

Die Wuchsform und die Wuchshöhe des Leindotters in den Parzellen der Leindotter-Reinkultur zeigte bei fast allen Sorten eine deutliche Abhängigkeit von äußeren Bedingungen, wie der Bodenbeschaffenheit und Aussaatstärke. Während T. Martinelli und I. Gallasso [27] diese Vielfältigkeit des Leindotters in Bezug auf Größe und Wuchs bestätigen und der Pflanze „ein hohes Maß an morphologischer Plastizität“ attestieren, finden Hotton *et al.* [3] in ihren Untersuchungen, dass jede Sorte in nur einer typischen Wuchsform wächst. Zum Ausschluss von Umweltfaktoren und für die Auswertung genetischer Einflüsse wurden ihre phänotypischen Untersuchungen unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt.

Die Auswertung der Wuchsform der Leindotter-Reinkultur, kann so interpretiert werden, dass es sowohl Beispiele für die Variation der Wuchsform aufgrund äußerer Bedingungen als auch ein Beispiel für den genetischen Einfluß gibt. Abbildung 33 zeigt deutlich die unterschiedliche Wuchsform in Abhängigkeit von der Aussaatstärke am Beispiel von Ligena. Bei einer Aussaatstärke von 1000 Korn/m² und dichtem Bestand zeigten die Pflanzen eine Wuchsform im Verhältnis von 90 % W-Typ zu 10 % X-Typ, während die Pflanzen bei einer geringen Aussaatstärke von 250 Korn/m² den X-Typ der Wuchsform bevorzugen. Die Abweichungen innerhalb der Parzellen einer Aussaatstärke sind vermutlich Ausdruck weiterer äußerer Faktoren.

Abbildung 34 zeigt die Wuchsform der Pflanzen in 11 Parzellen der M-Sorten. Bis auf eine Parzelle verzweigen 80-90 % aller Pflanzen als X-Typ. Diese Regelmäßigkeit könnte ein Hinweis darauf sein, dass der genetische Einfluß der M-Sorten stärker ist als der Einfluss der Umweltbedingungen. Betrachtet man dazu die Werte der Wuchshöhe in Tabelle 7, so fällt auf, dass alle M-Sorten am 26.05.2020 zwischen 45 % und 59 % ihrer finalen Größe erreicht haben. Im Vergleich zu anderen Sorten könnte dieses bedeuten, dass die M-Sorten keine Nachteile durch die lange Trockenperiode nach der Aussaat und auch der Trockenperiode im Mai hatten.

Besonders die Sorte M47 zählt im Mai mit 55 % und 59 % ihrer finalen Wuchshöhe zu den größeren Pflanzen, während sie am Ende der Vegetation im Vergleich eher niedrig ist. Dies lässt vermuten, dass sie eine frühe Sorte ist. Entgegengesetzt verhält sich die Sorte Dolly in zwei Parzellen. Am 26.05.2020 haben die Pflanzen eine im Vergleich geringe Wuchshöhe von nur 230 mm, was 35 % der maximalen Höhe am Vegetationsende entspricht. Letztere ist jedoch eine im Vergleich große Wuchshöhe. Dies lässt vermuten, dass sich die Sorte Dolly später oder langsamer entwickelt als andere Sorten oder dass die Sorte im Anfangsstadium des Wachstums auf mehr Feuchtigkeit angewiesen ist.

In der Leistungsprüfung auffallend sind die unterschiedlichen Erträge der M-Sorten, die im Jahr 2018 Erträge zwischen 8,3 und 9,3 dt/ha hatten und im Jahr 2019 mit Erträgen von 9,5 bis 10,9 dt/ha zu den ertragreichsten zählten. Neben den bereits im Jahr 2018 ertragreichen Sorten Bliesgau, Calena und Camena sind die M-Sorten die einzigen, deren Erträge sich im sehr trockenen Jahr 2019 steigerten.

