



Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

**Evaluierung der inhaltsstofflichen Zusammensetzung
einheimischer Erbsen (*Pisum sativum*) und Ackerbohnen
(*Vicia faba*) – Einfluss und Korrelation genetischer und
ökophysiologischer Faktoren eines deutschen
Probensets aus den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018**

Dissertation

zur Erlangung der Würde des Doktors der
Doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat.)
der Fakultät Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften,
Fachbereich Chemie der Universität Hamburg
vorgelegt von Sinja Walter aus Berlin.

Hamburg, Dezember 2021

Erstgutachter: Prof. Dr. Sascha Rohn

Zweitgutachter: Prof. Dr. Bernward Bisping

Datum der Disputation: 10. Dezember 2021

Datum der Druckfreigabe: 14. Dezember 2021

Die Arbeit wurde vom 1. August 2016 bis zum 28. Dezember 2020 an der Universität Hamburg am Institut für Lebensmittelchemie im Arbeitskreis Rohn (Martin-Luther-King-Platz 6, 20146 Hamburg) durchgeführt.

„Man muss die Welt nicht verstehen, man muss sich nur darin zurechtfinden.“ - Albert Einstein

Publikationsliste

Sinja Walter, Jenny Zehring, Kathrin Mink, Ulrich Quendt, Kathleen Zocher, Sascha Rohn
Protein content of peas (*Pisum sativum*) and beans (*Vicia faba*) – Influence of cultivation conditions

Genehmigt am 31. Oktober 2021

Sinja Walter, Jenny Zehring, Kathrin Mink, Sara Ramminger, Ulrich Quendt, Kathleen Zocher, Sascha Rohn

Analysis and Correlations of the protein content and selected ‘antinutrients’ of faba beans (*Vicia faba*) in a German sample set of the cultivation years 2016, 2017, and 2018

Eingereicht am 30. Mai 2021, in Revision am 2. März 2022

Vorträge

Zehring J, Cloppenborg S, Stevens K, Zerhusen-Blecher P, Schäfer BC, Quendt U, Rohn S

Modellhaftes Demonstrationsnetzwerk zur Ausweitung und Verbesserung des Anbaus und der Verwertung von Leguminosen mit Schwerpunkt Erbsen und Bohnen in Deutschland – DemoNetErBo.

52. Vortragstagung der Deutschen Gesellschaft für Qualitätsforschung (Pflanzliche Nahrungsmittel) e.V. (DGQ) zum Thema „Sekundäre Pflanzenstoffe – Rohstoffe, Verarbeitung und biologische Wirksamkeiten“, 26.-27. März 2018, Gießen.

Zehring J, Walter S, Rohn S

Modell zur Eignung heimischer Körnerleguminosen im Hinblick auf ihre Einsatzgebiete anhand chemischer Qualitätsparameter

54. Vortragstagung der Deutschen Gesellschaft für Qualitätsforschung (Pflanzliche Nahrungsmittel) e.V. (DGQ) zum Thema „Produktqualität und Konsumentenverhalten im Spannungsfeld von Nachhaltigkeit und Krisen“, 23. März 2021, Göttingen (Online-Veranstaltung).

Poster

Cloppenburg S, Zehring J, Stevens K, Zerhusen-Blecher P, Schäfer BC, Rohn S
Qualitätsparameter zur Bewertung des regionalen Anbaus von Körnererbsen.
Jahrestagung des Regionalverbandes Nord der Lebensmittelchemischen Gesellschaft, 27.-
28. Februar 2017, Hamburg.

Zehring J, Cloppenburg S, Stevens K, Zerhusen-Blecher P, Schäfer BC, Quendt U, Rohn
S
Qualitätsparameter zur Bewertung des regionalen Anbaus von Körnererbsen.
46. Deutscher Lebensmittelchemikertag, 25.-27. September 2017, Würzburg.

Zehring J, Cloppenburg S, Stevens K, Zerhusen-Blecher P, Schäfer BC, Quendt U, Rohn
S
Modellhaftes Demonstrationsnetzwerk zur Ausweitung und Verbesserung des Anbaus und
der Verwertung von Leguminosen mit Schwerpunkt Erbsen und Bohnen in Deutschland –
DemoNetErBo.
Jahrestagung 2017 der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) mit dem
Schwerpunkt „Heimisches Eiweiß Potentiale und Perspektiven für die bayerische
Landwirtschaft“, 19. Oktober 2017, Plankstetten.

Cloppenburg S, Zehring J, Quendt U, Rohn S
Bundesweiter Vergleich der Proteingehalte und der Trypsininhibitor-Aktivität von Erbsen
aus dem ‚DemoNetErBo‘ des Jahres 2016.
52. Vortragstagung der Deutschen Gesellschaft für Qualitätsforschung (Pflanzliche
Nahrungsmittel) e.V. (DGQ) zum Thema „Sekundäre Pflanzenstoffe – Rohstoffe,
Verarbeitung und biologische Wirksamkeiten“, 26.-27. März 2018, Gießen

Cloppenburg S, Zehring J, Quendt U, Rohn S
Bundesweiter Vergleich der Proteingehalte und der Trypsininhibitor-Aktivität von Erbsen
aus dem ‚DemoNetErBo‘ der Jahre 2016 und 2017.
47. Deutscher Lebensmittelchemikertag, 17.-19. September 2018, Berlin.

Zehring J, Walter S, Rohn S
Phytinsäuregehalt von Ackerbohnen (*Vicia faba*) im Kontext exogener Einflussfaktoren,
Auftaktveranstaltung der AG Junge Lebensmittelchemie (JLC) (aller Regionalverbände),
04. März 2021.

Inhaltsverzeichnis

I.	Abbildungsverzeichnis	VI
II.	Tabellenverzeichnis	XII
III.	Abkürzungsverzeichnis	XV
1	Zusammenfassung	1
2	Abstract	4
3	Einleitung.....	6
4	Theoretischer Hintergrund	11
4.1	Botanische Einordnung von Erbsen und Bohnen sowie deren Entwicklung im Anbau und Nutzung in der Human-, Tierernährung und Agrarwirtschaft	11
4.2	Inhaltsstoffzusammensetzung	12
4.2.1	Proteine.....	13
4.2.2	Proteaseinhibitoren.....	14
4.2.3	Tannine	16
5	Aktueller Forschungsstand.....	19
5.1	Einfluss genetischer Faktoren und des Anbauzeitraumes auf die inhaltsstoffliche Zusammensetzung von Erbsen und Ackerbohnen.....	21
5.2	Einfluss ökophysiologischer Faktoren und agrarwirtschaftlicher Praxis auf die inhaltsstoffliche Zusammensetzung.....	24
5.3	Hypothesen zur Allokation stickstoffhaltiger und kohlenstoffhaltiger Pflanzeninhaltsstoffe als Antwort auf bestehende Umweltbedingungen.....	29
6	Zielstellung	34
7	Ergebnisse.....	37
7.1	Unterschiede zwischen Erbsen und Ackerbohnen innerhalb der untersuchten Qualitätsparameter	37
7.1.1	Verteilung des Proteingehaltes zwischen Erbsen und Ackerbohnen	38
7.1.2	Verteilung des Proteingehaltes zwischen Sommer- und Wintererbsen.....	39
7.1.3	Verteilung der TI-Aktivität zwischen Erbsen und Ackerbohnen	40
7.1.4	Verteilung der TI-Aktivität zwischen Sommer- und Wintererbsen	40
7.1.5	Verteilung des Tanningehaltes zwischen buntblühenden Erbsen und Ackerbohnen	41

7.2	Unterschiede zwischen den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018 innerhalb der untersuchten Qualitätsparameter.....	42
7.2.1	Verteilung des Proteingehaltes zwischen den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018 ..	43
7.2.2	Verteilung der TI-Aktivität zwischen den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018.....	44
7.2.3	Verteilung des Tanningehaltes zwischen den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018..	45
7.3	Unterschiede zwischen ausgewählten Erbsen- und Bohnensorten innerhalb der untersuchten Qualitätsparameter.....	46
7.3.1	Verteilung des Proteingehaltes zwischen ausgewählten Erbsen- und Ackerbohnsorten.....	49
7.3.2	Verteilung der TI-Aktivität zwischen ausgewählten Erbsen- und Ackerbohnsorten.....	50
7.3.3	Verteilung des Tanningehaltes zwischen ausgewählten buntblühenden Ackerbohnsorten.....	51
7.4	Unterschiede zwischen den Anbaubedingungen bei Erbsen und Ackerbohnen innerhalb der untersuchten Qualitätsparameter	52
7.4.1	Verteilung des Proteingehaltes zwischen den Anbaubedingungen bei Erbsen und Ackerbohnen.....	53
7.4.2	Verteilung der TI-Aktivität zwischen den Anbaubedingungen bei Erbsen und Ackerbohnen.....	58
7.4.3	Verteilung des Tanningehaltes zwischen den Anbaubedingungen bei buntblühenden Ackerbohnen.....	64
7.5	Korrelativer Einfluss meteorologischer und morphologischer Faktoren auf die untersuchten Qualitätsparameter	67
7.5.1	Einfluss von Temperatur und Niederschlag auf den Proteingehalt von Erbsen...	68
7.5.2	Einfluss von Temperatur und Niederschlag auf den Proteingehalt von Ackerbohnen	69
7.5.3	Einfluss von Temperatur und Niederschlag auf die TI-Aktivität von Erbsen.....	71
7.5.4	Einfluss von Temperatur und Niederschlag auf die TI-Aktivität von Ackerbohnen...	72
7.5.5	Einfluss von Temperatur und Niederschlag auf den Tanningehalt von buntblühenden Ackerbohnen.....	74
7.5.6	Einfluss von Bodenarten auf den Proteingehalt von Erbsen	75
7.5.7	Einfluss von Bodenarten auf den Proteingehalt von Ackerbohnen	77
7.5.8	Einfluss von Bodenarten auf die TI-Aktivität von Erbsen.....	79
7.5.9	Einfluss von Bodenarten auf die TI-Aktivität von Ackerbohnen.....	81

7.5.10	Einfluss von Bodenarten auf den Tanningehalt von buntblühenden Ackerbohnen	83
7.6	Korrelativer Einfluss zwischen den untersuchten Qualitätsparametern	85
7.6.1	Zusammenhang zwischen dem Korngewicht und dem Proteingehalt bei Erbsen und Ackerbohnen	85
7.6.2	Zusammenhang zwischen dem Korngewicht und der TI-Aktivität bei Erbsen und Ackerbohnen	87
7.6.3	Zusammenhang zwischen dem Korngewicht und dem Tanningehalt bei buntblühenden Ackerbohnen	89
7.6.4	Zusammenhang zwischen dem Proteingehalt und der TI-Aktivität bei Erbsen und Ackerbohnen	90
7.6.5	Zusammenhang zwischen dem Proteingehalt und dem Tanningehalt bei buntblühenden Ackerbohnen	92
7.6.6	Zusammenhang zwischen der TI-Aktivität und dem Tanningehalt bei buntblühenden Ackerbohnen	92
8	Diskussion	94
8.1	Einfluss genetischer Faktoren und des Anbauzeitraumes auf die inhaltsstoffliche Zusammensetzung	94
8.1.1	Proteingehalt	94
8.1.2	TI-Aktivität	98
8.1.3	Tanningehalt	102
8.2	Einfluss ausgewählter ökophysiologischer Faktoren und agrarwirtschaftlicher Praxis auf die inhaltsstoffliche Zusammensetzung	104
8.2.1	Proteingehalt	104
8.2.2	TI-Aktivität	112
8.2.3	Tanningehalt	117
8.3	Korrelative Einflüsse innerhalb der inhaltsstofflichen Qualitätsparameter.	121
8.3.1	Untersuchung des Tausendkorngewichtes auf die inhaltsstoffliche Zusammensetzung	121
8.3.1.1	Protein	121
8.3.1.2	TI-Aktivität	122
8.3.1.3	Tannine	124
8.3.2	Untersuchung der CNBH, GDBH und PCM auf die inhaltsstoffliche Zusammensetzung	125

9	Schlussfolgerung	135
10	Experimenteller Teil.....	141
10.1	Materialien.....	141
10.1.1	Chemikalien, Geräte und Verbrauchsmaterialien	141
10.1.2	Probenmaterial	141
10.2	Methoden	144
10.2.1	Probenaufarbeitung.....	144
10.2.2	Bestimmung der Trockenmasse	144
10.2.3	Bestimmung des Tausendkorngewichtes	145
10.2.4	Proteinbestimmung nach KJELDAHL	145
10.2.5	Extraktion der Trypsininhibitoren und Bestimmung der TI-Aktivität.....	146
10.2.6	Extraktion und Bestimmung des Tanningehaltes	147
10.2.7	Bestimmung der Bodenzusammensetzung	148
10.2.8	Statistische Auswertung.....	149
11	Literaturverzeichnis.....	150
12	Anhang	168
12.1	Verzeichnis zu Chemikalien, Geräte, Verbrauchsmaterialien und verwendete Softwares	168
12.2	Verzeichnis über verwendete Lösungen und Puffer	174
12.2.1	Proteinbestimmung nach KJELDAHL	174
12.2.1.1	Tashiro-Indikator	174
12.2.2	Messung der TI-Aktivität.....	174
12.2.2.1	Trypsin-Lösung.....	174
12.2.2.2	BAPNA-Lösung	174
12.2.3	Messung des Tanningehaltes	174
12.2.3.1	Arbeitslösungen zur Tanninbestimmung	174
12.2.3.2	Catechin-Standard und Kalibrierreihe.....	175
12.3	Verzeichnis Durchführung 96-Well-Platten-Schema	176
12.3.1	Durchführung 96-Well-Platten-Schema zur Messung der TI-Aktivität.....	176
12.3.2	Durchführung 96-Well-Platten-Schema zur Messung des Tanningehaltes...	177
12.4	Nachweis und Bestimmungsgrenze der Plattenlesermethoden zur Bestimmung des Tanningehaltes	178
12.4.1	Nachweisgrenze	178
12.4.2	Schnelltest auf Normalverteilung nach DAVID	179
12.4.3	F-Test auf Varianzhomogenität.....	180
12.4.4	Bestimmungsgrenze.....	181

12.5	Aufführung der Häufigkeitsverteilung der Erbsen und Ackerbohnen nach den Metadaten	183
12.6	Deskriptive Statistik zu den ökophysiologischen Parametern Temperatur, Niederschlag und Boden	185
12.7	Signifikante Unterschiede der meteorologischen Daten zwischen den drei Anbaujahren bei Erbsen und Ackerbohnen	188
12.8	Ergänzungen zum Abschnitt 7 - Ergebnisse: Tabellen	189
12.9	Ergänzungen zum Abschnitt 7 - Ergebnisse: signifikante Unterschiede.....	207
12.10	Ergänzungen zum Abschnitt 7 - Ergebnisse: Korrelationen.....	213
13	Danksagung.....	228
14	Eidesstattliche Erklärung	230

I. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung der botanischen Systematik von Körnererbsen und Ackerbohnen.....	11
Abbildung 2: Beeinflussende Faktoren auf die inhaltsstoffliche Zusammensetzung von Pflanzen	20
Abbildung 3: Verteilung des Proteingehaltes von Erbsen und Ackerbohnen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017, 2018).....	39
Abbildung 4: Verteilung des Proteingehaltes von Sommererbsen und Wintererbsen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017, 2018).....	39
Abbildung 5: Verteilung der TI-Aktivität von Erbsen und Ackerbohnen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017, 2018).....	40
Abbildung 6: Verteilung der TI-Aktivität von Sommererbsen und Wintererbsen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017, 2018).....	41
Abbildung 7: Verteilung des Tanningehaltes von buntblühenden Erbsen und buntblühenden Ackerbohnen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017, 2018).....	42
Abbildung 8: Verteilung des Proteingehaltes von Erbsen und Ackerbohnen in den untersuchten Anbaujahren 2016, 2017 und 2018.....	44
Abbildung 9: Verteilung der TI-Aktivität von Erbsen und Ackerbohnen in den untersuchten Anbaujahren 2016, 2017 und 2018.....	45
Abbildung 10: Verteilung des Tanningehaltes von buntblühenden Erbsen in den untersuchten Anbaujahren 2016, 2017 und 2018.....	45
Abbildung 11: Verteilung des Tanningehaltes von buntblühenden Ackerbohnen in den untersuchten Anbaujahren 2016, 2017 und 2018.....	46
Abbildung 12: Verteilung des Proteingehaltes von ausgewählten Erbsensorten.....	49
Abbildung 13: Verteilung des Proteingehaltes von ausgewählten Ackerbohnenorten.....	50
Abbildung 14: Verteilung der TI-Aktivität von ausgewählten Erbsensorten	50
Abbildung 15: Verteilung der TI-Aktivität von ausgewählten Ackerbohnenorten.....	51
Abbildung 16: Verteilung des Tanningehaltes von ausgewählten buntblühenden Ackerbohnenorten	52
Abbildung 17: Verteilung des Proteingehaltes von Erbsen zwischen konventionellem und ökologischem Anbau insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	53
Abbildung 18: Verteilung des Proteingehaltes von Ackerbohnen zwischen konventionellem und ökologischem Anbau insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	54
Abbildung 19: Verteilung des Proteingehaltes zwischen fungizid-angebauten und nicht-fungizid- angebauten Erbsen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	55
Abbildung 20: Verteilung des Proteingehaltes zwischen fungizid-angebauten und nicht-fungizid- angebauten Ackerbohnen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	56

Abbildung 21: Verteilung des Proteingehaltes zwischen insektizid-angebauten und nicht-insektizid-angebauten Erbsen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	57
Abbildung 22: Verteilung des Proteingehaltes zwischen insektizid-angebauten und nicht-insektizid-angebauten Ackerbohnen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	58
Abbildung 23: Verteilung der TI-Aktivität von Erbsen zwischen konventionellem und ökologischem Anbau insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	59
Abbildung 24: Verteilung der TI-Aktivität von Ackerbohnen zwischen konventionellem und ökologischem Anbau insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	60
Abbildung 25: Verteilung der TI-Aktivität zwischen fungizid-angebauten und nicht-fungizid-angebauten Erbsen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	61
Abbildung 26: Verteilung der TI-Aktivität zwischen fungizid-angebauten und nicht-fungizid-angebauten Ackerbohnen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	62
Abbildung 27: Verteilung der TI-Aktivität zwischen insektizid-angebauten und nicht-insektizid-angebauten Erbsen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	63
Abbildung 28: Verteilung der TI-Aktivität zwischen insektizid-angebauten und nicht-insektizid-angebauten Ackerbohnen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	64
Abbildung 29: Verteilung des Tanningehaltes von buntblühenden Ackerbohnen zwischen konventionellem und ökologischem Anbau insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	65
Abbildung 30: Verteilung des Tanningehaltes zwischen fungizid-angebauten und nicht-fungizid-angebauten buntblühenden Ackerbohnen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	66
Abbildung 31: Verteilung des Proteingehaltes zwischen insektizid-angebauten und nicht-insektizid-angebauten Ackerbohnen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	67
Abbildung 32: Zusammenhang zwischen der Durchschnittstemperatur (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und Proteingehalt von Erbsen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	68
Abbildung 33: Zusammenhang zwischen dem Durchschnittsniederschlag (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und Proteingehalt von Erbsen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	69
Abbildung 34: Zusammenhang zwischen der Durchschnittstemperatur (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und Proteingehalt von Ackerbohnen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	70

Abbildung 35: Zusammenhang zwischen dem Durchschnittsniederschlag (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und Proteingehalt von Ackerbohnen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018).....	70
Abbildung 36: Zusammenhang zwischen der Durchschnittstemperatur (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und TI-Aktivität von Erbsen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	71
Abbildung 37: Zusammenhang zwischen dem Durchschnittsniederschlag (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und TI-Aktivität von Erbsen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	72
Abbildung 38: Zusammenhang zwischen der Durchschnittstemperatur (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und TI-Aktivität von Ackerbohnen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	73
Abbildung 39: Zusammenhang zwischen dem Durchschnittsniederschlag (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und TI-Aktivität von Ackerbohnen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	73
Abbildung 40: Zusammenhang zwischen der Durchschnittstemperatur (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und Tanningehalt von buntblühenden Ackerbohnen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	74
Abbildung 41: Zusammenhang zwischen dem Durchschnittsniederschlag (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und Tanningehalt von buntblühenden Ackerbohnen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018).....	75
Abbildung 42: Zusammenhang zwischen prozentualem Sandanteil im Boden und Proteingehalt von Erbsen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	76
Abbildung 43: Zusammenhang zwischen prozentualem Schluffanteil im Boden und Proteingehalt von Erbsen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	76
Abbildung 44: Zusammenhang zwischen prozentualem Tonanteil im Boden und Proteingehalt von Erbsen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	77
Abbildung 45: Zusammenhang zwischen prozentualem Sandanteil im Boden und Proteingehalt von Ackerbohnen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	78
Abbildung 46: Zusammenhang zwischen prozentualem Schluffanteil im Boden und Proteingehalt von Ackerbohnen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	78
Abbildung 47: Zusammenhang zwischen prozentualem Tonanteil im Boden und Proteingehalt von Ackerbohnen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	79
Abbildung 48: Zusammenhang zwischen prozentualem Sandanteil im Boden und TI-Aktivität von Erbsen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	80
Abbildung 49: Zusammenhang zwischen prozentualem Schluffanteil im Boden und TI-Aktivität von Erbsen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	80

Abbildung 50: Zusammenhang zwischen prozentualem Tonanteil im Boden und TI-Aktivität von Erbsen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	81
Abbildung 51: Zusammenhang zwischen prozentualem Sandanteil im Boden und TI-Aktivität von Ackerbohnen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	82
Abbildung 52: Zusammenhang zwischen prozentualem Schluffanteil im Boden und TI-Aktivität von Ackerbohnen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	82
Abbildung 53: Zusammenhang zwischen prozentualem Tonanteil im Boden und TI-Aktivität von Ackerbohnen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	83
Abbildung 54: Zusammenhang zwischen prozentualem Sandanteil im Boden und Tanningehalt von Ackerbohnen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	84
Abbildung 55: Zusammenhang zwischen prozentualem Schluffanteil im Boden und Tanningehalt von Ackerbohnen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	84
Abbildung 56: Zusammenhang zwischen prozentualem Tonanteil im Boden und Tanningehalt von Ackerbohnen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	85
Abbildung 57: Zusammenhang zwischen Tausendkorngewicht und Proteingehalt bei Erbsen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	86
Abbildung 58: Zusammenhang zwischen Tausendkorngewicht und Proteingehalt bei Ackerbohnen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	87
Abbildung 59: Zusammenhang zwischen Tausendkorngewicht und TI-Aktivität bei Erbsen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	88
Abbildung 60: Zusammenhang zwischen Tausendkorngewicht und TI-Aktivität bei Ackerbohnen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	89
Abbildung 61: Zusammenhang zwischen Tausendkorngewicht und Tanningehalt bei Ackerbohnen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	90
Abbildung 62: Zusammenhang zwischen Proteingehalt und TI-Aktivität bei Erbsen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	91
Abbildung 63: Zusammenhang zwischen Proteingehalt und TI-Aktivität bei Ackerbohnen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	91
Abbildung 64: Zusammenhang zwischen Proteingehalt und Tanningehalt bei buntblühenden Ackerbohnen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	92
Abbildung 65: Zusammenhang zwischen TI-Aktivität und Tanningehalt bei buntblühenden Ackerbohnen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	93
Abbildung 66: Übersicht über die verwendeten Qualitätsparameter mit Einteilung dazugehöriger Stichproben	141
Abbildung 67: Verteilung des Proteingehaltes von Sommererbsen zwischen konventionellem und ökologischem Anbau insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	207

Abbildung 68: Verteilung des Proteingehaltes von Sommererbsen zwischen fungizid-angebauten und nicht-fungizid-angebauten insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	208
Abbildung 69: Verteilung des Proteingehaltes von Sommererbsen zwischen insektizid-angebauten und nicht-insektizid-angebauten insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	209
Abbildung 70: Verteilung der TI-Aktivität von Sommererbsen zwischen konventionellem und ökologischem Anbau insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	210
Abbildung 71: Verteilung der TI-Aktivität von Sommererbsen zwischen fungizid-angebauten und nicht-fungizid-angebauten insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	211
Abbildung 72: Verteilung der TI-Aktivität von Sommererbsen zwischen insektizid-angebauten und nicht-insektizid-angebauten insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018	212
Abbildung 73: Zusammenhang zwischen der Durchschnittstemperatur (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und Proteingehalt von Sommererbsen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	213
Abbildung 74: Zusammenhang zwischen dem Durchschnittsniederschlag (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und Proteingehalt von Sommererbsen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	214
Abbildung 75: Zusammenhang zwischen der Durchschnittstemperatur (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und Proteingehalt von Wintererbsen insgesamt.....	214
Abbildung 76: Zusammenhang zwischen dem Durchschnittsniederschlag (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und Proteingehalt von Wintererbsen insgesamt.....	215
Abbildung 77: Zusammenhang zwischen der Durchschnittstemperatur (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und TI-Aktivität von Sommererbsen i insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	215
Abbildung 78: Zusammenhang zwischen dem Durchschnittsniederschlag (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und TI-Aktivität von Sommererbsen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	216
Abbildung 79: Zusammenhang zwischen der Durchschnittstemperatur (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und TI-Aktivität von Wintererbsen insgesamt.....	216
Abbildung 80 Zusammenhang zwischen dem Durchschnittsniederschlag (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und TI-Aktivität von Wintererbsen insgesamt.....	217
Abbildung 81: Zusammenhang zwischen prozentualem Sandanteil im Boden und Proteingehalt bei Sommererbsen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	218
Abbildung 82: Zusammenhang zwischen prozentualem Schluffanteil im Boden und Proteingehalt bei Sommererbsen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	219
Abbildung 83: Zusammenhang zwischen prozentualem Tonanteil im Boden und Proteingehalt bei Sommererbsen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	219

Abbildung 84: Zusammenhang zwischen prozentualem Sandanteil im Boden und Proteingehalt bei Wintererbsen insgesamt.....	220
Abbildung 85: Zusammenhang zwischen prozentualem Schluffanteil im Boden und Proteingehalt bei Wintererbsen insgesamt.....	220
Abbildung 86: Zusammenhang zwischen prozentualem Tonanteil im Boden und Proteingehalt bei Wintererbsen insgesamt.....	221
Abbildung 87: Zusammenhang zwischen prozentualem Sandanteil im Boden und TI-Aktivität bei Sommererbsen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	221
Abbildung 88: Zusammenhang zwischen prozentualem Schluffanteil im Boden und TI-Aktivität bei Sommererbsen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	222
Abbildung 89: Zusammenhang zwischen prozentualem Tonanteil im Boden und TI-Aktivität bei Sommererbsen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	222
Abbildung 90: Zusammenhang zwischen prozentualem Sandanteil im Boden und TI-Aktivität bei Wintererbsen insgesamt.....	223
Abbildung 91: Zusammenhang zwischen prozentualem Schluffanteil im Boden und TI-Aktivität bei Wintererbsen insgesamt.....	223
Abbildung 92: Zusammenhang zwischen prozentualem Tonanteil im Boden und TI-Aktivität bei Wintererbsen insgesamt.....	224
Abbildung 93: Zusammenhang zwischen Tausendkorngewicht und Proteingehalt bei Sommererbsen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	225
Abbildung 94: Zusammenhang zwischen Tausendkorngewicht und Proteingehalt bei Wintererbsen insgesamt.....	225
Abbildung 95: Zusammenhang zwischen Tausendkorngewicht und TI-Aktivität bei Sommererbsen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	226
Abbildung 96: Zusammenhang zwischen Tausendkorngewicht und TI-Aktivität bei Wintererbsen insgesamt.....	226
Abbildung 97: Zusammenhang zwischen Proteingehalt und TI-Aktivität bei Sommererbsen insgesamt, im Anbaujahr 2016, Anbaujahr 2017 und 2018.....	227
Abbildung 98: Zusammenhang zwischen Proteingehalt und TI-Aktivität bei Wintererbsen insgesamt.....	227

II. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von Erbsen und Ackerbohnen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017 und 2018).....	38
Tabelle 2: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von Sommer- und Wintererbsen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017 und 2018).....	38
Tabelle 3: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt zwischen den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018 bei Erbsen	42
Tabelle 4: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt zwischen den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018 bei Ackerbohnen	43
Tabelle 5: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt ausgewählter Erbsensorten	47
Tabelle 6: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von ausgewählter Ackerbohnsorten	48
Tabelle 7: Aufführung aller verwendeten Chemikalien	168
Tabelle 8: Aufführung aller verwendeten Geräte	171
Tabelle 9: Aufführung aller verwendeten Verbrauchsmaterialien.....	172
Tabelle 10: Aufführung aller verwendeten Softwares	173
Tabelle 11: 6-Punkt-Kalibrierreihe des Catechin-Standards zur Bestimmung des Tanningehaltes auf der 96-Well-Platte.....	175
Tabelle 12: Schema zur Messung der TI-Aktivität auf der 96-Well-Platte.....	176
Tabelle 13: Schema zur Messung des Tanningehaltes auf der 96-Well-Platte	177
Tabelle 14: t-Tabelle; Signifikanzschranken der t-Verteilung	178
Tabelle 15: Obere und untere Schranke zur Prüfung der Normalverteilung nach DAVID	179
Tabelle 16: Signifikanzniveau der F-Verteilung mit einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,1\%$	180
Tabelle 17: Nachweis- und Bestimmungsgrenze randomisierter Proben über den Messzeitraum	181
Tabelle 18: Nachweis- und Bestimmungsgrenze von Erbsen und Ackerbohnen bezogen auf das Extraktionsvolumen	182
Tabelle 19: Häufigkeiten Erbsen und Ackerbohnen in den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018	183
Tabelle 20: Häufigkeiten ausgewählter Erbsensorten	183
Tabelle 21: Häufigkeiten ausgewählter Ackerbohnsorten	183
Tabelle 22: Häufigkeiten Erbsen und Ackerbohnen nach Sommer- und Winteranbau.....	183
Tabelle 23: Häufigkeiten Erbsen und Ackerbohnen nach weißer und bunter Blütenfarbe	184
Tabelle 24: Häufigkeiten Erbsen und Ackerbohnen nach konventionellem und ökologischem Anbau	184

Tabelle 25: Häufigkeiten Sommer- und Wintererbsen nach konventionellem und ökologischem Anbau.....	184
Tabelle 26: Häufigkeiten Erbsen und Ackerbohnen nach Fungizideinsatz	184
Tabelle 27: Häufigkeiten Erbsen und Ackerbohnen nach Insektizideinsatz.....	184
Tabelle 28: Durchschnittliche <i>Temperatur</i> (°C) (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) in den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018 beim Erbsen- und Ackerbohnenanbau.....	185
Tabelle 29: Durchschnittlicher <i>Niederschlag</i> (mm) (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) in den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018 beim Erbsen- und Ackerbohnenanbau	186
Tabelle 30: Prozentualer Bodenanteil <i>Sand</i> (%) in den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018 beim Erbsen- und Ackerbohnenanbau.....	186
Tabelle 31: Prozentualer Bodenanteil <i>Schluff</i> (%) in den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018 beim Erbsen- und Ackerbohnenanbau.....	187
Tabelle 32: Prozentualer Bodenanteil <i>Ton</i> (%) in den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018 beim Erbsen- und Ackerbohnenanbau.....	187
Tabelle 33: Signifikante Unterschiede der meteorologischen Daten (<i>Temperatur</i> und <i>Niederschlag</i>) zwischen den drei Anbaujahren (2016, 2017 und 2018) bei Erbsen und Ackerbohnen.....	188
Tabelle 34: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von konventionell und ökologisch angebauten Erbsen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017 und 2018)	189
Tabelle 35: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von konventionell und ökologisch angebauten Ackerbohnen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017 und 2018).....	190
Tabelle 36: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von konventionell und ökologisch angebauten Sommererbsen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017 und 2018).....	191
Tabelle 37: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von konventionell und ökologisch angebauten buntblühenden Ackerbohnen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017 und 2018)	193
Tabelle 38: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von fungizid-angebauten und nicht-fungizid-angebauten Erbsen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017 und 2018).....	195
Tabelle 39: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von fungizid-angebauten und nicht-fungizid-angebauten Ackerbohnen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017 und 2018)	196

Tabelle 40: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von fungizid-angebauten und nicht-fungizid-angebauten Sommererbsen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017 und 2018)	197
Tabelle 41: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von fungizid-angebauten und nicht-fungizid-angebauten buntblühenden Ackerbohnen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017 und 2018)	199
Tabelle 42: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von insektizid-angebauten und nicht-insektizid-angebauten Erbsen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017 und 2018)	201
Tabelle 43: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von insektizid-angebauten und nicht-insektizid-angebauten Ackerbohnen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017 und 2018)	202
Tabelle 44: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von insektizid-angebauten und nicht-insektizid-angebauten Sommererbsen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017 und 2018)	203
Tabelle 45: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von insektizid-angebauten und nicht-insektizid-angebauten bunten Ackerbohnen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017 und 2018)	205

III. Abkürzungsverzeichnis

ANF	Antinutritive Faktoren
AWT	Arbeitsgemeinschaft für Wirkstoffe in der Tierernährung e.V.
AS	Aminosäure
BAPNA	N α -Benzoyl-DL-arginine 4-nitroanilide hydrochloride
BBI	Bowman-Birk-Inhibitor
Betr.	Betriebe
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BWG	Bestimmungsgrenze
C	Kohlenstoff
CE	Catechin-Äquivalent
CNBH	<i>nutrient balance hypothesis</i>
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CT	kondensierte Tannine
DAFA	Deutsche Agrarforschungsallianz
DemoNetErBo	Demonstrationsnetzwerk Erbse & Bohne
DMSO	Dimethylsulfoxid
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
GDBH	<i>growth-differentiation balance hypothesis</i>
GVO	gentechnisch veränderter Organismus
HCl	Salzsäure
KI	Kunitz-Inhibitor
N	Stickstoff
NCBI	<i>National Center for Biotechnology Information</i>
NWG	Nachweisgrenze
o.J.	ohne Jahresangabe
PCM	<i>protein competition model</i>
PI	Proteaseinhibitor
ROS	<i>reactive oxygen species</i>
SBEI	Isoform des stärkeverzweigenden Enzyms
TI	Trypsininhibitor
TIU	<i>trypsin inhibitor units</i>
TKW	Tausendkorngewicht
TM	Trockenmasse
UV/VIS-Spektroskopie	<i>ultraviolet/visible</i> -Spektroskopie

1 Zusammenfassung

Erbsen (*Pisum sativum*) und Ackerbohnen (*Vicia faba*) zeichnen sich durch einen hohen Proteingehalt aus, was deren gute Eignung in der Tierernährung und im Lebensmittelbereich begründet. Allerdings beinhalten Erbsen und Ackerbohnen auch antinutritive Inhaltsstoffe wie beispielsweise Trypsininhibitoren und Tannine, deren negativer Einfluss auf die Verdauung und Resorption von Nahrungsproteinen und auf andere Nährstoffe bekannt ist. Trotz des jahrzehntelang stagnierenden Anbaus von Leguminosen in Gesamteuropa sowie enthaltener Antinutritiva stieg das Interesse und die Nachfrage nach einheimischen Erbsen und Bohnen in Anbau und Verarbeitung in der Human- und Tierernährung in den letzten zehn Jahren in Deutschland wieder stetig an. Aufgrund der gestiegenen Nachfrage wurden in der vorliegenden Arbeit ausgewählte Qualitätsparameter wie der Proteingehalt, die Trypsininhibitoraktivität und der Tanningehalt von Erbsen und Ackerbohnen quantitativ analysiert. Auf Basis der quantitativen Analyse der drei untersuchten Qualitätsparameter soll die vorliegende Arbeit einen Teil dazu beitragen, geeignete Empfehlungen und Spezifikationen für Landwirte und industrielle Abnehmer herauszuarbeiten. Schlussendlich sollen so der Anbau, die Verarbeitung und die industrielle Verwendung von einheimischen Erbsen und Ackerbohnen in der Tierernährung und im Lebensmittelbereich weiter gefördert werden. Aus diesem Grund wurde das Projekt *Demonstrationsnetzwerk Erbse & Bohne* (DemoNetErBo) im Jahr 2016 gegründet, dessen Fokus insbesondere auf der Entwicklung einer Wissenstransferplattform in Bezug auf Anbau und Förderung einheimischer Erbsen und Bohnen liegt. Um dieses Ziel zu erreichen stellte das Netzwerk ein umfangreiches Probenet an Erbsen und Bohnen aus fast Gesamtdeutschland für die dargestellten Untersuchungen bereit. Die Erbsen- und Bohnenproben stammen von mehreren im Projekt beteiligten konventionellen und ökologischen Landwirtschaftsbetrieben aus elf deutschen Bundesländern über drei aufeinanderfolgende Anbaujahre (2016, 2017 und 2018). Das Probenmaterial wurde hierbei unter realen Kultivierungsbedingungen ohne experimentelles Felddesign angebaut, um einerseits den Effekt intrinsischer und extrinsischer Faktoren auf die drei Qualitätsparameter zu untersuchen und andererseits den korrelativen Zusammenhang der einzelnen Parameter zueinander zu prüfen.

