Gefördert durch:

Bundesministerium
für Landwirtschaft, Ernährung
und Heimat

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Projektträger

Bundesanstalt für
Landwirtschaft und Ernährung

Schlussbericht zum Thema „Screening genetischer Ressourcen von Kichererbse (Cicer arietinum L.) und Saat-Platterbse (Lathyrus sativus L.): Anpassung an den Klimawandel in Deutschland mit alternativen Leguminosen für die menschliche Ernährung“ (CiLaKlima)

FKZ: **2820EPS010 (Uni Hohenheim)**
2820EPS027 (IPK)
2820EPS028 (ZALF)

Projektnehmer:

Universität Hohenheim (Koordination), Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK), Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.

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

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Abschlussbericht

CiLaKlima

CiLaKlima - Screening genetischer Ressourcen von Kichererbse (*Cicer arietinum* L.) und Saat-Platterbse (*Lathyrus sativus* L.): Anpassung an den Klimawandel in Deutschland mit alternativen Leguminosen für die menschliche Ernährung

M.Sc. Christine Boldischar, M.Sc. Jéssica Bubolz, Dr. Ulrike Lohwasser,

Dr. Moritz Reckling, Dr. Sabine Zikeli

Förderkennzeichen: 2820EPS010 **Laufzeit:** 01.12.2022 – 30.04.2026

Gefördert durch

Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Projektträger

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung

Projektpartner

IPK LEIBNIZ-INSTITUT

rebio Regionale Bioland Erzeugergemeinschaft

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

zalf Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.

Hohenheim, 1. Juni 2026

Projektleitung und -partner:

Projektleitung:
ZÖLUH Universität Hohenheim
Fakultät Agrarwissenschaften
Zentrum für Ökologischen Landbau (309)
Dr. Sabine Zikeli, Christine Boldischar
Fruwirthstr. 14/16
70599 Stuttgart
sabine.zikeli@uni-hohenheim.de

Projektpartner:
UHOH Universität Hohenheim
Institut für Kulturpflanzenwissenschaften,
Fachgebiet Qualität pflanzlicher Erzeugung (340e)
Prof. Dr. Christian Zörb
Emil-Wolff-Str. 25
70599 Stuttgart
christian.zoerb@uni-hohenheim.de

IPK Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung,
Abteilung Genbank
Dr. Ulrike Lohwasser
Corrensstr. 3
06466 Stadt Seeland, OT Gatersleben
lohwasse@ipk-gatersleben.de

ZALF Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V.,
Arbeitsgruppe Ressourceneffiziente Anbausysteme
Dr. Moritz Reckling, Jéssica Bubolz
Eberswalder Str. 84,
15374 Müncheberg
moritz.reckling@zalf.de

Kurzfassung

Übergeordnetes Ziel des Projektes war es, genetische Ressourcen von Kichererbse (*Cicer arietinum* L.) und Saat-Platterbse (*Lathyrus sativus* L.) auf ihre Eignung für den Anbau in Deutschland zu prüfen, um das Kulturartenspektrum für die konventionelle und ökologische Landwirtschaft zu erweitern. Beide Arten sind sehr gut an trockene und warme Klimabedingungen angepasst. Damit stellen sie vielversprechende Alternativen zu verbreitet angebauten Leguminosen wie Erbsen oder Ackerbohnen dar, die aufgrund des Klimawandels zunehmend geringere Ertragsstabilität aufweisen.

Im Projekt wurden daher für die Kichererbse 95 und für die Saat-Platterbse 96 genetische Ressourcen evaluiert. Aus diesem Pool wurden vier Kichererbsen- und sieben Saat-Platterbsenakzessionen identifiziert, die sich für den heimischen Anbau eignen. Dabei zeigte sich, dass die Kichererbse besonders auf Standorten mit hohen Wärmesummen und leichten Böden ein hohes Ertragspotential hat, während die Saat-Platterbse auch für kühlere Standorte mit schweren Böden geeignet ist und sowohl in feuchten als auch in trockenen Jahren gute Erträge lieferte.

Neben der Selektion von Herkünften fanden in CiLaKlima agronomische Versuche zur Beikrautkontrolle in Kichererbsen und zum Gemengeanbau von Saat-Platterbsen statt. Eine intensive Beikrautkontrolle ist dabei in erster Linie durch das Beikrautaufkommen bedingt, der Einfluss der Wuchstypen ist gering. Im Gemengeanbau mit der Saat-Platterbse erwiesen sich Spelzhafer und Triticale als geeignete Gemengepartner, während Hartweizen eine unzureichende Stützwirkung aufwies. Werden die Getreideanteile im Gemenge zu hoch, reduziert sich der Ertrag der Saat-Platterbse.

Die im Projekt entwickelte Nah-Infrarot-Kalibration zur Erfassung der Eigenschaften der Saat-Platterbsen- und der Kichererbsen-Akzessionen bestimmt die Proteingehalte sehr zuverlässig (R^2 = 0.98 bis 0.99) und kann für das Screening von Zuchtlinien o.ä benutzt werden. Die Saat-Platterbsen-Herkünfte wiesen durchgängig höhere Proteingehalte im Korn auf als die Kichererbsen. Der Proteingehalt und die Speicherproteine der Kichererbsen-Herkünfte unterschieden sich nicht zwischen Kabuli-, Gulabi- und Desi-Typen, so dass aus einer ernährungwissenschaftlichen Perspektive alle drei Typen ein Potenzial

aufweisen. In Saat-Platterbsen wurde neben den Proteinen auch der Gehalt an L-Homoarginin (gesundheitsfördernd) und β-ODAP (Toxin) analysiert. In 2023 lag die mittlere β-ODAP-Konzentration bei 0,18% in der Trockenmasse. Die Gehalte an β-ODAP waren stark umweltabhängig, der Einfluss des Genotyps war gering. L-Homoarginin dagegen wies signifikante Standort- und Genotyp-Effekte auf und war positiv mit dem Ertrag korreliert.

Insgesamt zeigt CiLaKlima, dass Kichererbse und Saat-Platterbse bei gezielter Sortenwahl, angepasstem Management und weiterem Aufbau von Wertschöpfungsketten zur Klimaanpassung des Leguminosenanbaus in Deutschland beitragen können. Desi/Gulabi-Kichererbsentypen sind agronomisch robuster als Kabuli-Typen, ohne Nachteile in der Proteinqualität, stellen aber neue Anforderungen an die Vermarktung, da sich das Erntegut visuell von den beim Verbraucher bekannten Kabuli-Typ unterscheidet. Die Saat-Platterbse ist agronomisch stabil und proteinreich, muss aber im Gemenge angebaut werden. Offene Fragen existieren hier zu möglichen Grenzwerten an β-ODAP, zu weiterer Züchtung und der Auswirkung der Verarbeitung. Die entwickelten Nah-Infrarot-Kalibrationen für Protein sowie die Empfehlungen zu Beikrautmanagement und Gemengeanbau sind unmittelbar in Forschung und Praxis einsetzbar.

Summary

The overarching goal of the project was to evaluate genetic resources of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and grass pea (*Lathyrus sativus* L.) for their suitability for cultivation in Germany, with the aim of expanding the range of crop species available for conventional and organic farming. Both species are very well adapted to dry and warm climatic conditions. They represent promising alternatives to widely cultivated legumes such as peas or field beans, which are showing increasingly lower yield stability due to climate change.

In the project, 95 genetic resources for chickpea and 96 for grass pea were screened. From this pool, four chickpea and seven grass pea accessions were identified as suitable for cultivation in Germany. Chickpea had higher yield potential in locations with high heat sums and light soils, while grass pea is also suitable for cooler locations with heavy soils and produces stable yields in both, wet and dry years.

In addition to the selection of accessions, agronomic trials on weed control in chickpeas and on the intercropping of grass peas were conducted in the project. Intensive weed control is primarily determined by weed pressure; the influence of chickpea growth types is very low. In mixed cropping with grass pea, hulled oats and triticale proved to be suitable partners, while durum wheat provided insufficient support leading to lodging of the grass pea crop. If the proportion of cereals in the mixture becomes too high, the yield of grass pea is reduced.

The near-infrared spectroscopy (NIRS) calibration developed in the project to characterize the properties of grass pea and chickpea accessions showed a good fit for protein content (R^2 = 0.98 to 0.99) and can be used for screening breeding lines or similar purposes. Grass pea accessions consistently exhibited higher protein contents in the grain than chickpea. The protein content and storage proteins of chickpea accessions did not differ between Kabuli, Gulabi, and Desi types. Therefore, from a nutritional perspective, all three types can be utilized. In grass pea, in addition to proteins, the content of L-homoarginine (health-promoting compound) and β-ODAP (toxin) was analyzed. In 2023, the mean β-ODAP concentration was 0.18% in the dry matter. β-ODAP levels

were highly dependent on the environment, while the influence of genotype was low. L-homoarginine, on the other hand, showed significant environment and genotype effects and was positively correlated with yield.

Overall, CiLaKlima demonstrates that chickpeas and grass peas can contribute to climate adaptation in legume cultivation in Germany through targeted variety selection, adapted management, and the development of functioning value chains. Desi/Gulabi chickpea types are agronomically more robust than Kabuli types without compromising protein quality, but they pose new challenges for marketing, as the harvested grain visually differs from the Kabuli type familiar to consumers. Grass pea is agronomically stable and has high protein contents, but must be grown in intercropping. Open questions remain regarding potential limits for β-ODAP, further breeding, and the impact of processing on toxin contents. The NIRS calibrations for protein developed in the project, as well as the recommendations for weed management and intercropping cropping, can be immediately applied in research and practice.

Inhalt

Kurzfassung 3
Summary 5
Abkürzungsverzeichnis i
Abbildungsverzeichnis ii
Verzeichnis der Tabellen und Graphiken v
1. Einführung 1
1.1 Gegenstand des Vorhabens 1
1.2 Ziele und Aufgabenstellungen des Projekts, Bezug des Vorhabens zu den einschlägigen Zielen 2
1.3 Planung und Ablauf des Projektes 3
2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde 5
3. Darstellung der wichtigsten Ergebnisse 8
3.1 Screening in Sortimenten von Genbanken, bei verfügbaren Sorten und von Linien (Arbeitspaket 2) 8
3.1.1 Material und Methoden 8
3.1.2 Wichtigste Ergebnisse 11
3.1.3 Diskussion 13
3.2 Prüfung der agronomischen Eigenschaften geeigneter Akzessionen in standardisierten modellhaften Anbausystemen (Arbeitspaket 3) 14
3.2.1 Material und Methoden 14
3.2.2 Wichtigste Ergebnisse 19
3.2.3 Diskussion 26
3.3 Analytik und Prüfung der Produktqualität geeigneter Akzessionen (Arbeitspaket 4) 28
3.3.1 Material und Methoden 28
3.3.2 Wichtigste Ergebnisse 31
3.3.3 Diskussion 36
3.4 Prüfung der Ertragsstabilität geeigneter Akzessionen hinsichtlich ihrer Resilienz unter den Bedingungen des Klimawandels (Arbeitspaket 5) 39
3.4.1 Material und Methoden 39
3.4.2 Wichtigste Ergebnisse 44
3.4.3 Diskussion 48

3.5 On-Farm- und Tast-Versuche auf ausgewählten Praxisstandorten in Deutschland (Arbeitspaket 6) 51
4. Schlussfolgerungen 53
5. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse 55
6. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen und Hinweise auf weiterführende Fragestellungen 59
7. Zusammenfassung 63
8. Literaturverzeichnis 67
9. Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt I

Abkürzungsverzeichnis

β-ODAP	β-N-oxalyl-L-α, β-diaminopropionic acid
Ca	Kalzium
Fe	Eisen
HSD	Honest Significant Difference
K	Kalium
kfK	Keimfähige Körner
L-hArg	L-Homoarginin
LC-MS/MS	Flüssigkeitschromatographie-Tandem-Massenspektrometrie
LER	Land Equivalent Ratio, Flächenäquivalenzverhältnis
Max	Maximalwert
Mg	Magnesium
Min	Minimalwert
Mn	Mangan
MW	Mittelwert
N_t	Gesamtstickstoff
NIRS	Nahinfrarotspektroskopie
P	Phosphor
R^2	Bestimmtheitsmaß
RCBD	randomisierte vollständige Blockanlage
REML	Restricted Maximum Likelihood
SDS-PAGE	sodium dodecyl sulfate–polyacrylamide gel electrophoresis
Se	Selen
SEC	Standardfehler der Kalibrierung
SECV	Standardfehler der Kreuzvalidierung
TM	Trockenmasse
TGW	Tausendkorngewicht
TKG	Tausendkorngewicht
Zn	Zink

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Arbeitspakete und der Projektstruktur 5
Abbildung 2: Anzahl der Saat-Platterbsen-Akzessionen nach Herkunftsländern..... 9
Abbildung 3: Anzahl der Kichererbsen-Akzessionen nach Herkunftsländern..... 9
Abbildung 4: Korrelationsmatrix-Heatmap mit Spearman-Korrelationskoeffizienten (df = 298) zwischen den agronomischen und produktivitätsbezogenen Mittelwerten von 50 Saat-Platterbsen-Genotypen, die über drei Standorte und zwei Anbausaisons hinweg bewertet wurden. Die Korrelationen sind farblich von blau (positive Korrelation, +1,0) bis rot (negative Korrelation, −1,0) codiert. Berücksichtigte Merkmale: Growing degree days to first flower (^{0}C); plant height (cm); height of the first pod (cm); number of branches with pods (count); seed area (mm^2); number of seeds per pod; number of pods per plant; number of seeds per plant; thousand grain weight (g); und Yield (g plant^{-1})..... 12
Abbildung 5: Korrelationsmatrix-Heatmap mit Spearman-Korrelationskoeffizienten (df = 194) zwischen den agronomischen und produktivitätsbezogenen Mittelwerten von 39 Kichererbsen-Genotypen, die über drei Standorte und zwei Anbausaisons (fünf Umwelten) hinweg bewertet wurden. Die Korrelationen sind farblich von Blau (positive Korrelation, +1,0) bis Rot (negative Korrelation, −1,0) codiert. Berücksichtigte Merkmale: plant height (cm); height of the first pod (cm); seed area (mm^2); number of seeds per pod; number of pods per plant; number of seeds per plant; thousand grain weight (g); und Yield (g plant^{-1}). 13
Abbildung 6: Samen der Kichererbsensorten; “a“ steht für Orion, “b“ für Nero und “c“ für Irenka..... 16
Abbildung 7: Ertrag (dt ha^{-1}) der Kichererbsensorten Orion, Nero und Irenka unter vier Beikrautbekämpfungsmaßnahmen am Standort Kleinhohenheim (UHOH) von 2023 bis 2025. Die Balken stellen Mittelwerte ± Standardfehler dar. Unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungsvarianten innerhalb jeder Sorte und jedes Jahres gemäß dem Tukey-HSD-Test hin ($p \leq 0,05$). 19
Abbildung 8: Ertrag (dt ha^{-1}) der Kichererbsensorten Orion, Nero und Irenka unter vier Beikrautbekämpfungsmaßnahmen am Standort Müncheberg (ZALF) von 2023 bis 2025. Die Balken stellen Mittelwerte ± Standardfehler dar. Unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungsvarianten innerhalb jeder Sorte und jedes Jahres gemäß dem Tukey-HSD-Test hin ($p \leq 0,05$)..... 20
Abbildung 9: Beikrautbiomasse (g m^{-2}) der Kichererbsensorten Orion, Nero und Irenka unter vier Beikrautbekämpfungsmaßnahmen am Standort Kleinhohenheim (UHOH) von 2023 bis 2025. Die Balken stellen

Mittelwerte ± Standardfehler dar, die roten Zahlen geben den Kornertrag (dt ha^{-1}) an. 20
Abbildung 10: Beikrautbiomasse (g m^{-2}) der Kichererbsensorten Orion, Nero und Irenka unter vier Beikrautbekämpfungsmaßnahmen am Standort Müncheberg (ZALF) von 2023 bis 2025. Die Balken stellen Mittelwerte ± Standardfehler dar, die roten Zahlen geben den Kornertrag (dt ha^{-1}) an. 21
Abbildung 11: Saat-Platterbse in Reinsaat in Dedelow 2023 (links), in Kleinhohenheim 2025 (rechts). 22
Abbildung 12: Mittlere Erträge (± Standardfehler) von Getreide und Saat-Platterbse (kg ha^{-1}) an den Versuchsstandorten Dedelow und Kleinhohenheim (UHOH) über die Versuchsjahre 2023-2025. 23
Abbildung 13: Erträge (± Standardfehler) von Getreide und Saat-Platterbse (kg ha^{-1}) am Standort Kleinhohenheim im Versuchsjahr 2023 (links) und im Versuchsjahr 2024 (rechts), geordnet nach aufsteigendem Saat-Platterbsenertrag innerhalb der jeweiligen Sorte (PL1=Fischauer, PL2=Cicerchia, T=Triticale, H1=Spelzhafer Lion, D1=Hartweizen Prossimo, D2=Hartweizen Inizio, D3=Hartweizen Durago; a=Gemengeverhältnis 95:25, c=Gemengeverhältnis 110:10) 24
Abbildung 14: Erträge (± Standardfehler) von Getreide und Saat-Platterbse (kg ha^{-1}) am Standort Dedelow im Versuchsjahr 2023 (oben) und im Versuchsjahr 2024 (unten), geordnet nach aufsteigendem Saat-Platterbsenertrag innerhalb der jeweiligen Sorte (PL1=Fischauer, PL2=Cicerchia, T=Triticale, H1=Spelzhafer Lion, H2=Nackthafer Patrik, D1=Hartweizen Prossimo, D2=Hartweizen Inizio, D3=Hartweizen Durago, SW=Sommerweizen; a=Gemengeverhältnis 95:25, b = Gemengeverhältnis 80:40, c=Gemengeverhältnis 110:10). 25
Abbildung 15: Boxplot der Verteilung der β-ODAP Konzentrationen (% TM) an den Versuchsstandorten (IPK, UHOH, ZALF) im Versuchsjahr 2023. Unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede zwischen den Standorten hin (ANOVA mit Tukey-Test, $p < 0,01$) (leicht verändert nach Boldischar et al. 2025) 34
Abbildung 16: Boxplot der Verteilung der L-hArg Konzentrationen (% TM) an den Versuchsstandorten (IPK, UHOH, ZALF) im Versuchsjahr 2023. Unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede zwischen den Standorten hin (ANOVA mit Tukey-Test, $p < 0,01$) (leicht verändert nach Boldischar et al. 2025) 34
Abbildung 17: Feldversuch mit Rainout-Sheltern in verschiedenen Körnerleguminosen am ZALF auf der Forschungsstation in Müncheberg. 42
Abbildung 18: Konstruktion von Rainout-Sheltern im Feld über Kichererbsen zur Blüte. 43

Abbildung 19: Heatmap der Genotyp-Leistung in neun Umwelten (U1-U9) für den Ertrag an gereinigtem Saat-Platterbsenkorn, einschließlich Genotyp- und Umweltsdurchschnitte. Umwelt: U1, U4 und U7 (IPK in den Jahren 2023, 2024 und 2025); U2, U5 und U8 (UHOH in den Jahren 2023, 2024 und 2025); U3, U6 und U9 (ZALF in den Jahren 2023, 2024 und 2025). 44
Abbildung 20: Finlay-Wilkinson-Regression des Ertrags (g Pflanze^{-1}) für Saat-Platterbsengenotypen mit einer Überleistungswahrscheinlichkeit von mehr als 0,70. Der Genotyp-Ertrag wurde gegen den mittleren Ertrag über alle Umwelten hinweg als Maß für die Umweltproduktivität ausgewertet. Die durchgezogenen farbigen Linien stellen Genotyp-spezifische Regressionslinien dar. Die gestrichelte graue Linie stellt die 1:1-Referenzlinie (β = 1) dar, die die durchschnittliche Umweltreaktion angibt. 45
Abbildung 21: Heatmap der Genotyp-Leistung in sieben Umwelten für den marktfähigen Ertrag der Kichererbse. Die Heatmap zeigt die mittleren Erträge von Genotyp × Umwelt. NA kennzeichnet Kombinationen, die aufgrund von weniger als fünf Pflanzen pro Parzelle ausgeschlossen wurden. Die Genotypwerte sind gemischte modellbereinigte Mittelwerte, die Umweltswerte sind Mittelwerte über alle Genotypen hinweg. Umwelt: U1 und U6 (IPK in den Jahren 2023 und 2025); U2 und U4 (UHOH in den Jahren 2023 und 2024); U3, U5 und U7 (ZALF in den Jahren 2023, 2024 und 2025); U8 (GZPK im Jahr 2025). 46
Abbildung 22: Finlay-Wilkinson-Regression des Ertrags (g Pflanze^{-1}) für Kichererbsengenotypen mit einer Überleistungswahrscheinlichkeit von mehr als 0,70. Der Genotyp-Ertrag wurde gegen den Durchschnittsertrag aller Umwelten als Maß für die Umweltproduktivität ausgewertet. Die durchgezogenen farbigen Linien stellen Genotyp-spezifische Regressionslinien dar. Die gestrichelte graue Linie stellt die 1:1-Referenzlinie (β = 1) dar, die die durchschnittliche Umweltreaktion angibt. 46
Abbildung 23: Niederschlag (blaue Balken), Bewässerung (grüne Balken) und mittlere Lufttemperatur (rote Linie) während der Wachstumsphase von April bis August in den Jahren 2023-2025. 47
Abbildung 24: Ertrag von Kichererbsen (oben) und Saat-Platterbsen (unten) unter Einfluss von Trockenstress zur Blüte (flowering) oder zur Hülsenfüllung (podfilling), unter natürlichen Bedingungen (rainfed) und mit Bewässerung (irrigated) 48
Abbildung 25: Lage der Praxisbetriebe mit Kichererbsenanbau im Jahr 2025 (GeoBasis-DE/BKG, Google, 2026) 52

Verzeichnis der Tabellen und Graphiken

Tabelle 1: Übersicht über die Anzahl der durchgeführten Bewirtschaftungsmaßnahmen bei jeder der vier getesteten Bewirtschaftungsstrategien, mit Aussaat- und Ernteterminen für jeden Standort und jedes Versuchsjahr. Der Reihenabstand variierte je nach Bewirtschaftungsform; bei "Blind Striegeln" und "Intensiv Striegeln" betrug der Reihenabstand 12,5 cm, bei "Intensiv Striegeln und Hacken" sowie "Intensiv Hacken" variierte der Reihenabstand je nach Standort: in Kleinhohenheim (UHOH) 37,0 cm und in Müncheberg (ZALF) 33,5 cm.....15

Tabelle 2: Zusammenfassung der geprüften Sommergetreide an den zwei Versuchsstandorten (Dedelow und Kleinhohenheim), mit Getreideart, Getreidesorte und Gemengeverhältnis (Saat-Platterbse: Getreide, ausgedrückt in % der entsprechenden Reinsaatstärke). [a] nur in Versuchsjahr 2024 getestet, [b] nur in Versuchsjahr 2025 getestet.....17

Tabelle 3: Übersicht der verwendeten Methoden der nasschemischen Referenzanalytik.....29

Tabelle 4: Zusammenfassung der Parameter der NIRS-Kalibration für Kichererbse und Saat-Platterbse mit Bestimmtheitsmaß (R^2), Standardfehler der Kalibrierung (SEC) und der Standardfehler der Kreuzvalidierung (SECV).....32

Tabelle 5: Minimal (Min) -, Mittel (MW)- und Maximalwerte (Max) und Gesamtmittelwert für die β-ODAP und L-hArg Konzentrationen (% TM) der 19 Genotypen an den drei Versuchsstandorten (UHOH, IPK, ZALF) im Versuchsjahr 2025.....35

Tabelle 6: Mittlere β-ODAP und L-hArg Konzentrationen (% TM) der vier Kontrollsorten an den drei Versuchsstandorten (UHOH, IPK, ZALF) im Versuchsjahr 2025. 36

Tabelle 7: Beschreibung von 19 Saat-Platterbsen-Akzessionen, die in neun Umwelten während der Anbauperiode 2023–2025 bewertet wurden.....40

Tabelle 8: Beschreibung von 21 Kichererbsen-Akzessionen, die in acht Umwelten während der Anbauperiode 2023–2025 bewertet wurden. 41

Tabelle 9: Termine während der Vegetationszeit.....44

1. Einführung

1.1 Gegenstand des Vorhabens

Übergeordnetes Ziel des Vorhabens war es, genetische Ressourcen von Kichererbse (*Cicer arietinum* L.) und Saat-Platterbse (*Lathyrus sativus* L.) auf ihre Eignung für den Anbau in Deutschland zu prüfen. Dadurch sollte das Kulturartenspektrum sowohl für konventionell als auch für ökologisch wirtschaftende Landwirte um zwei bisher weitgehend ungenutzte Leguminosen erweitert werden. Die Kichererbse ist eine Kulturpflanze, die weltweit bereits eine große Bedeutung für die menschliche Ernährung hat, insbesondere in Afrika, Südasien und im Mittelmeerraum, die aber in Deutschland nur in sehr geringem Umfang angebaut wird. Die Saat-Platterbse ist eine in Europa bisher wenig genutzte Kulturart. Der Anbau findet bislang vor allem in Südasien und Afrika statt und spielt bisher in Deutschland noch keine Rolle. Beide Arten sind sehr gut an trockene und warme Klimabedingungen angepasst. Damit stellen Kichererbsen und Saat-Platterbsen vielversprechende Alternativen zu verbreitet angebauten Leguminosen wie Felderbsen oder Ackerbohnen dar, die aufgrund des Klimawandels eine zunehmend geringere Ertragsstabilität aufweisen.

Im Rahmen des Projektes wurden daher für beide Kulturen genetische Ressourcen identifiziert, auf die Eignung für den heimischen Anbau geprüft und selektiert, um Züchtungsvorhaben und interessierten Landwirten, geeignete Genotypen zur Verfügung zu stellen. Dabei zielte die Selektion von Kichererbsen auf Standorte mit hohen Wärmesummen (z.B. Rheingraben, Südpfalz, Teile Brandenburgs und Sachsens) ab, während die Saat-Platterbse auch für kühlere Standorte geeignet ist, auf denen aufgrund des Klimawandels in Zukunft häufig mit Trockenstress zu rechnen ist. Somit wurden im Projekt zwei verschiedene Klimaregionen in Deutschland abgebildet.

Kichererbsen und Saat-Platterbsen können ohne aufwändige Verarbeitungsschritte in der menschlichen Ernährung eingesetzt werden, was beide Kulturen für die Vermarktung als Speiseware interessant macht. Insbesondere Produkte aus Kichererbsen sind

beim Verbraucher bekannt, so dass sich hier durch regionalen Anbau neue Marktnischen eröffnen können. Beide Kulturen haben ein großes Potential für den Anbau in Deutschland, werden derzeit allerdings nur von einigen wenigen Pionierbetrieben angebaut, so dass von Seiten deutscher Züchtungsunternehmen bisher keine Sorten entwickelt wurden. Das Projekt soll dazu beitragen, trotz dieses Mangels an Züchtungsaktivitäten für den Anbau in Deutschland langfristig die Verfügbarkeit von geeigneten Herkünften zu erhöhen und damit den Anbau beider Kulturen in Deutschland zu stärken.

Neben der Frage nach Sorten und Herkünften mit hohem und stabilem Ertrag waren bisher auch agronomische Fragestellungen für beide Kulturen offen, die einer weiteren Ausdehnung des Anbaus entgegenstehen. Für Kichererbsen ist dabei vor allem die Beikrautkontrolle relevant, da die Kultur gerade in der Jugendentwicklung eher konkurrenzschwach gegen Beikräuter ist. Im Gegensatz dazu ist die Saat-Platterbse sehr wüchsig und rankt und benötigt daher einen Gemengepartner. Beide Fragen wurden ebenfalls im Projekt bearbeitet.

