

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Schlussbericht zum Thema

“ Selektion geeigneter Sortentypen von Linsen (*Lens culinaris*) für nachhaltige Anbausysteme“

FKZ: 2815EPS050

Projektnehmer: Universität Hohenheim

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft auf Grund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen der BMEL Eiweißpflanzenstrategie.

Projektkoordinator

Universität Hohenheim (ZÖLUH)

Fakultät Agrarwissenschaften

Zentrum Ökologischer Landbau (309)

Fruwirthstr. 14-16, 70599 Stuttgart

Dr. Sabine Zikeli, sabine.zikeli@uni-hohenheim.de

Dr. Annegret Pflugfelder, a.pflugfelder@uni-hohenheim.de

Projektpartner

Keyserlingk-Institut (KEY)

Rimpertsweiler 3, 88682 Salem

Dipl.-Ing. agr. Udo Hennenkämper, uhennenkaemper@saatgut-forschung.de

Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK)

Abteilung Genbank

OT Gatersleben, Corrensstr. 3, 06466 Seeland

Dr. Ulrike Lohwasser, lohwasse@ipk-gatersleben.de

Universität Kassel (WIZ)

Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften

Fachgebiet Ökologische Pflanzenzüchtung und Agrarbiodiversität

Nordbahnhofstr. 1a, 37213 Witzenhausen

Dr. Bernd Horneburg, Bernd.Horneburg@uni-kassel.de

Universität Hohenheim

Fakultät Agrarwissenschaften

Fachgebiet Allgemeiner Pflanzenbau (UHO1)

Fruwirthstr. 23

Prof. Dr. Sabine Gruber[†]

Fachgebiet Qualität pflanzlicher Erzeugnisse (UHO2)

Emil-Wolff-Str. 25, 70593 Stuttgart

Prof. Dr. Christian Zörb

Kurzfassung (deutsch)

Übergeordnetes Ziel des Projektes „Selektion geeigneter Sortentypen von Linsen (*Lens culinaris*) für nachhaltige Anbausysteme“ (LinSel) war es, Landwirten an mitteleuropäische Verhältnisse gut angepasste Linsengenotypen (*Lens culinaris* Medik.) zur Verfügung zu stellen und damit Ertrag, Ertragssicherheit und Qualität zu steigern und den Anbau der Leguminose Linse auszudehnen, da im Zuge des Klimawandels und veränderter Ernährungsgewohnheiten die Integration von neuen Leguminosenarten in die Fruchtfolgen weiter an Bedeutung gewinnt. Aus den 106 zu Beginn des Projektes eingesetzten Akzessionen konnten bis zum Projektende neun für den Anbau in Deutschland geeignete Genotypen selektiert werden. Die Selektionskriterien Ertrag, Standfestigkeit und Platzfestigkeit werden auch von der landwirtschaftlichen Praxis als ausschlaggebend für eine den hiesigen Anbaubedingungen angepasste Linsensorte angesehen, entsprechend flossen hauptsächlich diese Kriterien in die Auswahl der Genotypen für den Praxisanbau ein. Es zeigte sich beim Screening der Genotypen, dass die Sorten Späths Alblinse I und Späths Alblinse II, die sich aktuell im Anbau auf der Schwäbischen Alb befinden, deutlich geringere Erträge, eine geringere Standfestigkeit und eine geringere Platzfestigkeit aufwiesen als die von uns selektierten Genotypen. Vor allem die Genotypen „LENS 322“, die „Gestreifte Linse“, die „Dunkelgrün marmorierte Alblinse“ und die „Marmorierte Linse“ wiesen besonders gute Eigenschaften hinsichtlich Ertrag, Standfestigkeit und Platzfestigkeit auf. Zum Projektende stehen neun Linsengenotypen zur Verfügung, die von Landwirten zur Hochvermehrung auf den Betrieben genutzt werden können.

Kurzfassung (englisch)

The overall objective of the project "Identification of lentil genotypes for sustainable cropping systems in temperate climate" (LinSel) was to provide farmers with lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes well adapted to Central European conditions to increase yield, yield stability and quality. Moreover, the cultivation of the legume lentil should be expanded, as the integration of new legume species into crop rotations is becoming more and more important in the context of climate change and changing nutritional habits. From the 106 accessions tested at the beginning of the project, nine genotypes suitable for cultivation in Germany were selected by the end of the project.

The selection criteria of yield, stability and pod shattering are also considered by farmers to be decisive for a lentil variety adapted to local cultivation conditions, and these criteria were included accordingly in the selection of genotypes for lentil production. The screening of the genotypes showed that the varieties "Späths Albinse I" and "Späths Albinse II", which are currently grown at the Swabian Alb, had significantly lower yields, lower yield stability and higher pod shattering than the genotypes selected in LinS. Especially the genotypes "LENS 322", "Gestreifte Linse", the "Dunkelgrün marmorierte Albinse" and "Marmorierte Linse" demonstrated excellent characteristics in terms of yield, stability and pod shattering. At the end of the project, nine lentil genotypes are available for farmers to use for large-scale propagation on farms.

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis.....	i
Abbildungsverzeichnis.....	ii
Tabellenverzeichnis.....	vi
1. Einführung.....	1
1.1 Gegenstand des Vorhabens	1
1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projektes, Bezug des Vorhabens zu den einschlägigen Zielen der EPS oder zu konkreten Bekanntmachungen und Ausschreibungen (www.ble.de/eiweisspflanzenstrategie).....	3
1.3 Planung und Ablauf des Projektes	4
2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	7
3. Arbeitspaket 1A: Screening in Sortimenten von Genbanken, bei verfügbaren Sorten und von Linien (verantwortlich: IPK, KEY)	11
3.1 Material und Methoden	11
3.2 Ergebnisse	13
3.3 Diskussion.....	19
4. Arbeitspaket 1B: Sortenscreening und Sortenprüfungen in Feldversuchen (verantwortlich: KEY).....	20
4.1 Material und Methoden	20
4.1.1 Versuchsjahr 2019.....	20
4.1.2 Versuchsjahr 2020.....	22
4.1.3 Versuchsjahr 2021.....	25
4.2 Ergebnisse	28
4.3 Diskussion.....	31
5. Arbeitspaket 2: Standortanpassung und Evolutionäre Züchtung von Linsen (verantwortlich WIZ)	33
5.1 Material und Methoden	33

5.2	Ergebnisse	35
5.3	Diskussion.....	50
6.	Arbeitspaket 3: Prüfung geeigneter Akzessionen in standardisierten modellhaften Anbausystemen (verantwortlich: UHO1).....	52
6.1	Material und Methoden	52
6.1.1	Rankgitterversuch.....	52
6.1.2	Parzellenversuch	54
6.1.3	Evaluierung und Einordnung des Rankgitterversuchs durch den Parzellenversuch	56
6.2	Ergebnisse	57
6.2.1	Rankgitterversuch.....	57
6.2.2	Parzellenversuch	60
6.2.3	Evaluierung und Einordnung des Rankgitterversuchs durch den Parzellenversuch	62
6.3	Diskussion.....	62
6.3.1	Evaluierung und Einordnung des Rankgitterversuchs durch den Parzellenversuch	62
6.3.2	Rankgitterversuch.....	63
6.3.3	Kleinparzellenversuch	64
7.	Arbeitspaket 4: Leistungsprüfung im Praxisanbau (verantwortlich: KEY)	66
8.	Arbeitspaket 5: Analytik (verantwortlich: UHO2).....	74
8.1	Material und Methoden	74
8.2	Ergebnisse	75
8.3	Diskussion.....	81
9.	Arbeitspaket 6: Koordination der Workshops, Vernetzung mit der Praxis, Öffentlichkeitsarbeit, Demonstration (verantwortlich: ZÖLUH)	83
10.	Übergreifende Diskussion der Ergebnisse.....	84
11.	Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	87

12.	Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; Hinweise auf weiterführende Fragestellungen	89
12.1	Übergeordnete Arbeitsziele	89
12.2	Ziele der Arbeitspakete	90
12.3	Hinweise auf weiterführende Fragestellungen	91
13.	Zusammenfassung	93
14.	Literaturverzeichnis	97
15.	Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt (Printmedien, Newsletter usw.), bisherige und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse	101
16.	Im Projekt entstandene Publikationen	103
17.	Anhang	I
17.1	Deskriptor für Linse (<i>Lens</i>) / Descriptor for Lentil (<i>Lens</i>)	I
17.2	Erfolgskontrollbericht	V
17.3	Merkblatt mit den Projektergebnissen	V

Abkürzungsverzeichnis

Ca	Kalzium
dt	Dezitonne
Fe	Eisen
g	Gramm
ha	Hektar
K	Kalium
Mg	Magnesium
Mn	Mangan
P	Phosphor
TKM	Tausendkornmasse
Zn	Zink

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Graphische Darstellung der Projektinhalte sowie des Materialflusses während der Projektlaufzeit.....	5
Abbildung 2:	Darstellung der Aufgaben der Projektpartner in LinSel	6
Abbildung 3:	Übersicht Parzellenanbau in Gatersleben 2019	12
Abbildung 4:	Parzellenanbau in Gatersleben 2019	12
Abbildung 5:	Einzelparzelle.....	13
Abbildung 6:	Rosalinse (08.06.2021)	14
Abbildung 7:	Ertrag von 100 Pflanzen je Akzession (g)	15
Abbildung 8:	Vergleich Ertrag von 100 Pflanzen je Akzession (g) für 2019 und 2020	15
Abbildung 9:	Tausendkornmasse (TKM) der Akzessionen in g (2019)	16
Abbildung 10:	Korrelation zwischen Anzahl Samen pro Pflanze und Tausendkornmasse (TKM) in g.....	16
Abbildung 11:	Vergleich Tausendkornmasse (TKM in g) für 2019, 2020 und 2021	17
Abbildung 12:	Samen der LENS 105, grün-marmoriert.....	17
Abbildung 13:	Vermessung der Samen, Linse vom oberen Linsenhof.....	18
Abbildung 14:	Großparzellen 2019 in Rimpertsweiler	21
Abbildung 15:	Wetterdaten 1.4.19 bis 30.7.19, Standort Rimpertsweiler	22
Abbildung 16:	Wetterdaten vom 1.4.20 bis 30.8.20, Standort Rimpertsweiler	23
Abbildung 17:	Symptome der Viruserkrankungen.....	24
Abbildung 18:	Wetterdaten vom 1.4.21 bis 30.7.21, Standort Rimpertsweiler.	26
Abbildung 19:	Ertragsvergleich 2019/ 2021	28
Abbildung 20:	Massebildung BBCH 30 (Bonitur 1-9)	29
Abbildung 21:	Korrelation zwischen Frühreife und Ertrag Versuchsjahr 2019	30
Abbildung 22:	Korrelation zwischen Ertrag und Ansatzhöhe der 1. Hülse, Versuchsjahr 2019	30
Abbildung 23:	Bodenwassergehalt an den Testorten 2021.....	36
Abbildung 24:	Samenertrag von Selektionen auf Lehm- (R), Ton- (S) und Sandboden (T) von vier Populationen an den Testorten F, NEB, ZALF 2020 und 2021	39

Abbildung 25: Versuchsaufbau "Prüfung verschiedener Sorten und Akzessionen von Linsen (<i>Lens culinaris</i>) in standardisierten Kleinparzellen mit Modellstützfrucht (Rankgitter)", sowie Liste mit verwendeten Linsensorten und -akzessionen (Akz.); Versuchsstation Kleinhohenheim (Universität Hohenheim, Stuttgart) in den Jahren 2020 und 2021, in etwas kleinerem Umfang mit 18 Akzessionen im Jahr 2019	52
Abbildung 26: "Prüfung verschiedener Sorten von Linsen (<i>Lens culinaris</i>) im modellhaften Anbausystem mit Praxispassung"; Versuchsstation Kleinhohenheim und Oberer Lindenhof (Universität Hohenheim, Stuttgart) in den Jahren 2020 und 2021.....	56
Abbildung 27: Entwicklungsstadien der Linsenpflanzen in Tagen nach Aussaat; Vergleichssorten sind gelb markiert; Fehlerbalken zeigen den Standardfehler an dem Erreichen bzw. Überschreiten des BBCH-Stadium 81 nach Feller et al. (1995), d.h. 10% der Hülsen reif, Samen sind Sortentypisch gefärbt, trocken und hart, beobachtet wurde, Ergebnisse aus den Versuchsjahren 2019 bis 2021, Versuchsstation Kleinhohenheim, Stuttgart, gelbe Markierung: Vergleichssorten.	57
Abbildung 28: Gestreckte Pflanzenlänge in cm (orange) und Ansatz der untersten Hülse zur Pflanzenbasis in cm (blau) zum Zeitpunkt der Ernte; rote Linie kennzeichnet angenommene Druschhöhe von 10 cm; Vergleichssorten sind gelb markiert; Fehlerbalken zeigen Standardfehler, Ergebnisse aus den Versuchsjahren 2019 bis 2021, Versuchsstation Kleinhohenheim, Stuttgart.....	58
Abbildung 29: Anteil der Fläche lagernder Pflanzen am Zaun (blau) und in der freistehenden Reihe (orange) in % zur Ernte; Vergleichssorten sind gelb markiert; Fehlerbalken zeigen Standardfehler, Ergebnisse aus den Versuchsjahren 2019 bis 2021, Versuchsstation Kleinhohenheim, Stuttgart.....	59
Abbildung 30: Erträge verschiedener Linsenakzessionen in g Pflanze ⁻¹ unterteilt in marktfähige (blau) und nicht marktfähige (orange) Körner; Vergleichssorten sind gelb markiert; Fehlerbalken zeigen Standardfehler der marktfähigen Körner, Ergebnisse aus den	

	Versuchsjahren 2019 bis 2021, Versuchsstation Kleinhohenheim, Stuttgart.	60
Abbildung 31:	Erträge marktfähiger Linsenkörner verschiedener Linsenakzessionen in g m ⁻² ; Fehlerbalken zeigen Standardfehler, Statistik wurde mit SAS Software (Version 9.4, Copyright © 2016 by SAS Institute Inc., Cary. NC. USA) mit $\alpha=0,05$ berechnet, verschiedene Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede; Ergebnisse aus den Versuchsjahren 2020 und 2021, Versuchsstation Kleinhohenheim, Stuttgart und Oberer Lindenhof (St. Johann/Württemberg.).....	61
Abbildung 32:	Flächenanteil lagernder Linsenpflanzen zur Ernte in %; Linsensorten: KS=Kleine Schwarze, Li=Lindenhof, Ro=Rosalinse, SA I=Späths Albinse I groß, SA II=Späths Albinse II klein DMA=Dunkelgrün marmorierte Albinse in Reinsaat und im Gemengeanbau mit Sommerbraugerste oder Hafer; Fehlerbalken zeigen Standardfehler, Statistik wurde mit SAS Software (Version 9.4, Copyright © 2016 by SAS Institute Inc., Cary. NC. USA) mit $\alpha=0,05$ berechnet; Ergebnisse aus den Versuchsjahren 2020 und 2021, Versuchsstation Kleinhohenheim, Stuttgart und Oberer Lindenhof (St. Johann/Württ.).....	61
Abbildung 33:	Vermehrungsstreifen Feldaufgang mit Stützfrucht Leindotter 2019 in Rimpertsweiler.....	66
Abbildung 34:	Streifenversuch mit Hafer, Leindotter und ohne Stützfrucht (Jahr 2019, Rimpertsweiler)	67
Abbildung 35:	Kleinere Vermehrungen 2020 (Schlag „Waldrand“)	69
Abbildung 36:	Streifenversuch 2020 (Schlag „Kirchweg Neufrach“)	69
Abbildung 37:	Lefkada x GW18 Elite 1,7_	72
Abbildung 38:	Novourenskaja 3567	72
Abbildung 39:	Puy 18/95, 98.....	72
Abbildung 40:	Rosalinse	72
Abbildung 41:	Späth 2 18x.....	72
Abbildung 42:	a) Protein- b) Rohfett- und Rohfasergehalt in Linsenkörnern in %; Vergleichssorten sind gelb markiert; Fehlerbalken zeigen	

	Standardfehler; Ergebnisse aus den Versuchsjahren 2019 bis 2021, Versuchsstation Kleinhohenheim, Stuttgart.....	77
Abbildung 43:	a) Calcium- b) Eisen- und c) Zinkgehalt in trockenen Linsenkörnern in mg kg ⁻¹ ; Vergleichssorten sind gelb markiert; Fehlerbalken zeigen Standardfehler; Ergebnisse aus den Versuchsjahren 2019 bis 2021, Versuchsstation Kleinhohenheim, Stuttgart.	79
Abbildung 44:	Streudiagramme der nasschemisch ermittelten Werte geprüfter Linsenakzessionen (y-Achse) gegenüber geschätzter Werten mittels Kalibration, erstellt anhand nasschemischer Werte und Spektren im nahinfraroten Bereich. a) Spektren von ganzen Linsenkörnern aufgenommen; b) Spektren wurden von gemahlene Linsenkörnern (1 mm) aufgenommen; Berechnung durch WinISI (Foss).	80

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ergebnisse Bodenuntersuchung Rimpertsweiler, Probenahme: 3.5.19	21
Tabelle 2:	Bodenuntersuchung Acker "Aspen" in Rimpertsweiler, Probenahme 24.3.21	25
Tabelle 3:	Linsenfeldversuch Auswahl 2021	27
Tabelle 4:	Beschreibung der favorisierten Zuchtstämme	31
Tabelle 5:	Samenertrag, Samengewicht und Ernteindex im Mittel aller Populationen an den drei Testorten in 2020 und 2021	35
Tabelle 6:	Samenertrag, Ernteindex und Samengewicht für Pop1-4 im Vergleich mit drei Standardsorten an drei Testorten 2020 und 2021	37
Tabelle 7:	Varianzanalyse für Samenertrag von drei Selektionen (selection) der Populationen 1-4 (pop) an drei Testorten (loc) 2020 und 2021 (year).....	38
Tabelle 8:	Samenertrag von Selektionen auf Lehm- (R), Ton- (S) und Sandboden (T) von vier Populationen an den Testorten F, NEB, ZALF 2020 und 2021	40
Tabelle 9:	Ernteindex von Selektionen auf Lehm- (R), Ton- (S) und Sandboden (T) von vier Populationen an den Testorten F, NEB, ZALF 2020 und 2021	41
Tabelle 10:	Samengewicht von Selektionen auf Lehm- (R), Ton- (S) und Sandboden (T) von vier Populationen an den Testorten F, NEB, ZALF 2020 und 2021	42
Tabelle 11:	Prozentualer Aufgang von Selektionen auf Lehm- (R), Ton- (S) und Sandboden (T) von vier Populationen an den Testorten F, NEB, ZALF 2020 und 2021	43
Tabelle 12:	Überlebensrate von Selektionen auf Lehm- (R), Ton- (S) und Sandboden (T) von vier Populationen an den Testorten F, NEB, ZALF 2020 und 2021	44

Tabelle 13:	Anteil (%) pigmentierter Pflanzen von Selektionen auf Lehm- (R), Ton- (S) und Sandboden (T) von vier Populationen an den Testorten F und NEB, 2020 und 2021.....	45
Tabelle 14:	Blühbeginn von Selektionen auf Lehm- (R), Ton- (S) und Sandboden (T) von vier Populationen an den Testorten F, NEB, ZALF 2020 und 2021. Höhere Werte bedeuten frühere Blüte.....	46
Tabelle 15:	Samenertrag (g) der jeweils vier Komponenten (A-D) der Populationen Pop1 und Pop2, sowie die mittlere Leistung der aus Pop1 und Pop2 entstandenen Populationen.....	47
Tabelle 16:	Ernteindex der jeweils vier Komponenten (A-D) der Populationen Ca 1 und Ca2, sowie die mittlere Leistung der aus Ca 1 und Ca2 entstandenen Populationen.....	48
Tabelle 17:	Beschreibung von 10 Einzelpflanzen-Nachkommenschaften aus Pop3 und Pop4, sowie die Alblinsen 1 und 2; Rankgitter Hohenheim 2021.....	49
Tabelle 18:	Übersicht zum Versuch "Prüfung verschiedener Sorten von Linsen (<i>Lens culinaris</i>) im modellhaften Anbausystem mit Praxispassung"; Versuchsstation Kleinhohenheim und Oberer Lindenhof (Universität Hohenheim, Stuttgart) in den Jahren 2020 und 2021....	55
Tabelle 19:	Korrelationen zwischen Ergebnissen aus Rankgitterversuch und Ergebnissen aus Parzellenversuch ausgewählter Deskriptoren; Kleinhohenheim 2019, 2020, 2021 und Oberer Lindenhof 2020, 2021; bivariate Varianzanalyse mit SAS.	62
Tabelle 20:	Ernteergebnis 2019.....	68
Tabelle 21:	Vermehrungen Jahr 2021	70
Tabelle 22:	Vermehrungen in Kleinparzellen Jahr 2021	71
Tabelle 23:	Saatgutvermehrungsmengen.....	73
Tabelle 24:	Parameter der Kalibration ganzer Linsenkörner berechnet durch WinISI (Foss).	80
Tabelle 25:	Abschließende Bewertung der Herkünfte aus ArbeitP 1 (IPK) nach Prüfung in A-beitspaket 3, die für den Praxisanbau selektiert wurden (+++ sehr gut, + gut, 0 gleich, - schlechter im Vergleich mit den anderen geprüften Herkünften und Vergleichssorten).....	85

1. Einführung

1.1 Gegenstand des Vorhabens

Übergeordnetes Ziel des Projektes „Selektion geeigneter Sortentypen von Linsen (*Lens culinaris*) für nachhaltige Anbausysteme“ (LinSel) war, Landwirten an mitteleuropäische Verhältnisse **gut angepasste Linsengenotypen** (*Lens culinaris* L.) zur Verfügung zu stellen und damit Ertrag, Ertragssicherheit und Qualität zu steigern und den Anbau der Leguminose Linse auszudehnen, da im Zuge des Klimawandels und veränderter Ernährungsgewohnheiten die Integration von neuen Leguminosenarten in die Fruchtfolgen weiter an Bedeutung gewinnt. Insbesondere die Linse wird von Verbraucher:innen stark nachgefragt, allerdings ist ihr Anbauumfang in Deutschland nach wie vor sehr gering. So wurden zu Beginn des Projektes in Baden-Württemberg lediglich 640 ha Linsen angebaut (MLR 2019), für Gesamtdeutschland sind den Autor:innen für 2019 keine Zahlen bekannt. Gleichzeitig wurden im Jahr 2021 ca. 33.000 Tonnen Linsen nach Deutschland importiert, vor allem aus der Türkei (Destatis, 2022).

Aktuell zeigen die wenigen, in Deutschland verfügbaren Linsensorten eine geringe Ertragsstabilität und ein geringes Ertragsniveau. In Deutschland werden Linsen im Gemenge, meist mit Hafer oder Gerste, oft auch mit Leindotter angebaut. Allerdings stammen diese Sorten meist - mit Ausnahme der auf der Schwäbischen Alb eingesetzten Sorten Späths Alblinse I und II, die in den 1940iger Jahren dort gezüchtet wurden – aus Ländern wie Frankreich oder Italien, in denen Linsen als Monokultur angebaut werden. Daher sind diese Linsensorten oft nicht an den Gemengeanbau angepasst.

Daher wurden im Rahmen des Projektes LinSel Genotypen identifiziert, selektiert, weiterentwickelt und geprüft, um eine **optimale Passung** für Anbausysteme in Deutschland zu erreichen und damit die Leguminose Linse fest als „neue“ alte Kulturart zu etablieren. Dabei wurde ein Anbau auch über die traditionellen Standorte wie die Schwäbischen Alb hinaus angestrebt.

Die Linse ist eine Kultur, deren Anbaubedeutung in Deutschland zwar nicht hoch ist, deren Anbauwürdigkeit sich jedoch durch die stark steigende Verbrauchernachfrage speziell nach regional erzeugten Linsen stetig erhöht. Allerdings ist der Anbau

aufgrund der fehlenden züchterischen Bearbeitung der Kultur im Augenblick problematisch. Über die Entwicklung bzw. Selektion besser angepasster Linsengenotypen werden eine weitere Kulturart sowie das damit verbundene Anbausystem (Mischanbau) in die Agrarökosysteme (wieder)eingeführt, was zur **Diversifizierung der Fruchtfolgen** gerade auch in klimatisch **benachteiligten Gebieten** (z. B. in Höhenlagen, auf flachgründigen Böden, bei begrenztem Wasserangebot) beiträgt und neue Einkommensquellen für die Landwirte erschließt. Bisher ist die Linse ein attraktives, hochpreisiges Nischenprodukt, das sowohl im ökologischen als auch im konventionellen Landbau mit einem starken regionalen Bezug in Süddeutschland, vor allem in Baden-Württemberg, angebaut wird. Grundsätzlich ist die Linse jedoch für den Anbau in ganz Deutschland geeignet, wo sie auch in früheren Jahrhunderten angebaut wurde. Die Linse war bisher nicht Teil der Förderung im Rahmen der Eiweißpflanzenstrategie auf Bundesebene bzw. der Eiweißinitiativen auf Länderebene. Neben der Erbse ist die Linse die einzige in Deutschland angebaute Körnerleguminose, die ohne weitere Aufbereitungsschritte für die menschliche Ernährung in Frage kommt und daher gerade für die vegetarische und vegane Ernährung als Proteinträger geeignet ist und bei reduziertem Fleischkonsum eine regional erzeugte Proteinquelle darstellt. Trotz dieser Vorteile ist die privatwirtschaftliche Linsenzüchtung in Deutschland aufgrund des geringen Anbauumfangs nicht lohnenswert. Speziell für Linsengenotypen aus ökologischer Züchtung sowie für ökologisch erzeugtes Saatgut existiert hier eine Nische für eine neue Kulturart, die derzeit in der Praxis in der Regel nur nachgebaut wird und somit nicht am züchterischen Fortschritt teilhaben kann.

Insgesamt können die Ergebnisse des Projektes die Produktpalette von Züchtern, Landwirten und Verbrauchern um eine legume Marktfrucht erweitern, die speziell im ressourcenschonenden Mischanbau sowie im ökologischen Landbau zum Einsatz kommt.

1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projektes, Bezug des Vorhabens zu den einschlägigen Zielen der EPS oder zu konkreten Bekanntmachungen und Ausschreibungen (www.ble.de/eiweisspflanzenstrategie)

Im Rahmen unseres **interdisziplinären** Verbundprojektes mit züchterischer, pflanzenbaulicher und inhaltsstoffanalytischer Expertise wurden die Förderziele unter Einbindung von **Praxisakteuren** wie folgt erreicht:

Das Projekt baute auf Erkenntnissen, Vorarbeiten und Erfahrungswissen der landwirtschaftlichen Akteure auf und war stark praxisorientiert. Selektionskriterien wurden in einem Auftaktworkshop zu Projektbeginn gemeinsam mit den Landwirten definiert. Die Ergebnisse wurden im Rahmen von Feldbegehungen beim Projektpartner KEY regelmäßig und stetig im **Dialog mit der Praxis** bewertet. Die direkte Übertragbarkeit der Ergebnisse in die Praxis ist dadurch gesichert. Zum Projektende ist es gelungen, neue Genotypen zu selektieren, die ressourceneffizient und ertragsstärker sind als die bisher genutzten und die besser für den Anbau im Gemenge geeignet sind. Damit werden insbesondere die Bedürfnisse der ökologisch wirtschaftenden Betriebe berücksichtigt. Es wurden **ertragsstarke und -stabile** Sorten bzw. Genotypen mit den gewünschten Inhaltsstoffen selektiert, die an die Bedingungen im ressourcenschonenden Anbau, unter anderem im ökologischen Anbau, sowie an die **klimatischen Rahmenbedingungen Deutschlands angepasst** sind. Marktrelevant sind insbesondere Sorten, die sich äußerlich und geschmacklich vom sonstigen Angebot (v.a. Importware) abheben. Dies ist bei den neun selektierten Genotypen der Fall, da beispielsweise sowohl Genotypen mit roten als auch mit gelben Kotyledonen selektiert wurden, die so am Markt bisher nicht zu finden sind. Da die regionale Passgenauigkeit der Genotypen im Mittelpunkt des Projektes stand, wird die wachsende Nachfrage vieler Verbraucher nach **regionaler Ware** und **alten Kulturarten** befriedigt und damit ein Beitrag sowohl zur Ausdehnung des Öko-Sektors als auch zur Stärkung regionaler Vermarktungsprogramme in der konventionellen Landwirtschaft geleistet.

1.3 Planung und Ablauf des Projektes

Das Projekt bestand aus sechs Arbeitspaketen und wurde in enger Abstimmung zwischen den Partnern IPK , UHO1, UHO2, ZÖLUH, KEY und WIZ durchgeführt (Abbildung 1 und Abbildung 2).

Das **Arbeitspaket 1** hatte zum Ziel, geeignete Linsenherkünfte aufzufinden und zu beschreiben. Zu diesem Zweck wurden 106 Linsenherkünfte und vier Vergleichssorten, die sich aktuell im Praxisanbau befinden, in den ersten beiden Projektjahren gescreent. Verantwortlich für dieses Arbeitspaket zeichneten die Partner IPK und KEY. Gemeinsam wurden von allen Partnern die Deskriptoren zur Selektion geeigneter Genotypen festgelegt. Ebenso erfolgte die abschließende Auswahl geeigneter Genotypen für die weitere Prüfung in Arbeitspaket 3 anhand agronomischer Eigenschaften, die ebenfalls gemeinsam von allen Partnern definiert wurden.

Das **Arbeitspaket 2** umfasste die Standortanpassung und evolutionäre Züchtung von Linsen und hatte zum Ziel, die Anpassung an unterschiedliche Standorte zu quantifizieren und das Potenzial zur Entwicklung verbesserter Genotypen zu nutzen (verantwortlicher Partner WIZ). Im Rahmen dieses Arbeitspaketes erfolgte ein Anbau ausgewählter Linsenpopulationen aus früheren Arbeiten des Partners auf drei verschiedenen Standorten mit unterschiedlichen Klima- und Bodenbedingungen. Selektierte Populationen wurden dann in einem nächsten Arbeitsschritt vom Projektpartner UHO1 in Arbeitspaket 3 auf ihre agronomischen Eigenschaften geprüft.

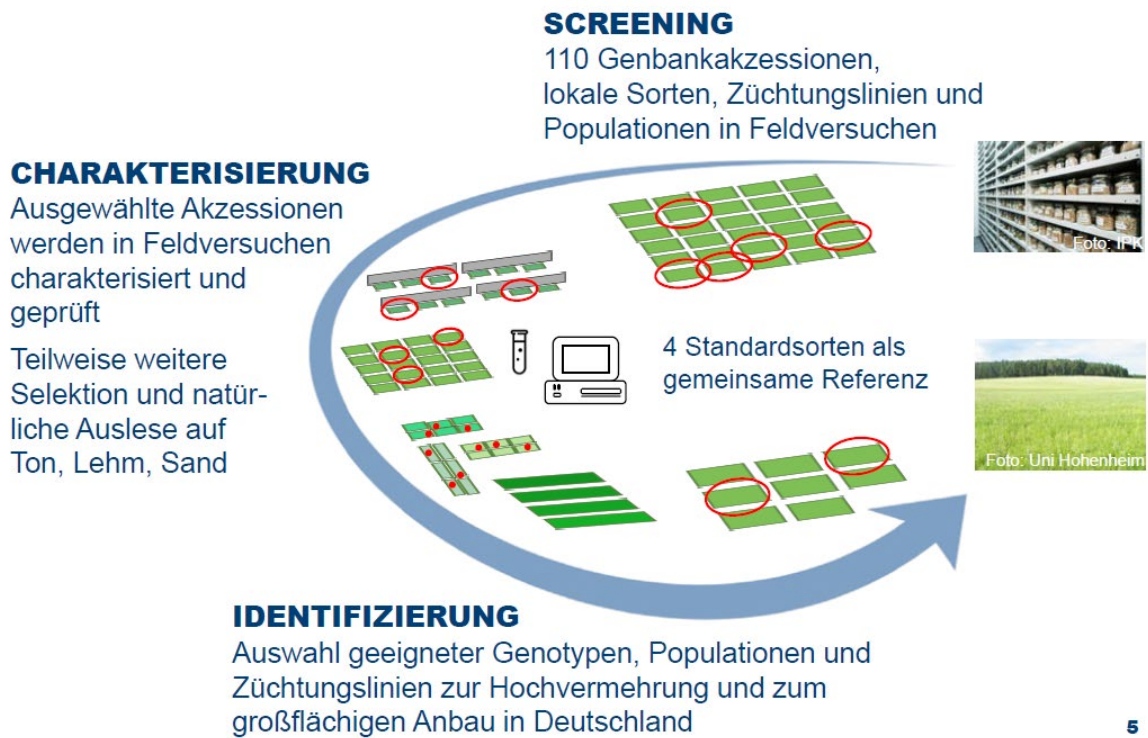


Abbildung 1: Graphische Darstellung der Projektinhalte sowie des Materialflusses während der Projektlaufzeit

In **Arbeitspaket 3** (verantwortlich UHO1) fand die Prüfung geeigneter Akzessionen in standardisierten modellhaften Anbausystemen statt. Diese Herkünfte stammten sowohl aus dem Screening vom IPK als auch aus den Versuchen von WIZ (Populationen) und KEY. Ziel dieses Arbeitspaketes war es, potenziell geeignete Akzessionen und Sorten aus den Versuchen aller Partner in standardisierten Anbausystemen auf Morphologie und Leistung zu prüfen und so für den Anbau in Deutschland geeignete Akzessionen zu finden. Die Prüfung erfolgte in einem modellhaften Anbausystem, wobei die Anzahl der zu prüfenden Akzessionen von Projektjahr 2019 bis zum Projektjahr 2021 immer weiter eingengt wurde. Ausgewählte Herkünfte und Sorten wurden in den Projektjahren 2020 und 2021 auf zwei unterschiedlichen Standorten (konventionell bzw. ökologisch bewirtschaftet) in

Feldversuchen mit unterschiedlichen Mischungspartnern angebaut, um die agronomische Anbauwürdigkeit weiter zu testen.

Arbeitspaket 4 (KEY) umfasste die Leistungsprüfung ausgewählter Akzessionen aus

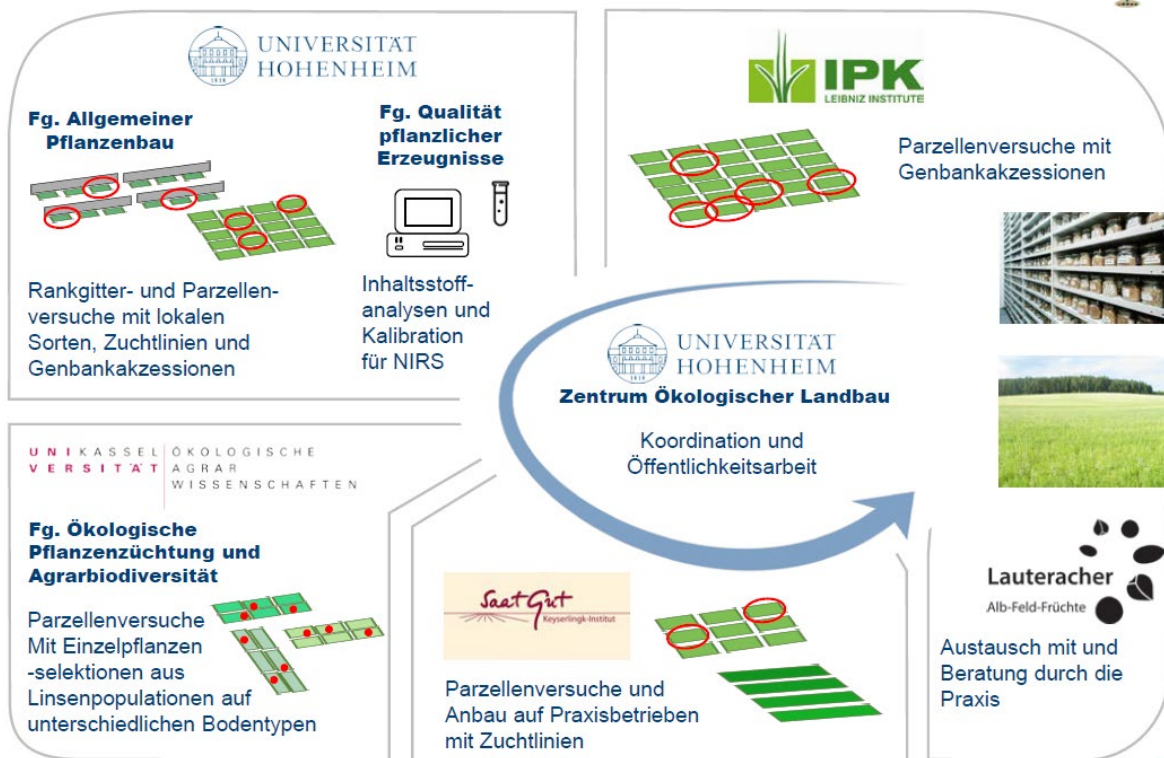


Abbildung 2: Darstellung der Aufgaben der Projektpartner in LinSel

Arbeitspaket 1 im Praxisanbau, die Versuche fanden in allen drei Versuchsjahren statt. Außerdem dienten die Versuche der Vermehrung von Saatgut. Die Streifenversuche dienten außerdem als Demonstrationsflächen für Wissenstransfer und Austausch mit der Praxis.

