

Abschlussbericht

zum Vorhaben

Förderkennzeichen 2815 EPS 064

Vorhabenbezeichnung

Züchtung und Agronomie neuartiger, Vicin-armer Ackerbohnen und Einsatz als einheimisches Eiweißfutter (AboVici)

Teilprojekt HTW Dresden

Projektlaufzeit: 01.03.2017 bis 31.07.2020

Autoren des Abschlussberichtes

Prof. Dr. Knut Schmidtke (knut.schmidtke@htw-dresden.de)

Dr. Guido Lux (guido.lux@htw-dresden.de)

Dr. Fredo Frank Pötzsch

M.Sc. Martin Scholz

Hochschule für Technik und Wirtschaft
Fakultät Landbau/Umwelt/Chemie
Fachgebiet Ökologischer Landbau
Pillnitzer Platz 2
01326 Dresden

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft



Projektträger Bundesanstalt
für Landwirtschaft und Ernährung

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Projektpartner

Georg-August-Universität Göttingen
Department für Nutzpflanzenwissenschaften
apl. Prof. Dr. Wolfgang Link (**Projektkoordination**)
Von Siebold 8
37075 Göttingen

Friedrich-Löffler-Institut
Arbeitsgruppe Geflügelernährung
PD Dr. Ingrid Halle
Bundesallee 37
38116 Braunschweig

Norddeutsche Pflanzenzucht Hans-Georg Lembke KG
Dr. Olaf Sass
Hohenlieth-Hof 1
24363 Holtsee

Universität Hohenheim
Fachgebiet Tierernährung
Prof. Dr. Markus Rodehutscord
Emil-Wolff-Straße 10
70599 Stuttgart

RLP ArgroScience gGmbH
ALPLANTA - Institut für Pflanzenforschung
Prof. Dr. Gabi Krczal
Breitenweg 71
67435 Neustadt an der Weinstraße

Naturland Fachberatung
Werner Vogt-Kaute
Eichelhof 1
85411 Hohenkammer

Inhaltsverzeichnis

1	Ausweisung von klimatischen Gunststandorten für den Anbau von Winterackerbohnen	9
1.1	Einleitung	9
1.2	Material und Methoden	10
1.3	Ergebnisse und Diskussion	11
2	Effekt des Gehaltes von Vicin und Convicin auf Keimlingsresistenz und Bestandsetablierung der Ackerbohne	17
2.1	Einleitung	17
2.2	Vicin- und Convicingehalt in der Ackerbohne	18
2.2.1	Material und Methoden	18
2.2.2	Ergebnisse und Diskussion	20
2.3	Auswirkungen „leguminosenmüder“ Böden auf die Ackerbohne in Gefäßversuchen	22
2.3.1	Material und Methoden	22
2.4	Auswirkungen „leguminosenmüder“ Böden auf die Ackerbohne unter Feldbedingungen	31
2.4.1	Material und Methoden	31
2.4.2	Ergebnisse und Diskussion	35
3	Ertragsleistung und Stickstoffhaushalt von Sommer- und Winter-ackerbohnen	41
3.1	Einleitung	41
3.2	Material und Methoden	41
3.3	Ergebnisse und Diskussion	45
3.4	Prüfung neuer Winter-Genotypen 2018/2019	51
4	Wurzelwachstum und Wasserpotential im Blatt von Sommer- und Winterackerbohnen	60
4.1	Einleitung	60
4.2	Material und Methoden	61
4.3	Ergebnisse	62
5	Wasseraneignungsvermögen und Wasserhaushalt von Sommer- und Winterackerbohnen im direkten Vergleich	67
5.1	Einleitung	67
5.2	Material und Methoden	67
5.3	Ergebnisse und Diskussion	69
7	Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	75
8	Gegenüberstellung der geplanten zu den tatsächlich erreichten Ziele	76
7	Literaturverzeichnis	77
9	Übersicht über realisierte Veröffentlichungen und Vorträge zum Projekt	81
Anhang		82

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Karte zur Standorteignung für den Anbau von Winterackerbohnen in Deutschland hinsichtlich der Niederschlagsmenge von April bis Juni.....	11
Abb. 2:	Karte zur Standorteignung für den Anbau von Winterackerbohnen in Deutschland hinsichtlich der Bodenfeuchte (nFK = nutzbare Feldkapazität) im Zeitraum April bis Juni	13
Abb. 3:	Karte zur Standorteignung für den Anbau von Winterackerbohnen in Deutschland hinsichtlich der Bedingungen der Frosthärtung der Winterackerbohne und dem anschließenden Auftreten von Kahlfrösten (-16°C)...	14
Abb. 4:	Karte zur Standorteignung für den Anbau von Winterackerbohnen in Deutschland hinsichtlich der Bedingungen der Enthärtung der Winterackerbohne im zeitigen Frühjahr und dem Auftreten von Spätfrösten	16
Abb. 5:	Karte zur Standorteignung für den Anbau von Winterackerbohnen in Deutschland hinsichtlich der Summe der Umweltbedingungen (kombiniert).....	17
Abb. 6:	Gefäße mit Ackerbohnen im Freiland (Fotos: Lux 2018).....	19
Abb. 7:	Ackerbohne mit Stängelläsion aus Kühlkammerversuch 2017 (Foto: Lux 2017) ...	26
Abb. 8:	Läsionslänge an den Ackerbohnen in Abhängigkeit vom Genotyp; Tukey-Test, $P < 0,05$ (Kühlkammerversuch 5°C im Jahr 2017, Mittelwerte über zwei Böden/Standorte, 5 Wdh.)	27
Abb. 9:	Läsionslänge an der Ackerbohne in Abhängigkeit vom Genotyp; Tukey-Test, $P < 0,05$ (Kühlkammerversuch 5°C im Jahr 2019, Mittelwerte über drei Böden/Standorte, 5 Wdh.)	28
Abb. 10:	Läsionslänge an den Ackerbohnen in Abhängigkeit vom Genotyp, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede für $P < 0,05$ – Tukey-Test (Kühlkammerversuch 10°C im Jahr 2017, Mittelwerte über Böden/Standorte, 5 Wdh.)	28
Abb. 11:	Läsionslänge an der Ackerbohne in Abhängigkeit vom Genotyp; Tukey-Test, $P < 0,05$ (Kühlkammerversuch 15°C im Jahr 2017, Mittelwerte über zwei Böden/Standorte, 5 Wdh.)	29
Abb. 12:	Läsionslänge an der Ackerbohne in Abhängigkeit vom Genotyp; Tukey-Test, $P < 0,05$ (Kühlkammerversuch 15°C im Jahr 2019, Mittelwerte über drei Böden/Standorte, 5 Wdh.)	29
Abb. 13:	Läsionslänge an der Ackerbohne in Abhängigkeit vom Standort, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede für $P < 0,05$; ns. nicht signifikant für $P < 0,05$ – Tukey-Test (Kühlkammerversuch im Jahr 2017; Mittelwerte über 12 Genotypen, 5 Wdh.)	30
Abb. 14:	Läsionslänge an der Ackerbohne in Abhängigkeit vom Standort, ns. nicht signifikant für $P < 0,05$ – Tukey-Test (Kühlkammerversuch im Jahr 2017; Mittelwerte über 12 Genotypen, 5 Wdh.)	30
Abb. 15:	Feldversuch in Dresden am 21.05.2017 zur Prüfung der Auswirkungen eines „leguminosenmüden“ Bodens auf Ackerbohne (Foto: Lux 2017)	32
Abb. 16:	Läsionslänge an der Ackerbohne in Abhängigkeit vom Genotyp, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede für $P < 0,05$ – Tukey-Test (Feldversuch Dresden 2017, 5 Wdh.)	37

Abb. 17: Läsionslänge an der Ackerbohne in Abhängigkeit vom Genotyp, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede für $P < 0,05$ – Tukey-Test (Feldversuch Dresden 2018, 5 Wdh.).....	37
Abb. 18: Läsionslänge an der Ackerbohne in Abhängigkeit vom Genotyp, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede für $P < 0,05$ – Tukey-Test (Feldversuch Dresden 2019, 5 Wdh.).....	38
Abb. 19: Läsionslänge an der Ackerbohne in Abhängigkeit vom Genotyp, Tukey-Test $P < 0,05$ (Feldversuch Göttingen 2017, 3 Wdh.)	38
Abb. 20: Läsionslänge an der Ackerbohne in Abhängigkeit vom Genotyp, Tukey-Test $P < 0,05$ (Feldversuch Göttingen 2018, 3 Wdh.)	39
Abb. 21: Läsionslänge an der Ackerbohne in Abhängigkeit vom Genotyp, Tukey-Test $P < 0,05$ (Feldversuch Wartmannsroth 2017, 3 Wdh.)	39
Abb. 22: Läsionslänge an der Ackerbohne in Abhängigkeit vom Genotyp, Tukey-Test $P < 0,05$, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Feldversuch Wartmannsroth 2018, 5 Wdh.).....	40
Abb. 23: Läsionslänge an der Ackerbohne in Abhängigkeit vom Genotyp, Tukey-Test $P < 0,05$, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Feldversuch Wartmannsroth 2019, 5 Wdh.).....	40
Abb. 24: Kornertragsleistung verschiedener Genotypen mit geringem versus hohem Gehalt an Vicin im Samen der Winter- und Sommerackerbohne auf drei Standorten in 2018 und 2019	47
Abb. 25 Spross-Trockenmasseertrag verschiedener Genotypen mit geringem versus hohem Gehalt an Vicin im Samen der Winter- und Sommerackerbohne auf drei Standorten in 2018 und 2019	48
Abb. 26 Anteil Stickstoff aus der Luft (Ndfa) in der Sprossmasse der geprüften Winter- und Sommerackerbohnen in 5 Umwelten	49
Abb. 27: Im Spross der Ackerbohnen genotypen akkumulierte Stickstoffmenge aus der Luft (symbiotische N_2 -Fixierleistung der Ackerbohnen) in 5 Umwelten	50
Abb. 28: Feldaufgang von 12 Winterackerbohnen genotypen am Standort Nimtitz.....	52
Abb. 29: Feldaufgang von 12 Winterackerbohnen genotypen am Standort Görlitz	53
Abb. 30: Feldaufgang von 12 Winterackerbohnen genotypen am Standort Göttingen	53
Abb. 31: Anteil erfolgreich überwinteter Pflanzen von 12 verschiedenen Winterackerbohnen genotypen am Standort Nimtitz	54
Abb. 32: Anteil erfolgreich überwinteter Pflanzen von 12 verschiedenen Winterackerbohnen genotypen am Standort Görlitz.....	55
Abb. 33: Mittlere Wuchshöhe 12 verschiedener Winterackerbohnen genotypen zur Blüte am Standort Nimtitz	56
Abb. 34: Mittlere Wuchshöhe 12 verschiedener Winterackerbohnen genotypen zur Blüte am Standort Görlitz.....	56
Abb. 35: Mittlere Wuchshöhe 12 verschiedener Winterackerbohnen genotypen zur Blüte am Standort Göttingen	57
Abb. 36: Kornertrag der 12 verschiedenen Winterackerbohnen genotypen zur Druschreife am Standort Nimtitz	58
Abb. 37: Kornertrag der 12 verschiedenen Winterackerbohnen genotypen zur Druschreife am Standort Görlitz.....	58

Abb. 38: Kornertrag der 12 verschiedenen Winterackerbohnen genotypen zur Druschreife am Standort Nimtitz	59
Abb. 39: Profilwand zur Wurzelbildaufnahme am 03.07.2018 am Standort Görlitz (Fotos: Lux 2018).....	62
Abb. 40: Wasserpotenzial im Blatt von je zwei Winter- und Sommerackerbohnen genotypen zu vier Terminen im Jahr 2018	63
Abb. 41: Wasserpotenzial im Blatt von je zwei Winter- und Sommerackerbohnen genotypen zu vier Terminen im Jahr 2019	64
Abb. 42: Tiefenverteilung der Wurzellängendichte bei Winter- und Sommerackerbohne zu zwei Terminen im Jahr 2018 am Standort Görlitz	65
Abb. 43: Tiefenverteilung der Wurzellängendichte bei Winter- und Sommerackerbohne zu zwei Terminen im Jahr 2019 am Standort Görlitz	65
Abb. 44: Profilwand zur Wurzelbildaufnahme zum 23.06.2020 am Standort Helbigsdorf (Foto: Scholz 2020)	69
Abb. 45: Photosyntheserate und stomatäre Leitfähigkeit am 28.05.2020 der Ackerbohnen sorten am Standort Helbigsdorf.....	70
Abb. 46: Photosyntheserate und stomatäre Leitfähigkeit der Ackerbohnen sorten am 17.06.2020 am Standort Helbigsdorf	70
Abb. 47: Photosyntheserate und stomatäre Leitfähigkeit der Ackerbohnen sorten am 17.06.2020 am Standort Helbigsdorf	71
Abb. 48: Blattwasserpotenzial von zwei Sorten der Winter- und Sommerform der Ackerbohne am Vormittag zu den drei Messterminen am Standort Helbigsdorf	72
Abb. 49: Blattwasserpotenzial von zwei Sorten der Winter- und Sommerform der Ackerbohne am Nachmittag zu den drei Messterminen am Standort Helbigsdorf .	73
Abb. 50: Wurzellängendichte von zwei Sorten der Winter- und Sommerform der Ackerbohne im Entwicklungsstadium BBCH 63 bis 65 im Boden am 23.06.2020 am Standort Helbigsdorf.....	74
Abb. 51: Ackerbohnen-Bestand am 17.06.2020 am Standort Helbigsdorf (Foto: Scholz 2020)	82
Abb. 52: Messung zum stomatären Gaswechsel mit dem Photosynthesegerät „CIRAS-2“ am 28.05.2020 am Standort Helbigsdorf (Foto: Scholz 2020)	82
Abb. 53: Messung zur Bestimmung des Wasserpotentials mit der „Scholander Druckbombe“ am 28.05.2020 am Standort Helbigsdorf (Foto: Scholz 2020).....	83

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Kriterien für die klimatischen Anforderungen der Winterackerbohne	10
Tab. 2:	Vicin-Gehalt in der Ackerbohne (Angaben in % in der TM).....	21
Tab. 3:	Convicin-Gehalt in der Ackerbohne (Angaben in % in der TM).....	21
Tab. 4:	Geprüfte Genotypen in den Kühlkammerversuchen	22
Tab. 5:	Ergebnisse aus Kühlkammerversuch zur Keimung der Ackerbohnen 2017.....	23
Tab. 6:	Ergebnisse aus Kühlkammerversuch zur Keimung der Ackerbohnen 2019.....	24
Tab. 7:	Mittlere Monats- und Jahresdurchschnittstemperatur in den Jahren 2017 bis 2019 an den Versuchsstandorten.....	33
Tab. 8:	Monatliche und jährliche Niederschlagssumme in den Jahren 2017 bis 2019 an den Versuchsstandorten.....	34
Tab. 9:	Feldaufgang der Ackerbohne in % (Feldversuch „leguminosenmüder Boden“).....	35
Tab. 10:	Geprüfte Genotypen bzw. Sorten der Winter- und Sommerackerbohne.....	42
Tab. 11:	Aussaattermine und Erntetermine der Winter- und Sommerackerbohnen an den Versuchsstandorten.....	42
Tab. 12:	Gehalte an Grundnährstoffen und pH-Wert im Boden (0 bis 20 cm) an den Versuchsstandorten in den Jahren 2018 und 2019.....	43
Tab. 13:	Mittlere Monats- und Jahresdurchschnittstemperaturen (°C) in den Jahren 2017 bis 2019 an den Versuchsstandorten	43
Tab. 14:	Monatliche und jährliche Niederschlagssumme (mm) in den Jahren 2017 bis 2019 an den Versuchsstandorten.....	43
Tab. 15:	Charakterisierung der geprüften 12 Genotypen des Zuchtmaterials.....	51
Tab. 16:	Im Jahr 2018 und 2019 am Standort Görlitz geprüfte Genotypen zur Erfassung der Durchwurzelung und des Wasserpotentials in den Ackerbohnen	62
Tab. 17:	Wasserpotenzial im Blatt der Ackerbohnen genotypen (Mittelwert Sommer- und Winterackerbohnen) in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen an den Messtagen im Jahr 2018	63
Tab. 18:	Wurzellängendichte der Winter- und Sommerackerbohne bezogen auf einen Meter Bodentiefe	66
Tab. 19:	Übersicht zu durchgeführten Maßnahmen des Wissenstransfers der Projektergebnisse	81

Kurzfassung

In einem mehrjährigen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (2017 bis 2020) wurden Untersuchungen zum Feldaufgang und Krankheitsbefall vicin- und convicin armer versus reicher Ackerbohnen (Winter- und Sommerformen) im Klimakammerversuchen und in Feldversuchen durchgeführt, die keinen systematisch Zusammenhang zwischen dem Gehalt an Vicin und Convicin und dem Feldaufgang sowie dem Befall mit bodenbürtigen Krankheitserregern ergeben haben. In mehrjährigen Feldversuchen zeichneten sich die geprüften Genotypen der Winterackerbohnen nicht durch ein tieferes Wurzelwachstum bzw. höheren Durchwurzelungsintensität, eine höhere Kornertragsleistung und symbiotischen N₂-Fixierleistung im Vergleich zu den geprüften Genotypen der Sommerackerbohnen aus, da sie vielfach nicht hinreicht gut an den Prüfstandorten überwintert hatten. Im Vorhaben wurde erstmals eine Karte für die Ausweisung von Gunststandorten des Anbaus von Winterackerbohnen für Deutschland erstellt und publiziert, wobei neben den standortbezogenen verfügbaren Mengen an boden- und niederschlagsbürtigem Wasserangebot auch die witterungsbedingte Wahrscheinlichkeit der Überwinterung von Winterackerbohnen zur Erarbeitung der Karte der Gunststandorte herangezogen wurde.

Abstract

In a research and development project lasting several years (2017 to 2020), studies on field emergence and disease infestation of poor field beans versus rich field beans in vicin and convicin (winter and spring genotypes) were conducted in climate chamber trials and field trials that did not show a systematic relationship between the content of vicin and convicin and the field emergence and infestation with soil-borne pathogens. In field trials lasting several years, the tested genotypes of winter field beans were not characterized by deeper root growth or higher rooting intensity, higher grain yield and symbiotic N₂ fixation capacity compared to the tested genotypes of spring field beans, as they had often not overwintered sufficiently well at the test sites. In the project, a map for the identification of favored sites for the cultivation of winter field beans was drawn up and published for the first time for Germany. In addition to the site-related available quantities of soil- and precipitation-borne water supply, the weather-related probability of survival of winter field beans was also used to develop the map of favored sites.

1 Ausweisung von klimatischen Gunststandorten für den Anbau von Winterackerbohnen

1.1 Einleitung

In den vergangenen Jahren fand beim Anbau der Ackerbohne in Deutschland nahezu ausschließlich die Sommerform (Sommerackerbohne) Verwendung, wenngleich die Winterform der Ackerbohne (Winterackerbohne), die bereits im Herbst ausgesät wird und eine höhere Winterhärte, als die Sommerform aufweist, zahlreiche interessante agronomische Eigenschaften besitzt (Link et al., 2010). In weniger kontinental geprägten Regionen mit mildem Temperaturverlauf im Winter wie dem Vereinigten Königreich und dem Norden Frankreichs befindet sich die Winterackerbohne hingegen deutlich häufiger im Anbau. Winterackerbohnen lassen höhere Vorfruchtwerte, aufgrund höherer Stickstoffmengen in den Ernterückständen (Hof & Schmidtke, 2006) und gute Ertragsleistungen selbst auf leguminosenmüden Böden erwarten. Allerdings ist die Gefahr von Auswinterung ein Argument gegen den Anbau von Winterackerbohnen (Link et al., 2010).

Auf Standorten, die nur selten wiederholte Kahlfröste unter -16°C und selten Spätfröste nach Vegetationsbeginn von unter -8°C aufweisen, können die zusätzlichen pflanzenbaulichen Vorteile der Winterackerbohne zum Tragen kommen (geringerer Befall und Auswirkung von Blattrandkäfer und Schwarzer Bohnenlaus, verbesserte Bestandsetablierung gerade bei Frühjahrstrockenheit, stärkere Unkrautunterdrückung, vorgezogener Erntetermin, höherer Ertrag; Link et al., 2010). Zudem befördern klimatische Veränderungen und deutliche Zuchtfortschritte in Frosttoleranz und Winterhärte die Winterackerbohne (Sass & Hadenfeldt, 2015; Ghaouti et al., 2007; Ali et al., 2015). Um die positiven Eigenschaften der Winterform der Ackerbohne auch in Deutschland stärker nutzen zu können, bedarf es einer gezielten Standortwahl, die neben den Bodenbedingungen auch die Witterung in den Fokus nimmt. Dazu zählt die jährliche Niederschlagsverteilung, die Wahrscheinlichkeit von wiederholten, Kahlfrösten mit Temperaturen unter -16°C , das Auftreten von Spätfrösten sowie die Härtung und Enthärtung der Winterackerbohne. Ein solches Informationssystem zur Standorteignung für den Anbau von Winterackerbohnen liegt für Deutschland bisher nicht vor und wurde in Kooperation mit dem Deutschen Wetterdienst (Herrn Falk Böttcher, Leipzig) in der vorliegenden Arbeit erstmalig erarbeitet.

1.2 Material und Methoden

Der Deutsche Wetterdienst (DWD, Deutscher Wetterdienst, Abteilung Agrarmeteorologie, Leipzig, Ansprechpartner: Herr Falk Böttcher) stellte die klimatischen Daten zur Verfügung, die für die Erstellung der nachfolgenden Karten benötigt wurden und mit denen Gunststandorte für den Anbau von Winterackerbohnen dargestellt werden konnten. Kenngrößen zur Erstellung der Karten waren die nutzbare Feldkapazität der Böden (nFK), die Häufigkeit von Kahlfrösten im Winter von unter -16°C und von Spätfrösten nach Vegetationsbeginn im März von unter -8°C . Dafür wurden Daten von mehr als 500 Wetterstationen des DWD verwendet. Hinsichtlich der Witterungsbedingungen sind die an den Standorten in Deutschland im Zeitraum 1985 bis 2015 (30 Jahre) erfassten Witterungsdaten berücksichtigt worden und entsprechend Wahrscheinlichkeiten des Auftretens dieser Bedingungen abgeleitet worden.

Die Grundlage für die Erstellung der Karten bildeten Kriterien, die auf den klimatischen Anforderungen der Winterackerbohne basierten. Diese Kriterien sind in Tab. 1 dargestellt.

Tab. 1: Kriterien für die klimatischen Anforderungen der Winterackerbohne

Kriterium	Parameter	Standort nicht geeignet	Standort wenig geeignet	Standort bedingt geeignet	Standort gut geeignet	Standort sehr gut geeignet
1	Niederschlagsmenge von April bis Juni	<110 mm	<130 mm	130 bis 150 mm	>150 mm	>170 mm
2	Wahrscheinlichkeit, Bodenfeuchte <50 % nFK vor dem 01. Juni	>20 %	<20 %	<15 %	<10 %	<5 %
3	Wahrscheinlichkeit Kahlfröste vom 01. November bis zum 31. März (3 Tage unter -16°C)	>20 %	<20 %	<15 %	<10 %	<5 %
4	Zeitraum der nachhaltigen Unterschreitung von 5°C (Härtung) vom 01. Oktober bis 30. November	ab 20.11.	ab 11.11.	ab 02.11.	ab 24.10.	vor 24.10.
5	Wahrscheinlichkeit 10 Tage $>7^{\circ}\text{C}$ im Tagesmittel (Enthärtung) vom 01. Februar bis 31. März	>25 %	>20 %	15 bis 20 %	<10 %	<5 %
6	Wahrscheinlichkeit von Spätfrösten $<-6^{\circ}\text{C}$ ab dem 15. März	>50 %	30 bis 50 %	<30 %	<15 %	<5 %

1.3 Ergebnisse und Diskussion

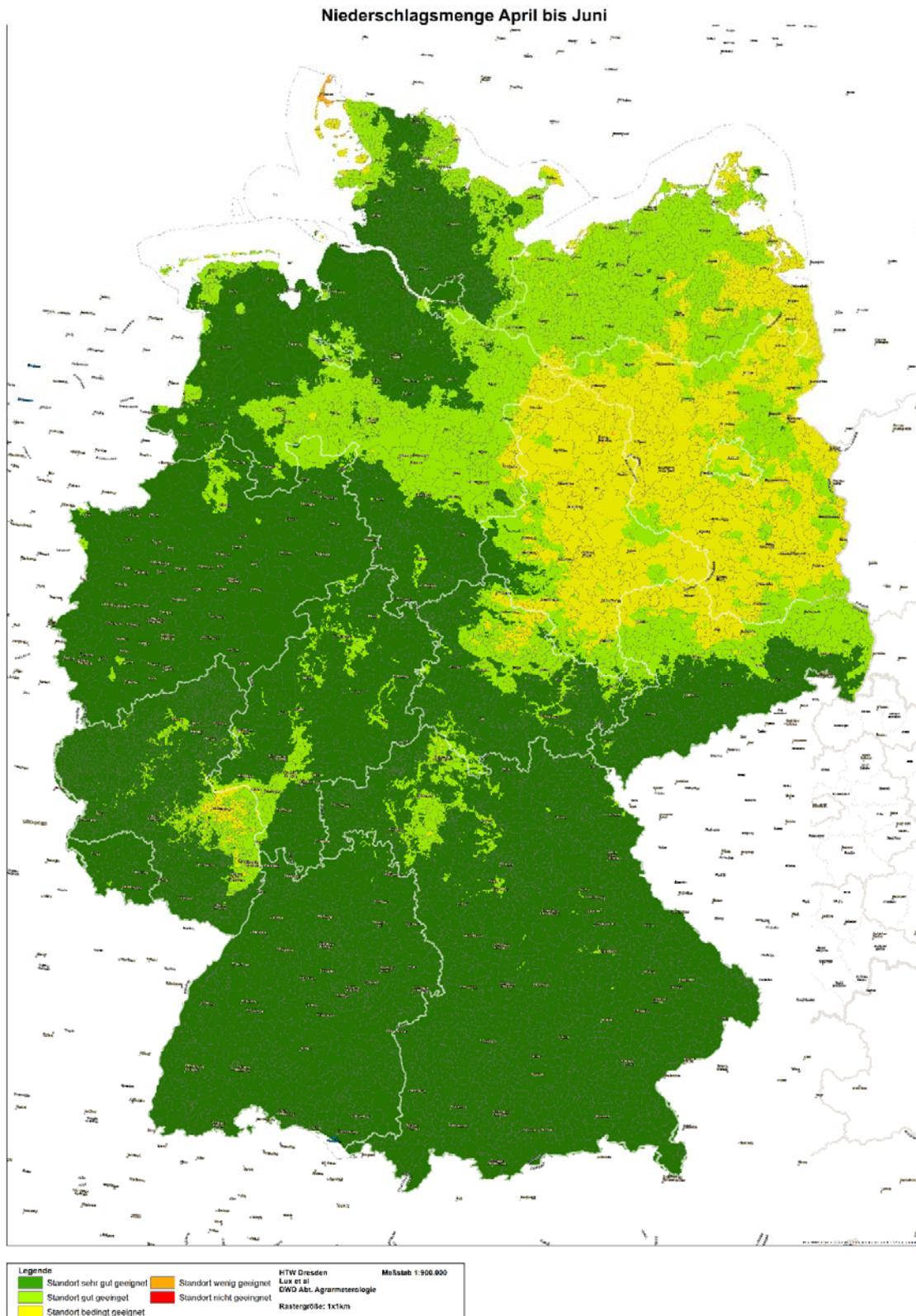


Abb. 1: Karte zur Standorteignung für den Anbau von Winterackerbohnen in Deutschland hinsichtlich der Niederschlagsmenge von April bis Juni

Für eine gute Jugendentwicklung sowie ein hohes vegetatives Wachstum ist die Niederschlagsmenge im Frühjahr von entscheidender Bedeutung. Liegt die Niederschlagssumme von April bis Juni bei mehr als 150 mm ist der jeweilige Standort gut für den Anbau von Winterackerbohnen geeignet (Tab. 1). Neben dem vegetativen Wachstum der Ackerbohne im Frühsommer, findet im Juni auch die Blütenbildung und damit der Beginn der generativen Wachstumsphase statt. Auf der Karte in Abb. 1 ist erkennbar, dass aufgrund der fehlenden Niederschlagsmengen im Frühsommer vor allem die Bundesländer Brandenburg und Sachsen-Anhalt nur bedingt für den Anbau von Winterackerbohnen geeignet sind. Allerdings schränkt das Kriterium der Niederschlagsmenge zwischen April und Juni den Anbau von Winterackerbohnen in den meisten Regionen Deutschlands nicht wesentlich ein (Abb. 1). Neben der Niederschlagsmenge von April bis Juni ist auch die Bodenfeuchte, d.h. die nutzbare Feldkapazität (nFK) von entscheidender Bedeutung für die Wasserversorgung der Winterackerbohnen im Frühjahr. Die Bodenfeuchte sollte vor dem ersten Juni über 50% der nFK liegen, um eine adäquate Entwicklung der Winterackerbohne im Frühjahr sicherzustellen. Laut Tab. 1 sind Standorte, an denen die Wahrscheinlichkeit, dass die Bodenfeuchte unter 50% nFK sinkt, geringer als 10 % ausfällt, gut für den Winterackerbohnenanbau geeignet. Demnach schränkt dieses Kriterium den Anbau der Winterackerbohne in Deutschland kaum ein (Abb. 2). Ausnahmen bilden das mitteldeutsche Trockengebiet (nordöstliches Thüringen und südliches Sachsen-Anhalt) sowie Teile Brandenburgs, in denen die Wahrscheinlichkeit zu geringer Bodenfeuchte erhöht ist (Abb. 2)