1.2 Ziele und Aufgabenstellungen des Projekts, Bezug des Vorhabens zu den einschlägigen Zielen

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

Das Projekt fand in enger Zusammenarbeit mit der landwirtschaftlichen Praxis statt und war stark an den Bedürfnissen der Praxis ausgerichtet. Zu Projektbeginn wurden gemeinsam mit den Praxispartnern die Versuchsfragen für die agronomischen Versuche festgelegt, um die **Praxisrelevanz** der Untersuchungen zu gewährleisten. Die Ergebnisse der Feldversuche zur Beikrautregulierung in Kichererbsen und zum Gemengeanbau mit Saat-Platterbsen tragen zur **Optimierung des Leguminosenanbaus** in Deutschland bei. Zum Projektende konnten **ertragsstarke und ertragsstabile Kichererbsenherkünfte** selektiert werden, die für den Praxisanbau in Deutschland interessant

sind. Die Kichererbsen-Selektionen aus CiLaKlima umfassen dabei Herkünfte unterschiedlicher Schalenfarben (schwarz, rotbraun, beige) und unterschiedlicher Samenformen und -typen (Desi, Gulabi, Kabuli), so dass damit neue Marktsegmente mit heimischer Ware bespielt werden können, was vorher nicht möglich war. Dabei unterscheiden sich die Herkünfte in den Proteingehalten nicht. Ebenso wurden für den Anbau in Deutschland geeignete Saat-Platterbsen-Herkünfte und optimale Gemengepartner identifiziert. Insgesamt tragen die Ergebnisse von CiLaKlima dazu bei, **resiliente, klimaangepasste und ressourcenschonende Leguminosenanbausysteme** zu entwickeln.

1.3 Planung und Ablauf des Projektes

Das Projekt bestand aus sechs Arbeitspaketen und wurde in enger Abstimmung zwischen den Partnern IPK, ZALF, UHOH und ZÖLUH sowie den Praxispartnern durchgeführt (Abbildung 1).

In **Arbeitspaket 1** (verantwortlich ZÖLUH) erfolgte die Koordination des Vorhabens, es wurden zweimal jährlich Projekttreffen (online mit den Praxispartnern und in Präsenz an den unterschiedlichen Standorten) organisiert, die Webseite betreut, ein Flyer und ein Rezeptbuch erstellt. Darüber hinaus wurde zum Projektabschluss eine Online-Konferenz zur Präsentation der Ergebnisse durchgeführt.

Das **Arbeitspaket 2** (verantwortlich IPK) hatte zum Ziel, geeignete Kichererbsen- und Saat-Platterbsen-Herkünfte auszusuchen und zu beschreiben. Das Screening fand an allen drei Standorten statt, um die Performance der Herkünfte unter verschiedenen Umwelten abzubilden. Zu diesem Zweck wurden im ersten Versuchsjahr 96 Saat-Platterbsen-Herkünfte und vier Vergleichssorten, die sich aktuell im Praxisanbau befinden, gescreent. Bei den Kichererbsen wurden 95 Herkünfte und fünf Vergleichssorten geprüft. In den Folgejahren wurde das Sortiment mit Hilfe einer Standort-übergreifenden Analyse weiter reduziert, so dass im letzten Versuchsjahr eine Bestenauslese von 17 Kichererbsengenotypen und 15 Saat-Platterbsengenotypen geprüft wurde. Die Deskriptoren zur Selektion geeigneter Genotypen wurden von allen Partnern gemeinsam

festgelegt, wobei für bestimmte Deskriptoren auch Rücksprache mit den Praxispartnern gehalten wurde.

In Arbeitspaket 3 (verantwortlich ZÖLUH mit ZALF) wurden die Versuche zur Optimierung der Beikrautkontrolle in Kichererbsen und zu möglichen Gemengepartnern und Mischungsverhältnissen in Saat-Platterbse durchgeführt. Der Versuch zur Beikrautkontrolle in Kichererbsen fand an den Standorten UHOH und ZALF in allen drei Versuchsjahren satt. Saat-Platterbse im Gemenge wurde am Standort UHOH in drei Versuchsjahren, am Standort ZALF in zwei Versuchsjahren (2023 und 2024) getestet. Der Versuchsaufbau zur Beikrautkontrolle in den Kichererbsen sowie die Ergebnisse wurden an die Praxispartner rückgespiegelt und angepasst.

UHOH untersuchte im **Arbeitspaket 4** (verantwortlich UHOH) Proben der Herkünfte von Saat-Platterbse und Kichererbse von allen Standorten auf ihre ernährungsphysiologischen Eigenschaften (Protein- und Mineralstoffgehalt in beiden Kulturen) sowie zu gesundheitsfördernden (L-Homoarginin) und antinutritiven (β-ODAP) Inhaltsstoffen in der Saat-Platterbse. Protein- und Mineralstoffgehalte wurden basierend auf einer Kalibration durch nasschemische Analysen mit Nah-Infrarot-Spektroskopie untersucht, während L-Homoarginin und β-ODAP ausschließlich nasschemisch bestimmt wurden.

Die Bewertung der Ertragsstabilität von Genotypen über alle Umwelten und gezielt unter Trockenstress fand in **Arbeitspaket 5** (verantwortlich ZALF mit IPK) statt. Ausgewählte Sorten der Kichererbse und Saat-Platterbse wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten ihrer phänologischen Entwicklung mit Rainout-Sheltern versehen, um die Auswirkung des Trockenstresses auf Erträge zu prüfen.

In **Arbeitspaket 6** (verantwortlich ZÖLUH mit ZALF) wurden On-Farm-Versuche zu den agronomischen Eigenschaften und zum Anbau verschiedener Genotypen bei der Kichererbse mit den Praxispartnern sowie mit weiteren interessierten Landwirten durchgeführt. Der Anbau von Saat-Platterbse wurde durch das Projekt auf ausgewählten Betrieben begleitet.

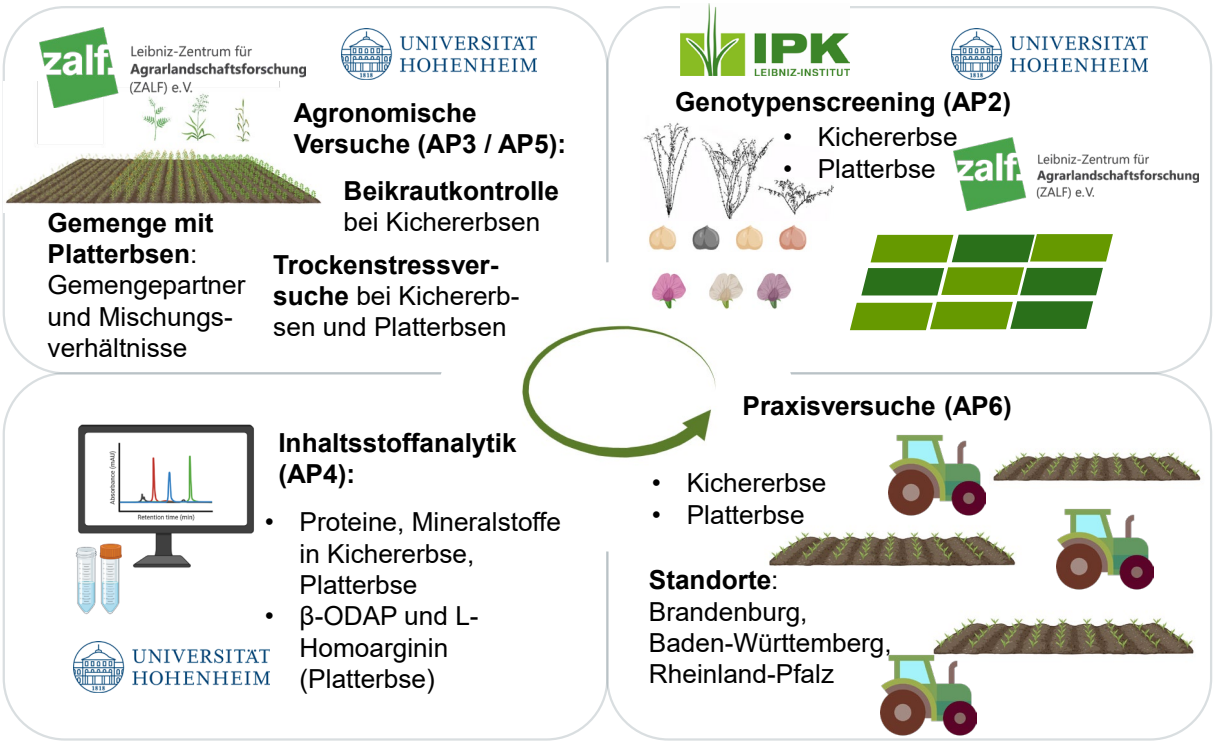


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Arbeitspakete und der Projektstruktur

2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

In Deutschland wird zurzeit nur ein sehr kleiner Teil der heimischen Leguminosen für die menschliche Ernährung angebaut, ein Großteil dient Futterzwecken. Für die Humanernährung spielt in klimatischen Gunstlagen besonders die Sojabohne eine wichtige Rolle. Außerdem werden seit einigen Jahren Lupinen für die Herstellung von Lupinenkaffee, Aufstrichen, Eis usw. angebaut. Für beide Kulturen gilt jedoch, dass sie vor dem Verzehr aufwendig verarbeitet werden müssen, da sie antinutritive Inhaltsstoffe besitzen und die Nutzung der geernteten Samen in Deutschland unbekannt ist. Im Gegensatz dazu können Körnererbsen und Linsen direkt genutzt werden, allerdings werden Körnererbsen kaum vom Verbraucher nachgefragt. Zwar erfreuen sich regional angebaute Linsen einer stetig steigenden Nachfrage, jedoch werden zurzeit nur ca. 2000 ha Linsen in ganz Deutschland angebaut (BLZ 2021). Ackerbohnen spielen für die menschliche Ernährung in Deutschland kaum eine Rolle. Durch die immer stärkere

Nachfrage der Verbraucher nach veganen und gleichzeitig regional erzeugten Lebensmitteln (BMEL 2020) ergeben sich große Potentiale, die durch den regionalen Anbau von Kichererbsen und Saat-Platterbsen genutzt werden können.

Für Deutschland sind nur wenige Sorten und Herkünfte von Kichererbsen und Saat-Platterbsen auf dem Markt verfügbar. Beide Kulturen sind hitze- und trockenheitstolerant, so dass sie im Zuge des Klimawandels zunehmend für heiße und trockene Standorte interessant werden können. Um langfristig ein größeres Reservoir an verfügbarem genetischen Material zu bekommen, ist es erforderlich, potentielle Akzessionen zu screenen und auf ihre Anbaueignung zu prüfen, um ertragsstabile Genotypen zu identifizieren. Eine hohe Ertragsstabilität ist besonders bei Körnerleguminosen relevant, da diese Kulturarten deutlich stärkere Schwankungen aufweisen als Wintergetreide (Reckling et al. 2018).

Als wärmeliebende Art könnten Kichererbsen die prognostizierten höheren Temperaturen sowie Trockenphasen bedingt durch klimatische Veränderungen tolerieren bzw. sogar produktiv nutzen (Manners et al. 2020). Kichererbsensorten aus der Gruppe der 'Kabuli' (makrosperma) sind oft großsamig mit heller, beiger Samenschale, die der Gruppe 'Desi' (microsperma) sind kleinsamig mit dunkler Samenschale (Purushothaman et al. 2014). Beide Typen unterscheiden sich in morphologischen und physiologischen Merkmalen, wobei die Anpassungsfähigkeit an verschiedene Klimate sortenspezifisch untersucht werden muss (Purushothaman et al. 2014; Nisa et al. 2020). Die Genbank des IPK Gatersleben verfügt über 485 Akzessionen der Gattung *Cicer*. Es handelt sich überwiegend um die kultivierte Art *Cicer arietinum* L. (480 Akz.), dazu 5 Akz. von verwandten Wildarten (*C. pinnatifidum* Jaub. & Spach, 3 Akz., *C. songoricum* Stephan ex DC., 1 Akz., *C. flexuosum* Lipsky, 1 Akz.). Der überwiegende Teil (> 300 Akz.) sind alte Landsorten. Das Material stammt aus 24 verschiedenen Ländern. Teilweise sind agronomische und einige wenige morphologische Beschreibungen (Pflanzenhöhe, Blütenfarbe) vorgenommen worden. Es ist also ein großes Reservoir an genetischen Ressourcen vorhanden, um geeignetes Material für den Anbau in Deutschland zu finden.

Der Anbau von Saat-Platterbsen hat in Mitteleuropa derzeit kaum Bedeutung für die menschliche Ernährung, als Tierfutter oder als Pharmazeutikum. Da sich mit der Pflanze unter widrigen Umweltbedingungen wie Dürre, Versalzung oder Staunässe immer noch ein Ertrag erwirtschaften lässt, kann die Versorgung von Menschen mit Protein (im Samen 18-34 %) unter prekären Lebensverhältnissen und auf marginalem Land z.B. in Ostafrika oder auf dem indischen Subkontinent gesichert werden (Lambein et al. 2019). Die Erträge schwanken je nach Anbaubedingungen und können z.B. in Österreich 1,5 bis 3,0 t/ha betragen (Arndorfer 2016), liegen in Afrika und Indien jedoch darunter (Lambein et al. 2019). Die Samen enthalten das Neurotoxin β-N-oxalyl-L-α, β-diaminopropionic acid (β-ODAP), das dosisabhängig zum Krankheitsbild Lathyrismus führen kann (Vaz Patto & Rubiales 2014). Der Gehalt an β-ODAP steigt mit abiotischem Stress wie Dürre (Fikre et al. 2011; Jiao et al. 2011) und interagiert mit dem Symbionten *Rhizobium leguminosarum*. Der Metabolit β-ODAP zeigt in Studien auch günstige medizinische Effekte bei der Behandlung verschiedener Krankheiten.

Die Dürreresistenz und hohe Wassernutzungseffizienz der Saat-Platterbse basiert neben physiologischen Prozessen auf der Morphologie der Pflanze mit ihrem tiefen Wurzelsystem und schmalen Blättern. Diese Eigenschaften könnten bei der Selektion als Deskriptoren berücksichtigt werden. Die Sammlung und Bewahrung der genetischen Vielfalt der Saat-Platterbse ist von großer Bedeutung, um eine Basis für die Züchtung von Pflanzen unter den Bedingungen des Klimawandels auch in Mitteleuropa zu schaffen; Ertragsstabilität, Ertragshöhe und die Qualität der Sameninhaltsstoffe müssen hierbei züchterisch verbessert werden.

Der Genpool lässt sich in eine asiatische (primäres Genzentrum) und eine mediterrane (sekundäres Genzentrum) Gruppe einteilen (Lambein et al. 2019), wobei die mediterrane Gruppe weiße, große Samen aufweist (Hanbury et al. 1999; Arndorfer 2016). In der Genbank Gatersleben sind 263 Akzessionen der Art *Lathyrus sativus* L. vorhanden. Auch hier sind der überwiegende Teil (> 200 Akz.) alte Landsorten. Das Material stammt aus

22 verschiedenen Ländern, beide Genzentren sind abgedeckt. Teilweise sind agronomische und einige wenige morphologische Beschreibungen (Wuchsform, Blattform, Blütenfarbe) vorgenommen worden, eine weitere Bearbeitung steht nach wie vor aus.

Zum Stand des Projektbeginns hatten in Deutschland erste Anbauversuche mit Saat-Platterbse in der Forschung und in der Praxis stattgefunden, allerdings war der Anbau noch kaum verbreitet, während der Projektlaufzeit stieg das Interesse der Praxis, der verarbeitenden Hand und der Wissenschaft deutlich an.

3. Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

3.1 Screening in Sortimenten von Genbanken, bei verfügbaren Sorten und von Linien (Arbeitspaket 2)

3.1.1 Material und Methoden

Die Auswahl der Akzessionen erfolgte auf Basis der Passportdaten, Saatgutverfügbarkeit und bei Kichererbsen zusätzlich noch nach Samentyp. Da die Genbank des IPK über 527 Akzessionen Kichererbsen und über 262 Akzessionen Saat-Platterbsen verfügt, wurde das Material gemeinsam mit den Partnern nur aus der Genbankkollektion des IPK ausgewählt.

Für den Anbau der Saat-Platterbsen wurden 96 Genbankakzessionen aus 23 verschiedenen Ländern ausgewählt (Abbildung 2). Dazu wurden vier Standardsorten als Kontrollen verwendet: Fischauer, Merkur, Serra di Conti und Tesoro della Terra, wobei die Namen eher auf die Herkunft und den Vetrieb hinweisen, da keine eindeutigen Sortennamen angegeben werden.

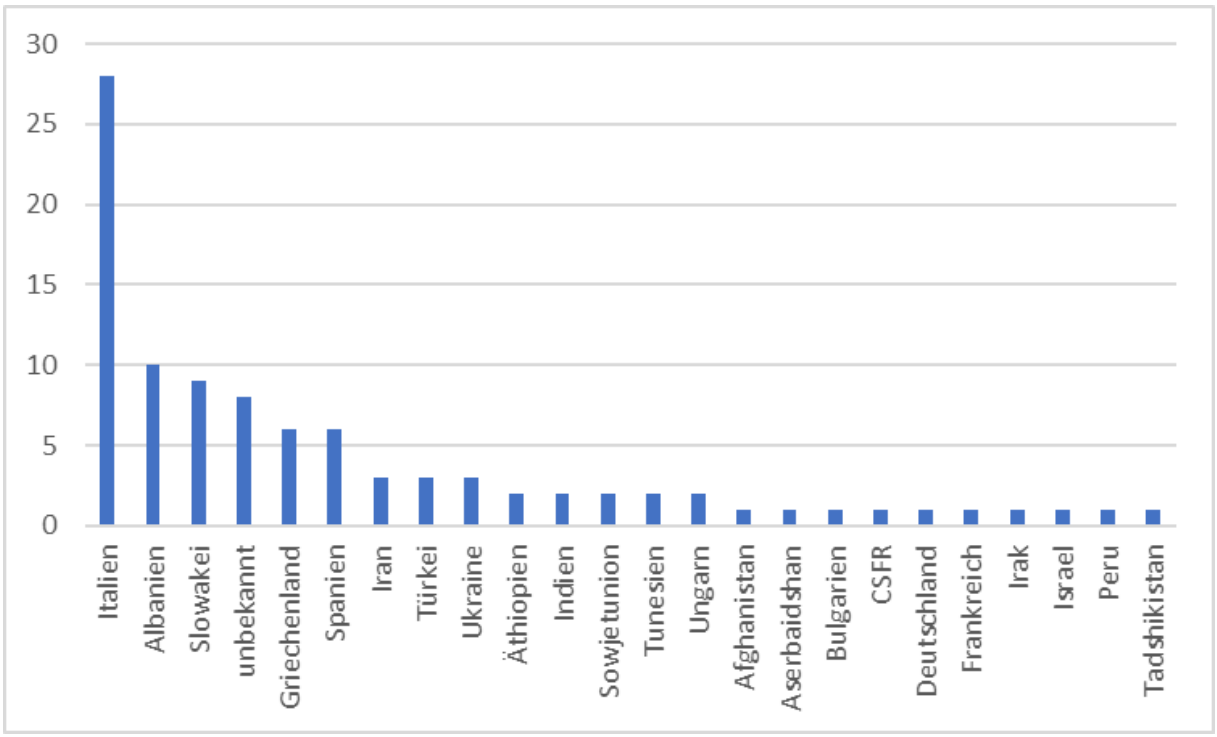


Abbildung 2: Anzahl der Saat-Platterbsen-Akzessionen nach Herkunftsländern

Für den Anbau der Kichererbsen wurden 95 Genbankakzessionen aus 24 verschiedenen Ländern ausgewählt (Abbildung 3). Dazu wurden fünf Standardsorten als Kontrollen verwendet: Cicerone, Irenka, Nero, Olga und Orion.

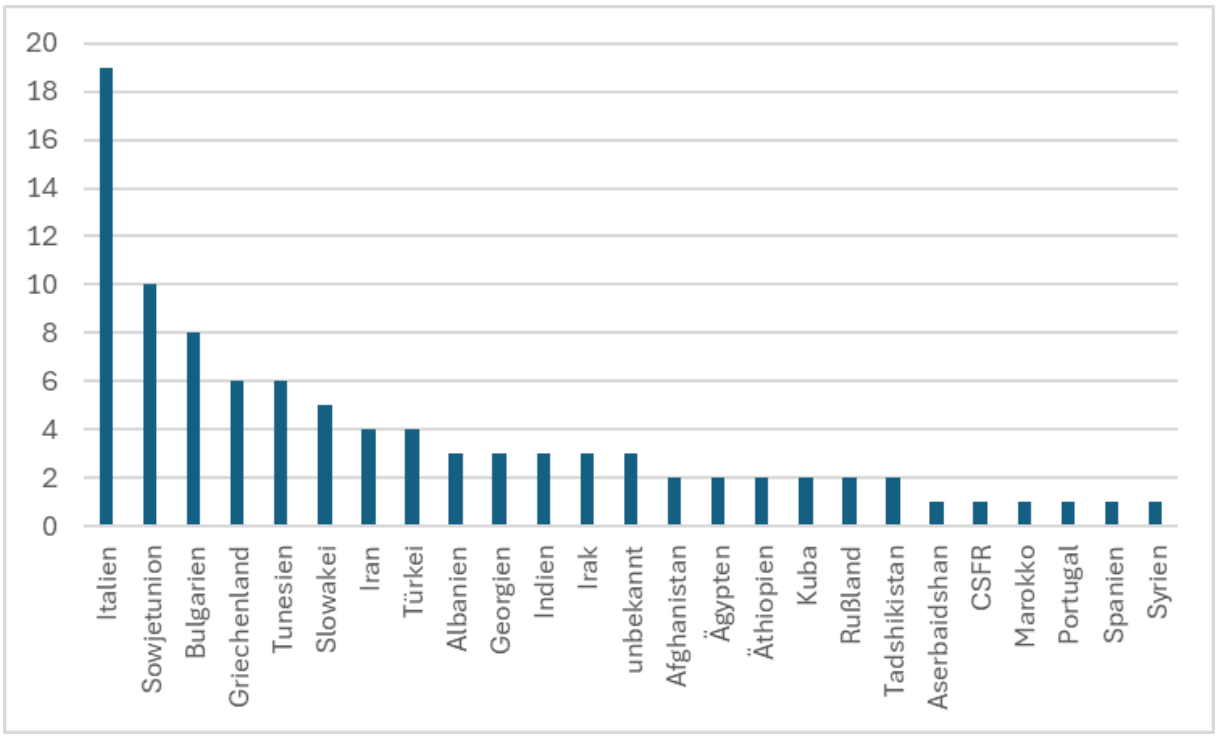


Abbildung 3: Anzahl der Kichererbsen-Akzessionen nach Herkunftsländern

Die Bonitur erfolgte über einen mit den Partnern abgestimmten Deskriptor mit 30 agronomischen und morphologischen Merkmalen (siehe Anhang). Aus den erhobenen Parametern der Feldbonituren in den Screeningversuchen der Saat-Platterbse wurden insgesamt 10 Parameter für eine Korrelationsanalyse ausgewählt (ein Parameter zur Pflanzenentwicklung, vier zur Agronomie und Pflanzenmorphologie sowie fünf zur Produktivität). Insgesamt wurden 50 Saat-Platterbsen-Genotypen aus unserem ursprünglichen Genbank-Pool ausgewählt (46 Genbank-Genotypen und die vier Kontrollsorten). Die für die Auswertung ausgewählten Parameter der Saat-Platterbse waren growing degree days to first flower (Temperatursumme bis zur ersten Blüte), plant height (Pflanzenhöhe), height of the first pod (Höhe der ersten Hülse), number of branches with pods (Anzahl der Triebe mit Hülsen), seed area (Samenfläche), number of seeds per pod (Anzahl der Samen pro Hülse), number of pods per plant (Anzahl der Hülsen pro Pflanze), number of seeds per plant (Anzahl der Samen pro Pflanze), TGW (Tausendkorngewicht) und yield (Ertrag). Die Ergebnisse basieren auf einer zweijährigen Auswertung (2023 und 2024) an drei Standorten in Deutschland (am IPK in Gatersleben, an der Universität Hohenheim in Kleinhohenheim und am ZALF in Dedelow).

Für die Kichererbse wurden acht während der Feldbeobachtungen erhobene Parameter für eine Korrelationsanalyse ausgewählt (drei zur Agronomie und Pflanzenmorphologie sowie fünf zur Produktivität). Insgesamt wurden 39 Kichererbsen-Genotypen aus unserem ursprünglichen Genbank-Pool ausgewählt (34 Genbank-Genotypen und 5 kommerzielle Sorten). Die für die Auswertung ausgewählten Parameter der Kichererbse waren plant height (Pflanzenhöhe), height of the first pod (Höhe der ersten Hülse), seed area (Samenfläche), number of seeds per pod (Anzahl der Samen pro Hülse), number of pods per plant (Anzahl der Hülsen pro Pflanze), number of seeds per plant (Anzahl der Samen pro Pflanze), TGW (Tausendkorngewicht) und yield (Ertrag). Die Ergebnisse basieren auf einer zweijährigen Auswertung (2023 und 2024) an denselben drei Standorten. Eine Standort-Jahr-Kombination fiel aufgrund biotischen Stresses aus, sodass sich insgesamt fünf Umwelten für die Kichererbsenbewertung ergaben.

Die statistischen Analysen umfassten Shapiro-Wilk-Tests zur Überprüfung der Normalverteilung, gefolgt von Spearman-Korrelationsanalysen. Alle Analysen wurden in RStudio durchgeführt. Eine vollständige methodische Beschreibung ist in Bubolz et al. (2026) dargestellt.

3.1.2 Wichtigste Ergebnisse

Der Platterbsenertrag pro Pflanze korrelierte in erster Linie mit der Anzahl der Samen pro Pflanze, wurde jedoch auch durch die Anzahl der Hülsen pro Pflanze und die Höhe der ersten Hülse beeinflusst (Abbildung 4 aus Bubolz et al. 2026). Die Anzahl der Samen pro Pflanze war neben dem Ertrag positiv mit der Anzahl der Hülsen pro Pflanze und der Höhe der ersten Hülse korreliert. Die Anzahl der Hülsen pro Pflanze war positiv mit der Pflanzenhöhe, der Anzahl der Samen pro Pflanze und dem Ertrag korreliert. Dagegen zeigte die Anzahl der Samen pro Hülse eine negative Korrelation mit der Samenfläche und dem Tausendkorngewicht. Das Tausendkorngewicht war positiv mit der Samenfläche korreliert. Weiterführende Analysen zur Saat-Platterbse sind in Bubolz et al. (2026) dargestellt.

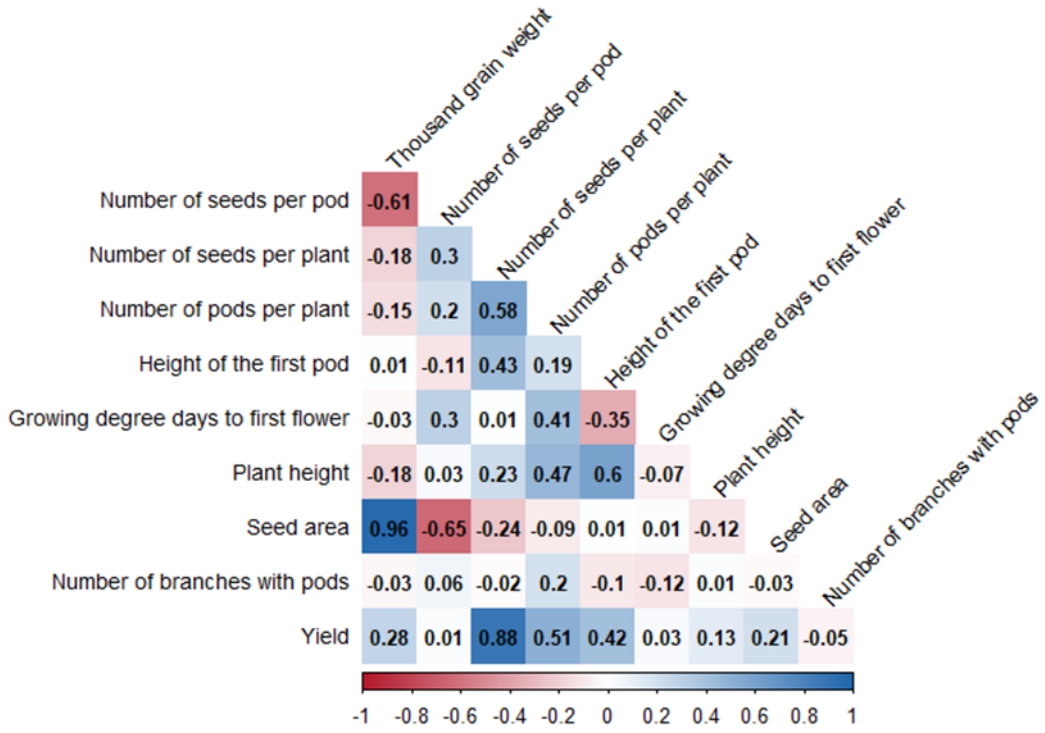


Abbildung 4: Korrelationsmatrix-Heatmap mit Spearman-Korrelationskoeffizienten (df = 298) zwischen den agronomischen und produktivitätsbezogenen Mittelwerten von 50 Saat-Platterbsen-Genotypen, die über drei Standorte und zwei Anbausaisons hinweg bewertet wurden. Die Korrelationen sind farblich von blau (positive Korrelation, +1,0) bis rot (negative Korrelation, −1,0) codiert. Berücksichtigte Merkmale: Growing degree days to first flower (^{0}C); plant height (cm); height of the first pod (cm); number of branches with pods (count); seed area (mm^2); number of seeds per pod; number of pods per plant; number of seeds per plant; thousand grain weight (g); und Yield (g plant^{-1}).