Wie erwartet konnte in der vorliegenden Arbeit gezeigt werden, dass genetische Merkmale wie Spezies und Sorte den Proteingehalt und die Trypsininhibitoraktivität von Erbsen und Ackerbohnen beeinflussen. Der Tanningehalt wurde vor allem mit der sortenabhängigen Blütenfarbe in Verbindungen gebracht. Es zeigte sich, dass buntblühende Erbsen und Ackerbohnen höhere Tanningehalte als weißblühende Erbsen und Bohnen aufweisen. Auch für den Anbauzeitraum konnten signifikante Unterschiede in Proteingehalt und

Trypsininhibitoraktivität bei Erbsen beobachtet werden. Hierbei zeigten winterangebaute Erbsen signifikant höhere Proteingehalte als die sommerangebauten Varianten auf. Weiterhin konnten auch Einflüsse durch die in der Arbeit ausgewählten ökophysiologischen Faktoren beobachtet werden. Es konnte gezeigt werden, dass das niederschlagsärmere Anbaujahr 2018 mit höheren Proteingehalten und höherer Trypsininhibitoraktivität in Verbindung gebracht werden konnte, während der Tanningehalt hingegen bei niederschlagsreicheren Bedingungen höher war. Zudem konnte in der korrelativen Auswertung mit meteorologischen Daten gezeigt werden, dass der Proteingehalt teilweise negativ mit den Niederschlagsdaten korrelierte. Auch für die Trypsininhibitoraktivität konnten Einflüsse durch alternierende Niederschlagsdaten gezeigt werden, allerdings waren die Zusammenhänge nicht so einheitlich wie beim Proteingehalt. Es konnten ebenfalls Temperatureffekte für den Protein- und Trypsininhibitorgehalt von Erbsen und Bohnen beobachtet werden. Der Proteingehalt und die Trypsininhibitoraktivität nahmen bei höheren Temperaturen eher zu, wobei die beobachteten Zusammenhänge auch davon abhängig waren, ob Erbsen oder Ackerbohnen vorlagen. Ferner konnte beobachtet werden, dass der Proteingehalt, die Trypsininhibitoraktivität und der Tanningehalt in schluffhaltigen Böden zum Teil höher als in sandhaltigen Böden waren. Darüber hinaus zeichneten sich tonhaltige Böden punktuell durch höhere Tanningehalte aus. Zwischen konventionellen und ökologischen Anbaubedingungen konnten ebenfalls Trends beobachtet werden (gleiches gilt für den Fungizid- und Insektizideinsatz). Teilweise neigten ökologisch angebaute Bohnen und pestizidfreie Erbsen zu höheren Proteingehalten. Gleichzeitig wiesen ökologisch angebaute Erbsen eine niedrigere Trypsininhibitoraktivität als die konventionellen Varianten auf. Für den Tanningehalt konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen konventionellem und ökologischem Anbau festgestellt werden. Zudem zeigte die korrelative Auswertung, dass das Tausendkorngewicht genutzt werden kann, um die inhaltsstoffliche Zusammensetzung von Erbsen und Bohnen teilweise vorherzusagen. Es konnte ebenfalls gezeigt werden, dass Erbsen und Bohnen mit größerem Korngewicht eine tendenziell niedrigere Trypsininhibitoraktivität aufweisen. Auch wiesen buntblühende, aber großkörnige, Ackerbohnen niedrigere Tanningehalte auf. Weiterhin konnte innerhalb der korrelativen Auswertung zwischen den einzelnen Qualitätsparametern ein signifikant negativer Zusammenhang zwischen dem Protein- und Tanningehalt beobachtet werden. Es kann daher angenommen werden, dass sich proteinreiche Bohnen durch niedrigere Tanningehalte auszeichnen. Zwischen der TI-Aktivität und dem Proteingehalt, sowie zwischen der Trypsininhibitoraktivität und dem Tanningehalt, konnten hingegen nur inkonsistente Ergebnisse über die drei untersuchten Anbaujahre verzeichnet werden.

Grundsätzlich können die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit als wertvolle Orientierungshilfe für Landwirte und industrielle Abnehmer genutzt werden, um die hier untersuchten Inhaltsstoffe quantitativ in real angebauten Erbsen und Bohnen einschätzen und bewerten zu können. Zur quantitativen Vorhersage der Inhaltsstoffe können insbesondere intrinsische Faktoren, aber auch extrinsische Faktoren herangezogen werden. Allerdings sind die theoretischen Denkansätze der drei verwendeten pflanzenphysiologischen/-biochemischen Hypothesen nur begrenzt auf real angebaute Erbsen und Bohnen übertragbar. Dennoch kann mit Hilfe intrinsischer und extrinsischer Faktoren die inhaltsstoffliche Zusammensetzung quantitativ eingeschätzt und gleichzeitig eine Qualitätsbewertung von Erbsen und Bohnen stattfinden, um darauf basierend die Verwendung dieser beiden Körnerleguminosen in der Tierfütterung und im Lebensmittelbereich besser einordnen zu können. Dennoch muss bei der vorliegenden Arbeit berücksichtigt werden, dass die Ergebnisse in den einzelnen Jahresauswertungen zum Teil sehr inkonsistent waren und oft nur nicht-signifikante Trends abgebildet wurden. Auch zwischen der Erbsen- und Bohnenauswertung ergaben sich uneinheitliche Ergebnisse. Einflüsse durch genetische Faktoren, umgebende Umweltfaktoren und landwirtschaftliche Praxis können sich möglicherweise gegenseitig kumulieren, limitieren oder sogar aufheben. Daher ist es weiterhin schwierig, klare Praxisempfehlungen für den Anbau, die Verarbeitung und industrielle Verwendungsmöglichkeiten von Erbsen und Ackerbohnen zu formulieren und herauszugeben.

2 Abstract

Legumes like peas (*Pisum sativum*) and beans (*Vicia faba*) are a good source of plant proteins and thus, they are interesting for feed and food nutrition. However, they also contain high levels of so-called antinutritional compounds such as trypsin inhibitors and tannins, which can lower the digestibility of proteins, which is generally regarded as limiting in animal nutrition, but must not necessarily lower its value for human nutrition. However, their regional cultivation experienced a significant revival all over Europe in the last decade. In this study, the protein content, the trypsin inhibitory activity, and the tannin content were investigated in a large German sample set that was cultivated under real conditions. All bean samples were obtained from 73 different conventional and organic farms from ten German federal states over three consecutive cultivation years (2016, 2017, and 2018). The sample material was grown under real cultivation conditions without any specific design to figure out, to which extent intrinsic and extrinsic factors influence the three quality parameters as well as to study in which way the three quality parameters seemed to be in a relationship. Moreover, correlative analysis between the thousand kernel weight and the three quality parameters were also carried out. As expected, genetic factors had a significant influence on the protein content and trypsin inhibitory activity in peas and beans. For the cultivation period, it was shown that winter peas had a higher protein content and trypsin inhibitory activity than summer cultivated varieties. However, the tannin content was solely associated with flowering-color of the bean cultivars, whereas for the protein content and trypsin inhibitory activity, no obvious differences were observed between the selected peas and bean cultivars. Besides the genetic influence, the ecophysiology also affected the three quality parameters in a certain manner as well. Especially, high temperatures and low precipitation rates in 2018 were associated with a high protein content and high trypsin inhibitory activity as well as with low tannin content. However, no obvious temperature effect on the chemical composition was observed. Moreover, protein content, trypsin inhibitory activity, and tannin content tended to be higher in silty and more clayed soil than in high sandy soil texture. For organic peas and beans, a higher protein content and simultaneously a lower trypsin inhibitor activity were shown. No differences were determined for the tannin content between conventional and organic cultivation. Partly, the thousand-kernel weight was also an appropriate characteristic to estimate the chemical composition of peas and beans. Large grain peas and beans showed a higher nutritive value, because of the lower tannin content and due to the rather lower trypsin inhibitor activity. Moreover, a negative correlation between protein and tannin content was also identified for beans, so that beans rich in protein can indicate a higher nutritive value. However, no correlative relations

between the protein content and the trypsin inhibitor activity as well as between the tannin content and the trypsin inhibitor activity were observed.

Summarizing, the present results can be used as a rough guideline for producer and purchaser to predict the chemical composition of peas and beans by using genetic and ecophysiological factors. Also, the relationships between the individual quality parameters can be used for an evaluation of the chemical composition. On this basis, a quality assessment of the nutritive value of peas and beans can be carried out and simultaneously, the processing and utilization possibilities of peas and beans in the animal and human sector can be evaluated as well. However, the inconsistent results between peas and beans as well as between the three cultivation years did not allow the publishing of clear, application-orientated recommendations for cultivation, processing and utilization of real cultivated peas and beans. Nevertheless, this work provides useful impulses for producers and purchasers and simplifies the evaluation process under which growing conditions peas and beans are most suitable in the animal and human sector.

3 Einleitung

Erbsen (*Pisum sativum*) und Ackerbohnen (*Vicia faba*) stellen aufgrund ihres hohen Proteingehaltes eine geeignete pflanzliche Proteinquelle für die Tier- und Humanernährung dar (Rimbach et al., 2010, Hall et al., 2017). Im Vergleich zur proteinreichen Sojabohne (*Glycine max*) weisen Erbsen einen eher niedrigen Proteingehalt auf (Schumacher et al., 2011). Der Proteingehalt von Ackerbohnen liegt zwischen diesen beiden genannten Leguminosen (Schumacher et al., 2011), wobei die Ackerbohne (ähnlich wie die Sojabohne) auch als proteinreich eingestuft werden kann. Neben dem Proteingehalt wird der ernährungsphysiologische Wert von Leguminosen durch enthaltene antinutritive Inhaltsstoffe bestimmt, zu denen beispielsweise Proteaseinhibitoren (wie z.B. Trypsininhibitoren), Tannine, Phytinsäuren und Saponine gehören (Rimbach et al., 2010). Insbesondere Trypsininhibitoren (TI) und Tannine beeinträchtigen die gastrointestinale Aufnahme von Nahrungsproteinen. Beispielsweise inhibieren TI die Serinproteasen und vermindern entsprechend den proteolytischen Verdau von Nahrungsproteinen (Rimbach et al., 2010). Tannine komplexieren neben Nahrungsproteinen auch Mineralstoffe und minimieren deren Resorption im Gastrointestinaltrakt (Rimbach et al., 2010). Vor allem in der Tierernährung spielen diese beiden genannten Antinutritiva eine große Rolle, wobei sie im Lebensmittelbereich eine eher untergeordnete Relevanz durch industrielle Verarbeitungsschritte vorweisen. Allerdings werden TI und Tannine nicht nur mit antinutritiven Eigenschaften in Zusammenhang gebracht. Die in Erbsen und Bohnen enthaltenen TI verfügen über einen relativ hohen Gehalt an der schwefelhaltigen Aminosäure Cystein im Vergleich zum restlichen Leguminosenprotein (Rimbach et al., 2010). Zum anderen werden TI und Tannine mit einer antiproliferativen Wirkung assoziiert (Lajolo und Genovese, 2002, Roy et al., 2010, Clemente et al., 2012). Tanninen wird zudem ein hohes antioxidatives (Amarowicz et al., 2000, Amarowicz und Troszyńska, 2003, Troszynska und Ciska, 2015, Hall et al., 2017) und antibakterielles Potential (Broadhurst und Jones, 1978, Reed, 1995, Patra, 2010) nachgesagt.

An dieser Stelle ist hervorzuheben, dass Erbsen und Ackerbohnen aufgrund der wachsenden regionalen Verfügbarkeit und der Vermeidung kosten- und zeitintensiver Importe im letzten Jahrzehnt europaweit ein Revival in Anbau und Verarbeitung erleben (Sepngang et al., 2018). Dies ist vor allem auf die von der Europäischen Union neu erlassenen *Greening*-Maßnahmen der gemeinsamen Agrarpolitik zurückzuführen. Erbsen und Bohnen werden in der Landwirtschaft im Rahmen der *Greening*-Maßnahmen vermehrt als stickstofffixierende Zwischenfrüchte eingesetzt (DAFA, 2012). Auch aufgrund der zunehmenden Nachfrage in der Humanernährung nach nachhaltigen, regionalen, GVO-freien, pflanzlichen und proteinreichen Produkten geraten Erbsen und Bohnen immer mehr

in den Fokus und auf den heimischen Speiseplan (Sepngang et al., 2018). Mehr und mehr werden Erbsen und Ackerbohnen auch als einheimische Alternative zur importierten Sojabohne in der Tierfütterung eingesetzt (Sepngang et al., 2018). Hierbei können sowohl Erbsen als auch Ackerbohnen ohne signifikante Wachstums- und Leistungs- (z.B. durchschnittliche tägliche Gewichtszunahme und Endgewicht) sowie Qualitätseinbußen (z.B. Fleischfarbe, Wassergehalt, Lipidgehalt und Fettsäurezusammensetzung) in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung aufgewendet werden (Stein et al., 2006, Prandini et al., 2011, Smith et al., 2013, Sirtori et al., 2015).

Trotz alledem wird die inhaltsstoffliche Zusammensetzung von Erbsen und Ackerbohnen durch intrinsische und auch extrinsische Faktoren beeinflusst. Es ist bekannt, dass insbesondere der Proteingehalt von genetischen Faktoren wie Spezies beeinflusst wird (Tzitzikas et al., 2006, Alghamdi, 2009, Schumacher et al., 2011). Auch die TI-Aktivität wird in der Literatur mit Spezies assoziiert (Guillamon et al., 2008) Neben Spezies kann auch der Anbauzeitraum (Sommer- vs. Winteranbau) den Proteingehalt und die TI-Aktivität in landwirtschaftlichen Nutzpflanzen beeinflussen. Laut Literatur weisen winterangebaute Erbsen einen höheren Proteingehalt (Gatel und Grosjean, 1990, Peksen et al., 2002, Urbatzka et al., 2011) und eine höhere TI-Aktivität (Valdebouze et al., 1980, Leterme et al., 1990, Leterme et al., 1992, Urbatzka et al., 2011) als sommerangebaute Varianten auf. Oft wird die inhaltsstoffliche Zusammensetzung auch mit phänotypischen Merkmalen in Verbindung gebracht. Beispielsweise korreliert der Tanningehalt in verschiedenen Literaturquellen mit der sortenabhängigen Blütenfarbe. Es ist bekannt, dass buntblühende Sorten tanninreicher als weißblühende Varianten sind (Griffiths, 1981, Makkar et al., 1997, Bastianelli et al., 1998, Hill, 2003, Jezierny et al., 2010, Hassanpour et al., 2011). Auch die TI-Aktivität wurde in der Literatur bereits oft mit der Blütenfarbe in einen korrelativen Zusammenhang gebracht (Makkar et al., 1997, Jezierny et al., 2010, Urbatzka et al., 2011). Dahingegen wird der Proteingehalt in Leguminosen eher mit der Samenform und -farbe assoziiert (Cousin, 1997, Bastianelli et al., 1998, Tzitzikas et al., 2006). Darüber hinaus wird in der Literatur beschrieben, dass die inhaltsstoffliche Zusammensetzung von Leguminosen auch durch diverse ökophysiologische Faktoren beeinflusst wird. Vor allem variierende klimatische Bedingungen werden oft mit Veränderungen der inhaltsstofflichen Zusammensetzung von landwirtschaftlichen Nutzpflanzen in Verbindung gebracht. Aus der Literatur ist bekannt, dass der Proteingehalt in Leguminosen bei erhöhten Temperaturen (Robertson et al., 1961, Canavin, 1965, Dornbos und Mullen, 1992, Piper und Boote, 1999) und unter ariden Bedingungen (Dornbos und Mullen, 1992, Nemeskéri, 1997, Al-Karaki und Ereifej, 1999, Kumar et al., 2006, Nikolopoulou et al., 2006, Alghamdi, 2009, Bellaloui, 2011, Bellaloui et al., 2011) stark zunimmt. Beispielsweise zeigten Dornbos und Mullen (1992) in einem Teilversuch, dass der Proteingehalt in Sojabohnen unter Wasserstressbedingungen

deutlich zunahm. Auch innerhalb des Temperaturexperiments konnte ein Anstieg des Proteingehaltes bei höheren Temperaturen beobachtet werden. Auch für die TI-Aktivität konnte bereits der Einfluss ökophysiologischer Faktoren, etwa durch jahresbedingte Niederschlagsbedingungen, beschrieben werden. Piergiovanni und Pignone (2003) zeigten, dass die TI-Aktivität unter niederschlagsärmeren Anbaubedingungen höher als bei niederschlagsreichen Bedingungen ist. Der Einfluss durch alternierende klimatische Bedingungen auf den Tanningehalt im Vergleich zum Proteingehalt und der TI-Aktivität geht aus der Literatur jedoch nicht eingehend hervor. Ein einzelner Anbauversuch zeigte aber vergleichbare Tendenzen wie beim Proteingehalt und der TI-Aktivität (Oluwatosin, 1999). Dennoch wird der Tanningehalt in der Literatur eher mit der Dauer der Photoperiode assoziiert (Kraus et al., 2003, Nikolopoulou et al., 2007). Neben klimatischen Einflüssen wurde zum Teil auch der Einfluss der Bodenzusammensetzung auf die Inhaltsstoffzusammensetzung in Leguminosen in der Literatur aufgegriffen. Die gefundenen Studien bezogen sich jedoch größtenteils auf den Proteingehalt. Beispielsweise zeigten Igsban et al. (1996), dass die Proteingehalte von Erbsen, kultiviert in lehmigen Böden, höher als die Proteingehalte von Erbsen, angebaut in sandigen Lehmböden, sind. Weitere Studien beschrieben einen ähnlichen Effekt durch die Bodentextur auf den Proteingehalt von Erbsen (Nikolopoulou et al., 2007, Mertens et al., 2012). Allerdings wurde der genaue Einfluss der Bodenzusammensetzung auf den Proteingehalt in Leguminosen bisher noch nicht unter fundierten korrelativen Auswertungsaspekten untersucht und diskutiert. Dahingegen konnten für die TI-Aktivität und Tanningehalte bisher noch keine korrelativen Zusammenhänge mit der Bodenzusammensetzung in der Literatur gefunden werden. Verschiedene Studien berichteten über den Einfluss von konventionellem und ökologischem Anbau auf die hier untersuchten Qualitätsparameter. Beispielsweise konnte in einer Studie von Balisteiro et al. (2013) gezeigt werden, dass der Proteingehalt in konventionellen Sojabohnen niedriger als in ökologisch-angebauten Varianten war. Demgegenüber berichteten jedoch weitere Literaturquellen das Gegenteil zu den Beobachtungen von Balisteiro et al. (2013). Es konnte in mehreren Quellen gezeigt werden, dass konventionell angebaute Nutzpflanzen höhere Proteingehalte als die ökologischen Varianten aufweisen (Woese et al., 1997, Magkos et al., 2003, Dimberg et al., 2005, Krejčířová et al., 2006, Tamm et al., 2009, Bilsborrow et al., 2013). Im Gegensatz dazu zeichnen sich ökologisch angebaute Leguminosen durch höhere Polyphenolgehalte aus (You et al., 2011, Vallverdú-Queralt et al., 2012, Drakou et al., 2015, Giusti et al., 2018) und neigen vermutlich auch zu höheren Tanningehalten als die konventionellen Varianten. TI wurden in der Literatur bisher selten mit ökologischen und konventionellen Anbaubedingungen in Verbindung gebracht. Allerdings zeigten Balisteiro et al. (2013) auch

hier, dass konventionell angebaute Sojabohnen höhere TI-Aktivitäten als die ökologischen Bohnen aufweisen.

Zudem wird in der Literatur interessanterweise von zwei theoretischen Denkansätzen berichtet, die die inhaltsstoffliche Zusammensetzung von Pflanzen anhand der umgebenden Nährstoffverfügbarkeit und Umweltfaktoren erklären. Zu den genannten Hypothesen zählen zum einen die *carbon-nutrient balance hypothesis* (CNBH) von Bryant et al. (1983) und zum anderen die *growth-differentiation balance hypothesis* (GDBH) von Herms und Mattson (1992). Beide Hypothesen überschneiden sich in der Annahme, dass die Allokation von stickstoff- und kohlenstoffhaltigen Pflanzeninhaltsstoffen antilinear verläuft. Beispielsweise neigen Pflanzen unter ausreichend Kohlenstoffverfügbarkeit und langandauernder Photoperiode sowie geringer Stickstoffverfügbarkeit zur vermehrten Allokation kohlenstoffhaltiger Sekundärmetabolite (wie z.B. phenolische Verbindungen). Im umgekehrten Szenario, bei ausreichender Stickstoffverfügbarkeit, bilden Pflanzen vermehrt stickstoffhaltige Pflanzeninhaltsstoffe (wie z.B. Proteine und TI), während die Allokation kohlenstoffhaltiger Inhaltsstoffe erniedrigt ist (Bryant et al., 1983, Herms und Mattson, 1992). Einen ähnlichen Denkansatz greifen Jones und Hartley (1999) in ihrem *protein competition model* (PCM) auf. Der einzige Unterschied zu den beiden oben genannten Hypothesen ist, dass die Autoren in ihrem Modell biochemische Prozesse von stickstoff- und kohlenstoffhaltigem Pflanzenmaterial berücksichtigen. Die Proteinbiosynthese und Synthese phenolischer Verbindungen (z.B. kondensierter Tannine) konkurrieren um den gemeinsamen, jedoch begrenzt verfügbaren, Ausgangsstoff Phenylalanin. Auch in ihrem Modell beschreiben Jones und Hartley (1999), dass die Allokation von Proteinen und phenolischen Verbindungen in Pflanzen entgegengesetzt erfolgt. Diese drei theoretischen Annahmen können herangezogen werden, um die sich gegensätzlich beeinflussende Synthese von kohlenstoff- und stickstoffhaltigen Pflanzeninhaltsstoffen - abhängig von umgebenden Faktoren - vorhersagen zu können.

Die aktuelle Forschungslage zeigt deutlich auf, dass die inhaltsstoffliche Zusammensetzung von einheimischen Erbsen und Ackerbohnen durch diverse intrinsische und extrinsische Faktoren beeinflusst wird. Umso wichtiger erscheint eine umfangreiche statistische Auswertung dieser genannten Faktoren, um den Einfluss (vor allem von klimatischen Faktoren) auf die inhaltsstoffliche Zusammensetzung von Erbsen und Bohnen besser abschätzen zu können. Hierzu stellte das modellhafte Projekt *Demonstrationsnetzwerk Erbse & Bohne* (DemoNetErBo), gegründet in 2016 und gefördert vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) sowie von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), ein einzigartiges Probenet von real angebauten Erbsen und Ackerbohnen aus ganz Deutschland zur Verfügung. Das Netzwerk beschäftigt sich deutschlandweit vor allem mit dem Wissenstransfer von Anbau,

Verarbeitung und Verwendung dieser beiden Körnerleguminosen. Basierend auf diesem realen Probenet können die intrinsischen und extrinsischen Einflüsse auf die Inhaltsstoffzusammensetzung besser eingeschätzt und bewertet werden und derzeitige Wissenschaftslücken geschlossen werden. Vor allem für den Produzenten und den industriellen Abnehmer im *Food*- und *Feed*-Bereich ist es zu Zeiten des Klimawandels wichtig zu wissen, welche Faktoren die inhaltsstoffliche Zusammensetzung prägnant beeinflussen, um die Anwendung und Weiterverarbeitung von Erbsen und Bohnen im Lebensmittel- und Tierfütterungsbereich abschätzen zu können.

4 Theoretischer Hintergrund

4.1 Botanische Einordnung von Erbsen und Bohnen sowie deren Entwicklung im Anbau und Nutzung in der Human-, Tierernährung und Agrarwirtschaft

Erbsen und Ackerbohnen gehören zur Familie der Fabaceae und unterscheiden sich teilweise in Farbe, Form und Größe. Die sogenannten „Hülsenfrüchte“ der Erbsen und Bohnen sind die reifen, getrockneten Samen, die in der Fruchthülse der Schmetterlingsblütler heranreifen. Sie werden in Form ganzer und geschälter Körner, aber auch als Mehl konsumiert (Duranti, 2006, Rimbach et al., 2010, DAFA, 2012, FAO, 2014, 2019). In Abbildung 1 ist die allgemeine botanische Systematik der Körnererbse und Ackerbohne dargestellt.

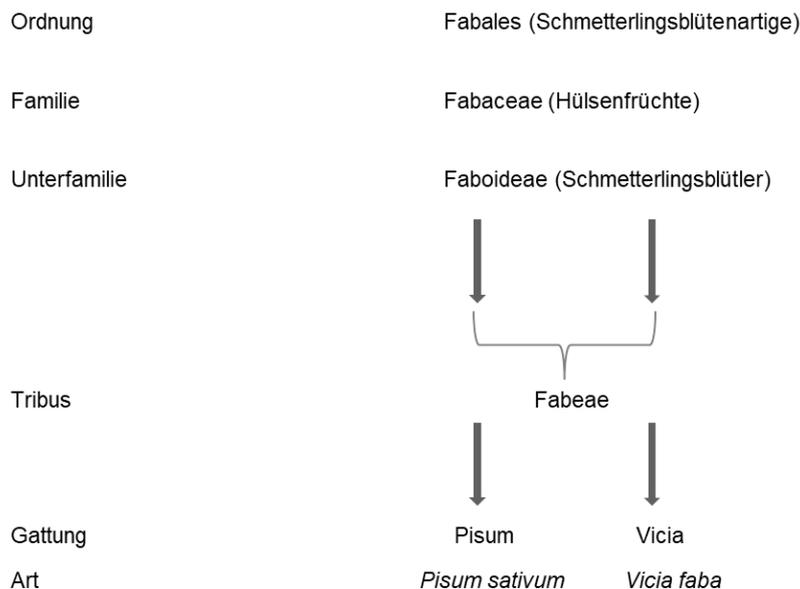


Abbildung 1: Darstellung der botanischen Systematik von Körnererbsen und Ackerbohnen (eigene Darstellung) (NCBI, o.J.)

Leguminosen zählen zu den artenreichsten Pflanzenfamilien und werden weltweit angebaut. Der Anbau der verschiedenen Leguminosenarten ist stark abhängig von morphologischen und klimatischen Bedingungen, daher unterscheiden sich die Anbauraten der Kulturen in einzelnen Ländern (Rimbach et al., 2010, FAO, 2014, 2019). Seit den 1960er Jahren konnte ein stetiges weltweites Wachstum im Leguminosenanbau verzeichnet werden (FAO, 2014, 2017, 2019). Nach der FAO (2014) hat der weltweite Leguminosenanbau von 1961 bis 2011 um 54 % zugenommen. Diese erhebliche Wachstumsrate im Anbau war jedoch nur auf bestimmte Leguminosen, wie z.B. die Sojabohne, limitiert (FAO, 2014). Diese Entwicklung konnte jedoch nicht für alle Länder

beschrieben werden. So sanken z.B. in Deutschland die Anbauflächen von Leguminosen von 1949 bis 1991 von 1,4 Mio. ha auf 0,4 Mio. ha (DAFA, 2012). Dennoch werden seit dem letzten Jahrzehnt Erbsen und Ackerbohnen wieder vermehrt in Deutschland angebaut. Vor allem seit 2015 findet für Erbsen und Ackerbohnen ein regelrechter Anbau-*Boom*, zurückzuführen auf die von der EU implementierten „*Greening*“-Maßnahmen, statt (Sepngang et al., 2018).

Alle Leguminosen, so auch Erbsen und Bohnen, zeichnen sich durch einen hohen Proteingehalt aus. Zudem beinhalten Erbsen und Ackerbohnen weitere wertgebende Inhaltsstoffe wie Stärke, Ballaststoffe, Vitamine und Mineralstoffe. Zusätzlich konnten für diese beiden Körnererbsen bioaktive und antinutritive Inhaltsstoffe identifiziert werden, die die Bioverfügbarkeit einiger Inhaltsstoffe limitieren (Rimbach et al., 2010, DAFA, 2012, FAO, 2014, 2017). Dennoch werden Leguminosen aufgrund ihres wertgebenden Nährstoffgehaltes vornehmlich in der Tierfütterung eingesetzt (Rimbach et al., 2010, DAFA, 2012, FAO, 2014, 2017, 2019, Landinfo, 2016). In Deutschland werden beispielsweise ca. 75 % der erzeugten Körnererbsen für die Tierfütterung aufgewendet (Sepngang et al., 2018). Auch in der Humanernährung werden Erbsen und Bohnen auf dem Speiseplan wiederentdeckt. In Deutschland erleben Erbsen und Ackerbohnen ein wahres Revival, da die Nachfrage nach regionalen, nachhaltigen, wertgebenden, gentechnikfreien und proteinhaltigen Pflanzenprodukten steigt. 18 % der produzierten Körnererbsen werden in Deutschland für die Humanernährung aufgewendet (Sepngang et al., 2018). Weiterhin wird in Deutschland die Erbsenstärke industriell verarbeitet und beispielsweise für die Herstellung von Nudeln verwendet (Sepngang et al., 2018).

In der Agrarwirtschaft wird der Einsatz von Erbsen und Bohnen als Zwischenfrucht innerhalb einer nachhaltigen Landwirtschaft gefördert und führt gleichzeitig zur Verbesserung der Ökosystemleistung und Erhaltung der Biodiversität (Rimbach et al., 2010, DAFA, 2012, FAO, 2019). Da Erbsen und Bohnen die Fähigkeit besitzen mit Knöllchenbakterien, *Rhizobium* spp., in Symbiose zu treten, reichern sie für nachfolgende Nutzpflanzen den Boden mit Stickstoff an (BMEL, 2019). Durch den Einsatz von Leguminosen als Zwischenfrüchte kann eine nachhaltige Landwirtschaft durch den folgenden reduzierten Einsatz von Stickstoff als Düngemittel gefördert werden (DAFA, 2012).

4.2 Inhaltsstoffzusammensetzung

In den folgenden Kapiteln werden die inhaltsstofflichen Qualitätsparameter dieser Arbeit grundlegend in ihren chemisch-strukturellen Eigenschaften beschrieben. Zudem wird auf die Bedeutsamkeit einheimischer Erbsen und Ackerbohnen in der Human- und

Tierernährung eingegangen. Die Vorstellung der Qualitätsparameter ist an dieser Stelle wichtig, um anhand dieser Parameter einen Überblick auf die Qualität und die Nutzbarkeit von Erbsen und Ackerbohnen im landwirtschaftlichen Bereich und im Humanernährungssektor zu bekommen.

4.2.1 Proteine

Erbsen und Bohnen stellen aufgrund ihres hohen Proteingehaltes eine wichtige pflanzliche Proteinquelle in der menschlichen und tierischen Ernährung dar. Proteine sind Speicherstoffe und werden vornehmlich im Samenkörper von Leguminosen gespeichert. Zudem dienen Proteine der Pflanze als Stickstoff- und Kohlenstoffquelle. Durch wechselseitige katabole und anabole Prozesse kann das Kohlenstoffgerüst von Pflanzenproteinen zum Aufbau weiterer Reservestoffe, wie Stärke und Lipide, genutzt werden (Boulter und Croy, 1997, Rimbach et al., 2010). Leguminosenproteine setzen sich aus den globulären Speicherproteinen Globulin, Albumin, Glutelin und Prolamin zusammen, wobei die drei zuletzt genannten mengenmäßig am geringsten vertreten sind. Dennoch weisen Albumine einen höheren nutritiven Wert als Globuline auf, da diese reich an schwefelhaltigen Aminosäuren sind (Boulter und Croy, 1997, Clemente et al., 1998, Guleria et al., 2009, Rimbach et al., 2010, Hall et al., 2017). Unter die Albuminfraktion fallen auch enzymaktive Inhaltsstoffe wie Lektine, Enzyminhibitoren, Lipoxygenasen und auch Abwehrproteine (Boulter und Croy, 1997, Rimbach et al., 2010, Jeroch et al., 2017). Weiterhin zeichnen sich Leguminosen durch eine relativ ausgeglichene Aminosäurezusammensetzung aus. Sie zeigen hohe Gehalte an der essentiellen Aminosäure (AS) Lysin auf, welche in Getreidearten, wie z.B. Weizen, limitierend wirkt. Allerdings ist das Aminosäureprofil von Leguminosen gekennzeichnet durch geringe Gehalte an schwefelhaltigen AS, wie etwa Cystein und Methionin, aber auch Tryptophan. Aufgrund der fehlenden schwefelhaltigen AS werden Leguminosen häufig in Kombination mit Getreidearten in der Tierernährung eingesetzt (Boulter und Croy, 1997, Tabe und Higgins, 1998, Jezierny et al., 2010, Rimbach et al., 2010, Schumacher et al., 2011, Hall et al., 2017, Jeroch et al., 2017, AWT, 1998). Der ernährungsphysiologische Wert des Leguminosenproteins wird durch enthaltene Antinutritiva (ANF) ebenfalls reduziert (Makkar et al., 1997, Alonso et al., 2000a, Rimbach et al., 2010). Die geschlossene Proteinkonformation und deren intrazelluläre Lokalisierung beeinträchtigt ebenso die proteolytische Verdauung von Leguminosenproteinen (Melito und Tovar, 1995, Clemente et al., 1998, Boye et al., 2010). Verschiedene Behandlungsmethoden wie z.B. Erhitzen, Extrusion, Schälen und Einweichen können den nutritiven Wert sowie die Verdaulichkeit von Leguminosenproteinen deutlich steigern (Melito und Tovar, 1995, Clemente et al.,

1998, Clemente et al., 2000, Alonso et al., 2000a, Negi et al., 2001, O'Doherty und Keady, 2001, Vijayakumaria et al., 2007).

Trotz des Fehlens schwefelhaltiger AS und enthaltener ANF werden Erbsen und Ackerbohnen in der Tierfütterung eingesetzt (Crépon, 2006, Diaz et al., 2006, Stein et al., 2006, Jezierny et al., 2010, Smith et al., 2013, Sirtori et al., 2015). Auch konnte bereits in mehreren *in vivo* Studien gezeigt werden, dass Erbsen und Ackerbohnen eine geeignete Alternative zur Sojabohne in der Tierernährung darstellen und ohne Qualitätseinbußen verfüttert werden können (Stein et al., 2006, Jezierny et al., 2010, Chrenková et al., 2011, Smith et al., 2013, Sirtori et al., 2015). Smith et al. (2013) beobachteten in einem Fütterungsversuch mit Schweinen, dass eine Zufütterung von Erbsen und Ackerbohnen an einem Gesamtanteil von weniger als 30 % keine Auswirkung auf das Gesamtwachstum der Tiere hatte. Nur während der Wachstumsphase von Jungschweinen konnten leichte Defizite im Gewicht im Vergleich zur Soja-Fütterung gezeigt werden. Eine Studie von Stein et al. (2006) zeigte, dass eine Zugabe von Erbsen bis zu 36 % in Kombination mit Weizen ohne Wachstumseinschränkungen möglich ist. Andere Studienergebnisse wiesen dagegen nach, dass Erbsen und Ackerbohnen sich nur bis zu einer Futterzugabe von bis zu 15 % eignen (Castell, 1976, Gatel und Grosjean, 1990). Die Supplementierung schwefelhaltiger Aminosäuren in Kombination mit Erbsen und Bohnen beeinflusst das Wachstum von Nutztieren ebenfalls positiv (Gatel und Grosjean, 1990, Crépon, 2006, Stein et al., 2006, Chrenková et al., 2011).

Die aufgeführte Literatur zeigt, dass sich einheimische Erbsen und Ackerbohnen grundsätzlich für den *Food*- und *Feed*- Sektor eignen. Sie sind eine ausgezeichnete pflanzliche Proteinquelle mit vielen wichtigen Aminosäuren. Fehlende Aminosäuren können durch Supplementierung hinzugefügt werden und dadurch das Aminosäureprofil auf Basis des *Idealen Proteins* ausgleichen. Die Kombination mit anderen Getreidearten ist ebenfalls eine Möglichkeit, die unzureichende Aminosäurezusammensetzung in Leguminosen auszugleichen. Enthaltene ANF können durch thermische und technische Behandlungsmethoden reduziert bzw. inaktiviert werden. Durch den Einsatz von Vorbehandlungsmethoden kann die Proteinverdaulichkeit und der sich daraus ergebene ernährungsphysiologische Wert erheblich gesteigert werden. Um andere temperaturempfindliche nutritive Inhaltsstoffe nicht zu beeinflussen, sollte sich allerdings für ein schonendes Verfahren entschieden werden.