Ziel von **Arbeitspaket 5** war die Entwicklung einer Kalibration für die Nahinfrarotspektroskopie, um zukünftig schnell und kostengünstig eine große Anzahl von Linsengenotypen analysieren zu können. Als Referenz dienten nasschemische Analysen von Mineralstoffen, Protein und Rohfaser. Probenmaterial aus allen anderen Arbeitspaketen sowie weitere Proben, die zur Verfügung standen, wurden für die Kalibration eingesetzt.

Arbeitspaket 6 umfasste die Projektkoordination sowie Aufgaben zum Wissenstransfer, zur Öffentlichkeitsarbeit sowie zur Netzbildung mit anderen Akteuren auf nationaler und internationaler Ebene, die zu Linsen arbeiten. Ein weiterer Schwerpunkt war die Vernetzung und die Organisation des Erfahrungsaustausches

mit den Landwirten der Öko-Erzeugergemeinschaft ALBLEISA, die in die Auswahl der Merkmale für die Selektion geeigneter Linsengenotypen eingebunden waren.

2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Die Linse (*Lens culinaris* L.) ist eine alte Kulturpflanze, die traditionell auch in Mitteleuropa angebaut wurde. In Deutschland war der kommerzielle Linsenanbau seit Mitte des letzten Jahrhunderts nahezu erloschen, und eine züchterische Bearbeitung unter den hiesigen klimatischen und produktionstechnischen Bedingungen fand in diesem Zeitraum nicht statt. Derzeit, meist noch regional, wird die Linse als Kulturpflanze „wiederentdeckt“ und vor allem im **ökologischen Landbau** eingesetzt, wobei seit einigen Jahren ein stetig steigendes Interesse bei konventionellen Landwirten zu verzeichnen ist. Linsen sind sowohl traditionell als auch in der modernen Ernährung ein Lebensmittel, das wegen des hohen physiologischen Nährwerts und des Geschmacks eine sehr hohe Wertschätzung erfährt. Der Bedarf von ca. 20.000 t/Jahr in Deutschland wird überwiegend durch Importe gedeckt (Horneburg 2008).

Als Leguminose stellt die Linse eine wertvolle Bereicherung in der ökologischen **Fruchtfolge** dar und kann durch die biologische **N-Fixierung** zur Stickstoffversorgung beitragen. Der N-Input ist jedoch wegen des derzeit vergleichsweise geringen Ertragsniveaus der eingesetzten Genotypen (Schwäbische Alb: < 1,0 t ha⁻¹ ungereinigte Ware, W. Mammel 2015, pers. Mitteilung) vergleichsweise niedrig. Angaben zur N-Fixierung der Linse reichen von 35-110 kg ha⁻¹ unter kanadischen Bedingungen (Horneburg 2003) bzw. bis zu 150 kg N ha⁻¹ bei Linsen im Gemenge auf schwerem Boden (Schmidtke et al. 2004). Systematische Untersuchungen zur N-Assimilationsleistung von Linsen liegen aus dem hiesigen Anbau nicht vor.

Weltweit ist der Anbau von Linsen vor allem in der konventionellen Landwirtschaft gut etabliert, mit Verbreitungsschwerpunkten in den kontinentalen, subtropischen und mediterranen Gebieten. Haupterzeugerländer sind Kanada (2016: 2,18 Mio. t), Indien (1,55 Mio. t) und die Türkei (0,25 Mio. t) mit einer Erntefläche von jeweils 3,23 Mio. ha, 1,06 Mio. ha bzw. 0,37 Mio. ha (FAOSTAT 2016). Die in Deutschland auf dem Markt erhältliche Ware stammt hauptsächlich aus Kanada, der Türkei, aus Frankreich und Italien (eigene Recherche, 2018); zusätzlich sind begrenzte Angebote aus regionalem Anbau verfügbar, z.B. im Raum Stuttgart von der Öko-Erzeugergemeinschaft „Alb-

Leisa“, derzeit Deutschland größter Linsen-Erzeuger. Mit aktuell 350 ha Linsen auf 100 Betrieben der Öko-EZG bei einem jährlichen Durchschnittsertrag von rund 0,6 t ha⁻¹ Speiseware ist das Vermarktungspotenzial bisher bei weitem nicht ausgeschöpft (L. Mammel, pers. Mitteilung 2015).

Verglichen mit dem Ertrag der Haupterzeugerländer (2016: Kanada rund 1,5 t ha⁻¹, Indien 0,7 t ha⁻¹, Türkei 1,5 t ha⁻¹) ist das Ertragsniveau in Deutschland niedrig. Im Unterschied zu den Hauptanbauländern, deren Klima von Sommertrockenheit gekennzeichnet ist, werden Linsen in Mitteleuropa unter vergleichsweise feuchten Bedingungen (insbesondere regenreichen Sommern), angebaut. Dies hat zur Folge, dass Linsen mit einer Stützfrucht angebaut werden müssen, um das Lagern der Linsenpflanzen und die damit verbundenen Ertrags- und Qualitätsverluste zu reduzieren. Traditionell wurden Linsen mit Dinkel oder Roggen als Stützfrucht angebaut; die heutige Erntetechnik favorisiert Gerste und Hafer als Stützfrucht. Marginale Böden und Grenzstandorte gelten als geeignete Linsenstandorte, z.B. die Schwäbische Alb oder Mittelgebirgslagen Thüringens und Hessens (Horneburg 2003), doch sind auch nährstoffreichere und tiefgründigere Böden als Standorte möglich, z.B. die Gäulandschaften Baden-Württembergs. Um Herrenberg sind beispielsweise sogenannte „Heckengäulinsen“ aus konventionellem Anbau bereits auf dem Markt zu finden. Ein wesentlicher Grund, weshalb die Erträge bei Linsen derzeit gering sind, ist die sehr **geringe Standfestigkeit** der Linsen und das **indeterminierte Wachstum** (W. Mammel, pers. Mitteilung 2015; eigene Beobachtungen) der verfügbaren Sorten. Dadurch kann nur ein Teil der Hülsen mit dem Mähdrescher erfasst werden. Gleichzeitig ist die Abreife der Linsen sehr ungleichmäßig, was die Ernte und die Aufbereitung ebenfalls erschwert. Pflanzenbauliche Maßnahmen können hier nur bedingt und unterstützend ertragsfördernd wirken; vor allem Genotypen mit Standfestigkeit, Frühreife und determinierte Reife sind daher erforderlich.

Darüber hinaus ist die Beikrautregulierung für die grundsätzlich konkurrenzschwache Linse eine Herausforderung, da im ökologischen Landbau keine Herbizide eingesetzt werden dürfen und im konventionellen Landbau keine Herbizide für den Einsatz in Linsen zugelassen sind. Relativ **konkurrenzstarke** Typen wären daher wünschenswert, die sowohl Beikraut unterdrücken als auch gegenüber ihrer Stützfrucht konkurrenzfähig sind, um im üblichen **Mischanbau** ausreichend Ertrag zu erzielen. Qualitäts- und Ertragseinbußen durch geringe Standfestigkeit der Linsen entstehen auch wegen hoher **Kornfeuchte** des lagernden Linsenbestandes

(Schimmel und Auswuchs). Der verstärkte Trend zu **vegetarischer/veganer** Ernährungsweise in Teilen der Verbraucherschaft wird eine höhere Nachfrage nach pflanzlichen Erzeugnissen mit hochwertigem Protein, speziell Leguminosen wie die Linse, zur Folge haben. Linsensamen enthalten als **wertgebende Inhaltsstoffe** 28 % Rohprotein (16 – 31 %), 67 % Kohlehydrate (43 – 70 %), 2,5 % Fett und rund 12 % Ballaststoffe (5 – 27 %; Urbano et al. 2007; Grusak, 2009). Eigene Recherchen (Wang et al. 2013) ergaben für den derzeit in Südwest-Deutschland überwiegend angebauten Genotyp („Ableisa“, grüne marmorierte Linse; Nachzucht aus der französischen Sorte „Anicia“) einen Rohproteingehalt von rund 27 %. Die Aminosäurezusammensetzung von Linsen ist für die menschliche Ernährung grundsätzlich günstig (Grusak, 2009), wobei Lysin ausreichend vorhanden ist, der Gehalt an Tryptophan sowie den schwefelhaltigen Aminosäuren Methionin und Cystein jedoch eher defizitär ist (Urbano et al. 2007). Generell ist der Gehalt an Lysin in Leguminosen hoch und der Anteil an Cystein und Methionin niedrig, was eine perfekte Ergänzung zur getreidebasierten Diät mit umgekehrten Gehalten darstellt. Verbesserungen im Proteingehalt und in der Proteinzusammensetzung, z.B. im Aminosäuremuster sowie in einer Reduzierung **antinutritiver Inhaltsstoffe**, könnten die Qualität des Endproduktes deutlich steigern. In Linsensamen vorkommende antinutritive Inhaltsstoffe sind unter anderem Saponine mit 0,04 – 0,127 mg/100 g TM, Phytinsäure mit rund 0,2 – 2,3 g/100 g TM (Urbano et al. 2007, Grusak 2009), Trypsininhibitoren mit 2,7 - 6,1 U/mg (Urbano et al. 2007). Die Gehalte antinutritiver Inhaltsstoffe sind ähnlich hoch wie bei Erbse, Mungbohne und Ackerbohne, aber geringer als in Soja, Phaseolusbohne oder Kichererbse (Grusak 2009); für diese Stoffgruppen sind deutliche Sortenunterschiede belegt (Barbana und Boye 2013). Lektine kommen ebenfalls vor, zeigen aber im Vergleich zu anderen Leguminosen offenbar geringere Reaktivität, so dass Linsen zu den gering toxischen Leguminosen gezählt werden (Urbano et al. 2007).

Im Vergleich zu den „klassischen“ Körnerleguminosen im ökologischen Landbau (Ackerbohnen, Erbsen sowie in jüngerer Zeit auch Soja), ist die Linse nicht zur Verfütterung vorgesehen und stellt damit ein **Premium-Produkt** von hohem Wertschöpfungspotenzial für den menschlichen Verzehr dar, das ohne weitere Verarbeitungsschritte genutzt werden kann. Der Ausputz der Linsenernte wird derzeit teilweise in der Tierfütterung eingesetzt („Alblinsenschwein“; Lauteracher Feldfrüchte 2015). Ein Fütterungsversuch ergab, dass höhere Anteile (> 15 %) von Linsen in der Futtermischung von Broilern zu verringerter Futteraufnahme und dadurch zu

Wachstumsdepressionen und verminderter Schlachtkörperqualität führten, so dass der Einsatz in der Futtermittelration wohl als begrenzt anzusehen ist (Moinuddin, 2011). Eine (züchterisch) veränderte Zusammensetzung mit erhöhtem Proteingehalt bei günstigem Aminosäuremuster, mit gleichzeitiger Verminderung von antinutritiven Inhaltsstoffen (Phytinsäure), könnte auch hier zusätzlich zu Vorteilen für die menschliche Ernährung Perspektiven schaffen. Rein äußerlich unterscheiden sich Linsensorten sehr deutlich in Größe, Form und Farbe der Samen (Schale sowie Embryo) voneinander.

Da die Aromastoffe größtenteils in der Schale liegen, haben kleine Linsen auf Grund des relativ höheren Schalenanteils meist ein intensiveres Aroma (Belitz et al., 2001). **Linsenzüchtung** hat grundsätzlich keine lange Tradition weltweit (Materne and McNeil, 2007) und findet derzeit mit Schwerpunkt im asiatischen Raum statt (Nahe und Mittlerer Osten), z. B. durch die Arbeiten des ICARDA (International Center for Agricultural Research) im Libanon und in Marokko. Diese züchterischen Ansätze berücksichtigen die Bedürfnisse des Linsenanbaus unter ganz anderen klimatischen Bedingungen, wie sie in Deutschland herrschen, nicht. Vorarbeiten mit einem kleinen Sortiment historischer und moderner Genotypen haben gezeigt, dass für die Anbaubedingungen in Deutschland ein Rückgriff auf traditionelle, regional angepasste Sorten sinnvoll sein kann (Horneburg und Becker 2008; Wang et al. 2013). Neue Genotypen aus anderen Regionen wurden bisher kaum geprüft. Insbesondere Zuchtlinien aus Kanada können sehr interessant sein, da sie in ähnlicher geographischer Breite entwickelt wurden und Standfestigkeit im großflächigen Anbau ein zentrales Merkmal ist. Die sehr ressourcensparende Methode der evolutionären Pflanzenzüchtung wurde in Mitteleuropa bisher noch nicht verwendet, um angepasste Genotypen der Linse on-farm zu entwickeln. Die Linse ist eine Feldfrucht mit hohem Potenzial; durch das Verbundprojekt soll der praktische Anbau deutschlandweit vereinfacht sowie die Erträge gesichert und gesteigert werden.

3. Arbeitspaket 1A: Screening in Sortimenten von Genbanken, bei verfügbaren Sorten und von Linien (verantwortlich: IPK)

3.1 Material und Methoden

Pflanzenmaterial und Anbau

In Absprache mit den Projektpartnern wurden 106 Genbankakzessionen von Linsen (*Lens culinaris*) aus der Gaterslebener Kollektion ausgewählt, um diese auf agronomische und morphologische Eigenschaften zu testen. Die Akzessionen kamen alle aus Europa, es handelte sich überwiegend um alte Sorten und Landsorten. Dazu kamen vier Vergleichssorten, Späths Alblinse 1, Späths Alblinse 2, Anicia und die Linse vom Oberen Lindenhof. Insgesamt wurden im ersten Jahr (2019) 110 Muster auf den Feldern des IPK Gatersleben auf einer Parzellengröße von 4 m x 1 m angebaut (Abbildung 3, Abbildung 4, Abbildung 5), im zweiten Jahr (2020) waren es 30 Muster und im dritten Jahr (2021) 10 Muster. Die Aussaatmenge waren 720 Korn Linse (180 Korn pro m²). Als Stützfrucht wurde Braugerste in einer Saatstärke von 4 g pro m² verwendet. Das Material wurde nicht gedüngt, nicht bewässert und nicht gegen Krankheiten behandelt.

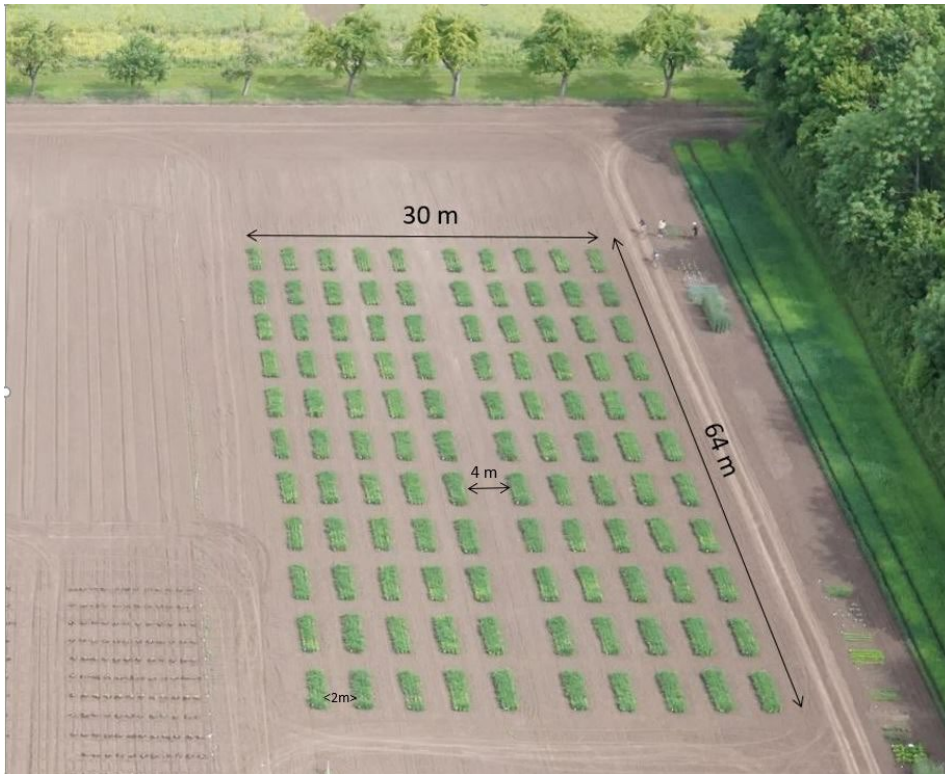


Abbildung 3: Übersicht Parzellenanbau in Gatersleben 2019



Abbildung 4: Parzellenanbau in Gatersleben 2019



Abbildung 5: Einzelparzelle

Bonituren

Alle Akzessionen wurden nach einem mit den Partnern festgelegten Deskriptor beschrieben. Das Boniturschema umfasste 38 agronomische und morphologische Merkmale (Anhang 1).

3.2 Ergebnisse

In 2019 wurden 110 verschiedene Linsenmuster (106 Genbankakzessionen und vier Vergleichssorten) auf den Feldern der Genbank Gatersleben angebaut. Im Ergebnis von 2019 wurden in Abstimmung mit den Partnern 30 Muster ausgewählt und 2020 in den Anbau genommen, die durch gute Eigenschaften aufgefallen waren. Hiervon waren 22 Muster aus dem Genbankbestand, dazu kamen die vier Sorten Ekaterinskaya, Kleine Beige, Rosalinse (Abbildung 6), Späth 1 rot und die vier Vergleichssorten. Obwohl laut Projektantrag kein weiterer Anbau vorgesehen war, wurden in 2021 in Abstimmung mit den Partnern 10 Muster, die in 2019 und 2020 durch gute Eigenschaften aufgefallen waren, ausgewählt und in den Anbau genommen, um dreijährige Daten zu erhalten. Hiervon waren fünf Muster aus dem

Genbankbestand, dazu kamen die Sorte Rosalinse und die vier Vergleichssorten, Späths Alblinse 1, Späths Alblinse 2, Anicia und die Linse vom Oberen Lindenhof.



Abbildung 6: Rosalinse (08.06.2021)

Während des Anbaus über die drei Jahre wurden die Linsenakzessionen detailliert beschrieben und charakterisiert. Besonderes Augenmerk wurde auf die Merkmale Platzfestigkeit der Hülsen, Ertrag und Tausendkornmasse (TKM) sowie Kotyledonenfarbe gelegt.

Platzfestigkeit der Hülsen

Im ersten Anbaujahr hatten 75% der Akzessionen platzfeste Hülsen, bei 34% kamen sowohl platzfeste als auch platzende Hülsen vor und bei einer Akzession waren alle Hülsen geplatzt. In den Folgejahren kamen sowohl platzfeste als auch platzende Hülsen bei allen Akzessionen vor. Dieses Merkmal ist nicht rein genetisch bedingt, sondern auch witterungsabhängig.

Ertrag

Im ersten Anbaujahr schwankte der Ertrag, bezogen auf 100 Pflanzen, zwischen 176 und 17 g (Abbildung 7). Einen besonders hohen Ertrag mit 176 g wies die LENS 103 auf, eine alte deutsche gestreifte Linse.

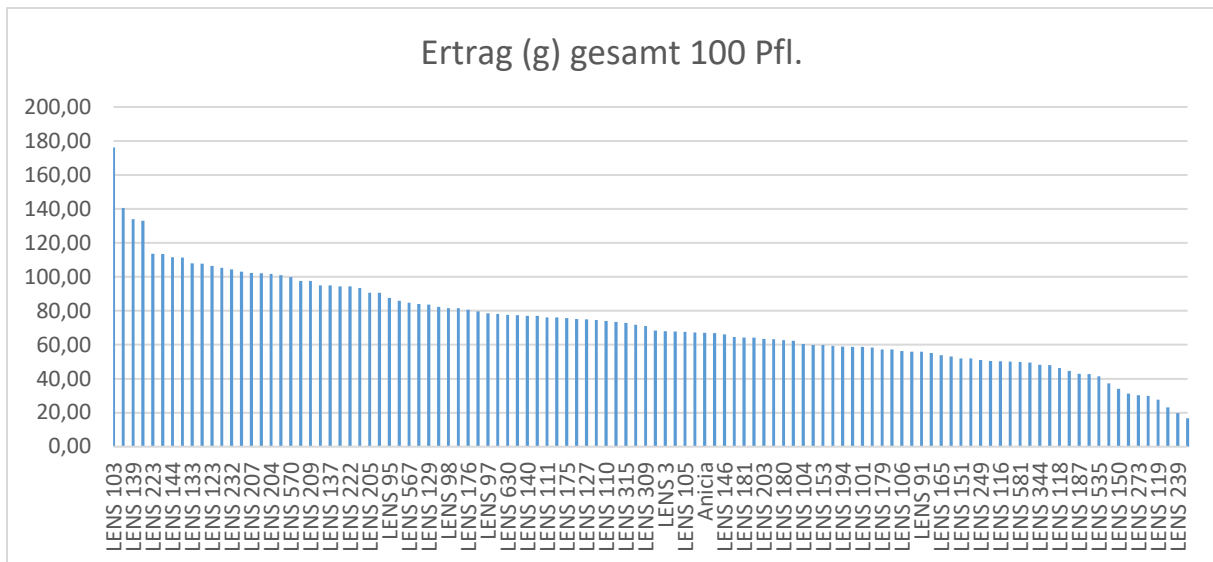


Abbildung 7: Ertrag von 100 Pflanzen je Akzession (g)

Im zweiten Jahr schwankte der Ertrag zwischen 140 und 50 g. Mit 140,26 g wies die Genbankakzession LENS 322 den höchsten Ertrag auf, eine Linse von einem Bauernmarkt der Algarve in Portugal. Beim Vergleich der Erträge über beide Jahre wurden bei den meisten Linsen in 2020 höhere oder annähernd gleichbleibende Erträge erzielt (Abbildung 8). Die LENS 103 wies im Vergleich zu 2019 deutlich niedrigere Erträge auf. Es bestand allerdings nur eine geringe Korrelation ($r=0,4659$) zwischen beiden Jahren.

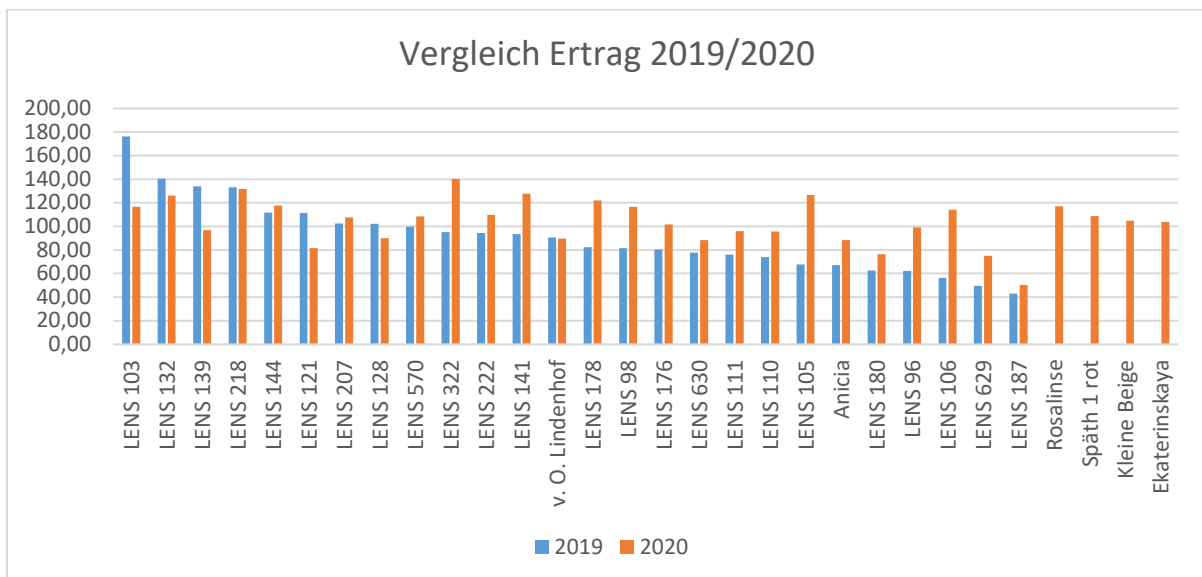


Abbildung 8: Vergleich Ertrag von 100 Pflanzen je Akzession (g) für 2019 und 2020

Im dritten Anbaujahr wies die LENS 105, eine alte Linse aus Deutschland mit dem Namen „Marmorierte Linse“ den höchsten Ertrag auf, gefolgt von LENS 111, einer alte ungarischen Zuchtsorte.

Abschließend lässt sich sagen, dass bezüglich des Ertrages kein eindeutiger Favorit zu erkennen war.

Tausendkornmasse (TKM)

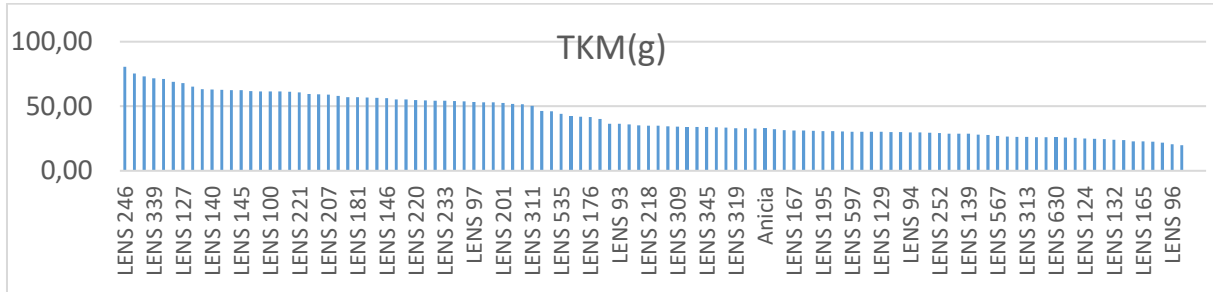


Abbildung 9: Tausendkornmasse (TKM) der Akzessionen in g (2019)

Im ersten Anbaujahr lag die Tausendkornmasse (TKM) in einem Bereich zwischen 80 und 20 g (Abbildung 9). Es ergab sich eine negative Korrelation ($r = -0,6941$) zwischen der Anzahl Samen pro Pflanze und der TKM (Abbildung 10).

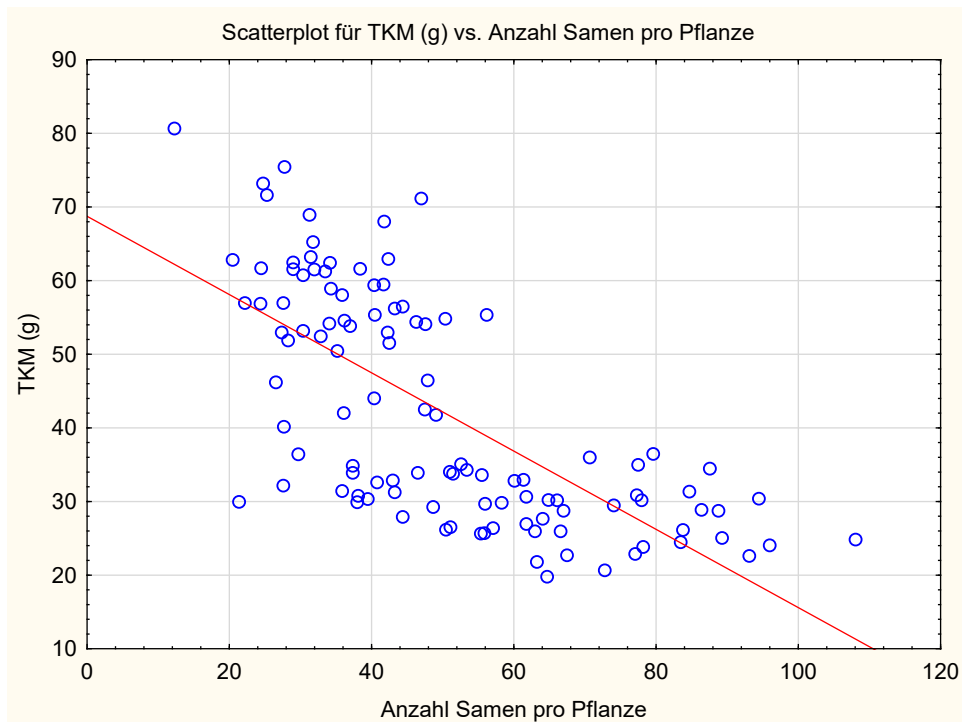


Abbildung 10: Korrelation zwischen Anzahl Samen pro Pflanze und Tausendkornmasse (TKM) in g

Die Tausendkornmasse lag im zweiten Jahr in einem Bereich zwischen 82 und 21 g. Beim Vergleich mit 2019 konnten in 2020 sehr ähnliche Werte gefunden werden. Im dritten Jahr schwankte sie zwischen 40 und 26 g. Beim Vergleich der Tausendkornmasse über drei Jahre wurden bei den meisten Linsen in 2020 die

höchsten Werte erzielt (Abbildung 11). Die beiden Akzessionen LENS 629 und 176 hatten die höchsten TKM-Werte.

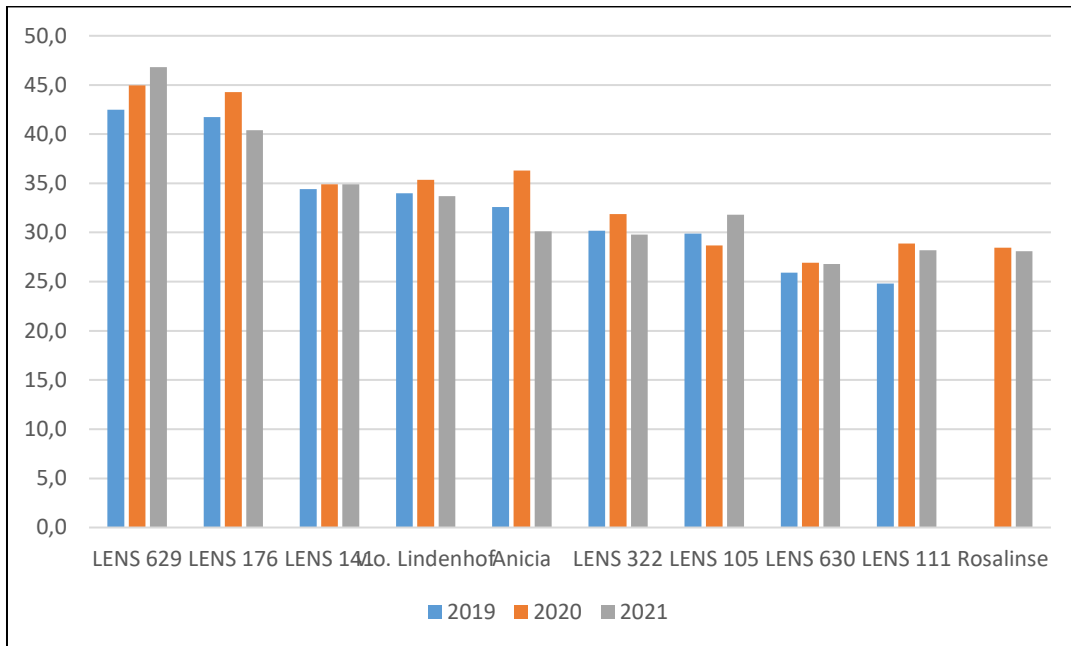


Abbildung 11: Vergleich Tausendkommasse (TKM in g) für 2019, 2020 und 2021

Die TKM sagt in erster Linie etwas zur Samengröße aus. Sie ist meist negativ mit dem Ertrag korreliert.

Kotyledonenfarbe

Von den 110 Akzessionen hatten 89 gelbe Kotyledonen, 2 grüne Kotyledonen und 19 orange-rote Kotyledonen. Bei den 10 Mustern des letzten Jahres waren 8 Akzessionen gelb und zwei orange-rot.

Neben der Kotyledonenfarbe wurde auch die Farbe der Samenschale, das Muster der Samenschale sowie die Größe der Samen bonitiert und fotografisch erfasst (Abbildung 12, Abbildung 13).

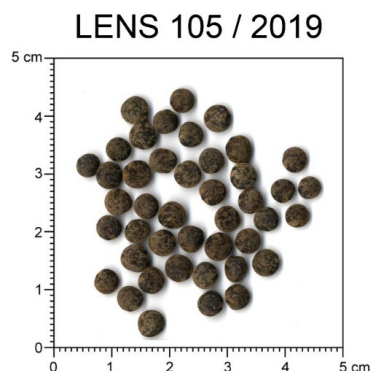


Abbildung 12: Samen der LENS 105, grün-marmoriert

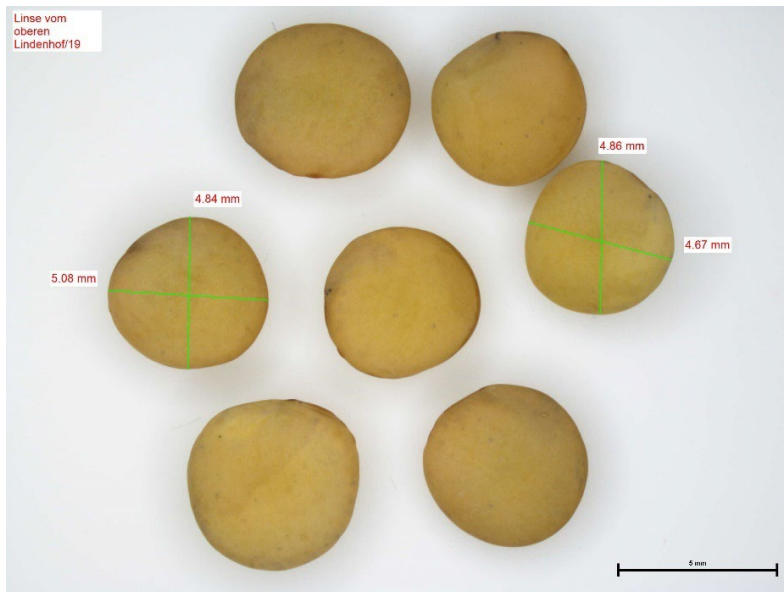


Abbildung 13: Vermessung der Samen, Linse vom oberen Lindenhof

Weitere Merkmale

Das Merkmal Wuchsform und auch Standfestigkeit bzw. Lagerneigung konnte nicht bonitiert werden, da dies bei einem Anbau mit Stützfrucht nicht möglich ist bzw. keinen Sinn macht. Die Abreife war weitgehend gleichzeitig, aber auch dieses Merkmal lässt sich bei einem Stützfruchtanbau nur sehr schwer bonitieren.

Die Boniturergebnisse stehen im Genbankinformation GBIS des IPK der Öffentlichkeit zur Verfügung.

Vermehrung

Da es sich bei Linsen um Selbstbestäuber handelt, konnte das geerntete Saatgut als Genbankvermehrung genutzt werden. Somit steht ausreichend Material für weitere Züchtungszwecke und Anbau zur Verfügung.

Saatgutaufnahme

Die beiden Sorten Linse vom oberen Lindenhof der Universität Hohenheim und die Rosalinse des Keyserlingk-Instituts wurden zum Projektende nach Unterzeichnung einer Standardmaterialtransfervereinbarung (SMTA) in die IPK Genbank aufgenommen.

3.3 Diskussion

Über drei Jahre wurden auf den Feldern der Genbank Gatersleben Linsen erfolgreich angebaut und vermehrt. Aus 110 wurden erst 30, dann 10 Muster mit guten Eigenschaften ausgewählt. Die Ergebnisse der agronomischen und morphologischen Charakterisierungen zeigen große Variabilität innerhalb der untersuchten genetischen Ressourcen von Linse (*Lens culinaris*). Es gibt viele Akzessionen mit positiven Charaktereigenschaften und auch einige Akzessionen, die über mehrere positive Eigenschaften verfügen. Dies zeigt, dass ein Screening von Genbankmaterial ein lohnenswerter Ansatz ist, um interessante Merkmale zu finden und für die weitere Züchtung einzusetzen. Arbeiten mit genetischen Ressourcen zeigen auch in anderen Bereichen ähnliche Ergebnisse. Speziell bei Leguminosen gibt es einige Veröffentlichungen, z. B. bei weißer Lupine – *Lupinus albus* L. (Rybinski et al., 2018) und bei der Saat-Platterbse – *Lathyrus sativus* L. (Grela et al., 2010). Auch bei Inhaltsstoffen lassen sich qualitative und quantitative Unterschiede finden, z. B. bei verschiedenen Wicken-Arten, aber auch innerhalb von Arten (Lahuta et al., 2018). Mit dem Einkreuzen von Genbankmaterial in die vorhandenen Sorten und Zuchtstämme kann auf jeden Fall eine Erweiterung des Genpools erreicht werden. Sowohl Regionen wie die Schwäbische Alb aber auch weitere Regionen in Deutschland können Material für heimischen Anbau finden.