Für die Kichererbse wurden höhere Erträge bei Genotypen mit einer höheren Anzahl an Samen pro Pflanze und Hülsen pro Pflanze erzielt (Abbildung 5). Die Anzahl der Hülsen pro Pflanze war negativ mit der Höhe der ersten Hülse korreliert. Das Tausendkorngewicht war positiv mit einer höheren Anzahl an Samen pro Hülse und größeren Samen korreliert. Pflanzenhöhe und Höhe der ersten Hülse waren ebenfalls positiv miteinander korreliert. Die Anzahl der Samen pro Pflanze war neben dem Ertrag positiv mit der Anzahl der Hülsen pro Pflanze korreliert.

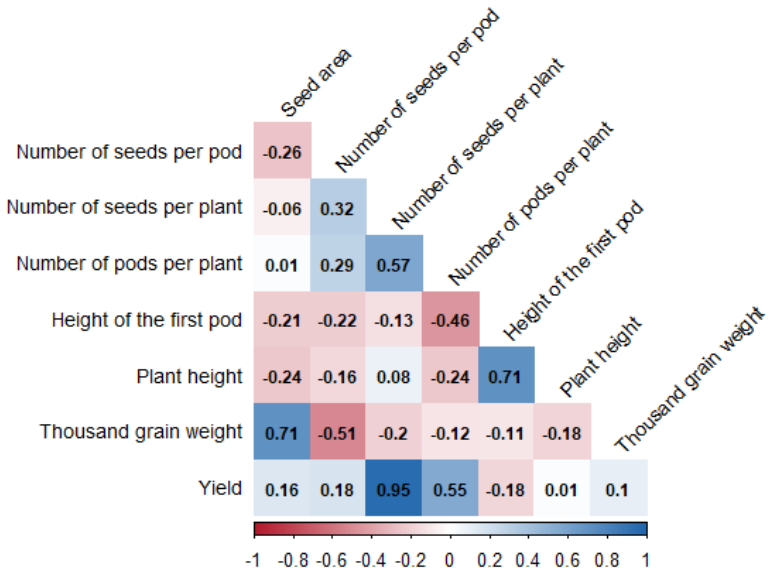


Abbildung 5: Korrelationsmatrix-Heatmap mit Spearman-Korrelationskoeffizienten (df = 194) zwischen den agronomischen und produktivitätsbezogenen Mittelwerten von 39 Kichererbsen-Genotypen, die über drei Standorte und zwei Anbausaisons (fünf Umwelten) hinweg bewertet wurden. Die Korrelationen sind farblich von Blau (positive Korrelation, +1,0) bis Rot (negative Korrelation, −1,0) codiert. Berücksichtigte Merkmale: plant height (cm); height of the first pod (cm); seed area (mm^2); number of seeds per pod; number of pods per plant; number of seeds per plant; thousand grain weight (g); und Yield ($g\ plant^{-1}$).

3.1.3 Diskussion

Unsere Ergebnisse haben gezeigt, dass der Ertrag von Saat-Platterbsen hauptsächlich von reproduktiven Merkmalen bestimmt wird, insbesondere von der Anzahl der Samen pro Pflanze und der Anzahl der Hülsen pro Pflanze. Dies bestätigt, dass diese Merkmale als Selektionskriterium sehr relevant sind (Mandal et al. 2015). Die von uns gezeigte Korrelation mit der Pflanzenhöhe zeigt zudem, dass größere Genotypen tendenziell ertragreicher sind (Gonçalves et al. 2024). Die negative Korrelation zwischen der Anzahl der Samen pro Hülse und der Samengröße deutet auf einen Zielkonflikt zwischen diesen Merkmalen hin und sollte bei der Auswahl von Saat-Platterbsengenotypen ebenfalls berücksichtigt werden. Bei der Saat-Platterbsenzüchtung in Deutschland sollte unter verschiedenen Umweltbedingungen reproduktive Merkmale, die Pflanzenhöhe und die Höhe der ersten Hülse als Auswahlkriterien priorisiert werden.

Die Ergebnisse zu Kichererbsen haben gezeigt, dass der Ertrag in Deutschland weitgehend davon abhängt, wie gut der Genotyp in der Lage ist, das Wachstum während der Reproduktionsphase in Hülsen und Samen umzuwandeln, was durch andere Studien

bestätigt wurde (Samarah et al. 2009). Genotypen, die mehr Hülsen und Samen produzieren, schnitten in Bezug auf den Ertrag tendenziell besser ab, was die Bedeutung dieser beiden Merkmale für die Auswahl ertragreicher Kichererbsen-Genotypen unterstreicht. Gleichzeitig deutet die festgestellte negative Korrelation zwischen der Anzahl der Hülsen und der Höhe der ersten Hülse auf einen Kompromiss hin, bei dem ein höherer Ertrag mit einer weniger günstigen Wuchshöhe (niedrigere Pflanzen) einhergehen könnte, was für die Mähdruschernte ein Nachteil sein kann (Kuzbakova et al. 2022). Insgesamt haben wir festgestellt, dass ertragreichere Kichererbsen ein Gleichgewicht zwischen der Anzahl an Samen und Hülsen und einer wünschenswerten Pflanzenarchitektur aufweisen.

Unsere Ergebnisse weisen darauf hin, dass sich Ertragssteigerungen bei Saat-Platterbsen und Kichererbsen auf die Steigerung der Hülsen- und Samenproduktion konzentrieren sollte. Die Ertragsoptimierung erfordert jedoch auch ein ausgewogenes Verhältnis zwischen diesen Merkmalen und der Pflanzenarchitektur, um die Eignung für deutsche Anbaubedingungen und Erntetechnik sicherzustellen.

3.2 Prüfung der agronomischen Eigenschaften geeigneter Akzessionen in standardisierten modellhaften Anbausystemen (Arbeitspaket 3)

3.2.1 Material und Methoden

Mechanische Beikrautbekämpfung bei Kichererbsen

Die Feldversuche wurden über drei Vegetationsperioden von 2023 bis 2025 an zwei Standorten durchgeführt: Kleinhohenheim (UHOH; Südwest-Deutschland) und Müncheberg (ZALF; Nordost-Deutschland). Wir untersuchten vier mechanische Beikrautbekämpfungsmaßnahmen (Tabelle 1) und zwei Sorten mit verschiedenen Pflanzenarchitekturen (aufrecht und halbaufrecht). Das Versuchsdesign wurde auf den Standort zugeschnitten, wobei in Kleinhohenheim (UHOH) ein Split-Plot-Design und in Müncheberg (ZALF) ein vollständig randomisiertes Blockdesign verwendet wurde, jeweils mit vier Wiederholungen. Die Aussaattermine lagen je nach Jahr und Standortbedingungen zwischen dem 24. April und dem 23. Mai, während die Ernte zwischen dem 18.

August und dem 11. Oktober abgeschlossen wurde; alle Einzelheiten zu Terminen und Behandlungsmethoden sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Übersicht über die Anzahl der durchgeführten Bewirtschaftungsmaßnahmen bei jeder der vier getesteten Bewirtschaftungsstrategien, mit Aussaat- und Ernteterminen für jeden Standort und jedes Versuchsjahr. Der Reihenabstand variierte je nach Bewirtschaftungsform; bei "Blind Striegeln" und "Intensiv Striegeln" betrug der Reihenabstand 12,5 cm, bei "Intensiv Striegeln und Hacken" sowie "Intensiv Hacken" variierte der Reihenabstand je nach Standort: in Kleinhohenheim (UHOH) 37,0 cm und in Müncheberg (ZALF) 33,5 cm.

Standort	Jahre	Aussaat	Ernte	Blind Striegeln	Intensiv Striegeln	Intensiv Striegeln und Hacken	Intensiv Hacken
Kleinhohenheim (UHOH)	2023	23.05.2023 (Nachsaat)	27.09.2023 (Orion), 11.10.2023 (Irenka)	1x	2x	2x Striegeln, 1x Hacken	1x
	2024	30.04.2024	23.09.2024	1x	3x	3x Striegeln, 2x Hacken	2x
	2025	07.05.2025	18.08.2025	2x	2x	2x Striegeln, 1x Hacken	1x
Müncheberg (ZALF)	2023	27.04.2023	22.08.2023	2x	4x	4x Striegeln, 3x Hacken	3x
	2024	02.05.2024	19.09.2024 (Irenka), Orion (keine Ernte möglich)	1x	2x	2x Striegeln, 3x Hacken	3x
	2025	24.04.2025	30.07.2025 (Nero), 27.08.2025 (Irenka)	2x	4x	4x Striegeln, 3x Hacken	3x

In den Jahren 2023 und 2024 wurden die Sorten Orion (halb aufrecht, Kabuli-Typ) und Irenka (aufrecht, Desi-Typ) getestet. Aufgrund des hohen biotischen Stresses und der geringen Keimrate, die bei Orion am Standort Müncheberg in den ersten beiden Jahren beobachtet wurden, wurde diese Sorte für die Saison 2025 durch Nero (halb aufrecht,

Desi-Typ) ersetzt. Die für die Bewertungen verwendeten Sorten sind in Abbildung 6 dargestellt.

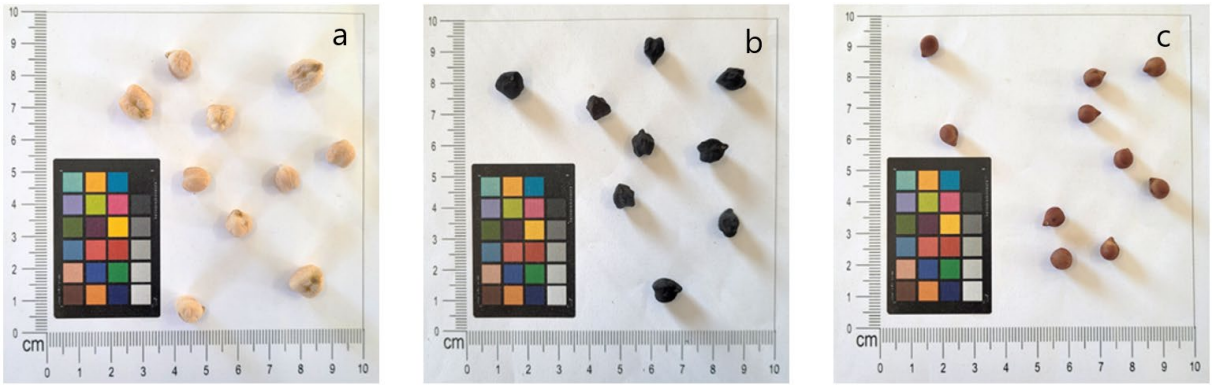


Abbildung 6: Samen der Kichererbsensorten; "a" steht für Orion, "b" für Nero und "c" für Irenka

Um die Auswirkungen der Bewirtschaftung auf die Beikrautpopulationen und die Ernteerträge zu beurteilen, wurden die Parzellen anhand der vorhandenen Beikrautbiomasse bewertet. Dies erfolgte zur Blüte (BBCH 65) und, soweit möglich, auch zur Ernte. Zudem wurde der Gesamtertrag pro Parzelle erfasst, um die Wirksamkeit der mechanischen Maßnahmen im Hinblick auf die spezifische Wuchsform der Kichererbsen und deren Einfluss auf den Ertrag zu ermitteln.

Zum Vergleich der Beikrautbekämpfungsmaßnahmen innerhalb jeder Sorte und jedes Jahres wurde der Tukey-HSD-Test (Honest Significant Difference) bei einem Signifikanzniveau von $p \leq 0{,}05$ angewendet. Die Beikrautbiomasse (g m^{-2}) wurde für jede Behandlungsvariante und Sorte über die drei Jahre hinweg gemessen.

<u>Saat-Platterbse im Gemengeanbau mit Sommergetreide</u>

An den Versuchsstandorten Kleinhohenheim und Dedelow wurden jeweils zwei Sorten der Saat-Platterbse („Cicerchia" aus Italien, größere weiße Samen, TKG 310g und „Fischauer" aus Österreich, kleinere weiße Samen, TKG 152g) im Gemenge mit Sommergetreide getestet. Es wurden 95 % der Reinsaatstärke der Saat-Platterbse (76 kfK m^{-2}) mit 25 % der entsprechenden Reinsaatstärke des Getreides getestet. In Dedelow wurde zusätzlich das Gemengeverhältnis von 80 % der Reinsaatstärke der Saat-Platterbse (64 kfK m^{-2}) mit 40 % der Reinsaatstärke des Getreides geprüft (außer mit Hartweizen Inizio). Mit Spelzhafer wurde zudem ein weiteres Gemengeverhältnis von 110 % Saat-

Platterbse (88 kfK m^{-2}) und 10 % Spelzhafer getestet, das 2024 auch in Kleinhohenheim geprüft wurde (Tabelle 2).

Tabelle 2: Zusammenfassung der geprüften Sommergetreide an den zwei Versuchsstandorten (Dedelow und Kleinhohenheim), mit Getreideart, Getreidesorte und Gemengeverhältnis (Saat-Platterbse: Getreide, ausgedrückt in % der entsprechenden Reinsaatstärke). [a] nur in Versuchsjahr 2024 getestet, [b] nur in Versuchsjahr 2025 getestet.

Standort	**Getreideart**	**Getreidesorte**	**Gemengeverhältnis (Platterbe: Getreide)**
Dedelow	Spelzhafer (*Avena sativa* L.)	Lion	95:25; 80:40; 110:10
	Nackthafer (*Avena nuda* L.)	Patrik	80:40
	Triticale (x. *Triticosecale* Wittmack)	Impetus	95:25; 80:40
	Sommerweizen (*Triticum aestivum* L.)	Diavel	95:25; 80:40
	Hartweizen (*Triticum durum* Desf.)	Prossimo	95:25; 80:40
		Inizio	95:25
Kleinhohenheim	Spelzhafer (*Avena sativa* L.)	Lion	95:25; 110:10[a]
	Nackhafer[b] (*Avena nuda* L.)	Patrik	95:25
	Triticale (x. *Triticosecale* Wittmack)	Impetus	95:25
	Hartweizen (*Triticum durum* Desf.)	Durago	95:25
		Prossimo[a]	95:25
		Inizio[a]	95:25

Die Reinsaaten von Getreide und Saat-Platterbse wurden jeweils als Kontrolle geprüft, wobei in Kleinhohenheim im Jahr 2023 nur Saat-Platterbse in Reinsaat mituntersucht wurde. In Dedelow fand der Versuch über zwei Versuchsjahre (2023–2024) statt, in Kleinhohenheim über drei Versuchsjahre (2023–2025). Im letzten Versuchsjahr wurden in Kleinhohenheim Spelz- und Nackthafer getestet und Cicerchia wurde durch eine andere weiße, großsamige Sorte aus Italien ersetzt. Die beiden Sorten waren sich jedoch in Wuchs- und Samenform sehr ähnlich. Damit wurden in Dedelow insgesamt 30 Behandlungen geprüft. In Kleinhohenheim wurden im ersten Jahr acht Behandlungen, im

zweiten Jahr 19 Behandlungen und im letzten Jahr acht Behandlungen untersucht. Das Versuchsdesign war eine randomisierte vollständige Blockanlage (RCBD) mit vier Wiederholungen. Die Aussaat erfolgte zwischen Mitte März und Anfang Mai, die Ernte zwischen Ende Juni und Mitte August, abhängig von den Standortbedingungen.

Zu den wichtigsten Feldbonituren zählten der Feldaufgang, Biomasseproben zur Blüte und zur Ernte, die Pflanzenhöhe zur Blüte sowie eine Lagerbonitur zur Blüte und zur Ernte. Die Ernte der Gemengeparzellen fand gleichzeitig mit einem Parzellenmähdrescher statt. Der Parzellenertrag wurde anschließend gereinigt und in den Ertrag der Saat-Platterbse und den Ertrag des Getreides getrennt.

Die statistische Auswertung wurde mit der Software SAS (SAS Institute Inc., 2023) unter Anwendung eines linearen gemischten Modells durchgeführt. Da sich die Behandlungsgruppen je nach Umwelt (Versuchsjahr × Standort) unterschieden, wurde die Behandlung innerhalb jeder Umwelt im gemischten Modell berücksichtigt. Die in den Abbildungen dargestellten Mittelwerte stellen bereinigte Mittelwerte nach der Methode der kleinsten Quadrate dar, die aus diesem Modell abgeleitet wurden. Signifikanzunterschiede wurden mittels des Tukey-Tests ermittelt.

Das Flächenäquivalenzverhältnis (Land Equivalent Ratio, LER; Mead & Willey 1980) wurde nach folgender Gleichung berechnet:

$$LER = \frac{E_{Platterbse-Gemenge}}{E_{Platterbse-Reinsaat}} + \frac{E_{Getreide-Gemenge}}{E_{Getreide-Reinsaat}}$$

mit $E_{Saat\text{-}Platterbse\text{-}Gemenge}$ = Ertrag Saat-Platterbse im Gemenge, $E_{Saat\text{-}Platterbse\text{-}Reinsaat}$ = Ertrag Saat-Platterbse in Reinsaat, $E_{Getreide\text{-}Gemenge}$ = Ertrag Getreide im Gemenge, $E_{Getreide\text{-}Reinsaat}$ = Ertrag Getreide in Reinsaat.

3.2.2 Wichtigste Ergebnisse

Mechanische Beikrautbekämpfung bei Kichererbsen

Der Ertrag unterschied sich in Kleinhohenheim (UHOH) hauptsächlich zwischen den Sorten und Jahren, während die Beikrautbekämpfungsmaßnahmen in keinem Jahr einen signifikanten Einfluss auf den Ertrag hatten (Abbildung 7). Über alle Jahre hinweg zeigte Irenka durchweg die höchsten Erträge, gefolgt von Nero (2025) und Orion (2023–2024). Insgesamt deuten die Ergebnisse aus Kleinhohenheim darauf hin, dass Genotyp und Jahr einen stärkeren Einfluss auf den Ertrag hatten als die Beikrautbekämpfungsmaßnahmen.

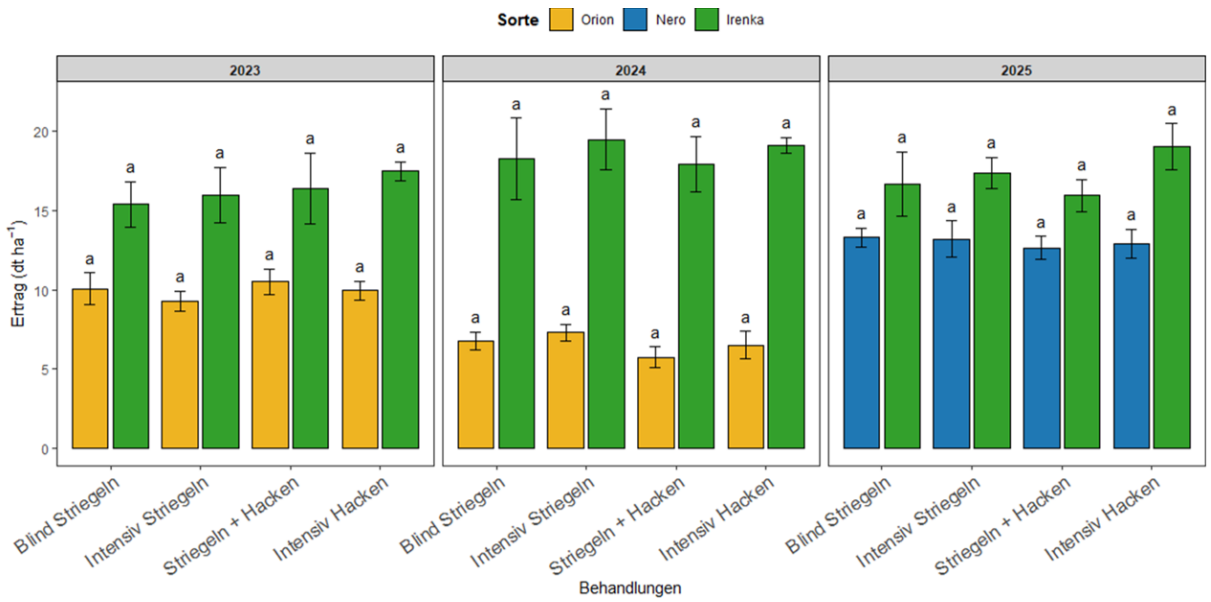


Abbildung 7: Ertrag (dt ha^{-1}) der Kichererbsensorten Orion, Nero und Irenka unter vier Beikrautbekämpfungsmaßnahmen am Standort Kleinhohenheim (UHOH) von 2023 bis 2025. Die Balken stellen Mittelwerte ± Standardfehler dar. Unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungsvarianten innerhalb jeder Sorte und jedes Jahres gemäß dem Tukey-HSD-Test hin ($p \leq 0,05$).

Der Ertrag variierte in Müncheberg (ZALF) je nach Jahr, Sorte und Behandlungsvariante (Abbildung 8). Im Jahr 2023 erzielte Irenka im Allgemeinen die höchsten Erträge, insbesondere bei der Behandlung "Striegeln + Hacken", während Orion bei allen Behandlungsvarianten geringere Erträge lieferte. Im Jahr 2024 stiegen die Erträge von Irenka tendenziell bei den Hackbehandlungen an, insbesondere bei "Intensiv Hacken", während bei Orion aufgrund der hohen Beikrautbiomasse keine Ernte möglich war. Im Jahr 2025 zeigten Nero und Irenka über alle Behandlungsvarianten hinweg ähnliche Ertragsniveaus, wobei kein eindeutiger Behandlungseffekt beobachtet wurde.

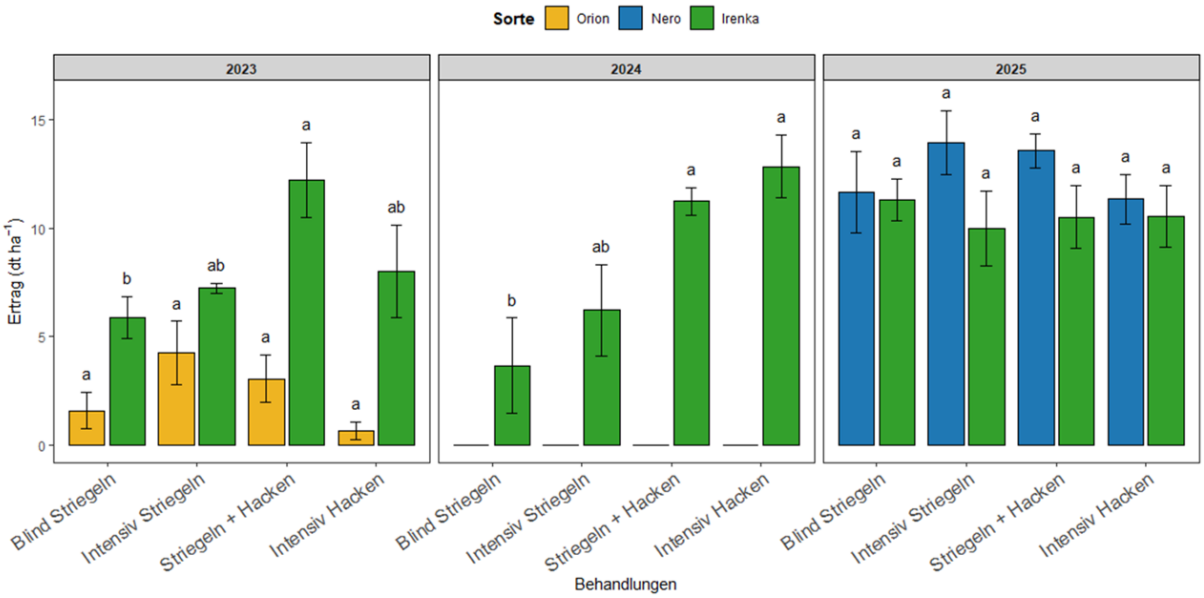


Abbildung 8: Ertrag (dt ha^{-1}) der Kichererbsensorten Orion, Nero und Irenka unter vier Beikrautbekämpfungsmaßnahmen am Standort Müncheberg (ZALF) von 2023 bis 2025. Die Balken stellen Mittelwerte ± Standardfehler dar. Unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungsvarianten innerhalb jeder Sorte und jedes Jahres gemäß dem Tukey-HSD-Test hin (p ≤ 0,05).

Die Beikrautbiomasse variierte in Kleinhohenheim (UHOH) je nach Jahr, Sorte und Behandlung (Abbildung 9). Im Allgemeinen ging eine höhere Beikrautbiomasse mit einem geringeren Kornertrag einher, während Behandlungen mit geringerer Beikrautbiomasse häufig mit höheren Erträgen verbunden waren. Der Zusammenhang zwischen Beikrautbiomasse und Ertrag war jedoch nicht über alle Jahre und Sorten hinweg einheitlich.

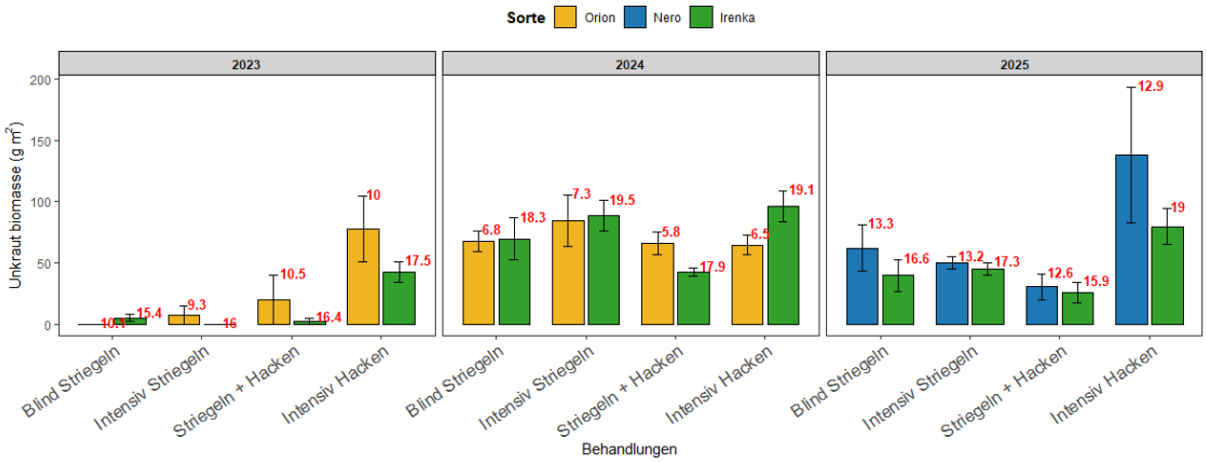


Abbildung 9: Beikrautbiomasse (g m^{-2}) der Kichererbsensorten Orion, Nero und Irenka unter vier Beikrautbekämpfungsmaßnahmen am Standort Kleinhohenheim (UHOH) von 2023 bis 2025. Die Balken stellen Mittelwerte ± Standardfehler dar, die roten Zahlen geben den Kornertrag (dt ha^{-1}) an.

Die Beikrautbiomasse in Müncheberg (ZALF) variierte je nach Jahr, Sorte und Behandlung (Abbildung 10). Orion wies typischerweise in den Jahren 2023 und 2024 eine höhere Beikrautbiomasse auf, während Irenka häufig niedrigere Werte zeigte. Insgesamt war die Beikrautbiomasse im Jahr 2025 geringer und über alle Behandlungen hinweg einheitlicher.