4.2.2 Proteaseinhibitoren

Proteaseinhibitoren (PI) sind bioaktive Proteine (und Peptide), die in verschiedenen Pflanzenfamilien wie Kartoffeln, Getreide und auch Leguminosen vorkommen (Caballero et al., 2003, Hill, 2003, Guillamon et al., 2008, Rimbach et al., 2010). Sie sind vornehmlich im

Leguminosensamen vorzufinden (Caballero et al., 2003, Savage und Morrison, 2003). Weiterhin gehören PI zum pflanzlichen Abwehrsystem (Dunaevskii et al., 2005, Mithöfer und Boland, 2012, Balisteiro et al., 2013) und werden vornehmlich gebildet, um Pflanzen vor Fraßfeinden zu schützen. Ihr Wirkmechanismus im Pflanzenorganismus ist jedoch noch nicht vollständig geklärt. Es wird vermutet, dass pflanzliche Inhibitoren fähig sind Enzyme von Fraßfeinden (z.B. Insekten) zu hemmen, um pflanzliche Reservestoffe wie Proteine zu schützen. Weiterhin wirken Proteaseinhibitoren antibiotisch und regulieren zusätzlich proteolytische Abbauprozessen innerhalb des Pflanzenorganismus. Darüber hinaus dienen sie der Pflanze sowohl als Proteinspeicherstoff und auch als Quelle schwefelhaltiger Aminosäuren (Caballero et al., 2003, Mosolov und Valueva, 2005, Duranti, 2006).

PI sind Enzymantagonisten, wobei die Spezifität je nach PI stark variiert (Caballero et al., 2003, Hill, 2003, Rimbach et al., 2010). Lebensmittel enthalten zum größten Teil Inhibitoren, die die Serinproteasen Trypsin und Chymotrypsin hemmen (Caballero et al., 2003, Hill, 2003, Duranti, 2006, Rimbach et al., 2010). In Leguminosen unterscheidet man vorwiegend zwischen den KUNITZ- (KI) und BOWMAN-BIRK-Inhibitoren (BBI) (Caballero et al., 2003, Hill, 2003, Duranti, 2006, Guillamon et al., 2008, Rimbach et al., 2010, Roy et al., 2010). KI und BBI grenzen sich neben ihrem Molekulargewicht und ihrer Aminosäurezusammensetzung ebenfalls in ihrem Wirkmechanismus gegenüber Enzymen ab. Generell gehören in Erbsen und Ackerbohnen enthaltene PI der Familie der BBI an (Caballero et al., 2003, Roy et al., 2010).

Die PI-Aktivität wird meist anhand der Trypsininhibitor-Aktivität im Pflanzenmaterial gemessen und je nach Quelle in *mg TI/g*, *mg TI/mL* oder in Trypsininhibitoreinheiten pro Milligramm Probe (*TIU/mg*) angegeben (Caballero et al., 2003, Jezierny et al., 2010).

TI sind in der Human- und Tierernährung unerwünschte Pflanzeninhaltsstoffe. Sie beeinträchtigen die Verdaulichkeit der Nahrungsproteine durch die Inhibierung von Trypsin und Chymotrypsin. Dies führt zur Verminderung des ernährungsphysiologischen Werts des Proteins. Weiterhin stimuliert die Hemmung von Trypsin und Chymotrypsin durch TI eine negative Feedbackkontrolle im Darmtrakt. Es werden im Überschuss proteolytische Enzyme gebildet, die eine Pankreashypertrophie bedingen. Proteinstrukturen von Serinproteasen sind mehrheitlich aus schwefelhaltigen Aminosäuren aufgebaut, sodass diese anderorts dem Organismus entwendet werden und für andere Stoffwechselforgänge nicht mehr zur Verfügung stehen (Caballero et al., 2003, Hill, 2003, Jezierny et al., 2010). Trotz ihres Einflusses auf die Proteinverdaulichkeit können TI durch Hitze und Druck inaktiviert werden und folglich die Proteinverdaulichkeit verbessern (Griffiths, 1984, Caballero et al., 2003, Hill, 2003, James et al., 2005, Duranti, 2006, Roy et al., 2010). Aus diesem Grund spielen TI in der Humanernährung eine eher untergeordnete Rolle, da sie bereits innerhalb der Lebensmittelverarbeitung inaktiviert werden. Dahingegen werden

Leguminosen in der Tierernährung als ganze Samen und größtenteils unverarbeitet verfüttert, weswegen im Fütterungsbereich die Gehalte an TI eine größere Rolle spielen. Laut Literatur führt eine unzureichende Aufnahme von Nahrungsproteinen, bedingt durch zu hohe TI-Gehalte, zu Wachstums- und Leistungseinbußen bei landwirtschaftlichen Nutztieren (Alonso et al., 2000a, Prandini et al., 2011). Durch vorgeschaltete Behandlungsmethoden wie Erhitzen und Extrusion können die TI-Gehalte in Leguminosen im Rahmen der Tierfütterung reduziert werden (Alonso et al., 2000a, Alonso et al., 2000b, Khattab und Arntfield, 2009). Trotzdem müssen Grenzwerte und Empfehlungen beim Einsatz von Leguminosen festgelegt werden, um negative Wachstumseffekte, insbesondere bei landwirtschaftlichen Nutztieren, zu reduzieren. Allerdings sind Grenzwerte für TI in der Tierfütterung schwer zu bestimmen, da Faktoren wie Tierart und Alter wichtige Einflussgrößen in Hinblick auf die Verträglichkeit sind (Batterham et al., 1993). Beispielsweise zeigten Batterham et al. (1993), dass ein TI-Gehalt bis zu 4,7 TIU/mg in der Schweinefütterung ohne Einschränkungen auf das Tierwachstum eingesetzt werden kann. Grosjean et al. (2000) legten für Erbsen und Bohnen bei Schweinen eine Toleranzgrenze von 4,0 TIU/mg fest. Zusätzlich zeigten Gabert et al. (1996), dass eine TI-Aktivität in Erbsen und Ackerbohnen bis zu 3,2 TIU/mg bei Jungschweinen zu keiner Pankreashypertrophie führt.

Trotz der Auswirkungen auf die Aufnahme von Nahrungsproteinen können TI auch nutritive und gesundheitlich positive Effekte zugeschrieben werden. Aus ernährungsphysiologischer Sicht stellen TI eine Quelle für die in Leguminosen stark limitierte Aminosäure Cystein dar (Boulter und Croy, 1997, Rimbach et al., 2010). Weiterhin wurden TI in den letzten Jahrzehnten mit pharmazeutischen und gesundheitsfördernden Eigenschaften in Verbindungen gebracht (Moy und Billings, 1994, Champ, 2002, Lajolo und Genovese, 2002, Clemente et al., 2005, Duranti, 2006, Guillamon et al., 2008, Roy et al., 2010, Clemente et al., 2012). TI können aufgrund ihrer Stabilität und Resistenz gegenüber niedrigeren pH-Werten und proteolytischen Verdau als bioaktive Substanz im Organismus eingesetzt werden. Zudem weisen sie eine antiinflammatorische, chemopräventive und antiproliferative Wirkung auf (Lajolo und Genovese, 2002, Roy et al., 2010, Clemente et al., 2012). Vor allem die der BBI Familie zugehörigen PI werden ein hohes antikanzerogenes Potential in *in vitro* und in *in vivo* Studien nachgesagt (Lajolo und Genovese, 2002, Clemente et al., 2005, Guillamon et al., 2008, Roy et al., 2010, Clemente et al., 2012).

4.2.3 Tannine

Tannine sind wasserlösliche sekundäre Pflanzenstoffe, die zur chemischen Stoffklasse der Polyphenole gehören. Sie kommen vermehrt in Leguminosen vor (Hill, 2003, Hassanpour et al., 2011, Sarwar Gilani et al., 2012). Der Hauptbiosyntheseweg von phenolischen

Verbindungen, wie Tanninen, erfolgt über den Phenylpropanweg (Askar, 1986, Hassanpour et al., 2011, Kadereit et al., 2014). Aufgrund ihres adstringierenden-bitteren Geschmacks und ihrer Fähigkeit zur Komplexbildung dienen Tannine als Fraßschutz gegen Herbivoren und Insekten (Hill, 2003, Hassanpour et al., 2011, Sarwar Gilani et al., 2012). Tannine sind eine sehr heterogene Stoffgruppe, deren Molekulargewicht zwischen 500 bis 3000 Da variiert. Generell können Tannine in hydrolysierbare und kondensierte Tannine (CT) unterschieden werden (Reed, 1995, Champ, 2002, Hill, 2003, Mina et al., 2003, Jezierny et al., 2010, Hassanpour et al., 2011, Sarwar Gilani et al., 2012). Hydrolysierbare und kondensierte Tannine unterscheiden sich in ihrem Molekulargewicht, strukturellen Aufbau und chemischen Eigenschaften. In Pflanzen wie Leguminosen sind vornehmlich CT statt hydrolysierbaren Tanninen vertreten (Mina et al., 2003, Jezierny et al., 2010, Hassanpour et al., 2011, Sarwar Gilani et al., 2012).

Laut Literatur vermindern Tannine als sekundäre Pflanzenstoffe die Verdaulichkeit von Proteinen im menschlichen und tierischen Organismus. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Tannine für Proteasen unlösliche und gleichzeitig unzugängliche Protein-Tannin-Komplexe bilden. Neben Proteinen können weitere Nährstoffe, wie Kohlenhydrate und divalente Mineralstoffe, komplexiert und deren gastrointestinale Aufnahme reduziert werden (Griffiths, 1981, Reed, 1995, Champ, 2002, Mina et al., 2003, Sarwar Gilani et al., 2012). Die Komplexierung von Proteinen und Kohlenhydraten steht in Zusammenhang mit der Anzahl an freien Hydroxylgruppen innerhalb des Tanninmoleküls. Die Bindung basiert hierbei auf Wasserstoffbrücken und hydrophoben Wechselwirkungen zwischen der Tanninstruktur und den Proteinen bzw. Kohlenhydraten. Neben Protein-Komplexbildungen inhibieren Tannine Proteasen wie Trypsin, was ebenfalls zur Einschränkung der Proteinverdaulichkeit führt (Broadhurst und Jones, 1978, Jansman et al., 1995, Reed, 1995). Vor allem Histidin und Prolin-reiche Proteine weisen eine höhere Bindungsaffinität zu Tanninen auf (Jansman et al., 1995, Sarwar Gilani et al., 2012). Zudem führt die Ausbildung von Protein-Tannin-Komplexen zu einem adstringierenden Empfinden in der Mundhöhle. Adstringenz zeichnet sich durch eine Erhöhung des Speichelflusses und einer Erniedrigung der Annehmbarkeit des Futtermittels bei Tieren aus. Dies führt folglich zu einer geringeren Futteraufnahme bei landwirtschaftlichen Nutztieren (Reed, 1995, Champ, 2002). Zudem beeinflussen Tannine die Resorptionsrate der Aminosäuren Methionin und Lysin negativ (Reed, 1995, Champ, 2002). Die aufgeführten Wirkmechanismen zeigen, dass der ernährungsphysiologische Wert von Erbsen und Ackerbohnen durch enthaltene Tannine verringert werden kann. Laut Literatur muss jedoch aufgrund der stark variierenden Tanninzusammensetzung in Futtermitteln zwischen weißblühenden und buntblühenden Erbsen und Bohnen unterschieden werden. Grundlegend eignen sich buntblühende Erbsen- und Bohnensorten aufgrund ihres höheren Tanningehaltes weniger für die

Tierfütterung als weißblühende Sorten (Griffiths, 1981, Lacassagne et al., 1988, Jansman et al., 1995, Smulikowska et al., 2001). Laut Literatur sind buntblühende Leguminosen rezessiv am *zt1* und *zt2* Allel, welche mit der Synthese von Tanninen in Verbindung stehen. Daher sind buntblühende Leguminosen tanninreicher als weißblühende Leguminosen (Reed, 1995, Duc, 1997, Crépon et al., 2010). Der Tanningehalt kann durch vorgeschaltete Behandlungsmethoden verringert und die Bioverfügbarkeit von Nährstoffen entsprechend gesteigert werden. Laut Literatur kann der Einsatz von Vorbehandlungsmethoden wie Extrusion, Autoklavieren und Bestrahlung die Tanningehalte in Leguminosen deutlich reduzieren (Askar, 1986, Lacassagne et al., 1988, Alonso et al., 2000a, Champ, 2002, Vijayakumaria et al., 2007). Auch Schälen und Einweichen sind wirkungsvolle Methoden um den Tanningehalt signifikant zu verringern (Askar, 1986, Jansman et al., 1995, Alonso et al., 2000a, Champ, 2002, Vijayakumaria et al., 2007, Khattab und Arntfield, 2009). Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass Tannine vorwiegend in der Testa und weniger im Mehlkörper lokalisiert sind (Griffiths, 1981).

Trotz der negativen Wirkung auf die Nährstoffverdauung können Tannine aufgrund ihrer chemischen Struktur als Antioxidantien, beispielsweise in *Food*-Systemen, eingesetzt werden (Amarowicz et al., 2000, Amarowicz und Troszyńska, 2003, Troszynska und Ciska, 2015), sie werden aber auch mit einer chemopräventiven und antiproliferativen Wirkung assoziiert und sollen Krebs vorbeugen (Xu und Chang, 2012, Hall et al., 2017). Buntblühende Erbsen und Ackerbohnen eignen sich aufgrund des höheren Tanningehaltes besser für lebensmitteltechnologische und pharmazeutische Applikationen als weißblühende Erbsen und Bohnen (Troszynska und Ciska, 2015, Hall et al., 2017). Das Wirkungsspektrum buntblühender Erbsen und Bohnen als natürliche Antioxidantien im technologischen und pharmazeutischen Bereich ist auf das höhere Oxidationspotential gegenüber weißblühenden Erbsen und Bohnen zurückzuführen (Amarowicz et al., 2000, Amarowicz und Troszyńska, 2003, Troszynska und Ciska, 2015). Darüber hinaus ist die antioxidative Wirkung strukturell bedingt (Amarowicz et al., 2000, Troszynska und Ciska, 2015). In einer Untersuchung von Amarowicz et al. (2000) war das antioxidative Potential bei Bohnen im Vergleich zu den untersuchten Pflanzenspezies am größten. Die Autoren vermuteten, dass das Antioxidationsvermögen neben der hohen Tanninkonzentration ebenfalls von der Heterogenität der Tanninstrukturen der Pflanzenfamilie abhängt. Neben dem antioxidativen Charakter konnten für Tannine auch antibakterielle Eigenschaften nachgewiesen werden (Broadhurst und Jones, 1978, Reed, 1995, Patra, 2010).

5 Aktueller Forschungsstand

Pflanzen haben individuelle Bedürfnisse an Nährstoffen und Lebensräumen und reagieren folglich unterschiedlich auf die umgebenden ökophysiologischen Bedingungen. Die Lebensbedingungen können für eine Pflanze optimal sein, für andere Pflanzen dagegen einen Stressfaktor darstellen. Je mehr sich Pflanzen ihren optimalen Bedingungen annähern, desto größer ist ihr Wachstum und ihre Ertragsfähigkeit (Mahajan und Tuteja, 2005). Pflanzen nehmen als photoautotrophe Organismen anorganische Stoffe in Form von Kohlenstoffdioxid, Sauerstoff, Wasser, Stickstoff und mineralischen Nährstoffen auf, um diese anschließend zu energieeichen, organischen Makromolekülen, wie z.B. Stärke, Proteine und Fett, zu assimilieren. Sie bedienen sich hierbei verschiedener pflanzenphysiologischer Mechanismen wie beispielsweise der Kohlenstoff- und Stickstoffassimilation (Heldt und Piechulla, 2015). Die einzelnen Stoffwechselwege sind eng miteinander verknüpft und bilden innerhalb des Pflanzenorganismus ein komplexes Netzwerk, welches durch verschiedene Enzymsysteme gesteuert wird. Die Photosynthese ist hierbei der vorangehende Prozess um Kohlenhydrate, Proteine und Fette, aber auch sekundäre Pflanzenstoffe in Pflanzen zu bilden. Aufgrund der Vernetzung einzelner Stoffwechselwege können sich diese gegenseitig limitieren und ohne einander nicht ablaufen (Heldt und Piechulla, 2015). Genetische und ökophysiologische Faktoren bestimmen die pflanzliche Nährstoffassimilation und folglich auch die inhaltsstoffliche Zusammensetzung. Insbesondere abiotische Faktoren wie Temperatur, Trockenheit, Kälte, UV-Strahlung, oxidativer und mechanischer Stress sowie durch Herbivoren verursachte Fraßschäden beeinflussen den Pflanzenmetabolismus und die Akkumulation pflanzlicher Speicherstoffe (Abbildung 2). Dies hat insbesondere Auswirkungen auf das Wachstum, die Reproduktion und die Ertragsfähigkeit von Pflanzen (Jones und Hartley, 1999, Mahajan und Tuteja, 2005, Pandhair und Sekhon, 2006, Bartwal et al., 2013). Vor allem die Temperatur hat einen enormen Einfluss auf biochemische Stoffwechselprozesse innerhalb des Pflanzenorganismus und entsprechend auch auf die Assimilation und Speicherung von Pflanzeninhaltsstoffen (Jones und Hartley, 1999). Auch konnte bereits beschrieben werden, dass biotische Faktoren (wie z.B. pathogene Mikroorganismen, Herbivoren und Unkraut) sich ebenfalls auf die inhaltsstoffliche Pflanzenzusammensetzung auswirken (Abbildung 2), wobei abiotische Faktoren einen größeren Einflussfaktor darstellen (Apel und Hirt, 2004, Vickers et al., 2009, Bartwal et al., 2013).

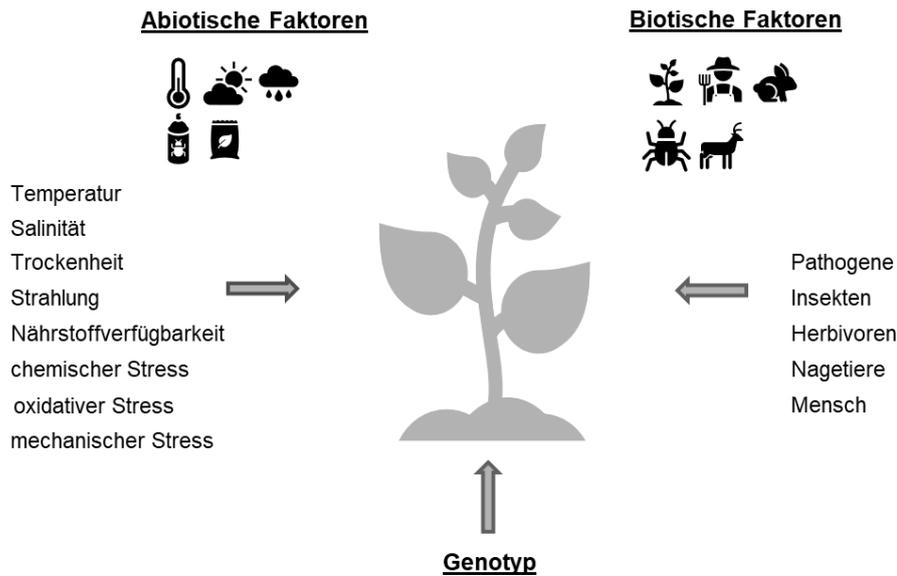


Abbildung 2: Beeinflussende Faktoren auf die inhaltsstoffliche Zusammensetzung von Pflanzen (eigene Darstellung)

Generell treten abiotische Faktoren selten singulär auf, sondern stehen häufig in Verbindung mit dem Auftreten weiterer abiotischer Stressfaktoren. Vor allem Phänomene wie hohe Temperaturen, Wasserstress bzw. niederschlagsarme Bedingungen treten in der Regel gemeinsam auf und werden eng mit dem Klimawandel in Verbindung gebracht (Apel und Hirt, 2004, Vickers et al., 2009). Weiterhin wird berichtet, dass Pflanzen aufgrund ihrer Immobilität enzymatische und nicht-enzymatische Abwehrsysteme über die Evolution hinweg entwickelten, um sich somit an die bestehenden Umweltbedingungen bestmöglich anzupassen und vor extrinsischen Faktoren zu schützen (Mahajan und Tuteja, 2005, Vickers et al., 2009). Die Synthese solcher Abwehrstoffe wird insbesondere durch die intrazelluläre Bildung von *reactive oxygen species* (ROS) ausgelöst, deren Synthese wiederum durch extrinsische Stressfaktoren stimuliert wird (Mahajan und Tuteja, 2005, Vickers et al., 2009). Zu den nicht-enzymatischen Abwehrsystemen gehören beispielsweise antioxidativ wirkende polyphenolische Verbindungen wie Tannine (Close und McArthur, 2002, Kraus et al., 2003, Mahajan und Tuteja, 2005). Aber auch die Synthese von PI wird mit der intrazellulären Bildung von ROS in Verbindung gebracht (Kidrič et al., 2014).

Für die vorliegende Arbeit ist es wichtig zu verstehen, dass Pflanzen sich an extrinsische Faktoren umgebender Umweltbedingungen anpassen. Diese Anpassung äußert sich innerhalb der Pflanzen durch Veränderung des Stoffwechsels und folglich durch die veränderte inhaltsstoffliche Zusammensetzung. Dieses Wissen ist insbesondere in Zeiten des Klimawandels wichtig, vor allen um dessen Auswirkung auf die chemische Komposition landwirtschaftlicher Nutzpflanzen (wie z.B. von Leguminosen) besser abschätzen zu können. In den folgenden Abschnitten 5.1 und 5.2 dieser Arbeit wurden bisher

veröffentlichte Publikationsquellen zusammengetragen, in denen sich die Forschungsgruppen hauptsächlich mit dem Einfluss genetischer und ökophysiologischer Faktoren auf die Inhaltstoffzusammensetzung (wie z.B. Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt) in Leguminosen beschäftigten. Weiterhin wird in Abschnitt 5.3 auf drei geläufige Pflanzenhypothesen Bezug genommen. Diese bieten möglicherweise einen geeigneten Erklärungsrahmen, um einerseits die inhaltstoffliche Zusammensetzung von Pflanzen in Abhängigkeit extrinsischer Faktoren vorherzusagen. Andererseits können diese Hypothesen auch Anhaltspunkte aufzeigen, um den korrelativen Zusammenhang zwischen Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt zu erklären.

5.1 Einfluss genetischer Faktoren und des Anbauzeitraumes auf die inhaltstoffliche Zusammensetzung von Erbsen und Ackerbohnen

Einfluss genetischer Faktoren und des Anbauzeitraumes auf den Proteingehalt in Erbsen und Ackerbohnen

Aus der Literatur ist bereits bekannt, dass der Proteingehalt von Erbsen und Ackerbohnen stark von genetischen Faktoren wie die Spezies abhängt (Monti und Grillo, 1983, Wang und Daun, 2004, Tzitzikas et al., 2006, Gallardo et al., 2008, Alghamdi, 2009, Schumacher et al., 2011, Hall et al., 2017, Jeroch et al., 2017, Santos et al., 2019). Körnererbsen gehören hierbei zu den Leguminosen mit eher niedrigen Proteingehalten und Ackerbohnen zu den Leguminosen mit mittleren bis hohen Proteingehalten (Schumacher et al., 2011). Beispielsweise zeigten Schumacher et al. (2011) für Erbsen Proteinwerte von 18 g/100g bis 29 g/100g auf, während Hacisalihoglu et al. (2020) einen breiteren Proteinbereich von 12,6 g/100g bis 33,1 g/100g ermittelten. Monti und Grillo (1983) berichteten für den Proteingehalt von Erbsen von einem Wertebereich von 15,5 g/100g bis 39,7 g/100 g. Für den Proteingehalt von Ackerbohnen beschrieben die beiden Autoren einen Wertebereich zwischen 22,0 g/100g bis 37,0 g/100g. Dagegen berichteten Barłóg et al. (2019) für Ackerbohnen von einem kleineren Proteinwertebereich von 25,7 g/100g bis 31,7 g/100g. Neben den genotypischen Variationen der einzelnen Spezies unterliegen die Proteingehalte auch starken Sorteneffekten (Wang und Daun, 2004, Tzitzikas et al., 2006, Alghamdi, 2009, Schumacher et al., 2011). Diese können vor allem auf phänotypische Merkmale wie Samenfarbe und -form zurückgeführt werden. Beispielsweise weisen braune und dunkelgrüne Erbsen einen höheren Proteingehalt gegenüber hellgrünen und gelben Erbsen auf (Tzitzikas et al., 2006, Santos et al., 2019). Ebenso zeichnen sich schrumpelige Erbsen durch höhere Proteingehalte im Vergleich zu runden Erbsen mit glatter Oberfläche aus (Bhattacharyya et al., 1990, Cousin, 1997, Bastianelli et al., 1998), wobei Santos et al. (2019) konnten in ihrer Untersuchung keine Unterschiede im Proteingehalt zwischen

schrumpeligen und glatten Erbsen feststellen. Dennoch zeigten die Autoren, dass ein Zusammenhang zwischen dem Proteingehalt und der Erbsenform besteht. Erbsen, die sich durch eine unförmige und unregelmäßige Form auszeichnen, sollen laut Santos et al. (2019) höhere Proteingehalte im Vergleich zu zylinderförmigen und elliptisch-geformten Erbsen aufweisen. Die Unterschiede im Proteingehalt zwischen einzelnen Genotypen sind laut Literatur wohl eng mit dem metabolischen Kohlenhydratstoffwechsel verbunden, der wiederum durch die genetische Codierung innerhalb einer Sorte bestimmt wird (Bhattacharyya et al., 1990, Cousin, 1997, Borisjuk et al., 2004). Auch zwischen Sommer- und Winteranbau werden Unterschiede im Proteingehalt beschrieben. Es ist bekannt, dass Wintererbsen sich durch einen höheren Proteingehalt gegenüber Sommererbsen auszeichnen (Gatel und Grosjean, 1990, Peksen et al., 2002, Urbatzka et al., 2011). Peksen et al. (2002) zeigten für Sommerkulturen einen durchschnittlichen Proteingehalt von 24,4 g/100g und für Winterkulturen einen durchschnittlichen Proteingehalt von 30,1 g/100g. Wobei Gatel und Grosjean (1990) einen stark variierenden Wertebereich für den Proteingehalt von Sommererbsen von 17,8 g/100g bis 31,1 g/100g und auch von Wintererbsen von 18,7 g/100g bis 30,9 g/100g aufzeigten. Dennoch wiesen Wintererbsen im Schnitt einen höheren Proteingehalt im Vergleich zu Sommererbsen auf.

Die aktuelle Literatur zeigt, dass spezifische Merkmale wie Spezies den Proteingehalt von Erbsen und Ackerbohnen maßgeblich beeinflussen. Dieses Wissen ist insbesondere in der Landwirtschaft, aber auch für spätere industrielle Verwendungszwecke im Lebensmittelbereich, ein wichtiges Werkzeug, um die Qualität von Erbsen und Bohnen abschätzen zu können.

Einfluss genetischer Faktoren und des Anbauzeitraumes auf die TI-Aktivität in Erbsen und Ackerbohnen

Auch die TI-Aktivität von Leguminosen wird stark mit der jeweiligen Spezies assoziiert (Guillamon et al., 2008). Hierbei zählen Sojabohnen zu den Leguminosen mit sehr hohen TI-Gehalten, während Erbsen und Ackerbohnen zu den Leguminosen mit eher geringeren TI-Gehalten gehören (Griffiths, 1984, Makkar et al., 1997, Guillamon et al., 2008, Millar et al., 2019). Guillamon et al. (2008) zeigten in ihrer Studie, dass Sojabohnen die höchste TI-Aktivität in einem Bereich von 43 TIU/mg bis 84 TIU/mg im Vergleich zu den anderen untersuchten Leguminosen aufweisen. Für Erbsen konnten hingegen TI-Aktivitäten von 6 TIU/mg bis 15 TIU/mg und für Ackerbohnen von 5 TIU/mg bis 10 TIU/mg ermittelt werden. Millar et al. (2019) zeigten für gelbe Erbsen durchschnittliche TI-Gehalte von 4,34 TIU/mg \pm 0,38 TIU/mg und für grüne Erbsen von 3,69 TIU/mg \pm 0,82 TIU/mg. Für Ackerbohnen konnten im Schnitt leicht höhere TI-Aktivitäten von 5,45 TIU/mg \pm 1,11 TIU/mg ermittelt werden. Auch Griffiths (1984) zeigte in seiner Untersuchung, dass Ackerbohnen im Schnitt

eine höhere TI-Aktivität als Erbsen aufweisen. Allerdings zeigten Erbsen in der Studie von Griffiths (1984) einerseits die höchste und andererseits auch die niedrigste TI-Aktivität auf und zeichneten sich entsprechend durch einen breiteren Wertebereich als Bohnen aus. Für die untersuchten Erbsen konnten TI-Aktivitäten von 0,15 TIU/mg bis 4,62 TIU/mg und für die untersuchten Ackerbohnen TI-Aktivitäten von 1,41 TIU/mg bis 1,56 TIU/mg ermittelt werden. Studien zufolge hat auch der Anbauzeitpunkt (Sommer- vs. Winteranbau) einen signifikanten Einfluss auf die TI-Aktivität in Leguminosen. Beispielsweise weisen winterangebaute Erbsen eine höhere TI-Aktivität gegenüber sommerangebauten Erbsen auf (Valdebouze et al., 1980, Champ, 2002, Caballero et al., 2003, Roy et al., 2010, Urbatzka et al., 2011). Phänotypische Merkmale wie Blütenfarbe und Samenform stehen ebenfalls in einem engen korrelativen Zusammenhang mit der TI-Aktivität in Leguminosen (Makkar et al., 1997, Jezierny et al., 2007, Jezierny et al., 2010, Urbatzka et al., 2011). Mehrere Literaturquellen berichten bereits davon, dass buntblühende Ackerbohnen eine tendenziell niedrigere TI-Aktivität als weißblühende Ackerbohnen aufweisen (Makkar et al., 1997, Jezierny et al., 2007, Jezierny et al., 2010), wobei eine Untersuchung von Urbatzka et al. (2010) einen entgegengesetzten Trend für Erbsen zeigte. Andere Studien konnten hingegen keinen Zusammenhang zwischen der TI-Aktivität und der Blütenfarbe feststellen (Griffiths, 1979, Griffiths, 1984). Auf Basis der bisherigen Literatur kann deswegen schwer ein eindeutiger Trend festgelegt werden, ob nun weißblühende oder buntblühende Leguminosen zu höheren bzw. niedrigeren TI-Gehalten neigen.

Die derzeitige Studienlage zeigt auf, dass die TI-Aktivität in Erbsen und Bohnen ebenfalls mit intrinsischen Faktoren wie Spezies assoziiert werden können. Dieses Wissen ist insbesondere für die landwirtschaftliche Tierfütterung von großer Relevanz, da TI die Verdaulichkeit von Nahrungsproteinen beeinflussen. Um Wachstumseinbußen vorzubeugen, können Landwirte mit geeigneten Maßnahmen die TI-Gehalte bestimmter Sorten senken oder die Fütterung von Erbsen- und Bohnensorten, welche durch eine hohe TI-Aktivität charakterisiert sind, vermeiden.

Einfluss genetischer Faktoren auf den Tanningehalt in Erbsen und Ackerbohnen

Der Tanningehalt von Erbsen und Bohnen wird ebenfalls mit genetischen Faktoren in Zusammenhang gebracht. Vor allem phänotypische, sortenabhängige Merkmale wie Blüten- und Samenfarbe werden eng mit dem Tanningehalt assoziiert (Griffiths, 1981, Askar, 1986, Reed, 1995, Makkar et al., 1997, Bastianelli et al., 1998, Wang et al., 1998, Smulikowska et al., 2001, Hill, 2003, Jezierny et al., 2007, Troszynska und Ciska, 2015, Hall et al., 2017). Aus der Literatur ist bekannt, dass buntblühende Erbsen und Ackerbohnen höhere Tanningehalte als weißblühende Erbsen und Bohnen aufweisen (Griffiths, 1981, Makkar et al., 1997, Bastianelli et al., 1998, Hill, 2003, Jezierny et al., 2010,

Hassanpour et al., 2011). Bastianelli et al. (1998) zeigten in ihrer Untersuchung, dass der Tanningehalt in buntblühenden Erbsen 100-fach höher als in weißblühenden Erbsensorten war. Zudem berichten weitere Studien, dass Erbsen und Bohnen mit dunklerer Samenschale höhere Tanningehalte als Erbsen und Bohnen mit heller Samenfarbe aufweisen (Wang et al., 1998, Troszynska und Ciska, 2015). Laut Literatur ist die pflanzliche Tanninsynthese durch die beiden Allelen *zt1* und *zt2* geprägt. Die dominanten Allele *zt1* und *zt2* bei weißblühenden Sorten und bei Sorten mit hellem Schalenanteil sind für die geringeren Tanningehalte verantwortlich. Buntblühende Sorten sind hingegen rezessiv am *zt1* und *zt2* und folglich tanninreicher als die weißblühenden Varianten (Reed, 1995, Duc, 1997, Crépon et al., 2010).

Auch in Erbsen und Ackerbohnen können die Tanningehalte mit genotypischen Merkmalen assoziiert, wobei die Spezies eine eher untergeordnete Rolle spielt. Insbesondere sortenabhängige (bzw. phänotypische) Merkmale, wie z.B. die Blütenfarbe, werden mit dem Tanningehalt in Zusammenhang gebracht. Auf dieser Wissensbasis können Landwirte die Fütterung von tanninreichen Erbsen- und Bohnensorten entweder vermeiden oder mit geeigneten Vorbehandlungsmethoden die Tanningehalte reduzieren, um Wachstumseinbußen bei Nutztieren vorzubeugen.

5.2 Einfluss ökophysiologischer Faktoren und agrarwirtschaftlicher Praxis auf die inhaltsstoffliche Zusammensetzung

Einfluss der Ökophysiologie und agrarwirtschaftlicher Faktoren auf den Proteingehalt in Erbsen und Ackerbohnen

Der Einfluss abiotischer und biotischer Faktoren auf den Proteingehalt konnte bereits in mehreren Studien gezeigt werden. Laut Literatur beeinflusst vor allem die Temperatur den Proteingehalt. Hierbei bildet sich vornehmlich ab, dass der Proteingehalt im Leguminosensamen bei erhöhten Temperaturen zunimmt (Robertson et al., 1961, Canavin, 1965, Dornbos und Mullen, 1992, Gibson und Mullen, 1996, Piper und Boote, 1999), wobei niedrige Temperaturen eher zu niedrigen Proteingehalten führen (Robertson et al., 1961). Beispielsweise zeigten Robertson et al. (1961) in ihrer Untersuchung, dass die Proteingehalte in Erbsen bei 10 °C niedriger als bei 23 °C waren. Darüber hinaus konnten Piper und Boote (1999) einen spezifischen Temperaturbereich definieren, in dem der Proteingehalt von Sojabohnen ab- bzw. zunahm. Nach Piper und Boote (1999) nahm der Proteingehalt von Sojabohnen in einem Temperaturbereich zwischen 14 °C bis 20 °C linear ab. Erst ab 25 °C konnten sie eine stetige Zunahme des Proteingehaltes beobachten. Ähnliches beschrieben auch Dornbos und Mullen (1992), wobei beide Autoren für den Proteingehalt von Sojabohnen eine kritische Temperatur von 28 °C definierten. Bis 28 °C

konnten sie eine Abnahme des Proteingehaltes beobachten, während der Proteingehalt über 28 °C linear zunahm. Neben dem Einfluss der Temperatur führen Wasserstress und Trockenheit ebenfalls zu höheren Proteingehalten im Samen (Dornbos und Mullen, 1992, Nemeskéri, 1997, Al-Karaki und Ereifej, 1999, Kumar et al., 2006, Nikolopoulou et al., 2007, Alghamdi, 2009, Bellaloui, 2011, Bellaloui et al., 2011), wobei auch in anderen Studien keine Effekte durch Wasserstress und Trockenheit beobachtet werden konnten (McLean et al., 1974, Kigel, 1999, Piergiovanni und Pignone, 2003, Nikolopoulou et al., 2006). Weitere Studien zeigten, dass Wasserstress vor allem die *N*-Fixierung und *N*-Assimilation in Sojabohnen hemmt, dies ist auf die Inhibierung der beiden beteiligten Schlüsselenzyme Nitrogenase und Nitratreduktase zurückzuführen (Bellaloui, 2011, Bellaloui et al., 2011). Dennoch berichtete Bellaloui (2011), dass trotz gehemmter *N*-Fixierung und *N*-Assimilation, ausgelöst durch Wasserstress, die Proteingehalte im Sojasamen zunahmen, aber der Gesamtstickstoffgehalt in der Sojapflanze abnahm. Dies ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass Pflanzen bei Wasserstress dazu neigen, Stickstoff aus den Blättern zu mobilisieren und im Samen zu akkumulieren (Rotundo und Westgate, 2009). Weiterhin führen diverse agronomische Praktiken wie der Einsatz von *N*-Dünger, eine zusätzliche Mineralstoffdüngung und die Inokulation mit Rhizobien ebenfalls zu höheren Proteingehalten in Leguminosen (McLean et al., 1974, Babiker et al., 1995, Igsban et al., 1996, Elsheikh und Elzidany, 1997b, Kigel, 1999, Rotundo und Westgate, 2009, Bellaloui, 2011, Bellaloui et al., 2011). Igsban et al. (1996) konnten zwar einen positiven Effekt durch eine zusätzliche *N*-Düngung in Erbsen beobachten, erzielten aber keine Erhöhung des Proteingehaltes durch die Beimpfung mit Rhizobien. Auch beschrieben mehrere Studien, dass der Proteingehalt durch Standort und durch die Bodenzusammensetzung beeinflusst wird (Singh et al., 1990, Igsban et al., 1996, Nikolopoulou et al., 2007, Wang et al., 2010, Mertens et al., 2012). Nach Igsban et al. (1996) weisen Erbsen, angebaut auf lehmigen Böden, höhere Proteingehalte als auf lehmigen Sandböden angebaute Erbsen auf. Zudem sollen biotische Faktoren wie Anbaubedingungen (konventionell vs. ökologisch) und Virenbefall den Proteingehalt in Leguminosen beeinflussen (Babiker et al., 1995, Balisteiro et al., 2013). Babiker et al. (1995) zeigten, dass mit dem Bohnenmosaikvirus beimpfte Ackerbohnen geringere Proteingehalte als nicht beimpfte Bohnen aufweisen. Die Autoren vermuteten, dass durch das eingeschränkte Pflanzenwachstum, hervorgerufen durch das Virus, die Knöllchenbakterien nicht mit ausreichend Nährstoffen versorgt werden. Dies führt zu einer verminderten Fixierung atmosphärischen Stickstoffs und einer reduzierten Versorgung der Ackerbohnen. Nach einer Untersuchung von Balisteiro et al. (2013) haben konventioneller und ökologischer Anbau ebenfalls einen Einfluss auf den Proteingehalt in Sojabohnen. Die Autoren zeigten, dass ökologisch angebaute Sojabohnen einen höheren Proteingehalt als konventionell angebaute Bohnen aufweisen.