4. Arbeitspaket 1B: Sortenscreening und Sortenprüfungen in Feldversuchen (verantwortlich: KEY)

4.1 Material und Methoden

Versuchsaufbau

Der Anbau und die Charakterisierung der Zuchtlinien erfolgt auf den unterschiedlichen Flächen eines Praxisbetriebes. Hierfür wurde ein Screening von rund 40 Zuchtlinien und Sorten mit denselben Deskriptoren, die auch beim IPK Gatersleben und der Universität Hohenheim verwendet wurden, durchgeführt. Eine Ertragsprüfung im randomisierten Feldversuch in 6 m² Parzellen mit vier Wiederholungen wurde bei Sorten und Zuchtlinien mit ausreichend Saatgut durchgeführt. Als Stützfrucht wurde Leindotter verwendet. Die übrigen Zuchtlinien mit geringer Menge an Saatgut wurden in 1 m² Blöcken ohne Stützfrucht ausgesät. Die Vergleichssorten wurden in beiden Versuchen ausgesät. Agronomische und phänotypische Merkmale wurden anhand von Bonituren und Messungen aufgenommen.

4.1.1 Versuchsjahr 2019

Standort

Das Versuchsfeld wurde auf einer Fläche in Umstellung des Hofguts Rimpertsweiler (bei Salem) angelegt. Vorfrucht war ein 2-jähriges Bodengesundungsgemenge mit Sonnenblumen, Ackerbohnen, Hirse, Senf und weiteren Arten zur Bodenverbesserung. Die Aussaat erfolgte am 25.3. mit einer Saatstärke von 230 Linsen m⁻² und 0,5 g Leindotter. Ein Tag darauf wurde angewalzt. Der Feldaufgang wurde am 8.4. bonitiert. Die Ernte begann am 19.7. mit dem Drusch der Sortenprüfung. Die Kleinparzellen wurden in den folgenden Tagen von Hand gerauft.



Abbildung 14: Großparzellen 2019 in Rimpertsweiler

Die Versuchsfläche wurde zwei Jahre zuvor noch konventionell bewirtschaftet. Im Feldversuch zeigte sich, dass der Boden sehr heterogen war.

Tabelle 1: Ergebnisse Bodenuntersuchung Rimpertsweiler, Probenahme: 3.5.19

Körnung	sandiger Lehm
pH-Wert	7,1
Kalkbedarf CaO dt ha ⁻¹)	90
P ₂ O ₅ mg/100g ⁻¹	4
K ₂ O mg100g ⁻¹	10
Mgmg 100g ⁻¹	6

Die Ergebnisse der Bodengrunduntersuchung zeigten einen starken Mangel an pflanzenverfügbarem Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg). Der pH-neutrale, bis leicht basische Boden war hingegen günstig für den Anbau von Linsen.

Temperatur und Niederschläge

Der Winter brachte viel Niederschläge mit mäßig kalten Temperaturen. Dann blieb es bis Ende Mai kühl und feucht. Ende Juni kam es nach heftigen Gewittern zu einer

Hitzewelle – am Bodensee mit Temperaturen bis 36°C, doch weder Hafer und Leindotter noch die Linsen trugen einen Schaden davon.

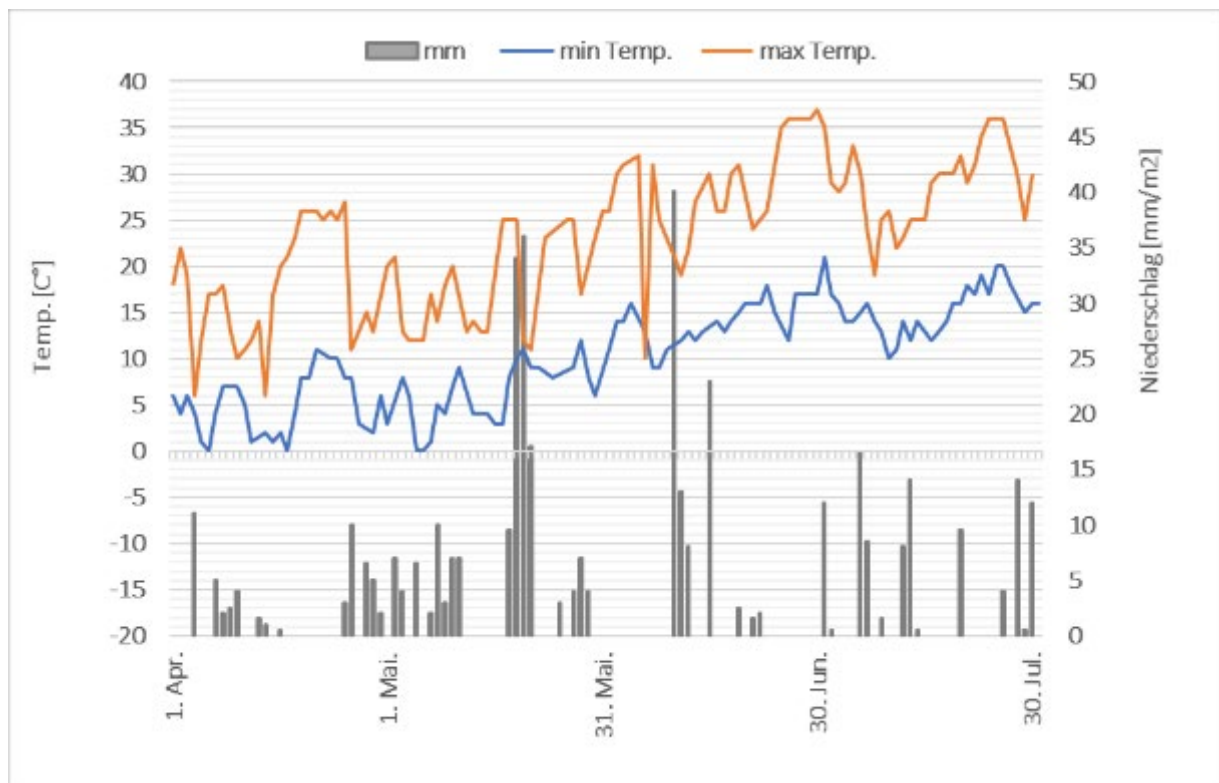


Abbildung 15: Wetterdaten 1.4.19 bis 30.7.19, Standort Rimpertsweiler

4.1.2 Versuchsjahr 2020

Standort

Im Jahr 2020 stand der Versuch auf einer waldnahen Ackerfläche des Hofguts Rimpertsweiler (Schlag „Waldrand“). Beim Boden handelte es sich um einen mittleren Boden aus sandigem Lehm. Es wurden acht Bodenproben untersucht. Es zeigte sich wiederum ein Mangel an pflanzenverfügbarem K und P (Gehalts-Klasse B), für Mg hingegen eine optimale Versorgung (Gehalts-Klasse C). Der pH-Wert lag zwischen 5,9 und 7,2 und war damit teilweise zu sauer für Linsen. Negative Auswirkungen des niedrigen pH-Wertes konnten aber im Versuchsverlauf aufgrund des hohen Unkrautdrucks nicht identifiziert werden.

Nach Frühjahrsumbruch erfolgte eine Saatbettbereitung mit Grubber und Kreiselegge. Vorfrucht waren Petersilie und Lauch. Am 8. April war die Aussaat, einen Tag später wurde gewalzt. Es erfolgte keine Düngung.

Ende März bis Anfang April herrschte starke Trockenheit. Der Aussattermin war kurz vor Einsetzen einer 4-wöchigen Trockenperiode.

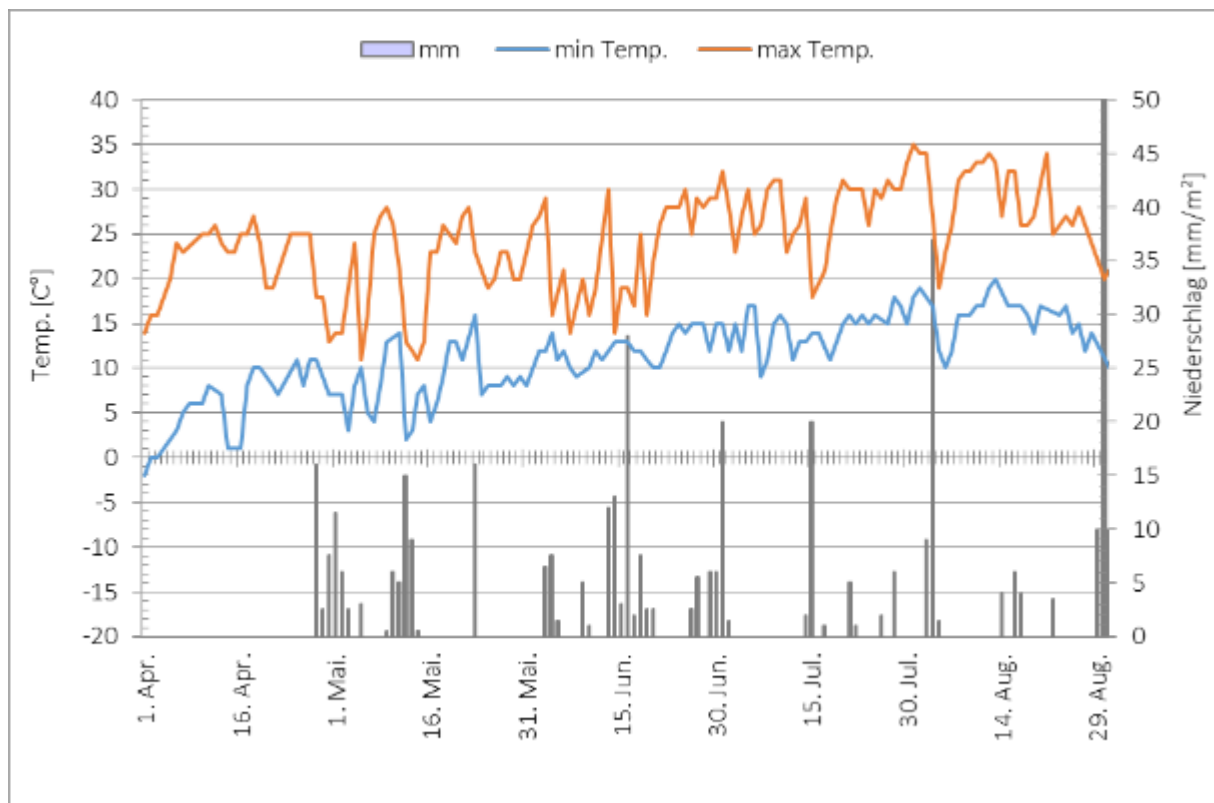


Abbildung 16: Wetterdaten vom 1.4.20 bis 30.8.20, Standort Rimpertsweiler

Versuchsaufbau im Jahr 2020

Eine Ertragsprüfung im Feldversuch wurde bei 34 Sorten und Zuchtlinien mit ausreichend Saatgut durchgeführt. Neben den vier Vergleichssorten Dunkelgrün marmorierte Ablinse / Anicia, Linse vom Oberen Lindenhof, Späths Ablinse I, Späths Ablinse II wurde eine weitere Vergleichssorte, die Kleine Schwarze, ausgesät. Als Stützfrucht wurde Leindotter verwendet. Es wurden die gleichen Saatstärken wie im Vorjahr genutzt. Die Aussaat erfolgte kurz vor der vierwöchigen Trockenperiode, was zur Folge hatte, dass zunächst nur etwa die Hälfte der Saat aufging. Die andere Hälfte lief erst stark verzögert auf, nach wieder einsetzendem Regen. Um die später keimenden Linsenpflanzen nicht zu gefährden, konnte erst am 21. Mai gestriegelt werden. Dieser Umstand und der ohnehin hohe Unkrautdruck durch die Gemüsevorfrucht führten zu einer übermäßigen Verunkrautung des Versuchs, was sowohl die Durchführbarkeit der Bonituren als auch das Erntergebnis negativ beeinflusste. Außerdem kam es zum ersten Mal im Linsenanbau am Bodensee zu erheblichen Ertragsminderungen durch Pflanzenviren: eingerollte Triebe und

Vergilbungen traten vermehrt auf. Pflanzenproben wurden zur Analyse an das Landwirtschaftliche Technologiezentrum geschickt, die Analysen ergaben den Befall mit Bohnenblattrollvirus (BLRV) und Gelbverzwergungsvirus (PEMV). Linsen vom Typ 'de Puy' waren weniger geschädigt und zeigten auch einen deutlich besseren Ertrag.



Abbildung 17: Symptome der Viruserkrankungen

Bedingt durch die oben genannten Probleme konnten im Feldversuch nur in etwa so viel geerntet werden, wie gesät worden war.

4.1.3 Versuchsjahr 2021

Da im Jahr 2020 aufgrund der schwierigen Wetterbedingungen die erhobenen Daten im Feldversuch wenig aussagekräftig waren, wurden im Jahr 2021 an den ausgewählten Sorten und Linien erneut die wichtigsten Bonituren sowie eine Ertragsauswertung vorgenommen.

Standort

Die Sortenprüfung, sowie kleinere Vermehrungsflächen standen in Rimpertsweiler auf der Fläche „Aspen“ auf 550 m ü. NN. Vorfrucht war Klee gras. Die leicht hängige Lage des Ackers führte erneut zu einer großen Bodenheterogenität, so dass sich die Wachstumsbedingungen der Linsen in der Fläche unterschieden.

Tabelle 2: *Bodenuntersuchung Acker "Aspen" in Rimpertsweiler, Probenahme 24.3.21*

Körnung	Sandiger Lehm
pH-Wert	7,4
Kalkbedarf	0 CaO dt ha ⁻¹
P ₂ O ₅ mg 100g ⁻¹	4,75
K ₂ O mg 100g ⁻¹	14,25
Mg mg 100g ⁻¹	8

Die Ergebnisse der Bodenuntersuchung zeigten einen leicht basischen Boden, mit einem starken Mangel an Phosphat und Magnesium, sowie eine leichte Unterversorgung an Kalium.

Temperatur und Niederschlag

Der Mai war kühl und nass und die Linsenbestände entwickelten sich zunächst gut, auch der Unkrautdruck war kontrollierbar. Mitte Juni wurde die Jahreshöchsttemperatur erreicht, was zu einer frühzeitigen Abreife führte. Darauf folgte wieder eine intensive Regenperiode was zu einer frühen Abreife der Linsenpflanzen am Rimpertsweiler Hof führte, so dass bereits am 21.7. geerntet werden konnte.

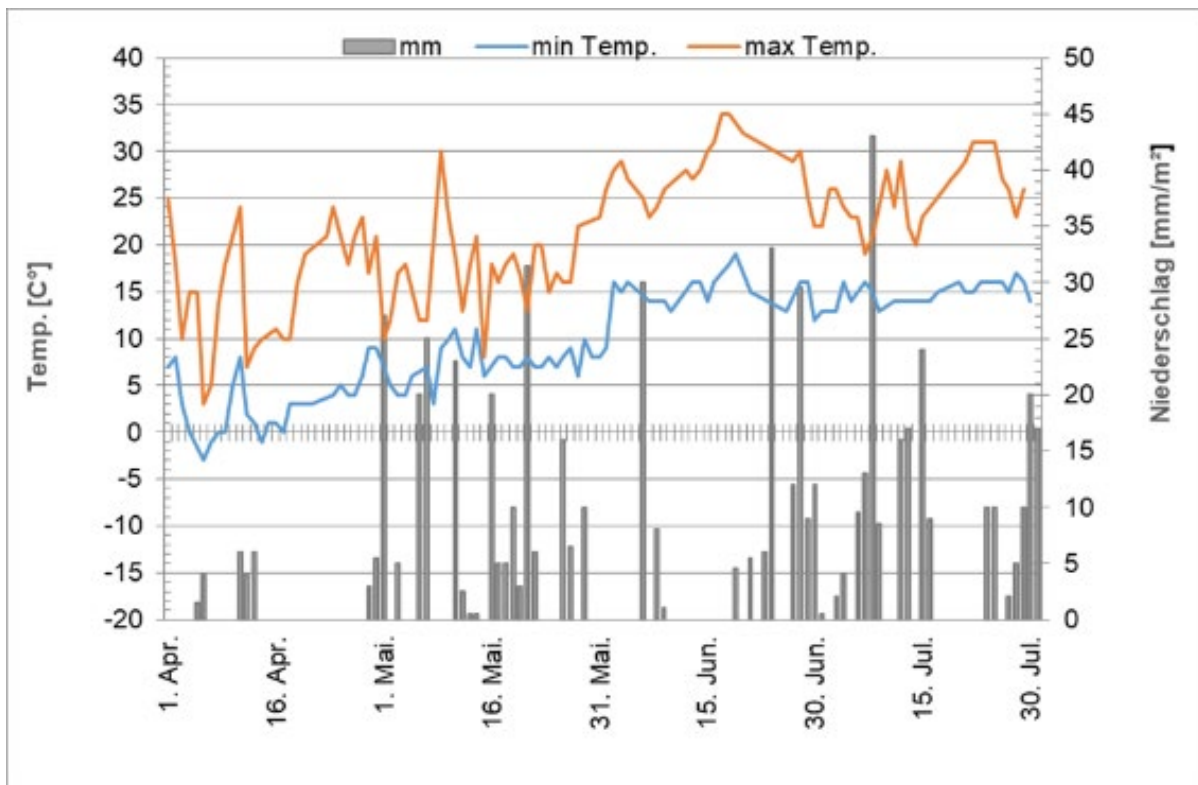


Abbildung 18: Wetterdaten vom 1.4.21 bis 30.7.21, Standort Rimpertsweiler.

Versuchsaufbau im Jahr 2021

Die Parzellengröße umfasste 6 m². Die vier Wiederholungen je Herkunft wurden in einer Reihe gesät (Split-Plot-Design). Vorrucht war Roggen. Die Aussaat erfolgte am 9.3. mit 230 Linsensamen m⁻² zusammen mit 500 Leindottersamen m⁻² als Stützfrucht.

Da eine erneute Prüfung im Jahr 2021 im Arbeitsplan ursprünglich nicht vorgesehen war, wurde nur eine kleinere Auswahl an Genotypen verwendet und nur die wichtigsten Bonituren und Messungen vorgenommen. Bonitiert wurden daher anstelle aller Deskriptoren (siehe Kapitel 17.1) lediglich Biomassebildung zu BBCH30, Blühbeginn, Blühende, Pflanzenhöhe, Ansatzhöhe der 1. Hülse, Stärke der Verzweigung, Verrankung, Standfestigkeit, Lager, Ertrag, Anteil konsumfähiger Ware am Ertrag (%).

Folgende Herkünfte wurden nach den Ergebnissen der Vorjahre für die Sortenprüfung ausgewählt:

Tabelle 3: Linsenfeldversuch Auswahl 2021

Bezeichnung	Herkunft
Lefkada 2016	Griechenland
kleine Schwarze wickenartig beige	Keyserlingk
Dunkelgrün marmorierte Alblinse / Anicia (Vergleichssorte)	Frankreich
B2 kleine Beige	Keyserlingk
B2 kl beige GW18/140	Keyserlingk
B3 Rosana Horn 18	Keyserlingk
Kleine Schwarze (Vergleichssorte)	IPK Lens 106
Späth2 18x	Keyserlingk
Späth2 GW18 Elite	Selektion Keyserlingk
kl S wickenartig	Keyserlingk
Späth 2 Vergleichssorte	IPK Lens 630
Späth1 rot	Selektion Keyserlingk
Späth 1 Vergleichssorte	IPK Lens 629
Späth 2 Elite Hands 18	Selektion Keyserlingk
Lefkada X GW18 Elite 1,7_8	Keyserlingk
Rosana klein 18	Keyserlingk
Späth2 Elite	Selektion Keyserlingk
Puy klein 18/ 45,46	Keyserlingk
Rosalinse	Keyserlingk

Statistische Auswertung

Die erhobenen Daten wurden nach einer Nächstnachbarschaftsanalyse und Regressionsanalyse auf Korrelationen zum geernteten Ertrag untersucht.

4.2 Ergebnisse

Über drei Jahre wurden Bonituren und Messungen vorgenommen, um einen Zusammenhang zwischen den Erträgen und den erhobenen Parametern zu finden. Bei der Untersuchung der verschiedenen Korrelationen zur Höhe des Ertrages wurde das Versuchsjahr 2020 nicht berücksichtigt, da die Erntemenge kaum die Aussaatmenge überstieg und sich somit keine Unterschiede zwischen den einzelnen Sorten und Zuchtlinien darstellen ließ. Jährlich wechselte auch die Zusammensetzung an ausgewählten Sorten und Linien. Einige wurden aufgrund schlechter Ergebnisse verworfen, andere kamen hinzu. Die Erträge der Sorten und Herkünfte, die sowohl im Jahr 2019 wie auch im Jahr 2021 geprüft wurden sind in Abbildung 19 dargestellt.

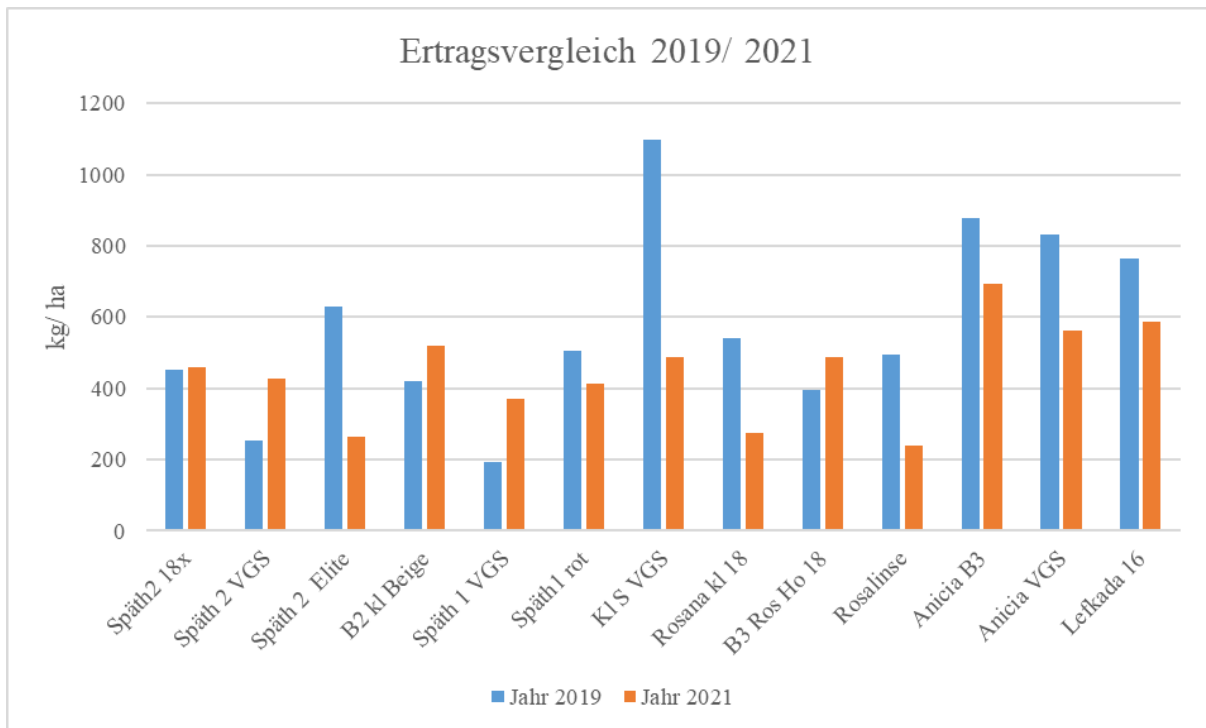


Abbildung 19: Ertragsvergleich 2019/ 2021

Beispielhaft soll in Abbildung 20 eine Bonitur dargestellt werden um aufzuzeigen, inwiefern sich erhobene Merkmale unter unterschiedlichen Umweltbedingungen in den Anbaujahren sorten-spezifisch änderten, bzw. gleichblieben.

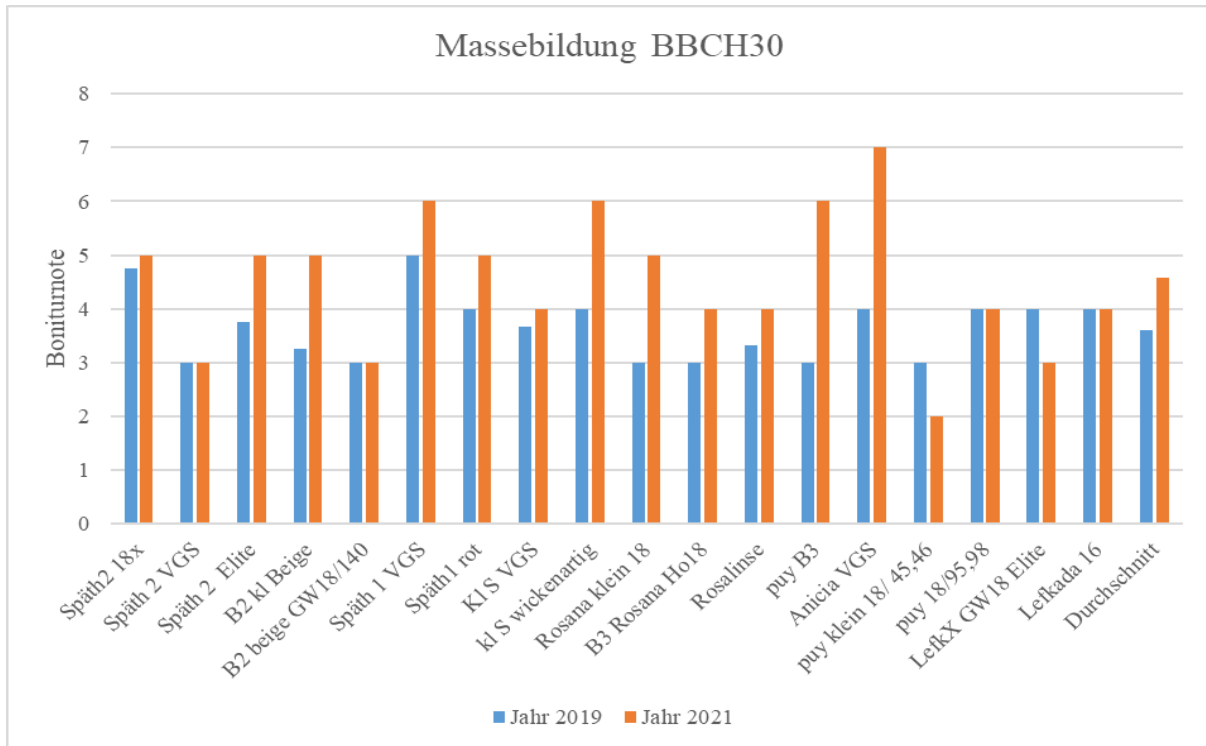


Abbildung 20: Massebildung BBCH 30 (Bonitur 1-9)

Aus den erfassten Merkmalen ergaben sich nur wenige statistisch signifikante Zusammenhänge (Abbildung 21, Abbildung 22). Es zeigten sich positive Korrelationen zwischen Ertrag und Frühreife (1. Hülse reif), Ertrag und Pflanzenhöhe sowie Ertrag und Höhe Ansatzpunkt der ersten Hülse (hier nicht dargestellt).

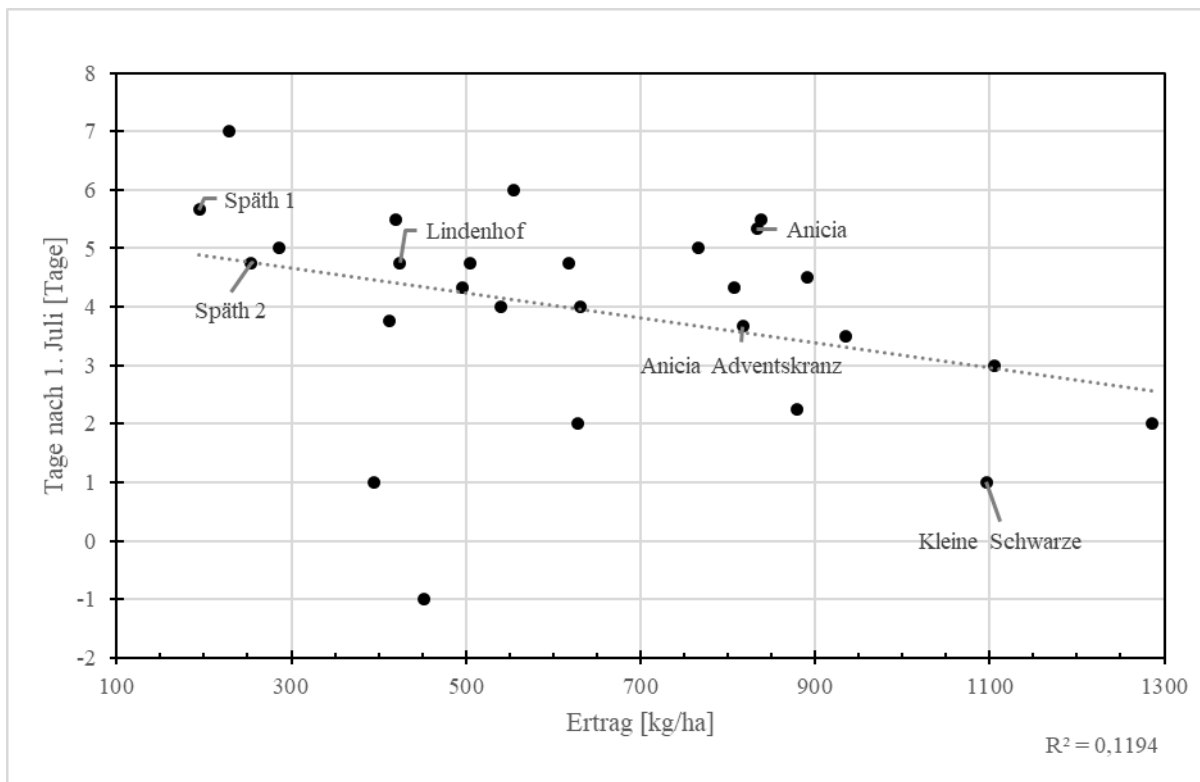


Abbildung 21: Korrelation zwischen Frühreife und Ertrag Versuchsjahr 2019

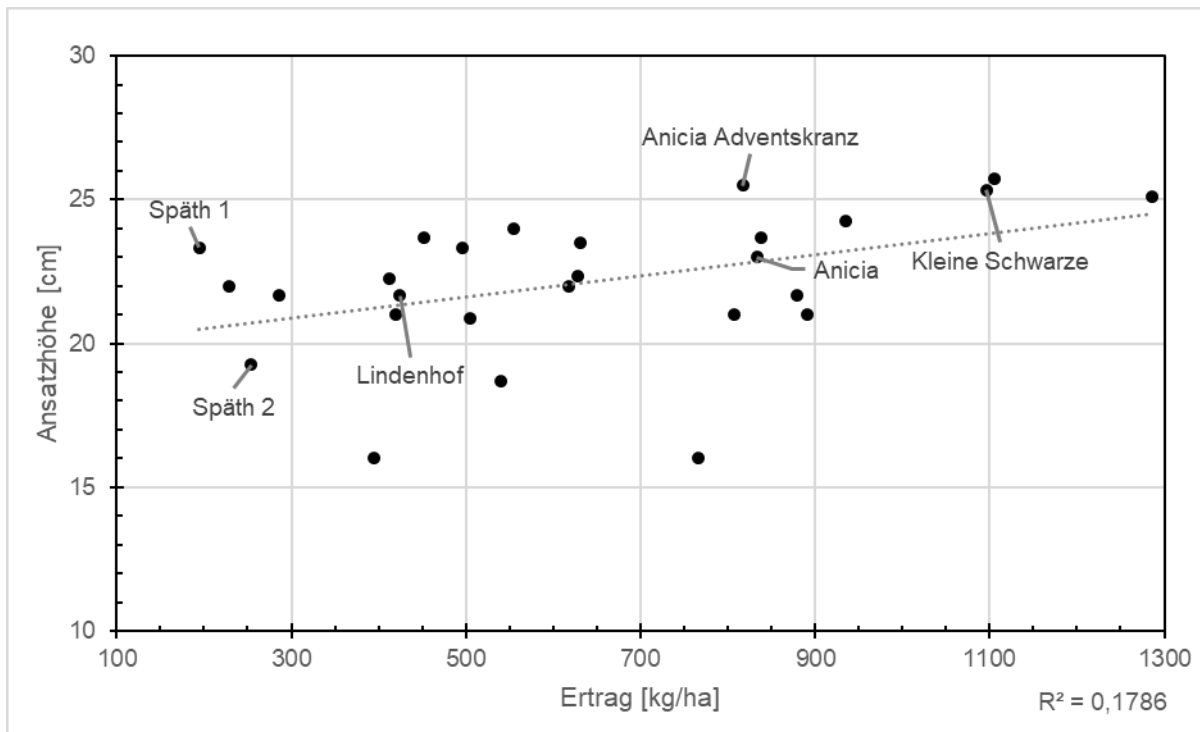


Abbildung 22: Korrelation zwischen Ertrag und Ansatzhöhe der 1. Hülse, Versuchsjahr 2019

Aufgrund der erhobenen Merkmale in den drei Versuchsjahren werden folgende Herkünfte nun am Keyserlingk-Institut favorisiert:

Tabelle 4: Beschreibung der favorisierten Zuchtstämme

Linie	Herkunft	Beschreibung
B2 kleine Beige	Keyserlingk-Institut (Favorit 2019)	Hellbeige Linse, guter Ertrag, spät reif, gesund.
Lefkada X GW18 Elite 1,7_8	Keyserlingk-Institut (Favorit 2020)	Hochwüchsig, Einkreuzung in Lefkada, marmoriert, hohe Platzfestigkeit der Hülsen.
Novourenskaja 3567	Russland, IPK Lens 218	Tolerant/ ggf. resistent gegenüber BLRV, PEMV
Puy 18/ 95, 98	Keyserlingk-Institut (Favorit 2020)	Puy-Linse etwas kleiner als das Original, hohe Samengesundheit, gute Verrankung, hohe Standfestigkeit
Rosalinse	Keyserlingk-Institut (Favorit UHO)	Kleinsamige rötlich-braune Linse vom Typ Rosana; frühblühend, frühreif, hoher Hülsenansatz, gute Verrankung, gesund.
Späth2 18x	Keyserlingk-Institut (Favorit 2020)	Single-seed-descendant aus Späth 2, ertragsstärker, gesünder und standfester als Späth2, rasche Jugendentwicklung
Späth1 rot	Keyserlingk-Institut (Favorit 2020)	Rotfleischige Auslese aus Späth1. Ertragsstärker, gesünder und standfester als Späth1

4.3 Diskussion

In allen drei Versuchsjahren wurden auf den Flächen, auf denen die Versuche standen, nur niedrige bis sehr niedrige Phosphat-Gehalte im Boden festgestellt. Da die Linse nur ein schwaches Vermögen besitzt, um Phosphor im Boden aufzuschließen, ist hier eine mögliche Ursache für die relativ geringen Erträge zu sehen. Die empfohlene Düngermenge wären 40 – 90 kg P₂O₅ plus Abfuhr gewesen, die jedoch in den Versuchen nicht eingesetzt wurde. Es konnten in anderen Versuchen signifikante Ertragserhöhungen in Abhängigkeit zu Phosphatdüngung festgestellt werden. Als Gründe wurden eine höhere TKM aber auch eine verbesserte Molybdänaufnahme angegeben. Diese wiederum beeinflusste die Knöllchenbildung und N-Fixierung

positiv (Singh et al., 2017). Für den weiteren Linsenanbau am Bodensee stellt sich die Frage, wie man die Auswirkungen des P-Mangels in Zukunft abschwächen könnte. Denkbar wäre eine Pelletierung mit phosphorhaltigem Mist oder Kompost (Versuche hierzu werden aktuell vom Keyserlingk-Institut durchgeführt).

Aufgrund der Verunkrautung des Versuchs in 2020 sind vor allem die Erträge nicht aussagekräftig. Die Parzellen mussten zweifach befahren werden, um zunächst die großen Beikräuter zu entfernen und anschließend die darunter wachsenden Linsen zu ernten. Hinzu kam, dass die Feuchtigkeit im Bestand und im Erntegut durch das grüne Beikraut (vorwiegend Weißer Gänsefuß und Vogelknöterich) zu Fäulnis an den Linsen führte. Daraus resultierte eine teilweise stark verminderte Keimfähigkeit. Einzelne Linien wiesen nur noch Keimfähigkeiten von unter 50 % auf. Im Schnitt wurde die Menge geerntet, die auch gesät worden war. Die 2019 gewonnenen Ergebnisse konnte daher im Folgejahr in den Kleinparzellen nicht bestätigt werden, weil hier vorwiegend der Beikrautdruck ausschlaggebend für den Ertrag war. Positiv gesehen haben hierdurch nur die robusten, gesunden Genotypen überlebt und sind somit ein wertvolles Fundament für eine weitere Saatgutvermehrung.