Auch im Ökolandbau gibt es ackerbauliche Empfehlungen für die Bodenvorbereitung der ansonsten anspruchslosen Leindotterkultur [19]. Um einen gleichmäßigen Aufgang und Bestand zu erhalten, sollte das Saatbett flach und feinkrümelig sein. Das Saatbett der Leindotter-Reinkultur hingegen war durch die ausschließliche Bearbeitung mit der Hacke vor der Aussaat uneben und grob. Dadurch ergaben sich Unterschiede im Aufgang von mehreren Wochen. Pflanzen, die zu einem späteren Zeitpunkt gekeimt haben, wuchsen weitaus schwächer, weniger hoch und mit weniger Verzweigungen. Es ist zu vermuten, dass nur in einem gleichmäßigen Pflanzenbestand gesicherte Erkenntnisse über die Phänotypen der verwendeten Leindottersorten gewonnen werden können.

6 Fazit

Als aktives Mitglied der Leindotter-Initiative übernimmt die Forschung und Züchtung des Dottenfelder Hofes (FZD) die wissenschaftlichen Untersuchungen sowie die Züchtung neuer Sorten des Leindotters. Mittlerweile 20 verschiedene Leindotter-Sorten werden jährlich von der FZD in randomisierten Leistungsprüfungen in drei Wiederholungen und zusätzlich für den Nachbau und weiterführende Untersuchungen in Reinkultur angelegt. Im Jahr 2020 sollte mit der Durchführung der Kreuzungen von verschiedenen Sorten das Zuchtprogramm des Dottenfelder Hofes beginnen. Die an 16 Sorten durchgeführten Kreuzungen waren bis auf wenige Ausnahmen erfolglos und sollen im Jahr 2021 wiederholt werden.

Ein weiterer Fokus lag auf phänologischen Vergleichen der Leindotterpflanzen hinsichtlich der Wuchsform, der Wuchshöhe und der Blattformen. Die Wuchsform wurde gemäß einer Einteilung in vier Wuchstypen bestimmt, dem W-Typ, dem X-Typ, dem Y-Typ und dem nicht vorgekommenen Z-Typ. Es wurde eine große Variation der Wuchsform, sowohl im Vergleich der Sorten als auch innerhalb der Sorten festgestellt. Für die Darstellung der phänologischen Eigenschaften wurden die drei Sorten Eica, Morgensonne und Borowska ausgewählt. Es wird vermutet, dass für einen gesicherten Sortenvergleich, ein gleichmäßiger Pflanzenbestand in den Versuchspartellen Voraussetzung ist.

Von großem Interesse war darüber hinaus die Beobachtung der Insektenbesucher. Die Leindotter-Reinkultur war ein Magnet für verschiedene Bienen, Hummeln, Schmetterlinge, Käfer, Wanzen, Spinnen und mehr.

Das Ergebnis der Leistungsprüfung 2020 liegt zurzeit noch nicht vor und wird gegen Ende des Jahres 2020 erwartet.

7 Danksagung

Im Rahmen des Jahreskurses 2019-2020 wurde dieses Projekt von Dr. Ben Schmehe, Forschung und Züchtung Dottenfelder Hof, initiiert und betreut.

Ich möchte mich an dieser Stelle bei Ben für das Wissen, was er mir im Rahmen des Projekts vermittelt hat und für die Unterstützung bei der Projektarbeit bedanken.