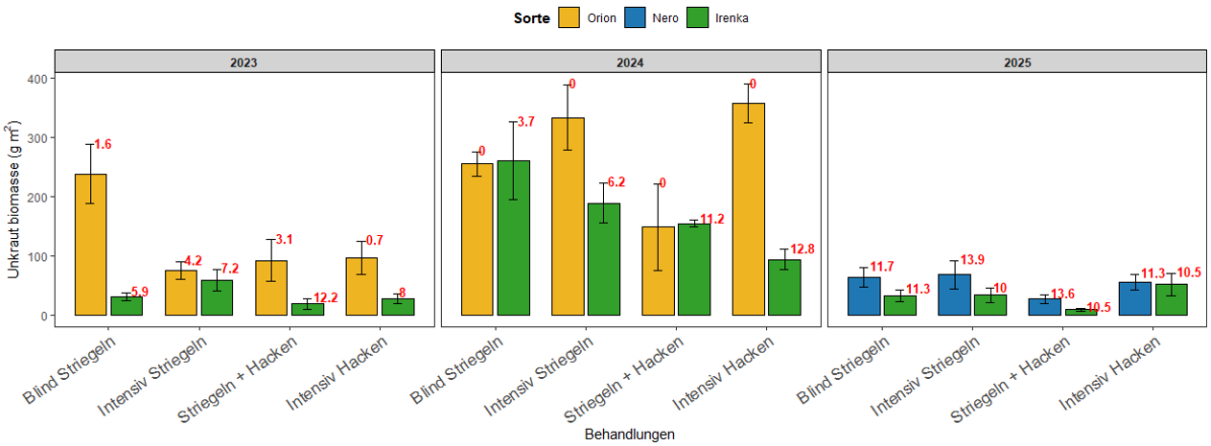


Abbildung 10: Beikrautbiomasse (g m^{-2}) der Kichererbsensorten Orion, Nero und Irenka unter vier Beikrautbekämpfungsmaßnahmen am Standort Müncheberg (ZALF) von 2023 bis 2025. Die Balken stellen Mittelwerte ± Standardfehler dar, die roten Zahlen geben den Kornertrag (dt ha^{-1}) an.

Saat-Platterbse im Gemengeanbau mit Sommergetreide

An beiden Standorten und in allen Versuchsjahren war eine maschinelle Ernte der Saat-Platterbse in Reinsaat nur durch händisches Aufrichten der Parzellen möglich, da der Bestand stark lagerte (Abbildung 11). Die Flächenproduktivität, beschrieben durch das Flächenäquivalenzverhältnis (LER), lag in allen Gemengen über 1 und zeigt damit eine höhere Produktivität der Gemenge im Vergleich zu den entsprechenden Reinsaaten. Das höchste LER wurde im Gemenge Fischauer–Spelzhafer (95:25) in Kleinhohenheim im Jahr 2024 festgestellt.



Abbildung 11: Saat-Platterbse in Reinsaat in Dedelow 2023 (links), in Kleinhohenheim 2025 (rechts).

Die Wahl der Getreideart beeinflusste die Lageranfälligkeit des Gemenges. Die Stabilität des Gemenges war in Kombination mit Hartweizen an beiden Standorten geringer. Spelzhafer im Gemengeverhältnis 95:25 reduzierte Lager in Kleinhohenheim im Jahr 2024 signifikant. Spelzhafer in niedrigerer Saatstärke (10 %) bei gleichzeitig höherem Anteil der Saat-Platterbse zeigte eine signifikante Lagerreduktion jedoch nur im Vergleich zu Hartweizen. Unterschiede in der Lagerreduktion zwischen den Haferarten (Spelz- und Nackthafer) konnten in Kleinhohenheim im Jahr 2025 nicht festgestellt werden ($p > 0,05$). In Dedelow hingegen trat eine höhere Lageranfälligkeit im Gemenge mit Nackthafer (Gemengeverhältnis 80:40) auf. Hinsichtlich der verschiedenen Sorten der Saat-Platterbse zeigte sich eine höhere Stabilität im Gemenge mit der Sorte Fischauer.

Standort- und Jahreseffekte beeinflussten den Gesamtertrag und die anteiligen Erträge von Saat-Platterbse und Getreide. Die höchsten Gesamt- und Saat-Platterbsenerträge waren am Standort Dedelow im Jahr 2024 zu finden (Abbildung 12). Am Standort Kleinhohenheim waren in den ersten zwei Versuchsjahren die Getreideerträge in Relation zum Gesamtertrag gering.

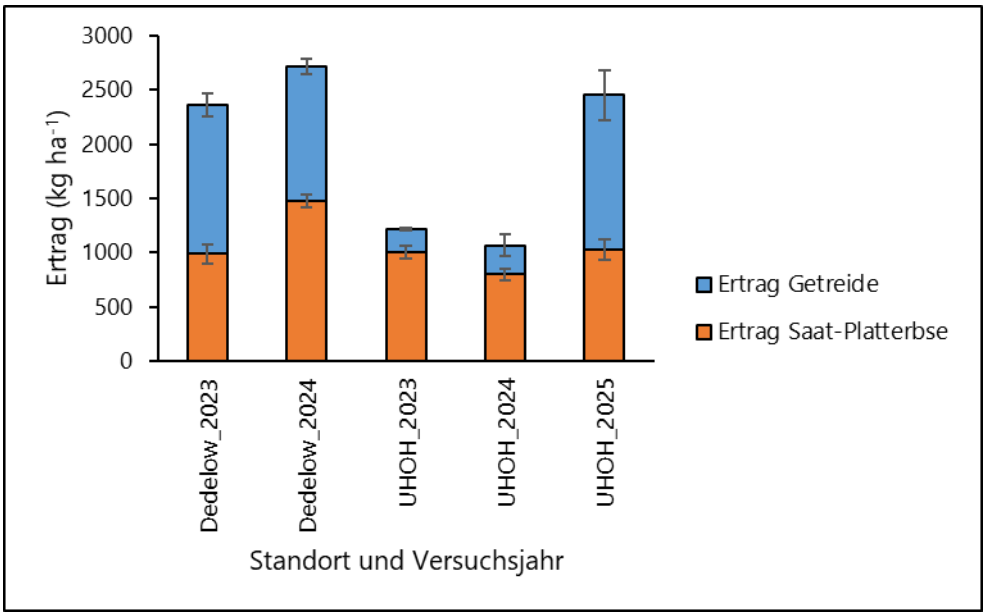


Abbildung 12: Mittlere Erträge (± Standardfehler) von Getreide und Saat-Platterbse (kg ha^{-1}) an den Versuchsstandorten Dedelow und Kleinhohenheim (UHOH) über die Versuchsjahre 2023-2025.

Die Wahl des Getreidepartners hatte im Jahr 2023 in Kleinhohenheim keinen Einfluss auf den Saat-Platterbsenertrag. Im Jahr 2024 zeigten sich Unterschiede nur für die Sorte Fischauer, mit signifikant höheren Erträgen in Kombination mit Spelzhafer und Triticale im Vergleich zu Hartweizen (Abbildung 13). Ein höherer Anteil der Saat-Platterbse bei gleichzeitig geringem Spelzhaferanteil (Gemenge 110:10) führte zu signifikant niedrigeren Saat-Platterbsenerträgen in Kombination mit der Sorte Fischauer. Die höchsten Gesamt- und Saat-Platterbsenerträge wurden in den Gemengen mit Spelzhafer und Triticale erzielt. Die Versuchsergebnisse aus dem Jahr 2025 zeigten in Kleinhohenheim keinen Einfluss der Haferart auf den Saat-Platterbsenertrag, während höhere Gesamterträge in Kombination mit Spelzhafer beobachtet wurden.

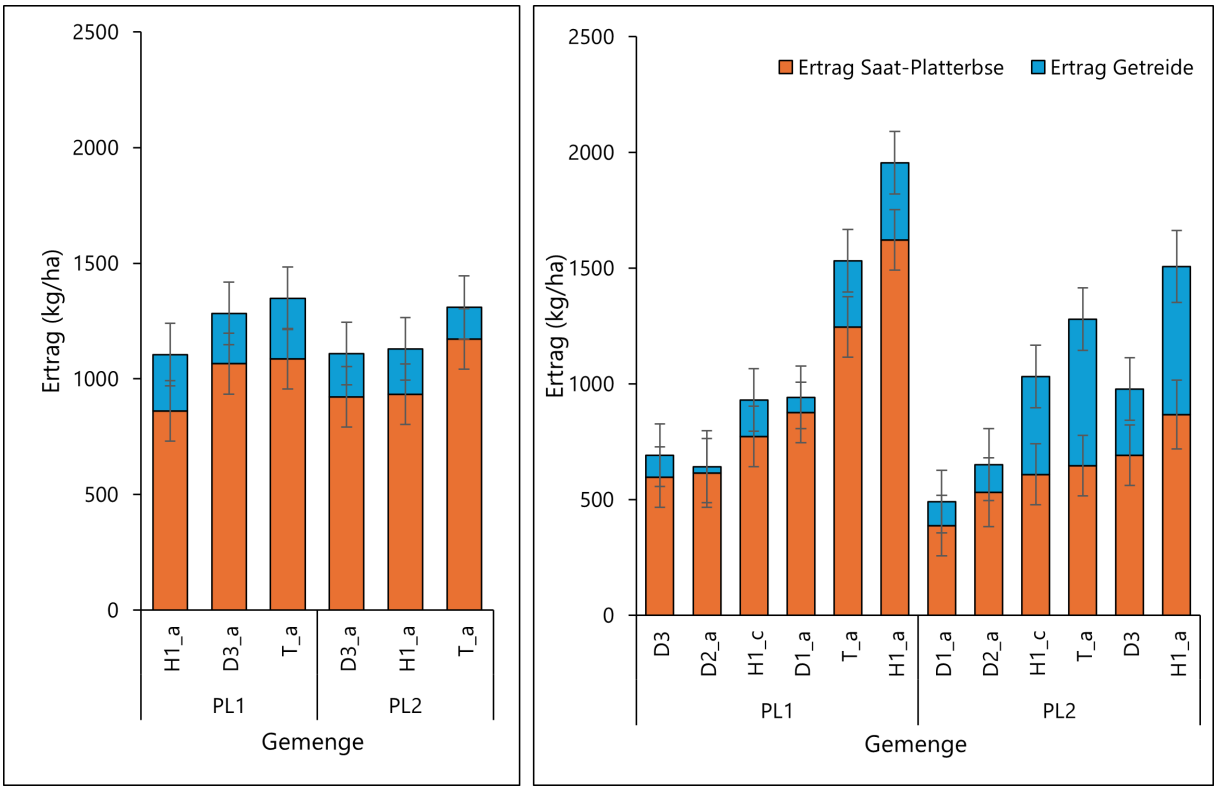


Abbildung 13: Erträge (± Standardfehler) von Getreide und Saat-Platterbse (kg ha^{-1}) am Standort Kleinhohenheim im Versuchsjahr 2023 (links) und im Versuchsjahr 2024 (rechts), geordnet nach aufsteigendem Saat-Platterbsenertrag innerhalb der jeweiligen Sorte (PL1=Fischauer, PL2=Cicerchia, T=Triticale, H1=Spelzhafer Lion, D1=Hartweizen Prossimo, D2=Hartweizen Inizio, D3=Hartweizen Durago; a=Gemengeverhältnis 95:25, c=Gemengeverhältnis 110:10)

In Dedelow zeigten sich in Kombination mit Spelzhafer (40 % und 25 %) die niedrigsten Erträge der Saat-Platterbse und die höchsten Getreideerträge (Abbildung 14). Mit geringerem Anteil von Spelzhafer im Gemenge (110:10) stieg der Saat-Platterbsenertrag wieder an. Die höchsten Saat-Platterbsenerträge waren in Kombination mit Hartweizen zu finden, jedoch nicht signifikant höher als in Kombination mit Triticale und Sommerweizen. Die höchsten Gesamterträge traten in Gemengen mit Spelzhafer und Triticale auf. Signifikante Unterschiede zwischen den Gemengen 80:40 und 95:25 in Triticale, Sommerweizen und Hartweizen (Prossimo) wurden, bis auf Triticale mit Fischauer im ersten Versuchsjahr, weder für den Saat-Platterbsenertrag noch für den Gesamtertrag festgestellt. Dennoch zeigten Gemenge mit höherem Getreideanteil tendenziell höhere Gesamterträge. Unterschiede zwischen den Saat-Platterbsensorten traten über die Versuchsjahre und Standorte hinweg nicht auf; im zweiten Versuchsjahr zeigte jedoch Cicerchia in Dedelow signifikant höhere Saat-Platterbsenerträge, während Fischauer in Kleinhohenheim höhere Erträge erzielte.

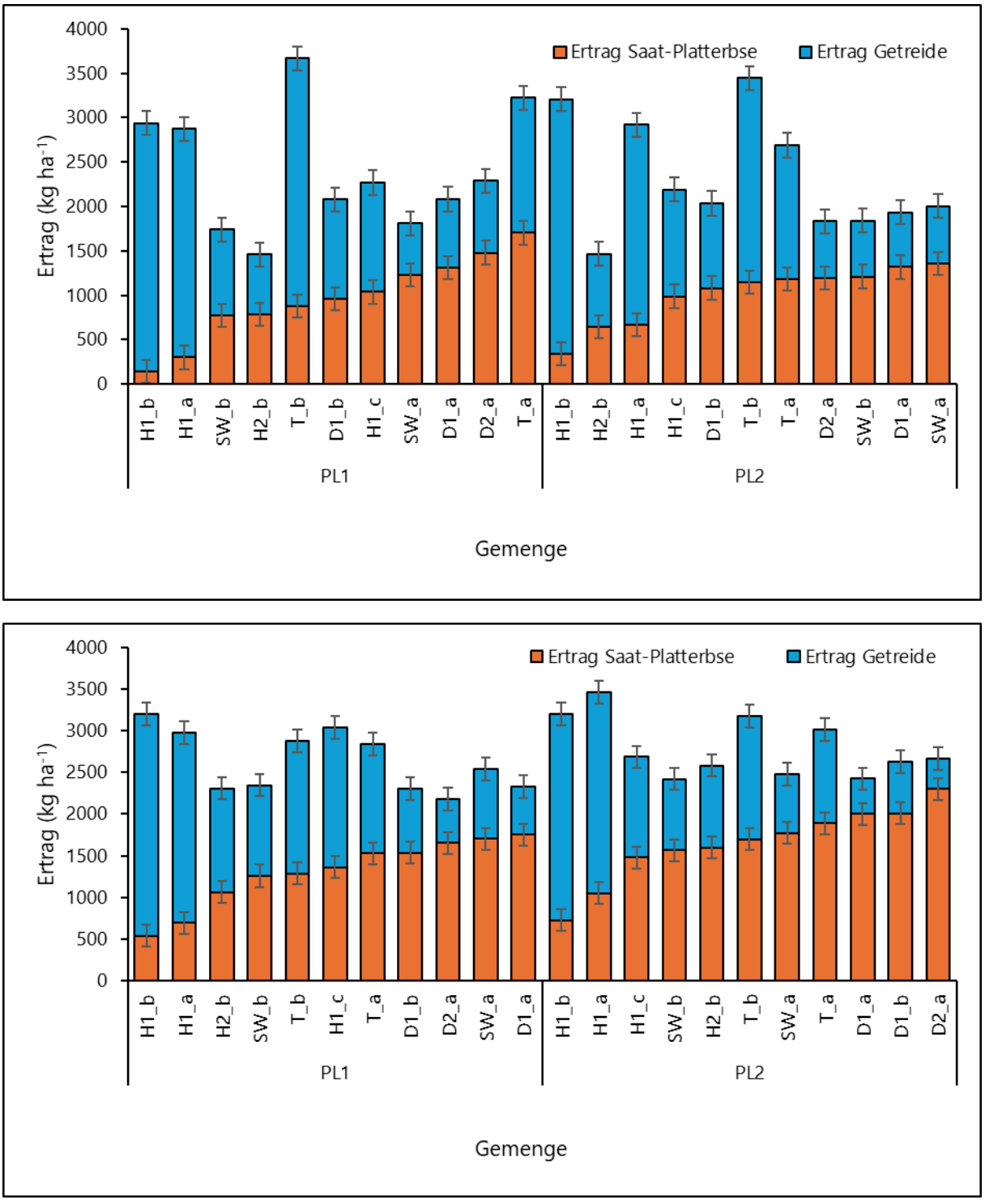


Abbildung 14: Erträge (± Standardfehler) von Getreide und Saat-Platterbse (kg ha^{-1}) am Standort Dedelow im Versuchsjahr 2023 (oben) und im Versuchsjahr 2024 (unten), geordnet nach aufsteigendem Saat-Platterbsenertrag innerhalb der jeweiligen Sorte (PL1=Fischauer, PL2=Cicerchia, T=Triticale, H1=Spelzhafer Lion, H2=Nackthafer Patrik, D1=Hartweizen Prossimo, D2=Hartweizen Inizio, D3=Hartweizen Durago, SW=Sommerweizen; a=Gemengeverhältnis 95:25, b = Gemengeverhältnis 80:40, c=Gemengeverhältnis 110:10).

3.2.3 Diskussion

Mechanische Beikrautbekämpfung bei Kichererbsen

Der Ertrag der Kichererbsen war stärker durch die Sorte (bzw. den Feldaufgang, der sich zwischen den beiden Sorten stark unterschied) und die Umweltbedingungen (Standort und Jahr) beeinflusst als durch die Wahl der mechanischen Beikrautbekämpfung. Die Bedeutung des Beikrautmanagements zwischen den beiden Standorten unterschied sich deutlich aufgrund des unterschiedlichen Beikrautdrucks. In Kleinhohenheim traten Ertragsunterschiede hauptsächlich zwischen den Sorten und Jahren auf, während die mechanischen Beikrautbekämpfungsmaßnahmen innerhalb der Sorten keinen signifikanten Einfluss auf den Ertrag hatten. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass unter moderatem Beikrautdruck eine intensive mechanische Beikrautbekämpfung möglicherweise nicht erforderlich ist und moderate Maßnahmen ausreichen, um die Erträge zu sichern. Ähnliche Ergebnisse wurden auch in der Literatur für andere Körnerleguminosen berichtet, wobei die Sortenwahl und die Umweltbedingungen häufig eine ebenso große oder sogar größere Bedeutung für den Ertrag haben als die Intensität der Beikrautbekämpfung (Fernandez et al. 2012; Korres 2018).

Die Ergebnisse aus Müncheberg hingegen unterstreichen die Bedeutung eines rechtzeitigen Beikrautmanagements bei hohem Beikrautdruck. Bei unzureichender Beikrautkontrolle war eine hohe Beikrautbiomasse mit Ertragsverlusten verbunden, insbesondere bei der Behandlung „Blindstriegeln“. Die Kombination aus Striegeln und Hacken zeigte tendenziell die beste Wirkung, was darauf hindeutet, dass die Kombination dieser mechanischen Strategien bei hohem Beikrautdruck die effektivste Option ist. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit anderen Studien, die zeigen, dass die Kombination mechanischer Verfahren in geeigneten Entwicklungsstadien wirksamer ist als die Erhöhung der Intensität einer einzelnen Methode (Miller & Hubbel 2024). Darüber hinaus beschrieben Avola et al. (2008) bereits die Wirksamkeit weiter Reihenabstände (in unserer Studie entsprechend den intensiven Striegel- und Hack- sowie intensiven Hackbehandlungen) für ein effektives Beikrautmanagement bei Kichererbsen, was mit unseren Ergebnissen vergleichbar ist.

Unterschiede zwischen den Sorten wurden ebenfalls beobachtet; Irenka (aufrecht) erzielte über verschiedene Umwelten hinweg in der Regel die höchsten Erträge, während Nero (halbaufrecht) eine durchschnittliche und stabile Leistung zeigte. Orion (halbaufrecht) hingegen erwies sich als anfälliger gegenüber Beikrautkonkurrenz, insbesondere unter hohem Beikrautdruck, was auf den schlechten Feldaufgang und nicht die Sorte an sich zurückzuführen ist. Die Pflanzenarchitektur von Kichererbsen beeinflusst die Konkurrenz zwischen Kulturpflanze und Beikraut über die Bestandesentwicklung und die Beschattung (Li et al. 2008; Mohammed et al. 2020), jedoch hängt die Konkurrenzfähigkeit auch von weiteren Merkmalen wie früher Bestandesetablierung und Pflanzenhöhe ab, die eine stärkere Konkurrenz gegenüber Unkräutern ermöglichen.

Insgesamt unterstützen unsere Ergebnisse die hohe Relevanz standortspezifischer und sortenangepasster Beikrautmanagementstrategien im Kichererbsenanbau. Konkurrenzstarke Sorten auf Standorten mit geringem Beikrautdruck ermöglichen eine reduzierte Bekämpfungsintensität, während weniger konkurrenzstarke Sorten und Standorte mit hohem Beikrautdruck frühzeitige und integrierte mechanische Maßnahmen erfordern.

Saat-Platterbse im Gemengeanbau mit Sommergetreide

Die Ergebnisse zeigen, dass für einen erfolgreichen Anbau unter mitteleuropäischen Bedingungen die Saat-Platterbse mit einer Stützfrucht im Gemenge angebaut werden sollte. Dabei sollte die interspezifische Konkurrenz geringer sein als die intraspezifische Konkurrenz, um höhere Erträge zu erzielen (Vandermeer 1989). Im Gemenge mit Spelzhafer wurde eine hohe interspezifische Konkurrenz beobachtet, wodurch der Ertrag der Saat-Platterbse mit zunehmendem Anteil des Spelzhafers abnahm. Die ausgeprägte Konkurrenzkraft von Hafer im Gemengeanbau ist bereits in mehreren Studien beschrieben worden (Dhima et al. 2007; Bailey-Elkin et al. 2022; Enesi et al. 2025). Zudem weisen Getreidearten eine zügigere Jugendentwicklung als Leguminosen auf, weshalb ihr Anteil im Gemenge nicht zu hoch sein sollte (Bedoussac & Justes 2010; Księżak et al. 2023). Bei einem geringen Anteil an Spelzhafer (10 %) und einem erhöhten Anteil an Saat-Platterbse (110 %) nahm jedoch die Standfestigkeit des Bestandes ab. Am Standort

Kleinhohenheim führte dies zusätzlich zu einem Rückgang des Saat-Platterbsenertrags. Die insgesamt geringen Getreideerträge an diesem Standort in den ersten beiden Versuchsjahren lassen sich durch witterungsbedingte Einflüsse erklären: Eine verspätete Aussaat im Jahr 2023 beeinträchtigte Wachstum und Abreife des Getreides, während im Jahr 2024 hohe Niederschläge ein starkes Wachstum der Saat-Platterbse begünstigten. Dies führte zu einer Unterdrückung des Getreides sowie zu einer verminderten Stabilität des Bestandes. Hartweizen zeigt eine geringere Bestockung und einen niedrigeren Blattflächenindex (Giunta et al. 2019; Beres et al. 2020). Dadurch reduzierte sich seine Konkurrenzkraft im Gemenge, was mit höheren Saat-Platterbsenerträgen einherging. Allerdings hatte Hartweizen keine ausreichende Stützwirkung. Die Pflanzenhöhe des Gemengepartners beeinflusst die Stabilität und Bestandesstruktur des Gemenges (Księżak et al. 2023), was sich hier durch die geringere Pflanzenhöhe des Hartweizens und die damit verbundene höhere Lageranfälligkeit bestätigte. Triticale und Spelzhafer erwiesen sich an beiden Standorten als geeignete Gemengepartner mit ausreichender Stützwirkung, jedoch sollte die Aussaatstärke an die jeweiligen Umweltbedingungen angepasst werden. Im vorliegenden Versuch wurde jeweils nur eine Sorte von Spelzhafer, Nackthafer, Triticale und Sommerweizen untersucht. Eine gezielte Sortenwahl könnte die Stabilität und Produktivität des Gemenges zusätzlich steigern (Demie et al. 2022).

3.3 Analytik und Prüfung der Produktqualität geeigneter Akzessionen (Arbeitspaket 4)

3.3.1 Material und Methoden

Nahinfrarotspektroskopie

Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) stellt eine kostengünstige und schnelle Methode dar, um Inhaltsstoffe zu erfassen. Für Kichererbse und Saat-Platterbse sind allerdings keine NIRS-Kalibrationen verfügbar, weshalb entsprechende Kalibrationen in den untersuchten Genotypen für ausgewählte Mikro- und Makronährstoffe entwickelt wurden. Für

folgende Inhaltsstoffe wurde, jeweils für Kichererbse und Saat-Platterbse eine Kalibration erstellt: Trockensubstanz, Protein, Rohasche, Rohfett, Rohfaser und für die Elemente Calcium (Ca), Eisen (Fe), Zink (Zn), Kalium (K), Magnesium (Mg), Mn (Mangan), Selen (Se) und Phosphor (P).

Alle Proben wurden vor der Analyse eisenfrei auf 1 mm gemahlen. Die Spektren der gemahlenen Samenproben wurden mit einem Monochromator (XDS, Typ XM-1000 Foss) im Wellenbereich 400 – 2500 nm aufgenommen. Ausgewählte Proben wurden nasschemisch analysiert (Tabelle 3), um damit exakte Referenzwerte zu erhalten. Nach Tillmann (1996) wurden die entsprechenden Kalibrationen entwickelt. Für die Berechnung und Erstellung der Kalibrierungsmodelle wurde die Software WinISI (Foss) verwendet. Für die Beurteilung der Kalibrierungsmodelle wurden das Bestimmtheitsmaß (R^2), der Standardfehler der Kalibrierung (SEC) und der Standardfehler der Kreuzvalidierung (SECV) genutzt. R^2 beschreibt dabei das Bestimmtheitsmaß zwischen den Referenzwerten und den vom Modell vorhergesagten Werten, und sollte deshalb möglichst nahe 1.0 liegen, SEC und SECV sollten möglichst klein sein.

Tabelle 3: Übersicht der verwendeten Methoden der nasschemischen Referenzanalytik

Trockensubstanz	VDLUFA-Methodenbuch Band III, 3.1
Rohprotein	Verbrennungsmethode nach DUMAS VDLUFA-Methode A 4.1.3.1 / A 2.2.5
Rohasche	VDLUFA-Methodenbuch Band III, 8.4
Rohfett	VDLUFA-Methodenbuch Band III, 5.1.1
Rohfaser	VDLUFA-Methodenbuch Band III, 6.1.1
Elementaranalyse (Ca, Fe, Zn, K, Mg, Mn, Se, P)	Mikrowellenaufschluss + ICP-OES; ICP-OES/MS VDLUFA-Methodenbuch Band VII, 2.1.3

Um die Proteingehalte zu erhalten, wurden die Stickstoffwerte (N_t) mit dem Faktor 6,25 (Jones 1931) multipliziert. Im ersten Versuchsjahr, 2023, wurden insgesamt 269 Kichererbsenproben und 285 Saat-Platterbsenproben von allen Standorten analysiert. Im zweiten Versuchsjahr, 2024, waren es insgesamt 117 Kichererbsenproben und 149

Saat-Platterbsenproben. Aus dem letzten Versuchsjahr wurden 62 Kichererbsenproben und 57 Saat-Platterbsenproben untersucht.

Freie Aminosäuren in der Saat-Platterbse

Für die Analyse der freien Aminosäuren in der Saat-Platterbse wurde an der Core Facility an der Universität Hohenheim die Analysemethode der Flüssigkeitschromatographie-Tandem-Massenspektrometrie (LC-MS/MS) etabliert (Boldischar et al. 2025). Mit der Analysemethode LC-MS/MS war es möglich, die nicht-proteinogenen freien Aminosäuren (α-, β) -ODAP und L-Homoarginin (L-hArg) und 17 weitere freie Aminosäuren in den Saat-Platterbsensamen zu messen. Analysiert wurden dabei alle Proben aus dem ersten Versuchsjahr und zusätzlich noch die selektierten Genotypen, die im Jahr 2025 getestet wurden.

Für die metabolische Analyse wurden die Samen der Saat-Platterbsen gemahlen und jeweils 20 mg jeder Probe für die Extraktion verwendet. Kalibrierungskurven wurden mit Standardlösungen von β-ODAP, dem Aminosäurenmix AAS18 (Sigma-Aldrich, St. Louis, USA) und von L-hArg (Biomol, Hamburg, Deutschland) erstellt. Die Kalibrierungskurve von β-ODAP diente ebenfalls zur Quantifizierung von α-ODAP. (Weitere Details zur Analysemethode sind in Boldischar et al. 2025 beschrieben).