5. Arbeitspaket 2: Standortanpassung und Evolutionäre Züchtung von Linsen (verantwortlich Uni Kassel)

5.1 Material und Methoden

In den Vorarbeiten unterlagen vier heterogene Populationen (Pop1-4) aus dem Zuchtprogramm der University of Saskatchewan / Kanada von 2014 bis 2016 an je drei Orten in Deutschland drei Generationen der natürlichen Auslese. Die Orte waren Schönhagen (Ton, mäßige Wasserversorgung, ökologisch), Reinshof (Lösslehm; gute Wasserversorgung, konventionell) und Tangsehl (Sand, geringe Wasserversorgung, ökologisch). Pop1 und Pop2 wurden aus vier F₈-Linien erstellt, Pop3 und Pop4 aus je 20 F₃-Linien.

AP2 A: Leistung und Standortanpassung diverser Populationen

Der Testanbau zum Vergleich der resultierenden 12 Populationen wurde 2020 und 2021 dreiertig mit drei Wiederholungen in 5 m²-Parzellen durchgeführt. Die Orte der Auslese standen nicht mehr zur Verfügung, deshalb wurden folgende Orte ausgewählt, um die möglichen Anbauggebiete der Linse zu repräsentieren: Fahrenbach (F, Ton, mäßige Wasserversorgung, ökologisch), Neu-Eichenberg (NEB, Lösslehm; gute Wasserversorgung, konventionell) und ZALF (Sand, geringe Wasserversorgung, ökologisch). Der Anbau erfolgte in einer Spaltanlage mit Ausgangspopulation als Hauptteilstück. Zum Vergleich der Leistung mit aktuell angebauten Linsensorten wurden die Alblinsen 1 und 2, sowie Lindenhof einbezogen. Alle Varianten wurden agronomisch, morphologisch und phänologisch untersucht, um neben der Leistung auch die Veränderung gegenüber der Ausgangspopulation zu erfassen und adaptive Eigenschaften finden zu können. Zur Erfassung des Strohertrags war eine Handernte erforderlich.

AP2 B Molekulare Charakterisierung der resultierenden Populationen

Ziel der molekularen Charakterisierung war eine genetische Charakterisierung basierend auf Pools von Individuen in Populationen ähnlich wie beschrieben bei Beissinger et al. (2014) für Mais. Von 12 Populationen (4 Ausgangspopulation x 3

Selektionen) wurden jeweils 50 Individuen ausgewählt und das entsprechende Saatgut an die LGC Genomics GmbH (Berlin) versandt. Dort wurde für alle 12 Populationen jeweils eine gepoolte DNA-Isolation durchgeführt, Illumina-Bibliotheken erstellt und mit jeweils 400 Sequenzen mit jeweils 2 x 150 bp Sequenzen erstellt. Eine GBS-Analyse (Detektion von Einzelnukleotidpolymorphismen) wurde durchgeführt und die Sequenzen an die Uni Kassel übertragen.

AP2 C: Vergleich der Leistung von Populationen mit ihren Komponenten

Von zwei der vier Populationen liegt ein Nachbau der jeweils vier Ausgangskomponenten (F₈-Linien) vor. Diese wurden für Pop1 und Pop2 in die unter AP2 A geschriebene Versuchsanlage integriert.

AP2 D: Selektion hervorragender Einzelpflanzen

Hervorragende Einzelpflanzen aus den in AP2 A angebauten Populationen wurden bei reduzierter Bestandesdichte selektiert. Einzelpflanzen von Populationen, die auf Tonboden der natürlichen Auslese ausgesetzt waren, wurden auf Tonboden selektiert; desgleichen für die Auslesen von Lehm- und Sandboden.

10 Einzelpflanzen-Nachkommenschaften, sowie die Alblinsen I und II wurden und in AP3 (in Kooperation mit UHO1) in 2 Wiederholungen am Standort Kleinhohenheim geprüft.

Von jeder Selektion der vier Ausgangspopulationen wurden im Durchschnitt 110 Einzelpflanzen selektiert. Die ertragreichsten 60 wurden in Neu-Eichenberg in den Jahren 2021 (Pop1, Pop2) und 2022 (Pop3, Pop4) in Doppelreihen mit insgesamt 40 Samen in Mini-Parzellen gesät und beschrieben. Saatgut wurde für Folgeprojekte aufbereitet.

AP2 E: Erfassung von Fußkrankheiten

An den drei Versuchsorten Fahrenbach, Neu-Eichenberg und ZALF wurden je 128 Pflanzen mit und ohne Krankheitssymptome (Welke, Vergilbung, Verbraunung, gestauchter Wuchs) als Stichprobe gezogen. Die Schadsymptome an Wurzel und

Wurzelhals wurden untersucht. Der Schwerpunkt wurde entsprechend dem bisherigen Wissen auf *Fusarium* spp. gelegt.

5.2 Ergebnisse

Seit März 2021 arbeitet Shafikur Rahman als Doktorand mit Promotionsstipendium aus Bangladesh im Projekt. Dadurch konnte die Tätigkeit erheblich erweitert werden, allerdings verschiebt sich die Auswertung. Viele Tabellen und Abbildungen sind mit Blick auf die geplanten Veröffentlichungen in englischer Sprache verfasst.

Das unterschiedliche Ertragsniveau der Testorte und der starke Jahreseffekt sind in Tabelle 5 dargestellt. Die Wasserversorgung hing erheblich vom Ort ab und nahm in der Reihenfolge Sand < Ton < Lehm zu. 2020 war ein trockenes Jahr, 2021 war durch deutlich höhere Niederschläge in der Vegetationsperiode geprägt. In Abbildung 23 ist exemplarisch die sehr unterschiedliche Wasserversorgung der Testorte dargestellt. Selbst in einem überregional feuchten Jahr war der Bodenwassergehalt beim ZALF so gering, dass die Abreife beschleunigt wurde.

Tabelle 5: *Samenertrag, Samengewicht und Ernteindex im Mittel aller Populationen an den drei Testorten in 2020 und 2021*

Test locations	Traits	2020	2021	Mean
Fahrenbach (Clay)	Seed yield (g)	932	463	697
	Harvest Index	0,51	0,37	0,44
	Seed weight (mg)	42,62	40,49	41,55
Neu-Eichenberg (Loam)	Seed yield (g)	1203	1234	1218
	Harvest Index	0,51	0,29	0,40
	Seed weight (mg)	42,55	39,08	40,81
ZALF (Sand)	Seed yield (g)	384	555	469
	Harvest Index	0,26	0,36	0,31
	Seed weight (mg)	34,15	39,10	36,63

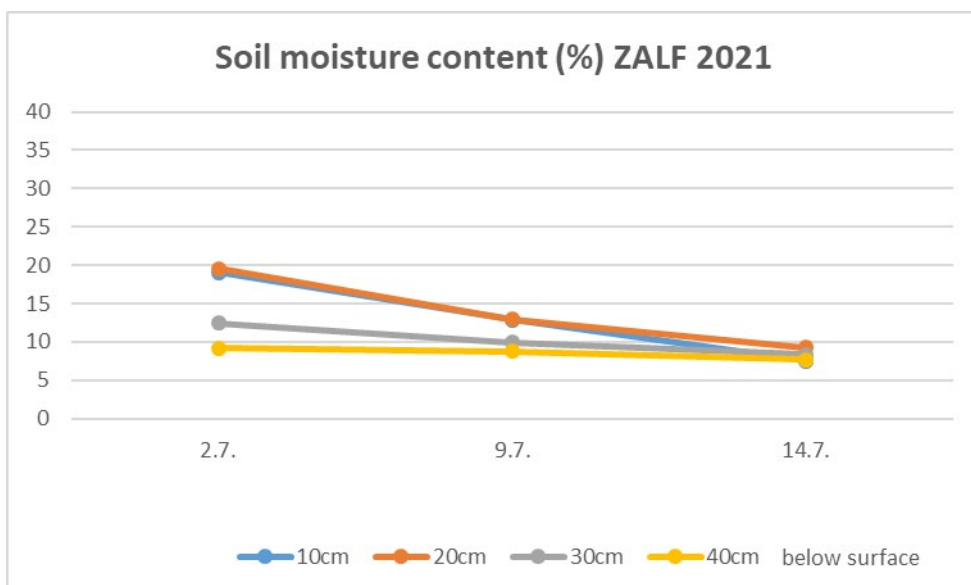
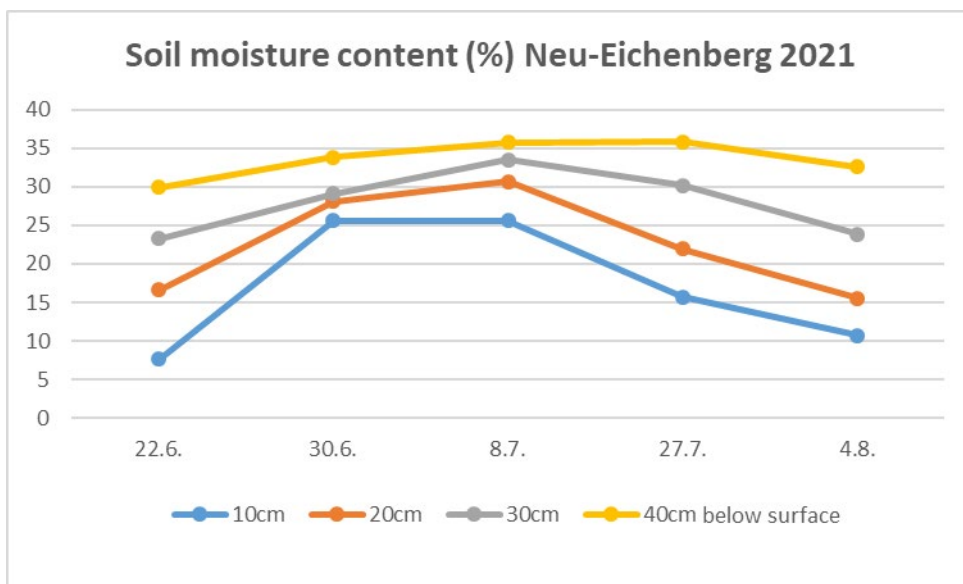
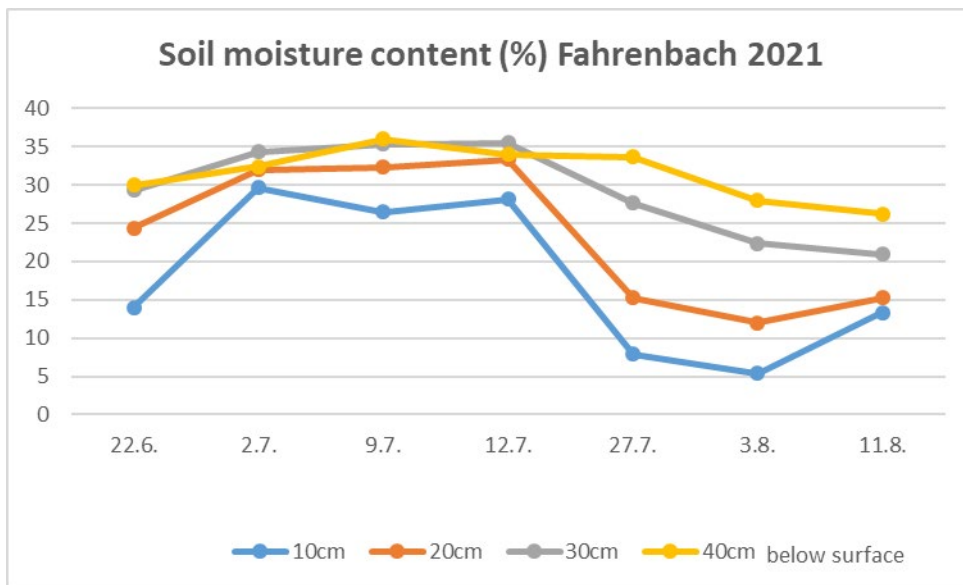


Abbildung 23: Bodenwassergehalt an den Testorten 2021

In Tabelle 6 ist dargestellt, dass das mittlere Ertragsniveau aller vier Populationen den mittleren Ertrag der Standardsorten überstieg. Das war auch an jedem Ort einzeln der Fall; eingeschränkt beim ZALF. Das Samengewicht der Populationen lag im Bereich der Standardsorten bzw. erweiterte das Spektrum mit Pop4 hin zu größeren Samen.

Tabelle 6: Samenertrag, Ernteindex und Samengewicht für Pop1-4 im Vergleich mit drei Standardsorten an drei Testorten 2020 und 2021

	Test locations	Years	Pop1	Pop2	Pop3	Pop4	Alblinse I	Alblinse II	Lindenhof	Mean	
Seed yield (g/plot)	Fahrenbach (Clay)	2020	903	990	980	853	667	681	882	997	
		2021	504	445	475	429	349	288	329	605	
		Mean	704	718	727	641	508	485	605	627	
	Neu-Eichenberg (Loam)	2020	1183	1263	1287	1077	800	829	919	1172	
		2021	1099	1417	1500	921	764	849	1050	1203	
		Mean	1141	1340	1394	999	782	839	985	1068	
	ZALF (Sand)	2020	197	594	489	255	77	160	310	513	
		2021	526	597	540	556	511	516	557	728	
		Mean	362	596	515	405	294	338	433	420	
	Mean		736	884	879	682	528	554	674	705	
	Harvest index	Fahrenbach (Clay)	2020	0,51	0,54	0,53	0,45	0,44	0,53	0,51	0,50
			2021	0,36	0,41	0,41	0,31	0,32	0,39	0,37	0,37
Mean			0,43	0,48	0,47	0,38	0,38	0,46	0,44	0,43	
Neu-Eichenberg (Loam)		2020	0,49	0,55	0,53	0,46	0,41	0,50	0,47	0,49	
		2021	0,26	0,32	0,34	0,23	0,20	0,31	0,30	0,28	
		Mean	0,38	0,44	0,43	0,34	0,30	0,40	0,39	0,38	
ZALF (Sand)		2020	0,16	0,35	0,32	0,21	0,14	0,24	0,28	0,24	
		2021	0,33	0,41	0,40	0,32	0,27	0,44	0,47	0,38	
		Mean	0,25	0,38	0,36	0,26	0,20	0,34	0,38	0,31	
Mean			0,35	0,43	0,42	0,33	0,30	0,40	0,40	0,38	
Seed weight (mg)		Fahrenbach (Clay)	2020	43,0	32,5	35,1	59,9	46,9	30,1	41,2	41,2
			2021	42,3	32,1	33,2	54,4	43,1	27,6	28,9	37,4
	Mean		42,7	32,3	34,1	57,1	45,0	28,9	35,0	39,3	
	Neu-Eichenberg (Loam)	2020	43,7	29,6	36,4	60,6	44,2	27,5	35,3	39,6	
		2021	38,4	31,1	32,9	53,9	40,0	23,6	30,8	35,8	
		Mean	41,0	30,3	34,7	57,2	42,1	25,6	33,1	37,7	
	ZALF (Sand)	2020	32,2	28,7	29,0	46,7	44,5	21,9	28,6	33,1	
		2021	40,3	30,5	31,1	54,5	42,2	25,1	30,6	36,3	
		Mean	36,2	29,6	30,1	50,6	43,3	23,5	29,6	34,7	
	Mean		40,0	30,8	33,0	55,0	43,5	26,0	32,6	37,2	

AP2 A: Leistung und Standortanpassung diverser Populationen

Die Varianzanalyse des Samenertrags (Tabelle 7) zeigte signifikante Effekte von Ort und Jahr, aber nicht von Population und Selektion. Es gab signifikante Interaktion Population x Ort und Ort x Jahr.

Abbildung 24 zeigt deutlich die bereits besprochenen Unterschiede im Samenertrag nach Jahren und Orten und zusätzlich die Leistung der verschiedenen Selektionen. Um eine mögliche Standortanpassung finden zu können, wird die Leistung der Selektion auf Sand mit der Leistung auf Sand verglichen, usw.; in Tabelle 8 sind diese Kombinationen markiert. Eine entsprechende Anpassung ist an keinem der drei Orte erkennbar. Eine Überlegenheit einer der Selektionen wurde ebenfalls nicht beobachtet. In den Tabellen 9 bis 14 ist der Effekt der natürlichen Auslese auf weitere Merkmale dargestellt. Besonders die morphologische Eigenschaft „% pigmentierte Pflanzen“ (Tabelle 13) zeigt, dass für alle vier Populationen eine natürliche Auslese stattgefunden hat, da die Werte für die Selektionen sehr deutlich variieren.

Tabelle 7: *Varianzanalyse für Samenertrag von drei Selektionen (selection) der Populationen 1-4 (pop) an drei Testorten (loc) 2020 und 2021 (year)*

	Chisq	Df	Pr(>Chisq)
pop	1.5623	3	0.6679659
selection	0.0080	2	0.9960042
loc	17.3229	2	0.0001731 ***
year	25.5209	1	4.376e-07 ***
pop:selection	0.7084	6	0.9943072
pop:loc	47.4720	6	1.506e-08 ***
selection:loc	2.3202	4	0.6771009
pop:year	2.5290	3	0.4700690
selection:year	0.7877	2	0.6744709
loc:year	244.4393	2	< 2.2e-16 ***
pop:selection:loc	3.1077	12	0.9947347
pop:selection:year	6.6106	6	0.3583591
pop:loc:year	50.2476	6	4.193e-09 ***
selection:loc:year	0.4939	4	0.9740924
pop:selection:loc:year	19.2038	12	0.0837282 .

*** p=0.001

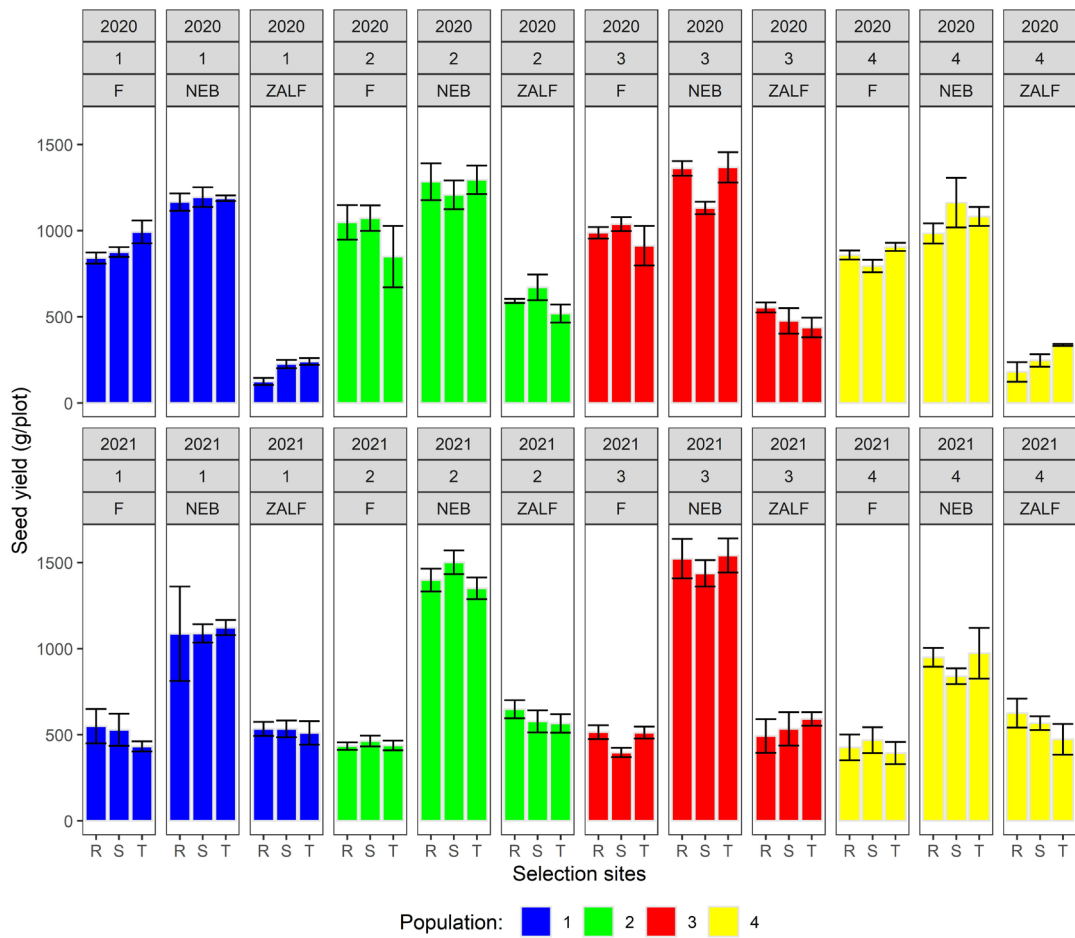


Abbildung 24: Samenertrag von Selektionen auf Lehm- (R), Ton- (S) und Sandboden (T) von vier Populationen an den Testorten F, NEB, ZALF 2020 und 2021

Tabelle 8: Samenertrag von Selektionen auf Lehm- (R), Ton- (S) und Sandboden (T) von vier Populationen an den Testorten F, NEB, ZALF 2020 und 2021

Seed yield (g/plot) Test locations	Years	Selection sites	Pop1	Pop2	Pop3	Pop4	Mean
Fahrenbach (Clay)	2020	Clay (S)	876	1073	1039	795	946
		Loam (R)	841	1048	988	859	934
		Sand (T)	993	849	913	906	915
	2021	Clay (S)	529	463	397	468	464
		Loam (R)	550	434	515	426	481
		Sand (T)	432	438	512	394	444
	Mean 20/21	Clay (S)	703	768	718	632	705
	Mean 20/21	Loam (R)	696	741	752	642	708
	Mean 20/21	Sand (T)	713	644	712	650	680
Neu-Eichenberg (Loam)	2020	Clay (S)	1195	1208	1132	1163	1175
		Loam (R)	1167	1285	1362	984	1199
		Sand (T)	1189	1295	1368	1083	1234
	2021	Clay (S)	1088	1502	1437	840	1217
		Loam (R)	1086	1398	1523	949	1239
		Sand (T)	1122	1351	1541	973	1247
	Mean 20/21	Clay (S)	1142	1355	1285	1001	1196
	Mean 20/21	Loam (R)	1126	1341	1442	967	1219
	Mean 20/21	Sand (T)	1156	1323	1454	1028	1240
ZALF (Sand)	2020	Clay (S)	226	671	477	247	405
		Loam (R)	125	592	554	180	363
		Sand (T)	241	519	438	337	384
	2021	Clay (S)	534	577	534	567	553
		Loam (R)	534	648	493	626	575
		Sand (T)	510	565	592	474	535
	Mean 20/21	Clay (S)	380	624	505	407	479
	Mean 20/21	Loam (R)	330	620	523	403	469
	Mean 20/21	Sand (T)	376	542	515	405	459

Tabelle 9: Ernteindex von Selektionen auf Lehm- (R), Ton- (S) und Sandboden (T) von vier Populationen an den Testorten F, NEB, ZALF 2020 und 2021

Harvest index Test locations	Years	Selection sites	Pop1	Pop2	Pop3	Pop4	Mean
Fahrenbach (Clay)	2020	Clay (S)	0,51	0,55	0,54	0,41	0,50
		Loam (R)	0,50	0,55	0,54	0,49	0,52
		Sand (T)	0,51	0,53	0,50	0,44	0,50
	2021	Clay (S)	0,36	0,43	0,40	0,34	0,39
		Loam (R)	0,38	0,40	0,41	0,29	0,37
		Sand (T)	0,34	0,40	0,41	0,31	0,36
	Mean 20/21	Clay (S)	0,44	0,49	0,47	0,38	0,44
	Mean 20/21	Loam (R)	0,44	0,48	0,48	0,39	0,45
	Mean 20/21	Sand (T)	0,42	0,46	0,45	0,37	0,43
Neu-Eichenberg (Loam)	2020	Clay (S)	0,50	0,56	0,51	0,44	0,50
		Loam (R)	0,50	0,55	0,54	0,49	0,52
		Sand (T)	0,49	0,53	0,53	0,45	0,50
	2021	Clay (S)	0,25	0,34	0,33	0,21	0,28
		Loam (R)	0,26	0,33	0,36	0,24	0,30
		Sand (T)	0,26	0,31	0,33	0,24	0,28
	Mean 20/21	Clay (S)	0,37	0,45	0,42	0,32	0,39
	Mean 20/21	Loam (R)	0,38	0,44	0,45	0,36	0,41
	Mean 20/21	Sand (T)	0,37	0,42	0,43	0,34	0,39
ZALF (Sand)	2020	Clay (S)	0,19	0,36	0,30	0,19	0,26
		Loam (R)	0,14	0,37	0,35	0,18	0,26
		Sand (T)	0,16	0,33	0,31	0,26	0,26
	2021	Clay (S)	0,34	0,42	0,38	0,31	0,37
		Loam (R)	0,34	0,41	0,39	0,33	0,37
		Sand (T)	0,31	0,38	0,42	0,32	0,36
	Mean 20/21	Clay (S)	0,27	0,39	0,34	0,25	0,31
	Mean 20/21	Loam (R)	0,24	0,39	0,37	0,25	0,31
	Mean 20/21	Sand (T)	0,24	0,36	0,37	0,29	0,31

Tabelle 10: Samengewicht von Selektionen auf Lehm- (R), Ton- (S) und Sandboden (T) von vier Populationen an den Testorten F, NEB, ZALF 2020 und 2021

Seed weight (mg) Test locations	Years	Selection sites	Pop1	Pop2	Pop3	Pop4	Mean
Fahrenbach (Clay)	2020	Clay (S)	44,04	31,87	33,80	65,02	43,68
		Loam (R)	42,38	32,84	33,82	56,33	41,34
		Sand (T)	42,56	32,82	37,53	58,40	42,83
	2021	Clay (S)	43,02	30,53	32,69	55,89	40,53
		Loam (R)	42,27	32,09	32,00	55,18	40,38
		Sand (T)	41,67	33,64	34,84	52,07	40,56
	Mean 20/21	Clay (S)	43,53	31,20	33,24	60,46	42,11
	Mean 20/21	Loam (R)	42,32	32,47	32,91	55,76	40,86
	Mean 20/21	Sand (T)	42,11	33,23	36,19	55,23	41,69
Neu-Eichenberg (Loam)	2020	Clay (S)	45,29	24,11	34,20	61,69	41,32
		Loam (R)	42,51	31,64	38,67	62,42	43,81
		Sand (T)	43,20	32,93	36,31	57,58	42,51
	2021	Clay (S)	39,73	32,62	32,20	54,93	39,87
		Loam (R)	36,31	30,11	31,76	53,98	38,04
		Sand (T)	39,09	30,56	34,82	52,80	39,32
	Mean 20/21	Clay (S)	42,51	28,37	33,20	58,31	40,60
	Mean 20/21	Loam (R)	39,41	30,88	35,21	58,20	40,93
	Mean 20/21	Sand (T)	41,14	31,74	35,57	55,19	40,91
ZALF (Sand)	2020	Clay (S)	33,47	28,13	28,42	45,27	33,82
		Loam (R)	29,02	29,36	29,31	47,80	33,87
		Sand (T)	34,02	28,71	29,40	46,89	34,76
	2021	Clay (S)	39,53	30,31	29,84	55,91	38,90
		Loam (R)	41,18	31,62	31,60	55,44	39,96
		Sand (T)	40,11	29,62	32,00	52,07	38,45
	Mean 20/21	Clay (S)	36,50	29,22	29,13	50,59	36,36
	Mean 20/21	Loam (R)	35,10	30,49	30,46	51,62	36,92
	Mean 20/21	Sand (T)	37,07	29,17	30,70	49,48	36,60

Tabelle 11: *Prozentualer Aufgang von Selektionen auf Lehm- (R), Ton- (S) und Sandboden (T) von vier Populationen an den Testorten F, NEB, ZALF 2020 und 2021*

Percent of emergence Test locations	Years	Selection sites	Pop1	Pop2	Pop3	Pop4	Mean
Fahrenbach (Clay)	2020	Clay (S)	0,842	0,844	0,824	0,868	0,845
		Loam (R)	0,818	0,798	0,786	0,752	0,789
		Sand (T)	0,906	0,838	0,814	0,962	0,880
	2021	Clay (S)	0,883	0,740	0,773	0,697	0,773
		Loam (R)	0,620	0,870	0,857	0,833	0,795
		Sand (T)	0,767	0,813	0,693	0,820	0,773
	Mean 20/21	Clay (S)	0,863	0,792	0,799	0,782	0,809
	Mean 20/21	Loam (R)	0,719	0,834	0,821	0,793	0,792
	Mean 20/21	Sand (T)	0,836	0,826	0,754	0,891	0,827
Neu-Eichenberg (Loam)	2020	Clay (S)	0,700	0,783	0,803	0,860	0,787
		Loam (R)	0,723	0,747	0,600	0,607	0,669
		Sand (T)	0,627	0,843	0,763	0,927	0,790
	2021	Clay (S)	0,837	0,793	0,810	0,840	0,820
		Loam (R)	0,873	0,897	0,800	0,993	0,891
		Sand (T)	0,777	0,807	0,837	0,767	0,797
	Mean 20/21	Clay (S)	0,768	0,788	0,807	0,850	0,803
	Mean 20/21	Loam (R)	0,798	0,822	0,700	0,800	0,780
	Mean 20/21	Sand (T)	0,702	0,825	0,800	0,847	0,793
ZALF (Sand)	2020	Clay (S)	0,790	0,683	0,957	0,710	0,785
		Loam (R)	0,663	0,723	0,637	0,527	0,638
		Sand (T)	0,803	0,813	0,790	0,767	0,793
	2021	Clay (S)	0,640	0,667	0,597	0,533	0,609
		Loam (R)	0,493	0,593	0,573	0,413	0,518
		Sand (T)	0,487	0,553	0,580	0,557	0,544
	Mean 20/21	Clay (S)	0,715	0,675	0,777	0,622	0,697
	Mean 20/21	Loam (R)	0,578	0,658	0,605	0,470	0,578
	Mean 20/21	Sand (T)	0,645	0,683	0,685	0,662	0,669

Tabelle 12: Überlebensrate von Selektionen auf Lehm- (R), Ton- (S) und Sandboden (T) von vier Populationen an den Testorten F, NEB, ZALF 2020 und 2021

Percent of survival Test locations	Years	Selection sites	Pop1	Pop2	Pop3	Pop4	Mean
Fahrenbach (Clay)	2020	Clay (S)	0,982	0,975	0,947	0,935	0,960
		Loam (R)	0,940	0,907	0,899	0,899	0,911
		Sand (T)	0,948	0,913	0,993	0,901	0,939
	2021	Clay (S)	0,751	0,754	0,847	0,960	0,828
		Loam (R)	0,935	0,836	0,675	0,808	0,814
		Sand (T)	0,760	0,758	0,931	0,827	0,819
	Mean 20/21	Clay (S)	0,867	0,865	0,897	0,947	0,894
	Mean 20/21	Loam (R)	0,938	0,871	0,787	0,854	0,863
	Mean 20/21	Sand (T)	0,854	0,836	0,962	0,864	0,879
Neu-Eichenberg (Loam)	2020	Clay (S)	0,974	0,957	0,914	0,905	0,937
		Loam (R)	0,835	0,884	0,937	0,806	0,865
		Sand (T)	0,909	0,940	0,846	0,949	0,911
	2021	Clay (S)	0,898	0,872	0,871	0,946	0,897
		Loam (R)	0,887	0,945	0,891	0,699	0,855
		Sand (T)	0,933	0,879	0,961	0,941	0,929
	Mean 20/21	Clay (S)	0,936	0,914	0,892	0,925	0,917
	Mean 20/21	Loam (R)	0,861	0,914	0,914	0,753	0,860
	Mean 20/21	Sand (T)	0,921	0,910	0,904	0,945	0,920
ZALF (Sand)	2020	Clay (S)	0,467	0,837	0,723	0,739	0,691
		Loam (R)	0,420	0,747	0,752	0,437	0,589
		Sand (T)	0,634	0,669	0,645	0,734	0,670
	2021	Clay (S)	0,904	0,867	0,944	0,976	0,923
		Loam (R)	0,952	0,958	0,979	0,970	0,965
		Sand (T)	0,980	0,959	0,937	0,943	0,955
	Mean 20/21	Clay (S)	0,685	0,852	0,834	0,858	0,807
	Mean 20/21	Loam (R)	0,686	0,853	0,865	0,704	0,777
	Mean 20/21	Sand (T)	0,807	0,814	0,791	0,838	0,813

Tabelle 13: Anteil (%) pigmentierter Pflanzen von Selektionen auf Lehm- (R), Ton- (S) und Sandboden (T) von vier Populationen an den Testorten F und NEB, 2020 und 2021

% pigmented plants	Years	Selection sites	Pop1	Pop2	Pop3	Pop4	Mean
Fahrenbach (Clay)	2020	Clay (S)	70,00	70,00	70,00	40,00	62,50
		Loam (R)	100,00	10,00	100,00	100,00	77,50
		Sand (T)	100,00	70,00	10,00	10,00	47,50
	2021	Clay (S)	70,00	66,33	83,33	83,33	75,75
		Loam (R)	76,67	93,33	66,67	63,33	75,00
		Sand (T)	93,33	90,00	83,33	70,00	84,17
	Mean 20/21	Clay (S)	70,00	68,17	76,67	61,67	69,13
	Mean 20/21	Loam (R)	88,33	51,67	83,33	81,67	76,25
	Mean 20/21	Sand (T)	96,67	80,00	46,67	40,00	65,83
Neu-Eichenberg (Loam)	2020	Clay (S)	10,00	40,00	10,00	70,00	32,50
		Loam (R)	40,00	40,00	40,00	100,00	55,00
		Sand (T)	100,00	66,67	66,67	70,00	75,83
	2021	Clay (S)	60,00	96,67	90,00	73,33	80,00
		Loam (R)	46,67	100,00	76,67	60,00	70,83
		Sand (T)	100,00	96,67	83,33	73,33	88,33
	Mean 20/21	Clay (S)	35,00	68,33	50,00	71,67	56,25
	Mean 20/21	Loam (R)	43,33	70,00	58,33	80,00	62,92
	Mean 20/21	Sand (T)	100,00	81,67	75,00	71,67	82,08

Tabelle 14: *Blühbeginn von Selektionen auf Lehm- (R), Ton- (S) und Sandboden (T) von vier Populationen an den Testorten F, NEB, ZALF 2020 und 2021. Höhere Werte bedeuten frühere Blüte.*

intensity of flowering Test locations	Years	Selection sites	Pop1	Pop2	Pop3	Pop4	Mean
Fahrenbach (Clay)	2020	Clay (S)	0,67	2,67	2,67	2,33	2,08
		Loam (R)	0,67	1,67	2,33	3,00	1,92
		Sand (T)	1,33	2,00	2,67	2,67	2,17
	2021	Clay (S)	3,00	3,33	3,33	3,67	3,33
		Loam (R)	3,00	3,00	3,33	4,00	3,33
		Sand (T)	3,00	3,33	3,67	4,00	3,50
	Mean 20/21	Clay (S)	1,83	3,00	3,00	3,00	2,71
	Mean 20/21	Loam (R)	1,83	2,33	2,83	3,50	2,63
	Mean 20/21	Sand (T)	2,17	2,67	3,17	3,33	2,83
Neu-Eichenberg (Loam)	2020	Clay (S)	0,67	2,33	2,00	1,67	1,67
		Loam (R)	0,67	1,33	1,67	2,00	1,42
		Sand (T)	0,00	2,00	1,67	2,33	1,50
	2021	Clay (S)	3,33	4,00	4,00	4,00	3,83
		Loam (R)	3,67	3,67	4,00	4,00	3,83
		Sand (T)	3,33	3,67	4,00	4,00	3,75
	Mean 20/21	Clay (S)	2,00	3,17	3,00	2,83	2,75
	Mean 20/21	Loam (R)	2,17	2,50	2,83	3,00	2,63
	Mean 20/21	Sand (T)	1,67	2,83	2,83	3,17	2,63
ZALF (Sand)	2020	Clay (S)	2,33	2,33	3,00	1,67	2,33
		Loam (R)	2,00	2,33	2,33	3,00	2,42
		Sand (T)	1,33	3,00	2,67	3,00	2,50
	2021	Clay (S)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
		Loam (R)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
		Sand (T)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
	Mean 20/21	Clay (S)	3,17	3,17	3,50	2,83	3,17
	Mean 20/21	Loam (R)	3,00	3,17	3,17	3,50	3,21
	Mean 20/21	Sand (T)	2,67	3,50	3,33	3,50	3,25

AP2 B Molekulare Charakterisierung der resultierenden Populationen

Der Doktorand, der neben den restlichen Analysen des Arbeitspakets diese statistisch genomische Analyse durchführen sollte, hatte bisher nicht die zeitlichen und wissensbasierten Ressourcen die Datenanalyse durchzuführen. Das Fachgebiet „Ökologische Pflanzenzüchtung und Agrarbiogenetik“ stellt ihm aus eigenen Mitteln einen Wissenschaftler zur Seite, der ihm über diese Hürden hinweghilft. Die Ergebnisse der Analyse liegen noch nicht vor; wir erwarten eine Publikation aus dieser molekularen Charakterisierung zu erzielen.