Die aufgeführte Literatur zeigt, dass der Proteingehalt in Leguminosen nicht ausschließlich durch Spezies, sondern auch durch verschiedene extrinsische (abiotische) Faktoren, wie z.B. Witterungsbedingungen, Düngung, Standort und Bodenbeschaffenheit beeinflusst wird. Auch biotische Faktoren bestimmen den Gehalt an Protein in Leguminosen. Dieses Wissen über den Einfluss von abiotischen und biotischen Stressfaktoren auf den Proteingehalt in Leguminosen ist für Agrarwirte und auch für industrielle Abnehmer sehr bedeutend. Sie können den Proteingehalt durch Einkalkulierung extrinsischer Faktoren partiell abschätzen und durch zielgerichtete Maßnahmen (z.B. Düngung und/oder Inokulation) ggf. sogar zu beeinflussen.

Einfluss der Ökophysiologie und agrarwirtschaftlicher Faktoren auf die TI-Aktivität in Erbsen und Ackerbohnen

Proteaseinhibitoren (wie TI) werden von Pflanzen als Teil des pflanzlichen Abwehrsystems gebildet und ihre Synthese eng in Verbindung mit Pathogenen, Insekten und Herbivoren gebracht (Dunaevskii et al., 2005, Mithöfer und Boland, 2012, Balisteiro et al., 2013). Die PI-Synthese beruht auf einem Kaskadeneffekt und wird durch die intrazelluläre Bildung von ROS ausgelöst. Die Bildung zellulärer ROS wird wiederum durch extrinsische Stressfaktoren stimuliert. ROS schädigen auf intrazellulärer Ebene Proteine und verändern die biologische Proteinstruktur und deren physiologische Funktion. Innerhalb des pflanzlichen Abwehrsystems werden die durch ROS geschädigten Proteine mit Hilfe von pflanzlichen Proteasen abgebaut (Kidrič et al., 2014). Allerdings führt ein unkontrollierter enzymatischer Proteinabbau ebenfalls zum Verlust der Biofunktionalität der pflanzlichen Zelle. Um den Proteinabbau - durch intrazelluläre Proteasen induziert - zu regulieren, bilden Pflanzen als Gegenspieler spezifisch wirkende PI (Kidrič et al., 2014). Diese während der Wirkung biotischen und abiotischen Stresses ablaufenden biologischen Auf- und Abbauprozesse von Proteinen sind für das Überleben der Pflanzen elementar. Durch PI wird der enzymatische Proteinabbau reguliert, sodass innerhalb des Pflanzenorganismus die anabolen und katabolen Prozesse im Gleichgewicht bleiben. Dies ist ein bedeutender evolutionärer Pflanzenmechanismus, der Pflanzen vor extrinsischen Einflussfaktoren und damit verbunden vor pflanzenphysiologischen auf- und abbauenden Prozessketten schützt (Brzin und Kidrič, 1996, Kidrič et al., 2014).

Auf Basis der aufgeführten Literatur passen sich Pflanzen evolutionsbedingt an umgebende abiotische und biotische Stressfaktoren durch die Bildung bioaktiver Peptide, wie beispielsweise, TI an. Allerdings wurde lange Zeit angenommen, dass die Synthese von TI in Pflanzen allein durch biotische Faktoren und nicht durch abiotische Faktoren hervorgerufen wurde (Kidrič et al., 2014). Nach und nach konnte jedoch aufgezeigt werden,

dass auch abiotische Faktoren, wie z.B. Trockenheit, Salinität und Temperatur einen Einfluss auf die TI-Aktivität in Pflanzen haben (Brzin und Kidrič, 1996).

Insbesondere ökophysiologische Faktoren wie Wasserstress und Trockenheit beeinflussen die TI-Aktivität in Leguminosen. Hierzu zeigten bereits mehrere Publikationen, dass Wasserstress zu einer erhöhten TI-Aktivität in Leguminosen führt (Howard et al., 1996, Nemeskéri, 1997, Piergiovanni und Pignone, 2003). Dementgegen steht eine Studie von Oluwatosin (1999). Innerhalb seiner Untersuchung konnte er zeigen, dass die TI-Gehalte in Augenbohnen während niederschlagsreicher Jahreszeiten höher als zu trockenen Jahreszeiten waren. Dennoch vermuteten Piergiovanni und Pignone (2003) auf Grundlage ihrer Ergebnisse, dass Erbsen, die auf eine gewisse Weise klimatischen Stressbedingungen (wie in ihrer Studie die beschriebenen niederschlagsarmen Bedingungen) ausgesetzt sind, pflanzliche Abwehrstrategien entwickeln. Nach den beiden Autoren bilden Erbsen unter wasserärmeren Bedingungen vermehrt TI, welche dem pflanzlichen Verteidigungssystem zugehörig sind. Dennoch konnten Piergiovanni und Pignone (2003) Unterschiede in Bezug auf die TI-Bildung gegenüber niederschlagsärmeren Bedingungen zwischen den Erbsensorten beobachten. Die Autoren schlussfolgerten, dass die Empfindlichkeit gegenüber extrinsischem Stress, charakterisiert durch hohe TI-Gehalte, je nach Genotyp (z.B. Erbsensorte) unterschiedlich ist. Auch Bacon et al. (1995) berichteten, dass einige Erbsensorten empfindlicher gegenüber extrinsischen Stressfaktoren als andere Sorten reagieren. Wie bei Piergiovanni und Pignone (2003) zeichnete sich dies durch eine erhöhte TI-Synthese in Erbsen ab. Anhand der Ergebnisse vermuteten die Autoren, dass einzelne Erbsensorten auf transkriptionellem und translationalem Weg auf gegebene Umwelteinflüsse durch die Bildung von TI reagieren.

Neben diversen abiotischen Einflussfaktoren bestimmen auch biotische Faktoren die TI-Synthese in Pflanzen. Beispielsweise zeigten Jongsman et al. (1994), dass Insektenschäden und die Beimpfung mit Viren, wie mit dem Tabakmosaikvirus, zur Erhöhung der TI-Aktivität in Pflanzenblättern führt. Auch landwirtschaftliche Praxis, wie anorganisches und organisches Düngen, führt laut einer Untersuchung von Oluwatosin (1999) zur Erhöhung der TI-Aktivität. In einer Studie von Baleistro et al. (2013) wurde ebenfalls die TI-Aktivität in Sojabohnen durch deren Anbaubedingungen (konventionell vs. ökologisch) beeinflusst. Sie zeigten, dass TI-Gehalte im konventionellen Anbau höher als im ökologischen Anbau waren. Obwohl die Autoren grundsätzlich annahmen, dass die TI-Aktivitäten im ökologischen Anbau höher sein müsste als unter konventionellen Bedingungen, da ökologisch angebaute Sojabohnen durch fehlenden Pestizideinsatz Fraßfeinden eher als konventionell angebaute Bohnen ausgesetzt sind.

Grundsätzlich kann das Wissen über den Einfluss von abiotischen und biotischen Faktoren im agronomischen Bereich genutzt werden, um die TI-Gehalte in Erbsen und Bohnen

besser abzuschätzen, ggf. sogar zu beeinflussen. Mit geeigneten Gegenmaßnahmen (z.B. Hitze und Druck) können die TI-Gehalte in Erbsen und Bohnen verringert werden. Durch die grobe Vorhersage der TI-Gehalte können Erbsen und Bohnen bewertet und der Einsatz von TI-haltigen Leguminosen, insbesondere in der Tierfütterung, reduziert werden.

Einfluss der Ökophysiologie und agrarwirtschaftlicher Faktoren auf den Tanningehalt in Erbsen und Ackerbohnen

Ähnlich wie bei TI werden Tannine als Antwort auf sich verändernde Umweltbedingungen als eine Art pflanzlicher Abwehrstoff gebildet und akkumuliert (Close und McArthur, 2002, Kraus et al., 2003). Die Tanninbildung steht eng mit der pflanzenphysiologischen Synthese von reaktiven Sauerstoffspezies in Verbindung (Close und McArthur, 2002). In der Literatur wird beschrieben, dass Pflanzen auf extrinsische Stressfaktoren auf transkribierendem und transkriptionellem Wege mit der Synthese polyphenolischer Verbindungen (wie z.B. Tanninen) reagieren (Mahajan und Tuteja, 2005).

Die bisherige Studienlage zeigt, dass abiotische und biotische Faktoren bei der Biosynthese von Tanninen eine relevante Rolle spielen. Insbesondere abiotische Faktoren, wie die Dauer der Photoperiode, haben einen starken Einfluss auf die Tanninsynthese. Eine hohe UV-Strahlung stimuliert die Tanninbildung in Pflanzen (Kraus et al., 2003), wobei andere Studien keinen Effekt durch Licht auf den Tanningehalt beobachten konnten (Hemming und Lindroth, 1999, Osier und Lindroth, 2006). Der Einfluss alternierender Witterungsbedingungen (wie Temperatur und Niederschlag) auf den Tanningehalt findet bisher kaum Erwähnung in der Literatur. Nur eine Untersuchung von Oluwatosin (1999) zeigte für Augenbohnen, dass die Tanningehalte in trockenen Anbauzeiträumen deutlich höher als in niederschlagsreichen Anbauzeiträumen waren. Eine Studie von Nikolopoulou et al. (2006) führte dahingegen auf, dass der Tanningehalt von Kichererbsen nicht durch Regen und Trockenheit bestimmt wird. Zudem sollen laut Literatur Standort und Bodenzusammensetzung einen Einfluss auf den Tanningehalt in Leguminosen haben (Oluwatosin, 1999, Nikolopoulou et al., 2006, Nikolopoulou et al., 2007).

Ebenso werden Tannine neben abiotischen Faktoren auch mit biotischen Stressfaktoren assoziiert. In der Literatur wird beschrieben, dass Tannine als strukturelle heterogene Gruppe durch ihren adstringierenden und bitteren Geschmack Pflanzen vor Pathogenen und Fraßfeinden schützen (Heldt und Piechulla, 2015). Die Inokulation von Pathogenen sowie die äußerlichen und mechanischen Beschädigungen, ausgelöst durch Insekten und Herbivoren, sollen die Tanninbildung in Pflanzen stimulieren (Barbehenn und Constabel, 2011). Entsprechend werden ökologisch angebaute Nutzpflanzen mit hohen Polyphenolgehalten (unter anderem auch mit hohen Tanningehalten) in Verbindung gebracht. Verschiedene Studien zeigten bereits, dass der Polyphenolgehalt (und folglich

auch der Tanningehalt) in ökologisch angebauten Nutzpflanzen höher als in konventionellen Pflanzen ist (You et al., 2011, Vallverdú-Queralt et al., 2012, Drakou et al., 2015, Giusti et al., 2018). Die Ergebnisse aus der Untersuchung von Balleisteiro et al. (2013) weisen einen entgegengesetzten Trend auf. Hier zeigten konventionell angebaute Sojabohnen höhere Polyphenolgehalte als ökologische Bohnen auf. Studien berichteten auch, dass weitere agronomische Praktiken, wie eine zusätzliche N-Düngung und Inokulation mit Rhizobien, zu höheren Tanningehalten in Bohnen führten (Babiker et al., 1995, Elsheikh und Elzidany, 1997a, Elsheikh und Elzidany, 1997b). Weiterhin zeigte Oluwatosin (1999), dass die Tanningehalte ebenso mit gesteigertem Einsatz von organischem Dünger und Mineraldünger (wie Ca, K und P) in Augenbohnen signifikant zunahmen.

Die aufgeführte Literatur zeigt, dass die Tanningehalte in Pflanzen nicht nur durch die Spezies charakterisiert, sondern auch durch diverse extrinsische Faktoren bestimmt werden. Allerdings ist die Studienlage bezüglich abiotischer und biotischer Faktoren weniger umfangreich im Vergleich zu der Studienlage zum Proteingehalt. Dennoch kann dieses Wissen abiotischer und biotischer Faktoren zielgerichtet vom Landwirt und vom Abnehmer genutzt werden. Auf Grundlage von Witterungsbedingungen, Standort und landwirtschaftlicher Praxis (z.B. Düngung und Pestizideinsatz) können die Tanningehalte möglicherweise gut vorhergesagt, Erbsen und Ackerbohnen entsprechend bewertet und für die weitere Nutzung eingeordnet werden. Durch eine vorangehende Evaluierung kann die Verwendung von tanninreichen Erbsen und Bohnen insbesondere in der Tierfütterung kontrolliert eingesetzt werden.

5.3 Hypothesen zur Allokation stickstoffhaltiger und kohlenstoffhaltiger Pflanzeninhaltsstoffe als Antwort auf bestehende Umweltbedingungen

Wie bereits ausführlich in den beiden oberen Abschnitten 5.1 und 5.2 erwähnt, verändert sich die makro- und mikromolekulare Zusammensetzung von Pflanzen mit den bestehenden umgebenden Umweltbedingungen. In den letzten vier Jahrzehnten haben sich hierbei verschiedene Hypothesen herausgestellt, um die Veränderung der chemischen Inhaltsstoffzusammensetzung in Bezug auf die Ressourcenverfügbarkeit und auch an die gegebenen ökophysiologischen Bedingungen erklären zu können. Zu den genannten Hypothesen zählen die *carbon-nutrient balance hypothesis* (CNBH), beschrieben von Bryant et al. (1983) und die *growth-differentiation balance hypothesis* (GDBH), beschrieben von Loomis (1932) und von Lorio (1986), welche schließlich von Herms und Mattson (1992) erweitert wurde. Beide Hypothesen überschneiden sich in der grundlegenden Annahme, dass Pflanzen unter ausreichender Lichtintensität, Kohlenstoffverfügbarkeit und geringer

Nährstoffverfügbarkeit (insbesondere Stickstoff) eher zur Allokation kohlenstoffhaltiger Inhaltsstoffe (wie z.B. Tannine) als zu stickstoffhaltigen Inhaltsstoffen (wie z.B. Proteine und TI) neigen (Kraus et al., 2003, Ryan et al., 2010).

Die CNBH beschreibt, dass auf Grundlage ihres theoretischen Denkansatzes das Kohlenstoff/Nährstoff-Verhältnis (*C/N*-Verhältnis) in Pflanzen abgeleitet und darauf basierend die Bildung stickstoffhaltiger und kohlenstoffhaltiger sekundärer Pflanzenabwehrstoffe vorhergesagt werden kann. Laut Bryant et al. (1982) sind die wichtigsten Faktoren, die insbesondere die Allokation von Kohlenstoff beeinflussen, die Lichtintensität, das Vorhandensein von Kohlenstoff sowie die Nährstoffverfügbarkeit, welche sich vornehmlich auf die Verfügbarkeit von *N* bezieht. Nach der CNBH führt eine ausreichende Zufuhr von Stickstoff sowie schlechte Lichtverhältnisse zur Erniedrigung des *C/N*-Verhältnisses, weswegen Pflanzen laut Bryant et al. (1983) vermehrt stickstoffhaltige Pflanzenabwehrstoffe bilden. Sind im umgekehrten Fall die Stickstoffverfügbarkeit vermindert und gleichzeitig die Lichtverhältnisse und *C*-Verfügbarkeit ausreichend, wird der über die Photosynthese assimilierte Kohlenstoff in erster Linie in Form von Kohlenhydraten gespeichert. Aufgrund der reduzierten *N*-Verfügbarkeit bedienen sich Pflanzen aus dem *C*-Pool und forcieren vermehrt die Synthese kohlenstoffhaltiger Abwehrstoffe, wie z.B. mit der Bildung von Tanninen (Bryant et al., 1983, Cipollini et al., 2014). Dennoch steht die Anwendung der CNBH zur Voraussage der Synthese sekundärer Pflanzenmetaboliten in der Kritik. Beispielsweise berichteten Ryan et al. (2010), dass die CNBH nicht für alle Pflanzenstoffklassen gleichermaßen angewandt werden kann. Die Autoren berichteten, dass die CNBH zwar gut für die Vorhersage stabiler Pflanzenprodukte (wie z.B. von CT) dient, jedoch für die Bestimmung instabiler Inhaltsstoffe (wie z.B. von Terpenen und phenolische Glykosiden) eher ungeeignet ist. Die chemische Stabilität von CT resultiert daher, dass diese im Phenylpropanwegstoffwechsel eines der biosynthetischen Endprodukte darstellen. Auch steht die CNBH unter dem Gesichtspunkt in der Kritik, dass die Komplexität biochemischer Stoffwechselwege pflanzlicher Abwehrstoffe nur unzureichend berücksichtigt wird (Hamilton et al., 2001). Beispielsweise beschreiben Hamilton et al. (2001), dass die Synthese stickstoffhaltiger Pflanzeninhaltsstoffe durch einen höheren Kohlenstoffverbrauch geprägt ist, anders als die Synthese nicht-stickstoffhaltiger Pflanzenstoffe. Die Autoren führen auf, dass die Bildung von phenolischen Verbindungen über zahlreiche enzymatische Prozessschritte erfolgt und die Synthese der daran beteiligten Enzyme einen hohen *N*-Verbrauch aufweist. Weiterhin werden bei der Bildung stickstoffhaltiger Pflanzenabwehrstoffe Glukose-Moleküle verbraucht, die ebenfalls *C*, *H* und *O* Atome enthalten. Der Glukose-Verbrauch soll bei der Synthese stickstoffhaltiger Abwehrstoffe sogar höher als bei kohlenstoffhaltigen, aromatischen Inhaltsstoffen (wie z.B. Tanninen) sein. Darüber hinaus kritisieren Hamilton et al. (2001), dass innerhalb der CNBH

nur unzureichend genetische Faktoren bei der Vorhersage der inhaltsstofflichen Zusammensetzung von Pflanzen berücksichtigt werden. Wie bereits in der vorliegenden Arbeit erwähnt, spielen beispielsweise bei der Bildung von Tanninen genetische Faktoren, wie z.B. die Blütenfarbe, eine relevante Rolle (Reed, 1995, Duc, 1997, Crépon et al., 2010). Auch ist die Anwendung im Hinblick darauf lückenhaft, dass das Pflanzenwachstum innerhalb der CNBH gänzlich außer Acht gelassen wird. Laut Hamilton et al. (2001) wird die Synthese sekundärer Pflanzenstoffe nie dem Pflanzenwachstum vorangestellt werden. Wie bereits erwähnt, weisen die beiden Denkansätze der CNBH und GDBH Parallelen auf. Anders als bei der CNBH, liegt der Fokus der GDBH nicht vollständig auf der Synthese sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe, sondern berücksichtigt auch das Pflanzenwachstum. Die beiden Autoren Herms und Mattson (1992) schildern innerhalb ihrer erweiterten GDBH, dass Pflanzen in einem fortlaufend physiologischen Zielkonflikt zwischen Wachstum („*grow process*“) und Differenzierung („*differentiation process*“) stehen. Nach der GDBH von Herms und Mattson (1992) bleiben Pflanzen nur zwei Möglichkeiten sich vor Herbivoren zu schützen: Entweder wachsen Pflanzen in die Höhe („*grow process*“) oder sie bilden morphologische und/oder chemische Merkmale aus („*differentiation process*“) (Herms und Mattson, 1992, Cipollini et al., 2014). Das Pflanzenwachstum bezieht sich im Grunde auf alle biosynthetischen Prozesse, die auf der Zellteilung und Elongation basieren, wobei die Differenzierung grundlegend auf der Verbesserung der Struktur und Funktion bestehender Pflanzenzellen beruht. Zur Differenzierung gehört unter anderem der pflanzliche Sekundärmetabolismus und die damit verbundene Bildung von Abwehrstoffen (Herms und Mattson, 1992, Stamp, 2004). In Hinblick auf die Differenzierung synthetisieren Pflanzen verstärkt allelochemische Pflanzenabwehrstoffe, wie beispielsweise phenolische Verbindungen, zu denen auch die Tannine gehören. Entsprechend sollen pflanzliche Abwehrstoffe, wie Tannine, Pflanzen mit geringen Wachstumsraten vor natürlichen Fraßfeinden schützen (Herms und Mattson, 1992). Generell verlaufen das Pflanzenwachstum und die Differentiation nicht linear, da Wachstum und der Sekundärmetabolismus um die verfügbaren Photoassimilate (d.h. die Produkte der Photosynthese) konkurrieren. Innerhalb der Pflanze besteht daher ein ständiger *trade-off* zwischen Wachstum und Differentiation hinsichtlich der pflanzlichen C-Allokation (Herms und Mattson, 1992, Stamp, 2004). Das Pflanzenwachstum und die Biosynthese von sekundären Abwehrstoffen werden durch das Vorhandensein von Ressourcen und auch durch umgebende ökophysiologische Faktoren beeinflusst. Einflussfaktoren wie die Verfügbarkeit von Nährstoffen (insbesondere N), Kohlenstoffverfügbarkeit, Lichtverhältnisse, Temperatur und Wasserstress bestimmen die pflanzliche N- und C-Assimilation und entsprechend auch das Pflanzenwachstum sowie die Synthese von sekundären Inhaltsstoffen (Herms und Mattson, 1992, Ryan et al., 2010). Das

Pflanzenwachstum wird vor allem durch eine zu geringe Nährstoffverfügbarkeit, wie z.B. Stickstoff und Wasserstress, limitiert (Herms und Mattson, 1992). Die Photosynthese und der daraus resultierende pflanzliche C-Speicherpool wird dahingegen durch unzureichende Lichtverhältnisse und verminderte Kohlenstoffverfügbarkeit (bezogen auf das Vorhandensein von Kohlenstoffdioxid) eingeschränkt. Ist die Verfügbarkeit aller Ressourcen (N, C, Licht) ausreichend und sind die Witterungsbedingungen ebenfalls günstig, neigen Pflanzen vornehmlich zum Wachstum. Um das Wachstum sicherzustellen, nutzen Pflanzen auch hierzu C aus dem pflanzlichen C-Pool. Bei unzureichender Nährstoffverfügbarkeit und bei genügenden Lichtverhältnissen sowie verfügbarem Kohlenstoffdioxid nutzen Pflanzen den gespeicherten C aus dem Pflanzenpool zur Synthese kohlenstoffhaltiger Sekundärmetabolite, wie z.B. für Tannine (Herms und Mattson, 1992, Ryan et al., 2010). Ist die Ressourcenverfügbarkeit vollständig reduziert, d.h. bei geringen Stickstoff-, Wasser- und Lichtverhältnissen, wird die Photosynthese und die damit in Relation stehende C-Assimilation sowie das Pflanzenwachstum und die Bildung sekundärer Pflanzenstoffe gänzlich limitiert (Herms und Mattson, 1992).

Ein weiteres bekanntes Modell zur Erklärung der C-Allokation ist das *protein competition model* (PCM) von Jones und Hartley (1999). Dieses Modell beruht auf ähnlichen konzeptionellen Annahmen wie die CNBH und GDBH, berücksichtigt jedoch zusätzlich biochemische Stoffwechselforgänge innerhalb des Pflanzenorganismus. Jones und Hartley (1999) beschreiben einen pflanzenphysiologischen kompetitiven Zielkonflikt zwischen Protein- und Phenolsynthese. Dieser Zielkonflikt beruht darauf, dass die Protein- und Phenolsynthese um dieselbe Ausgangsaminosäure Phenylalanin, gebildet im Shikimisäureweg, konkurrieren. Entsprechend korrelieren die Protein- und Phenol-Allokation in Pflanzen nach den beiden Autoren Jones und Hartley (1999) stets entgegengesetzt. Wenn das Pflanzenwachstum, welches gleichzeitig im Zusammenhang mit der Proteinsynthese steht, durch unzureichende Nährstoffverfügbarkeit (auch hier insbesondere auf N bezogen) und ökophysiologische Faktoren (z.B. Kohlenstoffdioxidverfügbarkeit, Lichtverhältnisse, Witterungsbedingungen) nicht limitiert wird, tendieren Pflanzen dazu Phenylalanin zur Proteinsynthese aufzuwenden. Ist andernfalls das Pflanzenwachstum durch eine ungenügende Nährstoffversorgung vermindert, wird Phenylalanin zur Synthese phenolischer Verbindungen, wie z.B. für die Bildung von Tanninen, vermehrt eingesetzt (Jones und Hartley, 1999).

CNBH und GDBH geben einen Einblick in die evolutionär entwickelten Überlebensstrategien der Pflanzen gegenüber bestehenden ökophysiologischen Bedingungen. Zusätzlich gibt das Modell von Jones und Hartley (1999) Einsicht in die biochemischen inversen Beziehungen der Protein- und Polyphenolsynthese. Die Hypothese von Bryant et al. (1983) und die dazugehörige erweiterte Hypothese von Herms

und Mattson (1992) sowie das Modell von Jones und Hartley (1999) können möglicherweise im landwirtschaftlichen Anbau genutzt werden, um die inhaltsstoffliche Zusammensetzung von landwirtschaftlichen Nutzpflanzen (wie z.B. Leguminosen) anhand ökophysiologischer Faktoren partiell abzuleiten. Weiterhin bilden diese drei Hypothesen zu Szenarien des pflanzlichen Stoffwechsels einen geeigneten Rahmen, um den korrelativen Zusammenhang zwischen stickstoff- und kohlenstoffhaltigen Inhaltsstoffen für die in dieser Arbeit verwendeten Körnerleguminosen zu erklären.

6 Zielstellung

Ziel dieser Arbeit war es, korrelative Zusammenhänge und den Einfluss genetischer und ökophysiologischer Faktoren auf die inhaltsstoffliche Zusammensetzung einheimischer Erbsen und Ackerbohnen aus den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018 zu untersuchen.

Wie bereits in den beiden Abschnitten 5.1 und 5.2 umfangreich aufgeführt, griffen zwar schon zahlreiche wissenschaftliche Studien thematisch den Einfluss genetischer und ökophysiologischer Faktoren auf, um die Inhaltsstoffzusammensetzung von Leguminosen zu erklären, allerdings fanden die Studien, die den Einfluss ökophysiologischer Faktoren beschreiben, meist nur unter kontrollierten, experimentellen Anbaubedingungen statt – anders als in der vorliegenden Arbeit. Zudem zeigten Studien, die keinem definierten experimentellen Anbaudesign unterworfen waren, keine einheitlichen und teilweise auch kontroverse Ergebnisse. Darüber hinaus fiel in den gefundenen Literaturquellen auf (vgl. Kapitel 5.) auf, dass die beobachteten korrelativen Zusammenhänge zwischen extrinsischen Faktoren und der inhaltsstofflichen Zusammensetzung nur unzureichend in den Untersuchungen diskutiert wurden und kein fundierter kausaler Erklärungsansatz aufgeführt wurde. Ähnliches konnte auch innerhalb der aufgeführten Korrelationen zwischen ausgewählten Inhaltsstoffparametern in den einzelnen Literaturquellen beobachtet werden.

In Hinblick auf den derzeitigen Forschungsstand ist es daher schwer, geeignete und fundierte Ableitungen für den praktischen Anbau und die Verarbeitung von Erbsen und Ackerbohnen zu treffen und anwendungsorientierte Empfehlungen für Landwirte und industrielle Abnehmer herauszugeben. Um solche Lücken zwischen Wissenschaft und realer Landwirtschaft schließen zu können wurde das modellhafte Projekt *Demonstrationsnetzwerk Erbse & Bohne* im Jahr 2016 ins Leben gerufen. Das Projekt beschäftigt sich insbesondere mit dem Wissenstransfer von Anbau, Verarbeitung und Verwendung dieser beiden einheimischen Körnerleguminosen in Deutschland. Das Netzwerk bildet eine Kooperation mit fast allen sechzehn Bundesländern mit dem Ziel, eine Wissenstransferplattform für einheimische Erbsen und Ackerbohnen gemeinsam mit den 73 beteiligten konventionellen und ökologischen Landwirtschaftsbetrieben zu entwickeln. Der Grund für die Entstehung des Projektes ist auf den deutschlandweiten stagnierenden Anbau von Erbsen und Bohnen in den letzten Jahrzehnten zurückzuführen. Die Stagnation des Anbaus wurde einerseits durch allgemeine Schwierigkeiten im Anbau von Erbsen und Ackerbohnen hervorgerufen. Andererseits aber auch durch den fehlenden bzw. zu geringen ökonomischen Nutzen für den Landwirt und Abnehmer beim Anbau dieser beiden Körnerleguminosen. Mit Hilfe des Projektes DemoNetErBo soll insbesondere der Anbau in Deutschland erweitert und verbessert

sowie geeignete Verarbeitungs- und Anwendungszwecke für einheimische Erbsen und Bohnen gefunden werden, um gleichzeitig eine ökonomische Wertsteigerung für Landwirte zu erzielen. Auf Basis des derzeitigen Wissenstandes kann eine Qualitätsbewertung von real angebauten Erbsen und Bohnen hilfreich sein, um fundierte Empfehlungen und Spezifikationen für Agrarwirtschaft, Tierernährung und den Lebensmittelbereich herauszuarbeiten. Allerdings muss eine differenzierte Bewertung für die Tierernährung und den Lebensmittelbereich stattfinden, da beide Bereiche teilweise unterschiedliche inhaltsstoffliche Anforderungen an Erbsen und Ackerbohnen stellen. Durch eine adäquate Qualitätsbewertung könnten Landwirte die Einsatz- und Anwendungsmöglichkeiten von Erbsen und Bohnen in den beiden genannten Bereichen besser abschätzen.

Zur Ausarbeitung einer fundierten Qualitätsbewertung für den Lebensmittel- und Fütterungsbereich stellte das Projekt DemoNetErBo ein einzigartiges Stichprobenset aus real angebauten Erbsen und Ackerbohnen aus ganz Deutschland über drei aufeinanderfolgende Anbaujahre (2016, 2017 und 2018) zur Analyse ausgewählter Qualitätsparameter bereit. Anders als bei den bisherigen Anbaustudien aus der Literatur sind die zur Verfügung gestellten Erbsen und Ackerbohnen unter realen, nicht kontrollierten Bedingungen angebaut worden. Den beteiligten Landwirten wurde erlaubt diese beiden Körnerleguminosen nach ihren eigenen Anbauvorstellungen mit zusätzlicher agronomischer Beratung aus dem Projekt DemoNetErBo anzubauen. Aus diesem Grund ist dieses bundesweite erstellte Probenset von Erbsen und Bohnen einzigartig in ihrem nicht definierten agronomischen Methodenaufbau und vermutlich hervorragend zur Ableitung von Anbauempfehlungen in der Landwirtschaft und Weiterverarbeitung geeignet. Auf Basis der quantitativen Analyse des umfangreichen Probensets ist ein Ziel der vorliegenden Arbeit, den Einfluss intrinsischer und extrinsischer Faktoren auf den Proteingehalt, die TI-Aktivität und den Tanningehalt zu untersuchen. Mit Blick auf den in Kapitel 5 skizzierten, aktuellen Forschungsstand werden signifikante Unterschiede in der Inhaltsstoffzusammensetzung erwartet, die auf genetische Faktoren wie Spezies zurückzuführen sind. Neben genetischen Faktoren wie Spezies wird auch der Anbauzeitraum (Sommer- vs. Winteranbau) in der statistischen Auswertung berücksichtigt. Auch werden die drei Qualitätsparameter auf ökophysiologische Einflüsse wie Temperatur, Niederschlag und Bodenzusammensetzung, sowie auf agronomische Einflüsse (konventionell vs. ökologisch) und Pestizideinsatz hin analysiert. Mit Blick auf den aktuellen Forschungsstand und das vorliegende, einzigartige Probenset aus dem Projekt *Demonstrationsnetzwerk Erbse & Bohne* ist es Ziel der vorliegenden Arbeit, bestehende Wissenslücken zu schließen, da vergleichbare Probensets in der Regel unter kontrollierten und experimentellen

Wachstumsbedingungen, nicht aber unter realen Anbaubedingungen wissenschaftlich untersucht und analysiert werden. Eine wissenschaftliche Relevanz ergibt sich umso mehr, da der in der Literatur beschriebene meteorologische Einfluss häufig für Sojabohnen und eher selten für Erbsen und Bohnen beschrieben wurde (vgl. Kapitel 5). Auch Informationen über den Einfluss der Bodenzusammensetzung sowie den Einfluss durch Anbaubedingungen auf die inhaltsstoffliche Zusammensetzung sind teilweise lückenhaft (insbesondere für den von Erbsen- und Ackerbohnenanbau) und kontrovers in der Literatur vorzufinden, um diese für fundierte Ableitungen und Empfehlungen an Landwirt und Abnehmer zu nutzen (vgl. Kapitel 5). Ein weiteres Teilziel dieser Arbeit war es, die korrelativen Zusammenhänge der einzelnen Qualitätsparameter zueinander zu untersuchen und auf Übereinstimmungen mit den drei erwähnten Pflanzenhypothesen aus Abschnitt 5.3. zu prüfen. Nach der CNBH, GDBH und PCM ist davon auszugehen, dass stickstoffhaltige Pflanzeninhaltsstoffe (wie Proteine und TI) negativ mit kohlenstoffhaltigen Pflanzeninhaltsstoffen (wie Tanninen) korrelieren. Weiterhin wurden die drei Qualitätsparameter mit dem Tausendkorngewicht korreliert und statistisch untersucht. Auch hier werden signifikante Zusammenhänge zwischen den Qualitätsparametern und dem Tausendkorngewicht aufgrund des Schalen/Mehlkörper-Verhältnisses erwartet.

Das zusammengetragene Wissen kann für Landwirte und industrielle Abnehmer eine wichtige Orientierungshilfe darstellen, um die inhaltsstoffliche Zusammensetzung von real angebauten Erbsen und Bohnen mit Hilfe von intrinsischen und extrinsischen Faktoren vorhersagen zu können. Auch die Abschätzung des korrelativen Zusammenhangs zwischen den einzelnen Qualitätsparametern mittels den oben genannten Pflanzenhypothesen und auch dem Korngewicht kann für Abnehmer und Landwirte ebenfalls einen Leitfaden zur Einordnung des nutritiven Wertes von Erbsen und Bohnen darstellen. Weiterhin können vorhandene Wissenslücken im Anbau in Bezug auf meteorologische Einflussfaktoren sowie der Einfluss durch die Bodenzusammensetzung und Anbaubedingungen (konventionell vs. ökologisch) mit Hilfe dieser Arbeit ebenfalls geschlossen werden, sodass Landwirte und Abnehmer auch hier ihren Kenntnisstand erweitern und gezielt im agronomischen Bereich anwenden können.