Die Varianzanalyse (ANOVA) erfolgte mit einem gemischten Modell, wobei Genotyp und Standort als feste Effekte und Blöcke innerhalb der Standorte als zufällige Effekte berücksichtigt wurden. Die Residuen wurden vorab grafisch auf Normalverteilung und Varianzhomogenität geprüft. Die statistischen Analysen wurden in SAS (PROC MIXED, REML) durchgeführt.

Speicherproteinanalytik in der Kichererbse

Für die Kichererbsengenotypen, die im zweiten Versuchsjahr 2024 getestet wurden, wurde das Speicherproteinmuster untersucht. Dabei wurden die 50 Genotypen (einschließlich der Kontrollsorten) der Standorte ZALF und UHOH analysiert. Am Standort

IPK konnte ein Großteil der Parzellen aufgrund von Hasenfraß nicht geerntet werden, weshalb dieser Standort für die Speicherproteinanalytik nicht berücksichtigt wurde.

Für die Analyse wurden die Kichererbsensamen auf 1 mm gemahlen, und das Protein nach einem leicht angepassten Protokoll von De Santis et al. (2021) extrahiert. Für die SDS-PAGE (sodium dodecyl sulfate–polyacrylamide gel electrophoresis) wurden jeweils 10 µg Protein in 15 µL geladen. Die Trennung erfolgte auf 12 % Polyacrylamidgele in einer Hoefer SE600-Kammer (Hoefer, Taufkirchen, Deutschland) nach dem Protokoll von Laemmli (1970). Die Gele wurden mit Coomassie Brilliant Blue G250 gefärbt und anschließend gescannt (Epson Perfection V750pro). Gelbanden wurden für jeden Genotyp visuell beschrieben und anhand eines Standard-Molekulargewichtsmarkers (Protein-Marker II, peqGOLD, VWR International, 10–200 kDa) klassifiziert. Die Zuordnung der Proteinbanden erfolgte entsprechend ihrem Molekulargewicht.

3.3.2 Wichtigste Ergebnisse

Nahinfrarotspektroskopie

Für beide Kulturen konnte für Protein ein passendes NIRS-Kalibrierungsmodell aufgestellt werden (R^2=0,98-0,99; SEC=0,03-0,05; SECV=0,05-0,11). Für Kichererbse konnte zudem eine Kalibration mit ausreichender Güte für Rohfaser erstellt werden (R^2=0,98; SEC=0,51; SECV=0,784), für Saat-Platterbse allerdings nicht. Für alle weiteren Parameter war das Bestimmtheitsmaß gering oder die Standardfehler hoch (Tabelle 4).

Für Kichererbse wurde eine Variation in den Proteingehalten in den drei Versuchsjahren festgestellt (13,0 – 22,5 %; ⌀ 16,6 %). Dabei war der Einfluss des Versuchsjahres und Versuchsstandortes signifikant, mit höheren Werten im ersten Versuchsjahr, 2023, und am Standort UHOH im Jahr 2024. Auch zwischen den Genotypen wurden signifikante Unterschiede festgestellt. Die Klassifizierung der Genotypen in die Typen (Desi, Kabuli, Gulabi) zeigte jedoch keine signifikanten Unterschiede in den Proteingehalten zwischen den Typen.

Die Saat-Platterbsengenotypen wiesen insgesamt höhere Proteingehalte (21,7 % - 34,8 %; ⌀ 26,4 %) als die der Kichererbse auf. Die Umwelt (Jahr x Standort) beeinflusste den Proteingehalt signifikant, mit höheren Proteingehalten im zweiten Versuchsjahr und am Standort ZALF.

Tabelle 4: Zusammenfassung der Parameter der NIRS-Kalibration für Kichererbse und Saat-Platterbse mit Bestimmtheitsmaß (R^2), Standardfehler der Kalibrierung (SEC) und der Standardfehler der Kreuzvalidierung (SECV).

	Inhaltsstoff	**SEC**	**R^2**	**SECV**
Kichererbse	Rohasche	0.11	0.76	0.19
	Rohfaser	0.51	0.98	0.78
	Rohfett	0.41	0.69	0.58
	Nt	0.03	0.99	0.05
	Ca	70.00	0.94	157.16
	Fe	4.90	0.94	8.42
	K	306.07	0.89	536.38
	Mg	75.23	0.82	92.93
	Mn	6.62	0.89	11.97
	P	272.07	0.71	336.95
	Se	0.03	0.76	0.04
	Zn	2.90	0.67	4.39
Saat-Platterbse	Rohasche	0.10	0.84	0.16
	Rohfaser	0.56	0.32	1.38
	Rohfett	0.35	0.30	0.59
	Nt	0.05	0.98	0.11
	Ca	86.49	0.92	147.45
	Fe	3.68	0.66	5.91
	K	372.54	0.77	606.66
	Mg	45.00	0.89	73.59
	Mn	1.78	0.76	2.90
	P	147.38	0.96	273.99
	Se	0.02	0.58	0.03
	Zn	1.88	0.90	3.22

Freie Aminosäuren in der Saat-Platterbse

Die metabolische Analyse aus dem ersten Versuchsjahr 2023 über alle Genotypen und alle Standorte, zeigte eine mittlere β-ODAP Konzentration von 0,18 % (0,06 - 0,44 %).

14 Genotypen wiesen eine mittlere β-ODAP Konzentration unter 0,15 % auf. Ein signifikanter Einfluss des Standorts mit einer höheren Konzentration in UHOH wurde festgestellt (Abbildung 15). Genotypen aus dem westlichen Mittelmeerraum hatten eine höhere durchschnittliche β-ODAP Konzentration. Der Einfluss des Genotyps auf die β-ODAP Konzentration war jedoch nicht signifikant (p = 0.1504). Geringe Spearman-Rangkorrelationen der Genotypen zwischen den Standorten (Spearman's ρ = 0,01-0,31) deuteten auf Genotyp-Umwelt-Interaktionen und eine begrenzte Stabilität der β-ODAP Konzentrationen über die Standorte hinweg hin. Mit zunehmendem Ertrag (g Pflanze^{-1}) und einer höheren Anzahl Hülsen pro Pflanze, sank die β-ODAP Konzentration.

Die L-hArg Konzentration schwankte von 0,16 % bis 0,90 % (im Mittel: 0,43 %). Signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen und den Standorten waren zu finden (Abbildung 16). Auch für die L-hArg-Konzentration deuteten die geringen Rangkorrelationen der Genotypen zwischen den Standorten auf Genotyp-Umwelt-Interaktionen hin (Spearman's ρ = 0,29-034). L-hArg zeigte eine positive Korrelation zum Ertrag (g Pflanze^{-1}) und Anzahl Hülsen pro Pflanze. Die höchsten mittleren L-hArg-Konzentrationen wurden in Genotypen aus Mitteleuropa festgestellt. Unter den Kontrollsorten wurde die niedrigste β-ODAP-Konzentration bei Fischauer am Standort IPK (0,10 %) und die höchste L-hArg-Konzentration bei Merkur am Standort ZALF (0,84 %) gemessen. Die Konzentrationen von L-hArg und β-ODAP waren schwach positiv korreliert (r = 0,40; p< 0,01). Die am häufigsten vorkommenden freien Aminosäuren waren Glutamat, Arginin, Aspartat und Alanin.

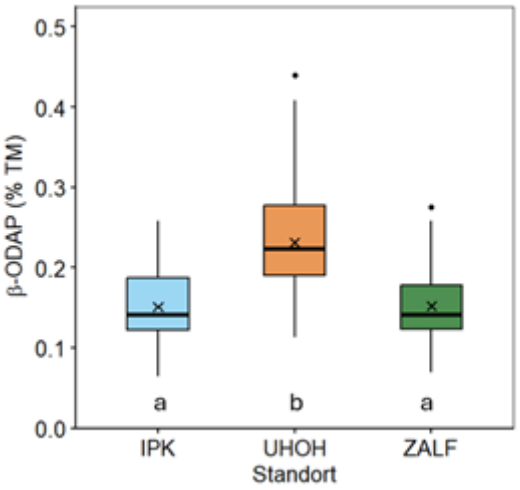


Abbildung 15: Boxplot der Verteilung der β-ODAP Konzentrationen (% TM) an den Versuchsstandorten (IPK, UHOH, ZALF) im Versuchsjahr 2023. Unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede zwischen den Standorten hin (ANOVA mit Tukey-Test, p< 0,01) (leicht verändert nach Boldischar et al. 2025).

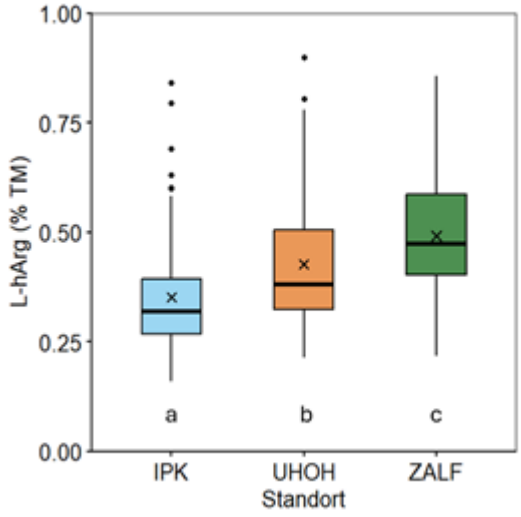


Abbildung 16: Boxplot der Verteilung der L-hArg Konzentrationen (% TM) an den Versuchsstandorten (IPK, UHOH, ZALF) im Versuchsjahr 2023. Unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede zwischen den Standorten hin (ANOVA mit Tukey-Test, p< 0,01) (leicht verändert nach Boldischar et al. 2025).

Im Versuchsjahr 2025 zeigten sich höhere durchschnittliche Konzentrationen an β-ODAP und geringe durchschnittliche L-hArg Konzentrationen. Die β-ODAP Konzentration schwankte dabei von 0,08 % bis 0,41 % (im Mittel 0,21 %) und die L-hArg Konzentration von 0,18 % bis 0,66 % (0,39 %) (Tabelle 5). Genotyp LAT 465 am Standort IPK wies die niedrigste β-ODAP Konzentration auf, Genotyp LAT 4025 am Standort ZALF

die höchsten Konzentrationen an β-ODAP und L-hArg. Signifikant höhere Konzentrationen an freien Aminosäuren traten am ertragreichsten Standort (ZALF) auf, für L-hArg jedoch nicht signifikant höher als am Standort UHOH. Wie im Versuchsjahr 2023 waren die am häufigsten vorkommenden freien Aminosäuren Glutamat, Arginin, Aspartat und Alanin.

Tabelle 5: Minimal (Min) -, Mittel (MW)- und Maximalwerte (Max) und Gesamtmittelwert für die β-ODAP und L-hArg Konzentrationen (% TM) der 19 Genotypen an den drei Versuchsstandorten (UHOH, IPK, ZALF) im Versuchsjahr 2025.

	Standort									**Gesamt**
	UHOH			IPK			ZALF			
%	Min	MW	Max	Min	MW	Max	Min	MW	Max	MW
β-ODAP	0,15	0,21 a	0,31	0,08	0,15 b	0,27	0,19	0,28 c	0,41	0,21
L-hArg	0,26	0,42 a	0,64	0,21	0,32 b	0,50	0,18	0,43 a	0,66	0,39

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Standorten (Tukey-Test, α = 0.05).

Keiner der getesteten Genotypen aus dem Jahr 2025 wies eine mittlere β-ODAP Konzentration unter 0,15 % auf. Unter den Kontrollsorten zeigten Fischauer und Cicerchia die niedrigsten β-ODAP Konzentration, die höchsten L-hArg Konzentrationen waren in Cicerchia und Serra di Conti zu finden (Tabelle 6). Die L-hArg Konzentration stieg mit der β-ODAP Konzentration (r=0,63, p< 0,01) an. Korrelationen zum Ertrag (g Pflanze^{-1}) wurden weder für β-ODAP noch für L-hArg gefunden, mit steigendender Anzahl Hülsen pro Pflanze sanken jedoch die Konzentrationen an β-ODAP und L-hArg. Der Standort beeinflusste die β-ODAP-Konzentration stärker als die genetischen Unterschiede zwischen den Genotypen. Die kombinierte Analyse der in beiden Versuchsjahren geprüften Genotypen zeigte ein konsistentes standortabhängiges Muster der β-ODAP-Konzentration: Im Jahr 2023 wurden signifikant höhere Werte am Standort UHOH festgestellt, während im Jahr 2025 der Standort ZALF signifikant höhere β-ODAP-Konzentrationen aufwies.

Tabelle 6: Mittlere β-ODAP und L-hArg Konzentrationen (% TM) der vier Kontrollsorten an den drei Versuchsstandorten (UHOH, IPK, ZALF) im Versuchsjahr 2025.

Kontrollsorte	β-ODAP	L-hArg
Fischauer	0,18	0,40
Serra di Conti	0,24	0,56
Merkur	0,22	0,52
Cicerchia	0,18	0,64

Speicherproteinanalytik in der Kichererbse

Die SDS-PAGE-Analyse der Kichererbsengenotypen ergab 32 Banden im Bereich von 10 bis 150 kDa. Banden mit ähnlicher Laufweite und vergleichbarem Molekulargewicht wurden unabhängig von ihrer Intensität als identisch bewertet. Für alle Genotypen an beiden Standorten zeigten sich ähnliche Speicherproteinprofile, was auf geringe Unterschiede in der Proteinqualität der Genotypen hinweist und indirekt auf eine geringe genetische Differenzierung schließen lässt. Bei vier Genotypen wurden Abweichungen festgestellt, die als Mutationen interpretiert wurden.

3.3.3 Diskussion

Nahinfrarotspektroskopie

Die NIRS-Analytik erfasst die Absorption von Licht im Nahinfrarotbereich und setzt diese mithilfe von Kalibrierungsmodellen mit den durch Referenzanalytik bestimmten Inhaltsstoffen in Beziehung (Tillman 1996). Im Nahinfrarotbereich werden vor allem Schwingungen von C–H-, N–H- und O–H-Bindungen erfasst, die charakteristisch für organische Moleküle sind (Osborne 1993). Daher eignet sich NIRS insbesondere für die Bestimmung organischer Inhaltsstoffe, während anorganische Verbindungen und Mineralstoffe nur eingeschränkt erfasst werden können. Dies bestätigt sich auch in unseren Daten in den niedrigen Bestimmtheitsmaßen und hohen Standardfehlern der Kalibrationen für die untersuchten Mineralstoffe. NIRS ist daher für eine präzise Quantifizierung dieser Mineralstoffe nur eingeschränkt geeignet. Für die Selektion und das Screening einer großen Anzahl unterschiedlicher Genotypen kann NIRS dennoch eine

sinnvolle Methode sein, um Genotypen mit tendenziell höheren Gehalten zu identifizieren und große Probenzahlen schnell und kostengünstig zu analysieren (Cozzolino & Moron 2004). Da die Kalibrationen auf Basis gemahlener Proben erstellt wurden, entfällt jedoch der Vorteil einer nicht-destruktiven Messung. Die für Protein für beide Kulturen erstellte Kalibration kann in Zukunft, durch kontinuierliche Ergänzung weiterer Referenzproben genutzt werden.

Freie Aminosäuren in der Saat-Platterbse

Das Muster der freien Aminosäuren in der Saat-Platterbse war ähnlich zu denen anderen Leguminosen wie Bohnen, Linsen oder Erbsen (Kuo et al. 2004). β-ODAP und L-hArg zeigten Schwankungen zwischen den Umwelten und Genotypen. Umweltbedingungen, einschließlich Stressfaktoren wie Trockenheit, können die β-ODAP Konzentration erhöhen (Tadesse 2003; Jiao et al. 2011; Xiong et al. 2014; Aloui et al. 2023). Die verstärkte Anreicherung von Sekundärmetaboliten, einschließlich nicht-proteinogener Aminosäuren, unter Stressbedingungen durch metabolische Umprogrammierung ist bekannt (Upadhyay et al. 2025) und könnte eine Erklärung für die höheren Konzentrationen am Standort UHOH im Jahr 2023 sein, da während der Blüte nur geringe Niederschläge auftraten. Ähnliche Ergebnisse fanden Piergiovanni et al. (2010) in Untersuchungen in Italien. Yan et al. (2006) zeigten, dass Saat-Platterbsengenotypen mit geringen β-ODAP Konzentrationen nicht umweltstabil sind, was sich in unseren Daten durch die beschriebenen Genotyp-Umwelt-Interaktionen bestätigte. In den L-hArg Konzentrationen zeigten sich stärkere genetische Unterschiede zwischen den Genotypen als in den β-ODAP Konzentrationen. Im Jahr 2023 konnten Genotypen identifiziert werden, die eine mittlere β-ODAP Konzentration unter 0,15 % aufwiesen, was als gesundheitsunbedenkliche Grenze gilt (Sacristán et al. 2015). Allerdings gibt es derzeit noch keinen offiziellen Grenzwert in Deutschland, womit die gesundheitliche Einschätzung schwierig bleibt.

Im letzten Versuchsjahr, 2025, wurden höhere β-ODAP Konzentrationen am ertragreichsten Standort ZALF gefunden. Dies verdeutlicht, dass die an den einzelnen Standorten wirksamen Stressfaktoren zwischen den Versuchsjahren variierten und die Akku-

mulation von β-ODAP durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst wurde, was auf jahresabhängige Umweltwirkungen und Genotyp-Umwelt-Interaktionen hinweist (Das et al. 2021). Die L-hArg Konzentration war in beiden Jahren am ertragreichsten Standort ZALF am höchsten, was auf eine verstärkte L-hArg Akkumulation unter günstigen Umweltbedingungen hindeutet. Die positive Korrelation zwischen den nicht-proteinogenen Aminosäuren zeigt, dass mit steigender β-ODAP Konzentration auch die L-hArg Konzentration stieg. Ergebnisse aus anderen Studien bestätigen die positive Beziehung zwischen β-ODAP und L-hArg (Piergiovanni & Damascelli 2011; Onar et al. 2014; Sacristán et al. 2015). Deshalb sollten bei der Bewertung erhöhter β-ODAP-Konzentrationen in Saat-Platterbsengenotypen die potenziell positiven gesundheitlichen Wirkungen von L-hArg nicht unbeachtet bleiben (Rao 2011; Singh & Saligame 2013).

Speicherproteinanalytik in der Kichererbse

Speicherproteine gelten als umweltstabil und eignen sich daher zur indirekten Beschreibung genetischer Unterschiede (Ladizinsky & Hymowitz 1979; Pal et al. 2016). Zudem beschreiben sie Qualitätseigenschaften, womit aus dem Speicherproteinmuster Rückschlüsse auf die Proteinqualität der Genotypen gezogen werden konnten. Das Fehlen deutlicher Unterschiede in der Speicherproteinanalytik zwischen den getesteten Genotypen sowie zwischen den Kichererbsentypen Desi, Kabuli und Gulabi deutet darauf hin, dass die Unterschiede in der Proteinqualität der untersuchten Kichererbsengenotypen gering sind. Variation wurde vor allem zwischen kultivierter Kichererbse und dem Wildtyp *Cicer reticulatum* beschrieben (Asghar et al. 2003). Die weitgehend übereinstimmende Bandenverteilung und die ähnlichen Muster der SDS-PAGE bestätigen, dass die innerspezifische Variation zwischen den Typen Desi, Kabuli und Gulabi als gering einzuschätzen ist (Asghar et al. 2003; Withana-Gamage et al. 2011) und sich die Proteinqualität nur geringfügig unterscheidet. Daraus lässt sich ableiten, dass eine Selektion für den Anbau in Mitteleuropa auf Basis der Typenklassifizierung (Desi, Kabuli, Gulabi) keine wesentlichen Unterschiede in Proteinqualität und Proteingehalt erwarten lässt und daher alle Typen hinsichtlich ihrer Proteinqualität grundsätzlich als geeignet angesehen werden können.

3.4 Prüfung der Ertragsstabilität geeigneter Akzessionen hinsichtlich ihrer Resilienz unter den Bedingungen des Klimawandels (Arbeitspaket 5)

3.4.1 Material und Methoden

Screening von Genbank-Akzessionen von Kichererbse und Saat-Platterbse hinsichtlich ihrer Ertragsstabilität

Neunzehn Genotypen der Saat-Platterbse (*Lathyrus sativus* L.), darunter vier kommerzielle Sorten und fünfzehn Akzessionen aus der Genbank des IPK, wurden an drei Standorten in Deutschland (Gatersleben, Kleinhohenheim und Dedelow) über drei Vegetationsperioden (2023–2025) hinweg bewertet, was in neun Umwelten resultierte. Die Auswahl der Akzessionen erfolgte nach einem mehrstufigen Screening-Verfahren über die Projektlaufzeit: 2023 wurden zunächst 100 Genotypen untersucht, 50 wurden für weitere Tests im Jahr 2024 ausgewählt und die 19 besten wurden 2025 anhand ihrer Ertragsleistung ausgewählt. Eine vollständige Beschreibung der bewerteten Genotypen ist in Tabelle 7 enthalten.

Tabelle 7: Beschreibung von 19 Saat-Platterbsen-Akzessionen, die in neun Umwelten während der Anbauperiode 2023–2025 bewertet wurden.

Genotyp	Genotyp-ID/Sorte	Status	Land
L01	LAT_0406	Landsorte	Griechenland
L02	LAT_0409	Unbekannt	Griechenland
L03	LAT_0413	Landsorte	Griechenland
L04	LAT_0416	Landsorte	Griechenland
L05	LAT_0456	Zuchtsorte	Spanien
L06	LAT_0462	Unbekannt	Deutschland
L07	LAT_0464	Unbekannt	Bulgarien
L08	LAT_0465	Zuchtsorte	Ukraine
L09	LAT_0498	Landsorte	Italien
L10	LAT_4006	Landsorte	Spanien
L11	LAT_4025	Landsorte	Italien
L12	LAT_4068	Landsorte	Italien
L13	LAT_4098	Landsorte	Italien
L14	LAT_4104	Landsorte	Albanien
L15	LAT_4107	Landsorte	Albanien
L16	Fischauer	Kommerzielle Sorten	Österreich
L17	Merkur	Landsorte	Tschechische Republik
L18	Serra di' Conti	Kommerzielle Sorten	Italien
L19	Tesoro della Terra	Kommerzielle Sorten	Italien

Für Kichererbsen (*Cicer arietinum* L.) wurden 21 Genotypen an drei Standorten in Deutschland über drei Vegetationsperioden (2023–2025) bewertet. Zunächst wurden im Jahr 2023 100 Genotypen (95 Akzessionen aus der Genbank des IPK und fünf kommerzielle Sorten) untersucht. Auf der Grundlage der Leistung im Feldversuch wurden 50 Genotypen für die Bewertung im Jahr 2024 ausgewählt, und die 21 bestplatzierten Genotypen (fünf kommerzielle Sorten und 16 Genbankakzessionen) wurden im Jahr 2025 getestet. Aufgrund ungünstiger Bedingungen gingen zwei der neun geplanten Umwelten verloren; jedoch wurde 2025 ein zusätzlicher Standort in der Schweiz (GZPK) einbezogen, sodass insgesamt acht Umwelten in die Analyse einflossen. Eine vollständige Beschreibung der bewerteten Genotypen findet sich in Tabelle 8.

Tabelle 8: Beschreibung von 21 Kichererbsen-Akzessionen, die in acht Umwelten während der Anbauperiode 2023–2025 bewertet wurden.

Genotyp	Genotyp-ID/Sorte	Status	Land
C01	CIC_024	Landsorte	Griechenland
C02	CIC_049	Zuchtsorte	Rußland
C03	CIC_051	Zuchtsorte	Rußland
C04	CIC_054	Zuchtsorte	Unbekannt
C05	CIC_059	Zuchtsorte	Rußland
C06	CIC_070	Zuchtsorte	Unbekannt
C07	CIC_072	Landsorte	Afghanistan
C08	CIC_119	Landsorte	Irak
C09	CIC_163	Landsorte	Italien
C10	CIC_181	Landsorte	Tadshikistan
C11	CIC_194	Landsorte	Italien
C12	CIC_202	Landsorte	Afghanistan
C13	CIC_231	Landsorte	Albanien
C14	CIC_502	Zucht-/Forschungsmaterial	Indien
C15	CIC_526	Zucht-/Forschungsmaterial	Iran
C16	CIC_764	Landsorte	Italien
C17	Cicerone	Kommerzielle Sorten	Italien
C18	Irenka	Kommerzielle Sorten	Tschechische Republik
C19	Nero	Kommerzielle Sorten	Italien
C20	Olga	Kommerzielle Sorten	Tschechische Republik
C21	Orion	Kommerzielle Sorten	Kanada

Feldversuche wurden unter standortspezifischen agronomischen Bedingungen durchgeführt, wobei die Aussaat- und Erntetermine je nach den regionalen klimatischen Bedingungen variierten. Klimadaten, darunter die Durchschnittstemperatur und die Gesamtniederschlagsmenge während der Vegetationsperiode, wurden von lokalen Wetterstationen erhoben.

Die Saat-Platterbsen wurden mit 50 Samen pro Genotyp in zwei Reihen ausgesät, wobei der Reihenabstand standortspezifisch angepasst wurde. Aufgrund des rankenden Wuchses wurden in jedem Plot Metallspaliere installiert. Die Kichererbsenversuche folgten einem ähnlichen Versuchsaufbau mit 100 Samen pro Genotyp und variabler Reihenanzahl und -abständen je nach Standort. Die Versuche wurden aufgrund der

geringen Menge an Saatgut für die Akzessionen nicht innerhalb eines Standortes repliziert, sondern über mehrere Umwelten hinweg ausgewertet. Die Beikrautbekämpfung erfolgte manuell.

Der Kornertrag pro Pflanze wurde mit einem linearen gemischten Modell analysiert, das mittels Restricted Maximum Likelihood (REML) geschätzt wurde. Dabei wurde der Genotyp als fixer Effekt und die Umwelt (Standort × Jahr) als zufälliger Effekt modelliert. Varianzkomponenten wurden berechnet, um den Einfluss der Umwelt auf die Ertragsvariabilität zu bestimmen. Die Leistung der Genotypen in verschiedenen Umwelten wurde mittels Heatmaps auf Basis mittlerer bzw. angepasster mittlerer Erträge dargestellt.

Die paarweise Wahrscheinlichkeit der Überlegenheit eines Genotyps gegenüber einem anderen wurde berechnet (Piepho 1998). Genotypen mit einer Outperformance-Wahrscheinlichkeit von über 0,70 wurden anschließend hinsichtlich ihrer Umweltanpassung mittels Finlay-Wilkinson-Regression (Finlay & Wilkinson 1963) analysiert, bei der der Genotyp-Ertrag gegen den mittleren Kornertrag über alle Umwelten regressiert wurde.

Trockenstressversuche zu Kichererbsen und Saat-Platterbsen

In einem Versuch am ZALF auf der Forschungsstation in Müncheberg mit sandigem Boden und einer AZ 25-35 wurde mittels Rainout-Sheltern der Einfluss von gezieltem Trockenstress während der Blüte und Hülsenfüllung bei Kichererbsen und Saat-Platterbsen über drei Jahre (2023-2025) untersucht (Abbildung 17).



Abbildung 17: Feldversuch mit Rainout-Sheltern in verschiedenen Körnerleguminosen am ZALF auf der Forschungsstation in Müncheberg.

Die Konstruktion der Rainout-Shelter wurde nach der Beschreibung von Kundel et al. (2018) mit einer Größe von 2,5 x 2,5 m angefertigt (Abbildung 18). Die Shelter halten ca. 3/4 des Niederschlages von der Fläche ab und haben, neben der Simulation der Trockenheit, nur einen sehr geringen Einfluss auf die Wachstumsbedingungen und können im Feldversuch randomisiert eingesetzt werden.



Abbildung 18: Konstruktion von Rainout-Sheltern im Feld über Kichererbsen zur Blüte.

Es wurden zwei Sorten von Kichererbsen cv. Irenka (Gulabi-Typ) und Castor (Desi-Typ), sowie zwei Saat-Platterbsen Sorten cv. Fischauer (kleines TKG) und Cicerchia (großes TKG) geprüft. Die Termine der Aussaat und Ernte wurden nach Witterung und Art für jedes Jahr differenziert durchgeführt (Tabelle 9).