AP2 C Vergleich der Leistung von Populationen mit ihren Komponenten

In Tabelle 15 ist der Samenertrag der ursprünglichen Komponenten A-D von Pop1 und Pop2 im Vergleich mit dem Mittel der Populationen dargestellt; d.h. der jeweils auf Ton, Lehm und Sand selektierten Populationen von Pop1 und Pop2. Bei Pop1 gab es keinen Unterschied zwischen Populationen und Komponenten. Bei Pop2 wurde ein um <5% höherer Ertrag der Populationen gemessen, beeinflusst durch die Leistung in Fahrenbach. Die Variation für den Ernteindex war gering; lediglich bei Pop2 hatte eine Komponente einen deutlich geringeren Wert.

Tabelle 15: Samenertrag (g) der jeweils vier Komponenten (A-D) der Populationen Pop1 und Pop2, sowie die mittlere Leistung der aus Pop1 und Pop2 entstandenen Populationen

Test Locations	Years	Ca1_A	Ca1_B	Ca1_C	Ca1_D	Mean of parental lines	Mean of populations
Fahrenbach (Clay)	2020	728	876	712	929	811	903
	2021	534	588	329	512	491	504
	<i>Mean</i>	631	732	521	720	651	704
Neu-Eichenberg (Loam)	2020	1178	1367	902	1329	1194	1183
	2021	972	1035	976	1343	1082	1099
	<i>Mean</i>	1075	1201	939	1336	1138	1141
ZALF (Sand)	2020	146	133	278	367	231	197
	2021	654	699	636	627	654	526
	<i>Mean</i>	400	416	457	497	443	362
Mean		702	783	639	851	744	736
		Ca2_A	Ca2_B	Ca2_C	Ca2_D	Mean of parental lines	Mean of populations
Fahrenbach (Clay)	2020	838	908	830	1071	912	990
	2021	337	480	465	423	426	445
	<i>Mean</i>	588	694	648	747	669	718
Neu-Eichenberg (Loam)	2020	1197	1170	1266	1151	1196	1263
	2021	1107	1418	1524	1514	1391	1417
	<i>Mean</i>	1152	1294	1395	1332	1293	1340
ZALF (Sand)	2020	364	780	767	686	649	594
	2021	613	489	613	484	550	597
	<i>Mean</i>	489	634	690	585	599	596
Mean		743	874	911	888	854	884

Tabelle 16: Ernteindex der jeweils vier Komponenten (A-D) der Populationen Ca 1 und Ca2, sowie die mittlere Leistung der aus Ca 1 und Ca2 entstandenen Populationen

Test Locations	Years	Ca1_A	Ca1_B	Ca1_C	Ca1_D	Mean of parental lines	Mean of population 1
Fahrenbach (Clay)	2020	0,48	0,51	0,53	0,47	0,50	0,51
	2021	0,35	0,38	0,31	0,35	0,35	0,36
	<i>Mean</i>	<i>0,41</i>	<i>0,45</i>	<i>0,42</i>	<i>0,41</i>	<i>0,42</i>	<i>0,43</i>
Neu-Eichenberg (Loam)	2020	0,51	0,54	0,49	0,54	0,52	0,49
	2021	0,24	0,23	0,24	0,30	0,25	0,26
	<i>Mean</i>	<i>0,38</i>	<i>0,38</i>	<i>0,37</i>	<i>0,42</i>	<i>0,39</i>	<i>0,38</i>
ZALF (Sand)	2020	0,13	0,14	0,21	0,25	0,18	0,16
	2021	0,37	0,37	0,38	0,33	0,36	0,33
	<i>Mean</i>	<i>0,25</i>	<i>0,25</i>	<i>0,29</i>	<i>0,29</i>	<i>0,27</i>	<i>0,25</i>
Mean		<i>0,35</i>	<i>0,36</i>	<i>0,36</i>	<i>0,37</i>	<i>0,36</i>	<i>0,35</i>
		Ca2_A	Ca2_B	Ca2_C	Ca2_D	Mean of parental lines	Mean of population 2
Fahrenbach (Clay)	2020	0,52	0,57	0,50	0,54	0,53	0,54
	2021	0,30	0,49	0,42	0,37	0,39	0,41
	<i>Mean</i>	<i>0,41</i>	<i>0,53</i>	<i>0,46</i>	<i>0,45</i>	<i>0,46</i>	<i>0,48</i>
Neu-Eichenberg (Loam)	2020	0,50	0,58	0,57	0,54	0,55	0,55
	2021	0,25	0,35	0,34	0,33	0,32	0,32
	<i>Mean</i>	<i>0,37</i>	<i>0,46</i>	<i>0,45</i>	<i>0,43</i>	<i>0,43</i>	<i>0,44</i>
ZALF (Sand)	2020	0,26	0,43	0,43	0,38	0,38	0,35
	2021	0,36	0,36	0,43	0,39	0,38	0,41
	<i>Mean</i>	<i>0,31</i>	<i>0,39</i>	<i>0,43</i>	<i>0,39</i>	<i>0,38</i>	<i>0,38</i>
Mean		<i>0,36</i>	<i>0,46</i>	<i>0,45</i>	<i>0,42</i>	<i>0,42</i>	<i>0,43</i>

AP2 D: Selektion hervorragender Einzelpflanzen

Der Test von 10 Einzelpflanzen-Nachkommenschaften sowie der Alblinsen 1 und 2 in Hohenheim zeigte einen Teil der Vielfalt in Samenfarbe und -musterung (Tabelle 17). Das Samengewicht lag im niedrigen bis mittleren Bereich, entsprechend den Ausgangspopulationen. Die Erträge lagen häufig unter denen der Vergleichssorten. Die Pflanzenzahl in den Mini-Parzellen, sowie die Erträge schwankten stark zwischen den Wiederholungen (Daten nicht gezeigt).

Tabelle 17: Beschreibung von 10 Einzelpflanzen-Nachkommenschaften aus Pop3 und Pop4, sowie die Alblinsen 1 und 2; Rankgitter Hohenheim 2021

	No.	Yield (g)	Seed weight (mg)	Main seed color	Main seed pattern
Pop3	69	24,32	26,80	greenish-yellow	absent
Pop3	68	4,89	21,67	rose – pink	absent
Pop3	67	18,89	22,30	rose – pink	absent
Pop3	6	9,50	24,40	rose – pink	absent
Pop3	1	13,48	35,13	greenish-yellow	absent
Pop4	49	6,55	49,01	light green	absent
Pop4	11	2,20	44,11	greenish-yellow	absent
Pop4	4	6,98	43,17	light green	absent
Pop4	2	15,57	32,37	light green, greenish-yellow, rose-pink	spotted + blotched
Pop4	1	13,75	35,73	greenish-yellow	absent
Alblinse I		21,80	38,64	greenish-yellow	absent
Alblinse II		12,62	18,93	greenish-yellow	absent

Von jeder Selektion (Ton, Lehm, Sand) der 4 Ausgangspopulationen wurden 60 Einzelpflanzen-Nachkommenschaften agronomisch, phänologisch und morphologisch charakterisiert; Saatgut wurde eingelagert; insgesamt 720. Saatgut weiterer 600 Einzelpflanzen wurde eingelagert.

AP2 E: Erfassung von Fußkrankheiten

Fusarium-Arten wurden an > 80% der untersuchten Pflanzen isoliert. Insgesamt 11 Arten wurden gefunden, 5 dominierten: *F. oxysporum*, *F. solani*, *F. avenaceum*, *F. equiseti* und *F. culmorum*. Es gab ein ähnliches Spektrum an den 3 Orten, aber stark unterschiedliche Häufigkeiten. Nematoden – nicht näher spezifiziert – traten ebenfalls in stark unterschiedlicher Frequenz auf:

- Fahrenbach: *F. culmorum* und *F. avenaceum* (ca. 30% mit Nematoden)
- Neu-Eichenberg: *F. solani* (> 90% mit Nematoden)
- ZALF: *F. oxysporum* und *F. equiseti*

5.3 Diskussion

AP2: Leistung und Standortanpassung diverser Populationen

Anbau von Linsen

Die in den Vorarbeiten und im Projekt entwickelten Linsen-Populationen sind anbauwürdig; der Ertrag war besser als der der Vergleichssorten. Durch die verschiedenen Farben und Musterungen könnte ein zusätzliches interessantes Produkt angeboten werden. Bei Bedarf ist die Auslese bestimmter Samentypen und Samengrößen auch im Betrieb relativ leicht durchzuführen. Der konkrete Aufwand hängt von der verfügbaren Saat- und Erntetechnik ab.

Standortanpassung

Eine Standortanpassung - d.h. die höhere Leistung von in der gleichen Umwelt selektierten Populationen im Vergleich zu in anderen Umwelten selektierten Populationen – wurde nicht beobachtet. Bisher gibt es z.B. keine deutlichen Hinweise, dass auf Trockenstresstoleranz erfolgreich selektiert wurde, obwohl sich die Testumwelten im Versuchszeitraum sehr stark unterschieden, entsprechend den Selektionsumwelten. Dies steht im Gegensatz zu der deutlichen Änderung der Populationen in Bezug auf morphologische Merkmale. Die später erfolgende genetische Analyse soll zusätzliche Antworten geben.

Einsatz diverser Populationen in der Züchtung / evolutionäre Züchtung

Die Nutzung von Populationen ist trotz der oben beschriebenen Beobachtung eine preiswerte und einfach zu handhabende Methode, leistungsfähige Linsen-Genotypen zu entwickeln. Nach der Kreuzung können diese ab der F₂-Generation durch Nachbau weitgehend zur Homozygotie gebracht werden. Die resultierenden Genotypen können nach Bedarf zu Liniensorten, Mehrliniensorten und Populationen kombiniert werden. Dazu kommt das Potenzial im langjährigen Nachbau durch die in geringem Umfang stattfindende Selbstbefruchtung.

Im Projekt wurden über den ursprünglich geplanten Rahmen hinaus hunderte hervorragender Einzelpflanzen systematisch aus allen Populationen selektiert und zu einem großen Teil bereits charakterisiert und vermehrt. In einem Folgeprojekt kann und soll der Erfolg der positiven Massenauslese nach mehreren Generationen der natürlichen Auslese untersucht werden. Es wird ggf. weitere Ergebnisse geben, wieweit die Selektion vom Ort beeinflusst wurde.

Durch die oben genannten Aspekte kann der Linsenanbau in Deutschland deutlich produktiver werden auf einer genetisch diverseren Basis.

AP2 E: Erfassung von Fußkrankheiten

Die großen Unterschiede zwischen Orten machen Resistenztests und die Selektion resistenter Genotypen an diversen Orten nötig. Der Befall hängt stark von Ort und Jahr ab. Es ist noch nicht bekannt, welche Rolle dabei Witterung und Fruchtfolge spielen.

Dieser Teil war im Antrag nicht enthalten und wurde ganz überwiegend aus Eigenmitteln geleistet. Durch den ersten substanziellen Einstieg konnte die Basis für ein Folgeprojekt gelegt werden.

6. Arbeitspaket 3: Prüfung geeigneter Akzessionen in standardisierten modellhaften Anbausystemen (verantwortlich: UHO1)

6.1 Material und Methoden

6.1.1 Rankgitterversuch

Standort und Versuchsaufbau

In den Jahren 2019 bis 2021 wurde auf der Versuchsstation Kleinhohenheim der „Versuch zur Prüfung von Linsenakzessionen in standardisierten Kleinparzellen mit Rankgittern“ (Rankgitterversuch) angelegt. Dabei wurden im ersten Versuchsjahr 18 verschiedene Linsensorten, -akzessionen und -populationen angebaut, mit dem Fokus auf Pflanzenmaterial, das aus der Region Süddeutschland stammt. Außerdem wurden

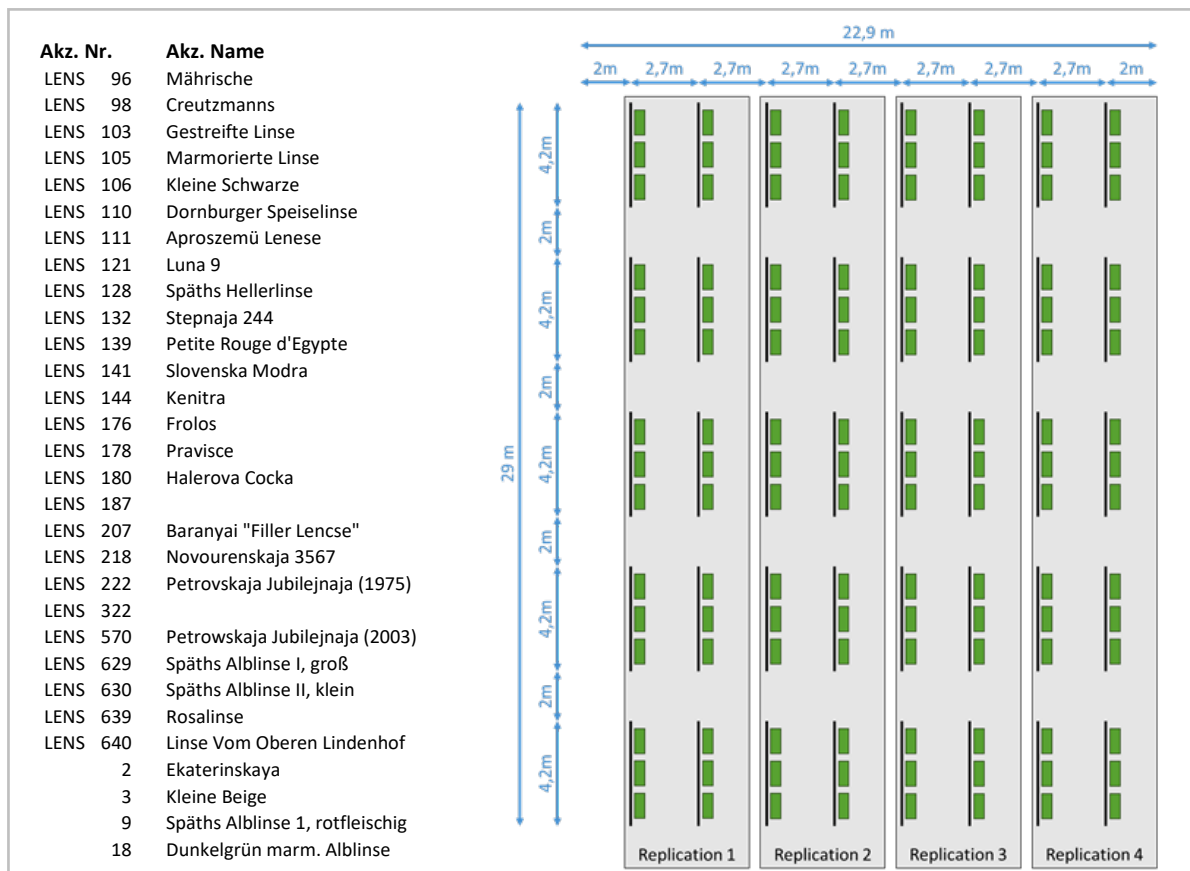


Abbildung 25: Versuchsaufbau "Prüfung verschiedener Sorten und Akzessionen von Linsen (*Lens culinaris*) in standardisierten Kleinparzellen mit Modellstützfrucht (Rankgitter)", sowie Liste mit verwendeten Linsensorten und -akzessionen (Akz.); Versuchsstation Kleinhohenheim (Universität Hohenheim, Stuttgart) in den Jahren 2020 und 2021, in etwas kleinerem Umfang mit 18 Akzessionen im Jahr 2019

in allen Versuchsjahren die Vergleichssorten angebaut, die alle Partner über alle Standorte und alle Versuche im Projekt standardmäßig einsetzen. Dabei handelt es sich um die drei Sorten, die von der Erzeugergemeinschaft Ableisa seit vielen Jahren kommerziell auf der Schwäbischen Alb angebaut werden: Späths Alblinse I, Späths Alblinse II, Dunkelgrün Marmorierte Alblinse, die aus der Sorte Anicia hervorgegangen ist sowie die Akzession Linse vom Oberen Lindenhof, die auf der Versuchsstation Oberer Lindenhof gefunden wurde und vermutlich einen regionalen Genotyp darstellt. Die besten Akzessionen aus dem ersten Versuchsjahr konnten in den folgenden zwei Jahren mit den aussichtsreichsten Akzessionen aus dem Versuchsanbau am IPK und KEY (Arbeitspaket 1) im zentralen Anbau verglichen werden (Abbildung 25). In diesem Versuch wurden in den Jahren 2020 und 2021 insgesamt 30 Linsenakzessionen geprüft. Neben den vier Vergleichssorten waren das fünf Sorten, Akzessionen und Selektionen vom Keyserlingk-Institut: Ekaterinskaya, Kleine Beige, Kleine Schwarze, Rosalinse und Späths Alblinse I rotfleischig. Vom Projektpartner IPK Gatersleben wurden 21 Sorten und Akzessionen untersucht: Mährische, Creutzmanns, Gestreifte Linse, Marmorierte Linse, Dornburger Speiselinse, Aprozemü Lenese, Luna 9, Späths Hellerlinse, Stepnaja 244, Petite Rouge d'Egypte, Slovenska Modra, Kenitra, Frolos, Pravisce, Halerova Cocka, LENS 187, Baranyai "Filler Lencse", Novourenskaja 3567, Petrovskaja Jubilejnaja (1975), LENS 322 und Petrowskaja Jubilejnaja (2003). Neun der insgesamt 30 Akzessionen wurden bereits im ersten Versuchsjahr 2019 am Rankgitter angebaut und geprüft, sodass zum Ende des Projekts von 21 Akzessionen zweijährige und von neun Akzessionen dreijährige Daten vorliegen.

Der Versuch wurde im alpha-Design randomisiert und mit vier Wiederholungen angelegt. Je zwei 1 m lange Reihen von Linsenpflanzen wurden an einem Maschendraht (Höhe 50 cm, Maschenweite 2 cm) angebaut. Beide Reihen befanden sich an derselben Seite des Zauns, so dass die Innenreihe dort Halt wie an einer Stützfrucht finden konnte und zur Datenerfassung diente, während die Außenreihe als Rand fungierte und einen Eindruck gaben, wie sich die Linsen in Reinsaat verhalten.

Bonituren

Zur Beschreibung der verschiedenen Akzessionen wurden zu Projektbeginn ein breites Spektrum an Deskriptoren zusammengestellt (siehe Anhang 1). Diese wurden in leicht angepasster Form auch im Anbaujahr 2021 zur Beurteilung und Beschreibung

herangezogen. So wurden während der Vegetationszeit insgesamt 40 agronomische und morphologische Messgrößen erfasst. Besonderes Augenmerk wurde auf die phänologische Entwicklung der Pflanzen gelegt sowie auf die Standfestigkeit. Beide Merkmale spielen eine wichtige Rolle für den Anbau in der Praxis.

6.1.2 Parzellenversuch

Standort und Versuchsaufbau

Der Versuch „Prüfung verschiedener Sorten von Linsen (*Lens culinaris*) im modellhaften Anbausystem mit Praxispassung“ (Parzellenversuch, Tabelle 18, Abbildung 26) wurde in den Jahren 2020 und 2021 auf zwei Versuchsstationen der Universität Hohenheim durchgeführt. Auf der ökologisch bewirtschafteten Versuchsstation Kleinhohenheim, 444 m NHN, Stuttgart sowie auf dem konventionell bewirtschafteten Oberen Lindenhof 720 m NHN, St. Johann/Württemberg. Geprüft wurden in dem Versuch sechs verschiedene Linsensorten, die überwiegend bereits in der Praxis verwendet werden. Dazu gehören die vier bereits oben beschriebenen Standardsorten sowie die zwei Akzessionen Kleine Schwarze und Rosalinse vom Keyserlingk-Institut.

Untersucht wurden die sechs Linsensorten jeweils in den drei Behandlungen Reinsaat, Gemenge mit einer starken und im Gemenge mit einer schwachen Stützfrucht. Als starke Stützfrucht, die gegenüber der Linse aber auch gegenüber Unkräutern dominant und unterdrückend wirkt wurde die Hafersorte Max ausgewählt, die verwendete schwache Stützfrucht, die im Bestand entsprechend weniger dominant ist war die Sommerbraugerste Avalon. Die angestrebten Bestandesdichten in Reinsaat lagen bei den Linsensorten bei 300 Pflanzen m⁻², bei den Stützfrüchten bei 320 Pflanzen m⁻². Dem substitutiven Gemenge von Linse und Stützfrucht war ein Mischungsverhältnis von 3:1 zugrunde gelegt. Das bedeutet der Zielbestand im Gemenge setzt sich aus 225 Linsenpflanzen m⁻² und 80 Getreidepflanzen m⁻² zusammen. Die Parzellen hatten eine Größe von etwa 5 m². Angelegt wurde der Versuch im Row-Column-Design mit drei Wiederholungen.

Zur Beschreibung der Akzessionen wurden die zu Projektbeginn vereinbarten Deskriptoren in leicht abgeänderter Form verwendet, um sie den Bedingungen im Gemengeanbau anzupassen. Dadurch können die Ergebnisse mit den Werten aus

anderen Versuchen wie dem zuvor beschriebenen Rankgitterversuch verglichen werden.

Tabelle 18: Übersicht zum Versuch "Prüfung verschiedener Sorten von Linsen (Lens culinaris) im modellhaften Anbausystem mit Praxispassung"; Versuchsstation Kleinhohenheim und Oberer Lindenhof (Universität Hohenheim, Stuttgart) in den Jahren 2020 und 2021.

Linsensorten	Dunkelgrün marmorierte Alblinse Späths Alblinsen I, Die Große Späths Alblinse II, Die Kleine Lindenhof Rosalinse Kleine Schwarze
Behandlungen	Linsen in Reinsaat im Gemenge mit Sommerbraugerste (Avalon) im Gemenge mit Hafer (Max)
Mischungsverhältnis Linse-Stützfrucht	3:1; substitutives Gemenge auf Grundlage der jeweils üblichen Menge in Reinsaat
Aussaat	Gemeinsame Aussaat von Linsen und Stützfrucht; Ablagetiefe: 3 cm
Anzahl Wiederholungen	3
Standorte	Kleinhohenheim (Stuttgart) Oberer Lindenhof (St. Johann/Württ.)

Daten von beiden Versuchsstandorten in einer bivariaten Varianzanalyse gegenübergestellt.

6.2 Ergebnisse

6.2.1 Rankgitterversuch

Die phänologische Entwicklung der Linsenpflanzen bis zum Beginn der Reife (BBCH 81: 10 % der Hülsen reif, Samen sind art- bzw. sortentypisch gefärbt, trocken und hart; nach Feller et al., 1995) zeigt eine geringe Varianz zwischen den untersuchten Linsenakzessionen (Abbildung 27). Die Anzahl der Vegetationstage von der Aussaat bis zum Beginn der Reife lag bis auf eine Ausnahme zwischen 106 und 110. Bereits nach 102 Tagen und damit signifikant früher als alle anderen Akzessionen setzte die Reife bei der Akzession LENS 187 ein. Die Vollblüte erreichten alle Akzessionen 75 bis 86 Tage nach der Aussaat. Unter Berücksichtigung der Effekte des Versuchsdesigns sowie der Jahreseffekte wurde die Korrelation zwischen der Vegetationsdauer bis zur Vollblüte (BBCH 65: 50 % der Blüten offen; nach Feller et al., 1995) und der Dauer bis zum Beginn der Reife mit $r=1,00$ geschätzt.

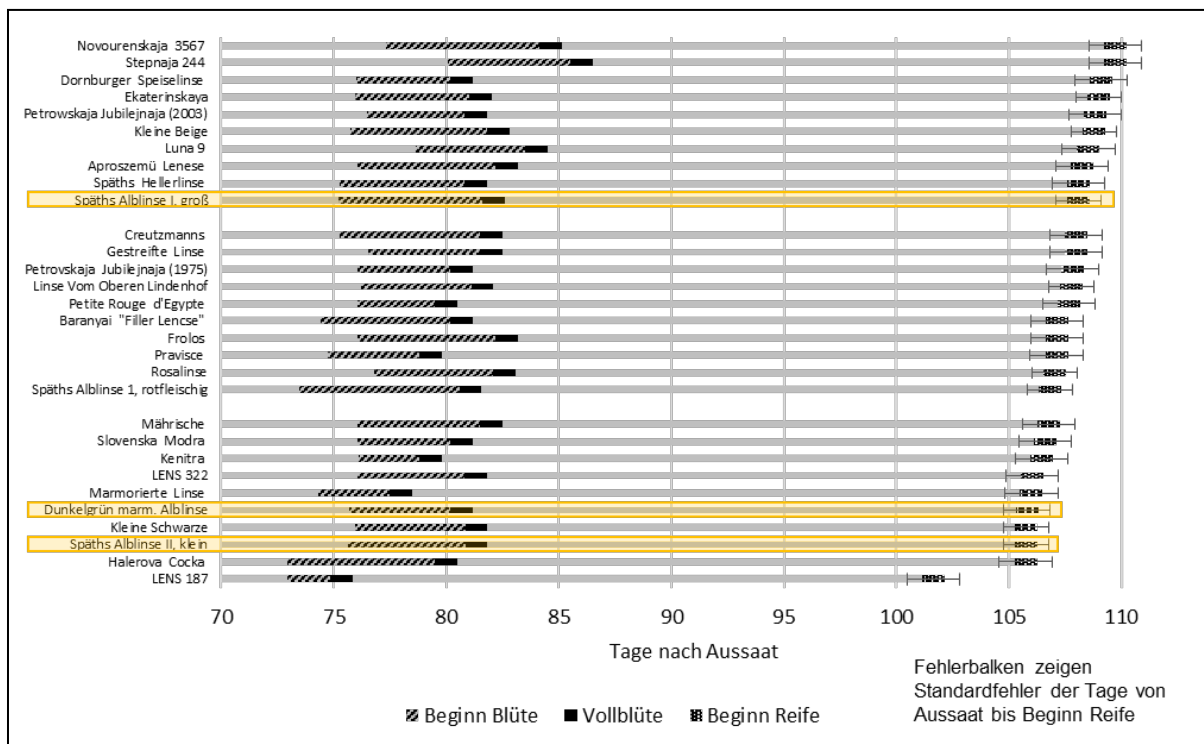


Abbildung 27: Entwicklungsstadien der Linsenpflanzen in Tagen nach Aussaat; Vergleichssorten sind gelb markiert; Fehlerbalken zeigen den Standardfehler an dem Erreichen bzw. Überschreiten des BBCH-Stadium 81 nach Feller et al. (1995), d.h. 10% der Hülsen reif, Samen sind Sortentypisch gefärbt, trocken und hart, beobachtet wurde, Ergebnisse aus den Versuchsjahren 2019 bis 2021, Versuchsstation Kleinhohenheim, Stuttgart, gelbe Markierung: Vergleichssorten.

Die gestreckte Pflanzenlänge (Abbildung 28) reichte von 31,6 cm (LENS 187) bis 47,2 cm (Aprozemü Lenese). Mit knapp 23 cm war der Abstand von der Pflanzenbasis bis zum Ansatz der untersten Hülse bei den Akzessionen Stepnaja 244 und Luna 9 am größten und bei der Akzession LENS 187 mit 12,8 cm am geringsten. Doch setzen auch bei dieser Akzession die Hülsen noch über der angenommenen Druschhöhe von 10 cm an. Die drei Vergleichssorten hatten eine Pflanzenlänge von knapp 40 cm bei einem Ansatz der untersten Hülse zwischen 16 und 20 cm über der Pflanzenbasis.

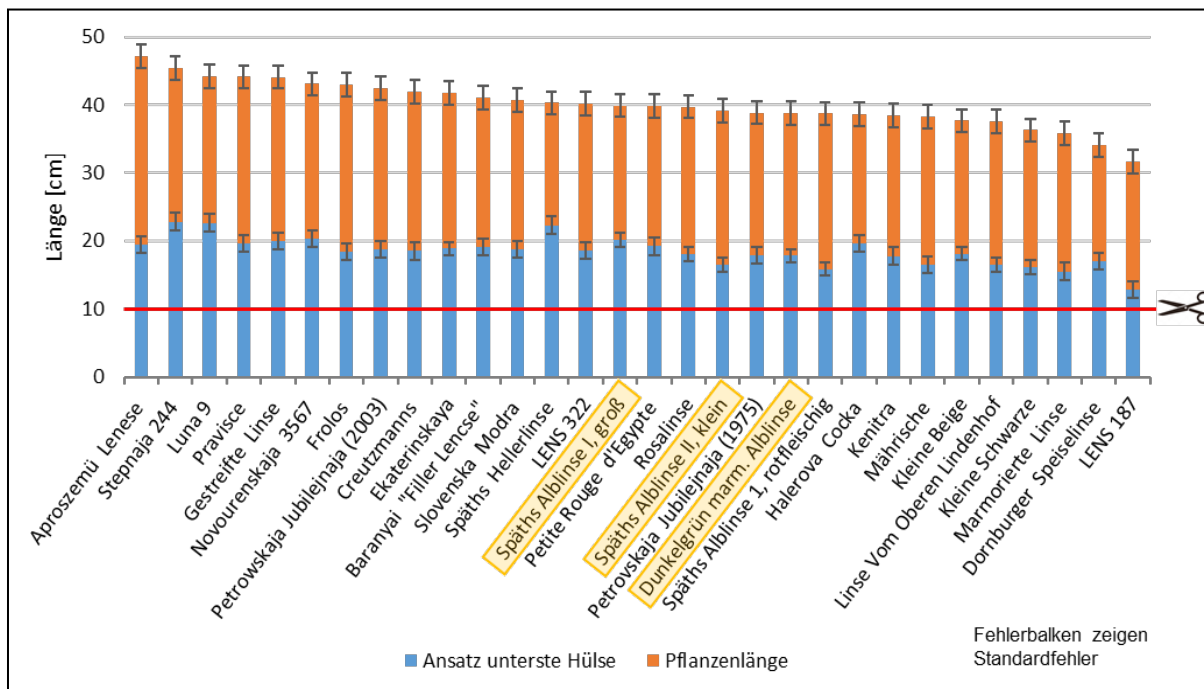


Abbildung 28: Gestreckte Pflanzenlänge in cm (orange) und Ansatz der untersten Hülse zur Pflanzenbasis in cm (blau) zum Zeitpunkt der Ernte; rote Linie kennzeichnet angenommene Druschhöhe von 10 cm; Vergleichssorten sind gelb markiert; Fehlerbalken zeigen Standardfehler, Ergebnisse aus den Versuchsjahren 2019 bis 2021, Versuchsstation Kleinhohenheim, Stuttgart.

Unter den 30 geprüften Akzessionen befinden sich nur drei, deren Anteil lagernder Pflanzen im Verhältnis zur Anbaufläche zur Ernte in der freistehenden Reihe geringer ist als 90 % (Abbildung 29), Späths Alblinse II klein (87 %), Kleine Schwarze (83 %) und Marmorierte Linse (49 %). Mit der Möglichkeit zur Verrankung am Rankgitter zeigten die Akzessionen Marmorierte Linse (11 %), Kleine Schwarze (19 %), Aprozemü Lenese (29 %) und LENS 187 (30 %) auf weniger als einem Drittel der Anbaufläche lagernde Linsenpflanzen. Am stärksten war die Lagerneigung in der Saatreihe am Zaun bei den Akzessionen Späths Hellerlinse, Späths Alblinse I groß, Luna 9, Baranyai „Filler Lencse“ und Halerova Cocka mit einem Anteil von etwa 80 % lagernder Linsenpflanzen im Verhältnis zur Anbaufläche. Mit 40 % Anteil lagernder

Pflanzen sind die Vergleichssorten Dunkelgrün marmorierte Alblinse und Späths Alblinse II, klein im besten Drittel der 30 geprüften Sorten.

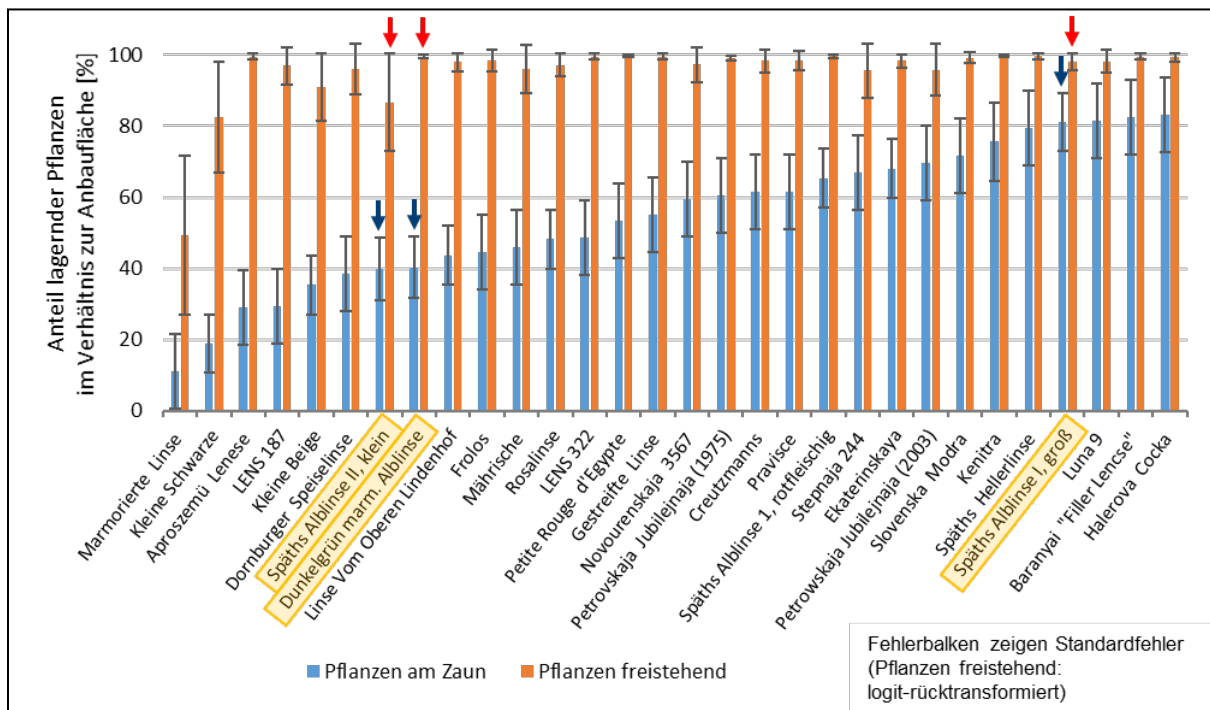


Abbildung 29: Anteil der Fläche lagernder Pflanzen am Zaun (blau) und in der freistehenden Reihe (orange) in % zur Ernte; Vergleichssorten sind gelb markiert; Fehlerbalken zeigen Standardfehler, Ergebnisse aus den Versuchsjahren 2019 bis 2021, Versuchsstation Kleinhohenheim, Stuttgart.

Die Erträge pro Pflanze der am Rankgitter untersuchten Linsenakzessionen lagen zwischen 1,7 und 0,1 g (Abbildung 30). Den höchsten Ertrag an vermarktungsfähigen Körnern erzielten die Akzessionen Marmorierte Linse und LENS 322 (1,68 und 1,61 g Pflanze⁻¹). Mit 1,26 und 1,23 g Pflanze⁻¹ folgen die Akzessionen Dunkelgrün Marmorierte Alblinse, eine der Standardsorten, und Slovenska Modra. Die weiteren angebauten Standardsorten Späths Alblinse I, groß und Späths Alblinse II klein, welche aktuell von Landwirten in Süddeutschland für den kommerziellen Anbau verwendet werden, zeigten lediglich niedrige (Linse Vom Oberen Lindenhof: 0,34 g Pflanze⁻¹, Späths Alblinse II, klein: 0,33 g Pflanze⁻¹) bis sehr niedrige Erträge (Späths Alblinse I, groß: 0,12 g Pflanze⁻¹). Bei der Standardsorte Späths Alblinse I groß wurde der insgesamt niedrigste Ertrag vermarktungsfähiger Körner erfasst. Die Menge nicht marktfähiger Körner war am höchsten bei den Akzessionen Rosalinse, Baranyai „Filler Lencse“, Frolos und Creutzmanns (zwischen 0,5 und 0,7 g Pflanze⁻¹).