7 Ergebnisse

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse dieser Arbeit detailliert vorgestellt. In Abschnitt 7.1 sind die Unterschiede der untersuchten Qualitätsparameter wie Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt zwischen Ackerbohnen und Erbsen sowie zwischen Sommer- und Wintererbsen aufgeführt. In Abschnitt 7.3 wurden ausgewählte Erbsen- und Bohnensorten auf Unterschiede in Bezug auf die hier untersuchten Qualitätsparameter überprüft. Auch wurden in Abschnitt 7.2 die untersuchten Parameter ausschließlich auf Jahreseffekte innerhalb der gesamten Erbsen- und Bohnenstichprobe untersucht. In Abschnitt 7.4 erfolgte die Auswertung der Erbsen- und Bohnenstichprobe auf agronomische Einflüsse wie auf Unterschiede zwischen konventionellem und ökologischem Anbau, auf Unterschiede zwischen Fungizid- und Nicht-Fungizideinsatz sowie Insektizid- und Nicht-Insektizideinsatz. Die Ergebnisse aus Abschnitt 7.4 wurden zum einen innerhalb einer Gesamtauswertung (d.h. alle Proben aus den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018) und innerhalb der einzelnen Anbaujahre aufgeführt. Weiterhin wurden die verschiedenen Qualitätsparameter in Abschnitt 7.5 auf ökophysiologische Einflussfaktoren untersucht. Hierbei wurden zum einen Witterungsbedingungen, wie Temperatur und Niederschlag, und zum anderen die Bodenzusammensetzung - d.h. der prozentuale Anteil an Sand, Schluff und Ton im Boden - ausgewählter Standorte in der korrelativen Auswertung berücksichtigt. Auch hier wurden die Ergebnisse zum einen innerhalb einer Gesamtauswertung (d.h. alle Proben aus den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018) und innerhalb der einzelnen Anbaujahre für Erbsen und Ackerbohnen aufgeführt. Zusätzlich wurde in Abschnitt 7.6 der korrelative Einfluss zwischen den inhaltsstofflichen Parametern zueinander untersucht. Die Darstellung der Ergebnisse in Abschnitt 7.6 erfolgt wie in den vorangehenden Abschnitten einmal innerhalb einer Gesamtauswertung (d.h. alle Proben aus den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018) und einmal innerhalb der einzelnen Anbaujahre für die Erbsen- und Bohnenstichprobe.

7.1 Unterschiede zwischen Erbsen und Ackerbohnen innerhalb der untersuchten Qualitätsparameter

In Tabelle 1 sind die deskriptiven Daten der verschiedenen Qualitätsparameter von Erbsen und Ackerbohnen insgesamt (ohne Unterteilung in die Anbaujahre 2016, 2017 und 2018) aufgeführt.

Ergebnisse

Tabelle 1: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von Erbsen und Ackerbohnen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017 und 2018)

	N	MW ± STD	Median	Min	Max
Erbsen					
Tausendkorngewicht [g]	203	237,4 ± 48,7	249,1	98,3	330,0
Proteingehalt [g/100 g]	203	19,4 ± 1,8	19,4	14,0	23,9
TI-Aktivität [TIU/mg]	203	40,3 ± 9,2	40,6	12,4	65,8
Tanningehalt [mg CE/g]	203	0,3 ± 1,2	0,0	<NWG	11,7
Ackerbohnen					
Tausendkorngewicht [g]	161	508,3 ± 76,6	513,5	223,0	699,0
Proteingehalt [g/100 g]	162	25,1 ± 2,3	24,8	19,3	33,5
TI-Aktivität [TIU/mg]	162	42,6 ± 6,7	44,2	20,5	57,3
Tanningehalt [mg CE/g]	162	4,2 ± 2,6	4,0	<NWG	12,5

Weiterhin sind in Tabelle 2 die deskriptiven Daten der verschiedenen Qualitätsparameter von Sommer- und Wintererbsen insgesamt - ohne Unterteilung in die Anbaujahre 2016, 2017 und 2018 - aufgeführt.

Tabelle 2: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von Sommer- und Wintererbsen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017 und 2018)

	N	MW ± STD	Median	Min	Max
Sommererbsen					
Tausendkorngewicht [g]	166	253,0 ± 34,2	257,2	98,3	330,0
Proteingehalt [g/100 g]	166	19,3 ± 1,7	19,3	14,0	23,9
TI-Aktivität [TIU/mg]	166	38,0 ± 7,7	39,1	12,4	52,7
Tanningehalt [mg CE/g]	166	0,1 ± 0,4	0,0	<NWG	4,7
Wintererbsen					
Tausendkorngewicht [g]	37	167,5 ± 42,4	155,0	110,0	256,3
Proteingehalt [g/100 g]	37	20,2 ± 2,0	20,2	16,9	23,9
TI-Aktivität [TIU/mg]	37	50,5 ± 8,5	51,3	32,3	65,8
Tanningehalt [mg CE/g]	37	1,1 ± 2,5	0,0	<NWG	11,7

7.1.1 Verteilung des Proteingehaltes zwischen Erbsen und Ackerbohnen

Abbildung 3 zeigt, dass Ackerbohnen einen signifikant höheren Proteingehalt als Erbsen aufweisen. Die Verteilung des Proteingehaltes von Erbsen und Ackerbohnen überschneidet sich zum Teil. Der für Erbsen niedrigste ermittelte absolute Proteingehalt lag bei 14,0

g/100 g und der höchste ermittelte absolute Proteingehalt bei 23,9 g/100 g (Tabelle 1). Für Bohnen lag der niedrigste Proteingehalt bei 19,3 g/100 g und der höchste Proteingehalt bei 33,5 g/100 g (Tabelle 1).

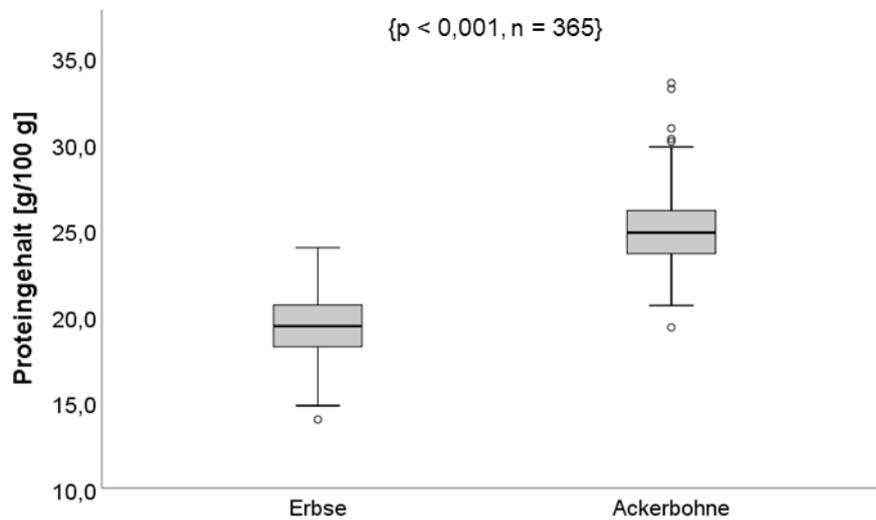


Abbildung 3: Verteilung des Proteingehaltes von Erbsen und Ackerbohnen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017, 2018)

Anmerkungen: **Häufigkeiten:** Erbsen (n = 203) und Ackerbohnen (n = 162).

7.1.2 Verteilung des Proteingehaltes zwischen Sommer- und Wintererbsen

In Abbildung 4 wird aufgezeigt, dass Wintererbsen einen signifikant höheren Proteingehalt im Vergleich zu Sommererbsen haben.

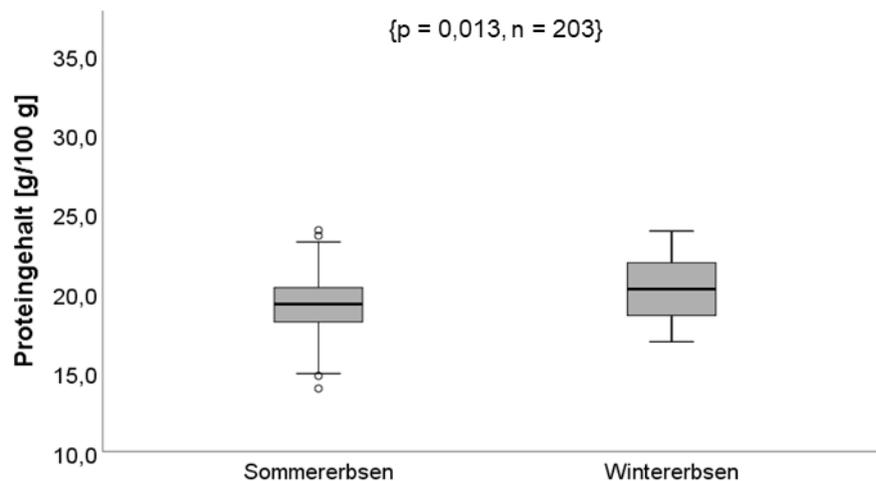


Abbildung 4: Verteilung des Proteingehaltes von Sommererbsen und Wintererbsen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017, 2018)

Anmerkungen: **Häufigkeiten:** Sommererbsen (n = 166) und Wintererbsen (n = 37).

Trotz der signifikanten Unterschiede wiesen Sommer- und Wintererbsen ähnlich hohe Spannweiten auf (Abbildung 4 und Tabelle 2). Der absolut niedrigste gemessene Proteingehalt mit 14,0 g/100 g konnte für Sommererbsen ermittelt werden, wobei der absolut höchste gemessene Proteingehalt für Sommer- und Wintererbsen 23,9 g/100 g betrug (Abbildung 4 und Tabelle 2).

7.1.3 Verteilung der TI-Aktivität zwischen Erbsen und Ackerbohnen

In Abbildung 5 konnte gezeigt werden, dass Ackerbohnen eine signifikant höhere TI-Aktivität als Erbsen aufweisen.

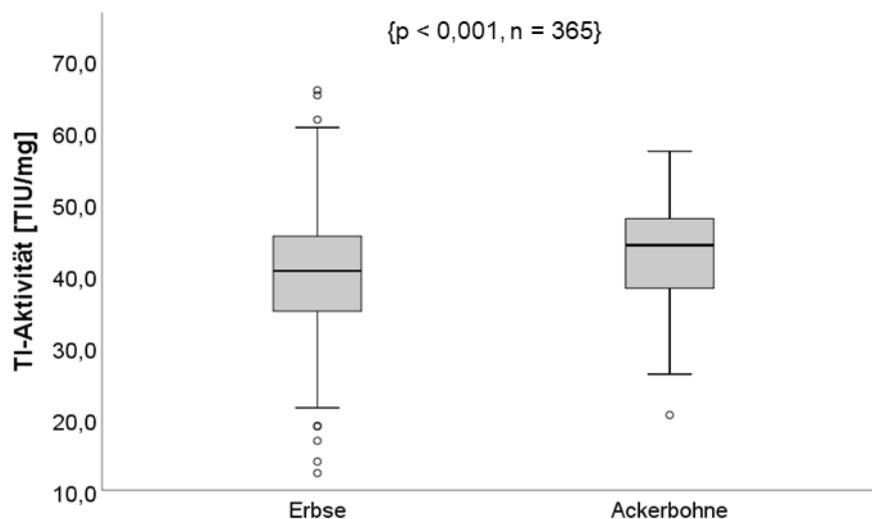


Abbildung 5: Verteilung der TI-Aktivität von Erbsen und Ackerbohnen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017, 2018)

Anmerkungen: **Häufigkeiten:** Erbsen (n = 203) und Ackerbohnen (n = 162).

Trotz der signifikanten Unterschiede konnte belegt werden, dass die Verteilung der TI-Aktivität von Erbsen und Ackerbohnen sich zum Teil stark überschneidet. Die absolut niedrigste TI-Aktivität von Erbsen lag bei 12,4 TIU/mg und die absolut höchste TI-Aktivität bei 65,8 TIU/mg (Abbildung 5, Tabelle 1). Dagegen lag für Ackerbohnen die absolut niedrigste TI-Aktivität bei 20,5 TIU/mg und die absolut höchste TI-Aktivität bei 57,3 TIU/mg (Abbildung 5, Tabelle 1). Auch war die Erbsenstichprobe stärker von Ausreißern als die Bohnenstichprobe geprägt (Abbildung 5).

7.1.4 Verteilung der TI-Aktivität zwischen Sommer- und Wintererbsen

Wintererbsen zeichneten sich im Vergleich zu Sommererbsen durch eine signifikant höhere TI-Aktivität aus (Abbildung 6). Für beide Stichproben konnten allerdings auch hohe Streuungen und Spannweiten innerhalb der Verteilung der TI-Aktivität festgestellt werden (Abbildung 6, Tabelle 2).

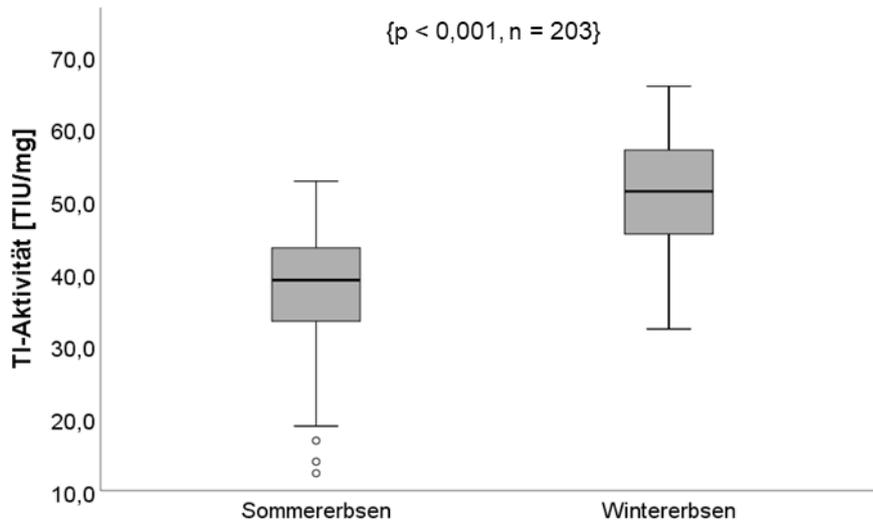


Abbildung 6: Verteilung der TI-Aktivität von Sommererbsen und Wintererbsen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017, 2018)

Anmerkungen: **Häufigkeiten:** Sommererbsen (n = 166) und Wintererbsen (n = 37).

Weiterhin überlagerte sich die Verteilung der TI-Aktivität von sommer- und winterangebauten Erbsen stark. Die absolut niedrigste TI-Aktivität von Sommererbsen lag bei 12,4 TIU/mg und die absolut höchste TI-Aktivität bei 52,7 TIU/mg. Die absolut niedrigste TI-Aktivität von Wintererbsen lag bei 32,3 TIU/mg und die absolut höchste bei 65,8 TIU/mg (Abbildung 6, Tabelle 2).

7.1.5 Verteilung des Tanningehaltes zwischen buntblühenden Erbsen und Ackerbohnen

Abbildung 7 zeigt, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen buntblühenden Erbsen und Ackerbohnen gibt. Die Tanningehalte von buntblühenden Erbsen und Bohnen waren annähernd gleich verteilt. Beide Stichproben zeigten dabei große Spannweiten über die Anbaujahre hinweg auf (Abbildung 7, Tabelle 1).

Der absolut niedrigste gemessene Tanningehalt bei buntblühenden Erbsen lag bei 1,3 mg CE/g und der absolut höchste bei 11,7 mg CE/g (Abbildung 7, Tabelle 1). Bei den buntblühenden Ackerbohnen lag der absolut niedrigste Tanningehalt unterhalb der Nachweisgrenze und der absolut höchste Tanningehalt bei 12,5 mg CE/g (Abbildung 7, Tabelle 1).

Ergebnisse

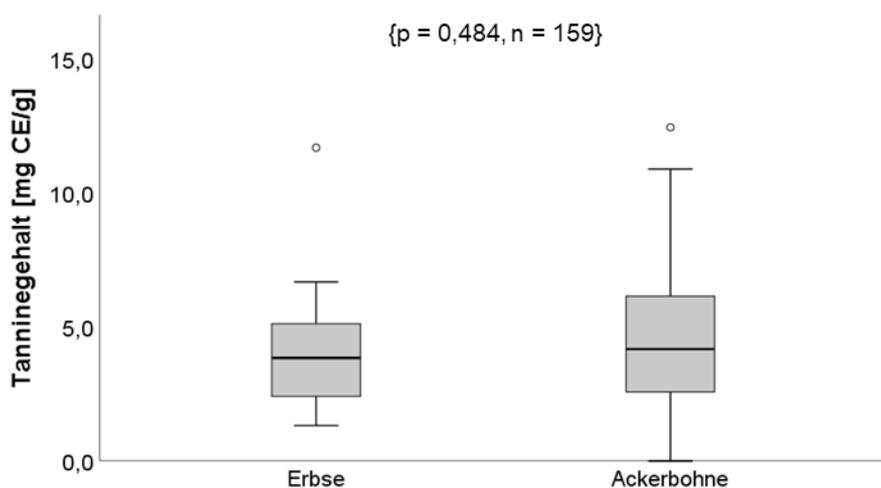


Abbildung 7: Verteilung des Tanningehaltes von buntblühenden Erbsen und buntblühenden Ackerbohnen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017, 2018)

Anmerkungen: **Häufigkeiten:** Erbsen (n = 11) und Ackerbohnen (n = 148).

7.2 Unterschiede zwischen den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018 innerhalb der untersuchten Qualitätsparameter

In Tabelle 3 sind die deskriptiven Daten der untersuchten Qualitätsparameter von Erbsen aus den einzelnen Anbaujahren 2016, 2017 und 2018 aufgeführt.

Tabelle 3: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt zwischen den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018 bei Erbsen

	N	MW ± STD	Median	Min	Max
Anbaujahr 2016					
Tausendkorngewicht [g]	79	244,1 ± 43,4	254,9	98,3	318,0
Proteingehalt [g/100 g]	79	19,1 ± 1,8	19,2	14,0	22,7
TI-Aktivität [TIU/mg]	79	36,2 ± 7,5	37,7	14,0	50,4
Tanningehalt [mg CE/g]	79	0,2 ± 0,9	0,0	<NWG	6,7
Anbaujahr 2017					
Tausendkorngewicht [g]	83	230,3 ± 50,3	243,9	110,0	296,6
Proteingehalt [g/100 g]	83	19,5 ± 1,7	19,4	15,6	23,9
TI-Aktivität [TIU/mg]	83	41,2 ± 10,2	40,8	12,4	65,8
Tanningehalt [mg CE/g]	83	0,2 ± 0,8	0,0	<NWG	5,6
Anbaujahr 2018					
Tausendkorngewicht [g]	41	238,8 ± 53,9	266,0	121,0	330,0
Proteingehalt [g/100 g]	41	20,1 ± 1,7	19,9	17,0	23,9
TI-Aktivität [TIU/mg]	41	46,1 ± 5,9	45,6	26,8	57,0
Tanningehalt [mg CE/g]	41	0,5 ± 2,0	0,0	<NWG	11,7

Ergebnisse

Weiterhin sind in Tabelle 4 die deskriptiven Daten der untersuchten Qualitätsparameter von Ackerbohnen aus den einzelnen Anbaujahren 2016, 2017 und 2018 aufgeführt.

Tabelle 4: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt zwischen den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018 bei Ackerbohnen

	N	MW ± STD	Median	Min	Max
Anbaujahr 2016					
Tausendkorngewicht [g]	56	531,0 ± 68,8	522,0	380,4	699,0
Proteingehalt [g/100 g]	57	24,5 ± 2,1	24,6	19,3	30,1
TI-Aktivität [TIU/mg]	57	36,4 ± 4,7	35,9	26,2	50,3
Tanningehalt [mg CE/g]	57	5,0 ± 2,5	4,9	<NWG	10,2
Anbaujahr 2017					
Tausendkorngewicht [g]	66	512,5 ± 64,0	511,1	394,0	665,7
Proteingehalt [g/100 g]	66	25,0 ± 2,3	24,7	21,1	33,2
TI-Aktivität [TIU/mg]	66	46,0 ± 4,9	46,3	20,5	57,3
Tanningehalt [mg CE/g]	66	4,1 ± 2,9	3,4	<NWG	12,5
Anbaujahr 2018					
Tausendkorngewicht [g]	39	468,6 ± 91,8	479,0	223,0	599,0
Proteingehalt [g/100 g]	39	26,0 ± 2,5	25,7	20,8	33,5
TI-Aktivität [TIU/mg]	39	46,1 ± 4,9	46,4	27,4	52,7
Tanningehalt [mg CE/g]	39	3,3 ± 2,1	2,7	<NWG	10,9

7.2.1 Verteilung des Proteingehaltes zwischen den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018

In Abbildung 8 konnte beobachtet werden, dass es zwischen den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018 singnifikante Jahresunterschiede im Proteingehalt innerhalb der Erbsen- und Ackerbohnenstichprobe gibt. Das Anbaujahr 2018 zeigte bei Erbsen wie auch bei Ackerbohnen durchschnittlich höhere Proteingehalte als in den vorangehenden Anbaujahren 2016 und 2017 (Tabelle 3, Tabelle 4). Dagegen zeigte das Anbaujahr 2016 bei Erbsen sowie bei Ackerbohnen die durchschnittlich niedrigsten Proteingehalte im Vergleich zu den beiden Anbaujahren 2017 und 2018 (Tabelle 3, Tabelle 4).

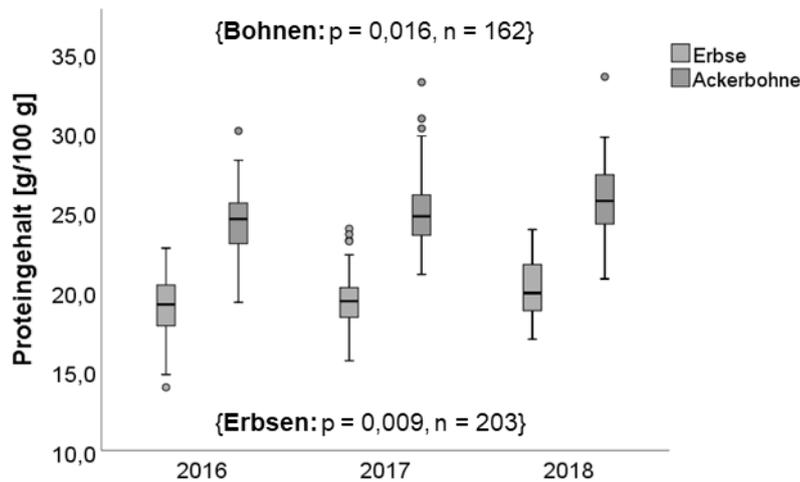


Abbildung 8: Verteilung des Proteingehaltes von Erbsen und Ackerbohnen in den untersuchten Anbaujahren 2016, 2017 und 2018

Anmerkungen: **Häufigkeiten:** Anbaujahr 2016 - Erbsen (n = 79) und Ackerbohnen (n = 57). Anbaujahr 2017 - Erbsen (n = 83) und Ackerbohnen (n = 66). Anbaujahr 2018 - Erbsen (n = 41) und Ackerbohnen (n = 39). **Jahresunterschiede bei Erbsen:** 2016 und 2017, p = 0,393; 2016 und 2018, p = 0,009; 2017 und 2018, p = 0,138. **Jahresunterschiede bei Ackerbohnen:** 2016 und 2017, p = 1,000; 2016 und 2018, p = 0,014; 2017 und 2018, p = 0,109.

7.2.2 Verteilung der TI-Aktivität zwischen den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018

In Abbildung 9 konnte gezeigt werden, dass es zwischen den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018 signifikante Jahresunterschiede in Bezug auf die TI-Aktivität innerhalb der Erbsen- und der Bohnenstichprobe gibt. Bei Erbsen konnte für das Anbaujahr 2016 eine signifikant niedrigere TI-Aktivität im Vergleich zu den Folgejahren 2017 und 2018 festgestellt werden (Abbildung 9). Dahingegen wiesen Erbsen im Anbaujahr 2018 eine durchschnittlich höhere TI-Aktivität im Vergleich zu den vorangehenden Anbaujahren auf. Die Unterschiede waren aber nur zwischen dem jeweiligen Anbaujahr 2016 und 2018 signifikant (Abbildung 9).

Ein ähnlicher Trend konnte für Ackerbohnen in der Verteilung der TI-Aktivität in den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018 beobachtet werden. Auch hier zeigte das Anbaujahr 2016 eine deutlich niedrigere TI-Aktivität als die Anbaujahre 2017 und 2018 auf. Dahingegen zeigte das Anbaujahr 2018 die höchste TI-Aktivität im Vergleich zu den beiden Vorjahren auf. Allerdings waren die Unterschiede ebenfalls nur zwischen dem Anbaujahr 2016 und 2018 signifikant (Abbildung 9).

Ergebnisse

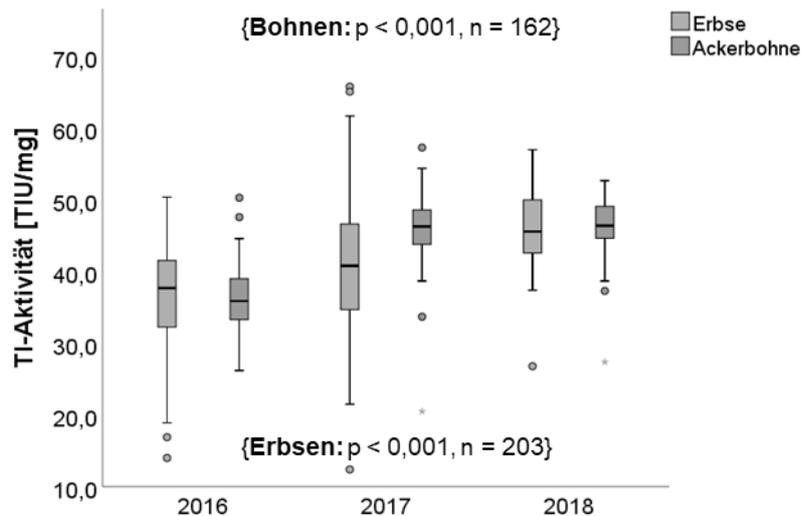


Abbildung 9: Verteilung der TI-Aktivität von Erbsen und Ackerbohnen in den untersuchten Anbaujahren 2016, 2017 und 2018.

Anmerkungen: **Häufigkeiten:** Anbaujahr 2016 - Erbsen (n = 79) und Ackerbohnen (n = 56). Anbaujahr 2017 - Erbsen (n = 83) und Ackerbohnen (n = 66). Anbaujahr 2018 - Erbsen (n = 41) und Ackerbohnen (n = 39). **Jahresunterschiede bei Erbsen:** 2016 und 2017, p = 0,001; 2016 und 2018, p < 0,001; 2017 und 2018, p = 0,010. **Jahresunterschiede bei Ackerbohnen:** 2016 und 2017, p < 0,001; 2016 und 2018, p < 0,001; 2017 und 2018, p = 1,000.

7.2.3 Verteilung des Tanningehaltes zwischen den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018

Es konnten für buntblühende Erbsen keine Jahresunterschiede beobachtet werden (Abbildung 10).

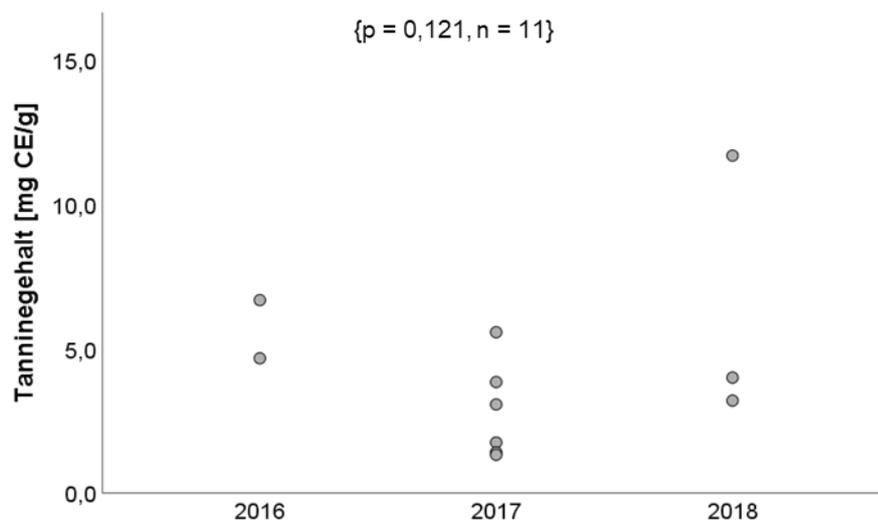


Abbildung 10: Verteilung des Tanningehaltes von buntblühenden Erbsen in den untersuchten Anbaujahren 2016, 2017 und 2018

Häufigkeiten: Anbaujahr 2016 - buntblühende Erbsen (n = 2). Anbaujahr 2017 - buntblühende Erbsen (n = 6) Anbaujahr 2018 - buntblühende Erbsen (n = 3).

Im Anbaujahr 2018 konnte der höchste gemessene Tanningehalt mit 11,7 mg CE/g für buntblühende Erbsen ermittelt werden (Abbildung 10, Tabelle 3). Allerdings ist der vorgegebene Stichprobenumfang buntblühender Erbsen in den einzelnen Anbaujahren zu klein um weitere valide Aussagen für eine Bewertung treffen zu können (Abbildung 10).

Für buntblühende Ackerbohnen konnten dahingegen signifikante Jahresunterschiede ermittelt werden (Abbildung 11).

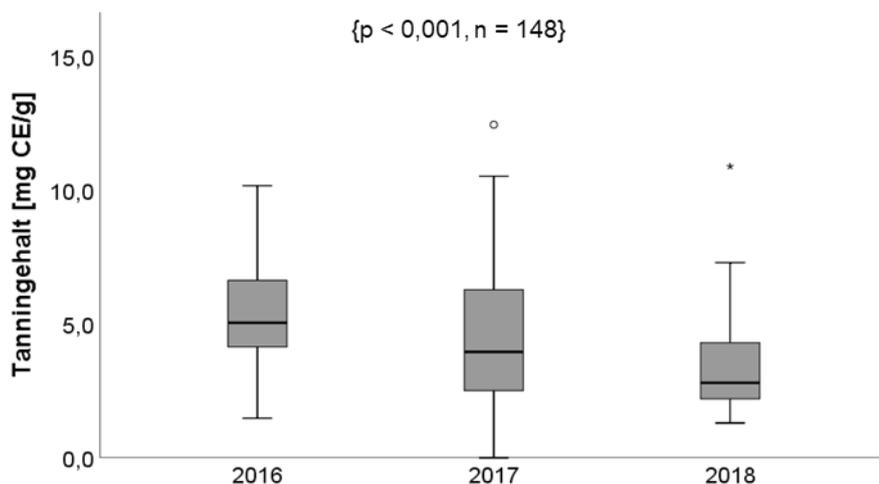


Abbildung 11: Verteilung des Tanningehaltes von buntblühenden Ackerbohnen in den untersuchten Anbaujahren 2016, 2017 und 2018

Anmerkungen: **Häufigkeiten:** Anbaujahr 2016 - buntblühende Ackerbohnen (n = 50). Anbaujahr 2017 - buntblühende Ackerbohnen (n = 61). Anbaujahr 2018 - buntblühende Ackerbohnen (n = 37). **Jahresunterschiede bei buntblühenden Ackerbohnen:** 2016 und 2017, $p = 0,013$; 2016 und 2018, $p < 0,001$; 2017 und 2018, $p = 0,210$.

Zwar zeigte das Anbaujahr 2016 gegenüber den Anbaujahren 2017 und 2018 signifikant höhere Tanningehalte auf (Abbildung 11, Tabelle 4), allerdings konnte im Anbaujahr 2017 mit 12,4 mg CE/g der absolut höchste gemessene Gehalt nachgewiesen werden (Abbildung 11, Tabelle 4).

7.3 Unterschiede zwischen ausgewählten Erbsen- und Bohnensorten innerhalb der untersuchten Qualitätsparameter

In Tabelle 5 ist die deskriptive Statistik der untersuchten Qualitätsparameter ausgewählter Erbsensorten ($n \geq 10$) insgesamt, d.h. alle Proben aus den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018, aufgeführt.

Ergebnisse

Tabelle 5: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt ausgewählter Erbsensorten

	N	MW ± STD	Median	Min	Max
Alvesta					
Tausendkorngewicht [g]	45	259,1 ± 35,5	264,0	122,0	330,0
Proteingehalt [g/100 g]	45	18,7 ± 1,7	18,8	14,8	22,7
TI-Aktivität [TIU/mg]	45	40,9 ± 6,0	40,8	26,8	52,7
Tanningehalt [mg CE/g]	45	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
Astronaute					
Tausendkorngewicht [g]	43	260,1 ± 28,0	266,0	148,2	303,1
Proteingehalt [g/100 g]	43	19,1 ± 1,9	19,2	14,0	23,9
TI-Aktivität [TIU/mg]	43	39,4 ± 5,9	40,6	18,9	50,0
Tanningehalt [mg CE/g]	43	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
Salamanca					
Tausendkorngewicht [g]	13	256,1 ± 21,0	255,7	209,8	288,0
Proteingehalt [g/100 g]	13	19,7 ± 1,3	19,8	17,7	22,2
TI-Aktivität [TIU/mg]	13	38,2 ± 6,4	39,8	23,6	47,8
Tanningehalt [mg CE/g]	13	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
Respect					
Tausendkorngewicht [g]	10	241,6 ± 32,0	246,3	175,4	279,9
Proteingehalt [g/100 g]	10	19,6 ± 1,5	18,9	18,3	22,5
TI-Aktivität [TIU/mg]	10	39,7 ± 4,6	40,1	31,4	46,4
Tanningehalt [mg CE/g]	10	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
Rocket					
Tausendkorngewicht [g]	10	246,3 ± 21,1	241,5	212,0	275,2
Proteingehalt [g/100 g]	10	18,8 ± 1,3	18,7	17,0	21,3
TI-Aktivität [TIU/mg]	10	37,2 ± 5,4	37,8	26,9	43,9
Tanningehalt [mg CE/g]	10	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG

Ergebnisse

Weiterhin sind in Tabelle 6 die deskriptiven Daten der untersuchten Qualitätsparameter ausgewählter Bohnensorten ($n \geq 8$) insgesamt (d.h. alle Proben aus den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018) aufgeführt.

Tabelle 6: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von ausgewählter Ackerbohnsorten

	N	MW \pm STD	Median	Min	Max
Fuego					
Tausendkorngewicht [g]	44	553,8 \pm 75,0	562,3	359,0	699,0
Proteingehalt [g/100 g]	45	24,4 \pm 2,2	24,3	19,3	29,8
TI-Aktivität [TIU/mg]	45	42,6 \pm 6,5	43,3	30,5	52,7
Tanningehalt [mg CE/g]	45	4,6 \pm 2,5	4,1	<NWG	12,5
Fanfare					
Tausendkorngewicht [g]	43	497,0 \pm 73,0	496,5	308,0	664,8
Proteingehalt [g/100 g]	43	25,0 \pm 1,8	25,2	20,6	29,0
TI-Aktivität [TIU/mg]	43	43,1 \pm 7,3	45,4	20,5	57,3
Tanningehalt [mg CE/g]	43	4,3 \pm 1,9	4,2	0,8	8,8
Tiffany					
Tausendkorngewicht [g]	24	506,5 \pm 72,7	521,0	278,0	606,1
Proteingehalt [g/100 g]	24	25,9 \pm 2,7	25,9	20,8	33,2
TI-Aktivität [TIU/mg]	24	43,3 \pm 6,5	45,2	27,5	52,0
Tanningehalt [mg CE/g]	24	4,4 \pm 2,8	3,0	1,8	10,9
Taifun					
Tausendkorngewicht [g]	12	496,9 \pm 51,9	502,0	380,4	569,7
Proteingehalt [g/100 g]	12	26,3 \pm 2,7	25,6	22,5	30,9
TI-Aktivität [TIU/mg]	12	40,7 \pm 4,8	40,1	32,8	46,9
Tanningehalt [mg CE/g]	12	0,8 \pm 1,9	0,1	<NWG	6,6
Bilbo					
Tausendkorngewicht [g]	10	484,2 \pm 47,6	476,8	419,0	553,0
Proteingehalt [g/100 g]	10	24,4 \pm 1,5	24,7	21,4	26,7
TI-Aktivität [TIU/mg]	10	40,6 \pm 6,1	40,6	31,9	50,2
Tanningehalt [mg CE/g]	10	4,3 \pm 2,1	4,3	1,2	8,1
Birgit					
Tausendkorngewicht [g]	8	457,7 \pm 36,5	467,5	394,0	514,3
Proteingehalt [g/100 g]	8	25,0 \pm 1,6	24,6	23,2	27,6
TI-Aktivität [TIU/mg]	8	47,1 \pm 3,9	46,3	41,3	52,6
Tanningehalt [mg CE/g]	8	6,9 \pm 2,5	6,9	2,1	10,5

7.3.1 Verteilung des Proteingehaltes zwischen ausgewählten Erbsen- und Ackerbohnsorten

Abbildung 12 zeigt, dass bei den untersuchten Erbsen keine signifikanten Sortenunterschiede im Proteingehalt festgestellt werden konnte.