Bodenfeuchte (>50% nFK) April bis Juni

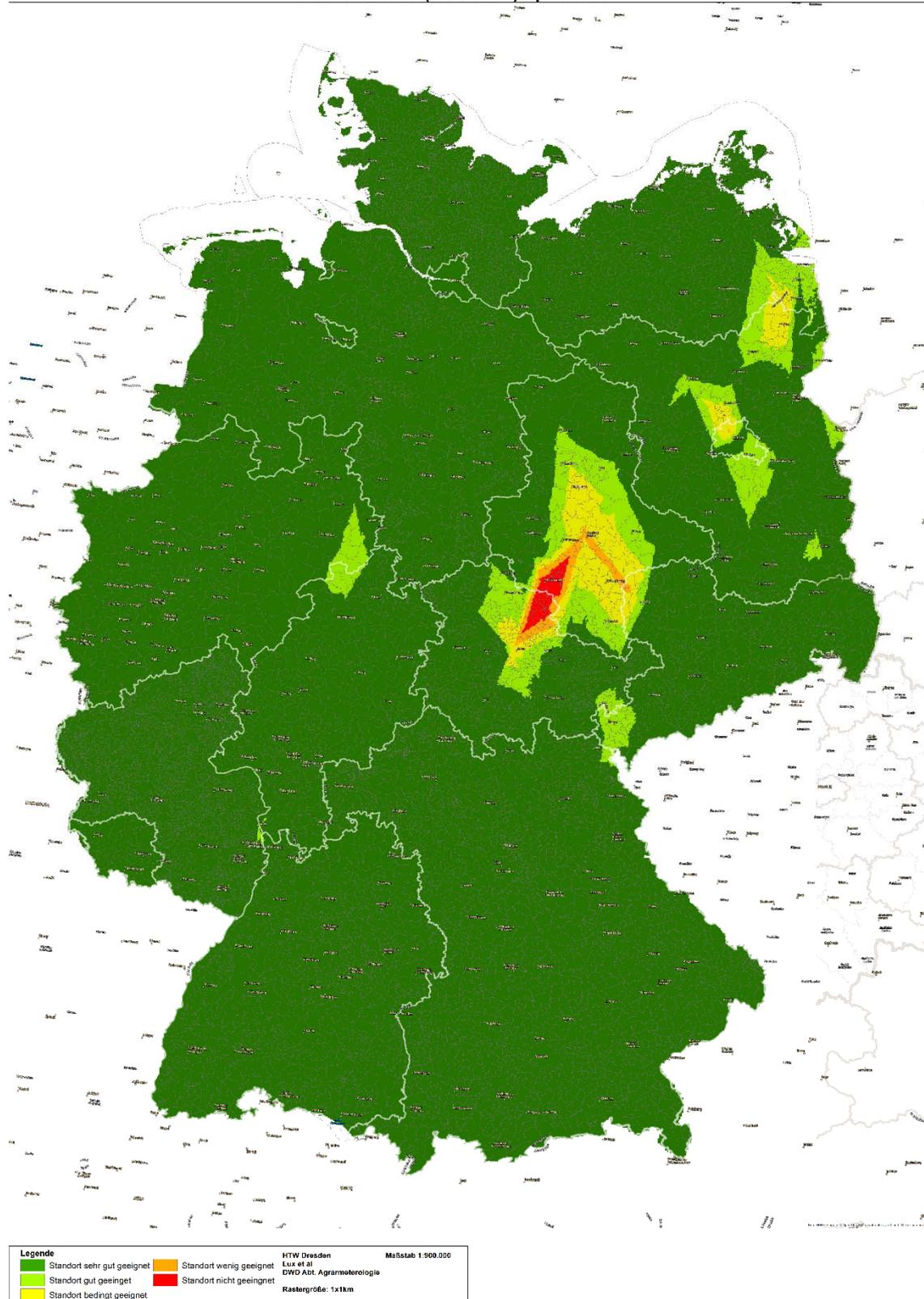


Abb. 2: Karte zur Standorteignung für den Anbau von Winterackerbohnen in Deutschland hinsichtlich der Bodenfeuchte (nFK = nutzbare Feldkapazität) im Zeitraum April bis Juni

Kombination nachhaltige Unterschreitung 5°C
mit Kahlfrösten

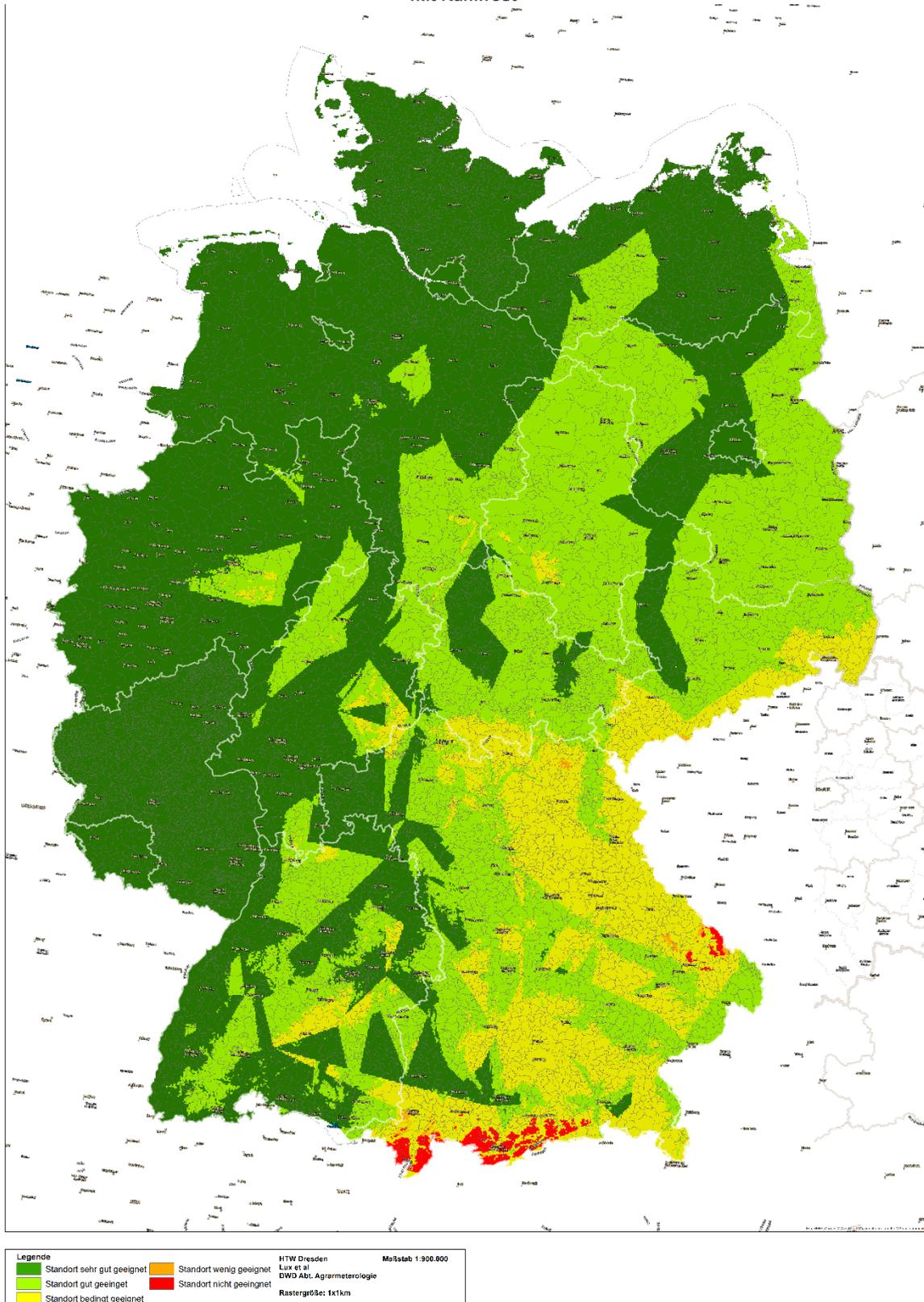


Abb. 3: Karte zur Standorteignung für den Anbau von Winterackerbohnen in Deutschland hinsichtlich der Bedingungen der Frosthärtung der Winterackerbohne und dem anschließenden Auftreten von Kahlfrösten (-16°C)

Neben der Wasserversorgung spielt der Temperaturverlauf im Winter nach der Aussaat der Winterackerbohnen eine große Rolle. Die Winterhärte der Winterackerbohne ist im Vergleich zur Sommerackerbohne zwar deutlich erhöht, dennoch bergen Kahlfröste von unter -16°C für mehr als drei Tage ein hohes Risiko des Abfrierens der jungen Ackerbohnenpflanzen. Dieses Risiko wird allerdings durch die Abhärtung der Ackerbohne reduziert, die bei einer nachhaltigen Unterschreitung von Temperaturen unter 5°C erreicht wird. In Abb. 3 wurden diese beiden Kriterien mittels der in Abb. 5 dargestellten Matrix kombiniert. Bezogen auf die Kombination dieser beiden Kriterien scheinen vor allem höher gelegene Regionen in Bayern und dem Süden Sachsens als bedingt geeignet für den Winterackerbohnenanbau. Neben Kahlfrösten im Winter spielen Spätfröste im zeitigen Frühjahr (unter -6°C ab Mitte März) eine entscheidende Rolle für die Standorteignung für den Winterackerbohnenanbau. Steigen die Temperaturen im zeitigen Frühjahr für mehr als 10 Tage über 7°C , setzt eine Enthärtung der Winterackerbohne ein, was in Kombination mit Spätfrost zu Schäden an der Winterackerbohne führen kann. Die Kombination der beiden Kriterien Enthärtung und Spätfrost schränkt den Anbau der Winterackerbohne in Deutschland am stärksten ein (Abb. 4). Demnach sind vor allem die Regionen um den Ober- und den Niederrhein sehr gut für den Anbau geeignet, da in diesen Regionen besonders milde Witterungsverläufe zu erwarten sind (Abb. 4).

Eine Kombination der Karten aus Abb. 1 bis 4 erfolgte in Abb. 5, wobei besonders die Kriterien Enthärtung und Spätfrost den Anbau der Winterackerbohne in Deutschland standortbedingt einschränken. Diese neuen Erkenntnisse sollten auch als Anreiz für die züchterische Weiterentwicklung der Winterackerbohnen dienen, wobei das Hauptaugenmerk auf einer verzögerten Enthärtung der Pflanzen liegen sollte, um die negativen Folgen von Spätfrösten besser abzupuffern.

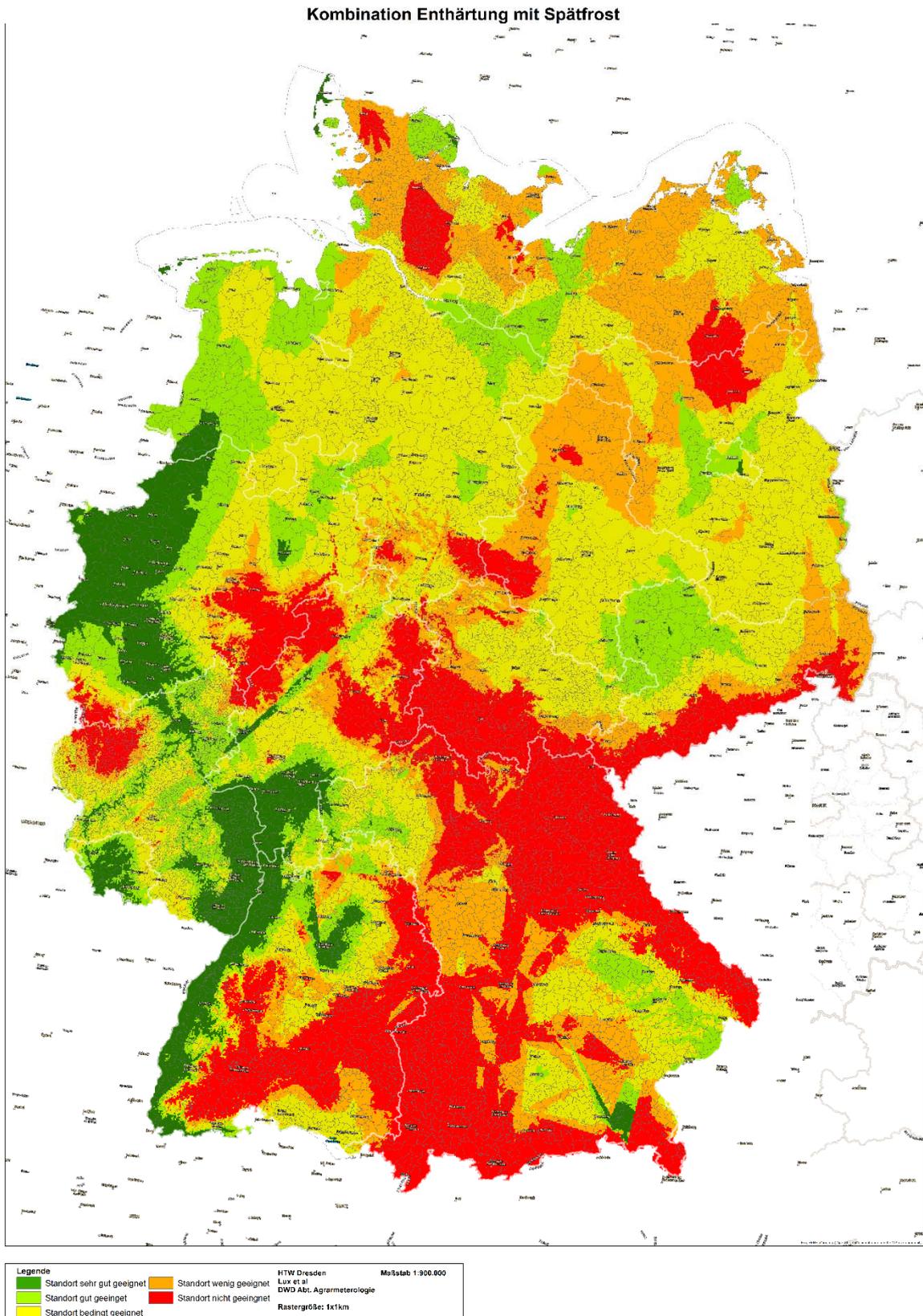


Abb. 4: Karte zur Standorteignung für den Anbau von Winterackerbohnen in Deutschland hinsichtlich der Bedingungen der Enthärtung der Winterackerbohne im zeitigen Frühjahr und dem Auftreten von Spätfrosten

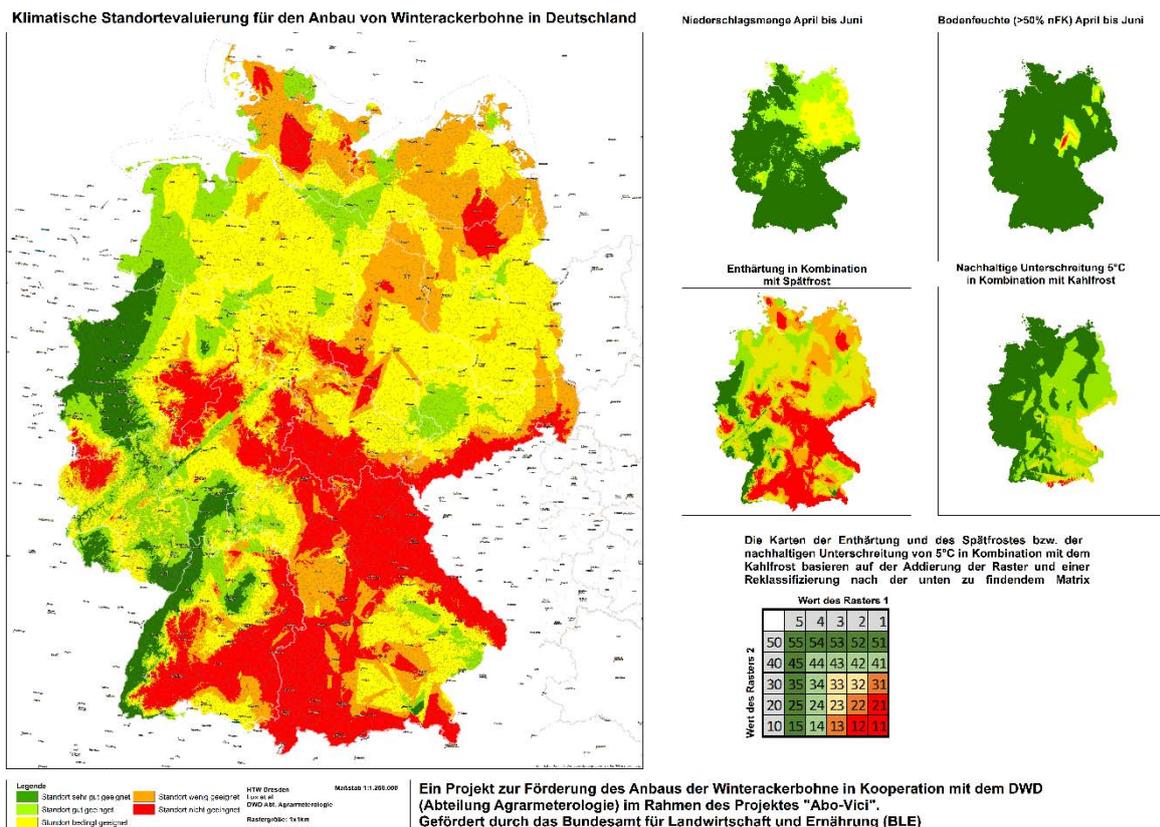


Abb. 5: Karte zur Standorteignung für den Anbau von Winterackerbohnen in Deutschland hinsichtlich der Summe der Umweltbedingungen (kombiniert)

2 Effekt des Gehaltes von Vicin und Convicin auf Keimlingsresistenz und Bestandsetablierung der Ackerbohne

2.1 Einleitung

Vicin (V) und Convicin (C) sind Pyrimidinderivate, die neben *Vicia faba*, auch in *Vicia narbonensis*, *Vicia sativa* (Griffiths & Ramsay, 1992) und in *Momordica charantia* (Gauttam & Kalia, 2013) enthalten sind. Ackerbohnen enthalten V und C in allen Pflanzenteilen, Jungpflanzen im Spross etwa 20% und in der Wurzel etwa 50% des Gehaltes von reifen Samen. Laut Goyoaga et al. (2008) liegt das Verhältnis von V zu C bei circa 2:1. Der Gehalt von V und C in Ackerbohnen Samen kann zwischen 2,6 und 15% schwanken (Duc et al., 1989; Khamassi et al., 2013; Frauen et al., 1984), wobei diese Variabilität sowohl erblich ausfallen kann als auch umweltbedingt ist (Frauen et al., 1984). Die Bildung von V und C erfolgt in der Samenschale (Duc et al., 1989). Der V- und C-Gehalt wird anhand von Extrakten aus Samenmehl spektroskopisch oder

chromatographisch (semi-quantitativ) oder durch Hochleistungsflüssigkeits-chromatographie (HPLC) ermittelt (Pulkkinen et al., 2015).

Die Inhaltsstoffe Tannin, V und C werden in Bezug auf die Verwertung der Ackerbohne als Futtermittel als antinutritiv eingestuft, was deren Einsatz in der Monogastridenfütterung begrenzt (Khamassi et al., 2013). Im Fall der Sommerackerbohne existieren nur wenige tanninfreie und V- und C-arme Sorten. V- und C-arme Winterackerbohnsorten sind bisher nicht verfügbar. Der negativen antinutritiven Wirkung von V und C bei der Verfütterung von Ackerbohnen stehen positive agronomische Effekte dieser Inhaltsstoffe in Bezug auf deren fungistatische Wirkung gegen pilzliche Erreger wie *Botrytis*, *Ascochyta* und *Pyrenophora* gegenüber, die sich gegebenenfalls auch auf die Keimung und die Bestandese tablierung der Ackerbohne auswirken können (Bjerg et al., 1984; Pavlik et al., 2002). Demzufolge besteht die Hypothese, dass V- und C-arme Ackerbohnsorten anfälliger gegen pilzliche Krankheitserreger sind als V- und C-reiche Sorten. Die V- und C-Gehalte von niedrig-V/C-Typen in Wurzel und Spross (d.h. außerhalb des Samens), sind nicht bekannt (Griffiths & Ramsay, 1996; Burbano et al., 1995). Diese Daten wären für Überlegungen zu Nebenwirkungen genetischer Samen-V/C-Armut und zur frühen züchterischen Auslese auf V und C-Armut an Keimlingen entscheidend relevant. Ein Ziel der vorliegenden Arbeit war es demnach, die Effekte des Gehaltes von V und C auf Keimlingsresistenz und Bestandsetablierung der Ackerbohne zu untersuchen.

Zunächst wurden mehrere Ackerbohnsorten („Isogene Familie“) auf V- und C-Gehalt im Samen, Wurzel, Stängel und Spross analysiert (HPLC-Analyse). Darüber hinaus wurde der „Diversitätssatz 2“ bei 5°C, 10°C, 15°C (Kühlkammer) in zwei „leguminosenmüden“ Ackerböden kontrolliert und dabei der Aufgang und Befall mit Keimlingserregern (u.a. *Ascochyta fabae*) untersucht. Zudem sollten diese Genotypen zugleich in drei Jahren auf drei Standorten (Wartmannsroth, Göttingen und Dresden) unter „leguminosenmüden“ Feldbedingungen geprüft werden. Dabei wurden in symptom-anzeigenden Parzellen Wurzeln auf Pathogenbefall bonitiert. In ausgewählten Fällen wurden zudem einzelne Pathogene bestimmt.

2.2 Vicin- und Convicingehalt in der Ackerbohne

2.2.1 Material und Methoden

In den Versuchsjahren 2017 und 2018 wurden Ackerbohnen Samen mit je vier Samen in Gefäßen ausgesät. Drei homogene Pflanzen waren die angestrebte Anzahl je Gefäß. Die Gefäße wurden in vierfacher Wiederholung im Freiland platziert (Abb. 6). Die gewachsenen Pflanzen wurden zu drei Ernteterminen (BBCH 12, 60 und 70) inklusive Wurzeln entnommen. Die Pflanzen wurden in ihre Bestandteile getrennt (Wurzel ohne Samen, Blatt, Stängel, Hülse – nur BBCH 70) und anschließend gefriergetrocknet und mit einer Siebgröße von 0,2 mm fein vermahlen (Zentrifugalmühle ZM 1000, Firma Retsch). Neben den beschriebenen Pflanzenteilen wurden auch die Samenschale und der Keimling der Samen untersucht. Die feinvermahlenden homogenen Pflanzenproben wurden mittels HPLC analysiert. Die HPLC ist ein Flüssigchromatographie-Verfahren, bei dem die Substanzen V und C im Pflanzenmaterial identifiziert, getrennt und quantifiziert wurden. Im Jahr 2017 wurden die beiden „Isogene Familie“ If5 (V/C-reich) und If6 (V/C-arm) sowie die Sorten Fuego (V/C-reich) und Tiffany (V/C-arm) geprüft. Im Jahr 2018 wurden die „Isogene Familie“ If5 und If6 geprüft. Aufgrund hoher Analysekosten konnten je Genotyp und Jahr jeweils nur eine (Samen) bzw. zwei (Wurzel, Stängel, Blatt, Hülse) Mischproben analysiert werden. Eine statistische Auswertung war aufgrund fehlender Wiederholungen deshalb auch nicht möglich.



Abb. 6: Gefäße mit Ackerbohnen im Freiland (Fotos: Lux 2018)

2.2.2 Ergebnisse und Diskussion

Die isogene Familie If5 zeigte den höchsten V-Gehalt im Samenkeimling und nach Fuego auch den höchsten C-Gehalt unter den geprüften Genotypen (Tab. 2 und Tab. 3). Die Klassifizierung V- und C-arm (Tiffany und If6) und auch V- und C-reich (Fuego und If5) spiegelte sich nicht nur in den Samen, sondern auch in Wurzel, Stängel, Blatt und Hülse der Pflanzen wider. Der V- und C-Gehalt in den Pflanzen veränderte sich mit dem jeweiligen Entwicklungsstadium. Im Fall If5 im Jahr 2017 sank der V- und C-Gehalt vom Samen über BBCH 12 und BBCH 60 bis hin zu BBCH 70 ab und nahm in den Hülsen der Pflanze wieder zu. Dies lässt zunächst auf einen Verdünnungseffekt von V und C in der Ackerbohne mit zunehmender Entwicklung schließen und weist auf eine Bildung von V und C in den Samen und Hülsen der Ackerbohne hin. In den Sorten Fuego und Tiffany hingegen stieg der V- und C-Gehalt ausgehend vom Samen mit zunehmenden Pflanzenwachstum an und zeigte zu BBCH 70 die höchsten Werte. Dies lässt wiederum vermuten, dass die Ackerbohne V und C in anderen Pflanzenbestandteilen als den Samen und Hülsen bilden kann. Im Jahr 2018 nahm der V- und C-Gehalt von If5 und If6 von BBCH 12 zu BBCH 60 ab und zu BBCH 70 wieder zu. Es lässt sich kein einheitliches Bild des Verlaufs des V- und C-Gehaltes in der Ackerbohne zeichnen. Die V- und C-Konzentration in der Ackerbohne scheint vielmehr sowohl vom Genotyp als auch vom Anbaujahr abzuhängen. Die Synthese von V und C in der jungen Ackerbohnenpflanze und die teils deutlich erhöhten V- und C-Gehalte in der Wurzel verglichen mit den übrigen Pflanzenteilen könnte darauf hinweisen, dass V und C in der Abwehr von Schaderregern eine Rolle spielt. Auf den Zusammenhang zwischen V- und C-Gehalt in der Ackerbohne und dem Keimverhalten sowie den Befall mit pilzlichen Krankheitserregern wird in den nachfolgenden Abschnitten näher eingegangen.

Tab. 2: Vicin-Gehalt in der Ackerbohne (Angaben in % in der TM)

<i>Jahr</i>		2017				2018	
<i>Sorte</i>		If5	If6	Fuego	Tiffany	IF5	If6
<i>Samen</i>	Schale	0,103	0,054	0,005	0,002	0,130	0,071
	Keimling	0,398	0,025	0,010	0,004	0,392	0,011
<i>BBCH12</i>	Wurzel	0,248	0,033	0,092	0,053	0,944	0,251
	Blatt	0,113	0,007	1,465	0,026	0,501	0,016
	Stängel	0,216	0,001	0,227	-	0,430	0,063
<i>BBCH60</i>	Wurzel	0,166	0,065	0,230	0,082	0,216	0,015
	Blatt	0,013	0,007	0,752	0,195	0,016	0,006
	Stängel	0,010	0,009	0,078	0,931	0,031	0,005
<i>BBCH70</i>	Wurzel	0,119	0,121	0,320	0,231	0,465	0,007
	Blatt	0,008	0,498	0,642	0,504	0,018	0,013
	Stängel	0,005	0,193	0,307	0,109	0,006	0,004
	Hülse	0,537	0,862	0,462	0,306	0,444	0,006

Tab. 3: Convicin-Gehalt in der Ackerbohne (Angaben in % in der TM)

<i>Jahr</i>		2017				2018	
<i>Sorte</i>		If5	If6	Fuego	Tiffany	IF5	If6
<i>Samen</i>	Schale	0,015	0,004	0,008	0,006	0,016	0,004
	Keimling	0,190	0,003	0,243	0,040	0,184	0,002
<i>BBCH12</i>	Wurzel	0,156	0,025	0,238	0,020	0,638	0,315
	Blatt	0,059	0,003	0,107	0,003	0,235	0,008
	Stängel	0,141	0,001	0,346	-	0,340	0,025
<i>BBCH60</i>	Wurzel	0,124	0,123	0,216	0,019	0,162	0,024
	Blatt	0,022	0,021	0,072	0,029	0,013	0,005
	Stängel	0,007	0,011	0,022	0,064	0,022	0,001
<i>BBCH70</i>	Wurzel	0,139	0,037	0,109	0,030	0,355	0,004
	Blatt	0,015	0,009	0,074	0,066	0,026	0,019
	Stängel	0,006	0,003	0,115	0,014	0,002	0,001
	Hülse	0,252	0,005	0,224	0,011	0,251	0,003

2.3 Auswirkungen „leguminosenmüder“ Böden auf die Ackerbohne in Gefäßversuchen

2.3.1 Material und Methoden

Zur Untersuchung mehrerer V- und C- armer sowie V- und C-reicher Ackerbohnsorten (Tab. 4) auf Keimung und Befall mit Keimlingserregern (u.a. *Ascochyta fabae*), wurden in den Jahren 2017 und 2019 Gefäßversuche unter drei Lufttemperaturszenarien in einer Kühlkammer in zwei „leguminosenmüden“ Ackerböden (aus Dresden und Göttingen) kontrolliert. Die Ackerböden stammten von Flächen, auf denen mehrjährig Ackerbohne und/oder Erbse nacheinander angebaut wurden, so dass von einem starken bodenbürtigen Befallsdruck auszugehen war (Leguminosenmüdigkeit). Die zweifaktorielle Blockanlage (Faktor Sorte: 12 Stufen; Faktor Boden: 2 Stufen) mit fünf Wiederholungen je Sorte wurde jeweils unter drei Lufttemperaturen (5°C, 10°C, 15°C) angelegt. Im Jahr 2019 wurde der Faktor Boden um eine Stufe auf drei erweitert, wobei der Dresdner Boden in dieser Variante bei 150°C im Trockenschrank für 48h erhitzt und dadurch sterilisiert wurde. Pro Gefäß wurde ein Samen in fünf Zentimetern Tiefe ausgesät.

Tab. 4: Geprüfte Genotypen in den Kühlkammerversuchen

Genotyp	Abkürzung	V- und C-Gehalt	Sommer-	Winterform
<i>SE Navarro</i>	SE	gar kein V und C	x	
<i>IF1 Hiverna</i>	IF1	V-/C-reich		x
<i>IF2-4 BC1F4</i>	IF2-4	V-/C-arm		x
<i>IF5 NPZ14,8099 HIGH</i>	IF5	V-/C-reich	x	
<i>IF6 NPZ 14,8099 LOW</i>	IF6	V-/C-arm	x	
<i>SB1 Fuego</i>	SB1	V-/C-reich	x	
<i>SB2 Tiffany</i>	SB2	V-/C-arm	x	
<i>SB3 Melodie</i>	SB3	V-/C-arm	x	
<i>WB1 Wab98-98-3</i>	WB1	V-/C-reich		x
<i>WB2 S_016</i>	WB2	V-/C-reich		x
<i>WB3 S_054</i>	WB3	V-/C-reich		x
<i>WB4 S_175</i>	WB4	V-/C-reich		x

2.3.2 Ergebnisse und Diskussion

Tab. 5: Ergebnisse aus Kühlkammerversuch zur Keimung der Ackerbohnen 2017

<i>Lufttemperatur</i>	5°C		10°C		15°C	
<i>Tage nach der Aussaat</i>	26		21		19	
<i>Herkunft Boden</i>	GÖ	DD	GÖ	DD	GÖ	DD
<i>Genotyp</i>	Keimung [%]		Keimung [%]		Keimung [%]	
<i>SE</i>	100	60	100	100	100	100
<i>IF1</i>	80	40	40	100	100	100
<i>IF2-4</i>	80	80	80	100	60	80
<i>IF5</i>	80	80	100	80	60	80
<i>IF6</i>	100	80	80	100	60	80
<i>SB1</i>	100	100	100	80	100	100
<i>SB2</i>	40	20	100	80	100	100
<i>SB3</i>	60	40	0	80	100	80
<i>WB1</i>	100	20	20	80	100	100
<i>WB2</i>	60	40	0	20	100	100
<i>WB3</i>	20	0	0	20	80	80
<i>WB4</i>	60	40	40	100	80	100

GÖ Göttingen; DD Dresden; rot = V-/C-arm; schwarz = V-/C-reich; Mittelwerte aus 5 Wdh.