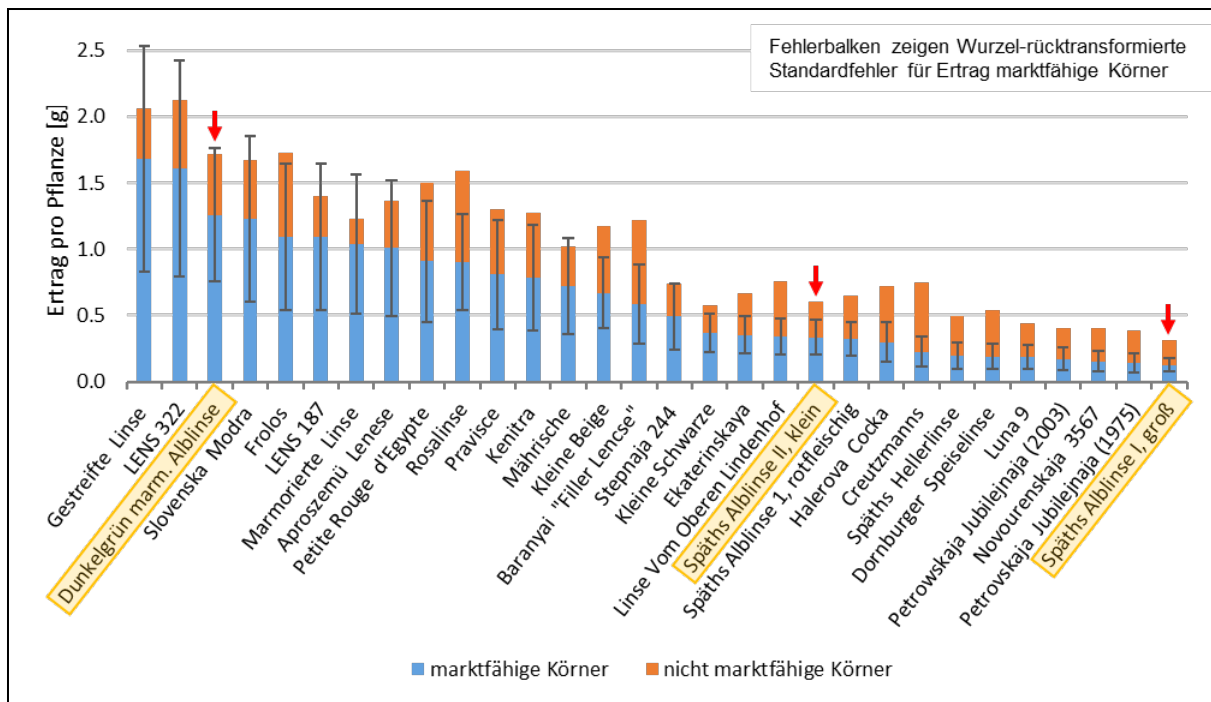


Abbildung 30: Erträge verschiedener Linsenakzessionen in g Pflanze⁻¹ unterteilt in marktfähige (blau) und nicht marktfähige (orange) Körner; Vergleichssorten sind gelb markiert; Fehlerbalken zeigen Standardfehler der marktfähigen Körner, Ergebnisse aus den Versuchsjahren 2019 bis 2021, Versuchsstation Kleinhohenheim, Stuttgart.

6.2.2 Parzellenversuch

Die Erträge der sechs Linsenakzessionen im Versuch zeigten signifikante Unterschiede und lagen zwischen 32,8 g marktfähige Körner m⁻² (Dunkelgrün marmorierte Alblinse) und 101 g marktfähige Körner m⁻² (Späths Alblinse I, groß; Abbildung 31). Das entspricht bei einer Hochrechnung 0,33 und 1,01 t ha⁻¹.

Beim Flächenanteil lagernder Linsenpflanzen konnten signifikante Sorten- und Behandlungsunterschiede festgestellt werden (Abbildung 32). Der Flächenanteil lagernder Pflanzen war in der Behandlung Reinsaat mit 84 – 100 % am höchsten. Die Akzession Kleine Schwarze zeigte sich in Reinsaat noch etwas standfester als die anderen geprüften Sorten. Der Flächenanteil lagernder Pflanzen in den Behandlungen mit Stützfrüchten war deutlich geringer. Dabei ist festzustellen, dass die Stützwirkung der Sommerbraugerste für alle geprüften Linsenakzessionen größer war als die von Hafer. Mit beiden Gemengepartnern war die Lagerneigung der Akzession Kleine Schwarze am geringsten (mit Sommerbraugerste auf 13,8 % und mit Hafer auf 24 % der Anbaufläche). Die größte Lagerneigung zeigte die Dunkelgrün marmorierte Alblinse mit beiden Stützfrüchten als Gemengepartner (mit Sommerbraugerste auf 39,8 % und mit Hafer auf 69,7 % der Anbaufläche).

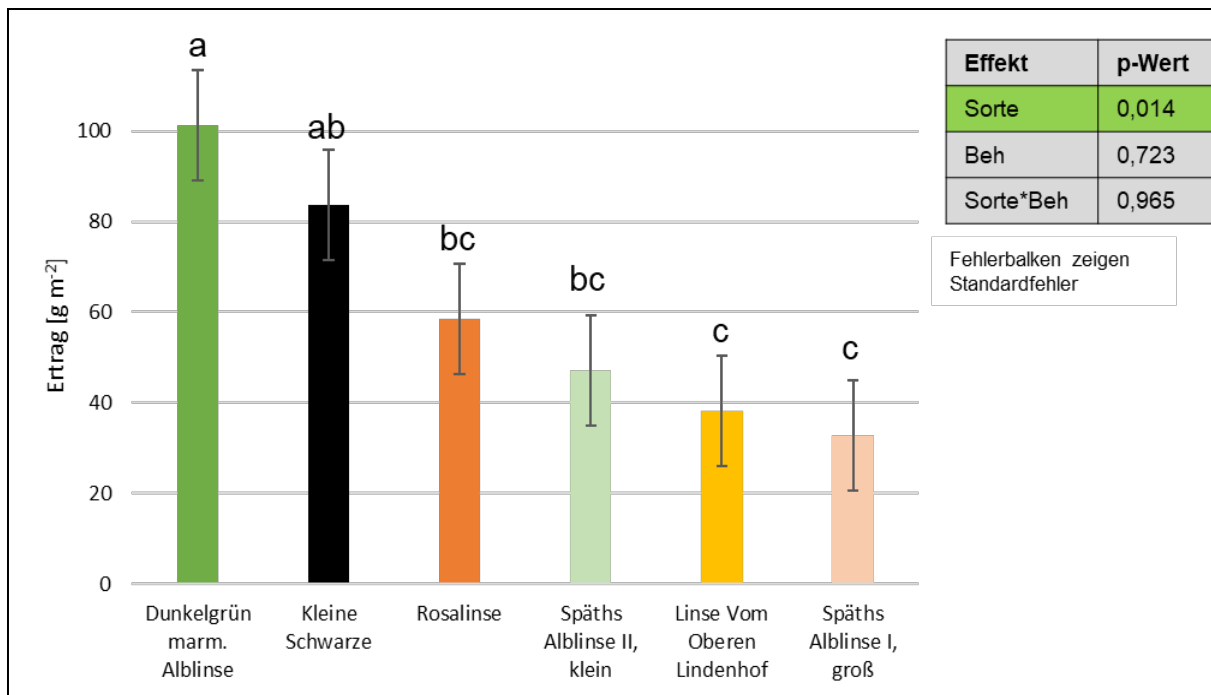


Abbildung 31: Erträge marktfähiger Linsenkörner verschiedener Linsenakzessionen in g m⁻²; Fehlerbalken zeigen Standardfehler, Statistik wurde mit SAS Software (Version 9.4, Copyright © 2016 by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) mit $\alpha=0,05$ berechnet, verschiedene Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede; Ergebnisse aus den Versuchsjahren 2020 und 2021, Versuchsstation Kleinhohenheim, Stuttgart und Oberer Lindenhof (St. Johann/Württemberg.).

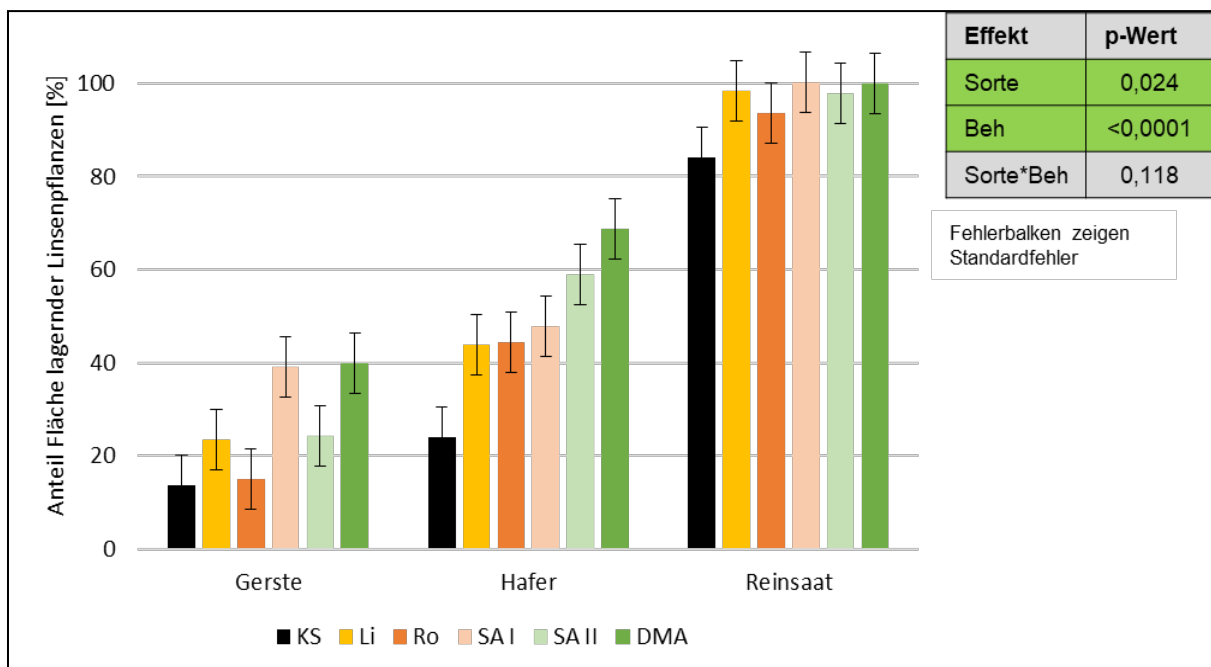


Abbildung 32: Flächenanteil lagernder Linsenpflanzen zur Ernte in %; Linsensorten: KS=Kleine Schwarze, Li=Lindenhof, Ro=Rosalinse, SA I=Späths Alblinse I groß, SA II=Späths Alblinse II klein DMA=Dunkelgrün marmorierte Alblinse in Reinsaat und im Gemengeanbau mit Sommerbraugerste oder Hafer; Fehlerbalken zeigen Standardfehler, Statistik wurde mit SAS Software (Version 9.4, Copyright © 2016 by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) mit $\alpha=0,05$ berechnet; Ergebnisse aus den Versuchsjahren 2020 und 2021, Versuchsstation Kleinhohenheim, Stuttgart und Oberer Lindenhof (St. Johann/Württ.).

6.2.3 Evaluierung und Einordnung des Rankgitterversuchs durch den Parzellenversuch

Die Ergebnisse der bivariaten Varianzanalyse zeigen hohe positive Korrelationen zwischen den erhobenen Werten aus dem Rankgitterversuch und den Werten aus dem Parzellenversuch (Tabelle 19). Bei den Messgrößen Pflanzengesundheit zur Ernte, Verzweigung der Linsenpflanzen zur Blüte, Bestandeshöhe zur Ernte (Linsen am Zaun), Ansatz der untersten Hülse und Pflanzenlänge zu Ernte (gestreckt) wird die Korrelation aus 1 geschätzt, bei Ertrag pro Pflanze auf 0,94 und bei Lager zur Ernte bei den Linsen am Zaun etwas niedriger auf 0,6.

Tabelle 19: Korrelationen zwischen Ergebnissen aus Rankgitterversuch und Ergebnissen aus Parzellenversuch ausgewählter Deskriptoren; Kleinhohenheim 2019, 2020, 2021 und Oberer Lindenhof 2020, 2021; bivariate Varianzanalyse mit SAS.

Deskriptor	r-Wert
Ertrag pro Pflanze	0,94
Lager zur Ernte (Linsen am Zaun)	0,60
Pflanzengesundheit zur Ernte	1
Verzweigung der Linsenpflanzen zu Blüte	1
Bestandeshöhe zur Ernte (Linsen am Zaun)	1
Ansatz der untersten Hülse	1
Pflanzenlänge zu Ernte (gestreckt)	1
Pflanzentrockenmasse	1

6.3 Diskussion

6.3.1 Evaluierung und Einordnung des Rankgitterversuchs durch den Parzellenversuch

Durch die statistische Verrechnung der Daten aus dem Rankgitterversuch und dem Parzellenversuch in einer bivariaten Varianzanalyse konnte gezeigt werden, dass die Ergebnisse der verschiedenen Linsenakzessionen aus dem sehr modellhaften Rankgitterversuch im gleichen Verhältnis zueinanderstehen, wie die aus dem

Parzellenversuch, der sehr praxisnah angelegt und bewirtschaftet wurde. Das bedeutet, dass die im Rankgitterversuch erhobenen Daten zwar stark unter dem Einfluss des modellhaften Versuchsaufbaus stehen und es deshalb nicht sinnvoll wäre, die Ergebnisse als Absolutwerte direkt mit Ergebnissen aus praxisnahen Versuchen zu vergleichen, jedoch ist diese Anbaumethode sehr gut geeignet, um kostengünstig und effizient Linsensorten zu screenen. Das bedeutet, dass der Vergleich der Akzessionen innerhalb der Versuche zulässig und durch die nachgewiesene Praxisrelevanz auch im Rankgitterversuch Aussagen für den Flächenanbau in der Praxis getroffen werden können.

Die von der Statistiksoftware SAS geschätzten Korrelationen von häufig $r=1$ (Tabelle 19) sind in vielen Fällen überschätzt, was teilweise auf die nacheinander geschalteten Rechenschritte der bivariaten Auswertung zurückzuführen ist. Dabei werden zuerst für alle Einflussfaktoren Varianzen geschätzt, die dann verrechnet werden. Es ist aber davon auszugehen, dass die wahre Korrelation bei einem geschätzten r -Wert von 1 dennoch hoch ist und die Aussagekraft im Kern nicht einschränkt.

6.3.2 Rankgitterversuch

Die Entwicklung der Linsenpflanzen und die daraus resultierende Vegetationsdauer zeigt mit einer Ausnahme keine große Varianz. Das ist darauf zurückzuführen, dass dieser Parameter nicht allein durch genetische Eigenschaften der Pflanzen beeinflusst werden, sondern maßgeblich von biotischen und abiotischen Faktoren. Dazu gehören beispielsweise Wasserverfügbarkeit, Bestandesdichte und Pflanzengesundheit. Dieser Umstand führte im Anbaujahr 2021 dazu, dass fast alle Linsenakzessionen nach dem Übergang einer nassen und kalten Periode hin zu warmen sonnigen Wetterverhältnissen im Frühjahr zeitgleich in die Blüte kamen. Soll eine schnelle Entwicklung mit früher Abreife bei der Sortenwahl berücksichtigt werden, ist die LENS 187 in Betracht zu ziehen.

Um die Ernteverluste bei maschineller Ernte mit dem Mähdrescher bei einer angenommenen Druschhöhe von 10 cm zu minimieren, ist es wichtig, dass die Linsenpflanzen keine Hülsen mit geringerem Abstand zur Pflanzenbasis als 10 cm ansetzen. Dies war bei keiner der Linsenakzessionen der Fall.

Sehr viel wichtiger ist es deshalb, dafür Sorge zu tragen, dass die Pflanzen bis zur Ernte aufrecht stehen und Lager vermieden wird. Die Ergebnisse zeigen, dass gerade

bei der Lagerneigung große Probleme liegen und dadurch viel Potenzial, durch eine Verbesserung dieser Situation auch die Anbaubedingungen maßgeblich zu verbessern. Die Lagergefahr ist dabei sehr von dem Zeitpunkt der Starkregenereignisse und der Lageranfälligkeit der Genotypen abhängig (Ball et al. 2005). Ohne die stützende Wirkung des Rankgitters war in diesem Versuch die Lagerneigung bei allen Akzessionen zu hoch, als dass ein Anbau ohne Stützfrucht empfohlen werden kann. Eine deutliche Verbesserung konnte durch die Verrankung der Linsenpflanzen am zur Verfügung stehenden Gitter beobachtet werden. Das zeigt, dass der Großteil der Linsenakzessionen in der Lage ist, die stützende Wirkung zu nutzen. Die gezielte Züchtung und Selektion hin zu standfesten Sorten, aber auch durch die Auswahl geeigneter Stützfrüchte und passende Verhältnisse der Linsen-Stützfrucht-Gemenge kann dabei eine Lösung sein (Ciftci, V. & Ülker, M., 2005; Wang et al., 2012).

Die Erträge der 30 Linsenakzessionen variierten stark über die drei Versuchsjahre. Dabei konnten dennoch die Akzessionen Gestreifte Linse und LENS 322 identifiziert werden, die besonders hohe Erträge erzielten. Sehr viele Akzessionen zeigten einen hohen Anteil an nicht marktfähigen Körnern. Gründe dafür sind Kümmerkörner, die durch indeterminiertes Wachstum von der Pflanze angelegt, jedoch nicht gefüllt wurden, sowie Körner, die durch Pflanzenkrankheiten oder Pilzbefall infolge von Lager und Feuchtigkeit ihre Qualität verloren haben. All diese Faktoren führen dazu, dass das genetische Potential der Linsenpflanzen nicht ausgeschöpft werden kann. Dies wird auch deutlich durch hohe Korrelationen zwischen Pflanzengesundheit und Ertrag ($r=0,99$) sowie zwischen Lagerneigung und Ertrag ($r=-0,61$). Neben standfesten Pflanzen, die nach Regenereignissen und Tau schnell abtrocknen und gleichmäßige Bestände bilden, sind hier Akzessionen mit determiniertem Wachstum gefragt.

6.3.3 Kleinparzellenversuch

Diese Ergebnisse, die aus den Erträgen beider Versuchsjahre 2020 und 2021 berechnet wurden, entsprechen in der Größenordnung sehr gut den Erträgen aus der Praxis. So konnten im Jahr 2020 eher überdurchschnittliche Erträge beobachtet werden, während das Jahr 2021 wetterbedingt durch lange kühle Phasen zum Beginn der Vegetation und sehr niederschlagsreiche Perioden während der Abreife der Erträge der marktfähigen Linsenkörner unterdurchschnittlich waren. Wie auch im Rankgitterversuch können Mindererträge ertragsschwacher Akzessionen zu einem

erheblichen Teil durch frühes Auftreten von Pflanzenkrankheiten und Pilzbefall, meist infolge von Lager, erklärt werden.

Die hohe Lagerneigung der Linsenpflanzen in Reinsaat bestätigen die Ergebnisse des Rankgitterversuchs. Mit den derzeit zur Verfügung stehenden Sorten und Akzessionen ist unter den momentan vorherrschenden klimatischen Bedingungen in der Regel kein Linsenanbau in Reinsaat zu empfehlen. Durch den Gemengeanbau der Linsen mit Sommerbraugerste oder Hafer kann das Lagern der Linsen deutlich verringert werden. Im Versuch erwies sich die Sommerbraugerste im Vergleich zum Hafer als besser geeignet bezüglich der stützenden Wirkung. Das kann zum einen auf die stärkere Bestockung und dadurch mehr stützende Halme bei der Gerste zurückzuführen sein, zum anderen ist die Bestandeshöhe der Gerste deutlich niedriger als die des Hafers. Dadurch können auch die Linsenpflanzen im Gerstengemenge die obere Etage des Bestandes erreichen, wodurch übermäßiges Streckungswachstum unterbleibt. Weiterhin können sich die Linsenpflanzen bis in die Ähren der Gerste verranken, wodurch belastbare Verbindungen entstehen. Beim Hafer können die Linsenpflanzen die Rispen nicht erreichen. Der Halm ist glatt und bietet weniger gute Verrankungsmöglichkeiten (Boland et al., 2017).

7. Arbeitspaket 4: Leistungsprüfung im Praxisanbau (verantwortlich: KEY)

In diesem Arbeitspaket wurden verschiedene Linsengenotypen an unterschiedlichen Standorten Praxisstandorten (ökologisch bewirtschaftet) in Streifenversuchen angebaut und geprüft. Der Anbau diente auch zur Saatgutvermehrung und dem Praxisvergleich von favorisierten Zuchtlinien aus AP1. Der Anbau erfolgte in allen drei Versuchsjahren auf verschiedenen Standorten. Diese gelten als Wiederholungen für die Auswertung, sowie zur Demonstration für die Öffentlichkeit. Bei der Versuchsdurchführung wurden die jeweils betriebsüblichen Stützfrüchte beibehalten.

Jahr 2019

Von favorisierten Selektionslinien wurden Streifenversuche angelegt, die auch zur Saatgutvermehrung und zur Öffentlichkeitsarbeit dienten. Hof Höllwangen bei Überlingen stellte hierzu 2.900 m² Ackerfläche zu Verfügung. Hier wurden Selektionslinien aus der 'kleinen Schwarzen ajf' und der 'Späth's Alblinse 1' vermehrt. Als Stützfrucht wurde hier Hafer verwendet. Am Hofgut Rimpertsweiler wurden neben den Parzellen zu Arbeitspaket 1 noch Streifen aus fünf Selektionslinien auf 250 m² und eine Vermehrung einer Selektionslinie aus 'Späth's Alblinse 2' auf 500 m² gesät. Stützfrüchte waren Leindotter, Hafer und -versuchsweise- Reinsaat (Aussaat 27.3.19, Ernte 20.7.19)



Abbildung 33: Vermehrungsstreifen Feldaufgang mit Stützfrucht Leindotter 2019 in Rimpertsweiler

Im Frühjahr wurden Bodenproben der jeweiligen Äcker entnommen. Die Untersuchungen ergaben in Höllwangen eine gute Versorgung der Böden mit K, Mg,

und Calcium (Ca) mit einem neutralen pH-Wert. Die Versorgung des Bodens am Hofgut Rimpertsweiler mit P war sehr niedrig.

Die Stützfrucht Leindotter bewährte sich gut und wurde in den weiteren Versuchsjahren favorisiert. Von Vorteil ist hier die Frühreife, die geringe Beschattung und die Beikrautunterdrückung durch die Rosettenbildung während des Feldaufgangs. Wichtigster Vorteil ist die einfach zu handhabende Trennung des Erntegutes. Auch die Hafersorte 'Kurzer Kurt' war zufriedenstellend: der niedrige Wuchs lässt zu, dass die Linsen sich in den Rispen verranken. Von Vorteil ist auch die geringe Bestockung der Sorte, was der Linse mehr Raum lässt. Jedoch ist der Mehraufwand bei der Saatgutaufbereitung höher. Die Variante 'Reinsaat' lagerte stark, hatte dadurch einen hohen Anteil fauliger Linsen und war teilweise von Unkraut überwuchert.



Abbildung 34: Streifenversuch mit Hafer, Leindotter und ohne Stützfrucht (Jahr 2019, Rimpertsweiler)

Bei der Aussaat der Vermehrungsflächen in Höllwangen kam es zu einer Verstopfung des Verteilerkopfes der Sämaschine. Dies hatte zur Folge, dass nur zwei Säschare bedient wurden. Die Erntemenge war hierdurch bei der 'Späths Alblinse 1 rotfleischig' entsprechend gering. Die Erntemenge der 'Kleinen Schwarzen ajf' war hingegen so hoch, dass Hof Höllwangen im Folgejahr eigenständig weiter vermehren konnte.

Das Ernteergebnis aus den Vermehrungsflächen in Höllwangen und Rimpertsweiler sind in folgender Tabelle zusammengefasst. Anicia GW14F konnte im Feld nicht überzeugen und wurde deshalb in Gänze verworfen.

Tabelle 20: Ernteergebnis 2019

Linie	Standort	Erntemenge [kg]
Anicia B3	Rimpertsweiler	3,5
Anicia GW14F	Rimpertsweiler	Wurde verworfen
B2 kleine beige	Rimpertsweiler	2,6
Selektion kleine Schwarze (kl. S. ajf)	Höllwangen und Rimpertsweiler	20
Späths Alblinse 1 rotfleischig (Späth 1 rot)	Höllwangen	5

Ein Linsen-Feldtag für die Öffentlichkeit wurde am 14. Juli veranstaltet. Bei einem zweistündigen Vortrag über das LinSel-Projekt und dem Linsenanbau im Allgemeinen konnten sich die Besucher direkt auf dem Feld ein Bild von der Durchführung des LinSel-Projekts am Keyserlingk-Institut machen.

Jahr 2020

Vermehrt wurden die Zuchtlinien 'Späth 1 rot' auf 330 m² (Saatstärke 8,7 g/m²), 'Späth 2 Elite' auf 520 m² (Saatstärke 5,7 g/m²) und 'B2 kl. Beige' auf 780 m² (Saatstärke 8 g/m²). Als Stützfrucht diente Leindotter.

Es kam in diesem Versuchsjahr zu erheblichen Schwierigkeiten im Anbau: Der Aussattermin war kurz vor Einsetzen einer 4-wöchigen Trockenperiode. Dies hatte zur Folge, dass zunächst nur etwa die Hälfte der Saat aufging. Die andere Hälfte lief erst stark verzögert auf, nachdem wieder Niederschläge auftraten. Dies favorisierte die Beikräuter gegenüber den Linsen. Erst am 21. Mai konnte gestriegelt werden, zuvor waren die spät gekeimten Linsenpflanzen noch zu klein. Dieser Umstand und der ohnehin hohe Unkrautdruck durch die Gemüsevorfrucht führten zu einer übermäßigen Verunkrautung des Versuchs, was sowohl die Durchführbarkeit der Bonituren als auch das Ernteergebnis negativ beeinflusste. Die Ernte der Vermehrungsstreifen fand am 11.8.2020 statt. Somit wurde sehr spät geerntet. Grund hierfür war die uneinheitliche

Abreife und die hohe Feuchte durch Unkraut und die sehr heterogenen Bodenbedingungen.



Abbildung 35: Kleinere Vermehrungen 2020 (Schlag „Waldrand“)



Abbildung 36: Streifenversuch 2020 (Schlag „Kirchweg Neufrach“)

Analysen des LTZ-Augustenberg ergaben den Befall mit Bohnenblattrollvirus (BLRV) und Gelbverzwergungsvirus (PEMV). Die Folge war, dass nur in etwa so viel geerntet werden konnte wie gesät worden war (s. Arbeitspaket 1b).

Jahr 2021

In diesem Versuchsjahr wurden folgende Akzessionen im Streifenanbau vermehrt:

Tabelle 21: Vermehrungen Jahr 2021

Linie	Beschreibung	Vermehrungsfläche [m ²]
Rosalinse	Kleinsamige Linse vom Typ Rosana	1000 m ² am Lorenzhof
B2 kleine Beige	Hellbeige Linse	265,2 m ²
Späth1 rot	Rotfleischige Auslese aus Späth1. Ertragsstärker, gesünder und standfester als Späth1	198,9 m ²
Lefkada X GW18 Elite 1,7_8	Einkreuzung in Lefkada, marmoriert, Hochwüchsig, ertragsstark	22,1 m ²
Novourenskaja 3567 (Lens 218)	Favorit aus dem Jahr 2019 nach den Ergebnissen von UHO, IPK	22,1 m ²
Puy 18/ 95, 98	Typ Puy-Linse, aber etwas kleiner als Anicia, samengesund, gute Verrankung, blattgesund	22,1 m ²
Späth2 18x	Single-seed-descendant aus Späth2, ertragsstärker, gesünder und standfester als Späth2, rasche Jugendentwicklung	66,3 m ²
Späth2 Elite	Eliten-Ramsch aus Selektionen der Vorjahre.	88,4 m ²

In Kleinparzellen wurden auch die Favoriten der Verbundpartner vermehrt:

Tabelle 22: Vermehrungen in Kleinparzellen Jahr 2021

IPK-Nummer		Bezeichnung/ Typ	Herkunft
IPK Lens	103	Gestreifte Linse	Deutschland
IPK Lens	124	klein beige	unbekannt
IPK Lens	132	Stepnaja 244	Sowjetunion
IPK Lens	141	Slovenska Modra	CSFR
IPK Lens	143	groß beige	unbekannt
IPK Lens	144	Kenitra	unbekannt
IPK Lens	178	Pravisce	Bulgarien
IPK Lens	218	Novourenskaja 3567	Russland
IPK Lens	221	groß beige	unbekannt
IPK Lens	320	klein beige	Albanien
IPK Lens	322	puyartig	Portugal
IPK Lens	339	groß beige	unbekannt
IPK Lens	176	Frolos	Bulgarien
IPK Lens	111	Aproszemü Lenese	Ungarn

Die Ergebnisse der Bodenuntersuchung am Hofgut Rimpertsweiler zeigten einen starken Mangel an Phosphor und eine leichte Unterversorgung an Kalium.

Aufgrund der verfrühten Abreife durch eine Hitzewelle Anfang Juni waren die Erträge nicht sehr hoch. Hinzu kam eine geringe Phosphorversorgung, was eine negative Auswirkung auf das Wachstum der Linsenpflanzen hat.

Die Rosalinse stand auf 0,1 ha als Vermehrung am Lorenzhof (Ilmensee, Landkreis Sigmaringen, 690 m über NN). Die kühlere Witterung auf dieser Höhe bedingt eine spätere Abreife der ackerbaulichen Kulturen. Am 10.08.21 wurde ein Versuch unternommen das Feld zu beernten. Allerdings konnten nur 100 m² gedroschen werden, dann versank der Mähdrescher aufgrund der nassen Bedingungen im Feld und musste aufwendig geborgen werden. Von einem weiteren Versuch die Rosalinse zu ernten wurde abgesehen.

Die schwül-feuchten Bedingungen zur Erntezeit führten sortenspezifisch zu einem geringeren Anteil konsumfähiger Ware. Abbildung 37 bis Abbildung 41 vermitteln einen Eindruck des Ernteguts.



Abbildung 37: *Lefkada x GW18 Elite 1,7_*



Abbildung 38: *Novourenskaja 3567*



Abbildung 39: *Puy 18/95, 98*



Abbildung 40: *Rosalinse*



Abbildung 41: *Späth 2 18x*

Tabelle 23 zeigt die Zusammenfassung der Ernteergebnisse über die gesamte Laufzeit des Projektes. Insgesamt ist es gelungen, die zumindest einen Teil der Akzessionen zu vermehren, allerdings führten die Herausforderungen durch die Witterung bei einigen Genotypen zu sehr geringen Mengen an vermehrtem Saatgut.

Tabelle 23: Saatgutvermehrungsmengen

Linie	2019	2020	2021
Anicia B3	3500 g	< 50g	wurde verworfen.
Anicia GW14F	Wurde verworfen		
B2 kleine beige	2600 g	2500 g	11.490 g
Kleine Schwarze AJF	20 kg		177 g
Lefkada X GW18 Elite 1,7_8		142 g	326 g
Novourenskaja3567 (Lens 218)		<50g	212 g
Puy 18/ 95, 98		232 g	861 g
Rosalinse		163 g	500g
Späth2 18x		262 g	3.000 g
Späth2 Elite	?	5.000 g	Wurde verworfen
Späth1 rot	5.000	3.000 g	2.000 g

Ausblick

Nach Ablauf des Projekts konnten Zuchtlinien zur weiteren Vermehrung an Landwirte abgegeben werden: 7 kg der 'Späth1 rot' gingen an einen Landwirt auf der Schwäbischen Alb und 12 kg der 'B2 kleine beige' wurden von Hof Höllwangen am Bodensee gesät. Die anderen Favoriten – auch jene der Projektpartner – werden vom Keyserlingk-Institut weiter geprüft und vermehrt.

8. Arbeitspaket 5: Analytik (verantwortlich: UHO2)

8.1 Material und Methoden

Um die Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) als kostengünstige und schnelle Methode zur Erfassung von ernährungs- und qualitätsrelevanten Inhaltsstoffen bei Linsen nutzen zu können, wurde bereits im Jahr 2019 mit der Entwicklung einer Kalibration für diese Messmethode begonnen. Dazu wurden Linsenkörner von 112 verschiedenen Linsenakzessionen verwendet, die aus der Genbank in Gatersleben, dem Keyserlingk-Institut sowie aus eigenen Versuchen und dem Lebensmittelhandel stammten. Die Linsen wurden mittels NIRS im intakten und im gemahlten Zustand gemessen. 30 der 112 Akzessionen wurden anschließend zur Kalibration und Validierung der Daten durch nasschemische Methoden analysiert. Diese Messungen wurden nun mit Material aus dem Versuchsanbau von 2020 und 2021 fortgeführt. Ermittelt wurden die Messgrößen Trockensubstanz, Proteingehalt, Rohasche, Rohfett, Rohfaser sowie die Elemente Ca, Eisen (Fe), K, M, Mangan (Mn) und Zink (Zn). So kann anschließend eine aussagekräftige Kalibration entwickelt werden, die den Landwirten, Vermarktern und Züchtern zur Verfügung gestellt werden kann.

Gleichzeitig liefert diese Vorgehensweise genaue Daten zu den Inhaltsstoffen in den Sorten und Akzessionen, die sich bereits in Versuchen des Projektpartners IPK Gatersleben als potentiell anbauwürdig erwiesen haben. Dadurch können neben den erhobenen ackerbaulichen und morphologischen Charakteristika der Linsenpflanzen auch qualitative Eigenschaften der Linsenkörner, die für die menschliche Ernährung von Bedeutung sind, in die Sortenauswahl mit einfließen.

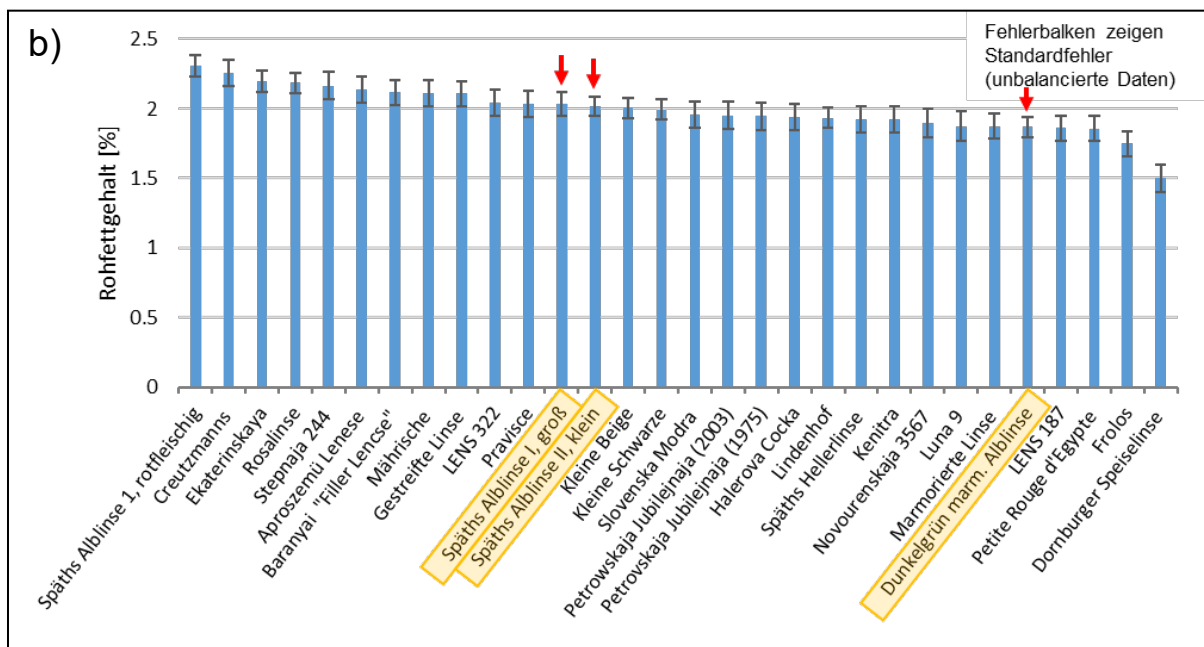
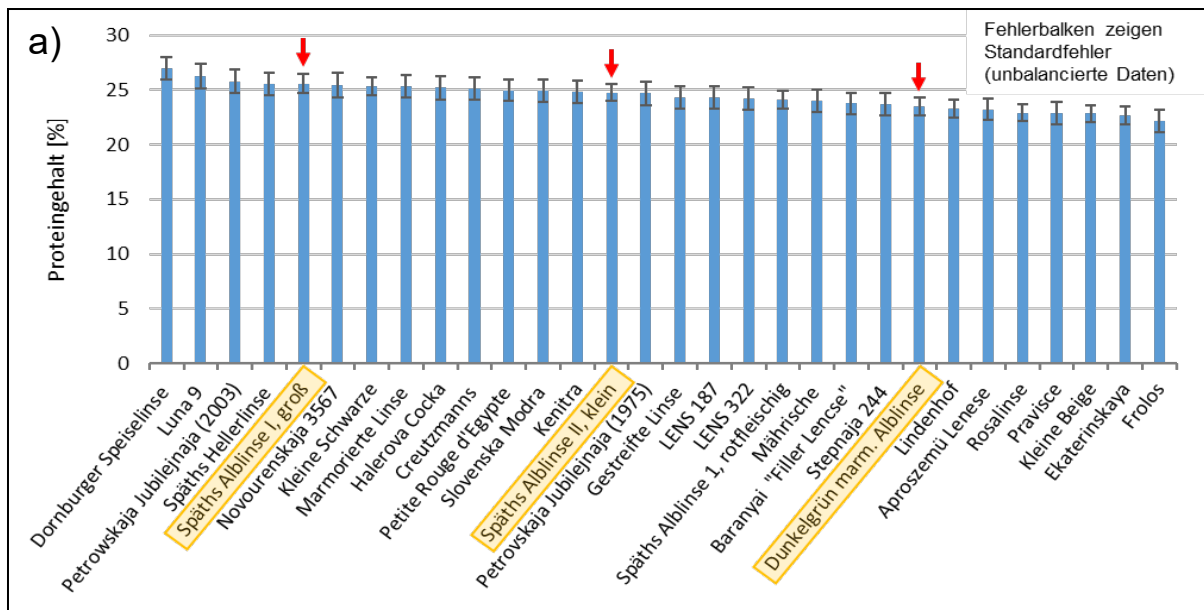
Für die nasschemischen Analysen wurden die Linsenkörner mit einer Fritsch-Zentrifugalmühle eisenfrei auf 1 mm gemahlen. Folgende Methoden wurden verwendet:

Wasser:	VO (EG) Nr. 152/2009 III A
Trockensubstanz:	VO (EG) Nr. 152/2009 III A
Rohprotein:	Verbrennungsmethode nach Dumas
Rohasche:	VO (EG) Nr. 152/2009 III M
Rohfett (B):	VO (EG) Nr. 152/2009 III H
Rohfaser:	VO (EG) Nr. 152/2009 III I (Fibretherm)
Elementaranalyse (Ca, Fe, K, Mg, Mn, Zn):	Druckaufschluss + ICP-OES

Die Spektren im nahinfraroten Bereich wurden von ganzen, sowie von gemahlene Körnern (1 mm) mit einem XDS Monochromator Type XM-1000 (Foss) aufgenommen. Zur Verrechnung der Daten und der Erstellung der Kalibrationen wurde die Software WinISI (Foss) verwendet.