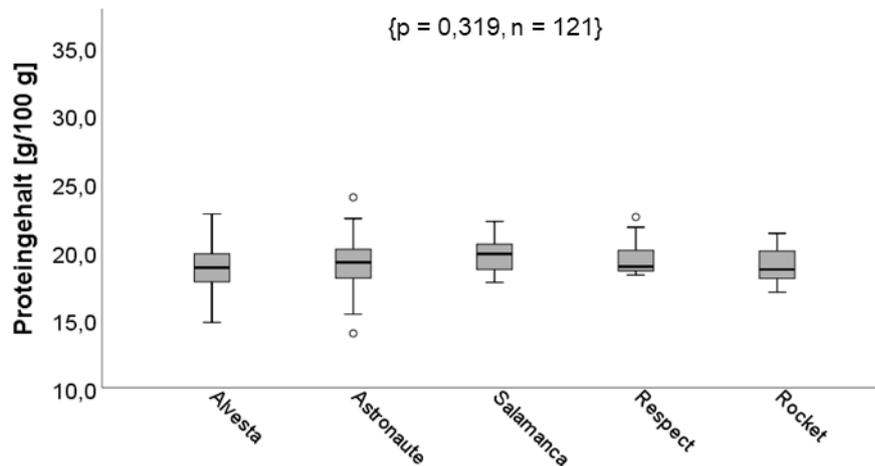


Abbildung 12: Verteilung des Proteingehaltes von ausgewählten Erbsensorten

Anmerkungen: **Häufigkeiten:** Alvesta (n = 45), Astronaute (n = 43), Salamanca (n = 13), Respect (n = 10) und Rocket (n = 10).

Die Sorten *Astronaute* und *Alvesta* zeigten im Vergleich zu den anderen untersuchten Erbsen die größten Spannweiten auf (Abbildung 12 und Tabelle 5). Außerdem wies die Erbsensorte *Astronaute* zum einen den niedrigsten Proteingehalt mit 14,0 g/100 g und den höchsten Proteingehalt mit 23,9 g/100 g auf (Abbildung 12 und Tabelle 5).

Abbildung 13 zeigt, dass die Proteingehalte der ausgewählten Bohnensorten sich teilweise signifikant voneinander unterschieden. Die Sorte *Taifun* zeigte hierbei den durchschnittlich höchsten Proteingehalt, wobei die Sorte *Bilbo* den durchschnittlich niedrigsten Proteingehalt aufwies (Abbildung 13, Tabelle 6). Der absolut kleinste gemessene Proteingehalt konnte jedoch bei der Sorte *Fuego* mit 19,3 g/100 g und der absolut höchste Proteingehalt bei der Sorte *Tiffany* mit 33,2 g/100 g beobachtet werden (Abbildung 13, Tabelle 6). Insgesamt waren die einzelnen Stichproben der Bohnensorten durch hohe Spannbreiten geprägt (Abbildung 13, Tabelle 6).

Ergebnisse

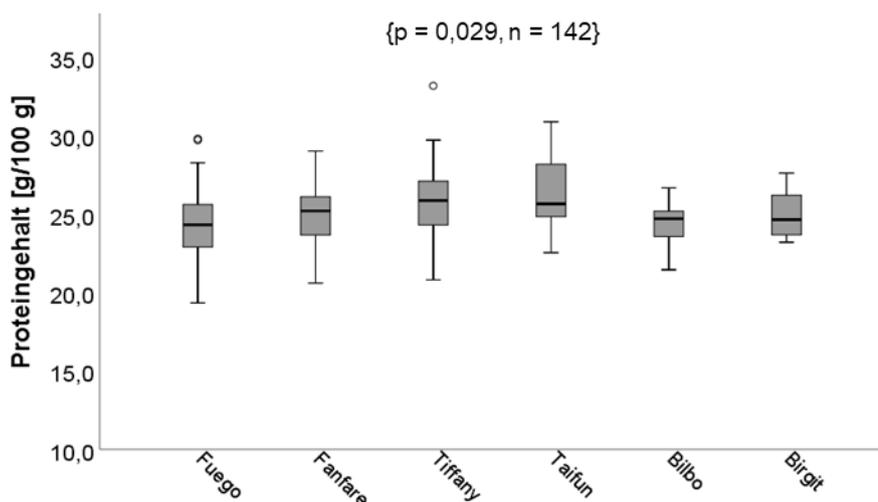


Abbildung 13: Verteilung des Proteingehaltes von ausgewählten Ackerbohnsensorten

Anmerkungen: **Häufigkeiten:** Fuego (n = 45), Fanfare (n = 43), Tiffany (n = 24), Taifun (n = 12), Bilbo (n = 10) und Birgit (n = 8). **Signifikanzen:** Fuego - Fanfare, p = 0,873; Fuego - Tiffany, p = 0,193; Fuego - Taifun, p = 0,205; Fuego - Bilbo, p = 1,000; Fuego - Birgit, p = 0,994; Fanfare - Tiffany, p = 0,771; Fanfare - Taifun, p = 0,665; Fanfare - Bilbo, p = 0,974; Fanfare - Birgit, p = 1,000; Tiffany - Taifun, p = 0,998; Tiffany - Bilbo, p = 0,591; Tiffany - Birgit, p = 0,947; Taifun - Bilbo, p = 0,476; Taifun - Birgit, p = 0,862; Bilbo - Birgit, p = 0,996.

7.3.2 Verteilung der TI-Aktivität zwischen ausgewählten Erbsen- und Ackerbohnsensorten

Es konnten bei Erbsen keine signifikanten Sortenunterschiede hinsichtlich der TI-Aktivität festgestellt werden (Abbildung 14).

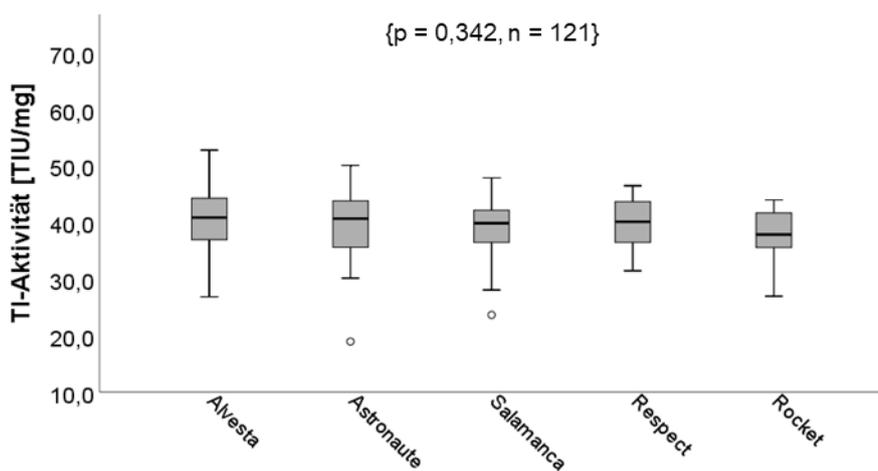


Abbildung 14: Verteilung der TI-Aktivität von ausgewählten Erbsensorten

Anmerkungen: **Häufigkeiten:** Alvesta (n = 45), Astronaute (n = 43), Salamanca (n = 13), Respect (n = 10) und Rocket (n = 10).

Die Stichproben der einzelnen Erbsensorten zeigten eine sehr heterogene Verteilung, die durch große Standardabweichungen und eine große Spannweite geprägt waren (Abbildung 14, Tabelle 5). Die Sorte *Astronaut* zeigte hierbei die absolut niedrigste TI-Aktivität mit 18,9 TIU/mg und die Sorte *Alvesta* die absolut höchste TI-Aktivität mit 52,7 TIU/mg (Abbildung 14, Tabelle 5), wobei die Erbsensorte *Astronaut* zusätzlich eine vergleichbare hohe absolute TI-Aktivität (ähnlich wie die Sorte *Alvesta*) mit 50,0 TIU/mg aufzeigte (Abbildung 14, Tabelle 5).

Auch bei Ackerbohnen konnten keine signifikanten Sortenunterschiede innerhalb der TI-Aktivität festgestellt werden (Abbildung 15).

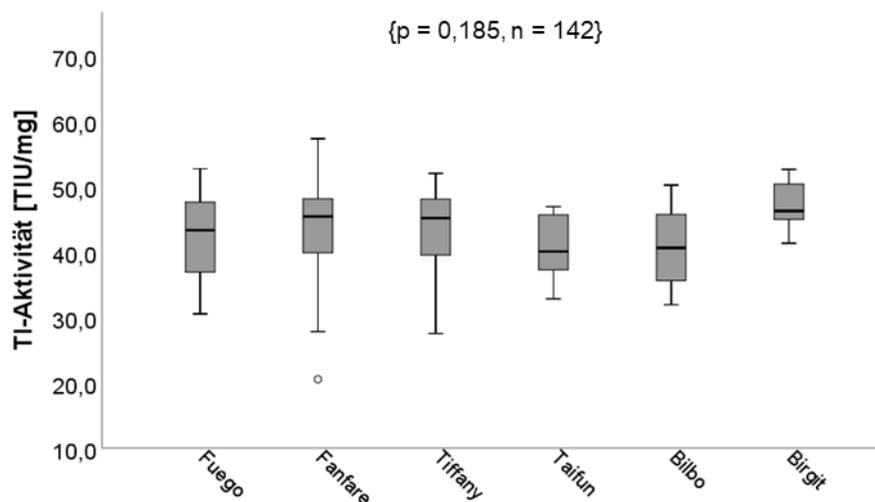


Abbildung 15: Verteilung der TI-Aktivität von ausgewählten Ackerbohnenorten

Anmerkungen: **Häufigkeiten:** Fuego (n = 45), Fanfare (n = 43), Tiffany (n = 24), Taifun (n = 12), Bilbo (n = 10) und Birgit (n = 8).

Die einzelnen Bohnenstichproben waren durch große Streuungen und Spannweiten geprägt (Abbildung 15, Tabelle 6). Die Bohnensorte *Fanfare* zeigte hierbei die absolut niedrigste TI-Aktivität mit 20,5 TIU/mg und gleichzeitig auch die absolut höchste TI-Aktivität mit 57,3 TIU/mg auf (Abbildung 15, Tabelle 6).

7.3.3 Verteilung des Tanningehaltes zwischen ausgewählten buntblühenden Ackerbohnenorten

In Abbildung 16 konnte gezeigt werden, dass buntblühende Ackerbohnenorten sich nicht signifikant innerhalb ihres Tanningehaltes unterscheiden. Der durchschnittlich höchste Tanningehalt konnte für die Sorte *Birgit* gemessen werden (Abbildung 16, Tabelle 6). Die anderen untersuchten Bohnensorten wiesen hingegen relativ ähnliche durchschnittliche Tanningehalte auf (Tabelle 6).

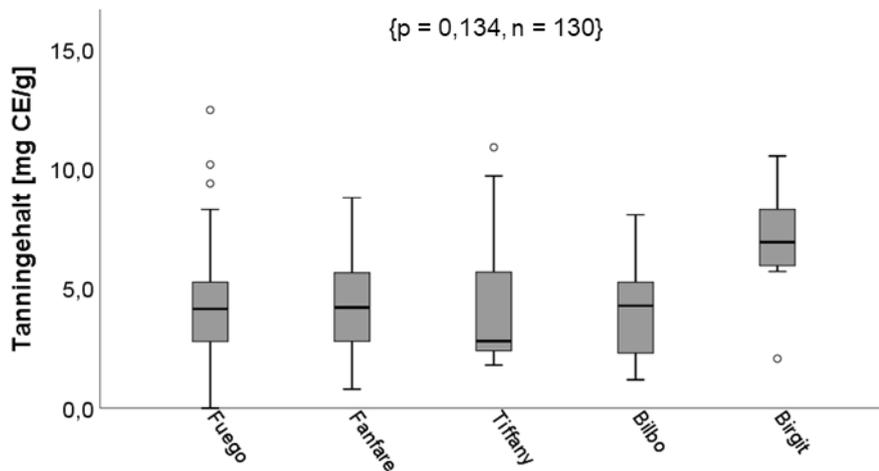


Abbildung 16: Verteilung des Tanningehaltes von ausgewählten buntblühenden Ackerbohnsensorten

Anmerkungen: **Häufigkeiten:** Fuego (n = 45), Fanfare (n = 43), Tiffany (n = 24), Bilbo (n = 10) und Birgit (n = 8).

Weiterhin war die Verteilung des Tanningehaltes aller Bohnensorten durch große Streuungen und Spannweiten geprägt, was auf eine stark heterogene Verteilung des Tanningehaltes schließen lässt (Abbildung 16, Tabelle 6). Hierbei zeigte die Sorte *Fanfare* den absolut niedrigsten Tanningehalt mit 0,8 mg CE/g. Die Sorte *Fuego* zeigte hingegen den absolut höchsten gemessenen Tanningehalt mit 12,5 mg CE/g auf (Abbildung 16, Tabelle 6).

7.4 Unterschiede zwischen den Anbaubedingungen bei Erbsen und Ackerbohnen innerhalb der untersuchten Qualitätsparameter

In den folgenden Abschnitten werden die drei untersuchten Qualitätsparameter auf signifikante Unterschiede zwischen konventionellem und ökologischem Anbau sowie auf signifikante Unterschiede zwischen Pestizid- und Nicht-Pestizideinsatz und zwischen Insektizid- und Nicht-Insektizideinsatz untersucht.

In Anhang 9.7 ist die deskriptive Statistik der untersuchten Qualitätsparameter zu konventionell/ökologisch sowie zu fungizid/nicht-fungizid und zu insektizid/nicht-insektizid angebaute Erbsen und Ackerbohnen aufgeführt (Tabelle 33, 34, 37, 38, 41, 42). Die deskriptive Statistik der Qualitätsparameter von Erbsen und Bohnen zu den Anbaubedingungen wurde zum einen in einer Gesamtauswertung (alle Proben aus den Jahren 2016, 2017 und 2018) sowie für die drei untersuchten Anbaujahre 2016, 2017 und 2018 dargestellt. Weiterhin wurde in Anhang 9.7 die deskriptive Statistik der untersuchten Parameter von Sommererbsen und buntblühenden Ackerbohnen für alle Anbaubedingungen dargestellt (Anhang 9.7 Tabelle 35, 36, 39, 40, 43, 44). Die

deskriptiven Daten wurden ebenfalls in einer Gesamtauswertung und für die drei Anbaujahre angegeben.

7.4.1 Verteilung des Proteingehaltes zwischen den Anbaubedingungen bei Erbsen und Ackerbohnen

Einfluss konventioneller und ökologischer Anbau

Zwischen konventionell und ökologisch angebauten Erbsen konnten größtenteils keine signifikanten Unterschiede im Proteingehalt ermittelt werden. Nur innerhalb der Gesamtauswertung und im Anbaujahr 2018 wiesen ökologische Erbsen einen signifikant höheren Proteingehalt gegenüber konventionellen Erbsen auf (Abbildung 17a, d).

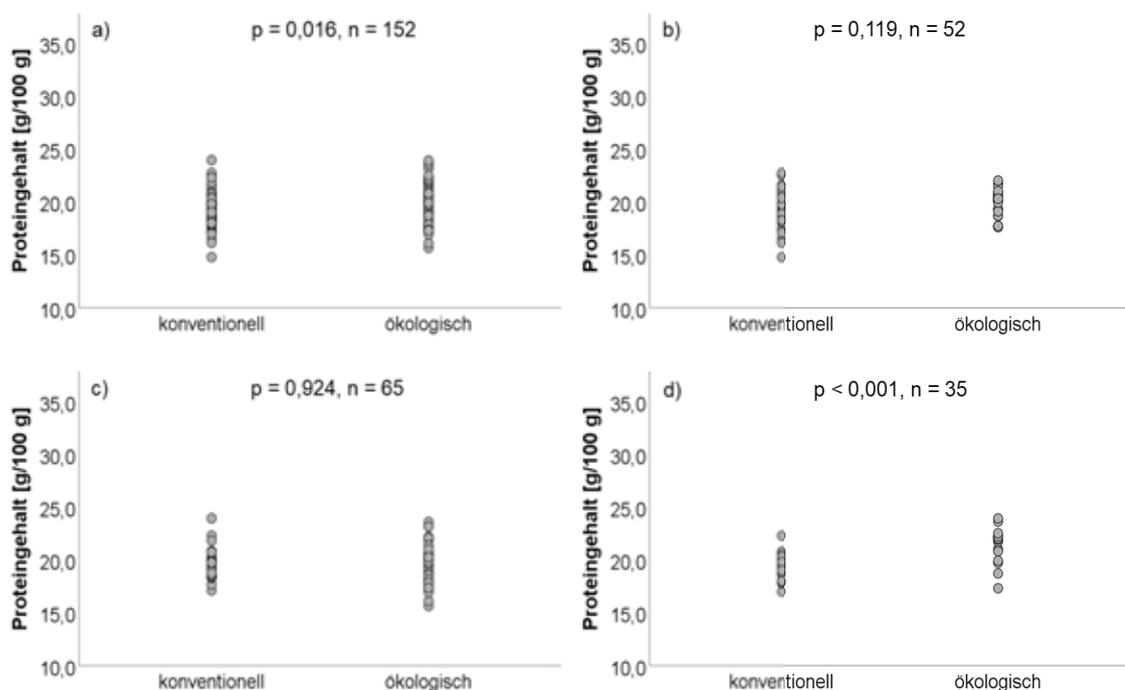


Abbildung 17: Verteilung des Proteingehaltes von Erbsen zwischen konventionellem und ökologischem Anbau insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), Anbaujahr 2017 (c) und 2018 (d)

Anmerkungen: **Häufigkeiten insgesamt (alle Erbsenproben der Jahre 2016, 2017 und 2018):** konventionell ($n = 78$), ökologisch ($n = 74$). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2016:** konventionell ($n = 28$), ökologisch ($n = 24$). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2017:** konventionell ($n = 30$), ökologisch ($n = 35$). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2018:** konventionell ($n = 20$), ökologisch ($n = 15$).

Dahingegen konnte innerhalb der Auswertung der Sommererbsenstichprobe in keinem der Anbaujahre ein signifikanter Unterschied im Proteingehalt zwischen konventionellem und ökologischem Anbau festgestellt werden (Anhang 9.8 Abbildung 67).

Für Ackerbohnen konnten ebenfalls keine durchgehenden signifikanten Unterschiede im Proteingehalt zwischen konventionell und ökologisch angebauten Bohnen festgestellt werden (Abbildung 18). Auch hier konnte ausschließlich im Anbaujahr 2018 für

ökologisch angebaute Ackerbohnen ein signifikant höherer Proteingehalt ermittelt werden (Abbildung 18d).

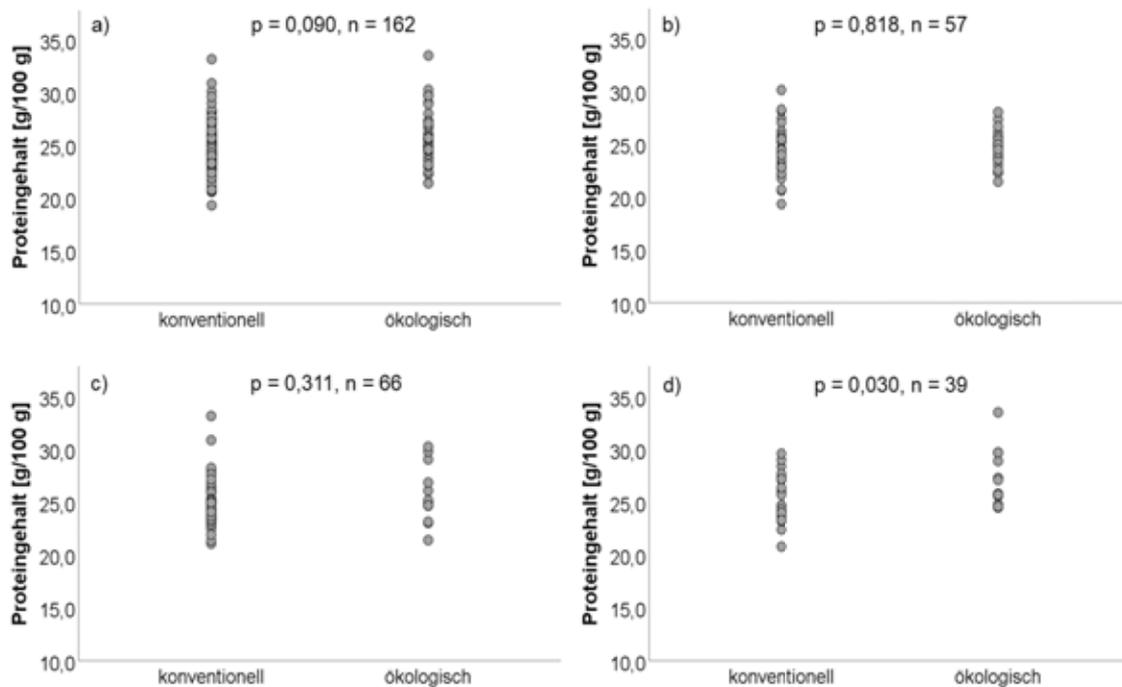


Abbildung 18: Verteilung des Proteingehaltes von Ackerbohnen zwischen konventionellem und ökologischem Anbau insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), Anbaujahr 2017 (c) und 2018 (d)

Anmerkungen: **Häufigkeiten insgesamt (alle Bohnenproben der Jahre 2016, 2017 und 2018):** konventionell (n = 115), ökologisch (n = 47). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2016:** konventionell (n = 35), ökologisch (n = 22). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2017:** konventionell (n = 54), ökologisch (n = 12). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2018:** konventionell (n = 26), ökologisch (n = 13).

Einfluss Fungizid- und Nicht-Fungizideinsatz

Abbildung 19 zeigt, dass in der Gesamtauswertung sowie in den Anbaujahren 2016 und 2018 der Proteingehalt von nicht-fungizid-behandelten Erbsen signifikant höher als bei fungizid-behandelten Erbsen war. Keine Unterschiede konnten jedoch für das Anbaujahr 2017 festgestellt werden (Abbildung 19c, Anhang 9.7 Tabelle 33).

Ergebnisse

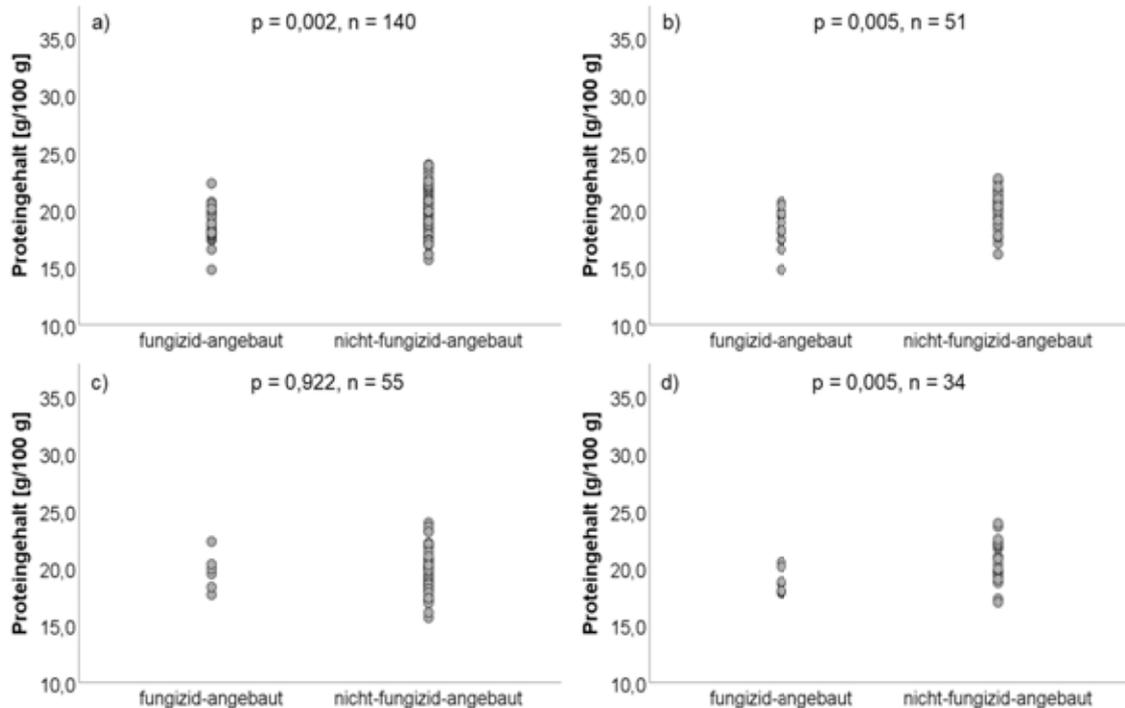


Abbildung 19: Verteilung des Proteingehaltes zwischen fungizid-angebauten und nicht-fungizid-angebauten Erbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), Anbaujahr 2017 (c) und 2018 (d)

Anmerkungen: **Häufigkeiten insgesamt (alle Erbsenproben der Jahre 2016, 2017 und 2018):** fungizid-angebaute (n = 29), nicht-fungizid-angebauten (n = 111). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2016:** fungizid-angebaute (n = 14), nicht-fungizid-angebauten (n = 37). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2017:** fungizid-angebaute (n = 6), nicht-fungizid-angebauten (n = 49). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2018:** fungizid-angebaute (n = 9), nicht-fungizid-angebauten (n = 25).

Bei der Auswertung der Sommererbsenstichprobe konnten ähnliche Ergebnisse beobachtet werden. Nicht-fungizid-angebaute Sommererbsen wiesen im Schnitt höhere Proteingehalte als fungizid-angebaute Sommererbsen auf (Anhang 9.7 Tabelle 35), wobei auch hier für das Anbaujahr 2017 keine Unterschiede zwischen fungizid- und nicht fungizid-angebauten Sommererbsen ermittelt werden konnte (Anhang 9.8 Abbildung 68c).

Bei Ackerbohnen hatte Fungizideinsatz keinen Einfluss auf den Proteingehalt (Abbildung 20). Ausschließlich im Anbaujahr 2017 war der nicht-signifikante Trend zu sehen, dass nicht-fungizid-angebaute Bohnen einen höheren Proteingehalt aufweisen (Abbildung 20c).

Ergebnisse

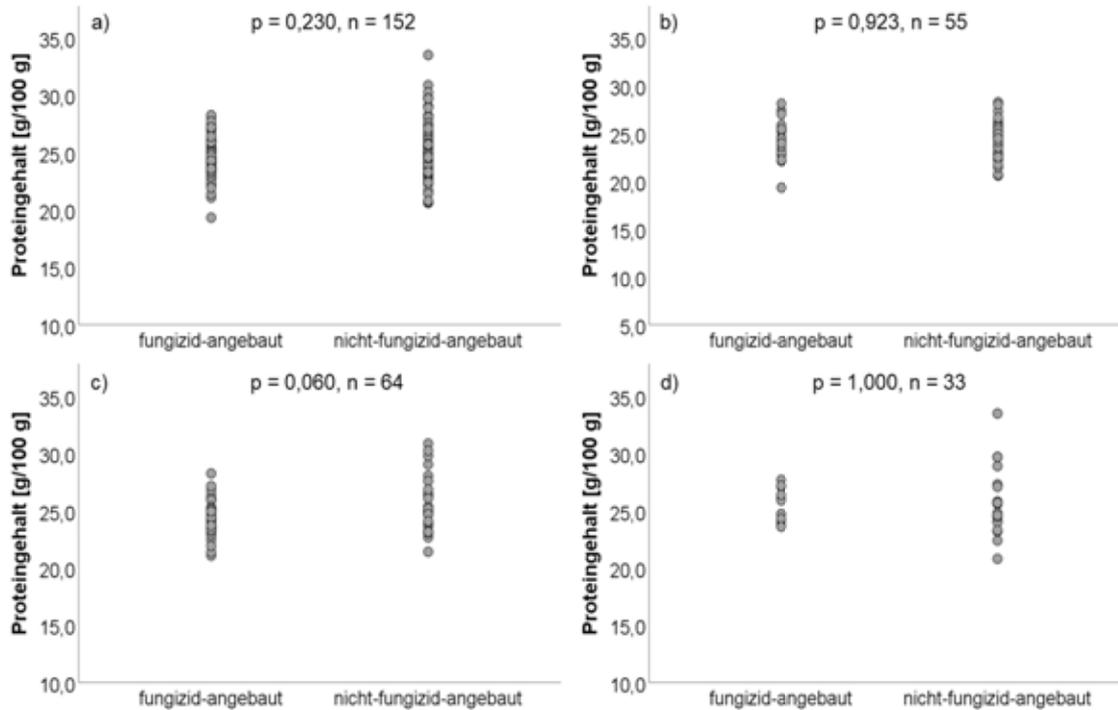


Abbildung 20: Verteilung des Proteingehaltes zwischen fungizid-angebauten und nicht-fungizid-angebauten Ackerbohnen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), Anbaujahr 2017 (c) und 2018 (d)

Anmerkungen: **Häufigkeiten insgesamt (alle Bohnenproben der Jahre 2016, 2017 und 2018):** fungizid-angebaute (n = 74), nicht-fungizid-angebauten (n = 77). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2016:** fungizid-angebaute (n = 23), nicht-fungizid-angebauten (n = 32). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2017:** fungizid-angebaute (n = 39), nicht-fungizid-angebauten (n = 25). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2018:** fungizid-angebaute (n = 15), nicht-fungizid-angebauten (n = 20).

Einfluss Insektizid- und Nicht-Insektizideinsatz

Es konnte kein bestimmender Einfluss auf den Proteingehalt von Erbsen durch die Anwendung von Insektiziden beobachtet werden (Abbildung 21). Dennoch neigten nicht-insektizid-angebaute Erbsen im Schnitt zu höheren Proteingehalten innerhalb der Gesamtauswertung und im Anbaujahr 2018 (Abbildung 21a, d). Dahingegen konnten keine Unterschiede für die Anbaujahre 2016 und 2017 ermittelt werden (Abbildung 21b, c).

Ergebnisse

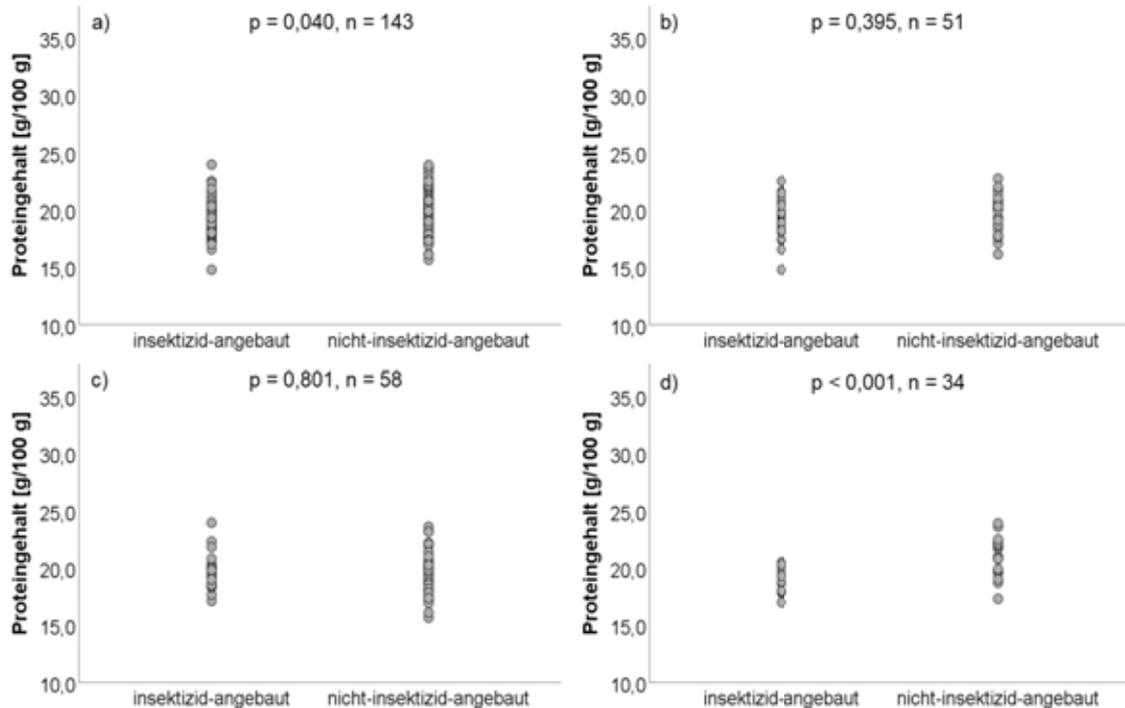


Abbildung 21: Verteilung des Proteingehaltes zwischen insektizid-angebauten und nicht-insektizid-angebauten Erbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), Anbaujahr 2017 (c) und 2018 (d)

Anmerkungen: **Häufigkeiten insgesamt (alle Erbsenproben der Jahre 2016, 2017 und 2018):** insektizid-angebaute ($n = 60$), nicht-insektizid-angebauten ($n = 83$). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2016:** insektizid-angebaute ($n = 23$), nicht-insektizid-angebauten ($n = 28$). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2017:** insektizid-angebaute ($n = 22$), nicht-insektizid-angebauten ($n = 36$). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2018:** insektizid-angebaute ($n = 15$), nicht-insektizid-angebauten ($n = 19$).

Für die Sommererbsenstichprobe konnte in keinem der Anbaujahre signifikante Unterschiede zwischen insektizid und nicht-insektizid angebauten Erbsen festgestellt werden (Anhang 9.8 Abbildung 69).

Für Ackerbohnen konnten solche Unterschiede im Proteingehalt durch die Anwendung von Insektiziden nicht festgestellt werden und wurden folglich nicht durch Insektizideinsatz bzw. Nicht-Insektizideinsatz beeinflusst (Abbildung 22).

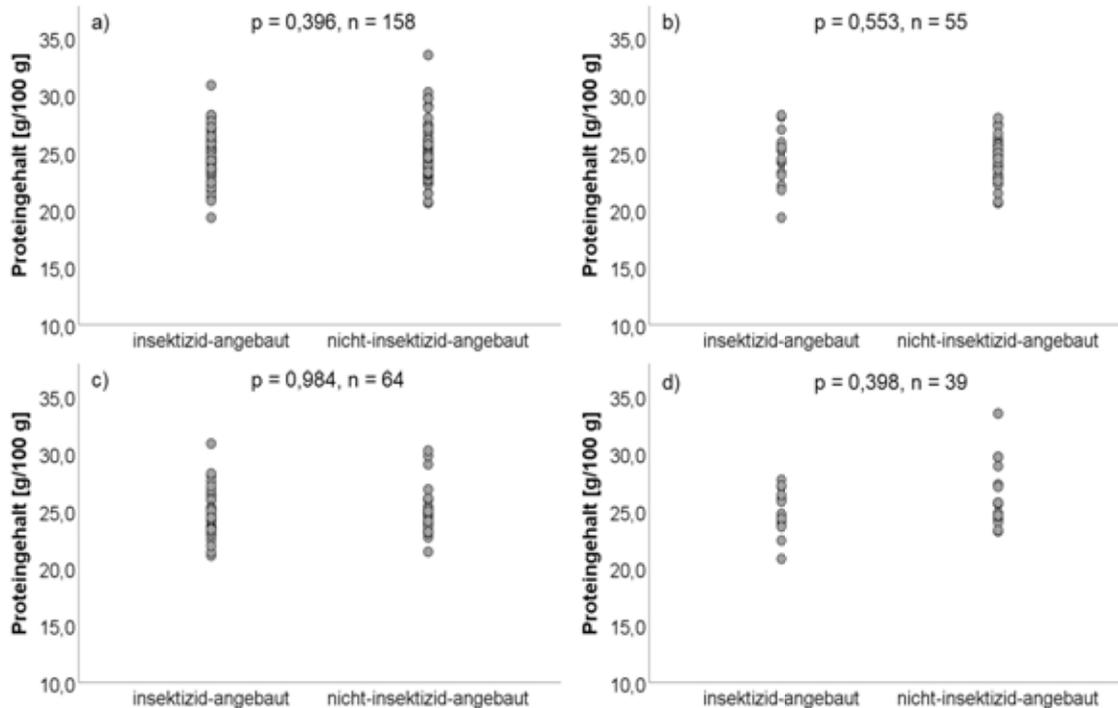


Abbildung 22: Verteilung des Proteingehaltes zwischen insektizid-angebauten und nicht-insektizid-angebauten Ackerbohnen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), Anbaujahr 2017 (c) und 2018 (d)

Anmerkungen: **Häufigkeiten insgesamt (alle Bohnenproben der Jahre 2016, 2017 und 2018):** insektizid-angebaute (n = 75), nicht-insektizid-angebauten (n = 82). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2016:** insektizid-angebaute (n = 17), nicht-insektizid-angebauten (n = 37). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2017:** insektizid-angebaute (n = 35), nicht-insektizid-angebauten (n = 29). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2018:** insektizid-angebaute (n = 23), nicht-insektizid-angebauten (n = 16).