Tab. 6: Ergebnisse aus Kühlkammerversuch zur Keimung der Ackerbohnen 2019

<i>Lufttemperatur</i>	5°C			10°C			15°C		
<i>Tage nach der Aussaat</i>	40			20			23		
<i>Herkunft Boden</i>	GÖ	DD	DD-S	GÖ	DD	DD-S	GÖ	DD	DD-S
<i>Genotyp</i>	Keimung [%]			Keimung [%]			Keimung [%]		
<i>SE</i>	80	100	100	20	40	60	40	20	100
<i>IF1</i>	100	80	100	20	60	0	100	80	100
<i>IF2-4</i>	100	80	60	0	40	60	100	100	100
<i>IF5</i>	100	100	60	20	60	60	100	100	80
<i>IF6</i>	100	100	100	60	80	40	60	100	100
<i>SB1</i>	80	100	100	40	80	60	100	100	80
<i>SB2</i>	100	100	100	60	80	20	80	100	80
<i>SB3</i>	80	100	80	60	100	40	100	100	100
<i>WB1</i>	100	100	100	20	60	0	80	80	100
<i>WB2</i>	100	100	100	40	80	0	100	100	100
<i>WB3</i>	100	100	100	60	80	20	100	100	100
<i>WB4</i>	100	100	100	60	100	20	100	80	100

GÖ Göttingen; DD Dresden; DD-S steriler Boden Dresden; rot = V-/C.arm; schwarz = V-/C- reich; Mittelwerte aus 5 Wdh.

Die tannin- und V-/C-haltige Ackerbohne ist in geringerem Maße als die moderne tannin- und V-/C-freie Erbse von bodenbürtigen Erregern betroffen, da ihre Gehalte an Tannin in der Samenschale und vermutlich auch das V und C in den Keimblättern einem frühen Pilzbefall entgegenwirken kann (Ilieva & Dochkova, 1998). Die belegte fungistatische Wirkung von V und C (gegen *Botrytis*, *Ascochyta* und *Pyrenophora*) könnte für die Keimung und die Bestandsetablierung der Ackerbohne relevant sein (Bjerg et al., 1984; Pavlik et al., 2002). Die tatsächliche Bedeutung von V und C für eine Abwehr von pilzlichen Schaderregern in der Jugendentwicklung der Ackerbohne (insbesondere Winterackerbohne) ist nicht geklärt. Einen Hinweis auf einen möglichen Nachteil von V- und C-Armut geben Jellis & Vassie (1995), die berichten, dass sich V-/C-Armut in bestimmten Sommerackerbohnen-Kreuzungen nur schwer mit einer *Ascochyta*-Resistenz kombinieren lässt.

Eine statistische Auswertung der Ergebnisse (Tab. 5 und Tab. 6) war nicht möglich, da pro Gefäß jeweils nur ein Samen ausgesät wurde und die dargestellten Werte aus

den 5 Wiederholungen errechnet wurden (Bsp.: eines von fünf Gefäßen eines Genotyps mit gekeimten Samen = Keimung 20%). Unterschiede in Bezug auf die Keimung waren zwischen den zwei Standorten, von denen der Boden für die Gefäßversuche stammte, erkennbar. Der Boden, in dem die Pflanzen gesät wurden, scheint demnach einen Einfluss auf die Keimung zu haben. Jedoch zeichnete sich zwischen den verschiedenen Temperaturstufen kein einheitliches Bild des Einflusses des Bodens in Bezug auf die Keimung ab. Auch die V- und C-reichen Genotypen zeigten keine höheren Werte, bezogen auf die Keimung, im Vergleich mit V- und C-armen Genotypen, darunter auch die V- und C-freie Erbse SE Navarro.

Um den Einfluss bodenbürtiger Krankheitserreger auf die Keimung der Ackerbohne zu verdeutlichen, wurde im Jahr 2019 eine zusätzliche Variante eines sterilen Dresdener Ackerbodens geprüft, in dem durch Hitzeeinfluss Krankheitserreger vor der Aussaat reduziert wurden. Die Erbse SE Navarro zeigte eine zum Teil bessere Keimung unter sterilen Bodenbedingungen im Jahr 2019 (Tab. 6), was für eine reduzierte Keimhemmung durch geringeren Krankheitsdruck spricht. Diese Beobachtung lässt sich allerdings nicht auf die V-/C- armen Ackerbohnen Genotypen übertragen, die sich nicht erkennbar von den V-/C-reichen Genotypen unterschieden (Tab. 6).

Um Unterschiede zwischen den Genotypen in Bezug auf den Befall mit pilzlichen Krankheitserregern (*Ascochyta fabae*) genauer untersuchen zu können, wurden zwischen BBCH 15 und BBCH 19 der Ackerbohne die Längen der Läsionen gemessen die auf die genannten Erreger zurückzuführen waren (Abb. 7).



Abb. 7: Ackerbohne mit Stängelläsion aus Kühlkammerversuch 2017 (Foto: Lux 2017)

Die Läsionslänge wurde an jeder der Ackerbohnen zur Endbonitur gemessen und die Ergebnisse zweifaktoriell (Boden und Genotyp) statistisch ausgewertet. In den Abb. 8 bis Abb. 14 sind getrennt in Jahre und Temperaturstufen die Mittelwerte der Genotypen, gemittelt über alle Böden dargestellt. Für das Jahr 2019 (Temperatur 10°C) konnten die Mittelwerte aufgrund von Wechselwirkungen zwischen den Faktoren Genotyp und Boden nicht dargestellt werden. In vier von fünf Fällen wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Genotypen nachgewiesen. Im Jahr 2017 (10°C Szenario) war die Läsionslänge am Genotyp SE signifikant länger als an If5 (Abb. 10), was die höhere Anfälligkeit der V-/C-freien Erbse unterstreicht. Es kann der Einfluss von V und C auf die Abwehr von pilzlichen Erregern demnach nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Dennoch konnten keine Unterschiede zwischen V-/C-armen und –reichen Ackerbohnen genotypen nachgewiesen werden. Deutliche Unterschiede waren im 5°C Szenario zwischen den Jahren 2017 und 2019 erkennbar. Im Jahr 2019 war die durchschnittliche Läsionslänge mit 3 mm, trotz längerer Vegetationsdauer, deutlich kürzer

als in 2017 mit 10 mm. Vermutlich war der Krankheitsdruck im Boden aus 2017 höher als 2019, was bei gleichen Genotypen in beiden Jahren zu den Unterschieden in der Läsionslänge geführt haben könnte. Allerdings waren diese Unterschiede im 15°C Szenario nicht erkennbar. Die Herkunft des Bodens (Göttingen oder Dresden) hatte nur in 2017 im 5°C Szenario (Abb. 8) einen signifikanten Einfluss auf die Läsionslänge. Im Jahr 2019 waren diese Unterschiede nicht feststellbar (Abb. 9), wobei auch die thermische Dezimierung pilzlicher Krankheitserreger (Dresden steril) nicht zu geringeren Läsionslängen an den Ackerbohnen führte. Unterschiede zwischen der Sommer- (SB1, SB2, SB3) und Winterform der Ackerbohne (WB1, WB2, WB3, WB4) bezüglich deren Anfälligkeit gegenüber pilzlichen Erregern konnten mittels der Messung der Läsionslänge unter den drei verschiedenen Temperaturstufen ebenfalls nicht nachgewiesen werden.

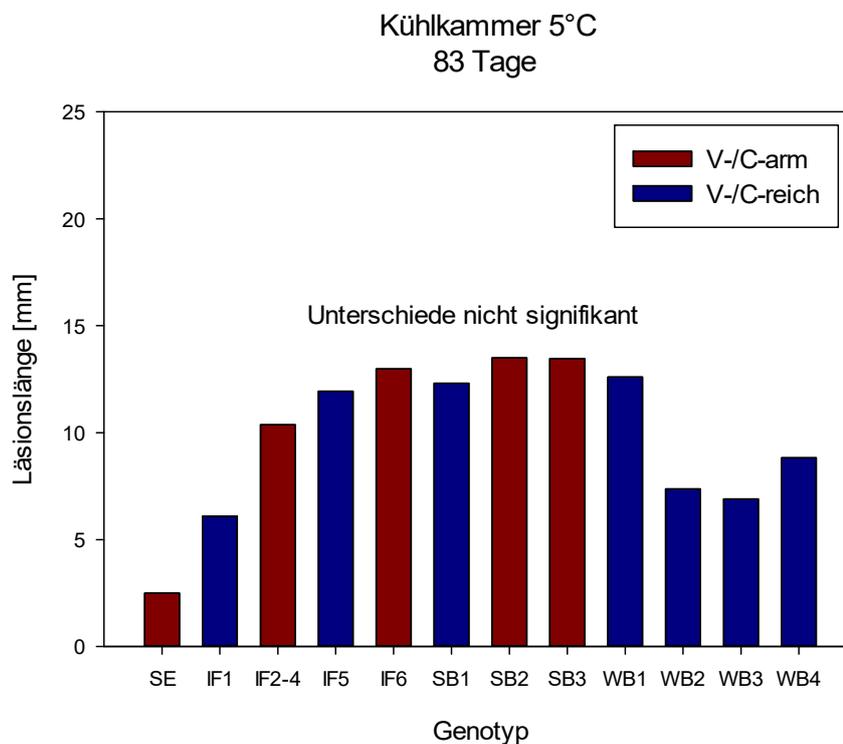


Abb. 8: Läsionslänge an den Ackerbohnen in Abhängigkeit vom Genotyp; Tukey-Test, $P < 0,05$ (Kühlkammerversuch 5°C im Jahr 2017, Mittelwerte über zwei Böden/Standorte, 5 Wdh.)

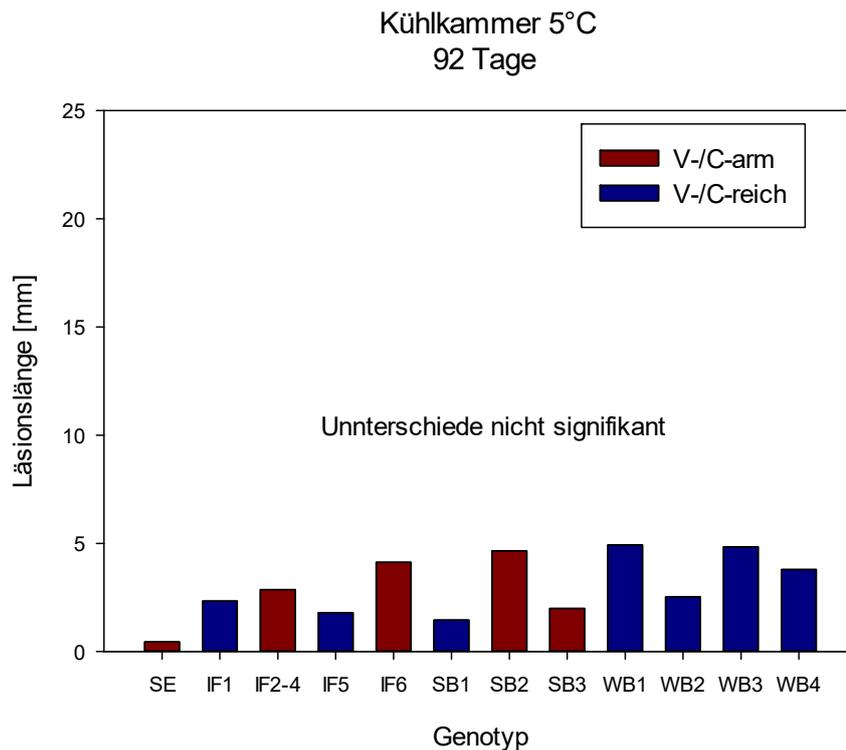


Abb. 9: Läsionslänge an der Ackerbohne in Abhängigkeit vom Genotyp; Tukey-Test, $P < 0,05$ (Kühlkammerversuch 5°C im Jahr 2019, Mittelwerte über drei Böden/Standorte, 5 Wdh.)

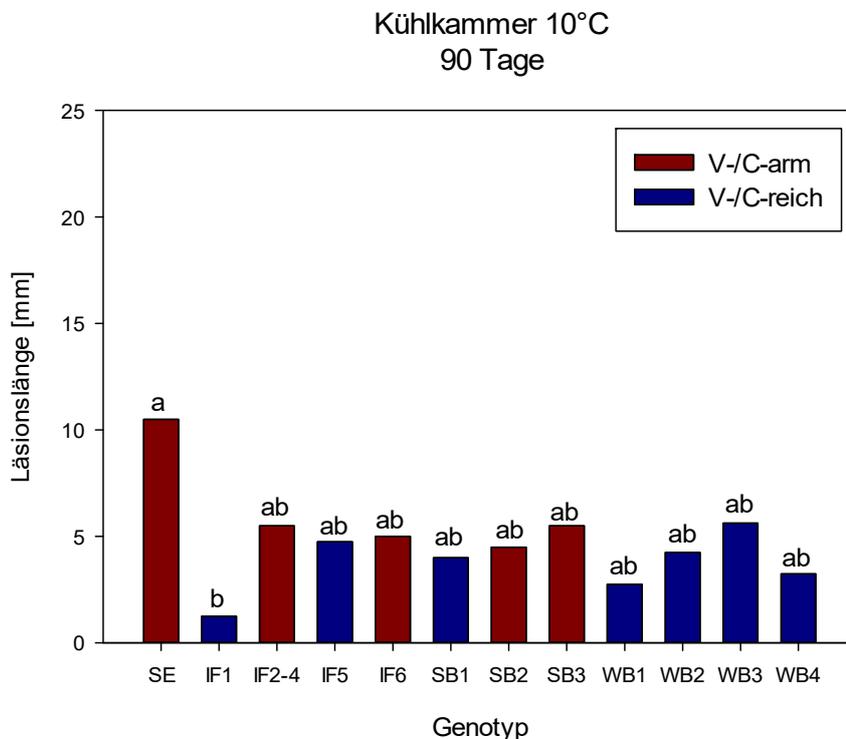


Abb. 10: Läsionslänge an den Ackerbohnen in Abhängigkeit vom Genotyp, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede für $P < 0,05$ – Tukey-Test (Kühlkammerversuch 10°C im Jahr 2017, Mittelwerte über Böden/Standorte, 5 Wdh.)

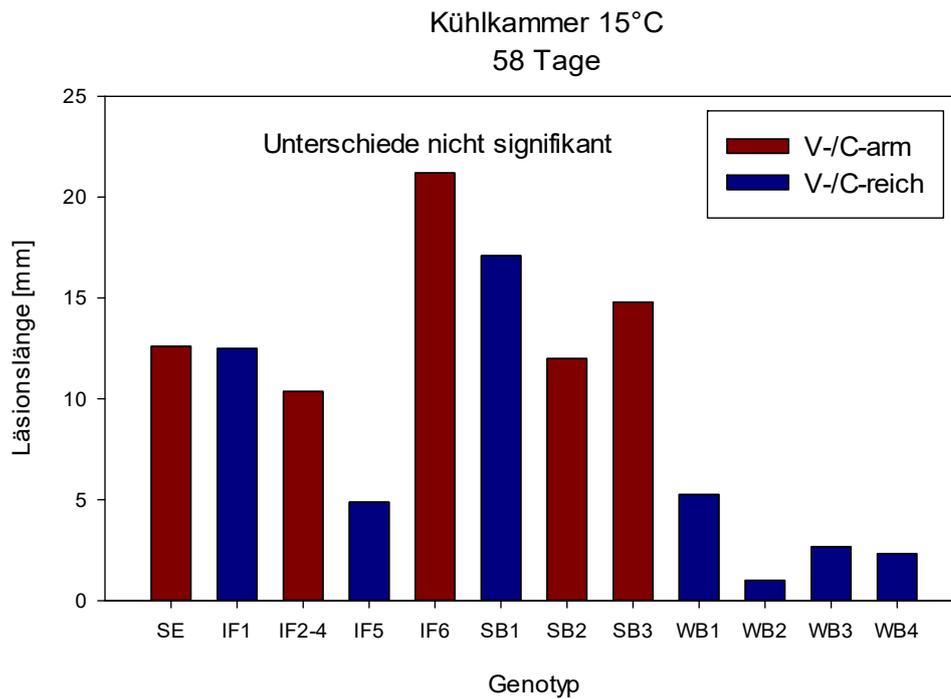


Abb. 11: Läsionslänge an der Ackerbohne in Abhängigkeit vom Genotyp; Tukey-Test, $P < 0,05$ (Kühlkammerversuch 15°C im Jahr 2017, Mittelwerte über zwei Böden/Standorte, 5 Wdh.)

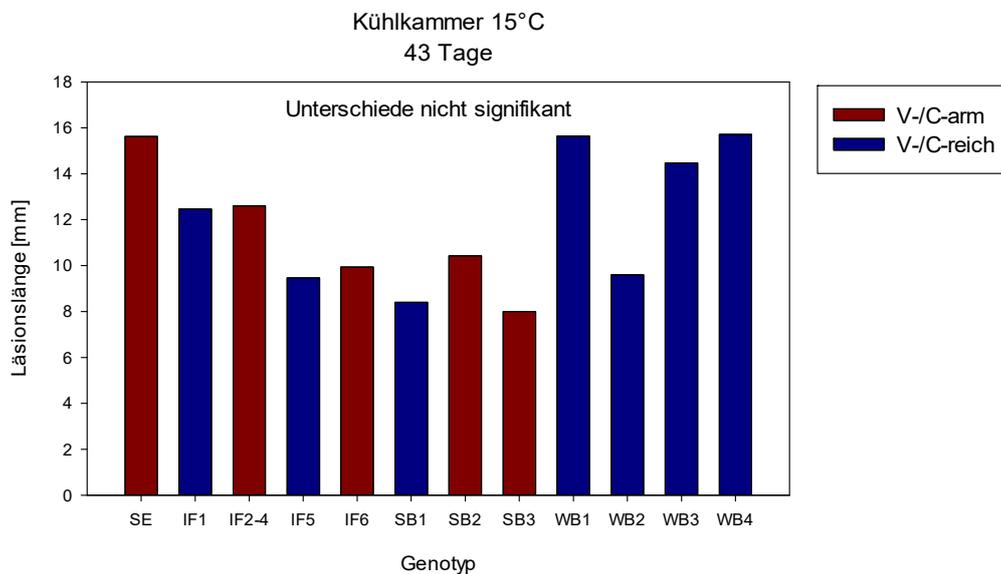


Abb. 12: Läsionslänge an der Ackerbohne in Abhängigkeit vom Genotyp; Tukey-Test, $P < 0,05$ (Kühlkammerversuch 15°C im Jahr 2019, Mittelwerte über drei Böden/Standorte, 5 Wdh.)

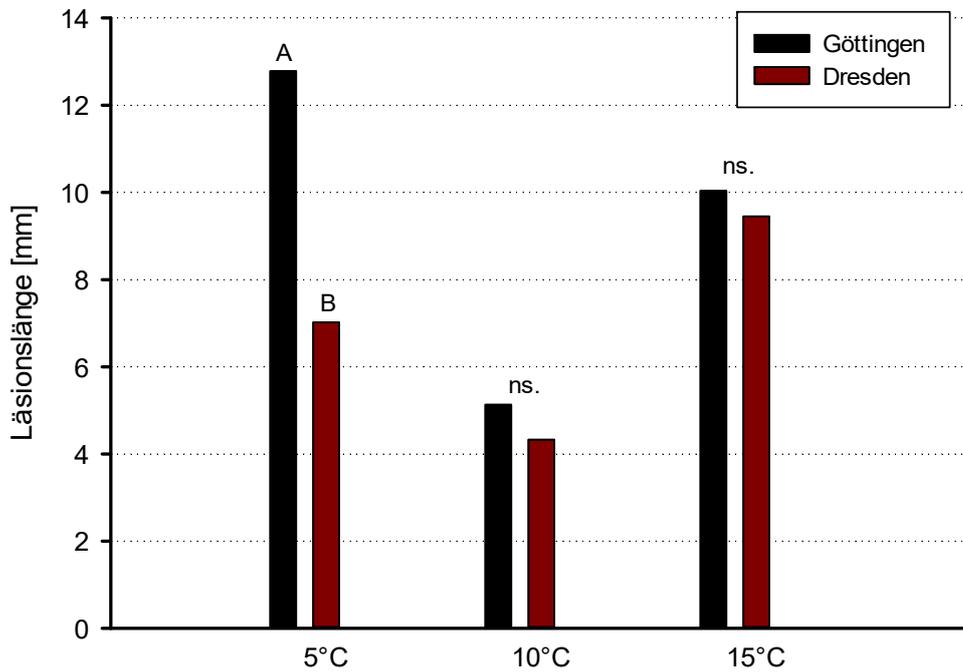


Abb. 13: Läsionslänge an der Ackerbohne in Abhängigkeit vom Standort, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede für $P < 0,05$; ns. nicht signifikant für $P < 0,05$ – Tukey-Test (Kühlkammerversuch im Jahr 2017; Mittelwerte über 12 Genotypen, 5 Wdh.)

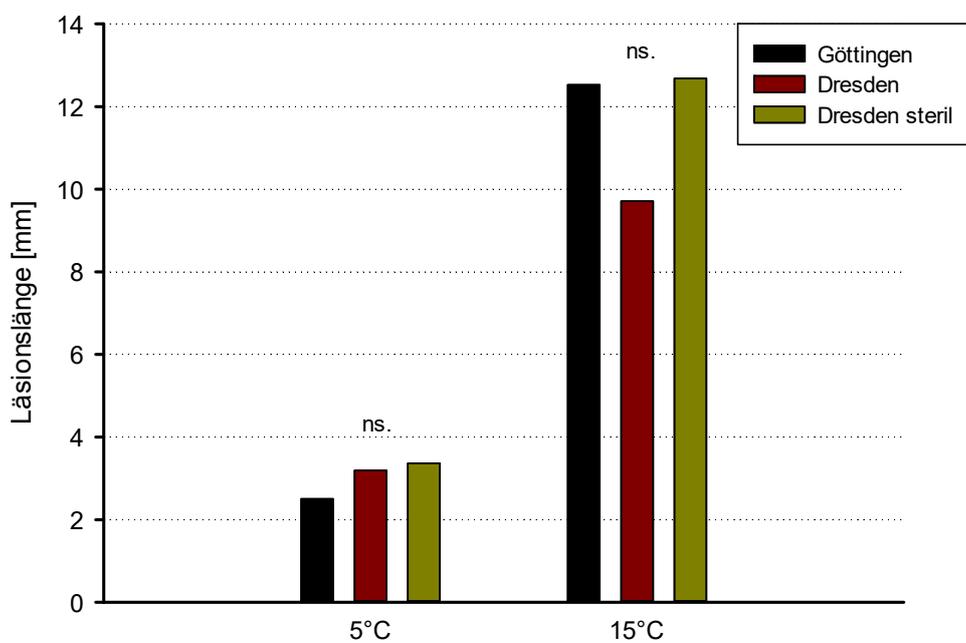


Abb. 14: Läsionslänge an der Ackerbohne in Abhängigkeit vom Standort, ns. nicht signifikant für $P < 0,05$ – Tukey-Test (Kühlkammerversuch im Jahr 2017; Mittelwerte über 12 Genotypen, 5 Wdh.)

2.4 Auswirkungen „leguminosenmüder“ Böden auf die Ackerbohne unter Feldbedingungen

2.4.1 Material und Methoden

In den Jahren 2017 und 2018 wurden Feldversuche mit den in Tab. 4 dargestellten Genotypen durchgeführt, die um die Genotypen Tf1 (Gloria/Taifun – V-/C-reich) und Tf2 (Tattoo, V-/C-reich) ergänzt wurden. Die Feldversuche an den Standorten Göttingen, Dresden und Wartmannsroth wurden als Blockanlage mit vierfacher bzw. fünffacher Wiederholung angelegt. In Dresden und Wartmannsroth wurden 20 Samen pro Parzelle mit einem Samenabstand von 10 cm in einer Reihe ausgesät (Abb. 15). In Göttingen wurden zwei Reihen pro Parzelle mit 10 Samen pro Reihe und einem Samenabstand von 10 cm ausgesät. Untersucht wurde der Feldaufgang und der Befall mit Pathogenen an Wurzel und Stängelbasis, wobei die Läsionslänge an den Ackerbohnen zum Boniturzeitpunkt als Kriterium für den Befall gemessen wurde. Zusätzlich wurden augenscheinlich mit Pathogenen befallene Einzelpflanzen aus den Parzellen entnommen und auf Krankheitserreger untersucht, um Auskunft über das Erregerspektrum zu erhalten. Dabei wurden die zu untersuchenden Pflanzen zunächst in Wurzel und Wurzelhals getrennt, um anschließend die Wurzel in 20 und den Wurzelhals in 10 Stücke zu zerteilen. Die Einzelstücke wurden auf Nährmedium gelegt und in Petrischalen inkubiert. Abschließend wurden die entstandenen Pilzkulturen unter dem Lichtmikroskop bestimmt.

Die einzelnen Standorte werden in Bezug auf die Witterung während der drei Versuchsjahre 2017 bis 2019 in den Tab. 7 und Tab. 8 näher beschrieben.



Abb. 15: Feldversuch in Dresden am 21.05.2017 zur Prüfung der Auswirkungen eines „leguminosenmüden“ Bodens auf Ackerbohne (Foto: Lux 2017)

Tab. 7: Mittlere Monats- und Jahresdurchschnittstemperatur in den Jahren 2017 bis 2019 an den Versuchsstandorten

Jahr	Monat	Pillnitz		Nimnitz		Görlitz		Göttingen		Wartmannsroth	
		Monat	Jahr	Monat	Jahr	Monat	Jahr	Monat	Jahr	Monat	Jahr
2017	Januar	-2,5	10,5	-3,2	9,8	-3,4	9,6	-1,7	9,9	-2,9	9,6
	Februar	3,4		2,6		1,6		3,3		3,2	
	März	7,7		7,3		7,1		7,6		7,5	
	April	8,6		7,7		7,6		7,3		8,0	
	Mai	15,2		14,3		14,1		14,4		14,4	
	Juni	19,1		17,7		18,1		17,3		18,3	
	Juli	19,8		18,8		18,8		18,1		18,7	
	August	19,6		18,7		18,9		17,6		18,1	
	September	13,8		13,4		13,0		13,0		12,5	
	Oktober	12,1		11,6		11,2		11,7		10,6	
	November	6,1		5,6		5,3		6,0		4,6	
	Dezember	3,6		3,2		2,5		3,8		2,4	
2018	Januar	4,3	11,3	4,3	10,6	2,8	10,7	4,2	10,6	4,1	10,8
	Februar	-1,8		-2,2		-2,4		-1,6		-2,0	
	März	2,2		1,9		1,2		2,9		2,9	
	April	13,7		13,0		13,5		12,8		13,0	
	Mai	16,9		16,1		16,5		16,1		16,6	
	Juni	18,7		18,2		18,3		17,5		18,6	
	Juli	21,2		20,1		20,6		20,3		21,2	
	August	21,9		20,9		21,5		19,8		20,6	
	September	16,2		15,5		16,1		14,5		14,9	
	Oktober	12,1		10,8		11,8		10,1		10,5	
	November	5,8		4,6		5,2		5,6		5,1	
	Dezember	3,9		4,5		2,9		4,7		3,6	
2019	Januar	0,9	11,4	0,6	10,7	-0,2	10,8	1,2	10,4	0,8	10,3
	Februar	3,7		3,7		3,6		4,5		3,0	
	März	7,7		7,3		6,6		7,1		6,9	
	April	10,6		9,7		10,2		9,3		10,5	
	Mai	11,9		11,3		11,5		11,0		11,3	
	Juni	22,1		21,0		21,6		19,0		19,7	
	Juli	20,1		19,3		19,4		18,1		19,8	
	August	20,8		20,1		20,0		19,2		19,0	
	September	15,1		14,5		14,6		13,7		14,1	
	Oktober	11,9		11,3		11,4		11,6		10,4	
	November	7,0		5,8		6,4		5,6		5,1	
	Dezember	4,7		4,2		3,9		4,3		3,0	

Temperatur in °C

Tab. 8: Monatliche und jährliche Niederschlagssumme in den Jahren 2017 bis 2019 an den Versuchsstandorten

Jahr	Monat	Pillnitz		Nimnitz		Görlitz		Göttingen		Wartmannsroth	
		Monat	Jahr	Monat	Jahr	Monat	Jahr	Monat	Jahr	Monat	Jahr
2017	Januar	10,6	541,9	47,9	655,5	29,0	683,4	33,1	774,5	22,1	712,0
	Februar	22,0		33,3		38,3		31,5		23,1	
	März	41,0		55,7		53,4		38,2		37,8	
	April	39,9		40,0		52,3		27,3		15,9	
	Mai	26,4		10,3		37,8		28,8		59,2	
	Juni	56,3		84,8		53,2		124,6		49,3	
	Juli	92,0		116,7		101,0		191,2		179,8	
	August	82,8		63,3		90,5		98,3		81,7	
	September	32,2		25,4		66,4		40,3		59,5	
	Oktober	69,4		75,9		86,3		48,2		34,1	
	November	41,5		53,0		36,0		66,3		84,7	
	Dezember	27,8		49,2		39,2		46,7		64,8	
2018	Januar	21,9	297,6	47,7	415,7	48,7	389,2	94,7	431,7	81,8	481,1
	Februar	2,0		7,3		3,3		4,9		8,5	
	März	20,3		35,3		41,4		42,4		56,3	
	April	36,5		47,9		32,3		32,2		42,0	
	Mai	18,5		39,8		17,4		25,8		44,1	
	Juni	30,2		17,7		27,0		25,0		53,8	
	Juli	18,5		27,4		36,9		34,3		33,0	
	August	44,6		19,6		18,0		24,3		14,8	
	September	31,0		48,4		52,2		39,2		42,1	
	Oktober	18,4		31,7		35,7		10,3		13,8	
	November	2,8		13,9		8,0		10,4		5,0	
	Dezember	52,9		79,0		68,3		88,2		85,9	
2019	Januar	44,3	422,2	71,6	472,6	62,0	527,3	48,3	547,9	54,9	653,4
	Februar	31,0		30,1		34,7		14,1		22,1	
	März	41,9		47,4		47,9		53,5		70,2	
	April	25,1		29,9		14,5		33,6		26,5	
	Mai	51,2		53,3		86,2		90,0		90,0	
	Juni	43,2		26,9		41,4		64,8		41,4	
	Juli	28,7		22,0		44,5		43,8		71,0	
	August	43,3		41,2		53,2		30,9		58,6	
	September	40,0		43,5		36,4		46,5		22,9	
	Oktober	42,2		50,9		50,4		46,6		62,5	
	November	18,8		29,9		31,1		34,0		71,2	
	Dezember	12,5		25,9		25,0		41,8		62,1	

Niederschlag in mm

2.4.2 Ergebnisse und Diskussion

Vor Versuchsanstellung bestand, wie auch in den Kühlkammerversuchen beschrieben, Unklarheit darüber, ob ein erhöhter V-/C-Gehalt in den Pflanzen die Abwehr gegenüber pilzlichen Erregern während der Keimung und frühen Jugendentwicklung der Pflanze steigert (Bjerg et al., 1984; Ilieva & Dochkova, 1998; Pavlik et al., 2002). Die Ergebnisse zum Feldaufgang der verschiedenen Ackerbohnen Genotypen (Tab. 9) zeigten zwar teilweise signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen, jedoch entstand kein einheitliches Bild in Bezug auf deren V-/C- Gehalt. Ein klarer Zusammenhang zwischen V-/C-Gehalt und dem Befall mit Pathogenen konnte auch unter Feldbedingungen nicht nachgewiesen werden. Die zum Teil geringen Feldaufgänge der Winterackerbohnen-Genotypen lassen sich unter anderem damit begründen, dass die Zählung der Pflanzen im Feld zum Teil erst im Frühjahr des Folgejahres nach deren Aussaat erfolgte, weshalb diese Werte nicht den tatsächlichen Feldaufgang, sondern die Pflanzenzahl nach der Überwinterung darstellen.