8.2 Ergebnisse

Es konnten keine signifikanten Unterschiede in den Proteingehalten zwischen den Akzessionen festgestellt werden. Der niedrigste Proteingehalt wurde mit 22,1 % bei der Akzession Frolos gemessen, der höchste lag bei 27,0 % bei der Akzession Dornburger Speiselinse (Abbildung 42a). Bei den Standardsorten Späths Albinse I groß, Späths Albinse II klein und Dunkelgrün marmorierte Albinse wurden Proteingehalte von 25,6, 24,8 und 23,5 gemessen. Im Rohfettgehalt variierten die 30 Akzessionen zwischen 1,5 bei der Dornburger Speiselinse und 2,3 % Späths Albinse 1 rotfleischig, wobei bei 75 % der Akzessionen Rohfettgehalte im Bereich zwischen 1,9 und 2,2 % gemessen wurden (Abbildung 42b). Die Rohfasergehalte lagen zwischen 5,1 und 6,3 %. Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Akzessionen festgestellt werden.



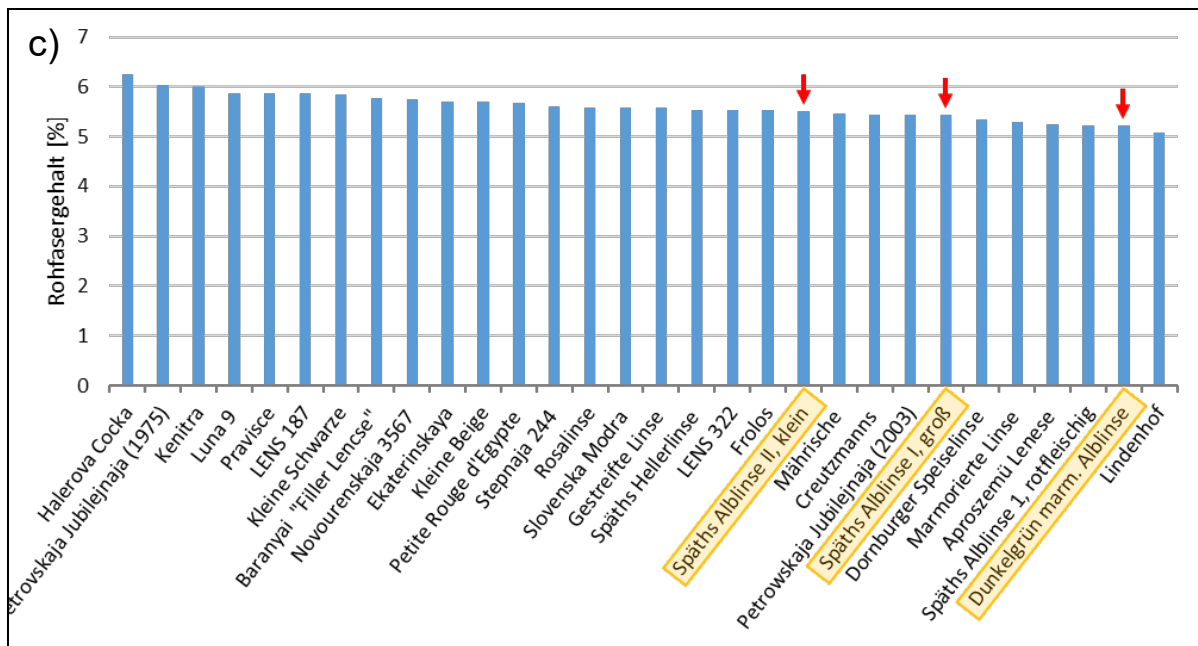
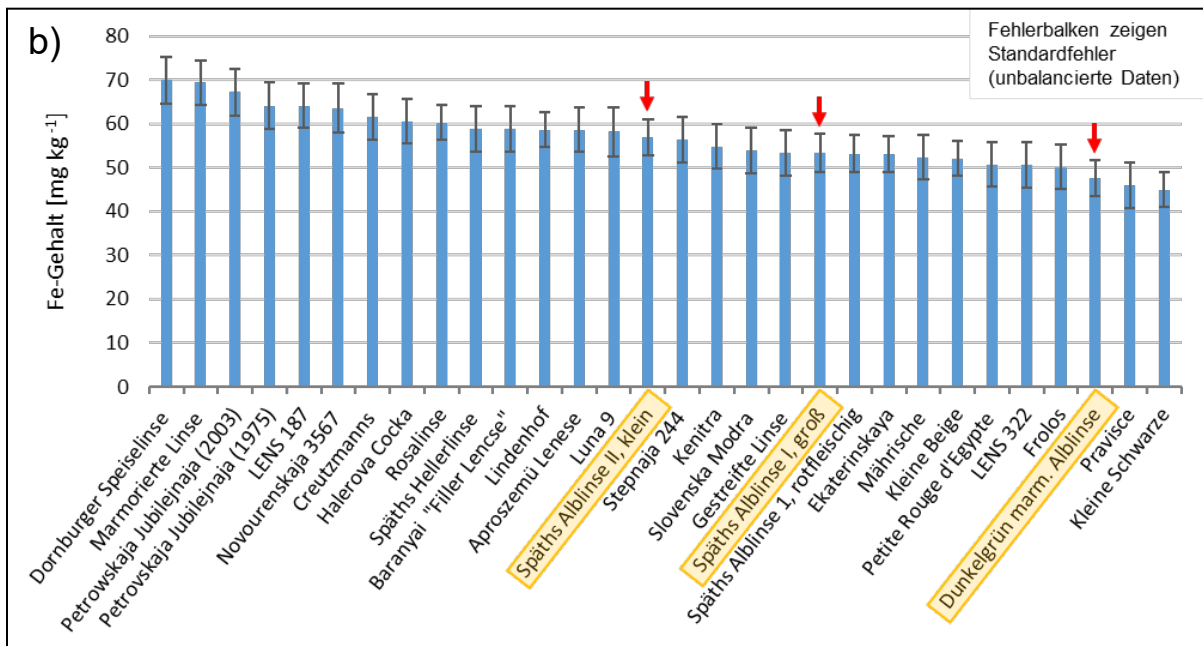
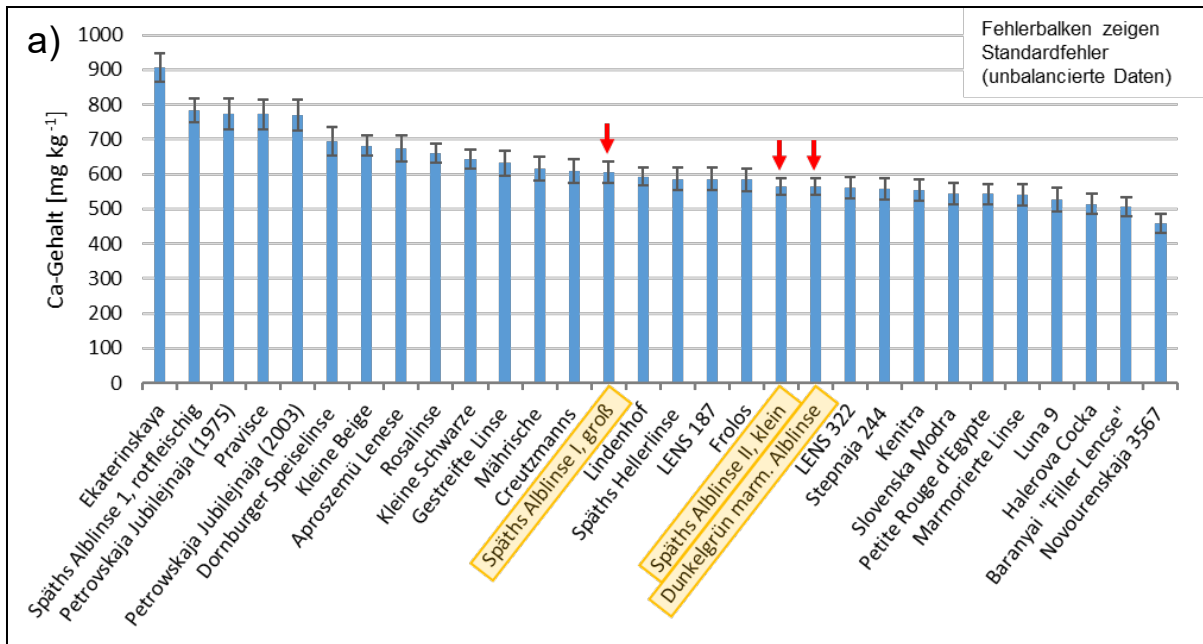


Abbildung 42: a) Protein- b) Rohfett- und Rohfasergehalt in Linsenkörnern in %; Vergleichssorten sind gelb markiert; Fehlerbalken zeigen Standardfehler; Ergebnisse aus den Versuchsjahren 2019 bis 2021, Versuchsstation Kleinhohenheim, Stuttgart.

Beim Ca-Gehalt in den Linsenkörnern konnten große Unterschiede gemessen werden (Abbildung 43a). Die Spannweite reichte von 458 mg kg⁻¹ in den Körnern der Akzession Novourenskaja 3567 bis 906 mg kg⁻¹ in den Körnern der Akzession Ekaterinskaja. Die Ca-Gehalte der Standardsorten lagen im mittleren Bereich. Der höchste gemittelte Eisengehalt wurde mit 70 mg kg⁻¹ bei der Dornburger Speiselinse gemessen, der niedrigste mit 45 mg kg⁻¹ bei der Akzession Kleine Schwarze (Abbildung 43b). Die Zn-Gehalte in den Linsenkörnern lagen zwischen 35 mg kg⁻¹ bei der Dunkelgrün marmorierten Alblinse und 53 mg kg⁻¹ bei der Petrowskaja Jubilejnaja (Abbildung 43c). Die Standardsorten finden sich hier im mittleren bis unteren Bereich.



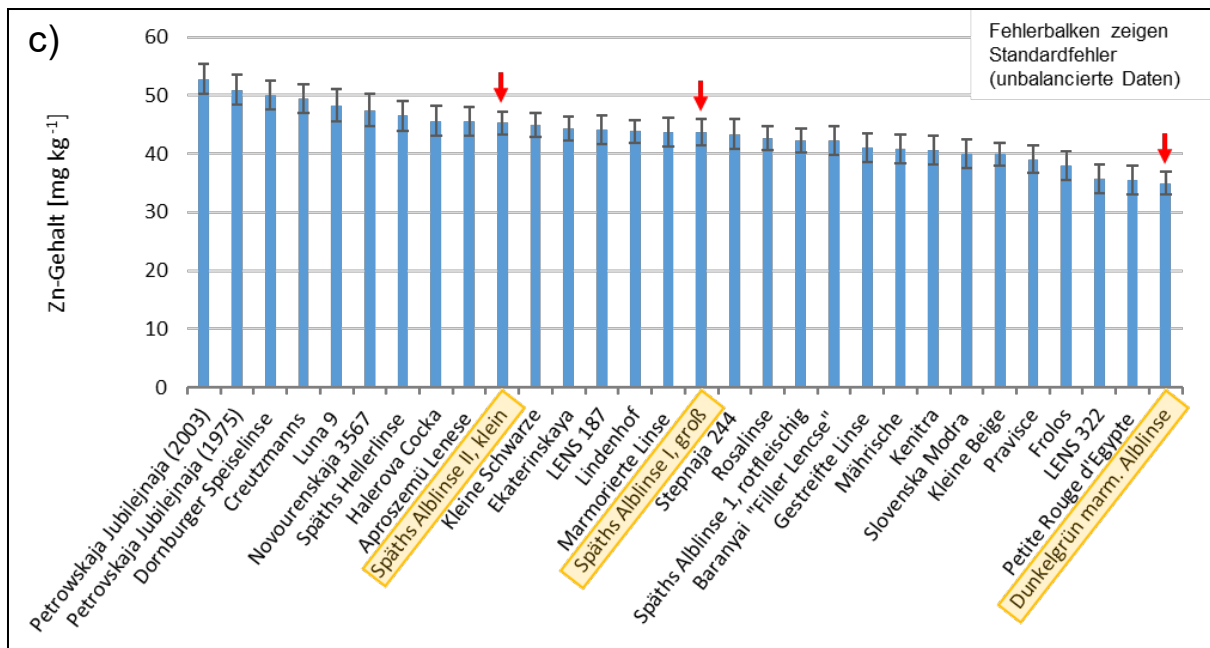


Abbildung 43: a) Calcium- b) Eisen- und c) Zinkgehalt in trockenen Linsenkörnern in mg kg⁻¹; Vergleichssorten sind gelb markiert; Fehlerbalken zeigen Standardfehler; Ergebnisse aus den Versuchsjahren 2019 bis 2021, Versuchsstation Kleinhohenheim, Stuttgart.

Das Bestimmtheitsmaß (R^2) ist einheitslos und beschreibt die Korrelation zwischen der Varianz der Spektral- und Konzentrationsdaten. Es handelt sich also um die Varianz der Daten, die durch die NIRS-Analyse erklärt werden kann. Die erstellten Kalibrationen für die Parameter Protein, Rohfett und Rohfaser erreichten ein Bestimmtheitsmaß der angepassten Gleichungen von 0,93, 0,53 und 0,26 (Tabelle 24). Der Standardfehler der Kreuzvalidierung (SECV) ist ein Maß für die Vorhersagegenauigkeit der Kalibration und sollte für eine gute Aussagekraft im Verhältnis zu den absoluten Messwerten möglichst klein sein. Bei Protein liegt dieser Standardfehler bei 0,64 %, bei Rohfett und Rohprotein bei 0,17 und 1,2 %. Dabei ist jedoch zu beachten, dass das Niveau der absoluten Proteinwerte mit durchschnittlich bei 24,4 % sehr viel höher ist als bei den zwei anderen untersuchten Parametern.

Durch die Vermahlung der Linsenproben konnte das Bestimmtheitsmaß bei Protein leicht verbessert werden, außerdem konnte der Standardfehler der Kalibrierung (SEC) von 0,599 % auf 0,23 % um mehr als die Hälfte verringert werden (Abbildung 44). Auch der SECV wurde deutlich verringert, wodurch die Vorhersagegenauigkeit der Kalibration zunimmt.

Tabelle 24: Parameter der Kalibration ganzer Linsenkörner berechnet durch WinISI (Foss).

Inhaltsstoff	Anzahl Proben	Einheit	Mittelwert	SEC	RSQ	SECV
Protein	257	%	24,2	0,60	0,93	0,64
Rohfett	251	%	2,0	0,15	0,53	0,17
Rohfaser	253	%	5,7	1,01	0,26	1,20

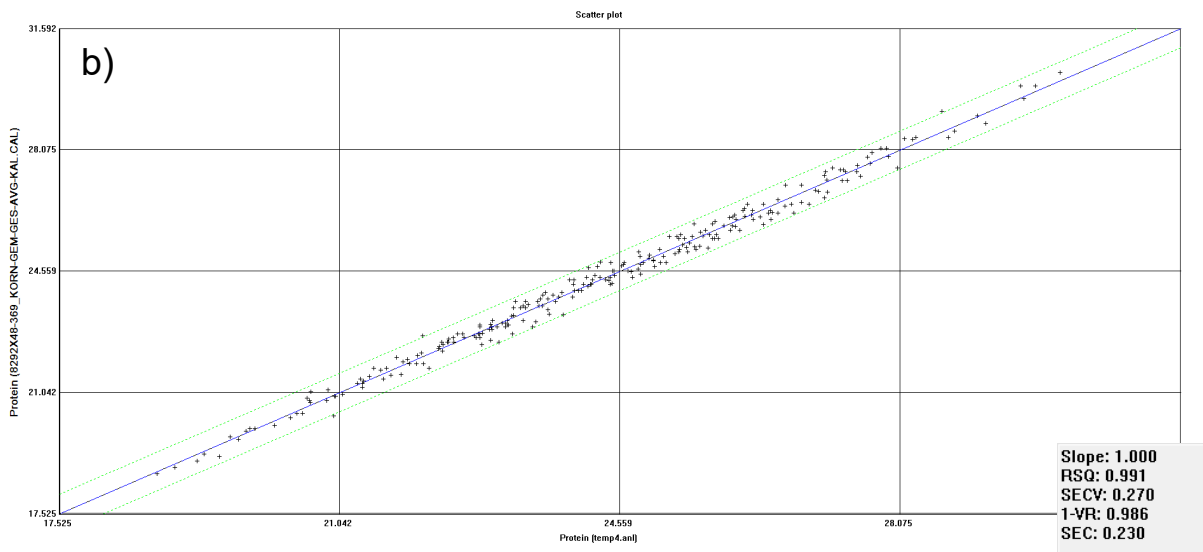
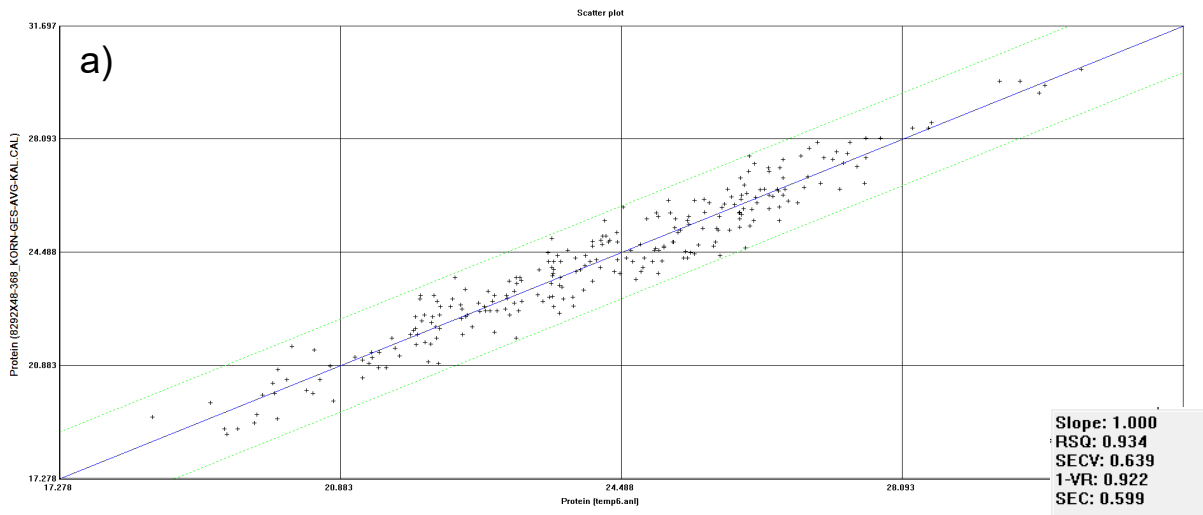


Abbildung 44: Streudiagramme der nasschemisch ermittelten Werte geprüfter Linsenakzessionen (y-Achse) gegenüber geschätzter Werte mittels Kalibration, erstellt anhand nasschemischer Werte und Spektren im nahinfraroten Bereich. a) Spektren von ganzen Linsenkörnern aufgenommen; b) Spektren wurden von gemahlene Linsenkörnern (1 mm) aufgenommen; Berechnung durch WinISI (Foss).

8.3 Diskussion

Die Linse ist vor allem wegen ihres hohen Proteingehalts und der günstigen Zusammensetzung von Aminosäuren interessant für die menschliche Ernährung. Auch bei dem immer stärker forcierten, sowie politisch unterstützten Ziel, mehr pflanzliches Protein in Deutschland zu erzeugen, kann die Linse als eiweißreiche Körnerfrucht einen wichtigen Beitrag leisten. Darum ist auch ein hoher Proteingehalt ein Züchtungsziel bei der Entwicklung anbauwürdiger Linsensorten und Kriterium bei der Selektion geeigneter Akzessionen im Projekt LinSel. Statistisch konnte in den Versuchen kein signifikanter Unterschied zwischen den Akzessionen festgestellt werden, es stellten sich jedoch die Akzessionen Dornburger Speiselinse und Luna 9 als besonders proteinreich heraus. Dabei gilt es jedoch noch genauere Untersuchungen anzustellen, inwiefern der Proteingehalt beispielsweise vom Ertrag beeinflusst wird und wie ein möglichst hoher Protein-Flächen-Ertrag erzielt werden kann. Andere Untersuchungen zeigten, dass Wechselwirkungen zwischen Genotyp und Umwelteinflüsse maßgeblich sowohl den Proteingehalt als auch die Zusammensetzung anderer wertgebender Inhaltsstoffe der Linse beeinflussen (Grusak, 2009).

Der Fettgehalt in Linsen ist mit 1,5 bis 2,3 % niedrig und bei der Auswahl der Akzessionen von geringer Bedeutung. Der Rohfasergehalt als Anteil wasserunlöslicher, schwerverdaulicher Zellulose ist ein wichtiger Teil der Ballaststoffe, die für eine gesunde menschliche Verdauung dringend erforderlich sind. Mit dem sehr hohen Anteil an Rohfaser von 5,1 bis 6,3 % dazu einen wichtigen Beitrag leisten. Da zwischen den untersuchten Akzessionen keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden konnten und die Varianz in den untersuchten Proben gering ist, ist davon auszugehen, dass der Verzehr von Linsen, unabhängig von der Akzession, einen ähnlich positiven Effekt auf die Ballaststoffversorgung haben.

Zufriedenstellende Ergebnisse, vergleichbar zur bereits etablierten NIRS-Methodik bei Getreide (Salgó and Gerlgely, 2012; Caporaso et al., 2018), konnte bei den untersuchten Linsengenotypen nur für die Proteingehalte erzielt werden. Für diesen Parameter konnten sowohl für die Messung von ganzen Körnern wie auch für gemahlene Körner sehr gute R^2 -Werte erreicht werden. Im ganzen Korn können 93,4 %, im gemahlene Korn sogar 99,1 % der Varianz durch die Kalibration erklärt werden. Die Vorhersagegenauigkeit liegt bei einer mittleren Abweichung von 0,64 % wenn

ganze Körner für die Aufnahme der Spektren verwendet werden und bei nur noch 0,27 %, wenn die Körner zuvor vermahlen wurden.

Beide Ergebnisse sprechen für eine Empfehlung der NIRS-Methode bei Linsen für den Einsatz in der Praxis. Dabei können sowohl ganze Körner für grobe vorläufige Analysen verwendet werden, wie auch gemahlenes Material für genaue Bestimmungen. Wichtig ist dabei, die Kalibrationsdatenbank zu pflegen und kontinuierlich zu erweitern. Dadurch kann die Messgenauigkeit langfristig erhalten werden. Erste Ergebnisse aus anderen Studien belegen, dass auch andere wertgebende Inhaltsstoffe der Linse, wie Fettsäuren und Mineralstoffgehalte wie Kalzium, Magnesium und Eisen durch die NIRS-Methode kostengünstig und zeitsparend bestimmt werden können (Lastras et al., 2021).

9. Arbeitspaket 6: Koordination der Workshops, Vernetzung mit der Praxis, Öffentlichkeitsarbeit, Demonstration (verantwortlich: ZÖLUH)

Während der Laufzeit des Projektes LinSel wurden eine Reihe von öffentlichkeitswirksamen Veranstaltungen durchgeführt (siehe Kapitel 15). Bedingt durch die Covid-19 Pandemie konnten in den Projektjahren 2020 und 2021 am IPK und an der Universität Hohenheim keine Feldtage mit Landwirten zur Besichtigung der Versuchsflächen durchgeführt werden, da beide Institutionen aufgrund der geltenden Regeln zum Infektionsschutz Veranstaltungen mit externen Teilnehmer:innen nicht zuließen. Lediglich der Partner KEY konnte in allen drei Projektjahren Feldtage ausrichten. Die Durchführung von Workshops mit Landwirten war durch die Pandemie ebenfalls eingeschränkt, es konnte lediglich eine Veranstaltung auf der Schwäbischen Alb im Jahr 2019 zur Festlegung der Deskriptoren und mit einer Verkostung der Linsen durchgeführt werden. Auch die Abschlusskonferenz zum Projekt wurde online durchgeführt. Dadurch konnten 80 Personen aus dem In- und Ausland teilnehmen, womit ein wesentlich größerer Teilnehmerkreis als bei einer Präsenzveranstaltung erreicht werden konnte.

Bedingt durch die Covid-19-Pandemie war auch die Teilnahme an Messen und Konferenzen eingeschränkt, Messeteilnahmen ließen sich lediglich 2019 (ANUGA) und im Januar 2020 (Internationale Grüne Woche) realisieren. Besonders die vom BMEL initiierte Teilnahme an der Internationalen Grünen Woche konnte sehr erfolgreich für die Bewerbung des Projektes genutzt werden.

Im Rahmen des Projektes wurden drei Poster auf wissenschaftlichen Konferenzen präsentiert und ein Vortrag gehalten (siehe Kapitel 15)

Neben einem Fachvortrag vor Landwirten wurden auch vier Beiträge in Praxiszeitschriften verfasst. Die wissenschaftliche Publikation der Ergebnisse steht noch aus.

10. Übergreifende Diskussion der Ergebnisse

Aus den 106 zu Beginn des Projektes eingesetzten Akzessionen konnten bis zum Projektende neun für den Anbau in Deutschland geeignete Genotypen selektiert werden. Damit schließt das Projekt LinSel an andere Arbeiten zu Leguminosen an, die ähnliche Erfolge aufweisen (Rybinski et al., 2018, Grela et al., 2010). Ein Screening genetischer Ressourcen stellt also einen Ansatz dar, die Anbauwürdigkeit kleiner Kulturen, die in der Regel von Züchtungsunternehmen nicht bearbeitet werden, schnell und kostengünstig zu erhöhen. Auch die Nutzung von Populationen ist eine preiswerte und einfach handhabende Methode, leistungsfähige Linsen-Genotypen zu entwickeln. Allerdings zeigt das Projekt LinSel auch, dass auf bestimmte Merkmale, die für eine weit reichende Ausdehnung des Anbaus wichtig sind, wie beispielsweise eine terminierte Abreife, nicht selektiert werden konnte, da keine der untersuchten Akzessionen dieses Merkmal aufwies. Langfristig sollte daher eine Kreuzungszüchtung bei Linsen initiiert werden, um den Genpool zu erweitern und gezielt Linien mit diesen gewünschten Merkmalen zu erzeugen.

Tabelle 25 zeigt abschließend die Bewertung der im Projekt selektierten Akzessionen für den weiteren Anbau. Die Selektionskriterien Ertrag, Standfestigkeit und Platzfestigkeit werden auch von der landwirtschaftlichen Praxis als ausschlaggebend für eine den hiesigen Anbaubedingungen angepasste Linsensorte angesehen, entsprechend flossen diese Kriterien in die Auswahl der Genotypen für den Praxisanbau ein. Es zeigte sich beim Screening der Genotypen, dass die Sorten Späths Abblinse I und Späths Abblinse II, die sich aktuell im Anbau auf der Schwäbischen Alb befinden, deutlich geringere Erträge, eine geringere Standfestigkeit und eine geringere Platzfestigkeit aufwiesen als die von uns selektierten Genotypen. Aus agronomischer Sicht bieten sich also die unten aufgeführten Akzessionen für einen Anbau in Deutschland an. Allerdings bringen traditionelle Sorten oder Sorten mit einer Geschichte wie die Späths Abblinse I und Späths Abblinse II trotz geringerer Erträge ein großes Potential für die Vermarktung mit, insbesondere bei sehr hochpreisigen Produkten, da auf diese Weise Käufer an das Produkt gebunden werden können. In der Diskussion mit den Praktikern wurde im Rahmen des Projektes daher der Wunsch eingebracht, nach einer regionalen Herkunft zu suchen, auch wenn die agronomische Performance dieses Genotyps unter der anderer Genotypen liegt.

Inwieweit ein solcher Genotyp langfristig in der Praxis bestehen kann, ist allerdings offen.

Tabelle 25: Abschließende Bewertung der Herkünfte aus Arbeitspaket 1 (IPK) nach Prüfung in Arbeitspaket 3, die für den Praxisanbau selektiert wurden (+++ sehr gut, + gut, 0 gleich, - schlechter im Vergleich mit den anderen geprüften Herkünften und Vergleichssorten)

Linsenakzession	Ertrag	Standfestigkeit	Platzfestigkeit
LENS 322	+++	+	+
Gestreifte Linse	+++	0	0
Dunkelgrün marm. Alblinse	++	+	+
Marmorierte Linse	+	+++	+
LENS 187	+	++	+
Frolos	+	+	0
Aproszemü Lenese	+	++	0
Kleine Schwarze	-	+++	+

Die Produktqualität von Leguminosen definiert sich einerseits über den Eiweißgehalt, andererseits über den Gehalt an Mineralstoffen und antinutritiven Inhaltsstoffen, wobei die Interaktion mit dem Genotyp unterschiedlich stark ausgeprägt ist. Ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Genotyp und Proteingehalt konnte im Projekt nicht belegt werden, allerdings zeigte sich große Unterschiede zwischen den Genotypen für Ca, Zn und Fe. Ähnliche Interaktionen von Genotyp und Gehalt an Mikronährstoffen Zn und Fe wurden von Shresta et al. (2018) festgestellt. Gerade hinsichtlich einer veganen Ernährung sind diese Unterschiede von Bedeutung und sollten zukünftig in der Züchtung berücksichtigt werden. Da im Projekt LinSel antinutritive Inhaltsstoffe wie Saponine, Phytinsäure und Trypsininhibitoren nicht untersucht wurden, könnten hier weitere Forschungsarbeiten andocken, um die Produktqualität von Linsen weiter zu steigern.

Die im Projekt selektierten Herkünfte sowie die genutzten Populationen und selektierten Einzelpflanzennachkommenschaften sind in Samengröße, Farbe der Kotyledonen und der Farbe der Samenschale sehr unterschiedlich. Damit eröffnen sich für die Weiterverarbeitung der Linse neue Möglichkeiten, z.B. die Produktion von

regionaler, geschälter Ware. Hierfür sind insbesondere rotfleischige Herkünfte / Populationen wie die Rosalinse, die LENS 187, die Marmorierte Linse sowie einige Einzelpflanzennachkommenschaften der Pop3 und Pop4 geeignet, da geschälte Linsen in dieser Farbe dem Verbraucher bereits bekannt sind. Bisher stehen solche regional angepassten, rotfleischigen Herkünfte oder Sorten für den Anbau in Deutschland nicht zur Verfügung. Wollen Verarbeiter auf „regionale“ Ware zurückgreifen, werden geschälte Linsen aus Italien oder Frankreich genutzt (rebio, 2023). Das Schälen der Linsen verringert die Kochzeit nochmals erheblich, mit regionaler geschälter Ware kann daher ein weiteres Kundensegment gewonnen werden. Langfristig ist auch denkbar, gelbfleischige Herkünfte geschält zu vermarkten, was beispielsweise in südasiatischen Ländern üblich ist. Auch hierfür könnten Herkünfte und Einzelpflanzennachkommenschaften aus LinSel geeignet sein. Inwieweit die Herkünfte eine besondere geschmackliche oder verarbeitungstechnische Eignung für bestimmte Produkte (z.B. Aufstriche, Mehl, Burger o.ä.) mitbringen, wurde im Projekt nicht geprüft, sollte aber in Folgeprojekten gemeinsam in Kooperation mit Verarbeitungsunternehmen untersucht werden.

Die in LinSel geprüften Herkünfte sowie alle erzeugten Nachkommenschaften und nachgebauten Populationen sind frei verfügbar, so dass basierend auf den Ergebnissen dieses Projektes weitere Forschungsarbeiten entlang der Wertschöpfungskette „Linse“ durchgeführt werden können, um das Wissen zu dieser Kultur zu vertiefen und neue Verarbeitungswege zu erschließen.

11. Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse.

Die Selektion von für den Anbau in Deutschland geeigneten Linsengenotypen aus Genbank-Akzessionen, Populationen und Herkünften aus der Praxis konnte erfolgreich abgeschlossen werden: Zum Projektende stehen neun Linsengenotypen zur Verfügung, die von Landwirten zur Hochvermehrung auf den Betrieben genutzt werden können. Das Screening von Genbank-Ressourcen ist also eine geeignete Methode, bei kleinen Kulturen, die für Züchtungsunternehmen nicht von Bedeutung sind, dennoch schnell und kostengünstig für den Praxisanbau geeignete Genotypen zu selektieren. Diese Herangehensweise ist auch auf andere Kulturen wie Hirse, Kichererbse, Saat-Platterbse oder Trockenbohnen übertragbar und kann daher in weiteren Projekten genutzt werden.

Die oben genannten Genotypen werden vom Projektpartner KEY auch nach Projektende weiter im Praxisanbau geprüft und ggf. vermehrt. Allerdings stehen im Augenblick nur geringe Mengen (wenige hundert Gramm bis wenige Kilo pro Genotyp) an Saatgut zur Verfügung, so dass ein direkter Praxisanbau ohne den Schritt der Hochvermehrung nicht möglich ist. Im Projekt LinSel zeigte sich jedoch, dass die Hochvermehrung von Linsen mit großen Risiken (Trockenheit, hohe Niederschläge, Krankheitsbefall) behaftet ist. Es ist daher von großer Bedeutung, entweder ein Züchtungsunternehmen oder eine öffentliche Institution zu gewinnen, die diesen Schritt der Hochvermehrung übernehmen kann, sonst finden die in LinSel selektierten Genotypen nur sehr eingeschränkt Eingang in die Praxis. ZÖLUH steht zum Zeitpunkt der Abgabe dieses Endberichtes in Kontakt mit einem Züchtungsunternehmen, das u.U. Genotypen aus LinSel vermehren will. Allerdings ist hier zu bedenken, dass es sich bei Linsen bisher um eine Kultur mit sehr geringem Anbauumfang handelt, so dass eine kommerzielle Vermehrung der Genotypen für ein privatwirtschaftliches Unternehmen wenig lukrativ ist. Andererseits ist der geringe Anbauumfang der Linsen auch der mangelnden Verfügbarkeit geeigneter Sorten geschuldet, so dass eine Weiterentwicklung ohne öffentliche Förderung der Hochvermehrung schwierig wird.

Die Aussagekraft des modellhaften Anbaus von Linsen am Rankgitter für Screeningzwecke konnte durch den Parzellenversuch verifiziert werden. Damit kann dieses Verfahren auch für andere rankende Kulturen (z. B. Saat-Platterbse) eingesetzt werden, um die Prüfung phänologischer und agronomischer Merkmale zu erleichtern.