Es wurden 4 Varianten verglichen:

- Natürlicher Niederschlag (= Kontrolle)
- Natürlicher Niederschlag und Beregnung (Juni-Juli)
- Natürlicher Niederschlag und Trockenstress zur Blüte (Juni)
- Natürlicher Niederschlag und Trockenstress zur Hülsenfüllung (Juni-Juli)

Zeitpunkt und Beregnungsmenge wurden abhängig vom Pflanzenbedarf, der Bodenfeuchte und vom Niederschlag mit Kreisregnern durchgeführt.

Tabelle 9: Termine während der Vegetationszeit

Kultur	Jahr	Aussaat	Aufgang	Beginn Blüte	Beginn Hülsenfüllung	Ernte
Kichererbse	2023	April 24	Mai 08	Juni 15	Juli 03	August 03
	2024	April 11	April 29	Juni 05	Juni 20	Juli 16
	2025	April 16	April 30	Juni 16	Juni 26	Juli 30
Saat-Platt-erbse	2023	April 24	Mai 08	Juni 15	Juni 27	Juli 27
	2024	April 08	April 15	Mai 27	Juni 14	Juli 25
	2025	April 16	April 28	Juni 05	Juni 25	Juli 29

3.4.2 Wichtigste Ergebnisse

Screening von Genbankakzessionen der Kichererbse und Saat-Platterbse

Der Kornertrag der Saat-Platterbse wurde überwiegend durch Umwelteinflüsse bestimmt, die etwa 63 % der gesamten Ertragsvarianz erklärten. Gleichzeitig zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen über die neun Umwelten hinweg ($F = 1{,}93$; $p = 0{,}018$).

Die Erträge variierten deutlich zwischen den Umwelten (Abbildung 19), wobei U3 und U6 höhere, U1 und U2 niedrigere Erträge aufwiesen. Die mittleren Erträge lagen zwischen 5,45 g Pflanze^{-1} (L16) und 9,77 g Pflanze^{-1} (L10).

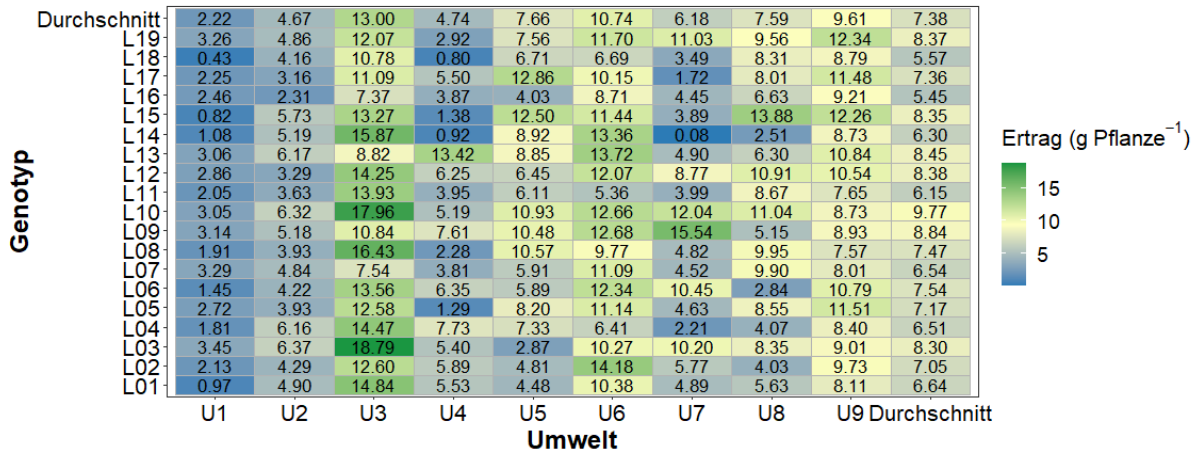


Abbildung 19: Heatmap der Genotyp-Leistung in neun Umwelten (U1-U9) für den Ertrag an gereinigtem Saat-Platterbsenkorn, einschließlich Genotyp- und Umweltsdurchschnitte. Umwelt: U1, U4 und U7 (IPK in den Jahren 2023, 2024 und 2025); U2, U5 und U8 (UHOH in den Jahren 2023, 2024 und 2025); U3, U6 und U9 (ZALF in den Jahren 2023, 2024 und 2025).

Sechs Saat-Platterbsengenotypen mit einem Piepho-Outperformance-Index > 0,70 wurden mithilfe der Finlay-Wilkinson-Regression analysiert. Die Regressionssteigungen unterschieden sich zwischen den Genotypen. L15 und L10 zeigten Steigungen > 1 und reagierten stärker auf günstige Umweltbedingungen. L12 und L19 wiesen Steigungen nahe 1 auf, während L09 und L13 Steigungen < 1 zeigten (Abbildung 20).

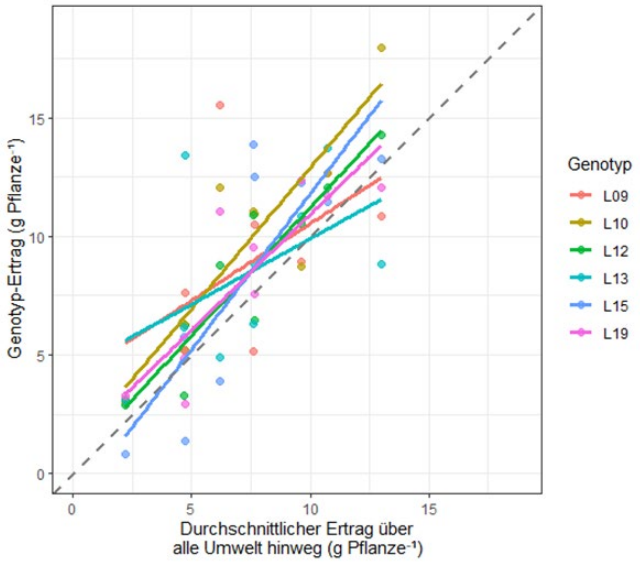


Abbildung 20: Finlay-Wilkinson-Regression des Ertrags (g Pflanze^{-1}) für Saat-Platterbsengenotypen mit einer Überleistungswahrscheinlichkeit von mehr als 0,70. Der Genotyp-Ertrag wurde gegen den mittleren Ertrag über alle Umwelten hinweg als Maß für die Umweltproduktivität ausgewertet. Die durchgezogenen farbigen Linien stellen Genotyp-spezifische Regressionslinien dar. Die gestrichelte graue Linie stellt die 1:1-Referenzlinie (β = 1) dar, die die durchschnittliche Umweltreaktion angibt.

Ähnlich wie bei der Saat-Platterbse wurde der Kornertrag der Kichererbse überwiegend durch Umwelteinflüsse bestimmt, die etwa 74 % der Gesamtvarianz erklärten, während jedoch Unterschiede zwischen den Genotypen nicht signifikant waren ($F = 0{,}80$; $p = 0{,}71$).

Die Erträge variierten stark zwischen den Umwelten (Abbildung 21), wobei U3 und U5 die höchsten und U6 die niedrigsten Werte aufwiesen. Auch U1 und U2 zeigten relativ geringe Erträge. Die Genotypen C03, C10, C11 und C16 erreichten über alle Umwelten hinweg die höchsten mittleren Erträge (> 11 g Pflanze^{-1}).

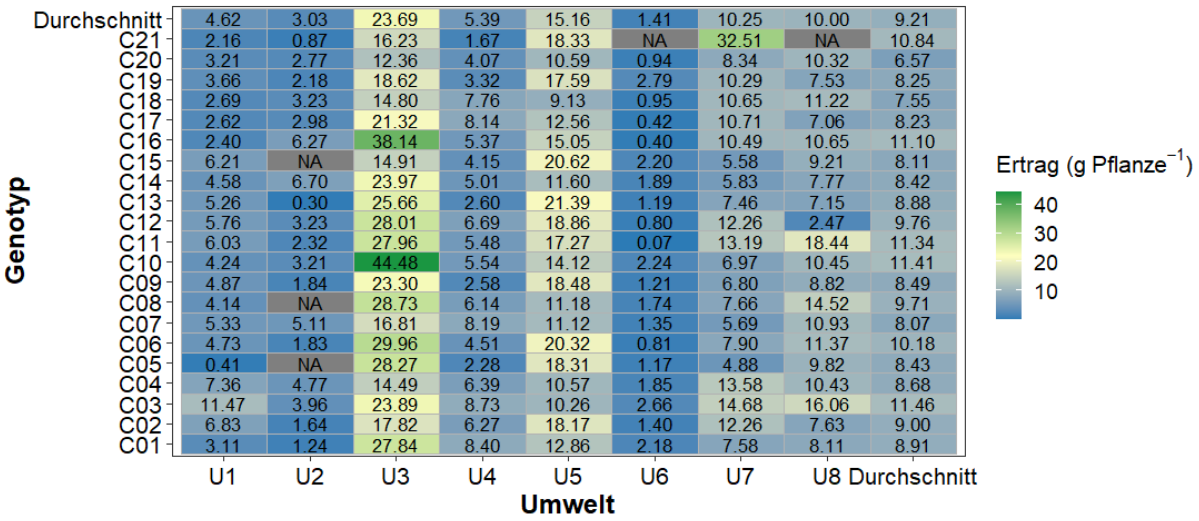


Abbildung 21: Heatmap der Genotyp-Leistung in sieben Umwelten für den marktfähigen Ertrag der Kichererbse. Die Heatmap zeigt die mittleren Erträge von Genotyp × Umwelt. NA kennzeichnet Kombinationen, die aufgrund von weniger als fünf Pflanzen pro Parzelle ausgeschlossen wurden. Die Genotypwerte sind gemischte modellbereinigte Mittelwerte, die Umweltswerte sind Mittelwerte über alle Genotypen hinweg. Umwelt: U1 und U6 (IPK in den Jahren 2023 und 2025); U2 und U4 (UHOH in den Jahren 2023 und 2024); U3, U5 und U7 (ZALF in den Jahren 2023, 2024 und 2025); U8 (GZPK im Jahr 2025).

Fünf Kichererbsengenotypen mit einem Piepho-Outperformance-Index > 0,70 wurden mithilfe der Finlay-Wilkinson-Regression analysiert (Abbildung 22). Die Regressionssteigungen unterschieden sich zwischen den Genotypen. C10, C11 und C16 zeigten Steigungen über eins (1,75; 1,24; 1,54), während C03 und C21 Steigungen unter eins aufwiesen (0,80 bzw. 0,88).

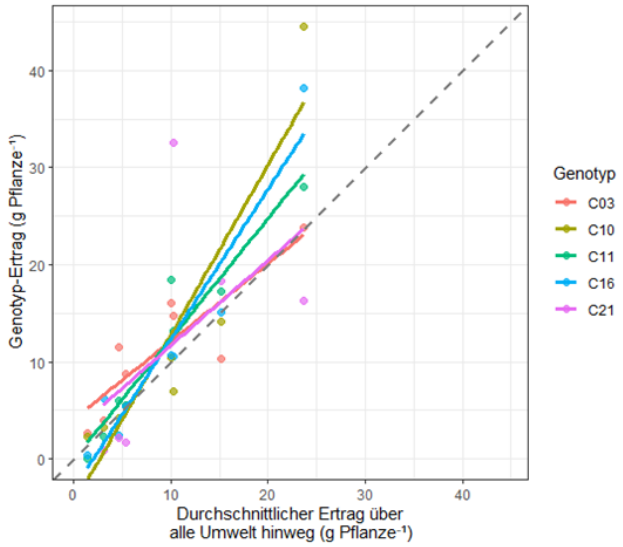


Abbildung 22: Finlay-Wilkinson-Regression des Ertrags (g Pflanze^{-1}) für Kichererbsengenotypen mit einer Überleistungswahrscheinlichkeit von mehr als 0,70. Der Genotyp-Ertrag wurde gegen den Durchschnittsertrag aller Umwelten als Maß für die Umweltproduktivität ausgewertet. Die durchgezogenen farbigen Linien stellen Genotyp-spezifische Regressionslinien dar. Die gestrichelte graue Linie stellt die 1:1-Referenzlinie (β = 1) dar, die die durchschnittliche Umweltreaktion angibt.

Trockenstressversuche zu Kichererbsen und Saat-Platterbsen

Alle drei Versuchsjahre waren durch eine Frühjahrstrockenheit im April und Mai geprägt. Die Häufigkeit und Menge der Niederschläge während der Blüte (Juni) und Hülsenfüllung (Juli) waren in den drei Jahren sehr unterschiedlich (Abbildung 23). Im Jahr 2023 fielen Niederschläge zur Blüte und dann erst zur späten Hülsenfüllung, im Jahr 2024 zur Blüte, während es zur Hülsenfüllung trocken war. Im Jahr 2025 war es bis zur Hülsenfüllung trocken. Diese Unterschiede in der Niederschlagsverteilung hatten auch einen Einfluss auf die Erträge.

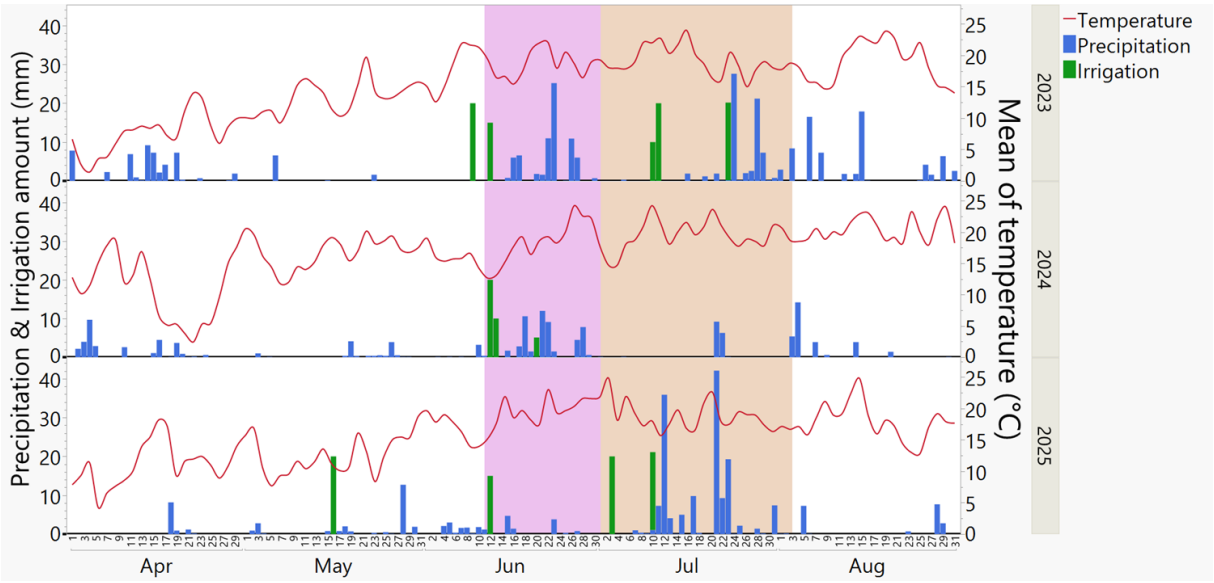


Abbildung 23: Niederschlag (blaue Balken), Bewässerung (grüne Balken) und mittlere Lufttemperatur (rote Linie) während der Wachstumsphase von April bis August in den Jahren 2023-2025.

Erträge von Kichererbsen und Saat-Platterbsen schwankten von 0,8-2,1 t/ha und 0,3-1,4 t/ha (Abbildung 24). Der Einfluss von simuliertem Trockenstress zur Blüte und Hülsenfüllung wirkte sich nicht systematisch auf den Ertrag von Kichererbsen und Saat-Platterbsen aus. Bewässerung hatte keinen Ertragseffekt bei Kichererbsen (außer in 2023), erhöhte die Erträge allerdings in Saat-Platterbsen in 2023 und 2024. In 2025 förderte die Trockenheit zur Blüte und Hülsenfüllung den Ertrag der Saat-Platterbse cv. Fischauer.

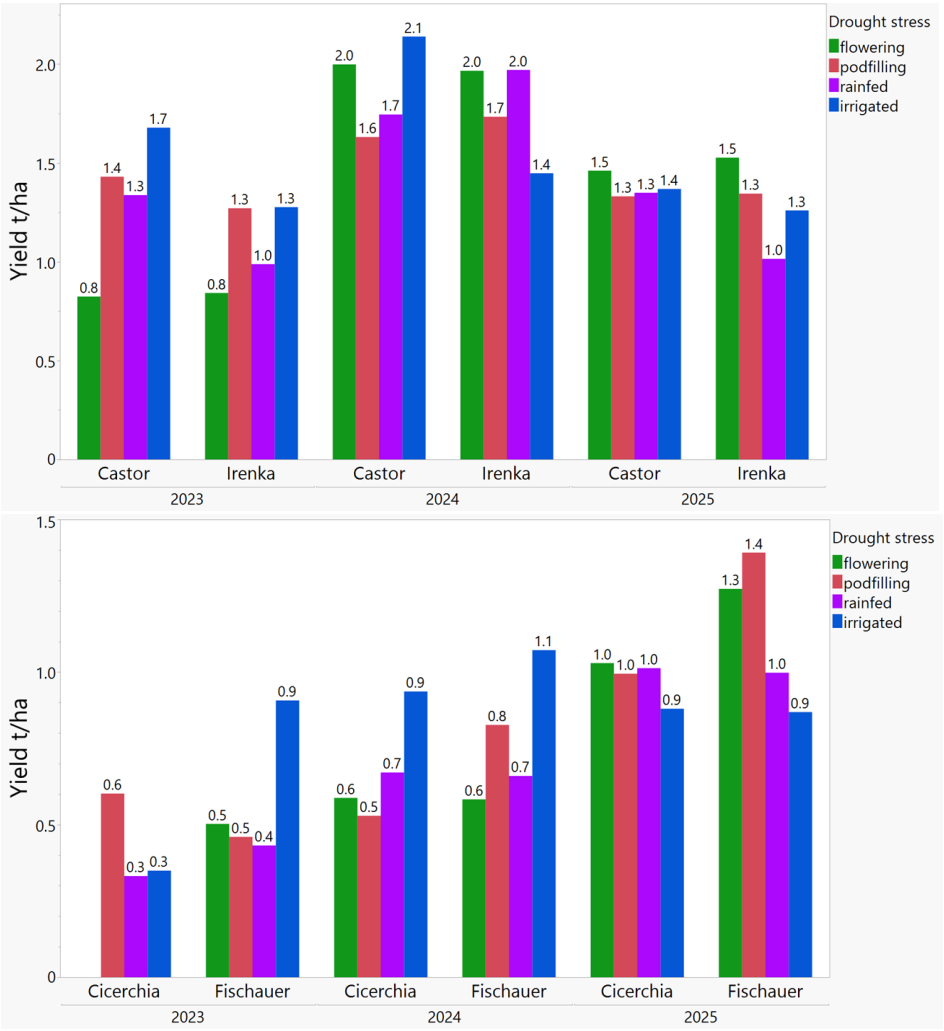


Abbildung 24: Ertrag von Kichererbsen (oben) und Saat-Platterbsen (unten) unter Einfluss von Trockenstress zur Blüte (flowering) oder zur Hülsenfüllung (podfilling), unter natürlichen Bedingungen (rainfed) und mit Bewässerung (irrigated).

3.4.3 Diskussion

Screening von Genbankakzessionen der Kichererbse und Saat-Platterbse

Unsere Ergebnisse bestätigen, dass der Ertrag beider Kulturen in erster Linie von den Umweltbedingungen beeinflusst wurde (63 % der Gesamtvariation bei Saat-Platterbsen und 74 % der Gesamtvariation bei Kichererbsen). Standortspezifische Faktoren wie Niederschlag und Boden überdecken oft genetische Unterschiede, ein Muster, das auch in anderen Versuchen unter verschiedenen Umweltbedingungen häufig auftritt (Annicchiarico 2002; Gauch 2006). Da das Wetter in gemäßigten Klimazonen sehr unvorhersehbar ist, sind Versuche an mehreren Standorten die einzige Möglichkeit, die

tatsächliche Leistungsfähigkeit dieser Genotypen genau zu bewerten, was die Bedeutung dieser Arbeit unterstreicht.

Die Genotypen der Saat-Platterbse zeigten signifikante genotypische Unterschiede ($p = 0,018$). Dies bestätigt, dass es genetische Variationen gibt, auch wenn die meisten Ertragsunterschiede auf Umweltbedingungen zurückzuführen sind. Die Erträge lagen zwischen 5,45 g und 9,77 g pro Pflanze, was die Diversität unseres Genbankmaterials widerspiegelt. Diese Diversität ist von entscheidender Bedeutung, da Saat-Platterbse speziell für ihre Leistungsfähigkeit auf dürregefährdeten und marginalen Böden geschätzt wird (Gonçalves et al. 2022). Die hohen Erträge, die bei den Genotypen L03, L09, L10, L12, L13, L15 und L19 beobachtet wurden, bestätigen, dass diese Genbankressourcen Optionen für zukünftige Züchtungsprogramme in Deutschland sind.

Bei Kichererbsen war die genotypische Variation statistisch nicht signifikant. Darüber hinaus könnte die in unserer Studie beobachtete hohe Umweltvariabilität genetische Ertragsunterschiede bei Kichererbsen verdeckt haben, was es noch schwieriger macht, das wahre genetische Potenzial unserer Genotypen zu erkennen, eine Herausforderung, die auch in anderen Studien beobachtet wurde (Gebeyaw et al. 2024; Sellami et al. 2021). Obwohl die genotypische Variation in dieser Arbeit statistisch nicht signifikant war, erzielten C03, C10, C11 und C16 durchweg die höchsten Durchschnittserträge an allen Standorten. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse sollte man sich für weitere Arbeiten bzw. für den Anbau in der Praxis auf diese vier Sorten konzentrieren.

Die Anpassungsmuster, die durch die Finlay-Wilkinson-Analyse ermittelt wurden, zeigten, dass von unseren Saat-Platterbsengenotypen L10 und L15 ($\beta > 1$) unter günstigen Umweltbedingungen eine stärkere Reaktion aufwiesen, während L09 und L13 ($\beta < 1$) unter weniger produktiven Bedingungen relativ bessere Leistungen erzielten. Die Kichererbsengenotypen, die am stärksten auf eine ertragsfördernde Umwelt reagierten, waren C10, C11 und C16 ($\beta > 1$). Auf der anderen Seite schnitten C03 und C21 ($\beta < 1$) unter schwierigeren Bedingungen besser ab. Eine solche Variation ist häufig (Finlay & Wilkinson 1963) und ermöglicht es zukünftigen Züchtern, aus unseren die am besten

geeigneten Genotypen auf der Grundlage ihrer Stabilität in verschiedenen Umwelten auszuwählen.

Insgesamt zeigen die in unserer Studie identifizierten unterschiedlichen Ertragsleistungen und Anpassungsmuster, warum es so wichtig ist, Hülsenfrüchte in verschiedenen Umwelten zu testen. Durch die Betrachtung sowohl des Ertrags als auch der Stabilität konnten wir Genotypen selektieren, die sowohl unter optimalen als auch unter schwierigen Bedingungen gute Leistungen erbringen. Die hier beschriebenen Genotypen sind daher die besten Kandidaten für den Aufbau robusterer Anbausysteme in Deutschland, insbesondere angesichts der sich ändernden Klimaprognosen.

Trockenstressversuche zu Kichererbsen und Saat-Platterbsen

Die Witterung während der drei Versuchsjahre hatte den größten Einfluss auf das Wachstum und die Erträge von Kichererbsen und Saat-Platterbsen. Dies bestätigt unsere Ergebnisse aus dem Screening "Anpassungsfähigkeit von Genotypen und Sorten an unterschiedliche Umweltbedingungen". Der Einfluss von Trockenstress zur Blüte und Hülsenfüllung war nicht systematisch und hatte je nach Witterung vor und nach der simulierten Stressperiode unterschiedliche Effekte. Ein negativer Effekt auf den Ertrag trat durch natürliche Trockenheit vor der simulierten Stressphase zur Blüte bei Kichererbsen in 2023 auf, während ein positiver Effekt bei Saat-Platterbsen durch hohe Niederschläge in 2025 messbar war. Die überwiegend geringen Effekte bestätigen die Trockentoleranz der beiden Arten, wobei Kichererbsen deutlich robuster waren und z.B. nicht auf zusätzliche Bewässerung reagierten. Saat-Platterbsen dagegen profitieren von zusätzlichem Wasser zur Blüte bei trockenen Bedingungen wobei das indeterminierte Wachstum bei hohen Niederschlägen während der späten Hülsenfüllung das Ertragspotenzial reduzieren und die Mähdruschernte erschweren könnte. Da der Standort und die Versuchsjahre durch geringe Niederschläge besonders im Frühjahr geprägt waren, konnte der Einfluss von viel Niederschlag auf Krankheiten, Lager oder ungleichmäßige Abreife nicht geprüft werden. Weitere Analysen sind nötig, um die Zusammenhänge zwischen Niederschlag, Temperatur und Ertragsstabilität bzw. Qualität der Ernte

zu untersuchen. Vergleiche mit weiteren Körnerleguminosen wie Felderbsen und Sojabohnen, die voraussichtlich deutlich stärker auf Trockenstress reagieren, wären ebenfalls sinnvoll.

3.5 On-Farm- und Tast-Versuche auf ausgewählten Praxisstandorten in Deutschland (Arbeitspaket 6)

Der Anbau von Kichererbsen in der Praxis wurde auf ausgewählten Standorten in Nordostdeutschland und Süddeutschland begleitet (Abbildung 25). In Nordostdeutschland wurden im Jahr 2025 auf insgesamt 13 Betrieben On-Farm Versuche zum Kichererbsenanbau in Zusammenarbeit mit den Projekten LeguNet und Ciceregio durchgeführt. Dabei wurden auf allen Betrieben Kabuli-Sorten (Flamenco, Twist, Reale, Kira) angebaut. Auf neun Betrieben wurde zusätzliche eine Gulabi-Sorte getestet (Olga). Die Betriebe waren Teil des Kichererbsen-Rings, der 2023 im Rahmen der Projekte LeguNet (ZALF) und KIWERTa (Regionalwert AG Berlin-Brandenburg) gegründet wurde, um Wissen im Kichererbsenanbau zu sammeln und zu teilen (Krause & Berlinghof 2025).

Die vermarktbare Ernte aus den Handernten lag zwischen 50 und 2921 kg ha^{-1}. Auf insgesamt fünf Betrieben konnte kein marktfähiger Ertrag erzielt werden. Zudem zeigte sich während der Praxisversuche ein stark variierender Feldaufgang, der insbesondere bei den Kabuli-Sorten als unzureichend (< 40 %) bewertet wurde. Die getestete Gulabi Sorte war dagegen deutlich robuster.



Abbildung 25: Lage der Praxisbetriebe mit Kichererbsenanbau im Jahr 2025 (GeoBasis-DE/BKG, Google, 2026).

In Süddeutschland wurden im Jahr 2025 auf elf Betrieben mit Kichererbsenanbau die Anbaubedingungen und Anbaupraktiken beschrieben und verglichen. Zusätzlich wurden Experteninterviews durchgeführt, um Motive für den Anbau von Kichererbsen sowie aktuelle Herausforderungen zu identifizieren. Ergänzend dazu wurden zwei Expertinnen aus dem vor- und nachgelagerten Bereich befragt. Von den elf Betrieben bauten sechs im Jahr 2025 erstmals Kichererbsen an. Auf allen Betrieben wurden Kabuli-Sorten (Orion, Flamenco, Rondo, Cicerone) angebaut. Die Experteninterviews wurden qualitativ mit Hilfe eines teilstrukturierten Interviewleitfadens durchgeführt. Die Auswertung erfolgte mit MAXQDA (VERBI Software, 2024) anhand der zusammenfassenden Inhaltsanalyse nach Mayring (2022).

Es zeigte sich, dass die Betriebe insbesondere durch den eigenen Verzehr von Kichererbsen, den Austausch mit Berufskollegen, die höhere Trockenheitstoleranz sowie die steigende Nachfrage nach regional erzeugten Kichererbsen zum Anbau motiviert wurden. Als zentrale Herausforderungen wurden Ernteausfälle, Beikraut- und Krankheitsdruck sowie eine ungleichmäßige Abreife identifiziert. Auch die Vermarktung gestaltet

sich derzeit noch schwierig und erfolgt überwiegend über Direktvermarktung. Ähnlich wie auf den Praxisbetrieben in Nordostdeutschland war auch in Süddeutschland auf drei Betrieben der Feldaufgang problematisch. Auf zwei Betrieben kam es im Jahr 2025 zu einem Totalausfall. Die Erträge der vermarktungsfähigen Ware lagen zwischen 85 und 1754 kg ha^{-1}.