7.4.2 Verteilung der TI-Aktivität zwischen den Anbaubedingungen bei Erbsen und Ackerbohnen

Einfluss konventioneller und ökologischer Anbau

Es konnte in den Anbaujahren 2016 und 2018 signifikante Unterschiede zwischen konventionellem und ökologischem Anbau gezeigt werden. Die Verteilungen der TI-Aktivitäten aus den Anbaujahren 2016 und 2018 war jedoch entgegengesetzt (Abbildung 23b, d). Im Anbaujahr 2016 wiesen konventionell angebaute Erbsen eine signifikant höhere TI-Aktivität auf (Abbildung 23b). Dahingegen zeigte das Anbaujahr 2018, dass die TI-Aktivität bei ökologischen Erbsen durchschnittlich höher als im konventionellen Anbau war (Abbildung 23d).

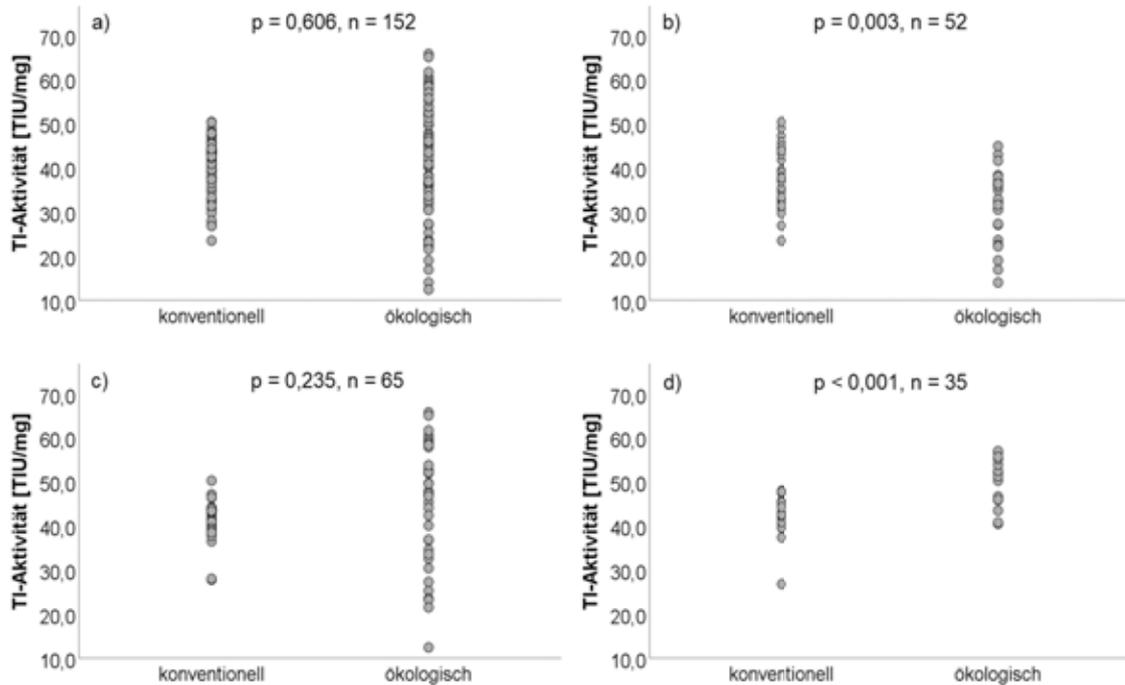


Abbildung 23: Verteilung der TI-Aktivität von Erbsen zwischen konventionellem und ökologischem Anbau insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), Anbaujahr 2017 (c) und 2018 (d)

Anmerkungen: **Häufigkeiten insgesamt (alle Erbsenproben der Jahre 2016, 2017 und 2018):** konventionell (n = 78), ökologisch (n = 74). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2016:** konventionell (n = 28), ökologisch (n = 24). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2017:** konventionell (n = 30), ökologisch (n = 35). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2018:** konventionell (n = 20), ökologisch (n = 15).

Die Auswertung der Sommerstichprobe zeigte, dass konventionell angebaute Erbsen eine signifikant höhere TI-Aktivität im Vergleich zu ökologisch angebauten Erbsen aufweisen (Anhang 9.8 Abbildung 70). Nur im Anbaujahr 2018 konnten keine Unterschiede zwischen den Anbaubedingungen festgestellt werden (Anhang 9.8 Abbildung 70d).

Für Ackerbohnen konnte nur in der Gesamtauswertung beobachtet werden, dass konventionell angebaute Bohnen eine signifikant höhere TI-Aktivität als ökologisch angebaute Bohnen aufweisen (Abbildung 24a). Innerhalb der Auswertung der einzelnen Anbaujahre konnten allerdings keine Unterschiede in der TI-Aktivität zwischen konventionellen und ökologischen Ackerbohnen ermittelt werden (Abbildung 24b, c, d).

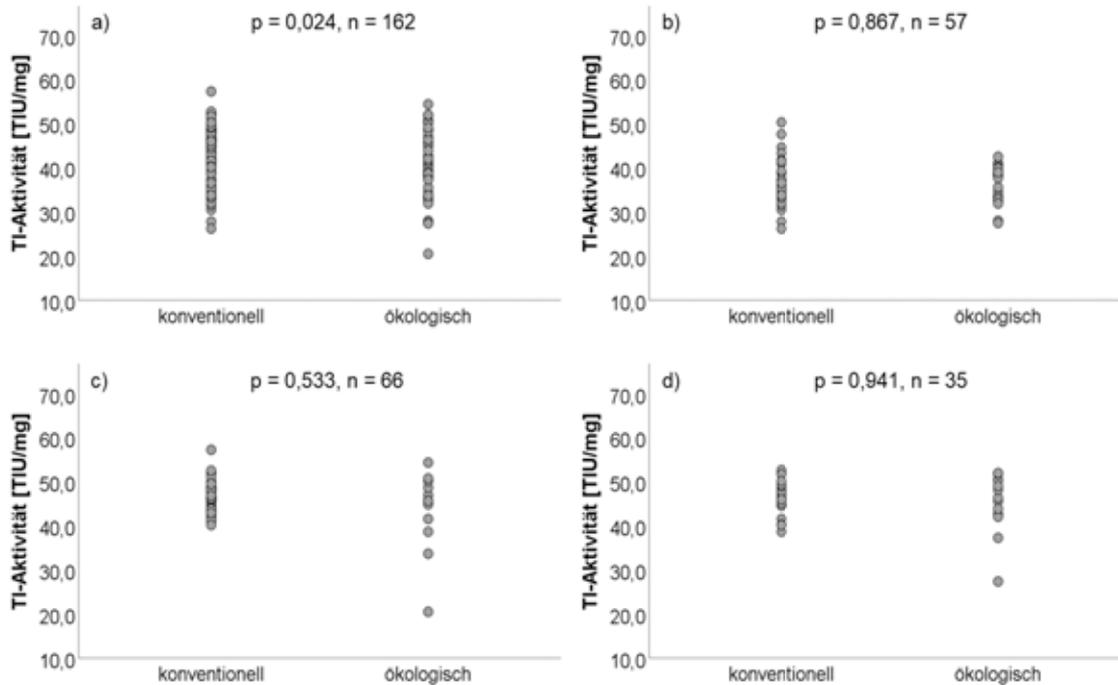


Abbildung 24: Verteilung der TI-Aktivität von Ackerbohnen zwischen konventionellem und ökologischem Anbau insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), Anbaujahr 2017 (c) und 2018 (d)

Anmerkungen: **Häufigkeiten insgesamt (alle Bohnenproben der Jahre 2016, 2017 und 2018):** konventionell (n = 115), ökologisch (n = 47). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2016:** konventionell (n = 35), ökologisch (n = 22). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2017:** konventionell (n = 54), ökologisch (n = 12). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2018:** konventionell (n = 26), ökologisch (n = 13).

Einfluss Fungizid- und Nicht-Fungizideinsatz

Abbildung 25 zeigt, dass der Einsatz von Fungiziden die TI-Aktivität von Erbsen nicht gänzlich beeinflusst. Ausschließlich das Anbaujahr 2016 zeigte, dass fungizid-angebaute Erbsen eine signifikant höhere TI-Aktivität aufweisen. Auch innerhalb der Auswertung der Sommererbsenstichprobe konnte gezeigt werden, dass fungizid-angebaute Erbsen zu einer tendenziell höheren TI-Aktivität als nicht-fungizid-angebaute Erbsen neigen (Anhang 9.8 Abbildung 71, Anhang 9.7 Tabelle 39). Innerhalb der Gesamtauswertung und im Anbaujahr 2016 konnten an dieser Stelle sogar signifikante Unterschiede beobachtet werden (Anhang 9.8 Abbildung 71a, b).

Ergebnisse

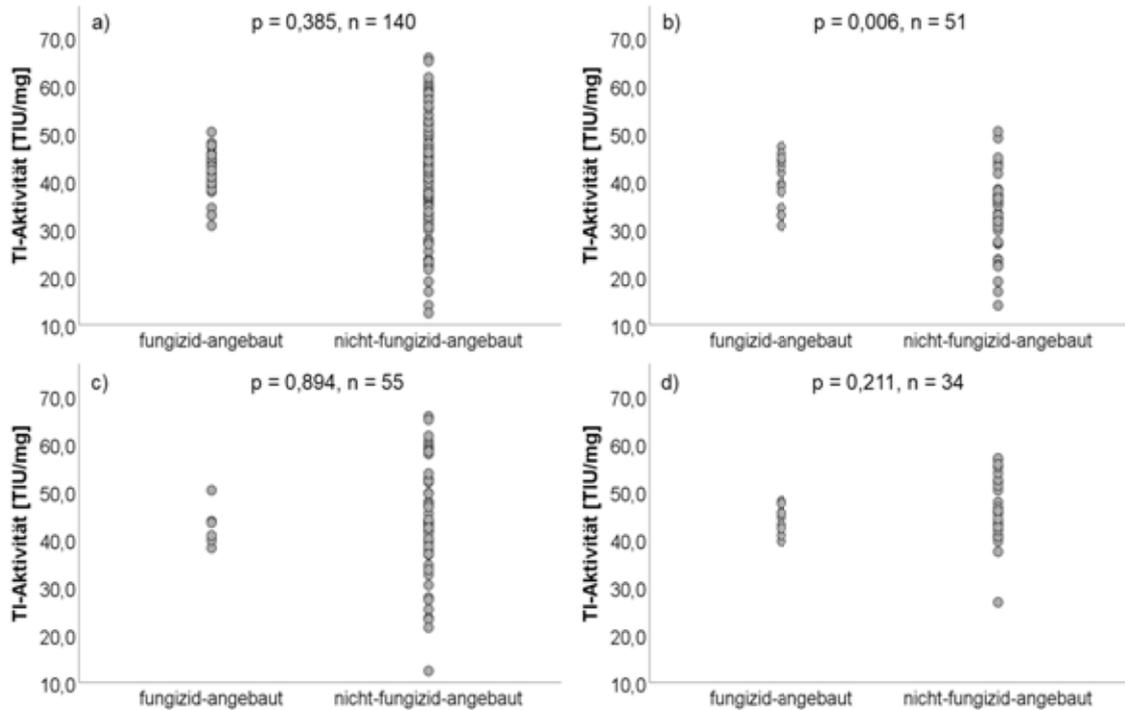


Abbildung 25: Verteilung der TI-Aktivität zwischen fungizid-angebauten und nicht-fungizid-angebauten Erbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), Anbaujahr 2017 (c) und 2018 (d)

Anmerkungen: **Häufigkeiten insgesamt (alle Erbsenproben der Jahre 2016, 2017 und 2018):** fungizid-angebaute ($n = 29$), nicht-fungizid-angebauten ($n = 111$). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2016:** fungizid-angebaute ($n = 14$), nicht-fungizid-angebauten ($n = 37$). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2017:** fungizid-angebaute ($n = 6$), nicht-fungizid-angebauten ($n = 49$). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2018:** fungizid-angebaute ($n = 9$), nicht-fungizid-angebauten ($n = 25$).

Für Ackerbohnen konnten derlei Trends innerhalb der TI-Aktivität weder in der Gesamtauswertung noch in den drei Anbaujahren nachgewiesen werden (Abbildung 26b, c, d).

Ergebnisse

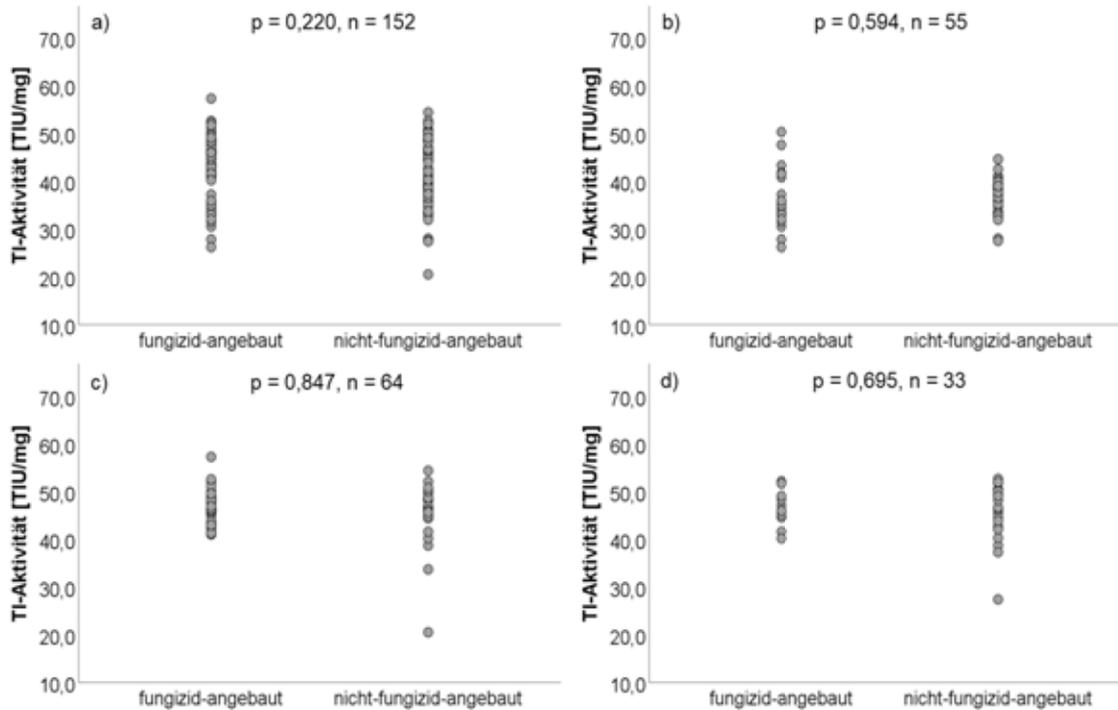


Abbildung 26: Verteilung der TI-Aktivität zwischen fungizid-angebauten und nicht-fungizid-angebauten Ackerbohnen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), Anbaujahr 2017 (c) und 2018 (d)

Anmerkungen: **Häufigkeiten insgesamt (alle Bohnenproben der Jahre 2016, 2017 und 2018):** fungizid-angebaute (n = 74), nicht-fungizid-angebauten (n = 77). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2016:** fungizid-angebaute (n = 23), nicht-fungizid-angebauten (n = 32). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2017:** fungizid-angebaute (n = 39), nicht-fungizid-angebauten (n = 25). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2018:** fungizid-angebaute (n = 15), nicht-fungizid-angebauten (n = 20).

Einfluss Insektizid- und Nicht-Insektizideinsatz

Es konnte gezeigt werden, dass der Einsatz von Insektiziden keinen bestimmenden Einfluss auf die TI-Aktivität in Erbsen hat (Abbildung 27). Im Anbaujahr 2016 und 2018 konnten zwar signifikante Unterschiede festgestellt werden, allerdings waren die Ergebnisse gegensätzlich. Das Anbaujahr 2016 zeigte hier, dass der Insektizideinsatz zu einer höheren TI-Aktivität bei Erbsen führte (Abbildung 27b), wobei das Anbaujahr 2018 zeigte, dass nicht-insektizid-angebaute Erbsen eine höhere TI-Aktivität aufweisen (Abbildung 27d).

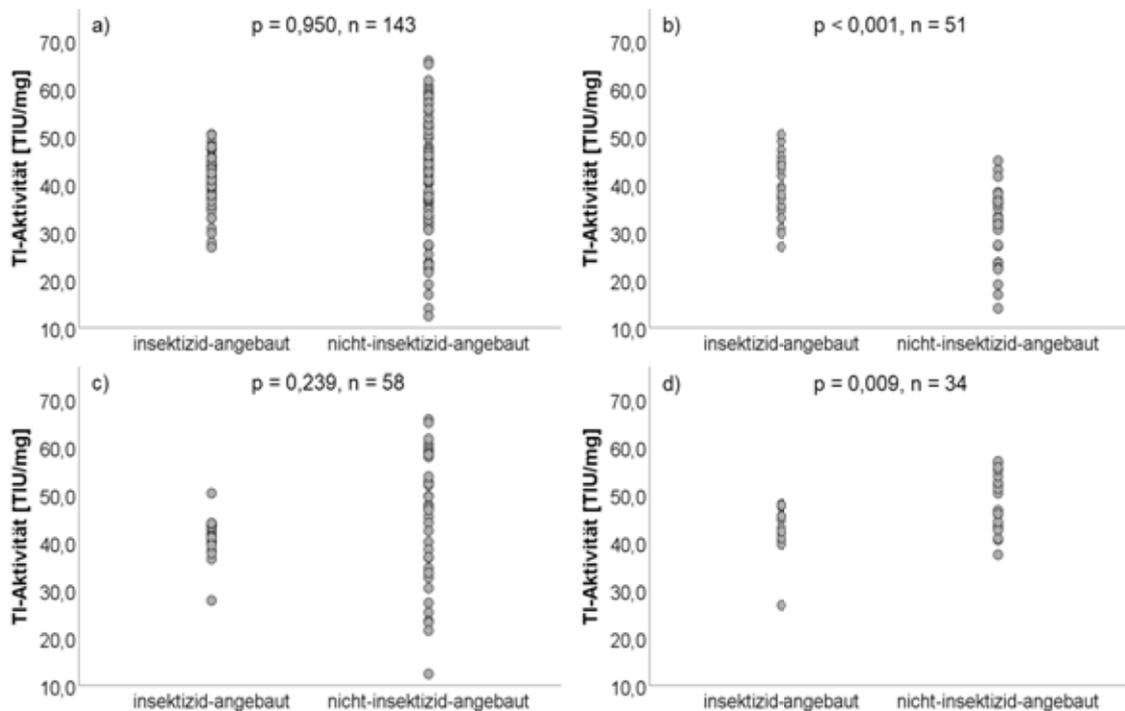


Abbildung 27: Verteilung der TI-Aktivität zwischen insektizid-angebauten und nicht-insektizid-angebauten Erbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), Anbaujahr 2017 (c) und 2018 (d)

Anmerkungen: **Häufigkeiten insgesamt (alle Erbsenproben der Jahre 2016, 2017 und 2018):** insektizid-angebaute (n = 60), nicht-insektizid-angebauten (n = 83). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2016:** insektizid-angebaute (n = 23), nicht-insektizid-angebauten (n = 28). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2017:** insektizid-angebaute (n = 22), nicht-insektizid-angebauten (n = 36). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2018:** insektizid-angebaute (n = 15), nicht-insektizid-angebauten (n = 19).

Dahingegen konnte in der Auswertung der Sommererbsenstichprobe festgestellt werden, dass insektizid-angebaute Erbsen tendenziell zu einer durchschnittlich höheren TI-Aktivität neigten (Anhang 9.7 Tabelle 43). Innerhalb der Gesamtauswertung sowie in den Anbaujahren 2016 und 2017 waren die Unterschiede zwischen insektizid- und nicht-insektizid-angebauten Sommererbsen sogar signifikant (Anhang 9.8 Abbildung 72a, b, c). Nur im Anbaujahr 2018 konnten keine Unterschiede ermittelt werden (Anhang 9.8 Abbildung 72d, Anhang 9.7 Tabelle 43).

Für Ackerbohnen konnten derlei Unterschiede in der TI-Aktivität durch die Anwendung von Insektiziden nicht beobachtet werden (Abbildung 28). Allerdings zeichnete sich für das Anbaujahr 2018 der nicht-signifikante Trend ab, dass auch hier insektizid-angebaute Bohnen eine höhere TI-Aktivität aufweisen (Abbildung 28d).

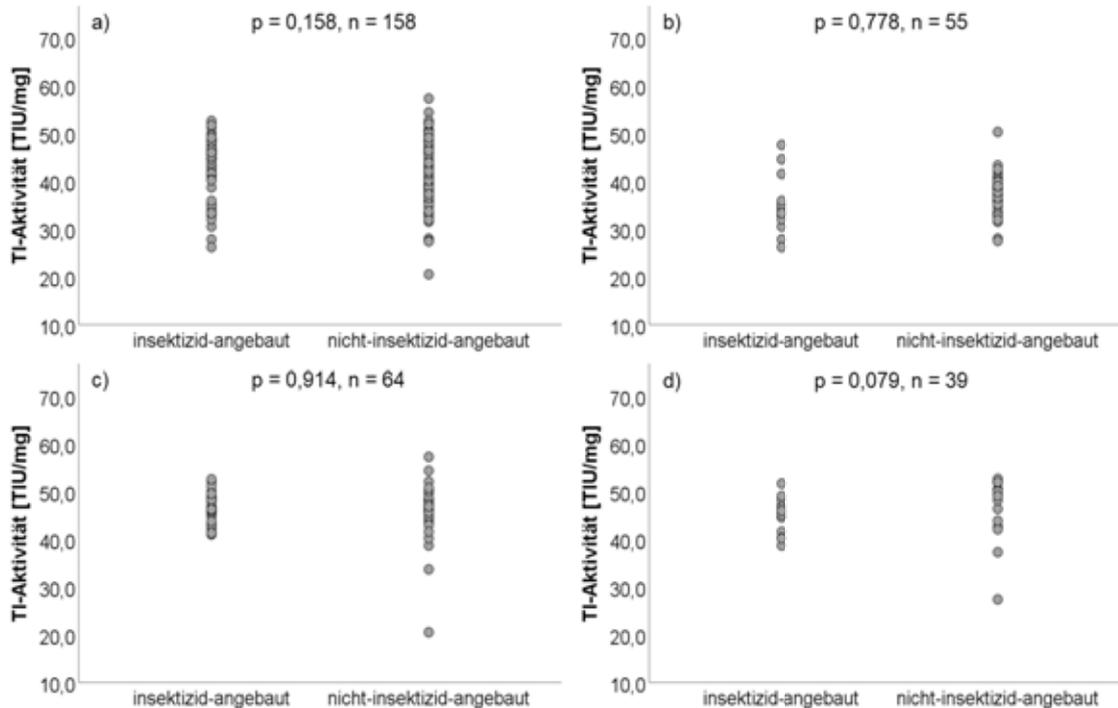


Abbildung 28: Verteilung der TI-Aktivität zwischen insektizid-angebauten und nicht-insektizid-angebauten Ackerbohnen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), Anbaujahr 2017 (c) und 2018 (d)

Anmerkungen: **Häufigkeiten insgesamt (alle Bohnenproben der Jahre 2016, 2017 und 2018):** insektizid-angebaute (n = 75), nicht-insektizid-angebauten (n = 82). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2016:** insektizid-angebaute (n = 17), nicht-insektizid-angebauten (n = 37). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2017:** insektizid-angebaute (n = 35), nicht-insektizid-angebauten (n = 29). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2018:** insektizid-angebaute (n = 23), nicht-insektizid-angebauten (n = 16).

7.4.3 Verteilung des Tanningehaltes zwischen den Anbaubedingungen bei buntblühenden Ackerbohnen

Einfluss konventioneller und ökologischer Anbau

Es konnte gezeigt werden, dass der Tanningehalt von konventionell angebauten Ackerbohnen im Anbaujahr 2017 signifikant höher im Vergleich zu ökologisch angebauten Bohnen ist (Abbildung 29c). Innerhalb der Gesamtauswertung, im Anbaujahr 2016 und 2018 konnten derlei Ergebnisse nicht beobachtet werden (Abbildung 29a, b, d).

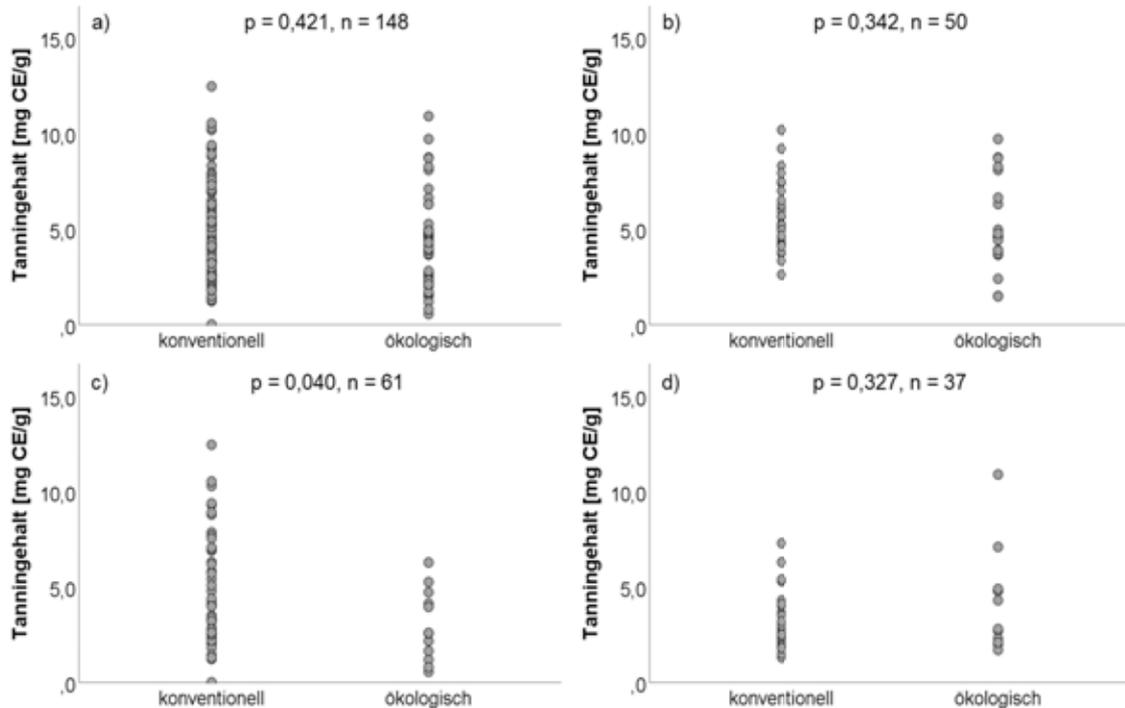


Abbildung 29: Verteilung des Tanningehaltes von buntblühenden Ackerbohnen zwischen konventionellem und ökologischem Anbau insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), Anbaujahr 2017 (c) und 2018 (d)

Anmerkungen: **Häufigkeiten buntblühende Ackerbohnen insgesamt (alle Bohnenproben der Jahre 2016, 2017 und 2018):** konventionell (n = 104), ökologisch (n = 44). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2016:** konventionell (n = 30), ökologisch (n = 20). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2017:** konventionell (n = 49), ökologisch (n = 12). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2018:** konventionell (n = 25), ökologisch (n = 12).

Einfluss Fungizid- und Nicht-Fungizideinsatz

Abbildung 30 zeigt, dass der Tanningehalt von buntblühenden Ackerbohnen durch den Fungizideinsatz nicht durchgehend signifikant beeinflusst wurde. Nur im Anbaujahr 2017 konnte gezeigt werden, dass fungizid-angebaute Bohnen einen signifikant höheren Tanningehalt als nicht-fungizid angebaute bunte Ackerbohnen aufweisen (Abbildung 30c). Innerhalb der Gesamtbetrachtung sowie für das Anbaujahr 2016 und 2017 konnten derlei Ergebnisse nicht gezeigt werden (Abbildung 30a, b, c).

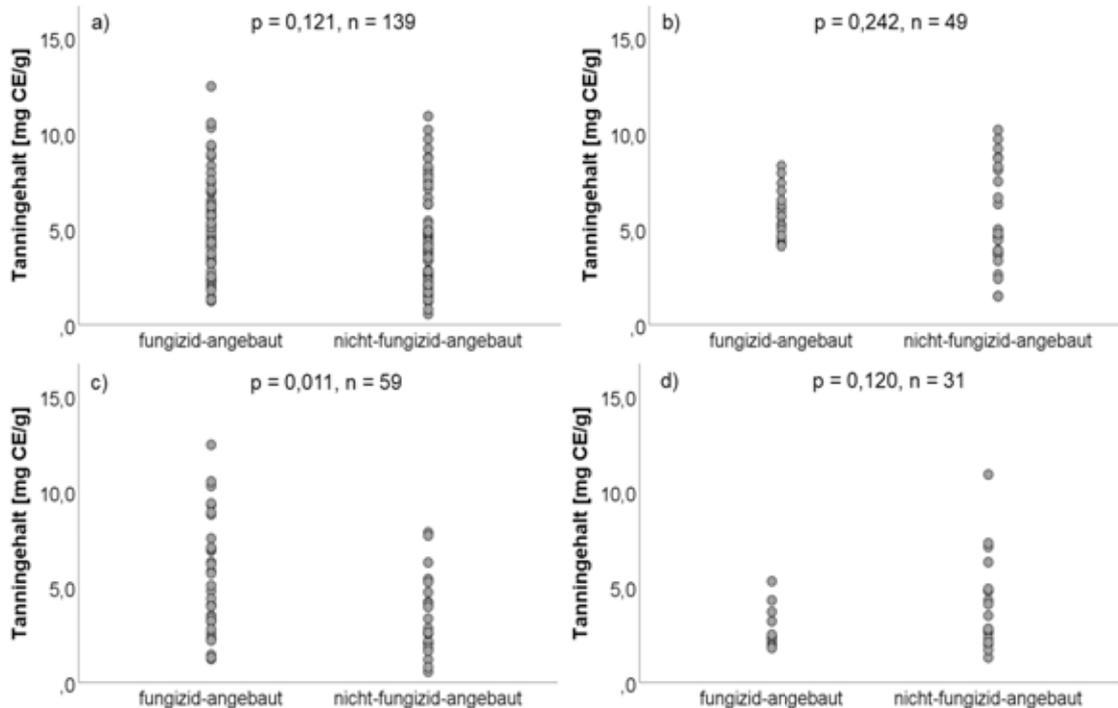


Abbildung 30: Verteilung des Tanningehaltes zwischen fungizid-angebauten und nicht-fungizid-angebauten buntblühenden Ackerbohnen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), Anbaujahr 2017 (c) und 2018 (d)

Anmerkungen: **Häufigkeiten insgesamt (alle Bohnenproben der Jahre 2016, 2017 und 2018):** fungizid-angebaute (n = 69), nicht-fungizid-angebauten (n = 70). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2016:** fungizid-angebaute (n = 21), nicht-fungizid-angebauten (n = 38). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2017:** fungizid-angebaute (n = 36), nicht-fungizid-angebauten (n = 23). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2018:** fungizid-angebaute (n = 12), nicht-fungizid-angebauten (n = 19).

Einfluss Insektizid- und Nicht-Insektizideinsatz

Abbildung 31 zeigt, dass der Einsatz von Insektiziden den Tanningehalt in buntblühenden Ackerbohnen nicht durchgehend signifikant beeinflusste. Ausschließlich im Anbaujahr 2017 und 2018 konnten Einflüsse durch Insektizideinsatz beobachtet werden. Für das Anbaujahr 2017 konnte gezeigt werden, dass insektizid-angebaute Ackerbohnen zu höheren Tanningehalten als nicht-insektizid angebaute Ackerbohnen tendieren (Abbildung 31c). Dahingegen konnte für das Anbaujahr 2018 beobachtet werden, dass nicht-insektizid angebaute Bohnen sich durch signifikant höhere Tanningehalte auszeichnen (Abbildung 31d). Innerhalb der Gesamtbetrachtung sowie für das Anbaujahr 2016 konnten derlei Ergebnisse nicht gezeigt werden (Abbildungen 31a, b).

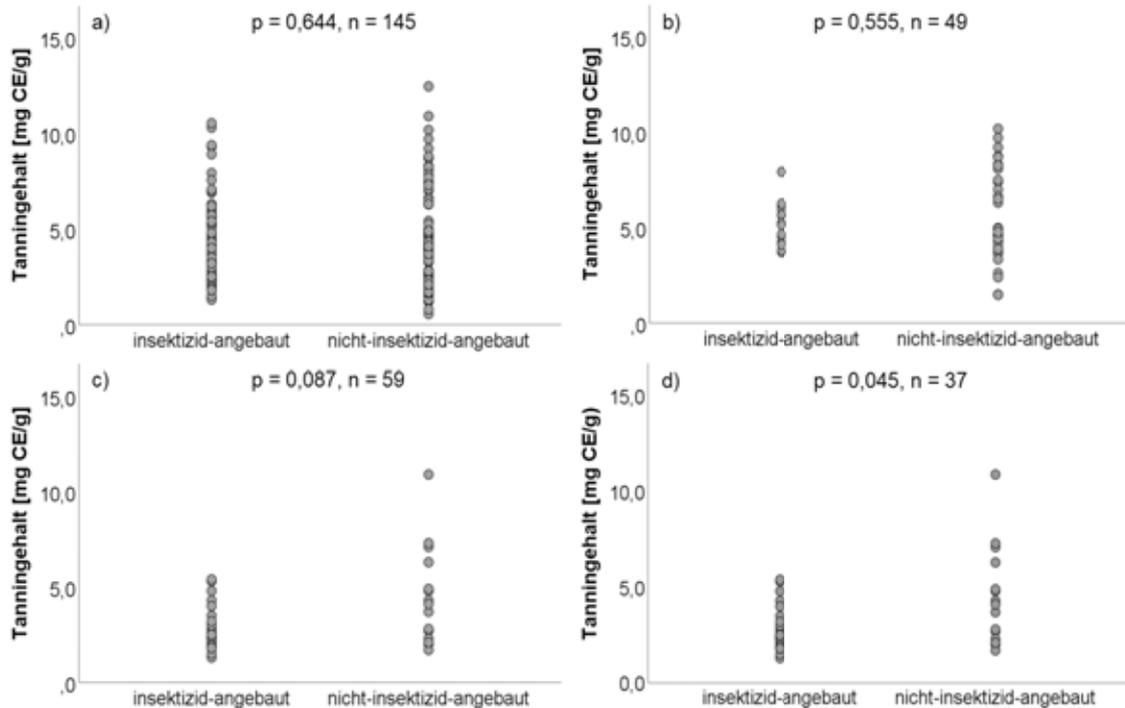


Abbildung 31: Verteilung des Proteingehaltes zwischen insektizid-angebauten und nicht-insektizid-angebauten Ackerbohnen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), Anbaujahr 2017 (c) und 2018 (d)

Anmerkungen: **Häufigkeiten insgesamt (alle Bohnenproben der Jahre 2016, 2017 und 2018):** insektizid-angebaute (n = 75), nicht-insektizid-angebauten (n = 82). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2016:** insektizid-angebaute (n = 17), nicht-insektizid-angebauten (n = 37). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2017:** insektizid-angebaute (n = 35), nicht-insektizid-angebauten (n = 29). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2018:** insektizid-angebaute (n = 23), nicht-insektizid-angebauten (n = 16).

7.5 Korrelativer Einfluss meteorologischer und morphologischer Faktoren auf die untersuchten Qualitätsparameter

In den folgenden Abschnitten wird der korrelative Einfluss von meteorologischen Daten wie Durchschnittstemperatur und -niederschlag über den Vegetationszeitraum (von Saattermin bis Erntetermin) auf den Proteingehalt, die TI-Aktivität und den Tanningehalt in Erbsen und Ackerbohnen untersucht. Die korrelative Auswertung wurde einerseits insgesamt (alle Proben aus den Jahren 2016, 2017 und 2018) und andererseits innerhalb der drei Anbaujahre 2016, 2017 und 2018 separiert betrachtet. Daran anschließend wird auch der korrelative Zusammenhang zwischen den prozentualen Anteilen der Bodentypen Sand, Schluff und Ton auf die drei genannten Qualitätsparameter überprüft. Auch hier wurde die Auswertung insgesamt (alle Proben aus den Jahren 2016, 2017 und 2018) und innerhalb der drei Anbaujahre 2016, 2017 und 2018 separiert betrachtet.