Tab. 9: Feldaufgang der Ackerbohne in % (Feldversuch „leguminosenmüder Boden“)

Standort	Dresden			Wartmannsroth		
	2017	2018	2019	2017		
	*	*	*	n.s.		
SE	94abc	97ab	82abcd	96		
IF1	98a	70ab	80abcd	94		
IF2-4	94abc	69ab	66de	86		
IF5	88abc	93ab	88ab	90		
IF6	76bc	99a	92ab	86		
SB1	98a	94ab	95a	92		
SB2	98a	96ab	95a	94		
SB3	80abc	95ab	92ab	92		
WB1	98a	77ab	86abc	98		
WB2	100a	78ab	86abc	96		
WB3	74c	62b	74bcde	84		
WB4	96ab	68ab	59e	94		
Tf2	80abc	98ab	68cde	80		
Tf1	2d	89ab	93ab	-		

Mittelwerte aus 5 Wdh.; * $P < 0,05$, Tukey-Test; n.s. nicht signifikant;
rot = V-/C-arm; schwarz = V-/C-reich;

Die Bonituren an Wurzeln und Stängelbasis der Ackerbohne wurden zwischen BBCH 65 und BBCH 78 der Pflanzen durchgeführt. In den Abbildungen 16 bis 23 sind die Läsionslängen zum Boniturzeitpunkt in Abhängigkeit vom Genotyp grafisch dargestellt. Eine eventuelle Hemmwirkung des V- und C- Gehaltes der Ackerbohnen auf die Infektion mit pilzlichen Erregern konnte nicht belegt werden. Die Unterscheidung der Genotypen in V-/C-arm und V-/C-reich zeichnete kein einheitliches Bild bezogen auf die gemessene Läsionslänge an den Pflanzen. Hingegen waren signifikante Unterschiede (Dresden 2019, Wartmannsroth 2018 und 2019) zwischen Winter- und Sommerformen der Ackerbohne erkennbar. Die getesteten Winterformen (lf1, lf2-4, WB1, WB2, WB3 und WB4) zeigten in drei Versuchen signifikant längere Läsionen an Wurzel und Stängelbasis als die Sommerformen der Ackerbohne. Link et al. (2010) wiesen darauf hin, dass Winterackerbohnen unter anderem von Erregern wie *Ascochyta fabae* und *Fusarium oxysporum* im zeitigen Frühjahr befallen werden, welche bei Sommerackerbohnen kaum eine Rolle spielten. Eine Ursache für die längeren Läsionen an Winterackerbohnen kann in deren Jugendentwicklung während der kühlen und feuchten Wintermonate liegen, in der die Pathogene die Pflanzen infizieren konnten. Die Bestimmung der Erreger an Wurzel und Wurzelhals der untersuchten Ackerbohnenpflanzen ergab, dass ausnahmslos alle Einzelproben der drei Standorte *Fusarium* (hauptsächlich *Fusarium avenaceum*, *Fusarium solani* und *Fusarium sporotrichoides*) aufwiesen. An den Proben des Standorts Göttingen wurden zudem *Phoma* und *Pythium* nachgewiesen. Neben *Fusarium* als Haupterreger wurden an den Proben aus Wartmannsroth auch *Phoma*, *Pythium*, *Alternaria*, *Cylindrocarpon* und *Trichoderma* nachgewiesen. Die Proben vom Standort Dresden zeigten ebenfalls *Fusarium* als Haupterreger und des weiteren *Phoma*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Cylindrocarpon* und *Verticillium*. Eine Wirkung des V-/C-Gehalt der untersuchten Genotypen bzw. der Sommer- oder Winterform der Ackerbohne auf die Anzahl und das Spektrum der nachgewiesenen Erreger konnte nicht festgestellt werden. Hingegen waren Unterschiede in der Standortherkunft der Proben ersichtlich, das heißt das Erregerspektrum unterschied sich zwischen den Standorten, wobei neben *Fusarium* auch *Phoma* und *Pythium* am häufigsten nachgewiesen werden konnten.

Dresden 2017

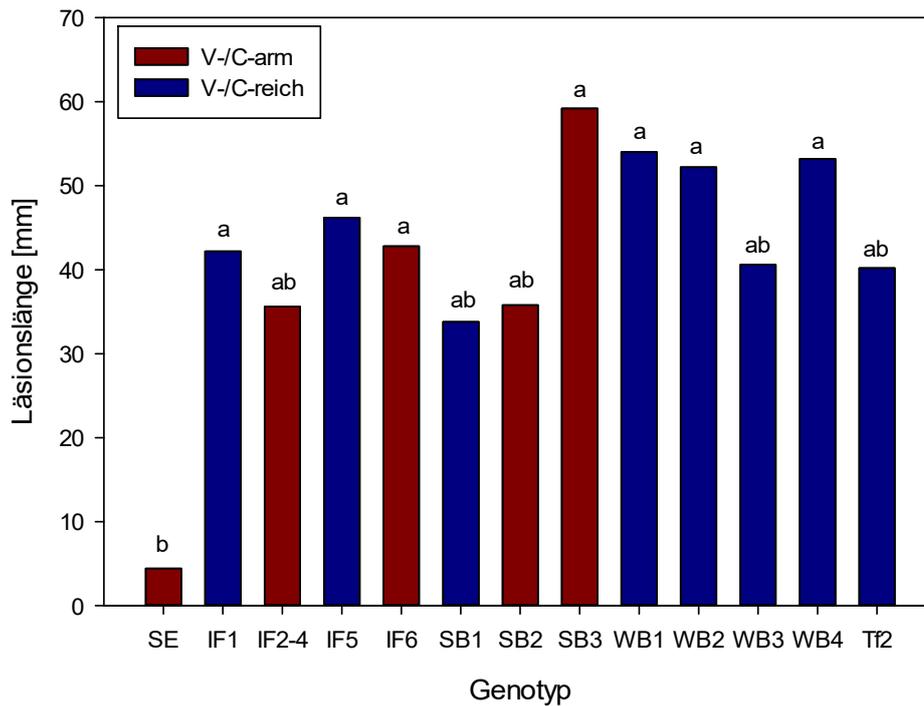


Abb. 16: Läsionslänge an der Ackerbohne in Abhängigkeit vom Genotyp, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede für $P < 0,05$ – Tukey-Test (Feldversuch Dresden 2017, 5 Wdh.)

Dresden 2018

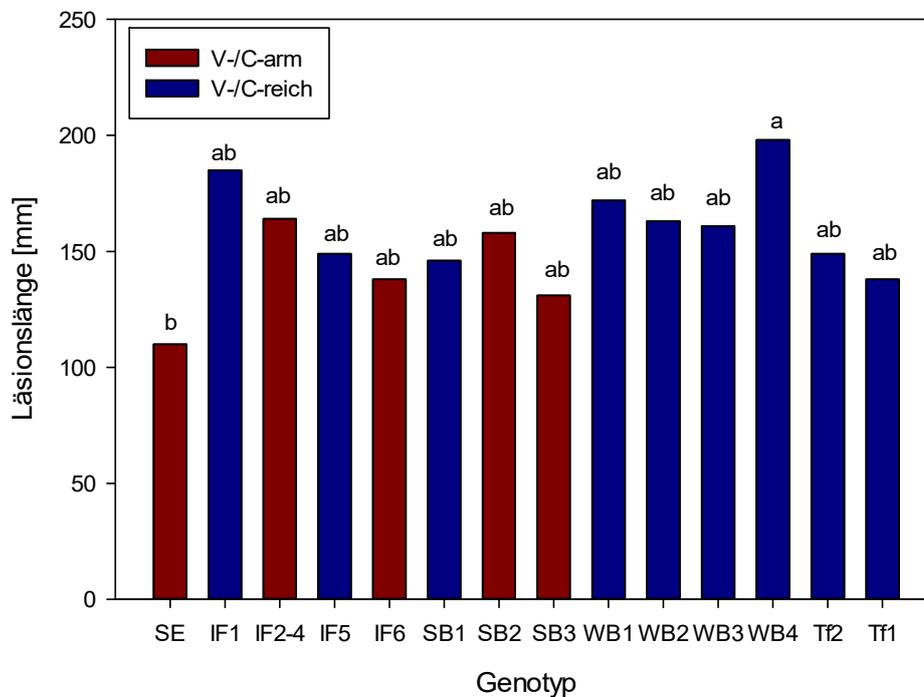


Abb. 17: Läsionslänge an der Ackerbohne in Abhängigkeit vom Genotyp, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede für $P < 0,05$ – Tukey-Test (Feldversuch Dresden 2018, 5 Wdh.)

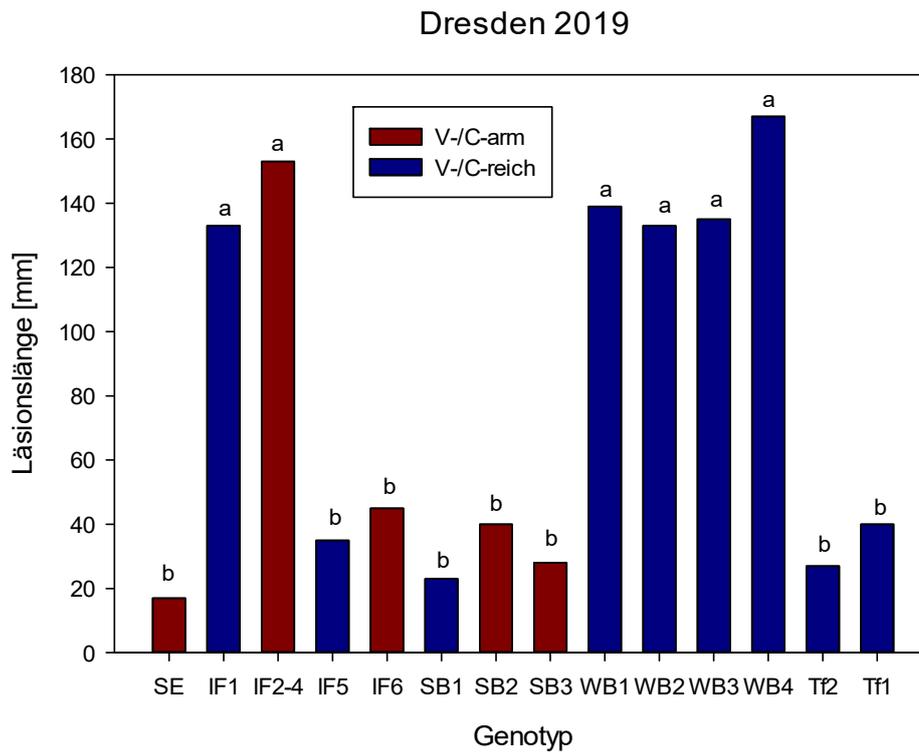


Abb. 18: Läsionslänge an der Ackerbohne in Abhängigkeit vom Genotyp, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede für $P < 0,05$ – Tukey-Test (Feldversuch Dresden 2019, 5 Wdh.)

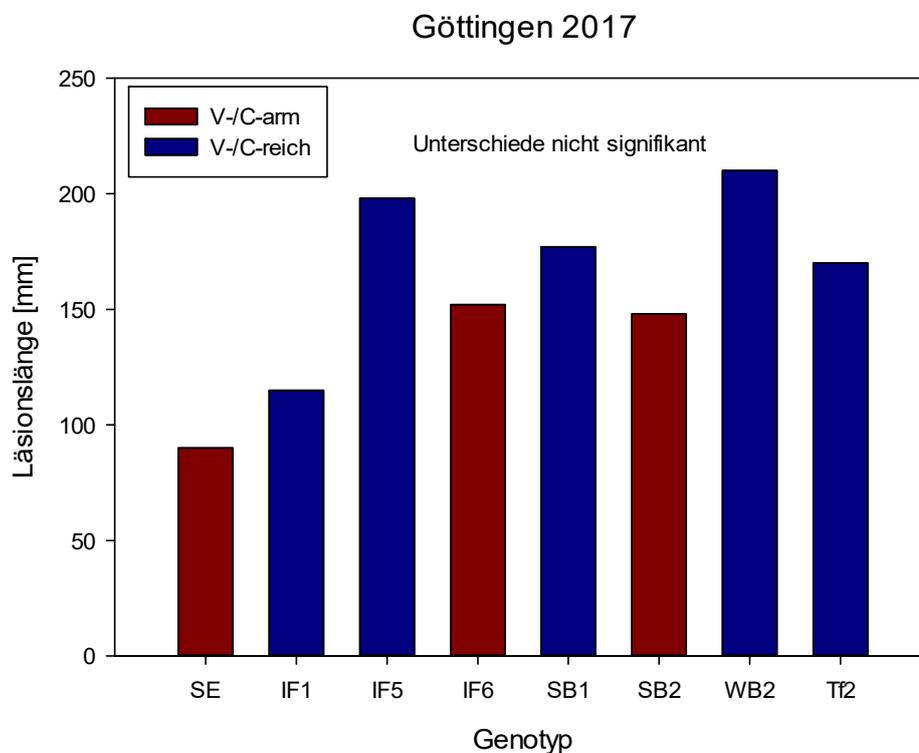


Abb. 19: Läsionslänge an der Ackerbohne in Abhängigkeit vom Genotyp, Tukey-Test $P < 0,05$ (Feldversuch Göttingen 2017, 3 Wdh.)

Göttingen 2018

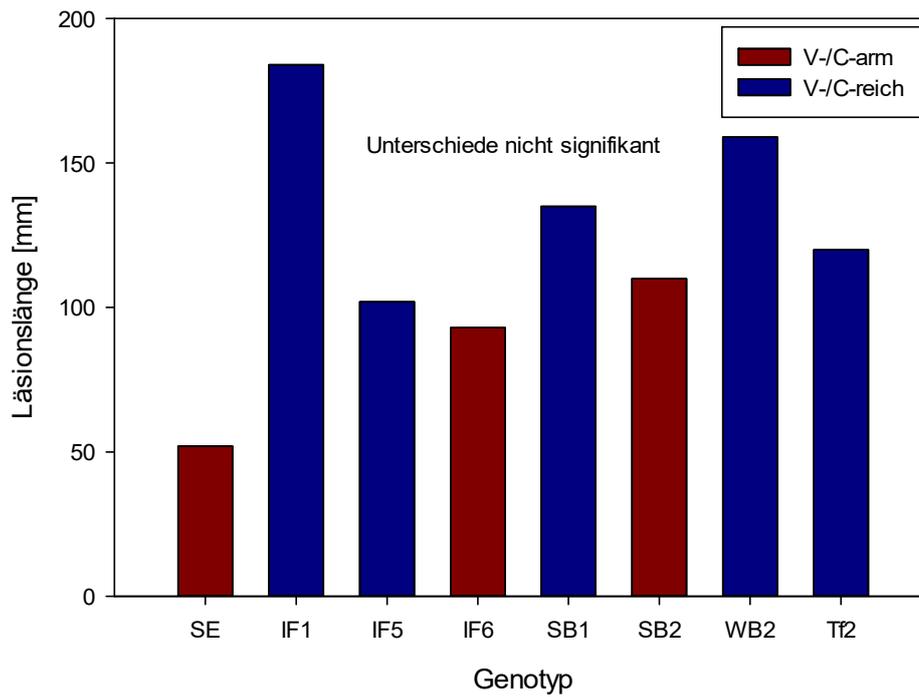


Abb. 20: Läsionslänge an der Ackerbohne in Abhängigkeit vom Genotyp, Tukey-Test $P < 0,05$ (Feldversuch Göttingen 2018, 3 Wdh.)

Wartmannsroth 2017

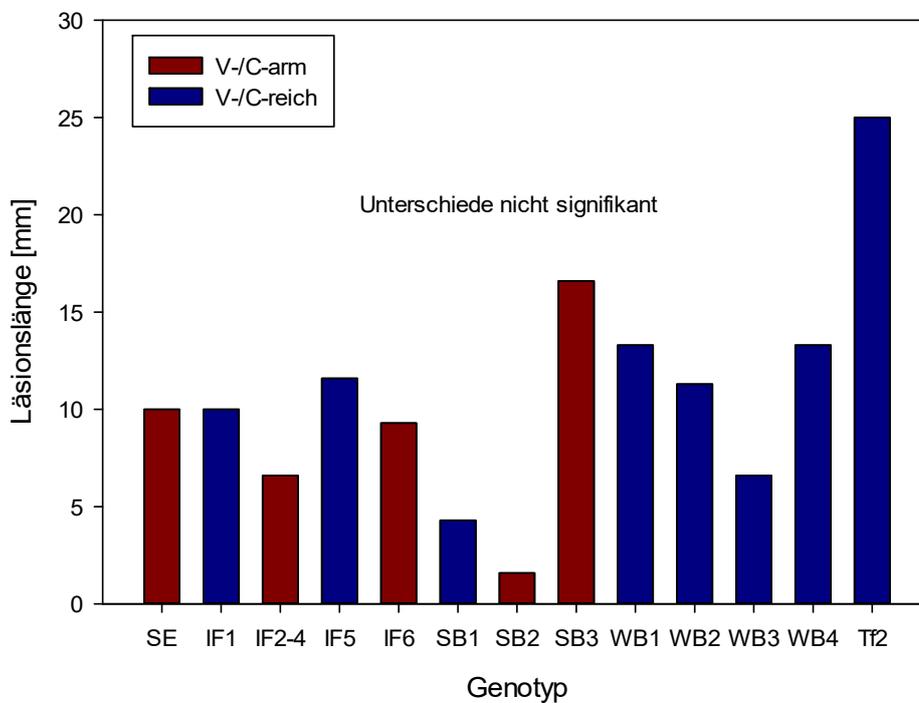


Abb. 21: Läsionslänge an der Ackerbohne in Abhängigkeit vom Genotyp, Tukey-Test $P < 0,05$ (Feldversuch Wartmannsroth 2017, 3 Wdh.)

Wartmannsroth 2018

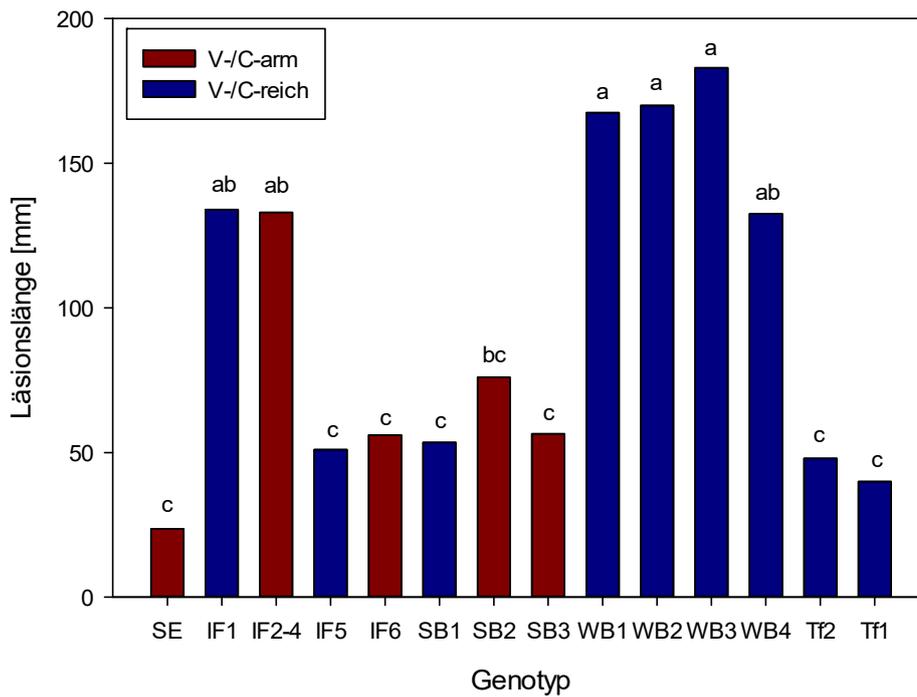


Abb. 22: Läsionslänge an der Ackerbohne in Abhängigkeit vom Genotyp, Tukey-Test $P < 0,05$, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Feldversuch Wartmannsroth 2018, 5 Wdh.)

Wartmannsroth 2019

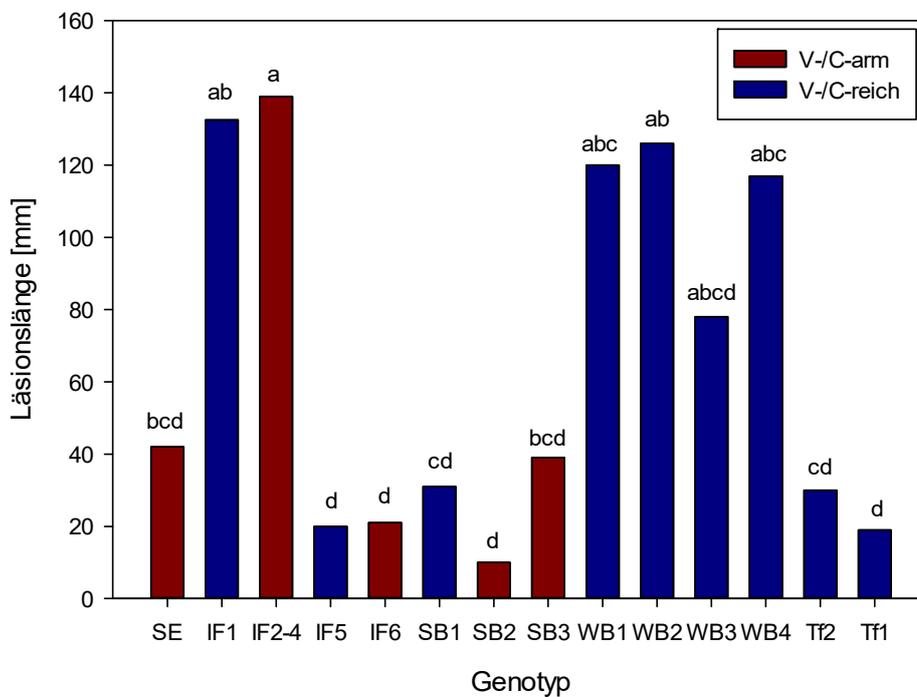


Abb. 23: Läsionslänge an der Ackerbohne in Abhängigkeit vom Genotyp, Tukey-Test $P < 0,05$, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Feldversuch Wartmannsroth 2019, 5 Wdh.)

3 Ertragsleistung und Stickstoffhaushalt von Sommer- und Winter-ackerbohnen

3.1 Einleitung

Im Vergleich zur Sommerackerbohne weist die Winterackerbohne ein deutlich höheres Ertragspotenzial auf (Tzschoch, 2017, Hof & Schmidtke, 2006). Zwei wesentliche Faktoren für Ertragsschwankungen von Sommerackerbohnen sind Trockenstress und Läusebefall. Diese Faktoren bedrohen Winterackerbohnen deutlich weniger (Link et al., 2010). Zudem lassen Winterackerbohnen höhere Vorfruchtwerte, aufgrund höherer Stickstoffmengen in den Ernterückständen und gute Ertragsleistungen selbst auf leguminosenmüden Böden erwarten.

Ergebnisse zur symbiotischen Stickstoff-Fixierleistung der Winterackerbohne liegen bisher nur aus zwei Untersuchungen im deutschsprachigen Raum vor. Sie lag hier zwischen 66 und 226 kg N ha⁻¹ (Neugschwandtner et al., 2015) und 19 und 255 kg N ha⁻¹ (Hof & Schmidtke, 2006). Ob der Anbau einer Winterform im Vergleich zu einer Sommerform aufgrund längerer Wachstumszeit und höherer Biomasse mit einer deutlich höheren symbiotischen N₂-Fixierleistung und N-Flächenbilanzsaldo einhergeht (entsprechend höherer N-Vorfruchtwert), ist bisher nicht bekannt. Um systematische Unterschiede zwischen Sommer- und Winterackerbohne hinsichtlich der leguminosenbedingten N-Flüsse analysieren zu können, wurden in den Jahren 2017 bis 2019 entsprechende Feldversuche an drei Standorten in Deutschland durchgeführt.

3.2 Material und Methoden

In den Jahren 2017 bis 2019 wurden zweifaktorielle Feldversuche (Faktoren: Anbauform und Genotyp) an drei Standorten (Reinshof bei Göttingen, Nimtitz bei Meißen und Görlitz) durchgeführt. Geprüft wurden je vier Genotypen der Winter- und Sommerackerbohne. Die Wuchsform, die Bezeichnungen der Prüfglieder und der Vicin-Gehalt im Samen sind in Tab. 10 dargestellt.

Tab. 10: Geprüfte Genotypen bzw. Sorten der Winter- und Sommerackerbohne

Form	Prüfglied	Name des Genotyps/ der Sorte	Vicin-Gehalt im Samen
Winterung	W1	If1-Hiverna	hoch
	W2	IF2-4 (75 % Winter-ackerbohnenanteil)	niedrig
	W3	WB1	hoch
	W4	WB2	hoch
Sommerung	S1	If5	hoch
	S2	If6	niedrig
	S3	SB1-Fuego	hoch
	S4	SB2-Tiffany	niedrig

Die Winterackerbohnen wurden nach erfolgter Bodenbearbeitung im Herbst 2017 und 2018 mit einer Saatstärke von 30 keimfähigen Körnern m⁻² und die Sommerackerbohnen im Frühjahr 2018 und 2019 mit einer Saatstärke von 40 keimfähigen Körnern m⁻² gesät. Der Reihenabstand betrug 30 cm und die Parzellengröße jeweils 6 m². Die Aussattermine der Ackerbohnen sind in Tab. 11 zusammengestellt.

Tab. 11: Aussattermine und Erntetermine der Winter- und Sommerackerbohnen an den Versuchsstandorten

Jahr	Standort	Aussaatermin Winterform	Aussaatermin Sommerform	Erntetermin Winterform	Erntetermin Sommerform
2017/18	Göttingen				
2017/18	Nimtitz				
2017/18	Görlitz				
2018/19	Göttingen				
2018/19	Nimtitz	17.10.		25.07.	
2018/19	Görlitz	18.10.		26.07.	

Die Gehalte an Grundnährstoffen und die pH-Werte im Boden der Versuchsstandorte in einer Tiefe von 0 bis 20 cm zum Zeitpunkt der Versuchsanlage sind in Tab. 12 dargestellt. Der Verlauf der Witterung im Versuchszeitraum an den drei Standorten ist in Tab. 13 und Tab. 14 dargestellt. Die Daten für die Standorte wurden vom DWD in Leipzig bereitgestellt.