Für die Saat-Platterbse fanden keine On-Farm-Versuche statt; allerdings wurde der Anbau auf drei Praxisbetrieben in Süddeutschland und einem Betrieb in Brandenburg begleitet. Der Biolandhof Klein verfügt dabei über die größte Erfahrung im Anbau. Dort wurden bereits vor Jahren Produkte aus Saat-Platterbsen entwickelt, wie Falafelmischungen, die im Hofladen über Direktvermarktung verkauft werden (https://www.lupinenkaffee.de/Home). Der Anbau der Saat-Platterbse erfolgt dort hauptsächlich im Gemenge mit Hafer und zeigt eine hohe Ertragsstabilität. Der Biohof Bundschuh hat 2024 erstmalig den Anbau von Saat-Platterbse im Gemenge mit Hafer getestet. In der Gärtnerei Großhöchberg wurden on-farm von Malte Kraus in Kleinparzellen unterschiedliche Sortenherkünfte geprüft. Zusätzlich wird dort die Saat-Platterbse im Anbaujahr 2025/2026 als Winterkultur getestet. Auf dem Betrieb in Brandenburg wurde erstmalig Saat-Platterbse getestet und mit Leindotter als Stützfrucht kombiniert (da gute Erfahrungen als Stützfrucht für Linsen vorliegen), die Kultur ging allerdings stark ins Lager und konnte nicht gedroschen werden.

4. Schlussfolgerungen

Sowohl für die Kichererbse als auch für die Saat-Platterbse konnten im Projekt CiLa-Klima Genbankakzessionen gefunden werden, die die aktuell in der Praxis genutzten Sorten bzw. Herkünfte (im Fall der Saat-Platterbse) im Ertrag über mehrere Umwelten hinweg übertreffen, wobei der Einfluss des Genotyps bei der Saat-Platterbse stärker war als bei der Kichererbse. Allerdings war die Kichererbse anfälliger gegen Krankheiten und Schädlinge als die Saat-Platterbse, so dass die Frage nach dem Einfluss des Genotyps auf Ertrag und Ertragsstabilität bei Kichererbsen nicht abschließend beantwortet

werden kann. Fasst man diese Ergebnisse mit den Rückmeldungen aus der Praxis zusammen, wird deutlich, dass die Ertragsstabilität der Kichererbse unter den Klimabedingungen in Deutschland nach wie vor von starken Schwankungen bis hin zu Ertragsausfällen geprägt ist. Dies unterstreicht die Bedeutung von angepassten Sorten für diese Standorte. Allerdings müssen auch weitere Arbeiten zur Pflanzengesundheit und zur Kontrolle von tierischen Schaderregern erfolgen, um die Ertragsrisiken zu minimieren. Die Saat-Platterbse stellt sich hier deutlich stabiler dar, allerdings ist die Kultur im Gegensatz zur Kichererbse weit weniger bekannt, daher besteht eine große Herausforderung darin, sie in der Praxis bekannter zu machen. Zwar lagen die β-ODAP-Gehalte der Herkünfte und Sorten meist unter dem angestrebten Wert, allerdings existiert bisher jedoch kein Grenzwert. Da die β-ODAP-Gehalte auch in unserer Arbeit sehr stark von der Umwelt beeinflusst wurden, kann mit der Auswahl β-ODAP-armer Herkünfte der Toxin-Gehalt nur begrenzt beeinflusst werden. Wie sich dieser Themenkomplex auf die Verbraucherakzeptant der Kultur auswirkt, ist ebenfalls unklar, insbesondere, da berücksichtigt werden muss, dass das gesundheitsfördernde L-Homoarginin positiv mit den Gehalten an β-ODAP korreliert ist und die Protein-Gehalte der Saat-Platterbse deutlich höher sind als die der Kichererbse. Interessant sind daher in Zukunft lebensmitteltechnologische Anwendungen, die ggfs. β-ODAP-Gehalte weiter verringern bzw. Proteine toxinfrei extrahieren.

Proteingehalte und Speicherproteinmuster der Kichererbsen der Desi-, Gulabi- und Kabuli-Typen unterschieden sich entgegen der Annahme nicht, sodass hier auch bei einer weiteren züchterischen Bearbeitung keine Änderungen zu erwarten sind und somit in Zukunft zwar ertragsstärkere und -stabilere Sorten auf den Markt kommen, die jedoch ähnliche Produktqualitäten aufweisen.

Die NIRS-Kalibrierungen für Kichererbsen und Saat-Platterbsen, die im Projekt entwickelt wurden, sind gut für die Ermittlung der Proteingehalte nutzbar. Die Kalibrierung für die Messung der Mineralstoffgehalte wies jedoch deutlich geringere Korrelationskoeffizienten auf, so dass hier Einschränkungen bei der weiteren Nutzung bestehen.

CiLaKlima trägt dazu bei, das Management beider Kulturarten im Feld zu optimieren. Bei der Kichererbse ist die Beikrautkontrolle aufgrund der langsamen Jugendentwicklung eine Herausforderung. Die Ergebnisse zeigen auf, dass hohe Intensitäten der Beikrautregulierung nur unter sehr hohem Beikrautdruck notwendig sind, was zu einer Kosten- und Arbeitsersparnis in der Praxis führen kann.

Die größte agronomische Herausforderung beim Anbau der Saat-Platterbse liegt in der Wüchsigkeit der Kultur und im daraus resultierenden Gemengeanbau. Da die Kultur kaum in der Praxis genutzt wird, war bisher wenig über potenzielle Gemengepartner bekannt. CiLaKlima konnte Triticale und Hafer als zwei mögliche Gemengepartner identifizieren und erste Angaben zu Mischungsverhältnissen machen. Hier besteht jedoch weiterer Forschungsbedarf, um einerseits verschiedene Sorten dieser beiden Kulturen zu prüfen, um den Gemengeanbau zu optimieren und um andererseits weitere potenzielle Gemengepartner zu identifizieren, die evtl. ökonomisch besser zu verwerten sind.

Insgesamt zeigt sich durch die Arbeiten in CiLaKlima, dass sowohl die Kichererbse als auch die Saat-Platterbse einen Beitrag zur Klimaanpassung des Leguminosenanbaus in Deutschland leisten können und ein Potenzial in der Praxis darstellen.

5. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse zur Kichererbse

Screening der Herkünfte: CiLaKlima konnte vier Herkünfte identifizieren, die auf allen Standorten höhere Erträge erreichten als die anderen Herkünfte des Probensets, auch wenn dies nicht statistisch signifikant war, so dass diese direkt hochvermehrt und in der Landwirtschaft eingesetzt werden können. In den Screenings waren Desi- und Gulabi-Typen auf allen Standorten und in allen Jahren in der Tendenz ertragreicher und ertragsstabiler als Kabuli-Typen. In Praxisversuchen in Brandenburg aber auch in den dortigen Exaktversuchen waren Kabuli-Typen durch bodenbürtige Krankheiten beeinflusst und von der Bohnensaatfliege (*Delia* sp.) befallen. Dies führte auf bestimmten Standorten zu einem schlechten Feldaufgang, während der Aufgang bei Desi-Typen

deutlich höher war. Daraus ist abzuleiten, dass für den Praxis-Anbau in Deutschland die bisher eher wenig konsumierten schwarzen und rotbraunen Typen geeigneter sind. Während des Projektes wurden die Ergebnisse bereits mehrfach in Kooperation mit dem LeguNet und der Eiweißpflanzeninitiative Baden-Württemberg vor Praktikern präsentiert, die Ergebnisse stießen dabei auf großes Interesse. Allerdings stellen sich hier Fragen der Vermarktbarkeit, da bisher in Deutschland vor allem die hellen, großsamigen Kabuli-Typen bei den Verbrauchern bekannt sind. Diese Typen werden auch vom Projektpartner Rebio erzeugt, was jedoch laut Befragung von Gschoßmann (2026) in Ertragsausfällen, niedrigen Erträgen und ungenügendem Feldaufgang resultierte. Hier sollte der Versuch unternommen werden, Desi-Typen verstärkt in den Markt zu bringen, um das Risiko von Ernteausfällen zu verringern. Das Projekt CiceRegio versucht daher in Brandenburg bereits, rotbraune Desi-Sorten als „Brandenburger Kichererbse" zu etablieren, sodass sich die regional erzeugte Ware mit Preis-Premium auch optisch klar von der Importware abgrenzt. Die Projektergebnisse von CiLaKlima unterstützen damit den regionalen Anbau neuer Kulturen und neue Vermarktungsstrategien.

Die detaillierte Charakterisierung jeder in CiLaKlima geprüften Herkunft wird in die Genotypen-Datenbank des IPK aufgenommen, sodass künftige Projekte darauf zurückgreifen können. Damit liegen für jede geprüfte Herkunft eine umfangreiche Dokumentation vor, die weitere Forschungsarbeiten erleichtern können. Insbesondere zukünftige Züchtungsprojekte bzw. Forschungsarbeiten kommerzieller Züchter, die die Herkünfte nutzen möchten, profitieren von diesen erweiterten Datensätzen sowie von den Ergebnissen in den im Projekt erarbeiteten wissenschaftlichen Publikationen. Damit wird langfristig die mittelständische Pflanzenzüchtung in Deutschland gestärkt.

Beikrautmanagement: Die Ergebnisse zum Beikrautmanagement können direkt in die landwirtschaftliche Praxis übertragen werden. Durch den an zwei Orten und über drei Jahre und unter sehr unterschiedlichen Witterungsbedingungen durchgeführten Versuch ist das Ergebnis bereits gut abgesichert. Wir konnten zeigen, dass eine intensive

Beikrautkontrolle nur bei hohem Beikrautdruck ertragswirksam wird, so dass bei geringem Beikrautdruck Arbeitsgänge (und Hacktechnik) eingespart werden können, was Kosten verringert und damit die Wettbewerbsfähigkeit der Betriebe steigert.

Analyse der Inhaltsstoffe: Die Untersuchungen der Speicherproteine zeigten, dass sich diese nicht zwischen Desi-, Gulabi- und Kabuli-Typen unterscheiden, ebenso wenig wie die Proteingehalte. Somit besteht in dieser Hinsicht kein Unterschied in der ernährungsphysiologischen Wertigkeit, was ebenfalls für die Vermarktung der Desi- und Gulabi-Typen genutzt werden kann (s.o.). In CiLaKlima konnte eine NIRS-Routine zur Analyse von Protein, Rohfaser und Mineralstoffen etabliert werden, was für weitere Forschungsarbeiten genutzt werden kann.

Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse zur Saat-Platterbse

Im Gegensatz zur Kichererbse wird zur Saat-Platterbse deutlich weniger geforscht, so dass die Ergebnisse aus CiLaKlima generell einen wichtigen Beitrag zu einem vertieften Verständnis der Kultur leisten und in Folgeprojekten von Wissenschaftlern weiter bearbeitet werden können.

Screening der Herkünfte: In unseren Screening-Versuchen konnten wir zeigen, dass sieben Herkünfte der Saat-Platterbse aus der Genbank höhere Erträge aufwiesen als das Gesamtset. Auch die detaillierte Charakterisierung jeder in CiLaKlima geprüften Saat-Platterbsen-Herkunft wird in die Genotypen-Datenbank des IPK aufgenommen, sodass künftige Projekte darauf zurückgreifen können. Damit liegen für jede geprüfte Herkunft eine umfangreiche Dokumentation vor, die weitere Forschungsarbeiten erleichtern können. Dies betrifft insbesondere auf die Gehalte an β-ODAP zu, die häufig nicht vorliegen. Da gerade international verstärkt an β-ODAP-armen Herkünften geforscht wird, so dass eine detaillierte Kenntnis der Inhaltsstoffe für Wissenschaftler, vor allem für Züchter, hilfreich ist. Allerdings resultiert der Gehalt an β-ODAP generell in einem geringeren Interesse aus der Landwirtschaft und aus der Verarbeitung. Dennoch ist die ökologische Pflanzenzüchtung interessiert an der Kultur, daher wurden bereits während der Projektlaufzeit von CiLaKlima Informationen mit dem Züchtungsunternehmen

Getreidezüchtung Peter Kunz ausgetauscht und Herkünfte mit einem On-Farm-Züchter geteilt, worauf weitere Arbeiten aufbauen können. Auch das Screening der Herkünfte der Saat-Platterbse resultierte in einer Auswahl an Herkünften, die höhere und stabilere Erträge liefern als die bisher in der Praxis eingesetzten Sorten und die daher direkt für den Einsatz in der Landwirtschaft hochvermehrt werden können.

Gemengeanbau: Da zum Gemengeanbau der Saat-Platterbse so gut wie nichts bekannt war, sind die Ergebnisse aus dem Projekt CiLaKlima für alle an einem Anbau interessierten Landwirte wichtig und tragen zu einer erhöhten Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbsfähigkeit der Landwirtschaft sowie zu einer Diversifizierung der Anbausysteme bei. Der Anbau der Saat-Platterbsen könnte sich langfristig in bestimmten Regionen als Anpassung an den Klimawandel etablieren, hierzu liefert CiLaKlima erste Ansätze. Die Projektergebnisse und die in CiLaKlima initiierten Netzwerke dienen weiteren Austauschformaten, die das Projekt LeguNet (Stand Projektende) zum Thema Saat-Platterbse anbietet, als Grundlage.

Analyse der Inhaltsstoffe: Unsere Ergebnisse können für weitere Forschungsprojekte zur technologischen Aufbereitung bzw. Weiterverarbeitung des Saat-Platterbsen-Erntegutes genutzt werden, um die β-ODAP-Gehalte weiter zu minimieren und gleichzeitig den wertgebenden Inhaltsstoff L-Homoarginin zu erhalten. Die im Projekt entwickelte NIRS-Kalibration für Protein in Saat-Platterbsen kann unter Verwendung weiterer Proben in Zukunft für Screening von Herkünften bzw. von Proteingehalten von Proben für den Einsatz in der Lebensmittelindustrie genutzt werden und stellt eine kostengünstige, zerstörungsfreie Methode dar, deren Genauigkeit jedoch noch weiter verbessert werden muss.

6. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen und Hinweise auf weiterführende Fragestellungen

Ziel 1: Selektion von Genotypen von Kichererbse und Saat-Platterbse, die für den Anbau in Deutschland geeignet sind (morphologische Merkmale und agronomische Eigenschaften)

Dieses Ziel konnte sowohl für die Kichererbse (vier Genotypen) als auch für die Saat-Platterbse (sieben Genotypen) erreicht werden. Unsere Annahme, dass die Eignung für den Anbau maßgeblich durch den Einfluss des Genotyps bedingt ist, konnte statistisch signifikant nur für die Besten-Auslese der Saat-Platterbse belegt werden. Bei der Kichererbse beeinflussten die Umweltbedingungen (Standort, Jahreseffekte, Krankheiten) die Performance so stark, dass der Einfluss des Genotyps nicht statistisch signifikant war. Gerade hinsichtlich des Krankheits- und Schädlingsdrucks sind daher weitere Forschungsarbeiten zur Phytopathologie dringend notwendig, um den Kichererbsenanbau in Deutschland langfristig zu etablieren. So muss geklärt werden, ob bei der Kichererbse ebenso wie bei der Speiseerbse der Krankheitskomplex der Leguminosenmüdigkeit auftritt, wie lange Anbaupausen zu anderen Leguminosen sein müssen und ob samenbürtige Virosen auftreten bzw. Virosen über Vektoren verbreitet werden können (erste Erkenntnisse wurden durch die Zusammenarbeit mit dem Leibniz-Institut DSMZ und dem JKI gesammelt). Zudem müssen Kontrollstrategien gegen die Baumwoll-Kapseleule (*Helicoverpa armigera*) entwickelt werden, da diese auf den süddeutschen Standorten bereits regelmäßig auftritt und ertragswirksame Schäden verursacht. Es ist davon auszugehen, dass sich *H. armigera* mit fortschreitendem Klimawandel immer weiter nach Norden und Osten ausbreiten wird und auch in diesen Regionen mit mehreren Generationenzyklen auftreten wird. Darüber hinaus müssen dringend Forschungen zu bodenbürtigen Krankheiten wie *Fusarium, Pythium und Rhizoctonia,* und der Bohnensaatfliege (*Delia* sp.) durchgeführt werden, da diese das Keimen des Saatguts hemmen und zu Totalausfällen führen. In CiLaKlima ergaben sich Hinweise, dass bodenbürtige Krankheiten sowie die Bohnenfliege besonders für Kabuli-Typen ein

Problem darstellt. Hier sind jedoch weitere systematische Forschungsarbeiten notwendig.

Die Saat-Platterbse wies während der gesamten Projektlaufzeit auf allen Standorten eine deutlich geringere Anfälligkeit gegenüber Krankheiten und Schädlingen auf, so dass hier der Forschungsbedarf deutlich geringer einzuschätzen ist.

Hinsichtlich der Beikrautkontrolle bei Kichererbsen konnten Ergebnisse gewonnen werden, die direkt in die Praxis umgesetzt werden können. Dabei wurden beispielhaft unterschiedliche Wuchstypen verschiedener Desi-, Gulabi- und Kabuli-Sorten genutzt, die am Markt verfügbar sind. Eine direkte Untersuchung der Herkünfte war nicht möglich, da nicht ausreichend Material für diese Feldversuche vorhanden war.

In den Versuchen zum Gemengeanbau von Saat-Platterbse konnten geeignete Mischungspartner (Triticale und Spelzhafer) gefunden werden, allerdings sind weitere Untersuchungen zur Aussaatstärke an unterschiedlichen Standorten und zum Einsatz unterschiedlicher Sorten der beiden Getreidearten notwendig.

Ziel 2: Selektion von Genotypen mit hoher Produktqualität und Eignung für die Wertschöpfungskette in der Humanernährung

Sowohl die selektierten Genotypen der Kichererbse als auch die der Saat-Platterbse sind für die Humanernährung geeignet. Bei der Saat-Platterbse beeinflussen jedoch – im Gegensatz zu unserer Annahme – insbesondere die Umweltbedingungen den Gehalt an β-ODAP, so dass eine Selektion Toxin-armer Genotypen nur bedingt möglich ist. Zu beachten ist hier auch, dass das gesundheitsfördernde L-hArg positiv mit β-ODAP korreliert ist.

Die Proteingehalte sind in beiden Kulturen hoch, sodass hier die Anforderungen der Wertschöpfungskette erfüllt sind. Die Speicherproteine in der Kichererbse unterscheiden sich zwischen Desi-, Gulabi- und Kabuli-Typen nicht, sodass die innere Produktqualität identisch ist und damit alle geprüften Genotypen einsetzbar sind. Eine größere Herausforderung stellt die äußere Produktqualität, vor allem die Samenfarbe dar, da

ein Teil der Besten-Auslese der Kichererbsen Desi- bzw. Gulabi-Typen sind, die evtl. schwerer am Markt zu etablieren sind. Allerdings bieten sich hier durch den visuell sichtbaren Unterschied auch neue Formen der regionalen Vermarktung, was in Projekte zur Vermarktung oder zur Wertschöpfungskettenentwicklung aufgenommen werden sollte. Im Projekt CiLaKlima wurden auf Anraten der Praxispartner erste Untersuchungen zur Samenschalendicke durchgeführt. Hier könnten in Zukunft Arbeiten zur Kochzeit und Verkostungen angedockt werden.

Für die Saat-Platterbse, die im Projekt CiLaKlima eine große Anpassungsfähigkeit an die unterschiedlichen Standortbedingungen zeigte, sind in der Vermarktung noch deutlich stärkere Aktivitäten notwendig, um die Kultur in den Handel zu bringen, wobei die Gehalte an β-ODAP ein Problem darstellen. Hilfreich wäre hier auch, wenn in einem oder mehreren Laboren eine kostengünstige Analysemethode für β-ODAP etabliert würde, so dass Proben aus der Praxis schnell gescreent werden können. Im Augenblick fehlt dieses Angebot, was evtl. die weitere Ausbreitung des Anbaus behindert. Hier wäre auch hilfreich, wenn ein Grenzwert oder zumindest mehr Informationen zur Gesundheitswirkung von β-ODAP bei maßvollem Konsum an Saat-Platterbsen vorläge, um die Vermarktung der Produkte abzusichern. Da die Saat-Platterbse jedoch deutlich weniger anfällig gegen Krankheiten und Schädlinge ist, liegt hier noch Anbau- und Vermarktungspotential.

3. Ziel: Entwicklung einer schnellen analytische NIRS-Screening-Methode

Dieses Ziel konnte aufgrund großer Verzögerungen bei der Analyse der Proben nur bedingt erreicht werden. Für Protein wurden für beide Kulturen NIRS Kalibrationen entwickelt. Für die Bestimmung der Mineralstoffe bestätigte sich, dass NIRS nur begrenzt geeignet ist. Um die NIRS-Screening-Methoden besser abzusichern, müssen weitere Referenzproben in die Kalibration integriert werden.

4. Ziel: Ertragsstabilität und Stabilität der Inhaltsstoffgehalte hinsichtlich Trockenstress

Bei der Saat-Platterbse zeigen die hohen Erträge, die bei der Besten-Auslese der sieben Genotypen über alle Standorte hinweg realisiert wurden, dass die Genbankressourcen in zukünftigen Züchtungsprogrammen in Deutschland eingesetzt werden können. Bei der Kichererbse ist der genetisch definierte Aspekt der Performance kleiner, die Umweltbedingungen überdecken diesen, so dass hier keine klare Aussage getroffen werden kann. Auch die Inhaltsstoffgehalte sind bei beiden Kulturen stark umweltabhängig. Nichtsdestotrotz ließ sich auch hier eine Besten-Auslese realisieren.

5. Ziel: Einbindung der Praxis

Ein weiteres Ziel im Projekt CiLaKlima war die starke Einbindung der Praxis, um gemeinsam die agronomischen Versuche zu planen, Deskriptoren zu definieren und Selektionskriterien festzulegen. Bei der Kichererbse gelang dies bedingt durch den hohen Bekanntheitsgrad der Kultur und das große Interesse deutlich besser als bei der Saat-Platterbse. Den Anbau der Saat-Platterbse haben nur wenige Betriebe getestet. Zu Projektbeginn waren die ursprünglich als Projektpartner eingeplanten Züchtungsunternehmen noch präsent, später nahmen sie nicht mehr an den Treffen teil. Die Kulturen sind offensichtlich (noch) so klein, dass eine Züchtung kommerziell nicht lohnend ist. Bei der Saat-Platterbse wurde lediglich ein On-Farm-Züchter gewonnen. Bei der Kichererbse wurden die Down-Stream-Akteure aus der Züchtung durch einen Up-Stream-Akteur aus dem Bereich Handel und Vermarktung ersetzt, was für den weiteren Verlauf des Projektes sehr vorteilhaft war, da die Sicht der Abnehmenden Hand in das Projekt integriert werden konnte und gleichzeitig neue Landwirte erreicht wurden. Die Ergebnisse des Screenings werden durch Publikationen allen Züchtungsunternehmen zur Verfügung gestellt. In einem Workshop in 2025 wurden Initiativen in der Züchtungsforschung vernetzt.

7. Zusammenfassung

Im Verbundprojekt CiLaKlima wurden Kichererbse (*Cicer arietinum* L.) und Saat-Platterbse (*Lathyrus sativus* L.) als trockenheits- und hitzetolerante Körnerleguminosen systematisch auf ihre Eignung für den Anbau in Deutschland geprüft. Beide Kulturen können in Zukunft Ackerbohne und Erbse ergänzen, die unter den Bedingungen des Klimawandels an Ertragsstabilität verlieren. Allerdings sind für Kichererbse und Saat-Platterbse in Deutschland nur wenige Sorten verfügbar. Die übergeordneten Projektziele waren daher, neue Körnerleguminosenarten für konventionelle und ökologische Betriebe zu prüfen, um klimaresiliente Fruchtfolgen zu fördern und neue Optionen für die menschliche Ernährung zu erschließen. Für letztere ist sowohl die Kichererbse als auch die Saat-Platterbse gut geeignet, da beide ohne aufwändige Verarbeitung als Lebensmittel nutzbar sind. Aus den Genbankkollektionen des IPK wurden 95 Kichererbsen- und 96 Saat-Platterbsen-Akzessionen aus über 20 Ländern ausgewählt und geprüft, aktuell verfügbare und in der Praxis eingesetzte Sorten und Herkünfte wurden ergänzt. Kriterien für die Auswahl waren eine potentielle Eignung für den Anbau in Deutschland, Saatgutverfügbarkeit und bei Kichererbse der Samentyp (Desi, Kabuli, Gulabi). An drei Standorten (Gatersleben, Kleinhohenheim, Dedelow) wurden über mehrere Jahre standardisierte Feldbonituren durchgeführt. Über eine schrittweise Reduktion wurden 17 Kichererbsen- und 15 Saat-Platterbsen-Genotypen als Bestenauslese intensiver geprüft. Darüber hinaus fanden an den Standorten Kleinhohenheim, Dedelow und Müncheberg während der drei Projektjahre mit beiden Kulturen agronomische Versuche zur Beikrautkontrolle in der Kichererbse und zum Gemengeanbau in der Saat-Platterbse statt.

Korrelationsanalysen zeigten, dass der Kornertrag beider Arten vor allem durch reproduktive Merkmale bestimmt wird. Bei Saat-Platterbse war die Samenanzahl pro Pflanze das wichtigste ertragsbestimmende Merkmal, gefolgt von Hülsenzahl und Höhe der ersten Hülse. Größere und höhere Pflanzen waren tendenziell ertragreicher. Samenanzahl pro Hülse und Samengröße waren negativ korreliert. Bei Kichererbse hing der Ertrag eng mit Hülsen- und Samenanzahl pro Pflanze zusammen; das Tausendkorngewicht korrelierte positiv mit Samenfläche und Samenanzahl pro Hülse. Eine negative

Korrelation zwischen Hülsenzahl und Hülsenansatzhöhe weist auf einen Zielkonflikt zwischen Ertrag und Mähdruschfähigkeit hin.

Zur mechanischen Beikrautkontrolle in Kichererbsen wurden vier Strategien (Blindstriegeln, intensives Striegeln, Striegeln + Hacken, intensives Hacken) mit Sorten unterschiedlicher Wuchsform an zwei Standorten über drei Jahre getestet. Am Standort der Universität Hohenheim (Kleinhohenheim) mit moderatem Beikrautdruck bedingten Sorten- und Jahreseffekte den Ertrag; Unterschiede zwischen den Beikrautregulierungsstrategien waren innerhalb einer Sorte nicht signifikant. In Müncheberg (ZALF) mit hohem Beikrautdruck führte insbesondere das alleinige Blindstriegeln zu hoher Beikrautbiomasse. Die Kombination aus Striegeln und Hacken war tendenziell am wirksamsten. Aus unseren Ergebnissen folgt, dass die Intensität der Beikrautkontrolle standortspezifisch anzupassen ist: Bei geringem Beikrautdruck reicht eine extensive Beikrautkontrolle aus, während bei hohem Druck eine Kombination aus Hacken und Striegeln am wirksamsten ist.

Aufgrund ihres rankenden Wuchses muss die Saat-Platterbse im Gemenge mit Getreide angebaut werden. In CiLaKlima wurden folgende Varianten geprüft: Reinsaat, Gemenge mit Spelzhafer, Nackthafer, Triticale, Sommerweizen und Hartweizen. In Reinsaat lagerte die Kultur so stark, dass eine maschinelle Ernte praktisch nicht möglich war. Alle Gemenge wiesen einen LER > 1 auf und waren damit flächenproduktiver als die Reinsaaten. Spelzhafer und Triticale zeigten aufgrund ihrer Standfestigkeit die beste Eignung als Stützfrucht. Bei einem hohen Anteil im Gemenge waren beide Getreidearten jedoch sehr konkurrenzstark, was den Saat-Platterbsenertrag reduzierte und den Getreideertrag steigerte. Hartweizen war weniger konkurrenzstark, was in höheren Erträgen resultierte. Allerdings führte die unzureichende Stützwirkung zu erhöhtem Lager. Unter mitteleuropäischen Bedingungen erscheint daher ein Gemengeanbau mit moderatem Getreideanteil, insbesondere Hafer oder Triticale, agronomisch sinnvoll; die Saatstärken müssen standortspezifisch angepasst werden.