8 Literaturverzeichnis

1. <https://mediathek.fnr.de/broschuren/nachwachsende-rohstoffe/pflanzen/pflanzen-fur-industrie-und-energie.html> Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)
2. <https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten.html> Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Juli 2020
3. Hotton, S.K.; Kammerzell, M.; Chan, R.; Hernandez, B.T.; Young, H.A.; Tobias, C.; Mc Keon, T.; Brichta, J.; Thomson, N.J.; Thomson, J.G. Phenotypic Examination of *Camelina sativa* (L.) Crantz Accessions from the USDA-ARS National Genetics Resource Program Article, 2020
4. <https://www.leindotter-initiative.de/die-initiative/die-idee-1/>
5. <https://www.leindotter-initiative.de/aktuelles-terminen/> PRESSEMITTEILUNG www.bioplanete.com Ölmühle Moog unterstützt Leindotterzüchtung
6. <https://de.wikipedia.org/wiki/Kreuzblütler>
7. Brassicaceae – Kreuzblütler (Brassicales) © Dr. VEIT M. DÖRKEN, Universität Konstanz, FB Biologie https://www.biologie.uni-konstanz.de/typo3temp/secure_downloads/88622/0/d923e9937980394e863bc14e1d737207437aa9b5/Brassicaceae.pdf
8. Abb.1:https://www.gida.de/testcenter/biologie/bio-dvd036/aufgabe_01.htm
9. Abb.2: Schötchen und Schote der Brassicaceae, Rev. Thomas Davidson 1856-1923 (ed.) - Chambers's Twentieth Century Dictionary of the English Language, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=18144530>
10. Abb.3: Christian Fischer, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1159072>
11. <https://www.plantopedia.de/pflanzenfamilien/kreuzbluetler/>
12. <https://bliesgauoele.de/produkte/leindotter-1/camelina-sativa-das-grune-gold-der-bronze-und-eisenzeit/> von Françoise Toulemonde Originaltitel: »Camelina sativa: l'or végétal du Bronze et du Fer«, erschienen in der Zeitschrift »Anthropobotanica 2010 1.1«, Herausgegeben vom »Muséum national d'Histoire naturelle«, Paris
13. Z. Mirek (1981), in <https://bliesgauoele.de/produkte/leindotter-1/camelina-sativa-das-grune-gold-der-bronze-und-eisenzeit/>
14. <https://de.wikipedia.org/wiki/Bronzezeit>
15. <https://de.wikipedia.org/wiki/Hallstattzeit>
16. <https://bliesgauoele.de/produkte/leindotter-1/leindotter-anbauinformationen/> Übersetzung des französischen Originals: "La camelline – *Camelina sativa* (L.) Crantz: une opportunité pour l'agriculture et l'industrie européennes" erschienen in der Zeitschrift OCL Nr.6 Januar/Februar 1999.
17. https://de.wikipedia.org/wiki/Blattform#Gliederung_nach_Gestalt_der_Spreite
18. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:203_Camelina_sativa.jpg
19. <https://www.leindotter-initiative.de/f%C3%BCr-landwirte/anbauinformationen/>
20. Schmehe Ben, Dr., Alleskönner Leindotter, LebendigeErde.de; 04.2019

21. Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwuchsende Rohstoffe, TFZ-Merkblatt: 18PHe006 Stand: November 2018, Leindotter – Ausführliche Anbaubeschreibung
22. <https://www.leindotter-initiative.de/leindotter/leindotter-%C3%B6/>
23. <https://www.budwig-stiftung.de/service/omega-3omega-6.html>
24. VERORDNUNG (EU) 2019/1870 DER KOMMISSION vom 7. November 2019 zur Änderung und Berichtigung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 in Bezug auf die Höchstgehalte an Erucasäure und Blausäure in bestimmten Lebensmitteln <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R1870&from=EN>
25. Matthäus B.; Leindotteröl – ein altes Pflanzenöl mit neuer Zukunft? Institut für Lipidforschung, Bundesanstalt für Getreide-, Kartoffel- und Fettforschung, Münster
26. www.tfz.bayern.de/tfz_kompakt_6_leindotter_neu
27. Martinelli T.; Galasso I.; (2011) Phenological growth stages of *Camelina sativa* according to the extended BBCH scale, Article in Annals of Applied Biology 158(1):87-94
28. <https://bliesgauoele.de/produkte/leindotter-1/leindotterol-auf-der-erde-bioworld/>
29. <https://www.hotellerie-gastronomie.ch/>
30. <https://de.wikipedia.org/wiki/Leindotter-%C3%B6/>
31. <https://www.klimaschutz-portal.aero/klimaneutral-fliegen/alternative-kraftstoffe/kerosin-aus-biomasse/?j=c6f2f6>
32. <https://aireg.de/flugzeuge-der-lufthansa-gruppe-fliegen-ab-oslo-mit-biokerosin/>
33. <https://www.neste.de/releases-and-news/transportation/neste-und-air-bp-stehen-bereit-schweden-mit-biokerosin-zu-beliefern>
34. <https://www.daw.de/presse-aktuelles/unternehmensmeldungen/einzelansicht/newsarticle/spannende-mischung-nachhaltige-effekte.html>
35. Einheitliche Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen. -Erweiterte BBCH-Skala, Allgemein - Von H. Hack, H. Bleiholder, L. Buhr, U. Meier, U. Schnock-Fricke, E. Weber und A. Witzemberger, 1992
36. https://www.researchgate.net/figure/Phenological-growth-stages-of-Camelina-sativa-according-to-the-extended-BBCH-scale_fig1_232084703