Die Boniturergebnisse des Screenings der 106 Genbankmuster und der vier Herkünfte/Sorten aus dem Praxisanbau stehen in der Datenbank des IPK allen Interessierten kostenfrei zur Verfügung, die eigene Selektionen mit dem Material durchführen möchten oder sich mit der Züchtung von Linsen befassen möchten, so dass hier für weitere Forschungsarbeiten eine gute Grundlage geschaffen wurde.

Darüber hinaus liegen nun Datensätze zur Kalibration mit NIRS vor, allerdings ist die Genauigkeit der Kalibration (außer für Protein) noch nicht ausreichend hoch, d.h. die NIRS-Messungen sind im Augenblick nur für eine grobe Abschätzung geeignet. Dabei können sowohl ganze Körner für grobe vorläufige Analysen verwendet werden, wie auch gemahlene Material für genaue Bestimmungen. Wichtig ist nun, im Nachgang des Projektes, die Kalibrationsdatenbank zu pflegen und kontinuierlich zu erweitern. Dadurch kann die Messgenauigkeit langfristig verbessert und erhalten werden.

12. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; Hinweise auf weiterführende Fragestellungen

12.1 Übergeordnete Arbeitsziele

Ziel 1: Selektion von standfesten, konkurrenzstarken Wuchstypen der Linse, die gleichmäßig und einheitlich abreifen (determinierte Abreife, Eignung für Reinsaat)

Dieses Ziel konnte mit der Selektion der neun besten Genotypen zum Teil erreicht werden, insbesondere konnten im Vergleich zu den bisher genutzten Sorten/Herkünften Genotypen mit einer besseren Standfestigkeit und höherem Ertrag selektiert werden. Die meisten Genotypen erreichten im Zeitraum 105 bis 110 Tage nach der Aussaat die Reife, jedoch konnten unter den untersuchten Akzessionen keine Genotypen mit determinierter Abreife gefunden werden. Es ist davon auszugehen, dass dieses Ziel nur durch intensive Zuchtbemühungen zu erreichen ist.

Ziel 2: Selektion von Linsenakzessionen mit hohem Proteingehalt

Die Proteingehalte der Genotypen lagen zwischen 22 und 27 %, die Unterschiede zwischen den Genotypen waren nicht signifikant. Für die untersuchten Herkünfte stellte sich der hier der Proteingehalt als ein ungeeignetes Selektionskriterium dar.

Ziel 3: Bereitstellung der geeigneten Genotypen für private und öffentliche Einrichtungen sowie für Landwirte

Dieses Ziel konnte erreicht werden, da neue Genotypen selektiert wurden, die sich für den Anbau in Deutschland eignen. Allerdings liegen witterungs- und krankheitsbedingt z. T. nur geringe Mengen an Saatgut für die Hochvermehrung vor. KEY wird auch nach Ende des Projektes einen Teil der Genotypen weitervermehren, um sie Landwirten zur Verfügung zu stellen.

12.2 Ziele der Arbeitspakete

Arbeitspaket 1 (IPK, KEY): Auffinden und Beschreiben von geeigneten Akzessionen

Dieses Ziel konnte erreicht werden, es wurden geeignete Akzessionen gefunden, alle Boniturergebnisse wurden in die Datenbank des IPK eingepflegt und stehen nun der Öffentlichkeit zur Verfügung.

Arbeitspaket 2 (WIZ): Quantifizierung der Standortanpassung und evolutionäre Züchtung von Linsen

Es wurden über den ursprünglich geplanten Rahmen hinaus hunderte hervorragende Einzelpflanzen systematisch aus allen Populationen selektiert und teilweise bereits charakterisiert und vermehrt. Diese können in Folgeprojekten verwendet werden, um den Erfolg einer positiven Massenauslese nach mehreren Generationen zu beurteilen. Eine Standortanpassung – d.h. die höhere Leistung in der gleichen Umwelt selektierten Populationen im Vergleich zu in anderen Umwelten selektierten Populationen konnte nicht beobachtet werden.

Arbeitspaket 3 (UHO1): Prüfung potenziell geeigneter Akzessionen und Sorten aller Partner in standardisierten Anbausystemen auf Morphologie und Leistung

Auch dieses Ziel konnte erreicht werden, die Prüfung der Akzessionen erfolgte auf zum einen im modellhaften Anbausystem „Rankgitterversuch“ und auf zwei Standorten (ökologisch und konventionell bewirtschaftet) wobei unterschiedliche agronomische Faktoren geprüft wurden. Die Eignung des modellhaften Anbausystems zur Selektion der Genotypen konnte statistisch belegt werden.

Arbeitspaket 4 (KEY): Prüfung von Akzessionen unter Praxisbedingungen

Die Prüfung der Akzessionen erfolgte unter Praxisbedingungen, allerdings erschwerten Wetterextreme wie Trockenheit und sehr hohe Niederschläge und das Auftreten von Krankheiten die Prüfung der Akzessionen in der Praxis sowie die Vermehrung der selektierten Akzessionen.

Arbeitspaket 5 (UHO2): Entwicklung einer NIRS-Analytik für Linsen

Die Entwicklung einer NIRS-Analytik erfolgte zum Teil wie geplant. Allerdings konnte nur für die Proteingehalte ein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden. Für diesen Parameter konnten sowohl für die Messung von ganzen Körnern wie auch für gemahlene Körner sehr gute R²-Werte erreicht werden, so dass zumindest für die Bestimmung des Proteingehalts die Methode für den Einsatz in der Praxis empfohlen werden kann.

12.3 Hinweise auf weiterführende Fragestellungen

Folgende Fragestellungen und Forschungsansätze sind im Kontext des vorliegenden Projektberichts offen und sollten in weiteren Forschungsarbeiten aufgenommen werden:

- **Kreuzungszüchtung bei Linsen**, um den züchterischen Fortschritt zu beschleunigen:
wichtige Zuchtziele:
 - Verringerung der Lagerneigung
 - terminierte Abreife
 - Krankheitstoleranz / Krankheitsresistenz
 - Frosttoleranz
- **Screening von Linsenkrankheiten im Feld**, da bei verstärktem Linsenanbau auch ein größerer Krankheitsdruck zu erwarten ist; im Rahmen des Projektes wurden von den Projektpartnern unterschiedliche Krankheitsbilder in Abhängigkeit von Genotyp festgestellt, allerdings ist bisher nur sehr wenig Linsenkrankheiten in Deutschland bekannt, in anderen Ländern treten folgende Krankheiten auf: *Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani*, *Pythium* spp., *Sclerotium rofsii* und *Sclerotinia sclerotiorum*, aber auch Blattkrankheiten verursacht etwa durch *Ascochyta lentis*, *Botrytis cinerea*, *Uomyces viciae-fabae*, *Leveillula taurica*, *Peronospora lentis*, *Alternaria alternata* und *Colletotrichum* spp.
- **Stellung der Linse in der Fruchtfolge** hinsichtlich der Übertragung von Krankheiten, insbesondere in Bezug auf andere Leguminosen
- **Krankheitsanfälligkeit bei verschiedenen Genotypen**
- **Selektion** von Linsengenotypen für die **Herbstaussaat**

- **Weiterführung der NIRS-Analytik**, um für weitere Parameter wie Feuchte, Rohfaser und ggf. antinutritive Inhaltsstoffe eine verbesserte Messmethodik zu erlangen

13. Zusammenfassung

Übergeordnetes Ziel des Projektes „Selektion geeigneter Sortentypen von Linsen (*Lens culinaris*) für nachhaltige Anbausysteme“ (LinSel) war, Landwirten an mitteleuropäische Verhältnisse gut angepasste Linsengenotypen (*Lens culinaris* L.) zur Verfügung zu stellen und damit Ertrag, Ertragssicherheit und Qualität zu steigern und den Anbau der Leguminose Linse auszudehnen, da im Zuge des Klimawandels und veränderter Ernährungsgewohnheiten die Integration von neuen Leguminosenarten in die Fruchtfolgen weiter an Bedeutung gewinnt.

Über drei Jahre wurden auf den Feldern der Genbank Gatersleben Linsen erfolgreich angebaut und vermehrt. Aus 110 wurden erst 30, dann 10 Muster mit guten Eigenschaften ausgewählt. Besonderes Augenmerk wurde auf die Merkmale Platzfestigkeit der Hülsen, Ertrag und Tausendkornmasse (TKM) sowie Kotyledonenfarbe gelegt. Die Ergebnisse der agronomischen und morphologischen Charakterisierungen zeigen große Variabilität innerhalb der untersuchten genetischen Ressourcen von Linse (*Lens culinaris*). Es gibt viele Akzessionen mit positiven Charaktereigenschaften und auch einige Akzessionen, die über mehrere positive Eigenschaften verfügen.

Auf der agrarwissenschaftlichen Versuchsstation der Universität Hohenheim wurde auf dem ökologischen Betriebsteil Kleinhohenheim in den Jahren 2019 bis 2021 der „Versuch zur Prüfung von Linsenakzessionen in standardisierten Kleinparzellen mit Rankgittern“ (Rankgitterversuch) durchgeführt. Dabei wurden im ersten Versuchsjahr 18 verschiedene Linsensorten, -akzessionen und -populationen angebaut, mit dem Fokus auf Pflanzenmaterial, das aus der Region Süddeutschland stammt. In einem weiteren Parzellenversuch wurden in den Jahren 2020 und 2021 an zwei Standorten sechs verschiedene Linsensorten geprüft, die überwiegend bereits in der Praxis verwendet werden. Untersucht wurden diese sechs Linsensorten jeweils in den drei Behandlungen Reinsaat, sowie im Gemenge mit Hafer und Sommerbraugerste.

Durch die statistische Verrechnung der Daten aus dem Rankgitterversuch und dem Parzellenversuch in einer bivariaten Varianzanalyse konnte gezeigt werden, dass die Ergebnisse der verschiedenen Linsenakzessionen aus dem sehr modellhaften Rankgitterversuch im gleichen Verhältnis zueinanderstehen, wie die aus dem Parzellenversuch, der sehr praxisnah angelegt und bewirtschaftet wurde. Die Erträge der 30 Linsenakzessionen variierten stark über die drei Versuchsjahre. Dabei konnten

dennoch die Akzessionen Gestreifte Linse und LENS 322 identifiziert werden, die besonders hohe Erträge erzielten. Im Parzellenversuch wurde durch eine hohe Lagerneigung der Linsenpflanzen deutlich, dass mit den derzeit zur Verfügung stehenden Sorten und Akzessionen unter den momentan vorherrschenden klimatischen Bedingungen in der Regel kein Linsenanbau in Reinsaat zu empfehlen ist. Durch den Gemengeanbau der Linsen mit Sommerbraugerste oder Hafer kann das Lagern der Linsen deutlich verringert werden. Im Versuch erwies sich die Sommerbraugerste im Vergleich zum Hafer bezüglich der stützenden Wirkung als besser geeignet.

Zur Prüfung der Leistung und Standortanpassung von Linsen wurden in den Jahren 2020 und 2021 12 Populationen dreiertig (Fahrenbach, Neu-Eichenberg und ZALF) untersucht. Der Anbau erfolgte in einer Spaltanlage mit Ausgangspopulation als Hauptteilstück. Zum Vergleich der Leistung mit aktuell angebauten Linsensorten wurden die Ablinsen 1 und 2, sowie Lindenhof einbezogen. Alle Varianten wurden agronomisch, morphologisch und phänologisch untersucht, um neben der Leistung auch die Veränderung gegenüber der Ausgangspopulation zu erfassen und adaptive Eigenschaften zu finden. Um die Standortanpassung zu prüfen wurden hervorragende Einzelpflanzen bei reduzierter Bestandesdichte selektiert. Einzelpflanzen von Populationen, die auf Tonboden der natürlichen Auslese ausgesetzt waren, wurden auf Tonboden selektiert; desgleichen für die Auslesen von Lehm- und Sandboden.

Die Untersuchungen zeigten, dass das mittlere Ertragsniveau aller vier Populationen den mittleren Ertrag der Standardsorten überstieg. Eine Standortanpassung - d.h. die höhere Leistung von in der gleichen Umwelt selektierten Populationen im Vergleich zu in anderen Umwelten selektierten Populationen – wurde nicht beobachtet. Bisher gibt es z.B. keine deutlichen Hinweise, dass auf Trockenstresstoleranz erfolgreich selektiert wurde, obwohl sich die Testumwelten im Versuchszeitraum sehr stark entsprechend den Selektionsumwelten, unterschieden,

Des Weiteren wurden an den drei Versuchsorten Fahrenbach, Neu-Eichenberg und ZALF je 128 Pflanzen mit und ohne Krankheitssymptome (Welke, Vergilbung, Verbraunung, gestauchter Wuchs) als Stichprobe gezogen. Die Schadsymptome an Wurzel und Wurzelhals wurden untersucht. Der Schwerpunkt wurde entsprechend dem bisherigen Wissen auf *Fusarium* spp. gelegt. Es wurden an 80% der untersuchten Pflanzen *Fusarium*-Arten isoliert. Insgesamt wurden 11 Arten gefunden, wobei 5

dominierten (*F. oxysporum*, *F. solani*, *F. avenaceum*, *F. equiseti* und *F. culmorum*). Dabei hing der Befall stark von Ort und Jahr ab. Es ist noch nicht bekannt, welche Rolle dabei Witterung und Fruchtfolge spielen und muss daher in Folgeprojekten untersucht werden.

Vom Keyserlingk-Institut wurden Linsen-Zuchtlinien und -Sorten in wissenschaftlichen Feldversuchen evaluiert und die Besten hieraus in Streifenversuchen vermehrt. Da die Versuche auf ökologisch wirtschaftenden Praxisbetrieben vorgenommen wurden stand der ökologische Anbau im Fokus. Linsen favorisierter Linien aus eigener Züchtung wurden hier mit jenen im heimischen Anbau üblichen Sorten verglichen. Agronomische Parameter wurden geprüft und eine phänotypische Beschreibung vorgenommen. Die Favoriten aus dem Feldversuch wurden in einem Praxisvergleich großflächig in Streifen gesät, was auch zur Vorvermehrung für eine weitere Verwertung diente. Als praxisübliche Stützfrüchte wurden Leindotter und Hafer gewählt. Im ersten Versuchsjahr konnten positive Korrelationen zwischen Ertrag und Frühreife, Ertrag und Pflanzenhöhe sowie Ertrag und Höhe des Ansatzpunktes der ersten Hülse identifiziert werden.

Im zweiten Versuchsjahr war der Beikrautdruck so schwerwiegend, dass nur die Saatmenge wieder geerntet werden konnte. Hinzu kam das Auftreten einer Viruserkrankung, die fast alle Linien betraf. Linien des Puy-Typs zeigten sich robuster gegenüber den Viren. Korrelationen konnten nicht festgestellt werden, da die geringe Erntemenge zufällig verteilt war.

Im letzten Jahr (2021) wurden die vielversprechendsten Linien vermehrt, so dass sie in der Folge zu weiteren Vermehrungen dienen können. An 21 favorisierten Sorten und Linien wurden erneut die wichtigsten Bonituren sowie eine Ertragsauswertung vorgenommen.

Mit Abschluss des Projekts konnten zwei Linsensorten/ Zuchtstämme nun an Landwirte zur weiteren Vermehrung gegeben werden. Drei weitere werden zunächst vom Keyserlingk-Institut weiter vermehrt.

Ein weiteres Projektziel war die Etablierung einer Nahinfrarotspektroskopie (NIRS)-Methodik als kostengünstige und schnelle Methode zur Erfassung von ernährungs- und qualitätsrelevanten Inhaltsstoffen bei Linsen. Hierzu wurde bereits im Jahr 2019 mit der Entwicklung einer Kalibration für diese Messmethode begonnen. Dazu wurden Linsenkörner von 112 verschiedenen Linsenakzessionen verwendet, die aus der

Genbank in Gatersleben, dem Keyserlingk-Institut sowie aus eignen Versuchen und dem Lebensmittelhandel stammen. 30 der 112 Akzessionen wurden anschließend zur Kalibration und Validierung der Daten durch nasschemische Methoden analysiert. Ermittelt wurden die Messgrößen Trockensubstanz, Proteingehalt, Rohasche, Rohfett, Rohfaser sowie die Elemente Ca, Eisen (Fe), K, M, Mangan (Mn) und Zink (Zn). Es konnten keine signifikanten Unterschiede in den Proteingehalten zwischen den Akzessionen festgestellt werden. Der niedrigste Proteingehalt wurde mit 22,1 % gemessen, Der höchste lag bei 27,0 %. Zufriedenstellende Ergebnisse, vergleichbar zur bereits etablierten NIRS-Methodik bei Getreide, konnte bei den untersuchten Linsengenotypen nur für die Proteingehalte erzielt werden. Für diesen Parameter konnten sowohl für die Messung von ganzen Körnern wie auch für gemahlene Körner sehr gute R²-Werte erreicht werden. Beide Ergebnisse sprechen für eine Empfehlung der NIRS-Methode bei Linsen für den Einsatz in der Praxis. Wichtig ist dabei, die Kalibrationsdatenbank zu pflegen und kontinuierlich zu erweitern. Dadurch kann die Messgenauigkeit langfristig erhalten werden.

Abschließend konnten aus den 106 zu Beginn des Projektes eingesetzten Akzessionen bis zum Projektende neun für den Anbau in Deutschland geeignete Genotypen selektiert werden. Die Selektionskriterien Ertrag, Standfestigkeit und Platzfestigkeit werden auch von der landwirtschaftlichen Praxis als hauptausschlaggebend für eine den hiesigen Anbaubedingungen angepasste Linsensorte angesehen, entsprechend flossen diese Kriterien in die Auswahl der Genotypen für den Praxisanbau ein. Diese neun Linsengenotypen stehen nun Landwirten zur Verfügung, die zur Hochvermehrung auf den Betrieben genutzt werden können.

14. Literaturverzeichnis

- Ball R.A., Hanlan T.G., Vandenberg A. (2006). Stem and canopy attributes that affect lodging resistance in lentil. *Canadian Journal of Plant Science*, 86(1), 71-812
- Barbana, C., Boye, J.I. (2013). In vitro protein digestibility and physico-chemical properties of flours and protein concentrates from two varieties of lentil (*Lens culinaris*). *Food & Function* 4, 310 – 321.
- Beisinger TM, Hirsch CH, Vaillancourt B, Deshpande S, Barry K, Buell CR, Kaeppler SM, Gianola D, de Leon N (2014). A genome-wide scan for evidence of selection in a maize population under long-term artificial selection for ear number. *Genetics*, 196(3), 829-840, doi:10.1534/genetics.113.160655
- Belitz H.-D., Grosch W., Schieberle P. (2001). *Lehrbuch der Lebensmittelchemie*, 5. Auflage, Springer, Berlin Heidelberg.
- Boland E., Zikeli S., Gruber S. (2017): Der Anbau von Linsen und Erbsen im Gemenge. In: *Ökologischen Landbau weiterdenken: Verantwortung übernehmen, Vertrauen stärken. Beiträge zur 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Freising-Weihenstephan, 7. bis 10 März 2017*. Wolfrum, S., Heuwinkel, H.J. Reents, K. Wiesinger, K.-J. Hülsbergen und H.-J. Reents (Hrsg.), Berlin, Verlag Dr. Köster, S. 2–5
- Caporaso N., Whitworth M.B., Fisk I.D. (2018). Near Infrared Spectroscopy and hyperspectral images for non-destructive quality assessment of cereal grains. *Applied Spectroscopy Reviews*, 53, 667-687
- Ciftci, V. and Ülker, M. (2005). Effect of mixed cropping lentil with wheat and barley at different seeding ratios. *Journal of Agronomy* 4(1), 1-4.
- Destatis, 2022. Nach Deutschland importierte Linsen in Tonnen nach Hauptexportländern in den Jahren 2015 bis 2021. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=previous&levelindex=4&levelid=1647428335583&levelid=1647428317989&step=3#abreadcrumb>, abgerufen am 16.03.2022

Feller, C., H. Bleiholder, L. Buhr, H. Hack, M. Heß, R. Klose, U. Meier, R. Stauß, T. van den Boom, und E. Weber (1995) „Phänologische Entwicklungsstadien von Gemüsepflanzen II. Fruchtgemüse und Hülsenfrüchte“. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes 47, Nr. 9, 217–32.

FAOSTAT (2016) <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

Grela E.R., Rybiński W., Klebaniuk R., Matras J. (2010) Morphological characteristics of some accessions of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) grown in Europe and nutritional traits of their seeds. Genetic Resources and Crop Evolution 57, 693-701

Grusak, M.A. (2009). Nutritional and health beneficial quality. In: Erskine, W., Muelbauer, F.J., Sarker, A., Sharma, B. (eds.) The lentil. Botany, production and uses. 368-390. CABI, Wallingford, UK.

Horneburg, B. (2003). Frischer Wind für eine alte Kulturpflanze. Linsen im ökologischen Anbau, ihre Geschichte und Verwendung. Dreschflegel e.V, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität Göttingen (Hrsg.), Druckerei Liddy Halm, Göttingen.

Horneburg, B. (2003) Die Speise-Linse Biodiversität auf drei Ebenen. Nova Acta Leopoldina NF 87, Nr. 328, 347-350.

Horneburg, B. and Becker, H.C. (2008). Crop adaptation in on-farm management by natural and conscious selection: a case study with lentil. Crop Science 48, 203-212.

Lastras, C., Revilla, I., González-Martín, M.I., Vivar-Quintana, A.M. (2021) Prediction of fatty acid and mineral composition of lentils using near infrared spectroscopy. Journal of Food Composition and Analysis 102,104023

Lahuta L.B., Ciak M., Rybiński W., Bocianowski J., Börner A. (2018) Diversity of the composition and content of soluble carbohydrates in seeds of the genus *Vicia* (*Leguminosae*). Genetic Resources and Crop Evolution 65, 541-554

Lauteracher Albfeldfrüchte (2015). Alblinsenschwein.
<http://lauteracher.de/produkte/alblinsenschwein.html>, 08/2015.

- Mammel, Lutz (2015). Persönliche Mitteilung, 1. Vorsitzender der Öko-EZG Ableisa
- Mammel, Woldemar (2015). Persönliche Mitteilung, stellv. Vorsitzender der Öko-EZG Ableisa
- Materne, M., Mc Neil, D.L. (2007). Breeding methods and achievements. In: Yadav. S.S., McNeil, D.L., Stevenson, P.C. (Hrsg.) Lentil – an ancient crop for modern times. 241-254. Springer Verlag, Dordrecht, Niederlande.
- Moinuddin, M. (2011). Use of Lentils (*Lens culinaris*) in the broiler diets as a protein source. M.Sc. Thesis, Universität Hohenheim, S. 43 (Projektarbeit Universität Hohenheim, unveröffentlicht).
- MLR (2019). Gemeinsamer Antrag 2009 – 2019 in Blessing, C., Finck, M., Hüsgen K. (2022). Linse (*Lens culinaris*) – Hinweise zum Pflanzenbau. <https://www.km-bw.de › Service › Schriftenreihen>, abgerufen am 24.02.2023
- Rebio – Regionale Bioland-Erzeugergemeinschaft. 2023. Mündliche Mitteilung.
- Rybiński W, Święcicki W, Bocianowski J, Börner A, Starzycka-Korbas E, Starzycki M (2018) Variability of fat content and fatty acids profiles in seeds of a Polish white lupin (*Lupinus albus* L.) collection. Genetic Resources and Crop Evolution, 65:417-431
- Salgó A., Gerlgely S. (2012) Analysis of wheat grain development using NIR spectroscopy. Journal of Cereal Science, 56, 31-38
- Schmidtke K., Neumann A., Hof, C., Rauber R. (2004). Soil and atmospheric nitrogen uptake by lentil (*Lens culinaris* Medik.) and barley (*Hordeum vulgare* ssp. *nudum* L.) as monocrops and intercrops. Field Crops Research 87, 245-256.
- Shrestha, R., Rizvi, A.H., Sarker, A., Darai, R., Paneru, R.B., Vandenberg, A., Singh, M. (2018). Genotypic variability and genotype × environment interaction for iron and zinc content in lentil under Nepalese environments. Crop Science 58, 2503–2510, doi: 10.2135/cropsci2018.05.0321
- Singh, D., Khare, A. and Singh S. (2017) Effect of phosphorus and molybdenum nutrition on yield and nutrient uptake in lentil (*Lens culinaris* L.). Annals of Plant and Soil Research 19.1, 37-41.

- Urbano, G., Porres, J.M., Frías, J., Vidal-Valverde C. (2007). Nutritional value. In: Yadav. S.S., McNeil, D.L., Stevenson, P.C. (Hrsg.) Lentil – an ancient crop for modern times. 47-94 Springer Verlag, Dordrecht, Niederlande.
- Wang, L., Gruber, S., Claupein, W. (2013). Mixed cropping with lentils increases grain protein in wheat and barley. *Journal für Kulturpflanzen* 65, 422-426.
- Wang L., Gruber S., Claupein W. (2012). Optimizing lentil-based mixed cropping with different companion crops and plant densities in terms of crop yield and weed control. *Organic Agriculture* 2(2), 79–87; DOI: 10.1007/s13165-012-0028-5

15. Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt (Printmedien, Newsletter usw.), bisherige und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse

Datum	Art der Veranstaltung	Aktivität
Gesamtkonsortium		
25.02.2019	Workshop	Projektpräsentation für Landwirte, Lauterach (Schwäbische Alb)
05.10. - 06.10.2019	ANUGA-Messe	Vortrag und Vorstellung von LinSel auf der Messe ANUGA in Köln (Präsentation durch KEY)
17.01. - 26.01. 2020	Grüne Woche-Messe	Messe-Präsenz mit einem Stand auf der Grünen Woche (Präsentation durch IPK, ZÖLUH, UHO1)
08.03.2022	Abschlusskonferenz des Projektes LinSel	Durchführung der digitalen Abschlusskonferenz des Projektes LinSel (Federführung ZÖLUH, ca. 80 Teilnehmer*innen)
IPK		
23.08. - 26.08.2021	21th Eucarpia General Congress – Breeding: The Key to Innovative Solutions	Posterpräsentation auf der Veranstaltung 21 th Eucarpia General Congress – Breeding: The Key to Innovative Solutions. Online from Rotterdam
KEY		
14.07.2019	Linsensfeldtag	Öffentliche Führung durch die Linsenversuche des Keyserlingk-Instituts
28.06.2020	Linsensfeldtag	Öffentliche Führung durch die Linsenversuche des Keyserlingk-Instituts
Juni/ Juli 2021	LGS Überlingen	Eine Schauparzelle mit Linsen diene auf der Landesgartenschau in Überlingen der Öffentlichkeitsarbeit. Regelmäßige Führungen , in denen auch über die Kultivierung der Linse und das LinSel-Projekt informiert wurde fanden zu 6 Terminen statt.
20.06.2021	Linsensfeldtag	Öffentliche Führung durch die Linsenversuche des Keyserlingk-Instituts

UHO1, UHO2		
11.03. 12.03.2021	- Scientific Symposium "Seed Production in Times of Climate Change"	Seed "Seed Production in Times of Climate Change" Präsentation auf dem Scientific Seed Symposium "Seed Production in Times of Climate Change", Meeting of the Working Group Seed Science and Certification (GPZ/GPW) & Section IV Seeds (VDLUFA)
23.08. 26.08.2021	- 21th Eucarpia General Congress – Breeding: The Key to Innovative Solutions	Posterpräsentation auf der Konferenz 21 th Eucarpia General Congress – Breeding: The Key to Innovative Solutions. Online from Rotterdam
08.09. 10.09.2021	- Organic World Congress 2021	Posterpräsentation auf dem Organic World Congress 2021
07.04.2022	Bioland Fachveranstaltung „Wertschöpfungskette Linsenanbau - Bio-Kultur mit Marktpotential“	Fachvortrag und Diskussion auf der Bioland Fachveranstaltung „Wertschöpfungskette Linsenanbau - Bio-Kultur mit Marktpotential“

16. Im Projekt entstandene Publikationen

Konferenzbeiträge

Kröper, Alex, Ulrike Lohwasser, Sabine Zikeli & Sabine Gruber (2021): Identification of lentil (*Lens culinaris*) genotypes for sustainable cropping systems in temperate climate. Scientific Seed Symposium “Seed Production in Times of Climate Change”, Meeting of the Working Group Seed Science and Certification (GPZ/GPW) & Section IV Seeds (VDLUFA), 9-11 March 2021, Book of Abstracts Seed Science, S. 28

Kröper, Alex & Sabine Gruber (2021): „Identification of lentil genotypes (*Lens culinaris* Medik.) suitable for cultivation in temperate climates by yield and resistance to lodging“. In Book of Abstracts of the Organic World Congress 2021, herausgegeben von IFOAM, Organics International. Online from Rennes, France, 2021. (noch nicht veröffentlicht) 08-10 September 2021

Beiträge in Praxiszeitschriften

Gruber, Sabine, 2020: Mehr Linsen braucht das Land. BWagrar, 1/2020, S. 4-5

Kröper, Alex, 2022: Linsen als künftige Ackerkultur? top agrar, 4/2022, S. 72

Kröper, Alex, und Sabine Zikeli, 2022. Linsen auf Erfolgskurs. #Ö, 2/2022, S. 30-31

Kröper, Alex, Annegret Pflugfelder und Sabine Zikeli. 2022. LinSel – Selektion geeigneter Sortentypen von Linsen für nachhaltige Anbausysteme. Landinfo 2/2022, S. 56-58, https://lel.landwirtschaft-bw.de/pb/site/pbs-bw-mlr/get/documents_E-1477655847/MLR.LEL/PB5Documents/lel/Abteilung_1/Landinfo/Landinfo_extern/2022/Heft_2/Einzel_pdf/Pflugfelder_Kroeper_Zikeli.pdf

Geplante Wissenschaftliche Publikationen

Kröper, Alex, Sabine Zikeli, Jens Hartung, Christian Zörb, und Ulrike Lohwasser. „Screening of Lentil (*Lens culinaris* Medik.) Genetic Resources for Further Breeding Purposes“. Genetic Resources and Crop Evolution, voraussichtlich 2023.

Kröper, Alex, Sabine Zikeli, und Christian Zörb, 2022: “Constituents of lentil (*Lens culinaris* Medik.) genetic resources and development of a calibration for near-infrared spectroscopy”, voraussichtlich 2023.

Sonstige Medienbeiträge



Lohwasser, Ulrike, 2021: Linsen – Alte Sorten, neue Vielfalt, Beitrag zum Blog StoryQuarks

Kröper, Alex, 2020: Interviewbeitrag im Verbraucherformat „Zuhause in Berlin und Brandenburg“ des RBB im Rahmen der Grünen Woche.

Studienarbeiten

Im Rahmen des Projektes abgeschlossene Studienarbeiten an der Universität Hohenheim Die Ergebnisse dieser Studienarbeiten sind teilweise in den Projektbericht eingeflossen.

Bachelorarbeiten

Hieber, Michaela, 2021: Phänotyp und Ertrag von vier Linsengenotypen (*Lens culinaris* Medik.) in einem kleinparzelligen Feldversuch mit standardisierter Rankhilfe. Universität Hohenheim

Meyer, Kaspar, 2022: Phänotypisierung und dreijährige Auswertung eines Standardsortiments von Linsengenotypen. Universität Hohenheim

Masterarbeiten

Gondal, Farhan Abbas, 2020: Agro-morphological evaluation of different genotypes of lentil (*Lens culinaris* Medik.). Universität Hohenheim

Reif, Theresa, 2021: Phänotypenvergleich - Linsen (*Lens culinaris*) verschiedener Herkünfte für den regionalen und ökologischen Landbau in Baden-Württemberg und Deutschland. Universität Hohenheim

Weiss, Felicitas, 2021: Ertragsleistung und Unkrautunterdrückung von ausgewählten Linsengenotypen im Mischanbau mit Sommergerste und Hafer an zwei Standorten in Südwestdeutschland. Universität Hohenheim

Burkhardt, Laura, 2021: Prüfung von Linsensorten (*Lens culinaris*) in Kombination verschiedener Stützfrüchte und Standortbedingungen. Universität Hohenheim

Sonstige Studienarbeiten

Garre, Helene, 2019: Gemeinsam sind wir stark – Entwicklung von Populationen bei Linsen, Humboldt reloaded – Projekt. Universität Hohenheim

17. Anhang

17.1 Deskriptor für Linse (*Lens*) / Descriptor for Lentil (*Lens*)

Aussaatdatum – sowing date

Aufgangsdatum – emerging date

Anzahl gekeimter Samen (%) – number of plants (%)

Blühbeginn – start of flowering

Homogenität – homogeneity

1= vollkommen verschieden – completely heterogeneous

3= etwas verschieden – slightly heterogeneous

5= mittelmäßig gleichartig – moderate homogeneous

7= sehr gleichartig – very homogeneous

9= vollkommen gleichartig – completely homogeneous

Farbe der Fahne – colour of standard

1= weiß – white

2= rosa – pink

3= blau – blue

Violette Streifen der Fahne – violet stripes of standard

0= fehlend – absent

1= vorhanden – present

Bestandeshöhe (cm) (zur Blütezeit) – plant height (cm) (at flowering time)

Blühdatum bei 50% blühenden Pflanzen – date of flowering at 50% flowering plants

Blühende – end of flowering

Stärke der Verzweigung – intensity of ramification

1= gering – weak

2= mittel – medium

3= stark – strong

Anzahl Ranken – number of tendrils (UHO)

Höhe der Ranken (cm) – height of tendrils (cm) (UHO)

Verrankung durch Bewegen des Bestandes auf der Parzelle (KEY, UHO)

1= nicht verrankt

9= stark verrankt, so dass sich die Bewegung weit fortsetzt

Ansatzhöhe der 1. Hülse (cm) – height of first pod (cm)

Anzahl Hülsen pro Pflanze – number of pods per plant

Anzahl Hülsen oberhalb 10 cm über dem Boden – number of pods above 10 cm (UHO)

Anzahl Hülsen unterhalb 10 cm über dem Boden – number of pods below 10 cm (UHO)

Ertrag Samen oberhalb 10 cm über dem Boden – yield of pods above 10 cm (UHO)

Ertrag Samen unterhalb 10 cm über dem Boden – yield of pods below 10 cm (UHO)

Anzahl Samen pro Pflanze (Berechnung aus Samen pro Hülse und Hülsen pro Pflanze) – number of seeds per plant (calculation based on seeds per pod and pods per plant)

Zeitpunkt der ersten reifen Hülsen – date of the first ripe pods

Anzahl der Samen pro Hülse – number of seeds per pod

1= eine – one

2= zwei – two

3= drei – three

Standfestigkeit/Lagerneigung – stability/lodging

1= stehend – standing

2= liegend und stehend – lying and standing

3= liegend – lying

Homogenität der Reife – homogeneity of ripening

1= vollkommen verschieden – completely heterogeneous

3= etwas verschieden – slightly heterogeneous

5= mittelmäßig gleichartig – moderate homogeneous

7= sehr gleichartig – very homogeneous

9= vollkommen gleichartig – completely homogeneous

Platzfestigkeit der Hülsen – pod shattering

1= platzfest – non shattering

2= Hülsen platzfest und platzend – non shattering and shattering

3= alle Hülsen platzend– complete shattering

Erntedatum – date of harvest

Erntemenge – yield

Anzahl nicht marktfähiger Linsen (%) – number of non-salable lentils (%) (Saatgutqualität)

Farbe der Samenschale – colour of testa

1= grünlich gelb – greenish yellow

2= grün – green

3= rosa – pink

4= schwarz – black

Samenmuster – seed pattern

0= fehlend – absent

1= gefleckt – blotched

2= gepunktet – spotted

3= marmoriert – marbled

4= marmoriert und gefleckt – marbled and blotched

Kotyledonenfarbe – colour of cotyledons

1= gelb – yellow

2= grün bis grünlich gelb – green to greenish yellow

3= orange bis rot – orange to red

TKM – 1000 grain weight

Samenlänge – seed length

Samenbreite – seed width

Samenfläche – seed area

Bemerkungen, Krankheiten – remarks, diseases

BBCH-Stadien (KEY)

10: Anzahl überlebender Pflanzen

30: Frohwüchsigkeit

60: Deckungsgrad/ Beikrautbesatz

90: Lagerneigung

17.2 Erfolgskontrollbericht

Die Erfolgskontrollberichte wurden von den einzelnen Projektpartnern bereits im Juni 2022 eingereicht.

17.3 Merkblatt mit den Projektergebnissen

Laut Rücksprache mit den Experten Woldemar Mammel (Initiator des Linsenbaus auf der Schwäbischen Alb) und Franz Häußler (Berater für Linsenbau der Erzeugergemeinschaft Ableisa) ist die Publikation eines Merkblattes zum Projekt „LinSel“ nur dann sinnvoll, wenn für die selektierten Herkünfte ausreichend Saatgut zur Verfügung steht, um dies an interessierte Landwirte abzugeben. Dies ist im Augenblick nicht der Fall, daher wurde bisher kein Merkblatt für LinSel erstellt.