Tab. 12: Gehalte an Grundnährstoffen und pH-Wert im Boden (0 bis 20 cm) an den Versuchsstandorten in den Jahren 2018 und 2019

Jahr	Standort	Humus	N _t	pH-Wert	P	K	Mg
		%	%		[mg je 100 g Boden]		
2018	Göttingen	2,1	0,19	7,1	10,2	18,0	9,9
	Nimtitz	2,3	0,13	6,9	6,8	11,7	7,7
	Görlitz	2,6	0,14	6,3	14,3	19,0	5,7
2019	Göttingen	2,3	0,12	6,5	5,9	15,8	9,8
	Nimtitz	2,7	0,11	6,2	6,6	24,1	7,6
	Görlitz	2,3	0,10	5,9	2,0	7,7	10,3

pH (CaCl₂), P (CAL), K (CAL), Mg (CaCl₂)

Tab. 13: Mittlere Monats- und Jahresdurchschnittstemperaturen (°C) in den Jahren 2017 bis 2019 an den Versuchsstandorten

Monat	Göttingen	Nimtitz	Görlitz	Göttingen	Nimtitz	Görlitz	Göttingen	Nimtitz	Görlitz
	2017			2018			2019		
Januar	-1,7	-3,2	-3,4	4,2	4,3	2,8	1,2	0,6	-0,2
Februar	3,3	2,6	1,6	-1,6	-2,2	-2,4	4,5	3,7	3,6
März	7,6	7,3	7,1	2,9	1,9	1,2	7,1	7,3	6,6
April	7,3	7,7	7,6	12,8	13,0	13,5	9,3	9,7	10,2
Mai	14,4	14,3	14,1	16,1	16,1	16,5	11,0	11,3	11,5
Juni	17,3	17,7	18,1	17,5	18,2	18,3	19,0	21,0	21,6
Juli	18,1	18,8	18,8	20,3	20,1	20,6	18,1	19,3	19,4
August	17,6	18,7	18,9	19,8	20,9	21,5	19,2	20,1	20,0
Sept.	13,0	13,4	13,0	14,5	15,5	16,1	13,7	14,5	14,6
Okt.	11,7	11,6	11,2	10,1	10,8	11,8	11,6	11,3	11,4
Nov.	6,0	5,6	5,3	5,6	4,6	5,2	5,6	5,8	6,4
Dez.	3,8	3,2	2,5	4,7	4,5	2,9	4,3	4,2	3,9
Jahr	9,9	9,8	9,6	10,6	10,6	10,7	10,4	10,7	10,8

Tab. 14: Monatliche und jährliche Niederschlagssumme (mm) in den Jahren 2017 bis 2019 an den Versuchsstandorten

Monat	Göttingen	Nimtitz	Görlitz	Göttingen	Nimtitz	Görlitz	Göttingen	Nimtitz	Görlitz
	2017			2018			2019		
Januar	33	48	29	95	48	49	48	72	62
Februar	32	33	38	5	7	3	14	30	35
März	38	56	53	42	35	41	54	48	48
April	27	40	52	32	48	32	34	30	15
Mai	29	10	38	26	40	17	90	53	86
Juni	125	85	53	25	18	27	65	27	41
Juli	191	117	101	34	27	37	44	22	45
August	98	63	91	24	20	18	31	41	53
Sept.	40	25	66	39	48	52	47	44	36
Okt.	48	76	86	10	32	36	47	51	50
Nov.	66	53	36	10	14	8	34	30	31
Dez.	47	49	39	88	79	68	42	26	25
Jahr	775	656	683	432	416	389	548	473	527

Zur Quantifizierung der oberirdischen Sprossmasse der Ackerbohne in den Jahren 2018 und 2019 wurden die Pflanzen zum Zeitpunkt der Druschreife auf einer Fläche von 1,5 m × 1,35 m je Parzelle bodennah mit einer Schere geerntet. Nach der Separierung und Erfassung der Teilkomponenten Unkraut, Strohmasse, Kornmasse (Waage: Denver Instrument, SI-6002, Genauigkeit ±0,01 g) der Gesamtprobe wurden alle Teilproben in einem Trockenschrank (Heraeus-Kelvitron, Typ: UT 6760) bei 55 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und der TS-Gehalt festgestellt. Für die Ermittlung der Restfeuchte des bei 55°C getrockneten Pflanzenmaterials wurden Teilproben bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Der Ermittlung der Kornmasse ging ein Drusch der von den Parzellen entnommenen Hülsen der Ackerbohne mit einem Standdrescher (Typ Saatmeister K35) voraus. Die Stängel und die Druschreste jeder Probe wurden auf eine Partikelgröße von 30 mm zerkleinert, um eine homogene und repräsentative Teilprobe zu erhalten. Zur Feststellung der Tausendkornmasse wurden je Parzelle 4 × 100 Körner abgezählt und gewogen. Die Ermittlung der Tausendkornmasse erfolgte auf Basis der Trockenmasse der Körner bei 55 °C ohne Berücksichtigung des Restfeuchtegehaltes. Zur Ermittlung des Anteils an Blättern am Spross der Ackerbohne, wurden etwa 3 bis 4 Wochen vor der Druschreife Körbe (Boden mit Metallgitter) mit einer Fläche von 0,1 m² zwischen die Pflanzen am Boden abgelegt und bei der Handernte geleert. Die so erhaltene Blattmasse wurde bei 55 °C getrocknet, gewogen und für die Berechnung des Strohanteils an der Sprossmasse der Ackerbohne berücksichtigt. Für die Feststellung des Korn- und Strohertrages wurden die untersuchten Hauptfrüchte auf der verbliebenen Fläche der Parzellen mittels Parzellenmähdrescher geerntet, die Kornmasse durch Wiegen ermittelt und eine Teilprobe bei 105°C getrocknet. Der in den Ergebnissen dargestellte Kornertrag entspricht den Werten aus dem Parzellendrusch. Der in den Ergebnissen dargestellte Strohertrag je Parzelle wurde mit Hilfe der mit der Handernte ermittelten Anteile des Strohs am Spross und den Werten des Kornertrages aus dem Parzellendrusch berechnet.

Die Bestimmung der Gehalte an Gesamtkohlenstoff und Gesamtstickstoff im Pflanzenmaterial erfolgte nach der DUMAS-Verbrennungsmethode mittels CNS-Analysators (Euro EA-Analyser der Firma Hekatech).

Für die Erfassung der N_{min}-Mengen im Boden wurden jeweils nach der Ernte der Ackerbohne je Parzelle vier gestörte Bodenproben in einer Tiefe von 0 bis 90 cm mit Hilfe eines Pürckhauer Bohrstockes entnommen. Je Einschlag wurde aus dem

Bohrstock Boden der Tiefenstufen 0 bis 30 cm, 30 bis 60 cm und 60 bis 90 cm entnommen und eine Mischprobe aus den vier Einzelproben je Parzelle gebildet. Die Proben wurden direkt nach der Entnahme aus dem Boden in Kühlbehältern verwahrt und nach der Probennahme bis zur Analyse bei -18 °C in einer Gefriertruhe gelagert. Die Analyse der Bodenproben auf Nitrat- und Ammoniumstickstoff erfolgte mittels Fließinjektionsanalyse photometrisch.

Die Schätzung der symbiotischen N₂-Fixierung der Ackerbohne wurde mittels ¹⁵N-Spurenanreicherung nach Reiter et al. (2002) durchgeführt. Dazu wurde im Herbst und im Frühjahr jeweils unmittelbar nach der Saat flächig in den Parzellen ¹⁵N-markiertes Kaliumnitrat mit einem ¹⁵N-Anreicherungsgrad von 10 at-% und entsprechend einer Menge von 2,6 mg N je m² (26 g N je ha) mit Hilfe einer Rückenspritze ausgebracht. Die Berechnung der prozentualen Anteile von symbiotischer N₂-Fixierung (N_{dfa} - nitrogen derived from the atmosphere) erfolgte nach Reiter et al. (2002).

Die statistische Auswertung der Daten wurde mit der SAS Programmversion 9.3 des SAS Institute Inc. (2013) durchgeführt. Der Test auf Normalverteilung der Daten erfolgte nach Shapiro-Wilk. Die Auswertung wurde mittels Varianzanalyse und anschließendem F-Test durchgeführt. Der anschließende multiple Vergleich der Mittelwerte erfolgte mit Hilfe des Tukey-Tests. Unbalancierte Datensätze wurden mit Hilfe des Scheffé-Tests ausgewertet. Signifikante Unterschiede zwischen den getesteten Varianten wurden, wenn nicht anders angegeben, für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha < 0,05$ ermittelt und sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet. Alle graphischen Darstellungen wurden mit dem Programm SigmaPlot, Version 12.5 (Systat Software Inc. 2013) erstellt.

3.3 Ergebnisse und Diskussion

Kornertrag

Der Vicin-Gehalt im Samen der geprüften Ackerbohnen zeigte keine einheitliche Tendenz hinsichtlich der Kornertragsleistung der Bestände (Abb. 24). Nur in zwei von insgesamt 12 Fällen war bei Genotypen mit einem geringeren Gehalt an Vicin im Samen eine geringere Ertragsleistung als mit höherem Gehalt an Vicin ermittelt worden: Winterackerbohne am Standort Göttingen in 2018 (Genotyp IF2-4 versus WB1) sowie Sommerackerbohne am Standort Görlitz (Genotypen IF6 und SB2 versus

IF5 und SB1). Im Versuchsjahr 2018 erwiesen sich in vielen Fällen die Sommerackerbohnen ertragsstärker als die Winterackerbohnen (signifikante Effekte: 4 Sommerackerbohnen im Vergleich zu 3 geprüften Winterackerbohnen, Görlitz: 2 von 4 geprüften Sommerackerbohnen im Vergleich zu allen 4 geprüften Winterackerbohnen, Göttingen: 2 von 4 geprüften Sommerackerbohnen im Vergleich zu allen 2 geprüften Winterackerbohnen). Es war im Jahr 2018 hingegen kein Fall einer signifikant höheren Ertragsleistung einer Winterackerbohne gegenüber einer Sommerackerbohne zu verzeichnen. Im zweiten Versuchsjahr 2019 (Abb. 24) fielen die Ertragsleistungen der Winterackerbohnen in der Regel besser als in 2018 aus. Allerdings war hier nur in einem Fall (Standort Nimtitz) beim Winterackerbohnen Genotyp WB1 ein signifikant höherer Kornertrag im Vergleich zu drei von vier geprüften Genotypen der Sommerackerbohne zu verzeichnen.

Gleichzeitig war im Jahr 2019 am Standort Görlitz bei zwei Genotypen der Sommerackerbohne (IF6 und SB1) ein gegenüber allen 4 geprüften Genotypen der Winterackerbohne signifikant höherer Kornertrag ermittelt worden. Die Kornertragsleistungen der Ackerbohnen fielen in den Jahren 2018 und 2019 insgesamt mit Werten zwischen 6 dt TM/ha und 40 dt TM/ha vergleichsweise gering aus. Hierzu dürfte vor allem die vergleichsweise geringen Jahresniederschläge und hohen Temperaturen an allen 3 Prüfstandorten beigetragen haben, die in den Versuchsjahren herrschten (Tab. 13 und Tab. 14). Trotz ausgeprägter Frühjahrs- und Sommertrockenheit konnten die Winterackerbohnen ihr bei Tzschoch (2017) ermittelte tieferes Durchwurzelungsvermögen und vorgezogenes Wachstum im zeitigen Frühjahr im Vergleich zu Sommerackerbohnen in den hier geprüften Umwelten in der Regel nicht für die Bildung höherer Kornertragsleistungen umsetzen, da sie in diesen Fällen, im Gegensatz zur von Tzschoch (2017) geprüften Umwelt, nur eine unzureichende Überwinterung realisieren konnten.

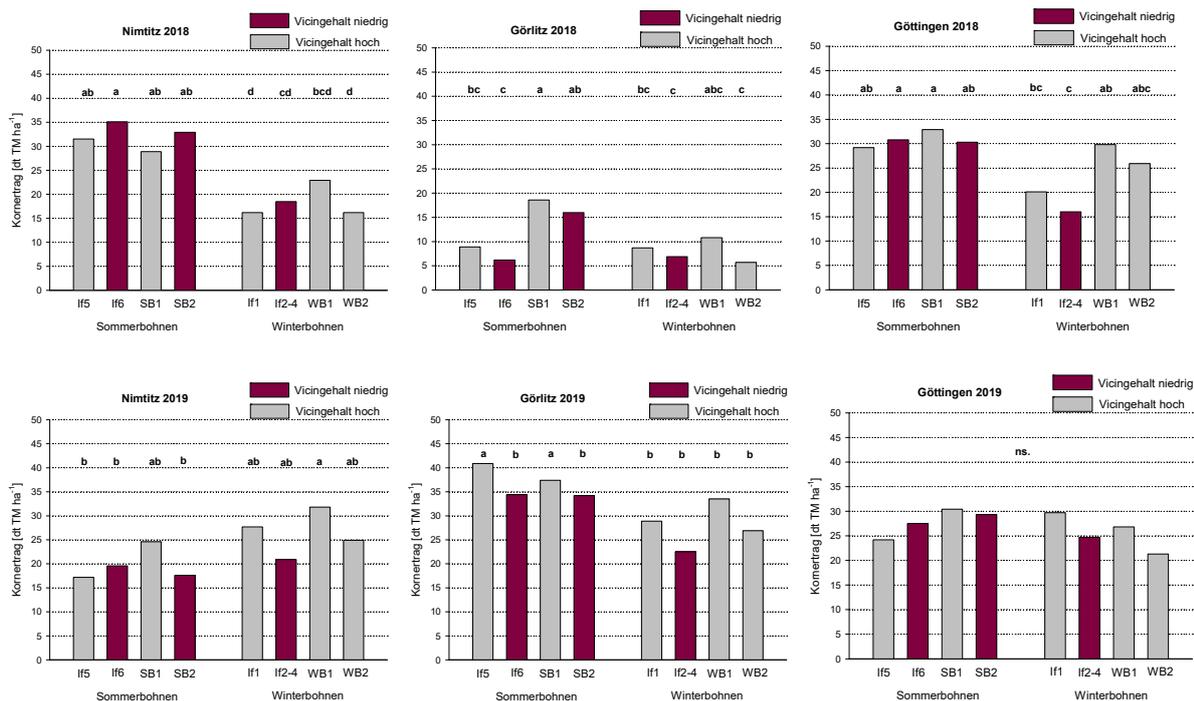


Abb. 24: Kornertragsleistung verschiedener Genotypen mit geringem versus hohem Gehalt an Vicin im Samen der Winter- und Sommerackerbohne auf drei Standorten in 2018 und 2019

Sprossertrag

Im Vergleich zu den Kornerträgen waren zwischen den geprüften Genotypen hinsichtlich Gehalt an Vicin im Samen, Winter- und Sommerform und zwischen den Umwelten deutlich geringere Unterschiede im Spross-Trockenmasseertrag der Ackerbohnenbestände festzustellen (Abb. 25). So traten in Nimtitz (2018) und Görlitz (2019) zwischen den Genotypen der Ackerbohnen im Sprossertrag keine signifikanten Unterschiede auf. Dieses gilt analog auch in allen Prüfumwelten innerhalb der Sommer- bzw. Winterform der Ackerbohnen hinsichtlich des Vergleiches der Genotypen mit geringem versus hohem Gehalt an Vicin im Samen, so dass geschlussfolgert werden kann, dass der Gehalt an Vicin im Samen keinen Einfluss auf den Sprossertrag der Ackerbohne hatte. Während im Jahr 2018 bei Sommerackerbohnen signifikant höhere Sprosserträge im Vergleich zu einzelnen Winterackerbohnen zu verzeichnen waren (Görlitz 2018: SB1 und SB 2 versus 3 von 4 Genotypen der Winterackerbohnen, Göttingen 2018: SB1 gegenüber den Winterackerbohnen IF 1 und IF2-4), erwiesen sich im Jahr 2019 an zwei Standorten Winterackerbohnen als ertragsstärker im

Hinblick auf den Sprossertrag (Nimtiz 2019: WB1 versus SB2, Göttingen 2019: WB1 gegenüber 3 von 4 Sommerackerbohnen). In vielen, jedoch nicht allen geprüften Umwelten zeigten die Sommerackerbohnen genotypen SB1 und SB2 und der Winterackerbohnen genotyp WB1 die höchsten Korn- und Sprossertragsleistungen innerhalb der Sommer- bzw. Winterform.

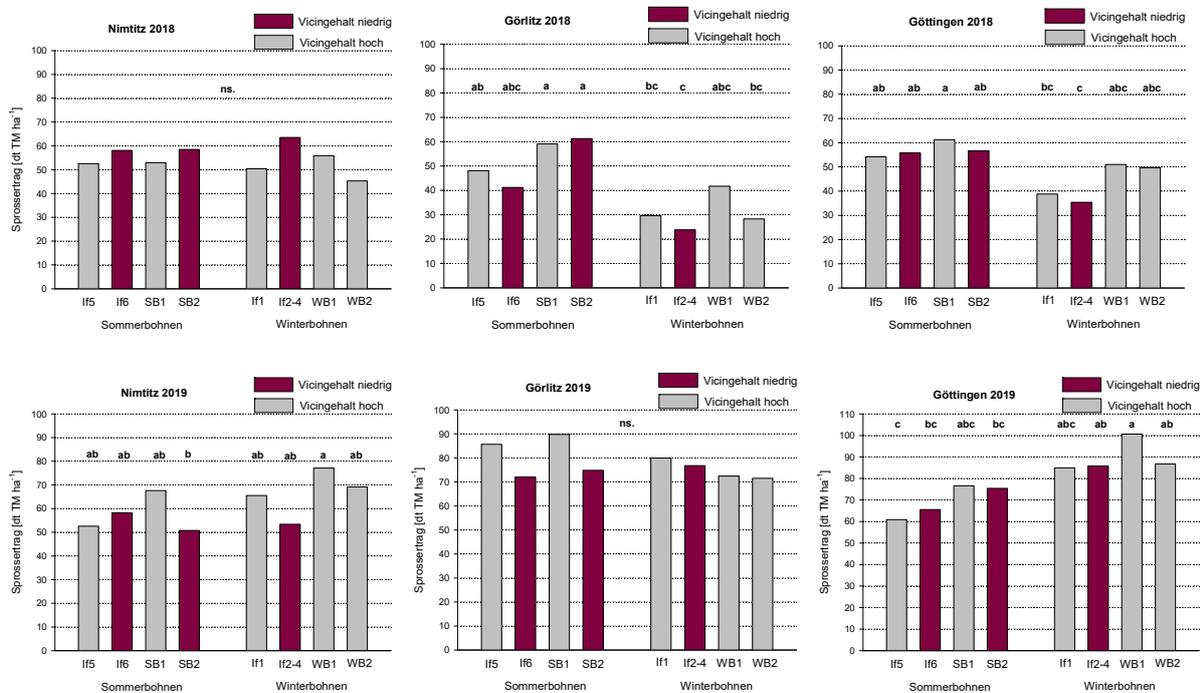


Abb. 25 Spross-Trockenmasseertrag verschiedener Genotypen mit geringem versus hohem Gehalt an Vicin im Samen der Winter- und Sommerackerbohne auf drei Standorten in 2018 und 2019

Anteil Stickstoff aus der Luft (Ndfa)

In der Sprossmasse des zeitgleich mit den Ackerbohnen als Referenzfrucht angebauten Winter- und Sommerweizen wurde die Zusammensetzung der stabilen N-Isotope parallel zur Sprossmasse der Ackerbohnen untersucht, um hieraus den Anteil Stickstoff, der über die symbiotische N₂-Fixierleistung der Ackerbohnen aus der Luft aufgenommen wurde, zu schätzen (vgl. Reiter et al. 2002). Mit Ausnahme des Standortes Göttingen im Jahr 2019, auf dem zwischen Referenzfrucht und Ackerbohne zu geringe Differenzen in der N-Isotopenzusammensetzung festzustellen waren, gelang es in allen Fällen valide Schätzergebnisse zu gewinnen. Im Jahr 2018 lag der Anteil Stickstoff aus der Luft in den Ackerbohnen zwischen 31 % (Görnitz Genotyp If2-4) und 61 % (Göttingen Genotyp If5). Signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen der Sommer- und Winterform waren allerdings am jeweiligen Standort nicht

signifikant. Anders verhielt es sich im Jahr 2019: Hier lag der Anteil Stickstoff aus der Luft in der Sprossmasse der Winterackerbohne WB2 mit 59 % am Standort Nimitz signifikant höher als bei der Sommerackerbohne SB1. Auch am Standort Görlitz lag dieser Wert mit 69 % bei der Winterackerbohne WB1 signifikant über dem Wert der Sommerackerbohne IF6. Diese signifikanten Unterschiede spiegeln in diesem Jahr insgesamt sehr gut wider, dass alle Winterackerbohnen einen höheren Anteil N aus der Luft aufgenommen hatten als es jeweils bei den Sommerackerbohnen der Fall war.

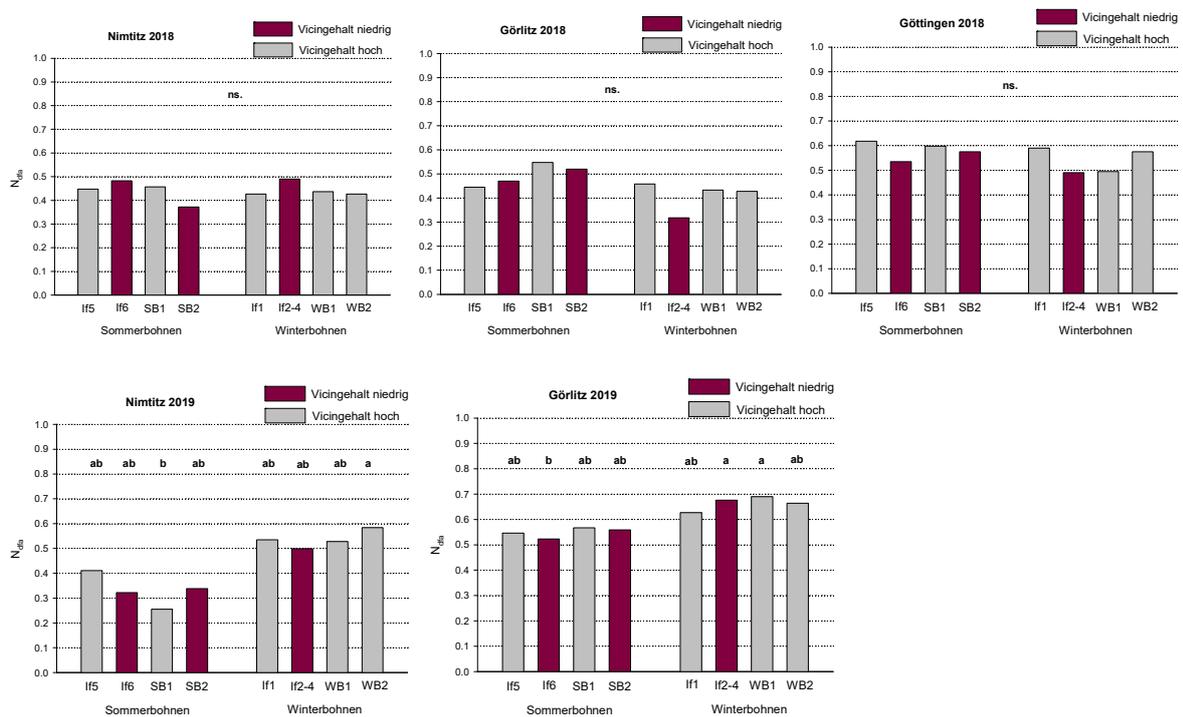


Abb. 26 Anteil Stickstoff aus der Luft (Ndfa) in der Sprossmasse der geprüften Winter- und Sommerackerbohnen in 5 Umwelten

Symbiotische N₂-Fixierung

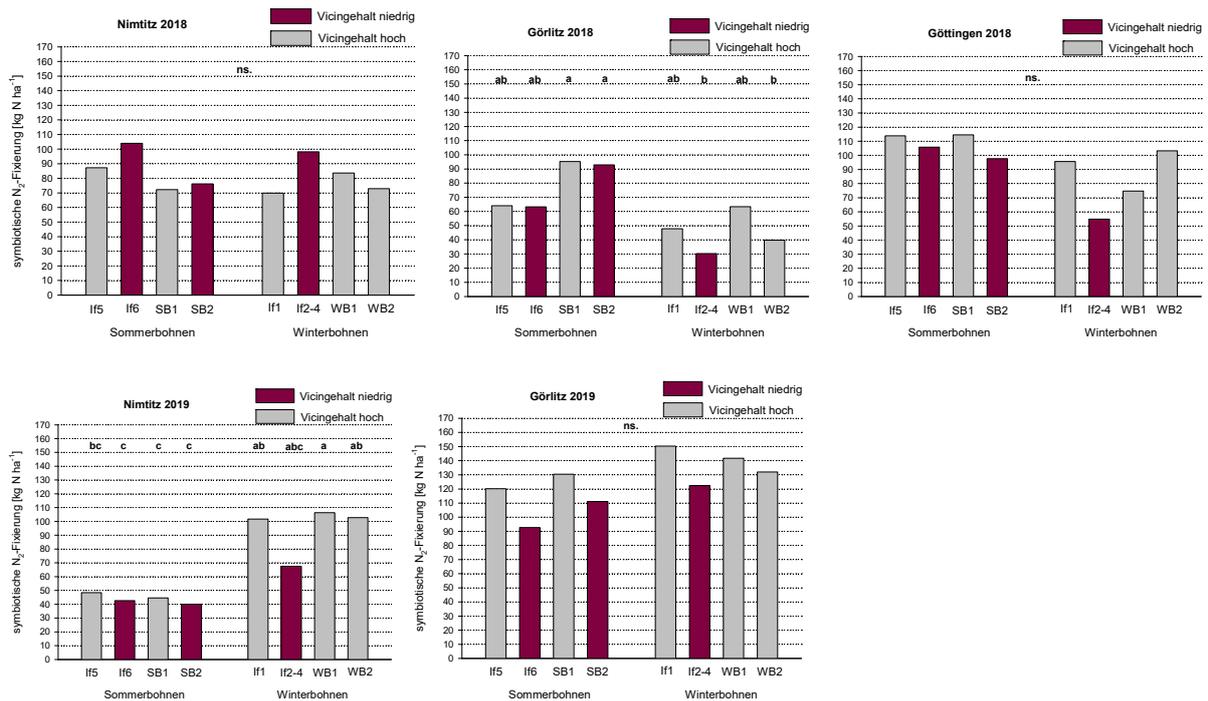


Abb. 27: Im Spross der Ackerbohnen genotypen akkumulierte Stickstoffmenge aus der Luft (symbiotische N₂-Fixierleistung der Ackerbohnen) in 5 Umwelten

Mit Hilfe der in der Sprossmasse der Ackerbohne enthaltenen N-Menge und des darin enthaltenen Anteils aus der Luft (Abb. 26) wurde die im Spross der Ackerbohnen enthaltene symbiotisch fixierte N-Menge berechnet. Die Angaben hierzu sind in Abb. 27 enthalten. Es war insgesamt eine große Spannweite der symbiotisch fixierten N-Menge zwischen den Genotypen und Standorten zu verzeichnen, die zwischen nur 30 kg N/ha (Görlitz 2018, Winterackerbohne If2-4) und 150 kg N/ha (Görlitz 2019, Winterackerbohne If1) reichte. In drei von fünf Umwelten waren keine Unterschiede in der Höhe der symbiotisch fixierten N-Menge zwischen den Genotypen der Sommer- und Winterackerbohne festzustellen (Nimitz und Göttingen im Jahr 2018, Görlitz 2019), die signifikant waren. Hingegen überstieg die symbiotische N₂-Fixierleistung von zwei Sommerackerbohnen (SB1 und SB2) die der Winterformen (If2-4 und WB2) am Standort Görlitz in 2018 signifikant. Im darauffolgenden Jahr trat am Standort Nimitz ein gegenteiliger Effekt auf: Alle vier Winterackerbohnen waren in der Lage deutlich mehr Stickstoff symbiotisch zu fixieren als die Sommerackerbohnen. Die Unterschiede waren in vielen Fällen auch als signifikant ausweisbar. In keinem Fall war hingegen innerhalb einer Umwelt und Anbauform eine signifikant unterschiedlich hohe

symbiotische N₂-Fixierleistung der Ackerbohnen zwischen Ackerbohnen mit geringem versus hohem Gehalt an Vicin im Samen zu verzeichnen.

3.4 Prüfung neuer Winter-Genotypen 2018/2019

Der „Diversitätssatz 2“ enthielt die Genotypen des „Diversitätssatz1“, welcher die Genotypen der „Isogene Familie“ enthielt. Das Ziel war dabei, möglichst viele Resultate von denselben Ackerbohnen-Genotypen zu erlangen, obwohl aus Kapazitätsgründen und wegen der Unterschiede in den Einzelfragen nicht alle Merkmalerfassungen mit allen Genotypen durchgeführt werden konnten. Die Genotypen zur Züchtung einer ersten V+C-armen Winterbohne wurden als „Zuchtmaterial“ bezeichnet. Diese Genotypen wurden im Projekt entwickelt und auf agronomische Eigenschaften im dritten Projektjahr (2018/2019) geprüft (N = 12 Prüfglieder). Die 12 geprüften Genotypen sind in Tab 15.

Tab. 15: Charakterisierung der geprüften 12 Genotypen des Zuchtmaterials

Prüfglied	Genotyp	Vicin-Gehalt
1	Hiverna PG3	hoch
2	S_062 PG4	hoch
3	29h PG2	hoch
4	29H x H PG 1	hoch
5	BC 1 (F6) MHH 2 PG12	niedrig
6	BC1F6 MHH-1 PG11	niedrig
7	BC2F3Wibo x MHH Wn_2 PG9	niedrig
8	BC2F3 Wibo x MHH Sn_1 PG5	hoch
9	BC3F3 Wibo x MHH x Hwn1 PG10	niedrig
10	BC3F3 Wibo x MHH x Hsn_3 PG7	hoch
11	BC3F3 Wibo x MHH Hsn_4 PG8	hoch
12	BC2F3Wibo x MHH Sn_2 PG6	hoch

Mangels Saatgutverfügbarkeit konnten je Standort und Genotyp nur zwei Parzellen mit einer Flächengröße von 5 m² und einer Saatstärke von 22 Körner je m² angelegt werden.

Die Winterackerbohnen genotypen wurden an den Standorten Nimtitz (Aussaattermin: 17.10.2018/Erntetermin: 25.07.2019), Görlitz (Aussaattermin: 18.10.2018/Erntetermin: 26.07.2019) und Göttingen (Aussaattermin Oktober 2018/Erntetermin: Juli 2019) geprüft. Der Feldaufgang der Bestände wurde am 10.12.2018 in Nimtitz, 11.12.2018 in Görlitz und 05.12.2018 in Göttingen erfasst, wobei jeweils die gesamte

Parzellenfläche bonitiert wurde. Am Standort in Nimtitz und Görlitz wurde die Anzahl erfolgreich überwinteter Ackerbohnen am 21.03.2019 erhoben.

Der Feldaufgang der Ackerbohnen genotypen erwies sich an den Standorten Nimtitz und Göttingen mit Werten zwischen 56 % (Nimtitz Genotyp 3, Göttingen Genotyp 7) und 89 % (Nimtitz Genotyp 10) bzw. 85 % (Göttingen, Genotyp 5) als relativ hoch (Abb. 28 und Abb. 30). Es waren hier auch signifikante Unterschiede im Feldaufgang zwischen den Genotypen zu verzeichnen (Nimtitz Genotyp 3 versus Genotyp 10, Göttingen Genotyp 7 versus Genotyp 5). Am Standort Görlitz fiel der Feldaufgang der Winterackerbohnen genotypen mit Werten zwischen 38 und 65 % deutlich geringer und ohne signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen aus (Abb. 29).