Sowohl für die Kichererbse als auch für die Saat-Platterbse wurden NIRS-Kalibrationen zur schnellen Bestimmung von Inhaltsstoffen entwickelt. Für den Proteingehalt ergab sich ein sehr guter Fit mit den Kalbrationsdaten (R^2 = 0,98–0,99) für beide Kulturen, bei Kichererbse zusätzlich für Rohfaser. Bei den Mineralstoffen war das Modell deutlich schwächer. NIRS eignet sich damit gut für das Screening von Proteingehalten in Herkünften und Zuchtlinien. Die Proteingehalte lagen bei Kichererbse zwischen 13,0 und 22,5 % (Ø 16,6 %), bei Saat-Platterbse zwischen 21,7 und 34,8 % (Ø 26,4 %). Jahr und Standort beeinflussten die Gehalte signifikant. Zwischen den Kichererbsentypen Desi, Kabuli und Gulabi zeigten sich weder im Proteingehalt noch in der Speicherproteinqualität systematische Unterschiede.

In Saat-Platterbse wurden die nicht-proteinogenen Aminosäuren β-ODAP (neurotoxisch) und L-Homoarginin (L-hArg, potenziell gesundheitsfördernd) mittels LC-MS/MS bestimmt. 2023 lag die mittlere β-ODAP-Konzentration bei 0,18 % TM (0,06–0,44 %), 14 Genotypen unterschritten 0,15 %. Die Gehalte waren stark umweltabhängig und Trockenstress zur Blüte erhöhte den Gehalt an β-ODAP. Der Einfluss des Genotyps war schwach und die Korrelation zwischen den Standorten war gering, was auf ausgeprägte Genotyp-Umwelt-Interaktionen hinweist. L-hArg variierte 2023 zwischen 0,16 und 0,90 % (Ø 0,43 %), mit signifikanten Genotyp- und Standorteffekten und positiver Korrelation zu Ertrag und Hülsenzahl. β-ODAP und L-hArg waren positiv korreliert, was eine gleichzeitige Selektion auf niedrige β-ODAP-Gehalte bei gleichzeitig hohen Gehalten an L-hArg erschwert.

Zur Prüfung der Ertragsstabilität wurden 19 Saat-Platterbsen- und 21 Kichererbsengenotypen über mehrere Umwelten (Standort × Jahr) geprüft. Bei Saat-Platterbse erklärten Umwelteffekte etwa 63 % der Ertragsvarianz, bei Kichererbse rund 74 %. Für Saat-Platterbse waren genotypische Unterschiede signifikant und mehrere Genotypen erzielten konsistent über die Standorte und Jahre überdurchschnittliche Erträge. Bei Kichererbse waren genotypische Effekte statistisch nicht signifikant, obwohl einzelne Genotypen tendenziell höhere Durchschnittserträge zeigten. Finlay-Wilkinson-Analysen zeigten, dass einige Genotypen stark auf die Umwelt reagierten, während andere

Genotypen ertragsstabil über alle Umwelten waren. Ergänzende Trockenstressversuche mit Rainout-Sheltern bestätigten die grundsätzliche Trockenheitstoleranz beider Arten. Die Effekte des simulierten Stresses waren gering und stark jahresabhängig.

Die im Rahmen des Projektes durchgeführten On-Farm-Versuche in Brandenburg und Süddeutschland zeigten bei der Kichererbse stark schwankende Erträge bis hin zu Totalausfällen und häufig problematischen Feldaufgang, insbesondere bei Kabuli-Sorten. Desi- und Gulabi-Typen erwiesen sich robuster. Zentrale Probleme sind bodenbürtige Krankheiten, Schäden durch die Bohnensaatfliege, hoher Beikrautdruck, ungleichmäßige Abreife und eine unsichere Vermarktungssituation. Gleichzeitig besteht hohes Interesse an regionalen Kichererbsen. Für Saat-Platterbse liegen positive Praxiserfahrungen im Gemengeanbau - vor allem mit Hafer – vor. Die Kultur ist jedoch wenig bekannt, und der β-ODAP-Gehalt erschwert die Vermarktung.

Insgesamt zeigt CiLaKlima, dass Kichererbse und Saat-Platterbse bei gezielter Sortenwahl, angepasstem Management und weiterem Aufbau von Wertschöpfungsketten zur Klimaanpassung des Leguminosenanbaus in Deutschland beitragen können. Desi/Gulabi-Kichererbsentypen sind agronomisch robuster als Kabuli-Typen, ohne Nachteile in der Proteinqualität, stellen aber neue Anforderungen an die Vermarktung, da sich das Erntegut visuell von den beim Verbraucher bekannten Kabuli-Typ unterscheidet. Die Saat-Platterbse ist agronomisch stabil und proteinreich, muss aber im Gemenge angebaut werden. Offene Fragen existieren hier zu möglichen Grenzwerten an β-ODAP, zu weiterer Züchtung und der Auswirkung der Verarbeitung. Die entwickelten NIRS-Kalibrationen für Protein sowie die Empfehlungen zu Beikrautmanagement und Gemengeanbau sind unmittelbar in Forschung und Praxis einsetzbar.

8. Literaturverzeichnis

Aloui, K., Choukri, H., El Haddad, N., Gupta, P., El Bouhmadi, K., Emmrich, P.M.F. et al. (2023). Impact of Heat and Drought Stress on Grasspea and Its Wild Relatives. *Plants 12*, 3501. https://doi.org/10.3390/plants12193501.

Annicchiarico, P. (2002). Genotype × Environment Interactions: Challenges and Opportunities for Plant Breeding and Cultivar Recommendations. FAO Plant Production and Protection Paper No. 174. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.

Arndorfer, M. (2016). Die Saat-Platterbse – Portrait einer zwiespältigen Hülsenfrucht. Arche Noah-Magazin, 20 -21.

Asghar, R., Siddique, T., Afzal, M. (2003). Inter and intra-specific variation in SDS-PAGE electrophoregrams of total seed protein in chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasm. *Pakistan Journal of Biological Sciences, 6*(24), 1991-1995.

Avola, G., Tuttobene, R., Gresta, F., Abbate, V. (2008). Weed control strategies for grain legumes. *Agronomy for Sustainable Development*, 28, 389-395. https://doi.org/10.1051/agro:2008019.

Bailey-Elkin, W., Carkner, M., Entz, M.H. (2022). Intercropping organic field peas with barley, oats, and mustard improves weed control but has variable effects on grain yield and net returns. *Canadian Journal of Plant Science, 102*(3), 515-528. https://doi.org/10.1139/cjps-2021-0182.

Bedoussac, L., Justes, E. (2010). Dynamic analysis of competition and complementari-ty for light and N use to understand the yield and the protein content of a durum wheat–winter pea intercrop. *Plant Soil*, *330*(1-2), 37–54. https://doi.org/10.1007/s11104-010-0303-8.

Beres, B.L., Rahmani, E., Clarke, J.M., Grassini, P., Pozniak, C.J., Geddes, C.M. et al. (2020). A Systematic Review of Durum Wheat: Enhancing Production Systems by Exploring Genotype, Environment, and Management (G × E × M) Synergies. *Frontiers in plant science* 11, 568657. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.568657.

BLZ (2021). Marktrecherche Sojabohnen – Bundesinformationszentrum Landwirtschaft. https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/BZL/Daten-Be-richte/Oele-Fette/JaehrlicheErgebnisse/2021_Bericht_Marktlage_Huelsen-fruechte.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (28.06.2022).

BMEL (2020). Deutschland, wie es isst. Der BMEL-Ernährungsreport 2020. https://www.bmel.de/DE/themen/ernaehrung/ernaehrungsreport-ueber-blick.html (11.10.2020).

Cozzolino, D., Moron, A. (2004). Exploring the use of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to predict trace minerals in legumes. *Animal Feed Science and Technology 111,* (1-4), 161–173. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2003.08.001.

Das, A., Parihar, A.K., Barpete, S., Kumar, S., Gupta, S. (2021). Current Perspectives on Reducing the β-ODAP Content and Improving Potential Agronomic Traits in Grass Pea (*Lathyrus sativus* L.). *Frontiers in plant science, 12*, 703275. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.703275.

De Santis, M.A., Rinaldi, M., Menga, V., Codianni, P., Giuzio, L., Fares, C., & Flagella, Z. (2021). Influence of Organic and Conventional Farming on Grain Yield and Protein Composition of Chickpea Genotypes. *Agronomy, 11*(2), 191. https://doi.org/10.3390/agronomy11020191.

Demie, D.T., Döring, T.F., Finckh, M.R., van der Werf, W., Enjalbert, J., Seidel, Sa.J. (2022). Mixture × Genotype Effects in Cereal/Legume Intercropping. *Frontiers in plant science 13*, 846720. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.846720.

Dhima, K.V., Lithourgidis, A.S., Vasilakoglou, I.B., Dordas, C.A. (2007). Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. *Field Crops Research 100*(2-3), 249–256. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.07.008.

Enesi, R.O., Mbanyele, V., Shaw, L., Holzapfel, Ch., Nybo, B., Gorim, L.Y. (2025). Pea-oats intercropping: Agronomy and the benefits of including oats as a companion crop. *Field Crops Research 326*, 109863. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.109863.

Fernandez, A.L., Sheaffer, C.C., Wyse, D.L., Michaels, T.E. (2012). Yield and Weed Abundance in Early- and Late-Sown Field Pea and Lentil. *Agronomy Journal*, 104, 1056-1064. https://doi.org/10.2134/agronj2012.0031.

Fikre, A., Negwo, T., Kuo, Y.-H., Lambein, F., Ahmed, S. (2011). Climatic, edaphic and altitudinal factors affecting yield and toxicity of Lathyrus sativus grown at five locations in Ethiopia. Food Chemistry and Toxicology 49, 623–630.

Finlay, K., Wilkinson, G. (1963). The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. Australian Journal of Agricultural Research 14, 742-754.

Gauch, H.G., Jr. (2006). Statistical Analysis of Yield Trials by AMMI and GGE. *Crop Science,* 46, 1488-1500. https://doi.org/10.2135/cropsci2005.07-0193.

Gebeyaw, M., Fikre, A., Abate, A., Alemu Setotaw, T., Bekele, N., Zeleke, B., Gebremariam, T. (2024). Genotype by Environment (G × E) Interaction and Yield Stability of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Varieties Across Agroecological Regions of Ethiopia. *Legume Science*, 6, e227. https://doi.org/10.1002/leg3.227.

Giunta, F., Pruneddu, G., Zuddas, M., Motzo, R. (2019). Bread and durum wheat: Intra- and inter-specific variation in grain yield and protein concentration of modern

Italian cultivars. *European Journal of Agronomy 105*, 119–128. https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.02.011.

Gonçalves, L., Rubiales, D., Bronze, M.R., Vaz Patto, M.C. (2022). Grass Pea (*Lathyrus sativus* L.)—A Sustainable and Resilient Answer to Climate Challenges. *Agronomy*, 12, 1324. https://doi.org/10.3390/agronomy12061324.

Gonçalves, L., Rubiales, D., Lourenço, M., Vaz Patto, M.C. (2024). Exploring grass pea (*Lathyrus sativus* L.) genetic diversity in Mediterranean changing climate conditions. European Journal of Agronomy, 156, 127142.

Hanbury, C.D., Siddique, K.H.M., Galwey, N.W., Cocks, P.S. (1999). Genotype-environment interaction for seed yield and ODAP concentration of Lathyrus sativus L. and L. cicera L. in Mediterranean-type environments. Euphytica 110, 45–60.

Jiao, J.-L., Jiang, J.-L., Ke, L-M., Cheng, W., Li, F.-M., Li, Z.-X., Wang, C.-Y. (2011). Factors affecting β-ODAP content in Lathyrus sativus and their possible physiological mecha-nisms. Food and Chemistry Toxicology 49, 543-549.

Jones, D.B. (1931). Factors for converting percentages of nitrogen in foods and feeds into percentages of protein. *USDA Circ*, 183(1), 1-21.

Korres, N.E. (2018). Agronomic weed control: A trustworthy approach for sustainable weed management. In K. Jabran & B. S. Chauhan (Eds.), Non-chemical weed control, 97–114. *Academic Press*. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809881-3.00006-1.

Krause, I., Berlinghof, E. (2025). Der Kichererbsen-Ring. https://www.kichererbse-brandenburg.de/kiwerta/netzwerk-und-schwesterprojekte/kichererbsen-ring/ (24.04.2026).

Księżak, J., Staniak, M., Stalenga, J. (2023). Restoring the Importance of Cereal-Grain Legume Mixtures in Low-Input Farming Systems. *Agriculture,13*(2), 341. https://doi.org/10.3390/agriculture13020341.

Kundel, D., Meyer, S., Birkhofer, H., Fliessbach, A., Mäder, P., Scheu, S., van Kleunen, M., Birkhofer, K. (2018). Design and Manual to Construct Rainout-Shelters for Climate Change Experiments in Agroecosystems. Frontiers in Environmental Sciences 6, 14, doi: 10.3389/fenvs.2018.00014

Kuo, Y.-H., Rozan, P., Lambein, F., Frias, J., Vidal-Valverde, C. (2004). Effects of different germination conditions on the contents of free protein and non-protein amino acids of commercial legumes. *Food Chemistry, 86*(4), 537–545. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.09.042.

Kuzbakova, M., Khassanova, G., Oshergina, I., Ten, E., Jatayev, S., Yerzhebayeva, R., Bulatova, K., Khalbayeva, S., Schramm, C., Anderson, P., Sweetman, C., Jenkins, C.L.D.,

Soole, K.L., Shavrukov, Y. (2022). Height to first pod: A review of genetic and breeding approaches to improve combine harvesting in legume crops. Frontiers in Plant Science, 13, 948099.

Ladizinsky, G., Hymowitz, T. (1979). Seed protein electrophoresis in taxonomic and evolutionary studies. *Theoretical and applied genetics, 54*(4), 145–151. https://doi.org/10.1007/BF00263044.

Laemmli, U.K. (1970). Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature, 227*(5259), 680–685. https://doi.org/10.1038/227680a0.

Lambein, F., Travella, S., Kuo, Y.-H., Van Montagu, M., Heijde, M. (2019). Grass pea (Lathyrus sativus L.): orphan crop, nutraceutical or just plain food? Planta 250, 821–838

Li, L., Bueckert, R.A., Gan, Y., Warkentin, T. (2008). Light Interception and Radiation Use Efficiency of Fern- and Unifoliate-leaf Chickpea Cultivars. *Canadian Journal of Plant Science*, 88, 1025-1034. https://doi.org/10.4141/CJPS07056.

Mandal, R., Sadhukhan, R., Mandal, N., Tarafdar, J., Sarkar, A. (2015). Assessment of genetic diversity and trait association in grass pea using morphometrics, grain protein and seed ODAP content. Range Management and Agroforestry, 36, 136–140.

Manners, R., Varela-Ortega, C., van Etten, J. (2020). Protein-rich legume and pseudocereal crop suitability under present and future European climates. European Journal of Agronomy 113; 125974

Mayring, P. (2022). Qualitative Inhaltsanalyse. 13., überarbeitete Auflage. Grundlagen und Technik. Beltz, Weinheim, 49–88.

Mead, R., Willey, R.W. (1980). The Concept of a 'Land Equivalent Ratio' and Advantages in Yields from Intercropping. *Experimental agriculture, 16*(3), 217-228. https://doi.org/10.1017/S0014479700010978.

Miller, Z., Hubbel, K. (2024). Integrating Mechanical and Cultural Methods for Weed Control in Organic Chickpea. *Weed Science*, 72, 1-8. https://doi.org/10.1017/wsc.2024.23.

Mohammed, Y.A., Miller, Z., Hubbel, K., Chen, C. (2020). Variety and Weed Management Effects on Organic Chickpea Stand Establishment and Seed Yield. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 3, e20035. https://doi.org/10.1002/agg2.20035.

Nisa, Z.U., Arif, A., Waheed, M.Q., Shah, T.M., Iqbal, A., Siddiqui, A.J., Choudhary, M.I., El-Seedi, H.R., Musharraf, S.G. (2020). A comparative metabolomics study on desi

and kabuli chickpea (Cicer arietinum L.) genotypes under rainfed and irrigated field condi-tions. Scientific Reports 10(1):13919

Onar, A.N., Erdoğan, B.Y., Ayan, I., Acar, Z. (2014). Homoarginine, β-ODAP, and asparagine contents of grass pea landraces cultivated in Turkey. *Food Chemistry, 143*, 277–281. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.051.

Osborne, B.G., Fearn, T., Hindle, P.H. (1993). Practical NIR spectroscopy with applications in food and beverage analysis

Pal, T., Ghosh, S., Mondal, A., De, K.K. (2016). Evaluation of genetic diversity in some promising varieties of lentil using karyological characters and protein profiling. *Journal, genetic engineering & biotechnology, 14*(1), 39–48. https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2016.03.003.

Piepho, H.P. (1998). Methods for comparing the yield stability of cropping systems. Journal of Agronomy and Crop Science, 180, 193-213. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1998.tb00526.x.

Piergiovanni, A.R., Lupo, F., Zaccardelli, M. (2010). Environmental effect on yield, composition and technological seed traits of some Italian ecotypes of grass pea (*Lathyrus sativus* L.). *Journal of the science of food and agriculture, 91*(1), 122–129. https://doi.org/10.1002/jsfa.4161.

Piergiovanni, A.R., Damascelli, A. (2011). L-Homoarginine Accumulation in Grass Pea (*Lathyrus sativus* L.) Dry Seeds. A Preliminary Survey. *Food and Nutrition Sciences, 2*(3), 207–213. https://doi.org/10.4236/fns.2011.23028.

Purushothaman, R., Upadhyaya, H.D., Gaura, P.M., Gowda, C.L.L., Krishnamurthy, L. (2014). Kabuli and desi chickpeas differ in their requirement for reproductive duration. Field Crops Research 163, 24–31.

Rao, S.L.N. (2011). A look at the brighter facets of β-N-oxalyl-l-α,β-diaminopropionic acid, homoarginine and the grass pea. *Food and chemical toxicology, 49*(3), 620–622. https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.06.054.

Reckling, M., Döring, T.F., Bergkvist, G. et al. (2018). Grain legume yields are as stable as other spring crops in long-term experiments across northern Europe. Agron. Sustain. Dev. 38, 63. https://doi.org/10.1007/s13593-018-0541-3.

Sacristán, M., Varela, A., Pedrosa, M.M., Burbano, C., Cuadrado, C., Legaz, M.E, Muzquiz, M. (2015). Determination of β-N-oxalyl-L-α,β-diaminopropionic acid and homoarginine in *Lathyrus sativus* and *Lathyrus cicera* by capillary zone electrophoresis. *Journal of the science of food and agriculture, 95*(7), 1414–1420. https://doi.org/10.1002/jsfa.6792.

Samarah, N.H., Haddad, N., Alqudah, A.M. (2009). Yield potential evaluation in chickpea genotypes under late terminal drought in relation to the length of reproductives stage. Italian Journal of Agronomy, 4, 111-117.

Sellami, M.H., Lavini, A., Pulvento, C. (2021). Phenotypic and Quality Traits of Chickpea Genotypes under Rainfed Conditions in South Italy. *Agronomy*, 11, 962. https://doi.org/10.3390/agronomy11050962.

Singh, S., Saligame, R. (2013). Lessons From Neurolathyrism: A Disease of the Past & the Future of *Lathyrus sativus* (Khesari dal). *Indian Journal of Medical Research, 138*(1), 32–37.

Tadesse, W. (2003). Stability of Grass Pea (*Lathyrus sativus* L.) Varieties for ODAP Content and Grain Yield in Ethiopia. *Lathyrus Lathyrism* Newsletter, (3).

Tillmann, P. (1996). Kalibrationsentwicklung für NIRS-Geräte. Eine Einführung. Göttingen.

Upadhyay, R., Saini, R., Shukla, P.K., Tiwari, K.N. (2025). Role of Secondary Metabolites in Plant Defense Mechanisms: A Molecular and Biotechnological Insights. *Phytochemistry Reviews, 24*(1), 953–983.

Vandermeer, J.H. (1989). The Ecology of Intercropping, Cambridge University.

Vaz Patto, M.C., Rubiales, D. (2014). Lathyrus diversity: available resources with relevance to crop improvement—L. sativus and L. cicera as case studies. Annals of Botany 113, 895–908.

Withana-Gamage, T.S., Wanasundara, J.P.D., Pietrasik, Z., Shand, P.J. (2011). Physicochemical, thermal and functional characterisation of protein isolates from Kabuli and Desi chickpea (*Cicer arietinum* L.): a comparative study with soy (*Glycine max*) and pea (*Pisum sativum* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture, 91*(6), 1022–1031. https://doi.org/10.1002/jsfa.4277.

Xiong, J., Bai, X., Batool, A. et al. (2014). Ecological Function and Application of Toxin Beta-ODAP in Grass Pea (*Lathyrus sativus*). *Journal of Applied Ecology, 25*(4).

Yan, Z.-Y., Spencer, P.S., Li, Z.-X., Liang, Y.-M., Wang, Y.-F., Wang, C.-Y., Li, F.-M. (2006). *Lathyrus sativus* (grass pea) and its neurotoxin ODAP. *Phytochemistry, 67*(2), 107–121. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2005.10.022.

9. Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt

Wissenschaftliche Publikationen

Boldischar, C., Bubolz, J., Reckling, M., Lohwasser, U., Udupa, S. M., Zikeli, S., Zörb, C. (2025). Genetic and Environmental Variation in Health-Promoting l-Homoarginine and Neurotoxic β-ODAP in Grass Pea (*Lathyrus sativus* L.). L*egume Science*, 7(4), e70068; https://doi.org/10.1002/leg3.70068

Bubolz, J., Boldischar, C., Zikeli, S., Lohwasser, U., Döring, T. F., Reckling, M. (2026). Characterisation of Grass Pea (*Lathyrus sativus* L.) Genotype Diversity Identified Key Agronomic Traits for Central European Environments. *Legume Science*, 8(1), e70090; https://doi.org/10.1002/leg3.70090

Kartheuser, C., Tan, S., Bubolz, J., Reckling, M., Menzel, W., Ziebell, H., Krenz, B. (2025) First detection of viral pathogens of chickpea in Germany. Journal of Plant Diseases and Protection 132, 1, 60. https://doi.org/10.1007/s13593-025-01056-9

Konferenzbeiträge

Vorträge:

EUCARPIA, Leipzig, 2024: Initial screening of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) accessions for the neurotoxin β-ODAP for utilization in European cropping systems

EUCARPIA, Leipzig, 2024: Morpho-agronomical characterisation of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) accessions for utilization in European cropping systems

2. Nationaler Leguminosen-Kongress, Leipzig, 2024: Saat-Platterbse (*Lathyrus sativus* L.) im Gemengeanbau mit Sommergetreide

2. Nationaler Leguminosen-Kongress, Leipzig, 2024: Kichererbse und Saat-Platterbse für den Anbau in Deutschland geeignet?

Legumes Science and Practice 3, Großbritannien, 2025: Investigating Grass Pea (*Lathyrus Sativus* L.) Suitability And Desired Agronomical Characteristics For Germany

GPZ AG 16 Gemüse, Sommertagung, Quedlinburg 2025: Kichererbse und Saat-Platterbse für den Anbau in Deutschland geeignet?

Seed Symposium, Gatersleben, 2025: Is the thickness of the seed coat of chickpea (*Cicer arietinum* L.) influenced by environmental conditions?

GPW-Tagung, Halle, 2025: Variabilität gesundheitsfördernder und antinutritiver Inhaltsstoffe in genetischen Ressourcen der Saat-Platterbse (*Lathyrus sativus* L.)

LeguNet Projekttreffen, Kassel, 2025: Screening von Kichererbse und Saat-Platterbse – Ergebnisse aus dem CiLaKlima-Projekt

AAB, UK, 2025: Investigating grass pea (*Lathyrus sativus* L.) suitability and desired agronomical characteristics for Germany

Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Bonn, 2026: On-Farm oder On-Station, welcher Forschungsansatz um Kichererbsen für den ökologischen Landbau zu entwickeln?

Posterbeiträge:

Lathyrus Day, Gent, 2024: Initial screening of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) accessions for the neurotoxin β-ODAP for utilization in European cropping systems

9. Öko-Landbautag, Triesdorf, 2024: Saat-Platterbse (*Lathyrus sativus* L.) im ökologischen Gemengeanbau mit Sommergetreide

Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Gießen, 2024: Mechanische Beikrautkontrolle im ökologischen Kichererbsenanbau

ESA Tagung, Rennes, 2024: Agronomic resilience of grain legumes to drought stress using rainout shelters

Publikationen in Fachzeitschriften

Lumbrico, 2025: Retterin in Notzeiten: Saat-Platterbse im Gemengeanbau – Potential für ein erfolgreiches Anbausystem in Deutschland?

Ausrichtung von Feldtagen und andere öffentlichkeitswirksame Aktivitäten

- Videobeitrag Universität Hohenheim, 2025, Forschung trifft WG-Küche, CiLaKlima-Rezeptbuch: So lecker sind Kicher- und Saat-Platterbsen!
- Hülsenfrüchte als Eiweißquelle, Feldtag in Kooperation mit LeguNet, Universität Hohenheim, 2025
- Hülsenfrüchte für die Küche, in Kooperation mit LeguNet, Veranstaltung für Kantinenköche, Universität Hohenheim, 2025
- Feldtag zu Kichererbsen und Saat-Platterbsen, Dedelow (ZALF), 2025

Teilnahme an Feldtagen und öffentlichkeitswirksamen Veranstaltungen

- DLG-Feldtage, Erwitte, 2024
- Alb-Eiweißpflanzentag, Ballendorf, 2025
- Berater-Tagung des Ministeriums für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg (2025): CiLaKlima – Kichererbse und Saat-Platterbse für den Anbau in Deutschland (Posterbeitrag)
- Öko-Feldtage, Wassergut Canitz, 2025

- 1. und 2. Kichererbsen Forum
- Kichererbsen Praxis-Forschung Austausch (online), 2025

Studentische Arbeiten

Masterarbeiten an der Universität Hohenheim:

- Wai Lok Chow (2024): Mixed cropping of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) with cereal as alternative climate-resilient legumes for human consumption
- Kaspar Meyer (2025): Zweijährige Auswertung verschiedener Strategien zur Beikrautunterdrückung in der Kichererbse
- Tzu Han, Wu (2025): Evaluation of mixed cropping system of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) with different cereals
- Sean Alexander Bastaman Limas (2025): Agronomic evaluation of gene bank accessions of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) in a two-year field experiment in Southwest Germany
- Leo Poker (2026): Charakterisierung von Kichererbsen Genotypen (*Cicer arietinum* L.) anhand von Speicherprotein-Mustern und agronomischen Eigenschaften
- Naoaki Hirata (2026): Evaluation of Grass pea – Oat Mixed Cropping under Organic Management
- Veronika Gschoßmann (2026): Kichererbsenanbau in Süddeutschland – Eine qualitative Analyse der Praxiserfahrungen, Motive und Herausforderungen

Abschlussarbeiten betreut durch das ZALF:

- Michelle Seifert (2023): Entwicklung von Unterrichtsmaterialien zum Thema pflanzliche Eiweißquellen am Beispiel von Lupinen und Kichererbsen (BSc)
- Jelka Bünte (2024): Einfluss ausgewählter Kichererbsensorten auf Ertragsparameter an einem Standort in Brandenburg (BSc)
- Ludwig Conradi (2024): Jugendentwicklung ausgewählter Kichererbsensorten anhand der Beziehung zwischen Sprosstrockenmassebildung und Wärmesummen 8BSc)
- Elisabeth Berlinghof (2024): Untersuchungen zu abiotischen Einflussfaktoren auf den Feldaufgang von Kichererbsen im Rahmen einer Praxisforschung
- und der Einfluss dieser auf den Ertrag (MSc)
- Kritika Chouhan (2025): Assessing the Impact of Soil Moisture Variability and Fly Infestation on Chickpea Seedling Emergence (MSc)
- Jakob Karrer (2026): Einfluss verschiedener Aussaatzeitpunkte auf den Feldaufgang von Kichererbsen (BSc)

Sonstiges

Rezeptbroschüre CiLaKlima