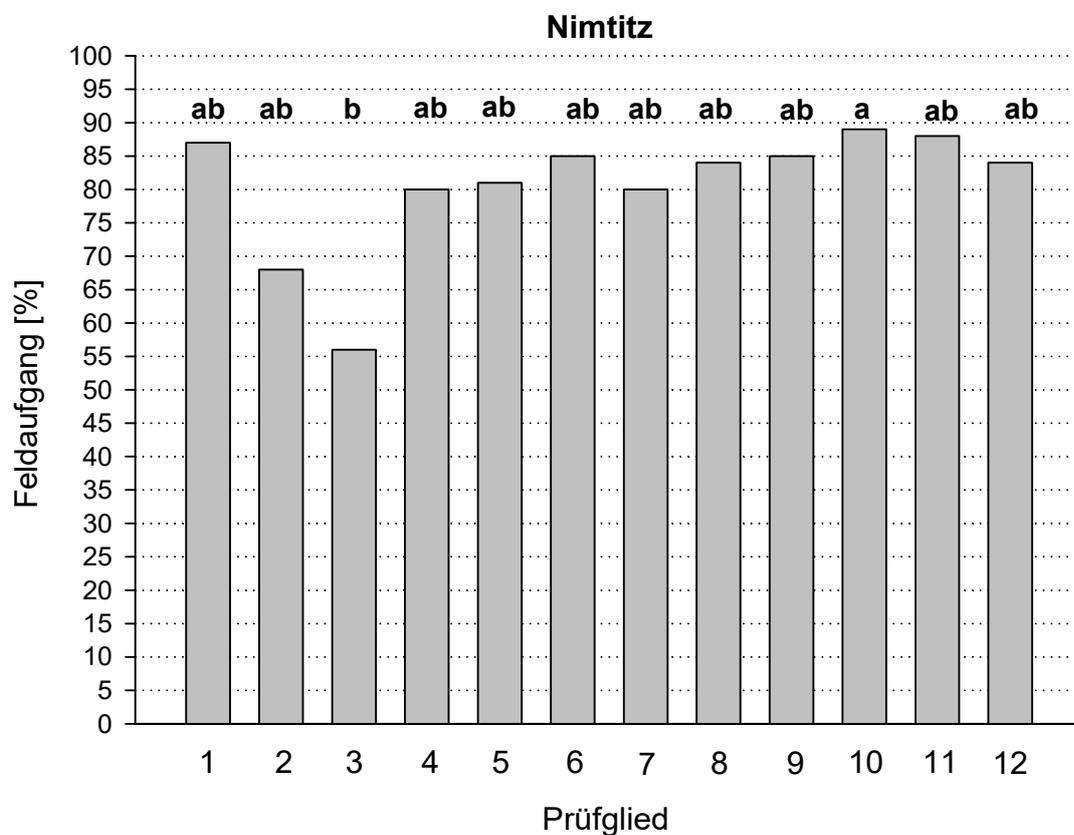


Abb. 28: Feldaufgang von 12 Winterackerbohnen genotypen am Standort Nimtitz

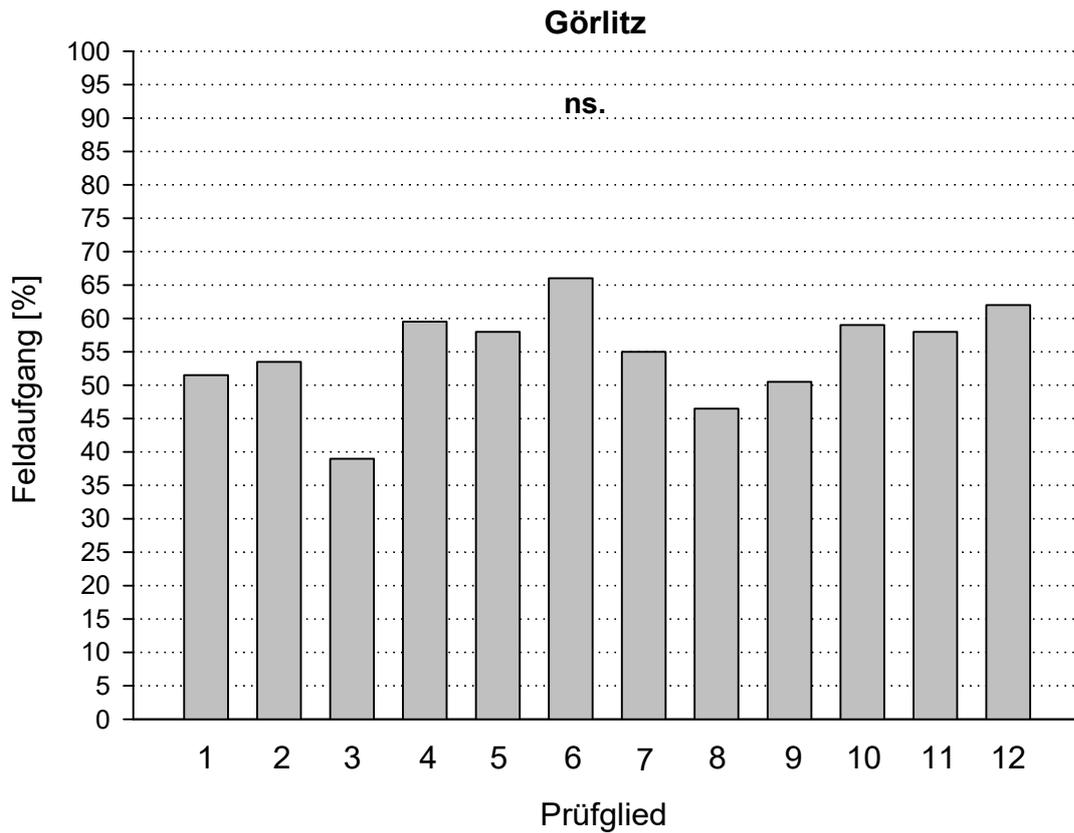


Abb. 29: Feldaufgang von 12 Winterackerbohnen genotypen am Standort Görlitz

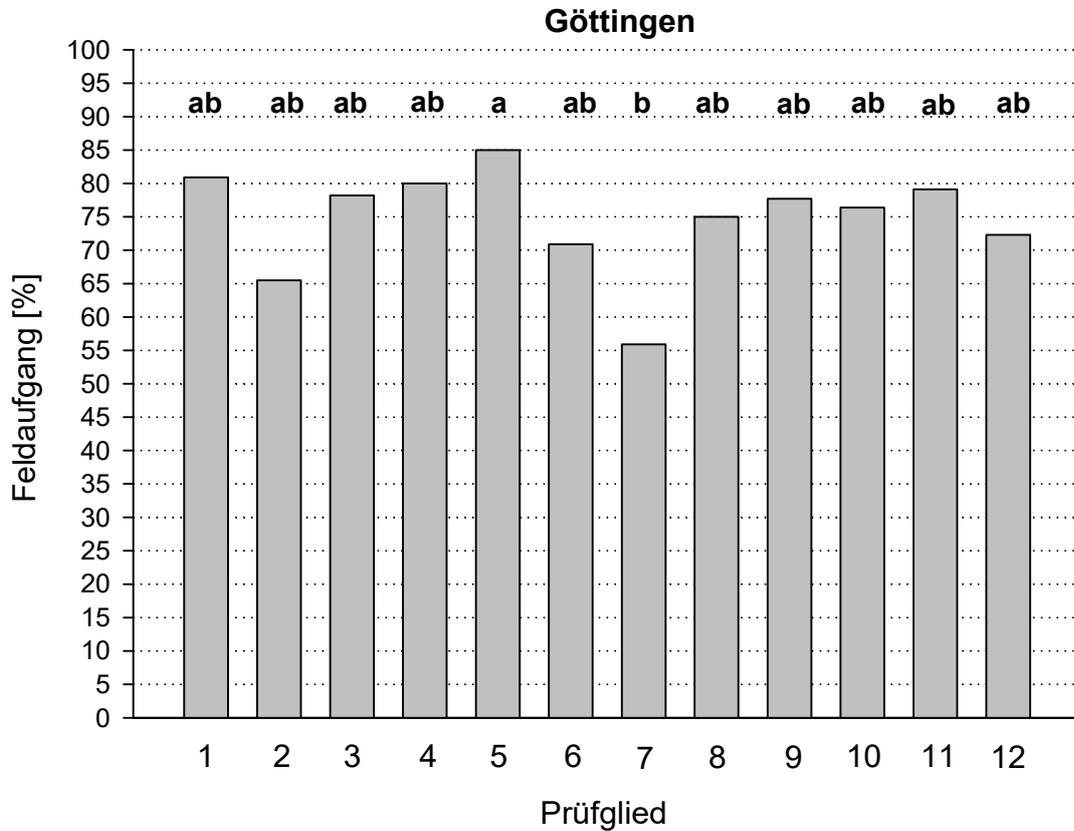


Abb. 30: Feldaufgang von 12 Winterackerbohnen genotypen am Standort Göttingen

Die Winterackerbohnen überwinteren im Winter 2018/2019 an der Standorten Nmin- titz und Görlitz mit mittleren Überwinterungsraten von ca. 90% bzw. 97 % sehr gut (Abb. 31 und Abb. 32). Signifikante Differenzen in der Überwinterungen waren zwi- schen den Genotypen allerdings nicht zu verzeichnen.

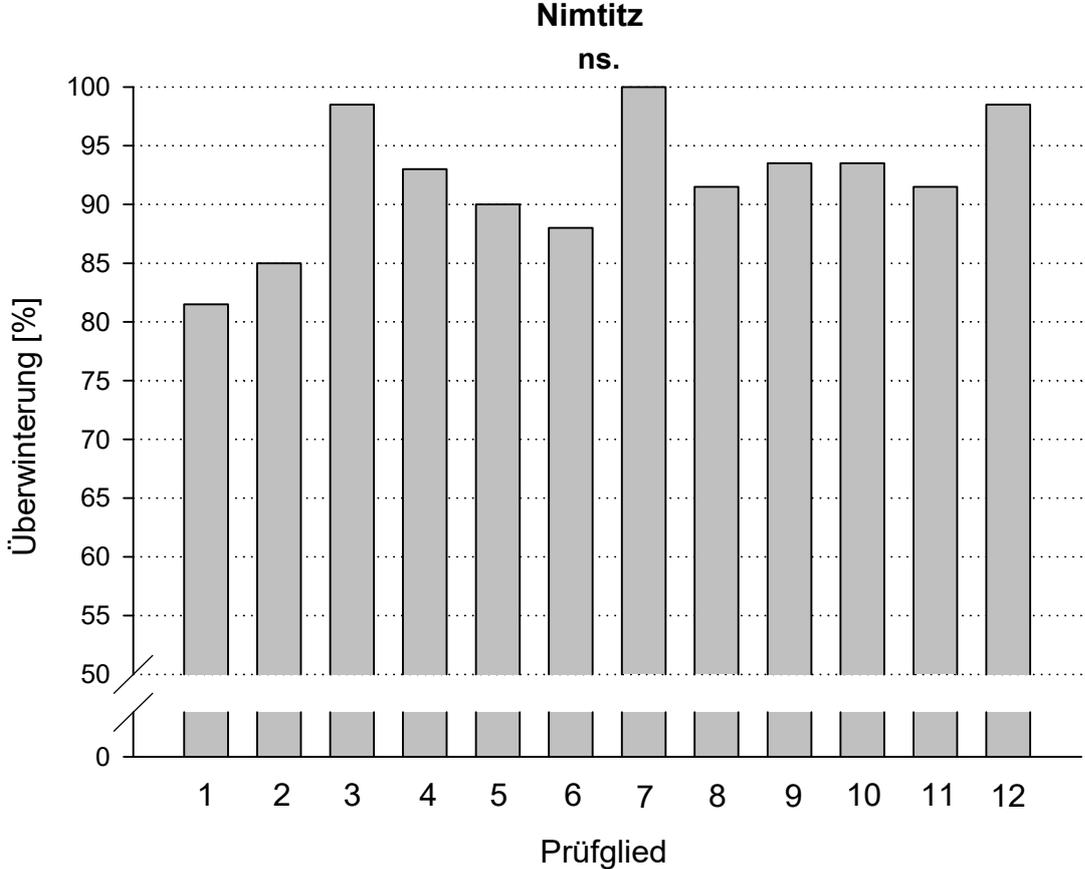


Abb. 31: Anteil erfolgreich überwinterter Pflanzen von 12 verschiedenen Winterackerbohnen-Genotypen am Standort Nimtitz

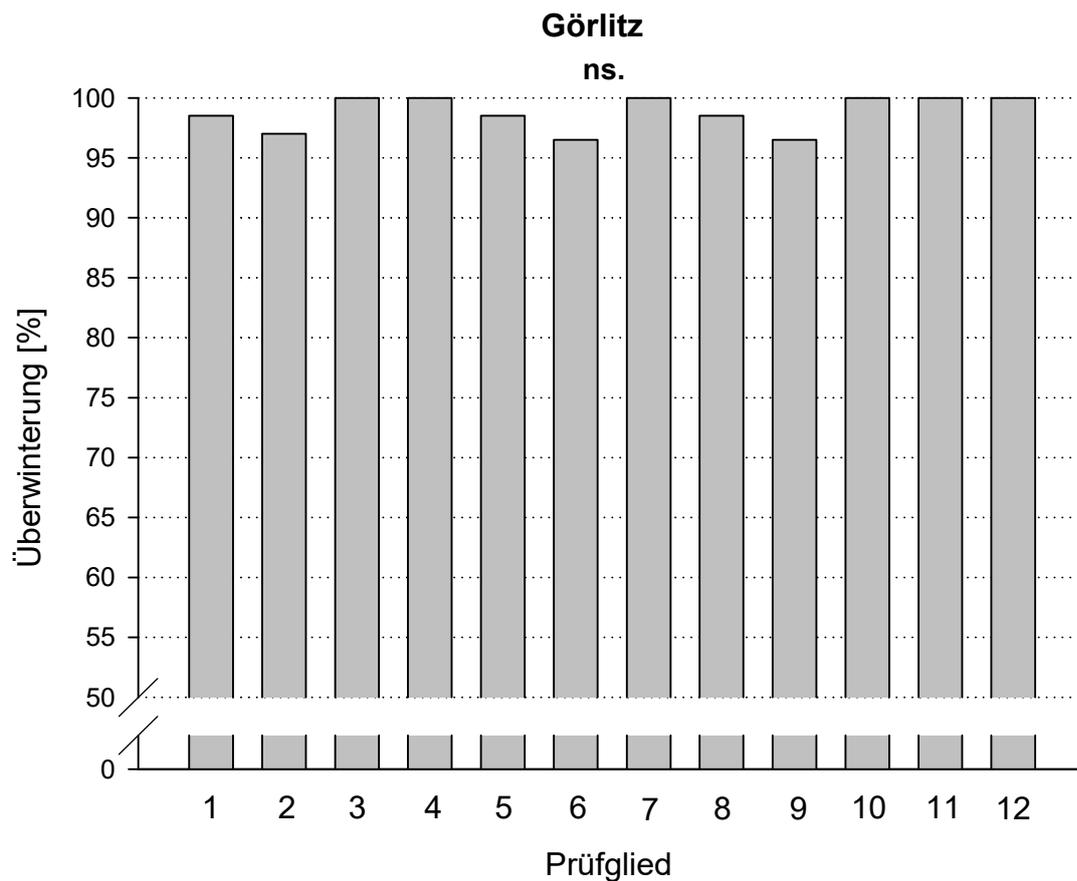


Abb. 32: Anteil erfolgreich überwinterter Pflanzen von 12 verschiedenen Winterackerbohningentypen am Standort Görlitz

Zur näheren Charakterisierung der geprüften Genotypen wurde auch die mittlere Wuchshöhe der Pflanzen zum Ende der Blüte erfasst. Es zeigte sich hierbei tendenziell, dass die Genotypen 2 und 3 in der Regel eine geringere Wuchshöhe als der Genotyp 12 aufwiesen (Abb. 33 bis Abb. 35). Diese Unterschiede fielen allerdings nicht an allen Standorten markant aus.

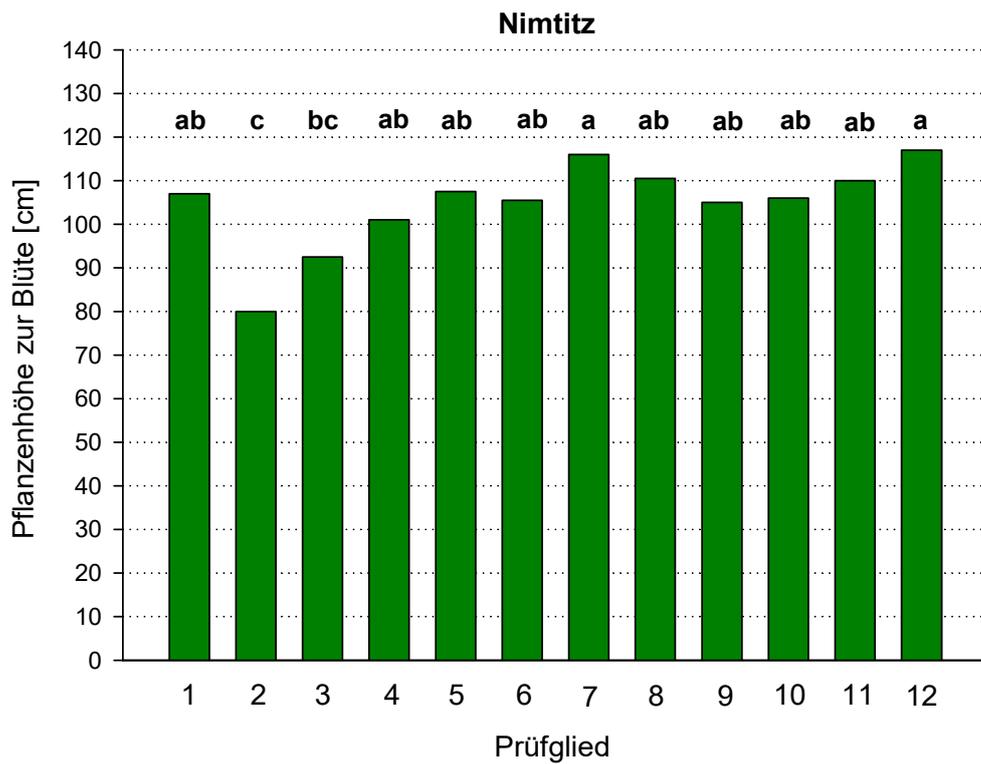


Abb. 33: Mittlere Wuchshöhe 12 verschiedener Winterackerbohningentypen zur Blüte am Standort Nimtitz

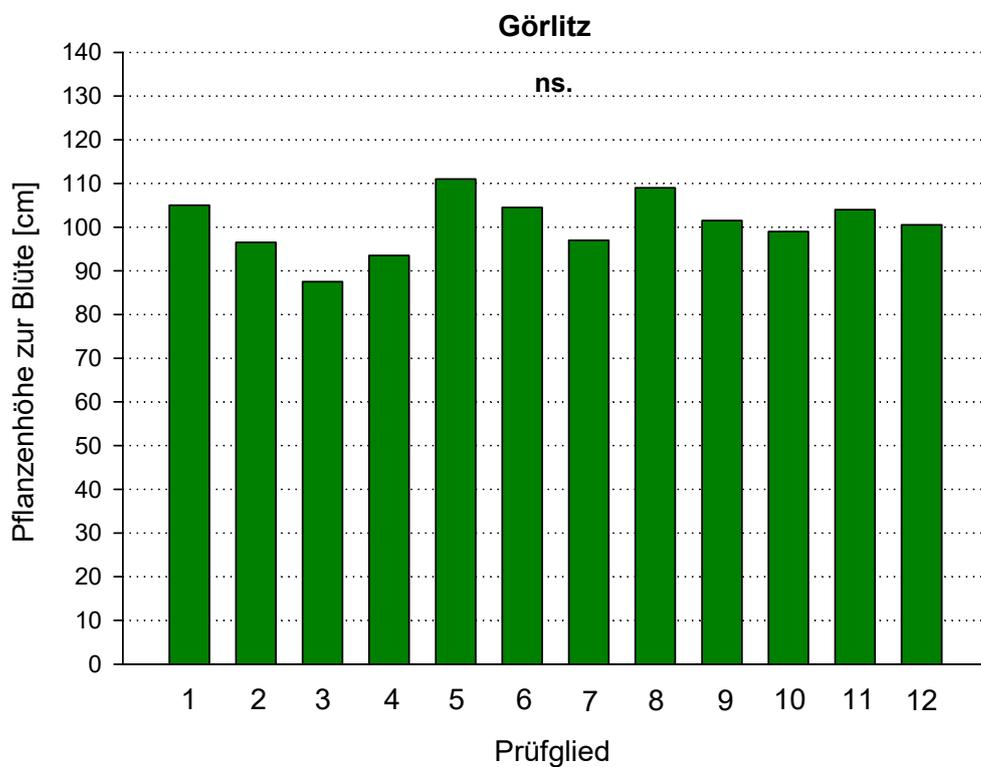


Abb. 34: Mittlere Wuchshöhe 12 verschiedener Winterackerbohningentypen zur Blüte am Standort Görlitz

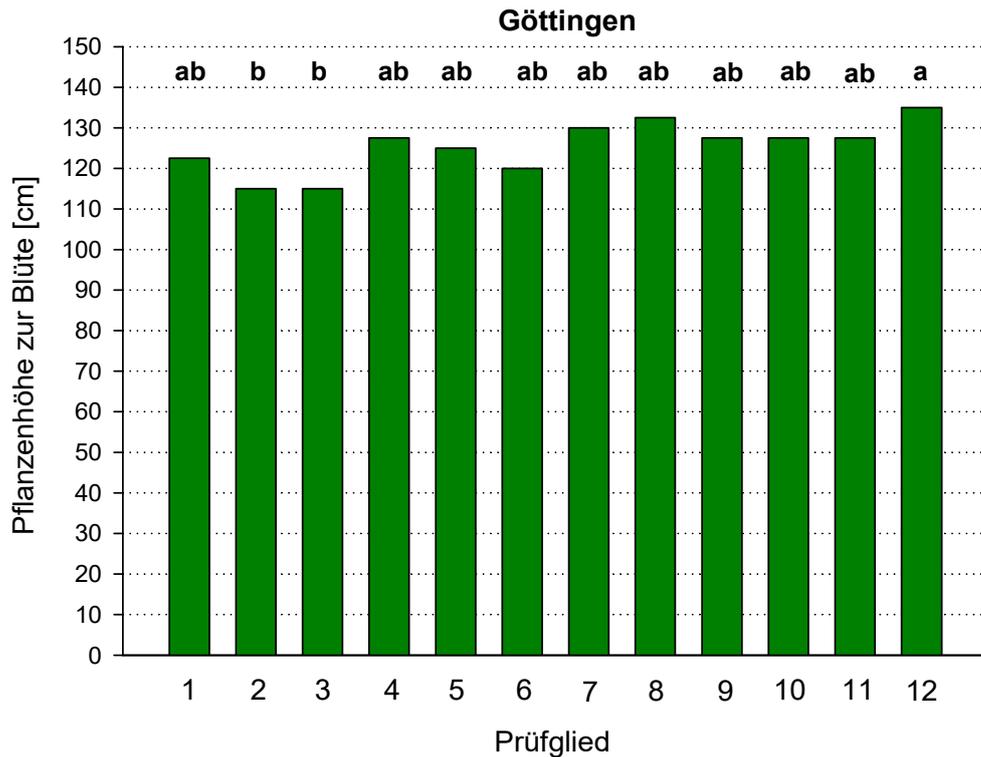


Abb. 35: Mittlere Wuchshöhe 12 verschiedener Winterackerbohnergentypen zur Blüte am Standort Göttingen

Große Unterschiede wiesen die Genotypen auch hinsichtlich des Kornertrages auf (Abb. 36 bis Abb. 38), auch wenn diese nur in einem Fall (Nimtitz Genotyp 3 versus Genotyp 12) sich als signifikant erwies, da jeweils nur 2 Feldwiederholungen angelegt werden konnten. An den Standorten Nimtitz und Görlitz erwiesen sich die Genotypen 7 und 12 als relativ ertragsstark, die Genotypen 2 und 3 als relativ ertragsschwach, während diese Unterschiede am Standort Göttingen weniger ausgeprägt ausfielen. Ein Zusammenhang zwischen dem Vicin-Gehalt im Samen und einem der hier geprüften Parameter der Winterackerbohnen konnte nicht nachgewiesen werden.

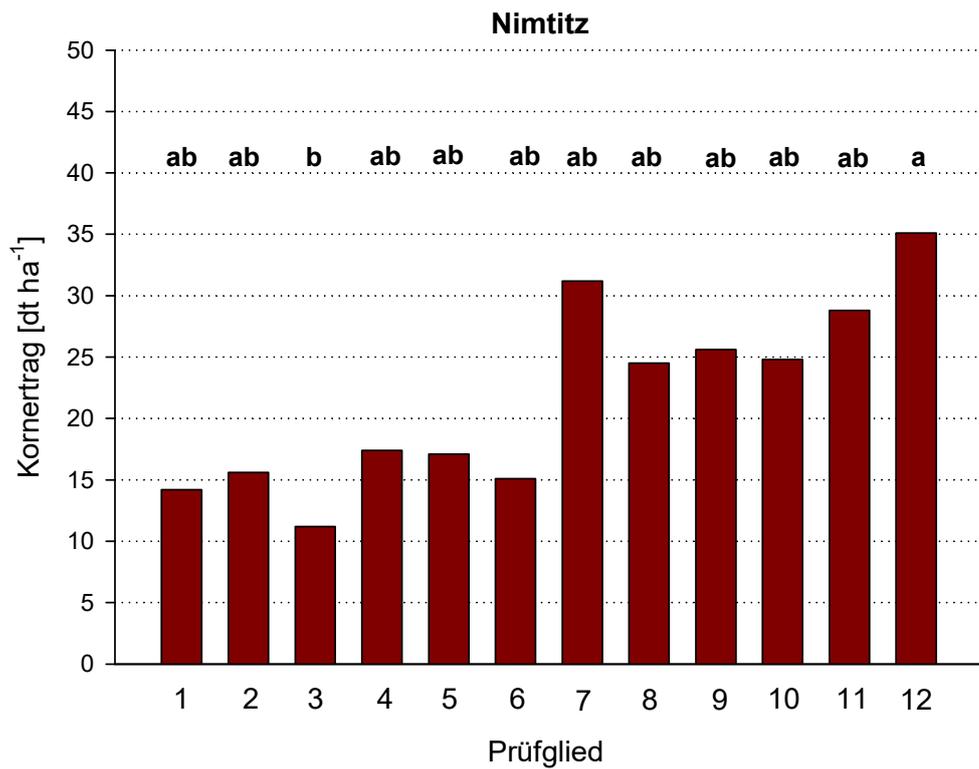


Abb. 36: Kornertrag der 12 verschiedenen Winterackerbohnen genotypen zur Druschreife am Standort Nimtitz

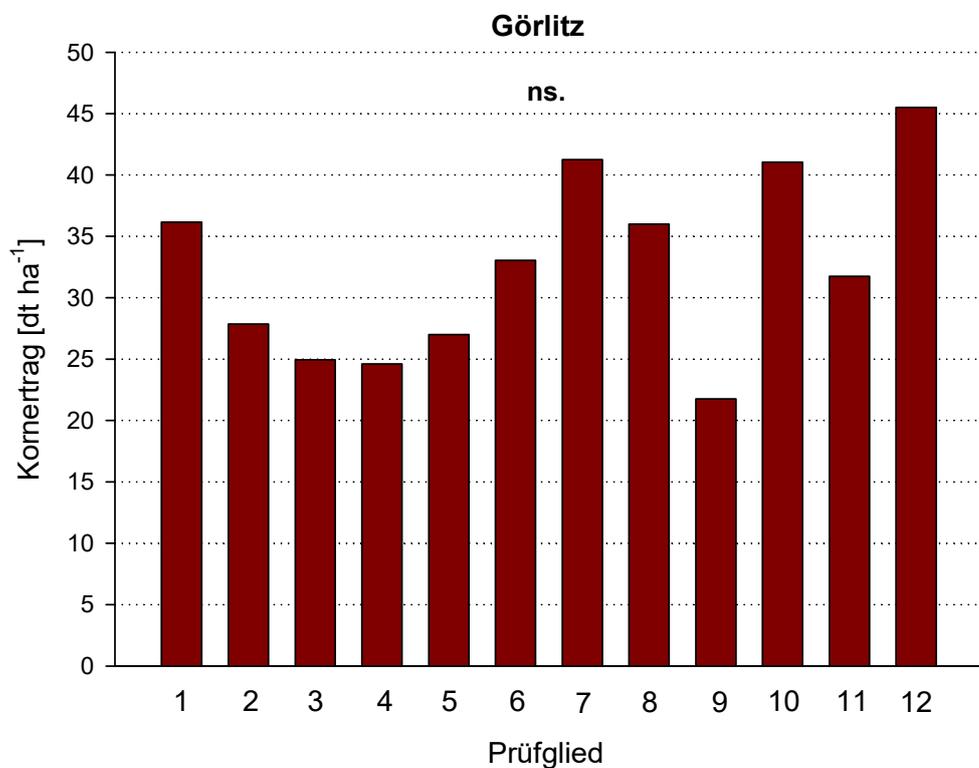


Abb. 37: Kornertrag der 12 verschiedenen Winterackerbohnen genotypen zur Druschreife am Standort Görlitz

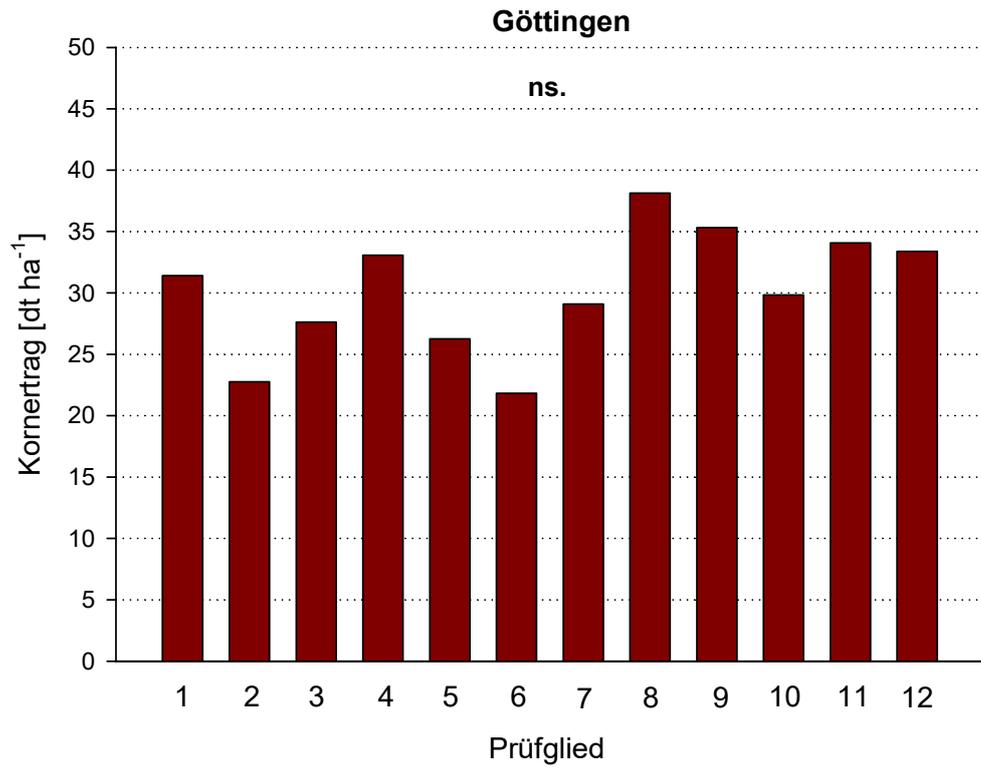


Abb. 38: Kornertrag der 12 verschiedenen Winterackerbohnnengenotypen zur Druschreife am Standort Nimitz

4 Wurzelwachstum und Wasserpotential im Blatt von Sommer- und Winterackerbohnen

4.1 Einleitung

Zu den vielfach belegten hohen Ökosystemdienstleistungen der Sommerackerbohne zählen eine hohe symbiotische N₂-Fixierleistung, eine gesteigerte stickstoffbedingte Vorfruchtwirkung und Bodenfruchtbarkeit sowie eine Reduktion des Verbrauchs fossiler Energieträger und die Erhöhung der Agrobiodiversität und Unkrautunterdrückung (Köpke & Nemecek, 2010). Der geringe Anbauumfang der Ackerbohne ist ackerbaulich vor allem durch deren vergleichsweise geringe Fähigkeit zur Wasseraneignung aus dem Unterboden (Müller et al., 1985; Kage und Ehlers, 1996) und durch ihre sensible Reaktion auf geringe Luft- und Bodenfeuchte begründet (Stomataschluss bereits bei geringem Wasserdefizit; Müller et al., 1986). Trockenstress zum Zeitpunkt des Hülsenansatzes führt in der Regel zu einem deutlichen Rückgang des Kornertrages, fallweise um mehr als 50% (Mwanamwenge et al., 1999). Winterackerbohnen haben zu dieser kritischen Entwicklungsphase einen Vegetationsvorsprung vor Sommerackerbohnen, weil deren Aussaatzeitpunkt bereits im Herbst des Vorjahres erfolgt und sie im Frühjahr bereits deutlich weiterentwickelt sind, als die Sommerackerbohne (Tzschoch 2017). Die Winterackerbohne erreicht das Stadium der Blüte und Hülsenfüllung zwei bis vier Wochen zeitiger als die Sommerackerbohne, so dass sie einem verminderten Wasserangebot am Standort zeitlich stärker ausweichen kann. Gleichzeitig bildet die Winterackerbohne ein tiefer reichendes Wurzelsystem und eine größere Wurzellängendichte aus als die Sommerackerbohne, so dass ihr Wasseraneignungsvermögen vermutlich signifikant besser ist (Tzschoch, 2017). Wurzeltiefenwachstum und entsprechende Wasseraneignung sind bei der Winterackerbohne im Vergleich zur Sommerbohne im Feld bisher kaum untersucht worden (Tzschoch, 2017). Von Herzog & Geisler (1991) durchgeführte Untersuchungen zur Kornertragsleistung von Winter- und Sommerackerbohne zeigten eine um 14 %-Punkte höhere Kornertragsleistung der Winterform im Vergleich zur Sommerform der Ackerbohne, was vermutlich auch damit zusammenhing, dass die Winterackerbohne einem geringeren Wasserstress ausgesetzt war. Tzschoch, (2017) wies im Mittel von zwei Winter- und Sommerackerbohnsorten ein um 20 dt TM/ha höheren Kornertrag bei der Winterform nach, die gut überwintert hatten.

4.2 Material und Methoden

Das Wasserpotenzial in der Ackerbohne wurde mit Hilfe einer Druckapparatur nach Scholander et al. (1965) ermittelt („Scholander Druckbombe“ Typ: SKPM 1400 series der Firma Skye Instruments Ltd.). Der mit der mobilen Druckkammer gemessene Druck bis zum Wasseraustritt aus dem Blattstiel entsprach dem im Xylem der Ackerbohne vorherrschenden Wasserpotential (Xylemspannung) und kann in erster Näherung dem Blattwasserpotential gleichgesetzt werden. Die Messung erfolgte am jüngsten vollentfalteten Blatt der Ackerbohne, welches abgetrennt und unmittelbar danach in die Druckkammer gespannt wurde. Dabei ragt der Blattstiel durch eine Gummidichtung aus der Kammer heraus. Die Abdichtung zwischen Stiel und Gummidichtung erfolgte mit Hilfe einer Knetmasse. Die Druckkammer wurde mit Luft gefüllt und der Druck so lange erhöht, bis an der Anschnittstelle des Blattstiels der Ackerbohne mit Hilfe einer Lupe der Austritt eines Wassertropfens das Xylemwasser austrat. Zu diesem Zeitpunkt wurde die Luftzufuhr unterbrochen und der Druck konnte durch ein angeschlossenes Manometer abgelesen werden. Dieser gemessene Überdruck entspricht (mathematisch als additives inverses Element) dem Gesamtwasserpotential Ψ in der Ackerbohne, welches den energetischen Zustand des Wassers im Blattxylem kennzeichnet (Meyer, 1984).

Um Wurzeltiefenwachstum und Wurzelverteilung der Ackerbohnen im Boden zu ermitteln, wurde die Profilwandmethode genutzt (Böhm & Köpke, 1977). Die Aufnahme des Wurzelprofils wurde für jeweils einen Sommer- und einen Winterackerbohnen-Genotyp durchgeführt. Die Profilwand in der Bodengrube wurde mit einem Spaten geglättet und begradigt. Anschließend wurde ein Bodenvolumen von 140 cm x 100 cm x 0,5 cm mit Wasser freigespült (Abb. 26). Auf die Profilwand wurde anschließend eine transparente Plexiglasplatte befestigt, auf der eine transparente Folie befestigt war. Zur Aufnahme des Wurzelprofils wurden alle mit dem bloßen Auge ohne Hilfsmittel erkennbaren Wurzeln erfasst, welche jeweils eine Länge von 5 mm aufwiesen (Böhm, 1979). Tabelle 14 gibt einen Überblick zu den Genotypen, an denen das Wasserpotential und die Durchwurzelung untersucht wurden.



Abb. 39: Profilwand zur Wurzelbildaufnahme am 03.07.2018 am Standort Görlitz (Fotos: Lux 2018)

Tab. 16: Im Jahr 2018 und 2019 am Standort Görlitz geprüfte Genotypen zur Erfassung der Durchwurzelung und des Wasserpotentials in den Ackerbohnen

Form	Prüfglied	Name	Messungen zu Wasserpotential	Wurzelaufnahme Profilwand
Winterung	W3	WB1	x	x
	W4	WB2	x	
Sommerung	S2	If6	x	x
	S4	SB2-Tiffany	x	

4.3 Ergebnisse

Wasserhaushalt der Ackerbohne

Untersuchungen zum Wasserhaushalt der Ackerbohnen wurden im Jahr 2018 und 2019 am Standort Görlitz durchgeführt. Beispielhaft für die Messtermine im Jahr 2018

sind die Umweltbedingungen zum Messzeitraum in Tab. 17 widergegeben. Mit Zunehmender Tagestemperatur und in zweiter Ordnung Abnahme der relativen Luftfeuchtigkeit nahm das Blattwasserpotential in den Ackerbohnen ab (Tab. 17 und Abb. 40). Am 24. Mai und 30. Mai 2018 war bei hohen Tagestemperaturen und zugleich geringer Luftfeuchtigkeit ein niedriges Blattwasserpotential zwischen -9,4 bar und -12,2 bar zu verzeichnen. Signifikante Unterschiede im Blattwasserpotential traten allerdings zwischen den geprüften Sommer- und Winterackerbohnen genotypen im Jahr 2018 nicht auf (Abb. 40).

Tab. 17: Wasserpotential im Blatt der Ackerbohnen genotypen (Mittelwert Sommer- und Winterackerbohnen) in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen an den Messtagen im Jahr 2018

Wasserpotential Blatt [bar]	-3,8	-4,2	-9,4	-12,2
Tagesmitteltemperatur [°C]	23,2	20,0	23,5	29,4
Sonnenscheindauer [h]	5,0	4,6	11,5	10,5
Relative Luftfeuchte [%]	77	69	62	64

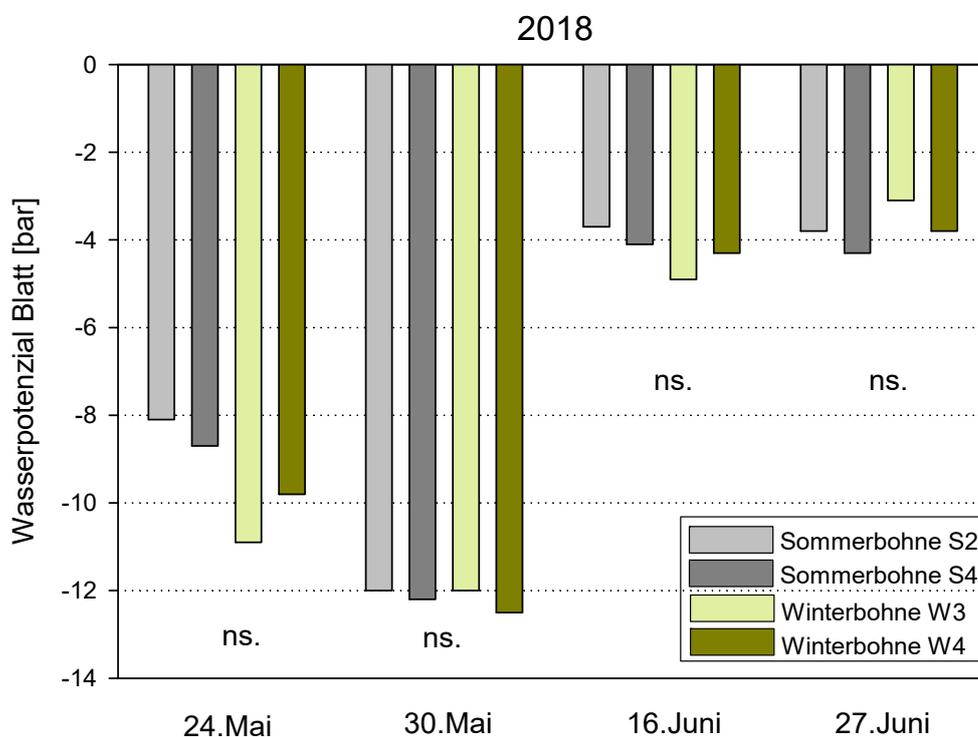


Abb. 40: Wasserpotential im Blatt von je zwei Winter- und Sommerackerbohnen genotypen zu vier Terminen im Jahr 2018

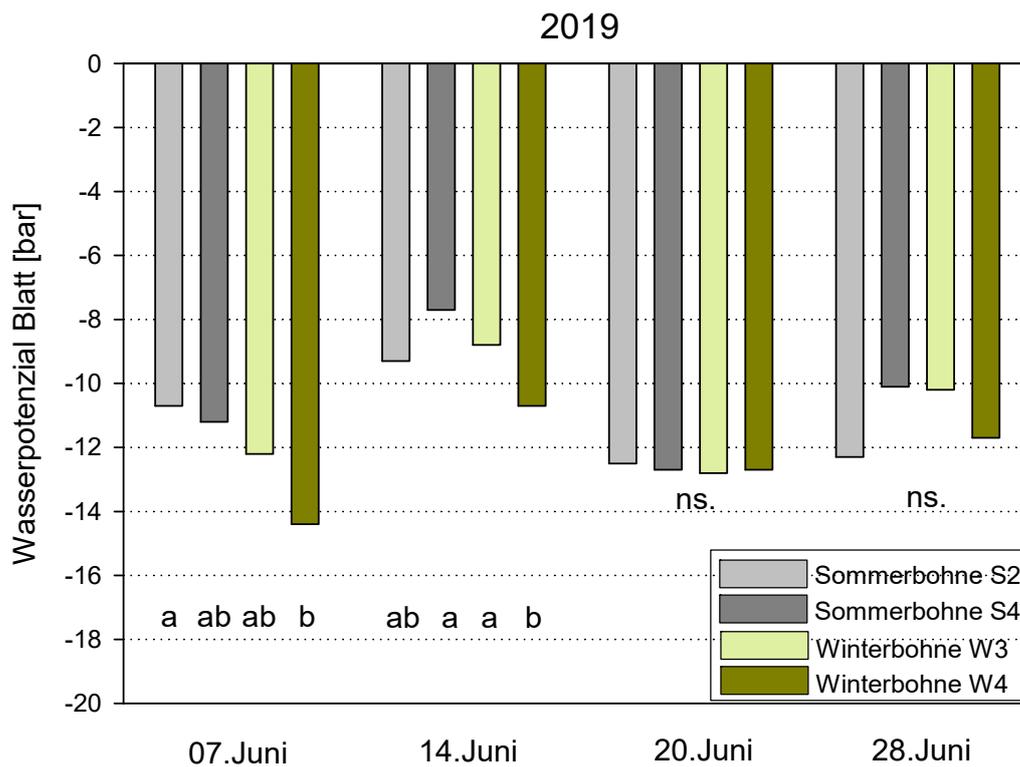


Abb. 41: Wasserpotenzial im Blatt von je zwei Winter- und Sommerackerbohningentypen zu vier Terminen im Jahr 2019

Im Gegensatz dazu waren im Jahr 2019 im Blattwasserpotential der Ackerbohnen zwischen den Genotypen signifikante Unterschiede zu verzeichnen: So wies die Winterackerbohne W4 am 07. Juni gegenüber der Sommerackerbohne S2 und am 14. Juni gegenüber der Sommerackerbohne S4 jeweils ein 3 bis 4 bar geringeres Wasserpotential im Blatt auf. Diese Unterschiede waren allerdings zu den späteren Messterminen am 20. und 28. Juni 2019 nicht mehr gegeben (Abb. 41).

Intensität der Durchwurzelung

Im Jahr 2018 und 2019 wurden an jeweils einer Winter- und einer Sommerackerbohne Untersuchungen zur Durchwurzelungsintensität des Bodens am Standort Görlitz durchgeführt (Abb. 42 und Abb. 43). Bezogen auf einen Meter Durchwurzelungstiefe waren zwischen Sommer- und Winterackerbohne zu vier Aufnahmetermi- nen keine signifikanten Unterschiede in der mittleren Durchwurzelungsintensität des Bodens zu verzeichnen (Tab. 18). Sie lag im Mittel zwischen 0,18 und 0,53 cm je cm³ bezogen auf einen Meter Tiefe. Die mittlere maximale Durchwurzelungstiefe lag bei etwa 90 cm, wobei im ersten Jahr vereinzelt auch Wurzeln bis in 115 cm Tiefe diagnostiziert werden konnten.

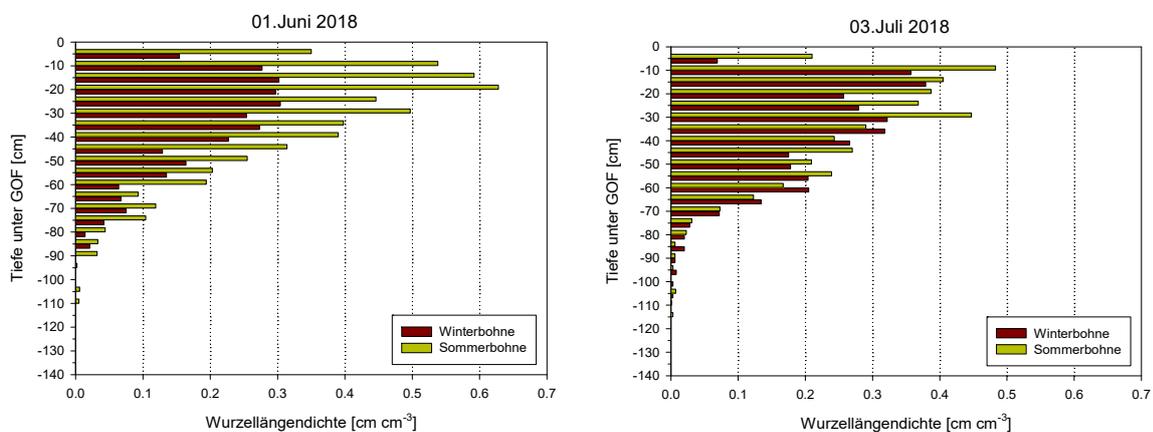


Abb. 42: Tiefenverteilung der Wurzellängendichte bei Winter- und Sommerackerbohne zu zwei Terminen im Jahr 2018 am Standort Görlitz

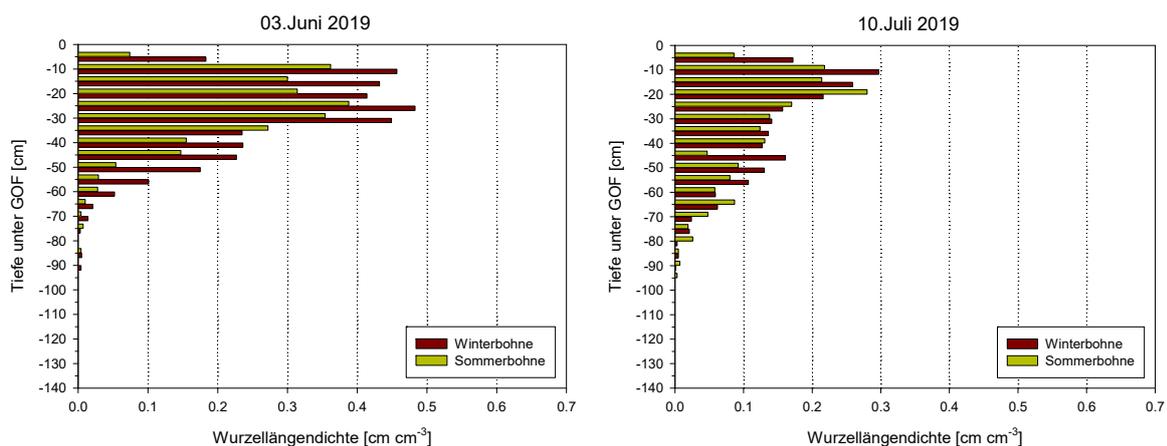


Abb. 43: Tiefenverteilung der Wurzellängendichte bei Winter- und Sommerackerbohne zu zwei Terminen im Jahr 2019 am Standort Görlitz

Tab. 18: Wurzellängendichte der Winter- und Sommerackerbohne bezogen auf einen Meter Bodentiefe

Jahr	Termin	Wurzellängendichte [cm cm ⁻³]		P-Wert
		Winterackerbohne	Sommerackerbohne	
2018	1. Juni	0,28	0,53	0,5127
	3. Juli	0,33	0,40	0,6855
2019	3. Juni	0,35	0,25	0,3888
	10. Juli	0,21	0,18	0,3701

5 Wasseraneignungsvermögen und Wasserhaushalt von Sommer- und Winterackerbohnen im direkten Vergleich

5.1 Einleitung

Winter- und Sommerackerbohnen weisen einen unterschiedlichen Vegetationszeitraum und damit verbunden auch Saattermin auf. Tzschoch (2017) konnte zwischen der Winter- und Sommerform der Ackerbohne signifikant unterschiedliche Durchwurzelungsintensitäten und Tiefendurchwurzelung nachweisen, allerdings bei unterschiedlichen Saattermin und Vegetationszeitraum. Ziel des Teilprojektes war es deshalb zu prüfen, ob Umwelt oder Genotyp (Sommer- versus Winterform) für diese Unterschiede ursächlich sind. Deshalb wurden je zwei Winter- und zwei Sommerformen der Ackerbohne unter gleichen Umweltbedingungen und Saattermin hinsichtlich Durchwurzelung des Bodens und des Wasserpotentials im Blatt untersucht.

5.2 Material und Methoden

Im Jahr 2020 wurde am Standort Helbigsdorf (Wilsdruff), dessen Boden als schluffiger Lehm (uL) mit einer Ackerwertzahl von ca. 55 eingeordnet werden kann, eine Blockanlage mit vier Wiederholungen angelegt. Dabei wurden zwei Sorten der Sommerform (‘Fuego’ und ‘Tiffany’) und zwei Sorten der Winterform (‘Augusta’ und ‘Hiverna’) der Ackerbohne mit einer Saatstärke von 40 keimfähige Körner pro m² zeitgleich am 16.03.2020 ausgesät. Die Parzellengröße betrug 15 m².

Die Messung des stomatären Gaswechsels wurde mit einem mobilen Photosynthesemessgerät (Typ: CIRAS-2) der Firma PP Systems durchgeführt. Dabei wurden Werte zur stomatären Leitfähigkeit und Photosyntheserate aufgenommen. Die Photosyntheserate gibt die aktuelle Leistungsfähigkeit der Pflanze im Hinblick auf die Einlagerung von Assimilaten wieder. Das Messgerät ermittelt die Photosyntheserate kalkulatorisch, das heißt aus dem Produkt der Differenz der CO₂-Konzentration, welche in das Blatt hineingeht und aus der CO₂-Konzentration, welche das Blatt wieder verlässt und der Austauschrate. Die Messung erfolgt unabhängig von der Sonneneinstrahlung, da das Gerät über eine eigene Lichtquelle verfügt. Das Messgerät registriert die Transpiration am Blatt, die Temperatur vom Blatt und der Außenluft sowie die relative Luftfeuchte, womit der stomatäre Widerstand und damit die stomatäre Leitfähigkeit bestimmt werden konnte. Die Messung erfolgte je Versuch

am Vormittag (9 bis 11 Uhr) und Nachmittag (13-15 Uhr) an drei strahlungsintensiven Tagen (Mai bis Juni) und wurde jeweils am jüngsten vollentfalteten Blatt durchgeführt. Das Wasserpotenzial der Ackerbohne wurde mit Hilfe einer Druckapparatur nach Scholander et al. (1965) ermittelt („Scholander Druckbombe“ Typ: SKPM 1400 series der Firma Skye Instruments Ltd.). Der mit der Druckbombe gemessene Überdruck entsprach dem im Xylem der Ackerbohne vorherrschenden Unterdruck (Xylemspannung) und kann näherungsweise dem Blattwasserpotential gleichgesetzt werden. Die Messungen erfolgten zeitgleich an den gleichen Pflanzen, an denen zuvor der Gaswechsel bestimmt wurde. Die Messung erfolgte ebenfalls am jüngsten vollentfalteten Blatt der Ackerbohne, welches abgetrennt und direkt danach in die Messkammer gespannt wurde. Dabei ragte der Blattstiel durch eine Gummidichtung aus der Kammer heraus. Die Abdichtung zwischen Stiel und Gummidichtung erfolgte mit Hilfe einer Knetmasse. Die Druckkammer wurde mit Luft gefüllt und der Druck so lange erhöht, bis an der Anschnittstelle mit Hilfe einer Lupe der Austritt eines Wassertropfens des Xylemwassers zu erkennen war. Zu diesem Zeitpunkt wurde die Gaszufuhr unterbrochen und der Druck konnte auf einem integrierten Manometer abgelesen werden. Dieser gemessene Überdruck entspricht (mathematisch als additives inverses Element) dem Gesamt-Wasserpotential Ψ , welches den energetischen Zustand des Wassers im Blattxylem kennzeichnet (Meyer, 1984).

Um Wurzeluntersuchungen an den Ackerbohnen durchzuführen, wurde die Profilwandmethode angewendet (Böhm & Köpke, 1977). Die Aufnahme des Wurzelprofils wurde für jeweils zwei Sommer- und zwei Winterackerbohnen-Genotypen im Entwicklungsstadium BBCH 63 bis 65 durchgeführt. Die Profilwand in der Bodengrube wurde mit einem Spaten geglättet und begradigt. Anschließend wurde ein Bodenvolumen von 100 cm x 90 cm x 0,5 cm mit Wasser freigespült. Dadurch wurden auf dieser Fläche 5 mm Boden abgespült und darin enthaltenen Wurzeln freigelegt (Abb. 44). Auf die Profilwand wurde abschließend eine transparente Plexiglasplatte mit vier Nägeln befestigt, auf der eine transparente Folie befestigt war. Zur Aufnahme des Wurzelprofils wurden 5 mm lange Wurzeln als eine Wurzellängeneinheit (ein Punkt) erfasst (Böhm 1979).



Abb. 44: Profilwand zur Wurzelbildaufnahme zum 23.06.2020 am Standort Helbigsdorf (Foto: Scholz 2020)

5.3 Ergebnisse und Diskussion

Stomatärer Gaswechsel

In den Abbildungen 45 bis 47 ist jeweils die Photosyntheserate (netto) und die stomatale Leitfähigkeit für die vier untersuchten Ackerbohnen-Sorten (Sommerackerbohnen: ‚Fuego‘ und ‚Tiffany‘, Winterackerbohnen: ‚Augusta‘ und ‚Hiverna‘) für die Messungen am Vormittag und am Nachmittag an den drei Messterminen 28.05.2020, 17.06.2020 und 30.06.2020 dargestellt.

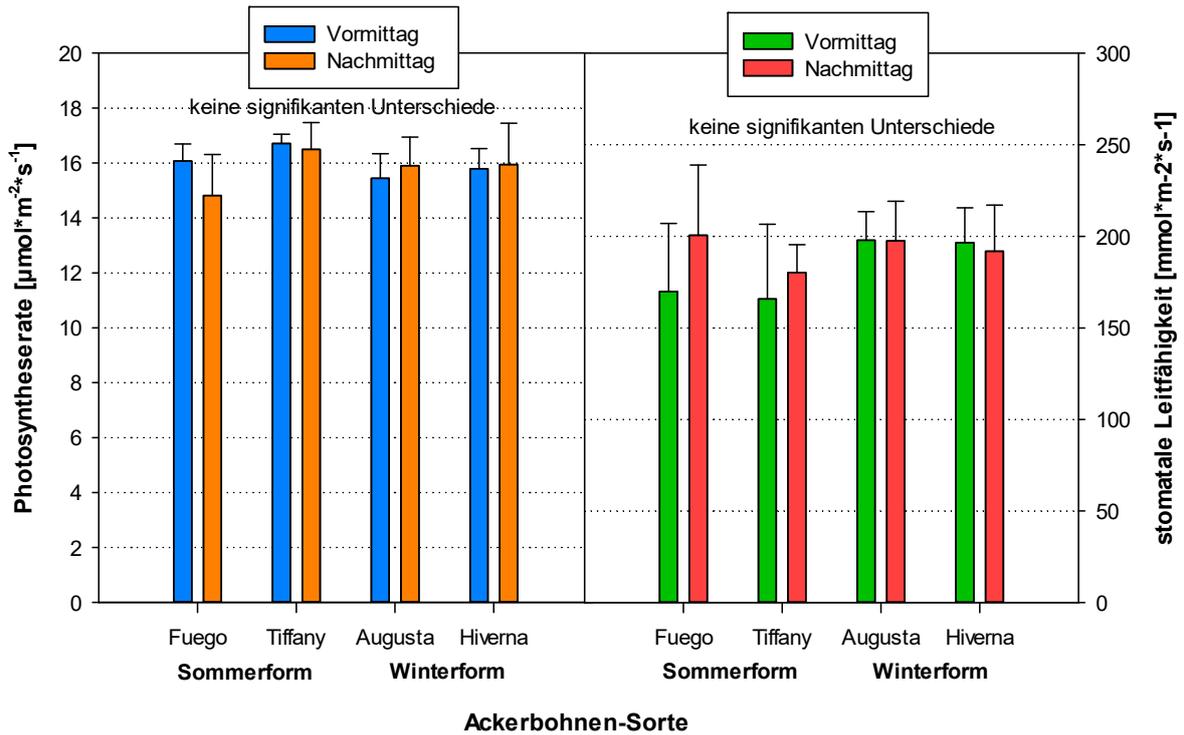


Abb. 45: Photosyntheserate und stomatare Leitfähigkeit am 28.05.2020 der Ackerbohnen-sorten am Standort Helbigsdorf

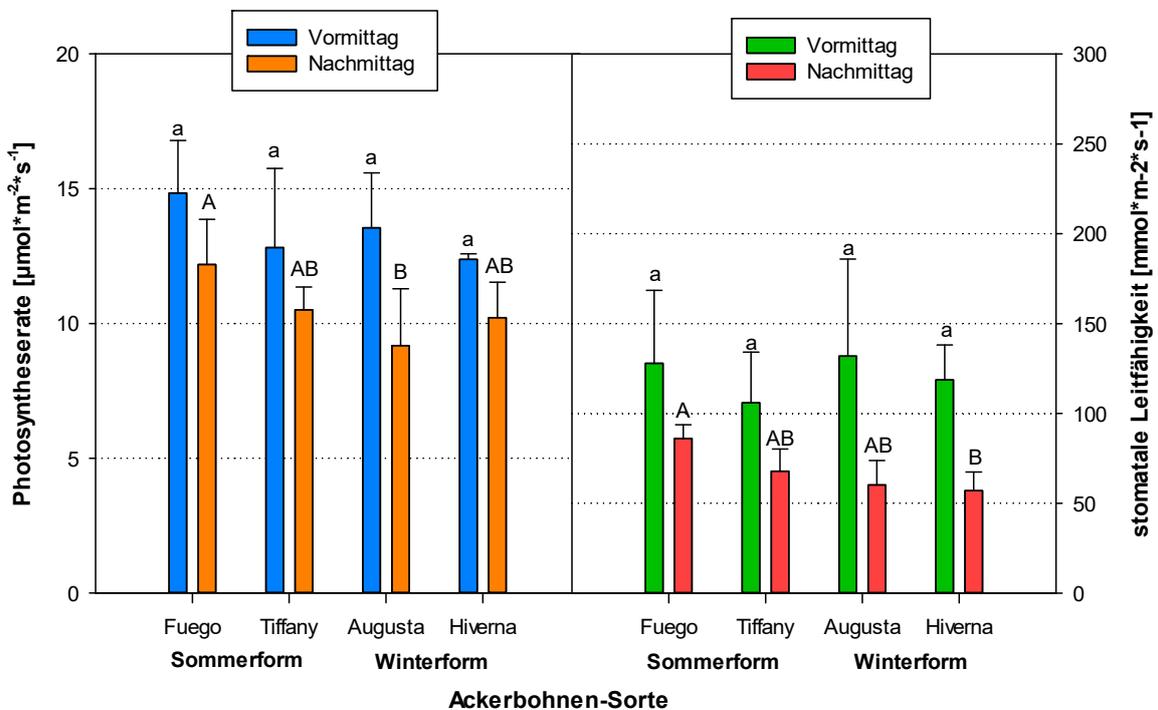


Abb. 46: Photosyntheserate und stomatare Leitfähigkeit der Ackerbohnen-sorten am 17.06.2020 am Standort Helbigsdorf

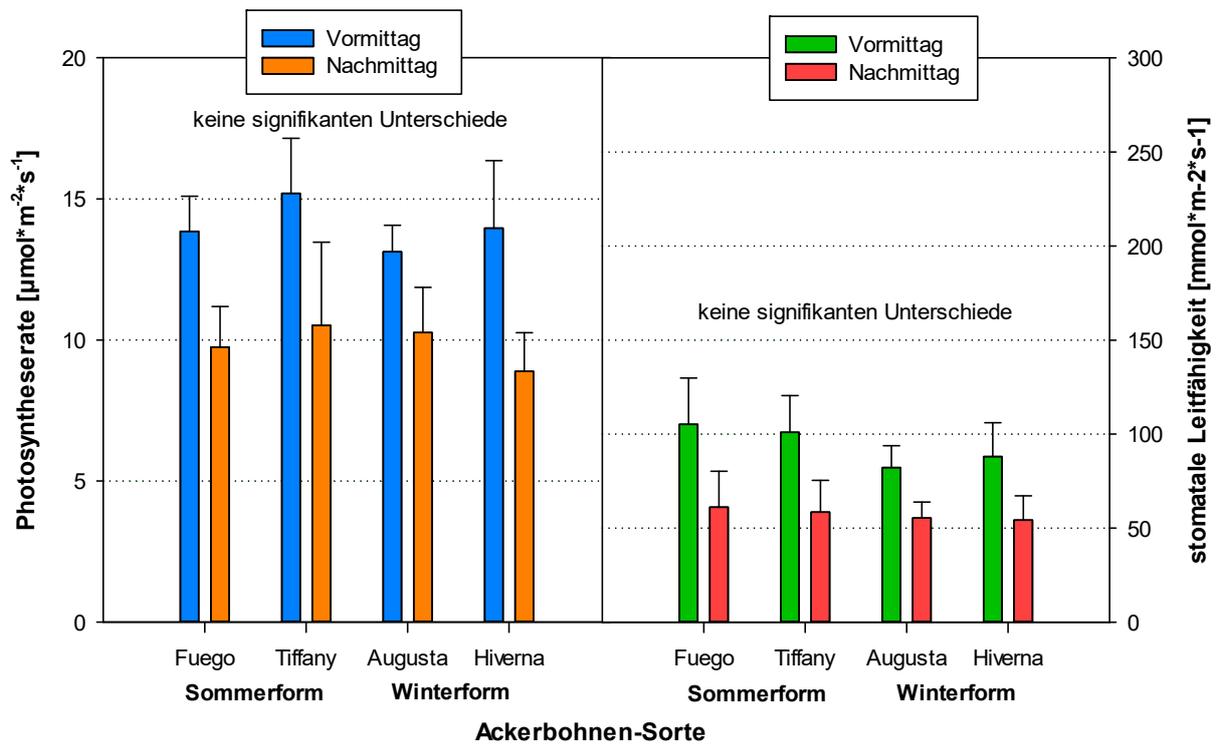


Abb. 47: Photosyntheserate und stomatare Leitfähigkeit der Ackerbohnen Sorten am 17.06.2020 am Standort Helbigsdorf

Für den zweiten Termin am 17.06.2020 konnten signifikante Unterschiede herausgestellt werden, bei der die Sommerackerbohnen-Sorte ‚Fuego‘ eine deutliche höhere Photosyntheserate und stomatale Leitfähigkeit zu den Nachmittagsstunden aufwies. Den signifikant geringsten Wert wies jeweils eine Sorte der Winterform auf. Für die Photosyntheserate war es die Sorte ‚Augusta‘ und für die stomatale Leitfähigkeit am Nachmittag die Sorte ‚Hiverna‘.

Für die anderen beiden Messtermine am 28.05.2020 und am 30.06.2020 konnten keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden.

Wasserpotential

Das Wasserpotential im Blatt der Ackerbohnen, welches das mathematisch additive inverse Element des am Manometer abgelesenen Überdrucks darstellt, wird in den Abbildungen 48 und 49 verdeutlicht. In der Abbildung 48 wird dieses für die beiden Sommerackerbohnen-Sorten ‚Fuego‘ und ‚Tiffany‘ und die beiden Winterackerbohnen-

Sorten ‚Augusta‘ und ‚Hiverna‘ zu den Vormittagsstunden an den drei Messtagen aufgezeigt. In der Abbildung 49 ist die gleiche Darstellung für die Nachmittagsstunden dargestellt.

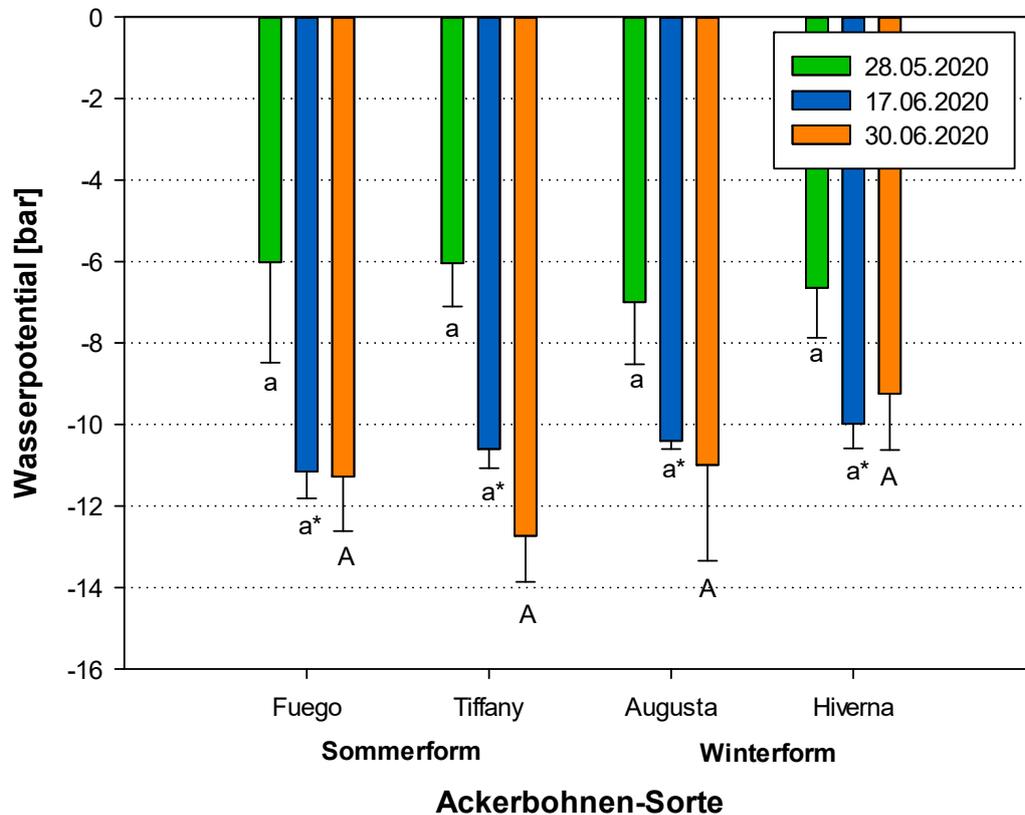


Abb. 48: Blattwasserpotenzial von zwei Sorten der Winter- und Sommerform der Ackerbohne am Vormittag zu den drei Messterminen am Standort Helbigsdorf

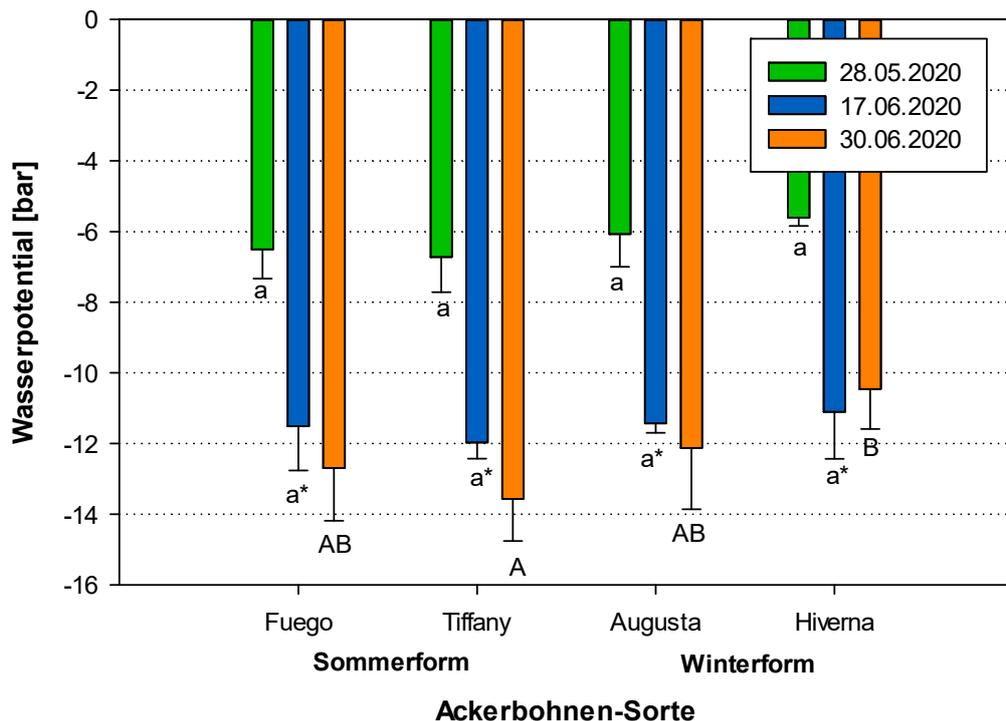


Abb. 49: Blattwasserpotenzial von zwei Sorten der Winter- und Sommerform der Ackerbohne am Nachmittag zu den drei Messterminen am Standort Helbigsdorf

Wie ersichtlich konnte für die Stunden am Vormittag zu den drei Terminen kein signifikanter Unterschied zwischen den Sorten der Ackerbohne ermittelt werden.

Bei der Betrachtung des Wasserpotentials der Ackerbohnen zu den Nachmittagsstunden konnte beim dritten Messtermin am 30.06.2020 der signifikant niedrigste Wert bei der Sommersorte ‚Tiffany‘ festgestellt werden. Deutlich größer dazu war das Wasserpotential der Wintersorte ‚Hiverna‘, was darauf hindeutet, dass diese eine bessere Wasserverfügbarkeit aufwies, als die Sommersorte ‚Tiffany‘.

Wurzellängendichte

In Abb. 50 sind die Ergebnisse der Wurzelauflagen bis zum maximalen Wurzeltiefgang bis 80 cm dargestellt.

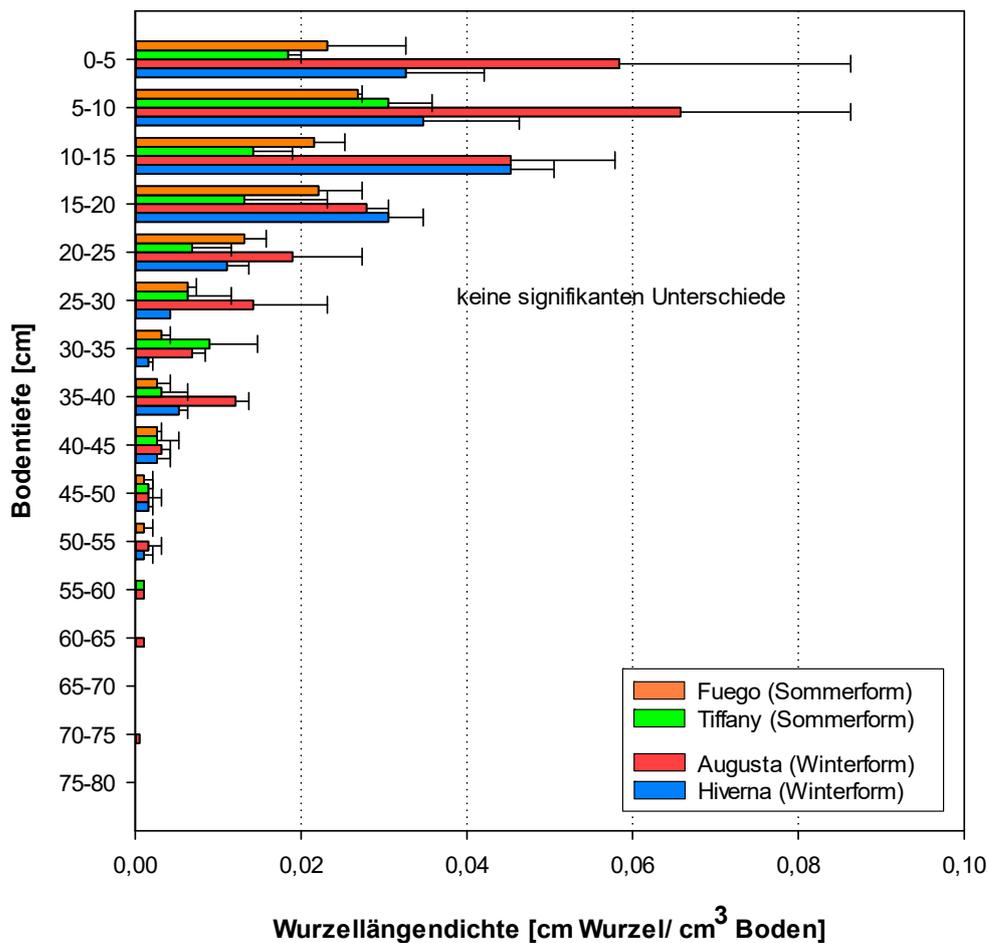


Abb. 500: Wurzellängendichte von zwei Sorten der Winter- und Sommerform der Ackerbohne im Entwicklungsstadium BBCH 63 bis 65 im Boden am 23.06.2020 am Standort Helbigsdorf

Die Sommerackerbohnen ‚Fuego‘ und ‚Tiffany‘ und die Winterackerbohnen ‚Augusta‘ und ‚Hiverna‘ wiesen keine signifikanten Unterschiede weder in den einzelnen Tiefenstufen noch in der maximalen Wurzeltiefe auf. Die Durchwurzelungsintensität des Bodens fiel in diesem Fall bei allen geprüften Sorten, insbesondere jedoch tiefer 30 cm vermutlich aufgrund des lehmigen Bodens und verfestigter Struktur sehr gering aus. Im Gegensatz zu Ergebnissen von Tzschoch (2017) konnten hier keine deutlichen Unterschiede in der Durchwurzelungsintensität und dem maximalen Wurzeltiefgang zwischen der Sommer- und Winterform der Ackerbohne registriert werden.

7 Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Ergebnisse des Teilvorhabens können in unterschiedlichem Maße in landwirtschaftlichen Betrieben umgesetzt und verwertet werden. Direkt nutzbar sind die Ergebnisse hinsichtlich der Standorteignung für den Anbau von Winterackerbohnen (Abschnitt 1 zu den Gunststandorten des Anbaus von Winterackerbohnen). Durch Nutzung der in der Karte hinterlegten Informationen können landwirtschaftliche Betriebe erstmals das Risiko des Anbaus von Winterackerbohnen hinsichtlich einer erfolgreichen Überwinterung erstmals standortbezogen eingrenzen und so auch Potentiale der Wertschöpfung aus einer gezielten Wahl des Anbaus von Winter- bzw. Sommerackerbohnen besser nutzen. Gleichzeitig konnte anhand der Untersuchungen zur Keimung, Wachstum und Krankheitsbefall in der Jungendentwicklung gezeigt werden, dass beim Anbau von vicin- und convicinarmen Ackerbohnen offenbar keine erhöhte Gefahr eines verringerten Feldaufganges und des Befalls mit bodenbürtigen Schaderregern einhergeht (Abschnitt 2). Zugleich war mit dem Anbau von vicin- und convicinarmen Ackerbohnen kein systematisch geringerer Kornertrag der Ackerbohnen im Vergleich zu Genotypen mit entsprechend höherem Gehalt an Vicin und Convicin verbunden (Abschnitt 2). Trotz ausgeprägter Trocken- und Hitzeeinwirkung in den Jahren 2018 und 2019 konnten die getesteten Winterformen der Ackerbohnen keinen höheren Kornertrag und Ertrag an symbiotischer N₂-Fixierleistung im Vergleich zu den Sommerformen realisieren, da sie nur unzureichend überwintert und kein tiefer reichendes Wurzelwachstum als die Sommerformen erreichten (Abschnitt 3 und Abschnitt 4). Entsprechend früher erzielte Ergebnisse von Tzschoch (2017), der ein deutlich tieferes Wurzelwachstum eine deutlich höhere Kornerträge bei den Winterformen ermittelt hatte, konnten im Vorhaben nicht bestätigt werden. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Winterformen der Ackerbohnen offenbar nur in Fällen einer ausreichend guten Überwinterung (Wahl von Gunststandorten) ertragliche Vorteile gegenüber Sommerformen realisieren können. Bei gleichem Aussattermin und Wachstumszeitraum zeigten Sommer- und Winterformen zudem keine markanten Unterschiede im Wasserhaushalt und der Durchwurzelung des Bodens (Abschnitt 5). Die hier durchgeführten pflanzenbaulichen Untersuchungen zum Anbau von Winter- und Sommerformen der Ackerbohne haben insgesamt zu einer Reihe neuen und zusätzlichen Erkenntnissen geführt, die deren

Anbau in der landwirtschaftlichen Praxis verbessern helfen im Sinne einer Wertschöpfungssteigerung.

8 Gegenüberstellung der geplanten zu den tatsächlich erreichten Ziele

Durch die im Teilvorhaben sehr umfangreichen sowie mehrortig und mehrjährig durchgeführten Feldversuche, die ergänzt wurden durch Klimakammerversuche und den sich anschließenden analytischen Auswertungen des Probenmaterials sowie die Erweiterung des Vorhabens im Jahr 2020 wurden die zu Beginn des Vorhabens formulierten Ziele nicht nur erreicht, sondern in Teilen auch erweiterte Zielstellungen erfolgreich bearbeitet. Alle geplanten Feld- und Laborversuche konnten erfolgreich ohne wesentliche Abweichungen von den in der Vorhabensbeschreibung skizzierten Versuchsprogramms erfolgreich realisiert werden. Mit zunehmender Dauer des Vorhabens und Vorliegen der ersten Ergebnisse konnten auch auf Fachveranstaltungen Ergebnisse für das Fachpublikum, insbesondere für die landwirtschaftliche Praxis vorgestellt und diskutiert werden, so dass zeitnah ein Transfer des erarbeiteten Wissens und der neuen Erkenntnisse vollzogen werden konnte.

7 Literaturverzeichnis

- Ali, M., Welna, G., Sallam, A., Martsch, R., Balko, C., Gebser, B., Sass, O. & Link, W. (2015). Association Analyses to Genetically Improve Drought and Freezing Tolerance of Faba Bean (*Vicia faba* L.). *Crop Science* 56, 1036-1048
- Bjerg, B., Heide, M., Nørgaard Knudsen, J.C. & Sørensen, H. (1984). Inhibitory effects of convicine, vicine and dopa from *Vicia faba* on the in vitro growth rates of fungal pathogens / Hemmwirkung von Convicin, Vicin und Dopa aus *Vicia faba* auf in vitro Wachstumsraten von pilzlichen Krankheitserregern. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 91 (5), 483-487
- Böhm, W. (1979). *Methods of Studying Root Systems*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Ecological Studies, Analysis and Synthesis, 33)
- Böhm, W. & Köpke, U. (1977). Comparative root investigations with two profile wall methods. In: *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau* 144, 297-303
- Burbano, C., Cuadrado, C., Muzquiz, M. & Cubero, J.I. (1995). Variation of favism-inducing factors (vicine, convicine and L-DOPA) during pod development in *Vicia faba* L. *Plant Foods for Human Nutrition* 47, 265-274
- Duc, G., Sixdenier, G., Lila, M. & Furstoss, V. (1989). In: Huisman, J., van der Poel, A.F., Liener, I.E. (Eds.), *Recent Advances of Research in Antinutritional Factors in Legume Seeds*. Wageningen Pers (Pbs.), 305-313
- Frauen, M., Röbbelen, G. & Ebmeyer, E. (1984). In: P.D. Hebblethwaite et al. (Eds). *Vicia faba. Agronomy, Physiology and Breeding*. Martinus Nijhoff, The Netherlands. 279-285
- Gauttam, V. & Kalia, A.N. (2013). High performance thin layer chromatography method for simultaneous estimation of Vicine, Trigonelline and Withaferin-A in a polyherbal antidiabetic formulation. *Int J Pharm Pharm Sci* 5(2), 1-5
- Ghaouti, L., Vogt-Kaute, W. & Link, W. (2007). Genetische Adaption an lokale, ökologische Anbaubedingungen: Vergleich zwischen ‚bester‘ reiner Linie und genetisch breiter Population am Beispiel Sommer- und Winterackerbohne. <http://orgprints.org/16684>

- Griffith, D.W. & Ramsay, G. (1992). The Concentration of Vicine and Convicine in *Vicia faba* and some Related Species and their Distribution within Mature Seeds. *J Sci Food Agric* 59, 463-468
- Griffith, D.W. & Ramsay, G. (1996). The Distribution of pyrimidine Glucosides in Developing Seedlings of *Vicia faba* and *Vicia narbonensis*. *J Sci Food Agric* 72, 469-475
- Goyoaga, C., Burbano, C., Cuadrado, C., Varela, A., Guillamon, E., Pedrosa, M.M. & Muzquiz, M. (2008). Content and distribution of vicine, convicine and l-DOPA during germination and seedling growth of two *Vicia faba* L. varieties. *Eur Food Res Technol* 227, 1537-1542
- Herzog, H. & Geisler, G. (1991). Yield Structure of Winter Faba Beans Grown in Northern Germany in Dependence of Different Environments, Seed Rates, Sowing Rates and Genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science* 167 (3), 145-154
- Hof, C. & Schmidtke, K. (2006). Erzeugung von Weizen hoher Backqualität durch Gemengeanbau mit Winterackerbohne und Wintererbse im ökologischen Landbau. Abschlussbericht auf <http://forschung.oekolandbau.de> unter der BÖL-Bericht-ID 15171
- Ilieva A. & Dochkova B. (1998): Relationship between phenolic compound content in grain of winter and spring forage pea and degree of attack by pea weevil *Bruchus pisi* L. (Coleoptera bruchidae). *Rastenievldni_Nauki* 35 (9), 759-762
- Jellis, G.J. and Vassie, V. 1995. In: Proc. 2nd European Conference on Grain Legumes. Copenhagen, Denmark. pp.88–89
- Kage, H. & Ehlers, W. (1996). Does transport of water to roots limit water uptake of field crops? *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 159, 583-590
- Khamassi, K., Jeddi, F.B., Hobbs, D., Irigoyen, J., Stoddard, F., O'Sullivan, D.M. & Jones, H. (2013). A baseline study of vicine–convicine levels in faba bean (*Vicia faba* L.) germplasm. *Plant Genetic Resources. Characterization and Utilization* 11 (3), 250-257
- Köpke, U. & Nemecek, T. (2010). Ecological services of faba bean. *Field Crops Research* 115, 217-233

- Link, W., Balko, C. & Stoddard, F.L. (2010). Winter hardiness in faba bean: Physiology and breeding. *Field Crops Research* 115 (3), 287-296
- Meyer, C. (1984). Zum Einfluss des Wasserhaushaltes auf die Ertragsbildung bei Ackerbohne und Hafer. Dissertation Universität Göttingen
- Müller, U., Meyer, C., Ehlers, W. & Böhm, W. (1985). Wasseraufnahme und Wasserverbrauch von Ackerbohne und Hafer auf einer Löß-Parabraunerde. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 148, 389-404
- Müller, U., Grimme, K., Meyer, C. & Ehlers, W. (1986). Leaf water potential and stomatal conductance of field-grown faba beans (*Vicia faba* L.) and oats (*Avena sativa* L.). *Plant and Soil* 93, 17-33
- Mwanamwenge, J., Loss, S.P., Siddique, K.H.M. & Cocks, P.S. (1999). Effect of water stress during floral initiation, flowering and podding on the growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *European Journal of Agronomy* 11, 1-11
- Neugschwandtner, R., Ziegler, K.V., Kriegner, S., Wagentristl, H. & Kaul, H.-P. (2015). Nitrogen yield and nitrogen fixation of winter faba beans. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science* 65 (7), 658-666
- Pavlik, M., Váňová, M., Laudová, V. & Harmatha, J. (2002). Fungitoxicity of natural heterocycle glucoside vicine obtained from *Vicia faba* L. against selected microscopic filamentous fungi. *Rostlinná Vyroba* 48, 543-547
- Pulkkinen, M., Gautam, M., Lampi, A.-M., Ollilainen, V., Stoddard, F., Sontag-Strohm, T., Salovaara, H & Piironen, V. (2015). Determination of vicine and convicine from faba bean with an optimized high-performance liquid chromatographic method. *Food Res Int* 76 (1), 168-177
- Reiter, K., Schmidtke, K & Rauber, R. (2002). Estimation of symbiotic N₂ fixation by a low-level, large-scale ¹⁵N application technique. *Soil Biology & Biochemistry* 34, 303-314
- Sass, O. & Hadenfeldt, S. (2015). Praxisnah, Fachinformationen für die Landwirtschaft. Sonderheft, Saatenunion, Isernhagen und Hohenlieth, Seiten 11-13
- Scholander, P.F., Bradstreet, E.D., Hemmingsen, E.A., Hammel, H.T. (1965). Sap Pressure in Vascular Plants: Negative hydrostatic pressure can be measured in

plants. In: Science (New York, N.Y.) 148 (3668), S. 339–346. DOI: 10.1126/science.148.3668.339

Tzschoch, F. (2017). Vergleich der Winter- und Sommerform der Ackerbohne (*Vicia faba* L.) im Hinblick auf Durchwurzelung, Wasserhaushalt, Stickstoffgehalt und Kornertragsleistung. Master-Arbeit an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

9 Übersicht über realisierte Veröffentlichungen und Vorträge zum Projekt

Tab. 19: Übersicht zu durchgeführten Maßnahmen des Wissenstransfers der Projektergebnisse

Termin/Ort	Veranstaltung	Thema	Vortragender
12.06.2019 Großkragen	Feldtag zum Projekt AboVici	Neue Strategien für den ökologischen und konventionellen Pflanzenbau	GL & KS
21.11.2019 Hannover	13. Niedersächs- isches Fachforum Ökolandbau	Acker- und pflanzenbauliche Strategien im ökologischen Landbau zur Vermeidung von Hitze- und Trockenstress“	KS
03.12.2019 Berlin	DLG-Kolloquium 2019 „Landwirt- schaft im Ökotrend“	„Verfahren im Blick: Was Ökolandbau und konventioneller Landbau voneinander lernen können“	KS
30.01.2020 Limbach	Gäa-Wintertagung 2020	Klimatische Standortevaluierung für den Anbau von Winterackerbohne	GL
20.06.2020 Dresden	„Ak Bio- Getreidevermarkter Deutschland“	„Wetterextreme – Wie machen wir die Höfe „klimastabil“?“	KS
06.07.2020	Demeter im Norden Online- Fortbildungskurs „Landwirtschaft im Klimawandel	„Pflanzenbauliche Strategien im ökologischen Landbau zur Anpassung an geringe Niederschläge“	KS
12.10.2020	Bioland-Online Fortbildungskurs	„Pflanzenbauliche Strategien im ökologischen Landbau zur Anpassung an geringe Niederschläge“	KS
28.10.2020	Online-Vortrag DemoNetErBo „Praxis trifft Forschung - ein Netzwerk für Erbsen und Bohnen“	„Klimatische Standortevaluierung für den Anbau von Winterackerbohne“	GL
25.11.2020	Online-Vortrag DemoNetErBo „10. Leguminosentag NRW – Körnerleguminosen im Klimawandel“	„Bedeutung der Leguminosen im Hinblick auf zukünftige Ackerbaustrategien unter Berücksichtigung von Klimaveränderung und Biodiversitätsansprüchen“	KS

GL: Dr. Guido Lux, KS: Prof. Dr. Knut Schmidtke

Anhang



Abb. 511: Ackerbohnen-Bestand am 17.06.2020 am Standort Helbigsdorf (Foto: Scholz 2020)



Abb. 522: Messung zum stomatären Gaswechsel mit dem Photosynthesegerät „CIRAS-2“ am 28.05.2020 am Standort Helbigsdorf (Foto: Scholz 2020)



Abb. 533: Messung zur Bestimmung des Wasserpotentials mit der „Scholander Druckbombe“ am 28.05.2020 am Standort Helbigsdorf (Foto: Scholz 2020)