7.5.1 Einfluss von Temperatur und Niederschlag auf den Proteingehalt von Erbsen

Es konnte bei der Betrachtung der gesamten Erbsenstichprobe (ohne Unterteilung in Sommer- und Winteranbau) in allen Anbaujahren gezeigt werden, dass weder die Temperatur noch der Niederschlag einen signifikanten Einfluss auf den Proteingehalt haben (Abbildung 32, 33).

In der weiteren Auswertung mit Sommererbsen konnte beobachtet werden, dass der Proteingehalt im Anbaujahr 2016 und 2017 mit zunehmender Temperatur signifikant zunahm (Anhang 9.9 Abbildung 73b, c). Weiterhin konnte für das Anbaujahr 2017 gezeigt werden, dass mit abnehmender Niederschlagsrate über den untersuchten Vegetationszeitraum der Proteingehalt in Sommererbsen ebenfalls ansteigt (Anhang 9.9 Abbildung 74c). Bei Wintererbsen konnte hingegen kein Einfluss durch die beiden meteorologischen Parameter auf den Proteingehalt ermittelt werden (Anhang 9.9 Abbildung 75, 76).

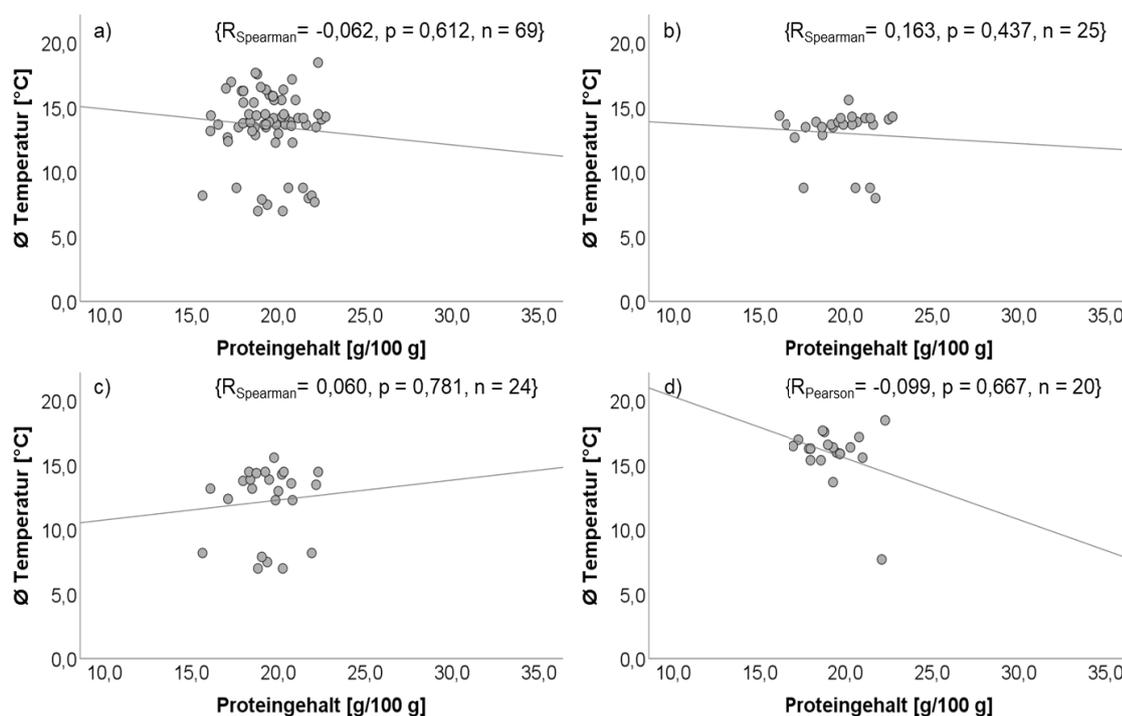


Abbildung 32: Zusammenhang zwischen der Durchschnittstemperatur (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und Proteingehalt von Erbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

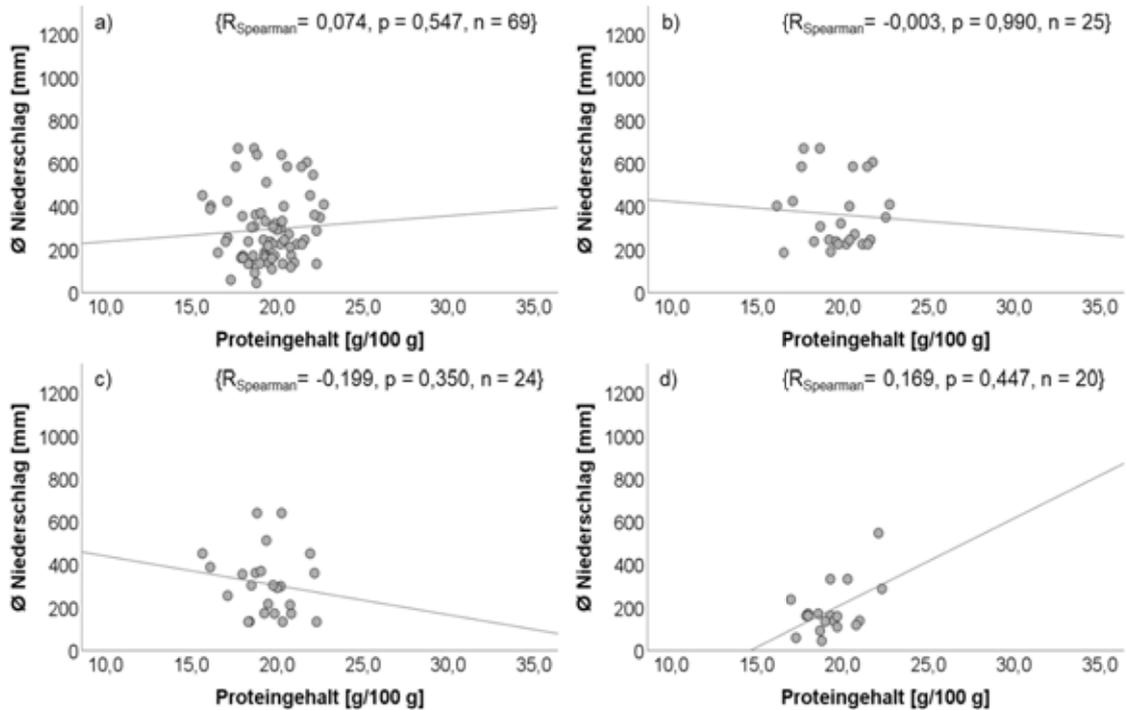


Abbildung 33: Zusammenhang zwischen dem Durchschnittsniederschlag (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und Proteingehalt von Erbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

7.5.2 Einfluss von Temperatur und Niederschlag auf den Proteingehalt von Ackerbohnen

Der Proteingehalt von Ackerbohnen wurde in fast allen Anbaujahren nicht durch die beiden meteorologischen Parameter beeinflusst (Abbildung 34, 35). Nur im Anbaujahr 2017 konnte ein signifikant negativer Zusammenhang zwischen der Temperatur und dem Proteingehalt beobachtet werden (Abbildung 34c), anders als bei den Erbsen. Zudem konnte in der Gesamtbetrachtung gezeigt werden, dass mit abnehmenden Niederschlagsraten der Proteingehalt signifikant zunimmt (Abbildung 35a), ähnlich wie bei den Erbsen im Anbaujahr 2017.

Ergebnisse

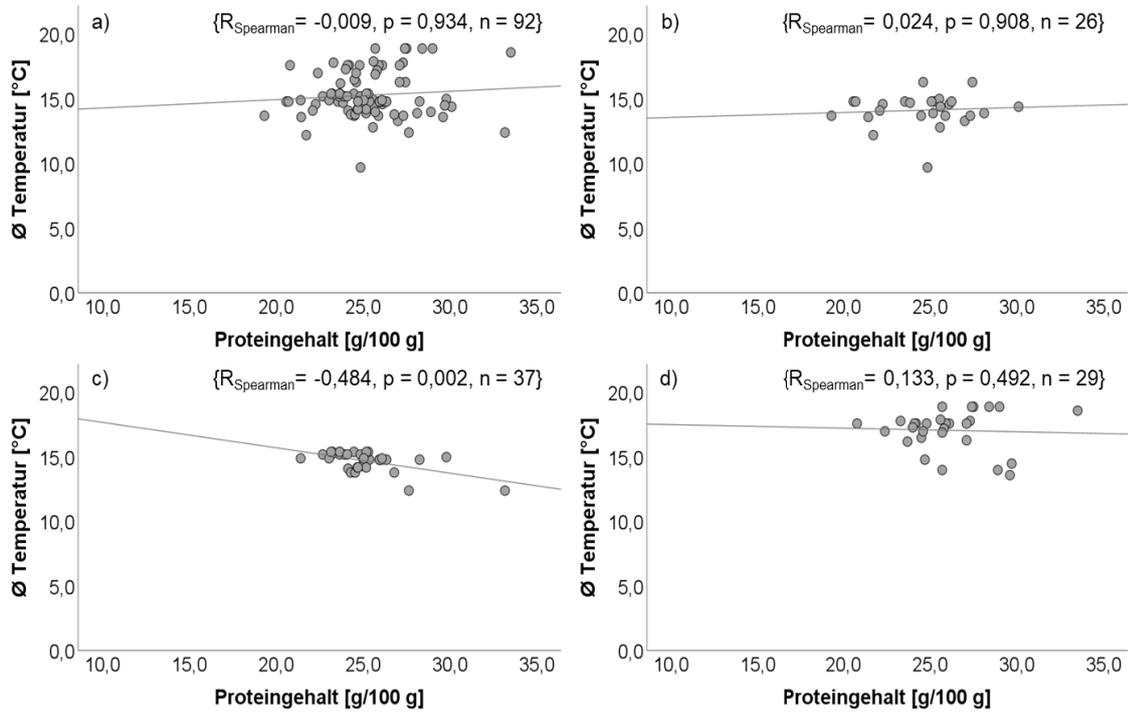


Abbildung 34: Zusammenhang zwischen der Durchschnittstemperatur (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und Proteingehalt von Ackerbohnen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

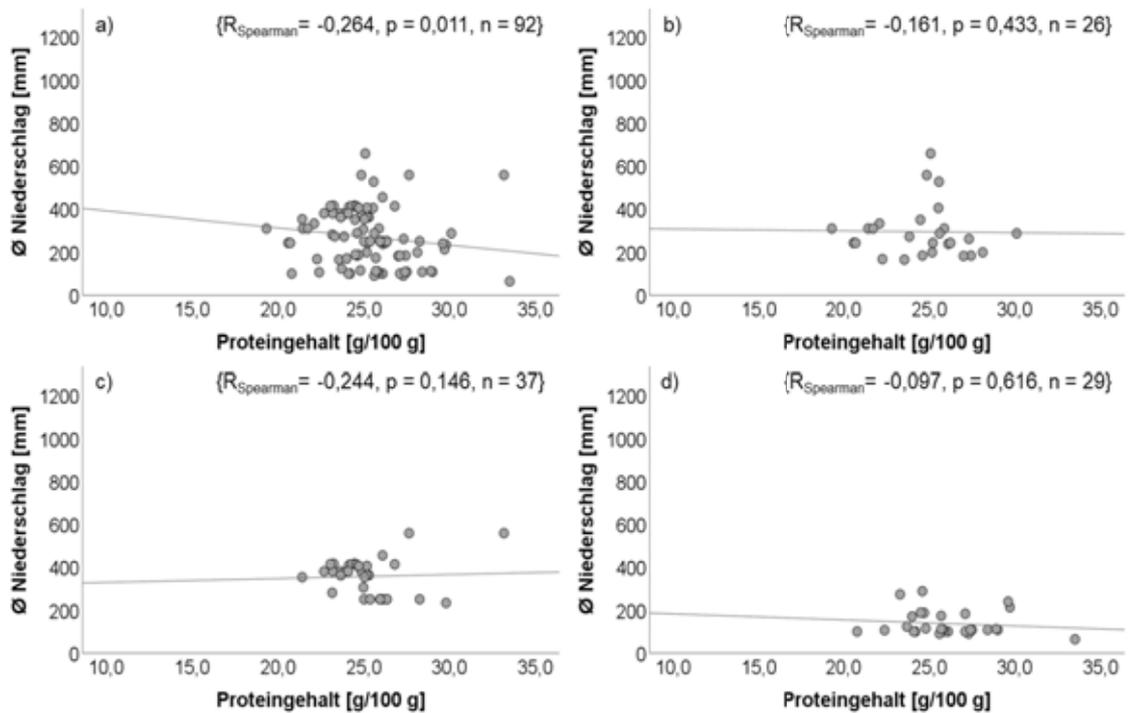


Abbildung 35: Zusammenhang zwischen dem Durchschnittsniederschlag (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und Proteingehalt von Ackerbohnen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

7.5.3 Einfluss von Temperatur und Niederschlag auf die TI-Aktivität von Erbsen

Es konnte bei der Betrachtung der gesamten Erbsenstichprobe (ohne Unterteilung in Sommer- und Winteranbau) gezeigt werden, dass die TI-Aktivität keinem Temperatureffekt unterlag (Abbildung 36).

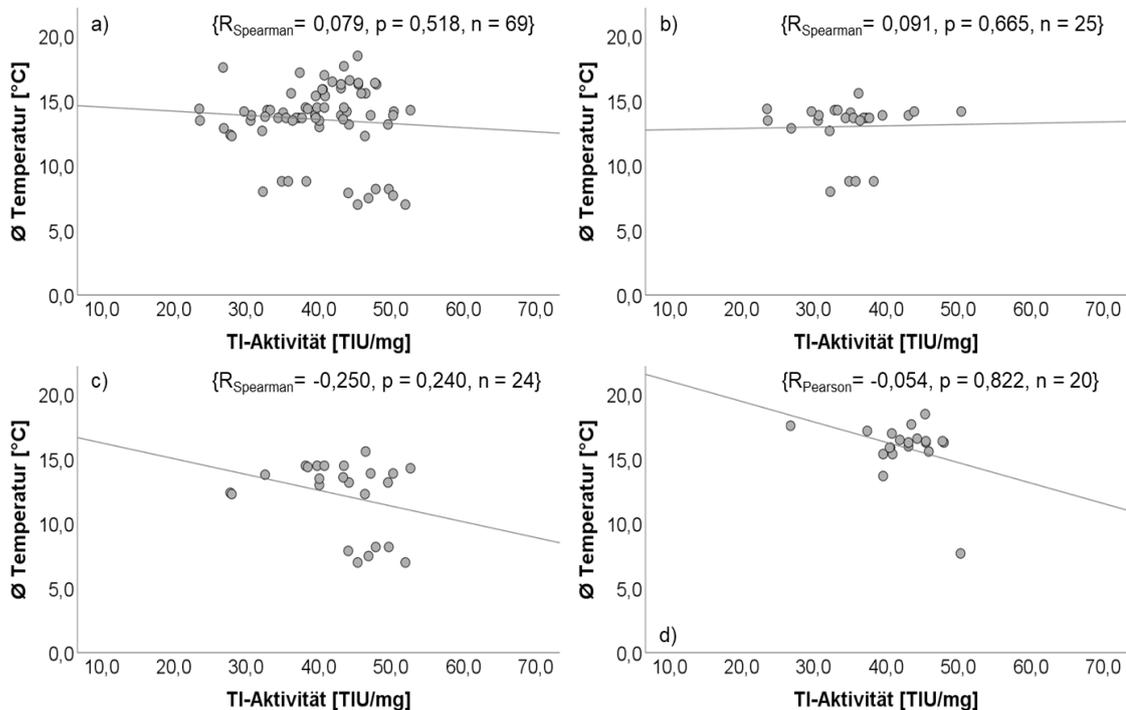


Abbildung 36: Zusammenhang zwischen der Durchschnittstemperatur (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und TI-Aktivität von Erbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

Allerdings konnte im Anbaujahr 2017 und 2018 beobachtet werden, dass über den untersuchten Vegetationszeitraum die TI-Aktivität mit zunehmenden Niederschlagsraten signifikant zunimmt (Abbildung 37 c, d). Dies konnte jedoch nicht für die Gesamtbetrachtung und für das Anbaujahr 2016 gezeigt werden (Abbildung 37 a, b).

In der separierten Auswertung der Sommererbsenstichprobe konnten weitere Zusammenhänge zwischen den beiden meteorologischen Parametern und der TI-Aktivität beobachtet werden. Ausschließlich in der Gesamtbetrachtung zeigte sich ein signifikant negativer Zusammenhang zwischen der Temperatur und der TI-Aktivität (Anhang 9.9 Abbildung 77a). Dieselben Ergebnisse konnten für Wintererbsen zwischen Temperatur und TI-Aktivität festgestellt werden (Anhang 9.9 Abbildung 79). Weiterhin konnten innerhalb der Gesamtbetrachtung und für das Anbaujahr 2016 ein negativer nicht-signifikanter Trend zwischen Niederschlag und TI-Aktivität beobachtet werden, der zu der Annahme führt, dass bei niederschlagsarmen Bedingungen die TI-Aktivität in Sommererbsen eher ansteigt (Anhang 9.9 Abbildung 78a, b). Zu beachten ist allerdings,

dass im Anbaujahr 2018 ein signifikant positiver Zusammenhang zwischen Niederschlag und TI-Aktivität innerhalb der Sommererbsenstichprobe aufgezeigt werden konnte (Anhang 9.9 Abbildung 78c). Für Wintererbsen konnte hingegen kein Zusammenhang zwischen Niederschlag und der TI-Aktivität beobachtet werden (Anhang 9.9 Abbildung 80).

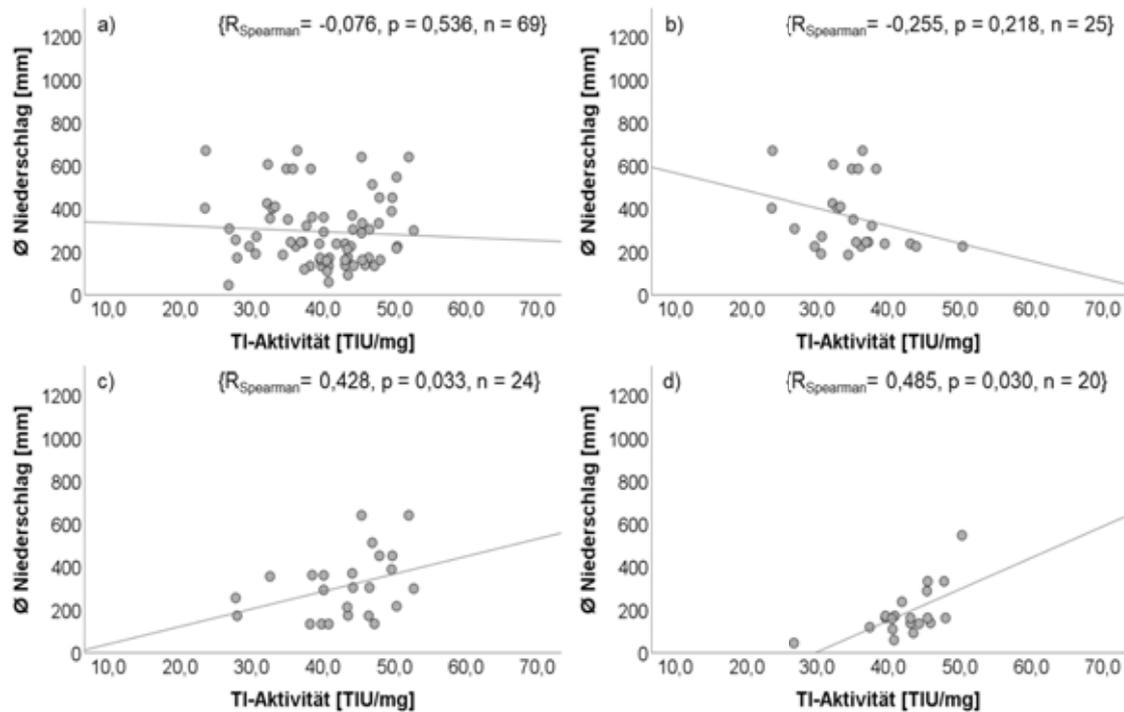


Abbildung 37: Zusammenhang zwischen dem Durchschnittsniederschlag (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und TI-Aktivität von Erbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

7.5.4 Einfluss von Temperatur und Niederschlag auf die TI-Aktivität von Ackerbohnen

Bei Ackerbohnen konnte gezeigt werden, dass die TI-Aktivität ebenfalls durch Wettereinflüsse determiniert wird. Einerseits zeigte die korrelative Auswertung innerhalb der Gesamtbetrachtung und dem Anbaujahr 2016, dass die TI-Aktivität mit zunehmender Temperatur ebenfalls signifikant ansteigt (Abbildung 38a, b). Dies konnte jedoch nicht für die vorangehenden Anbaujahre 2016 und 2017 beobachtet werden (Abbildung 38c, d).

Ergebnisse

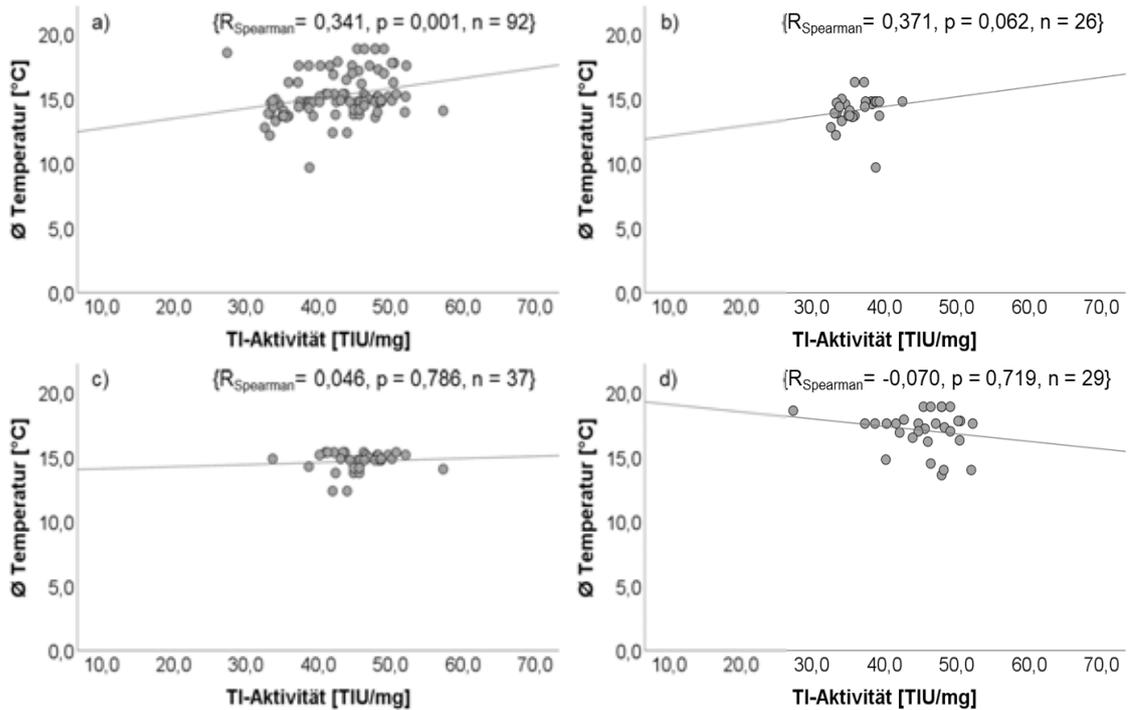


Abbildung 38: Zusammenhang zwischen der Durchschnittstemperatur (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und TI-Aktivität von Ackerbohnen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

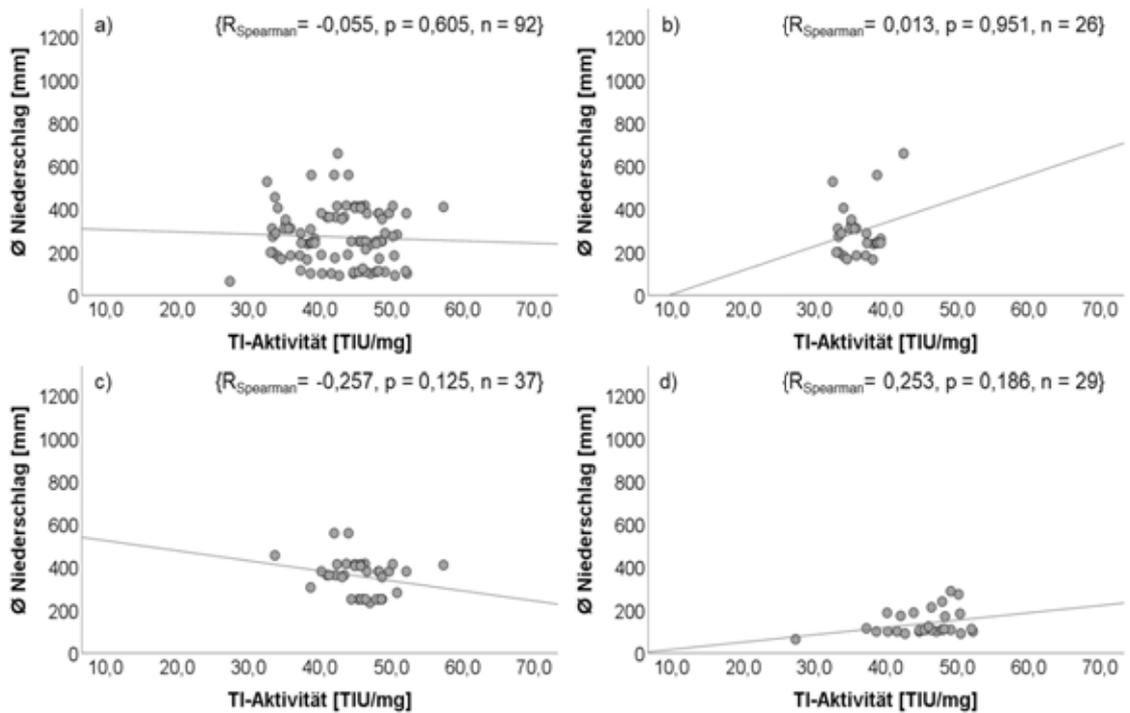


Abbildung 39: Zusammenhang zwischen dem Durchschnittsniederschlag (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und TI-Aktivität von Ackerbohnen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

7.5.5 Einfluss von Temperatur und Niederschlag auf den Tanningehalt von buntblühenden Ackerbohnen

Die Ergebnisse aus Abbildung 40 und 41 zeigen, dass der Tanningehalt buntblühender Ackerbohnen beständig gegenüber den untersuchten Wettereinflüssen Temperatur und Niederschlag ist (Abbildung 40, 41). Es konnte an dieser Stelle kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Tanningehalt und der Durchschnittstemperatur sowie zwischen dem Tanningehalt und dem Durchschnittsniederschlag über den Vegetationszeitraum festgestellt werden (Abbildung 40, 41).

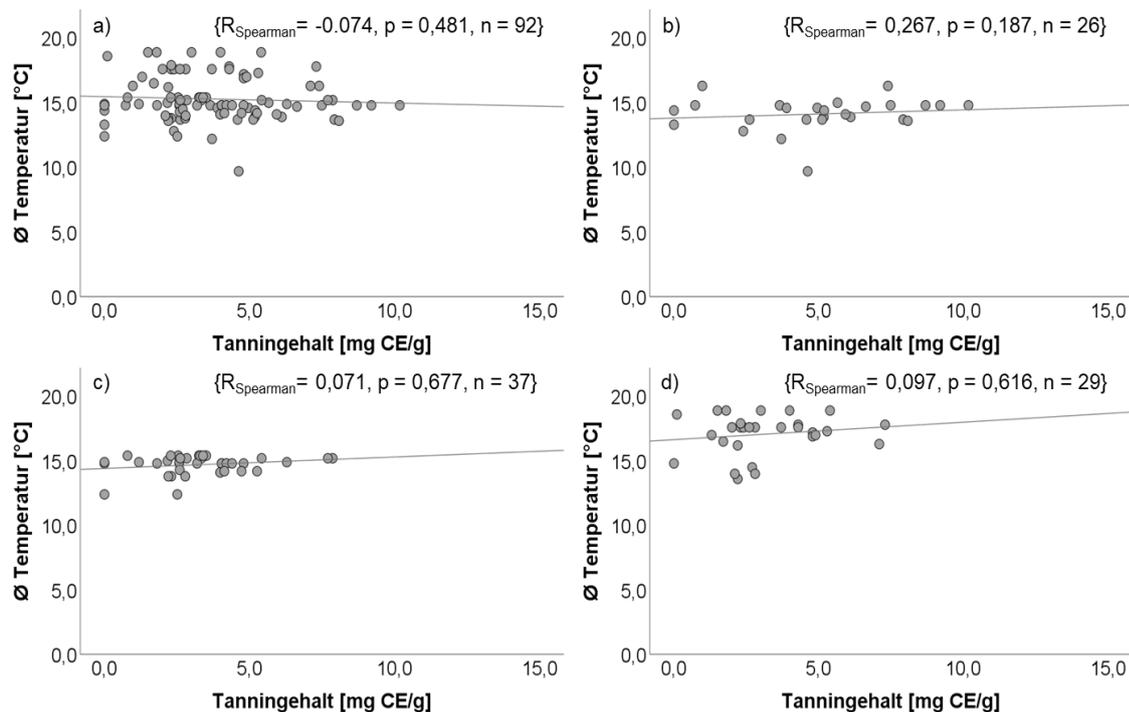


Abbildung 40: Zusammenhang zwischen der Durchschnittstemperatur (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und Tanningehalt von buntblühenden Ackerbohnen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

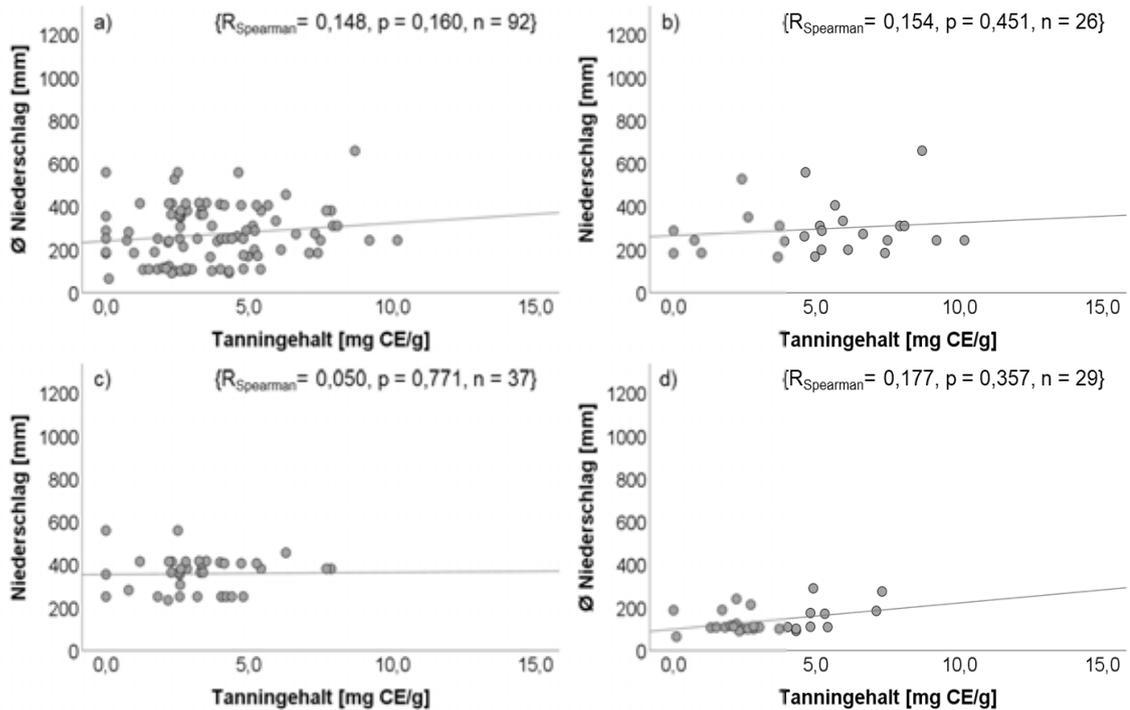


Abbildung 41: Zusammenhang zwischen dem Durchschnittsniederschlag (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und Tanningehalt von buntblühenden Ackerbohnen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

7.5.6 Einfluss von Bodenarten auf den Proteingehalt von Erbsen

Innerhalb der Auswertung der gesamten Erbsenstichprobe (ohne Unterteilung in Sommer- und Winteranbau) konnten keine einheitlichen korrelativen Einflüsse durch die Bodenzusammensetzung auf den Proteingehalt beobachtet werden. Hier konnte für das Anbaujahr 2018 ein nicht-signifikanter Trend festgestellt werden, mit der Annahme, dass mit abnehmenden Sandanteil und zunehmenden Schluffanteil der Proteingehalt in Erbsen tendenziell zunimmt (Abbildung 42d, 43d). Dahingegen hatte die prozentuale Tonzusammensetzung in keinem der untersuchten Anbaujahre einen Einfluss auf den Proteingehalt (Abbildung 44).

Die Proteingehalte von Sommererbsen wurden ebenfalls durch die Bodenzusammensetzung im Anbaujahr 2018 beeinflusst. Allerdings konnte hier gezeigt werden, dass der Proteingehalt mit zunehmenden Sandanteil und abnehmenden Tonanteil tendenziell ansteigt (Anhang 9.9 Abbildung 81d, 83d). Für Wintererbsen zeichneten sich ebenso grobe Einflüsse durch die Bodenkörnung innerhalb der Auswertung ab. Hier zeigte sich, dass mit steigendem Schluffanteil die Proteingehalte tendenziell grob ansteigen (Anhang 9.9 Abbildung 85). Weiterhin konnte beobachtet werden, dass mit sinkendem Tonanteil die Proteingehalte in der Wintererbsenstichprobe signifikant zunahm (Anhang 9.9 Abbildung 86).

Ergebnisse

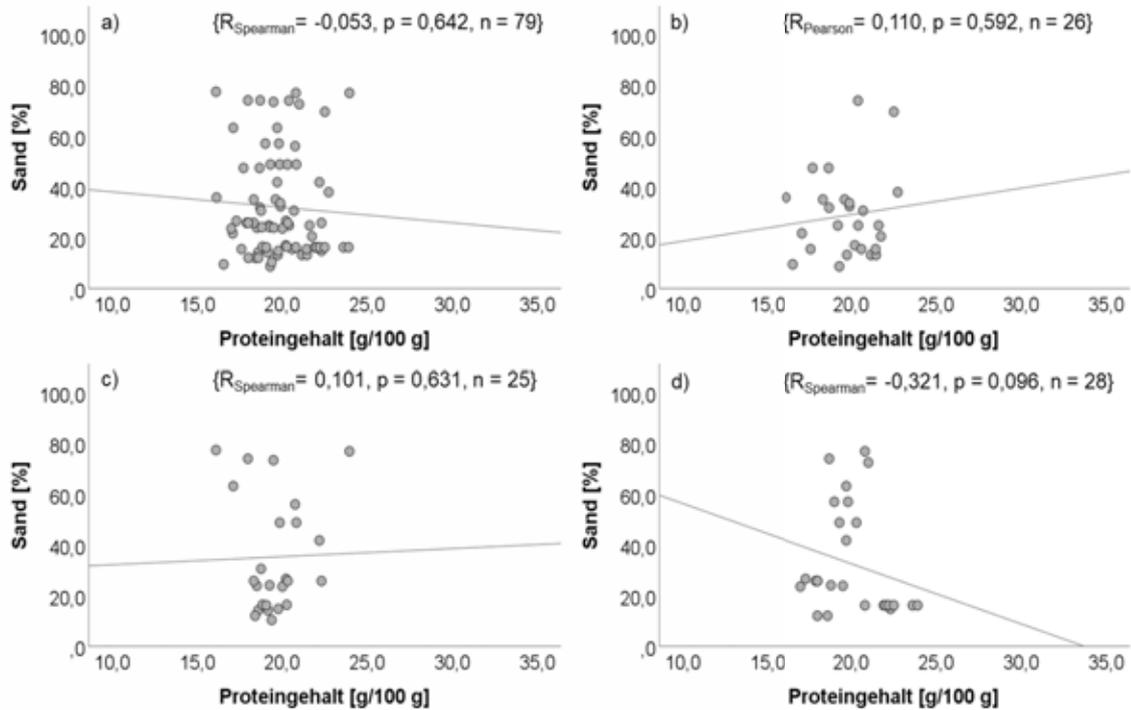


Abbildung 42: Zusammenhang zwischen prozentualem Sandanteil im Boden und Proteingehalt von Erbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

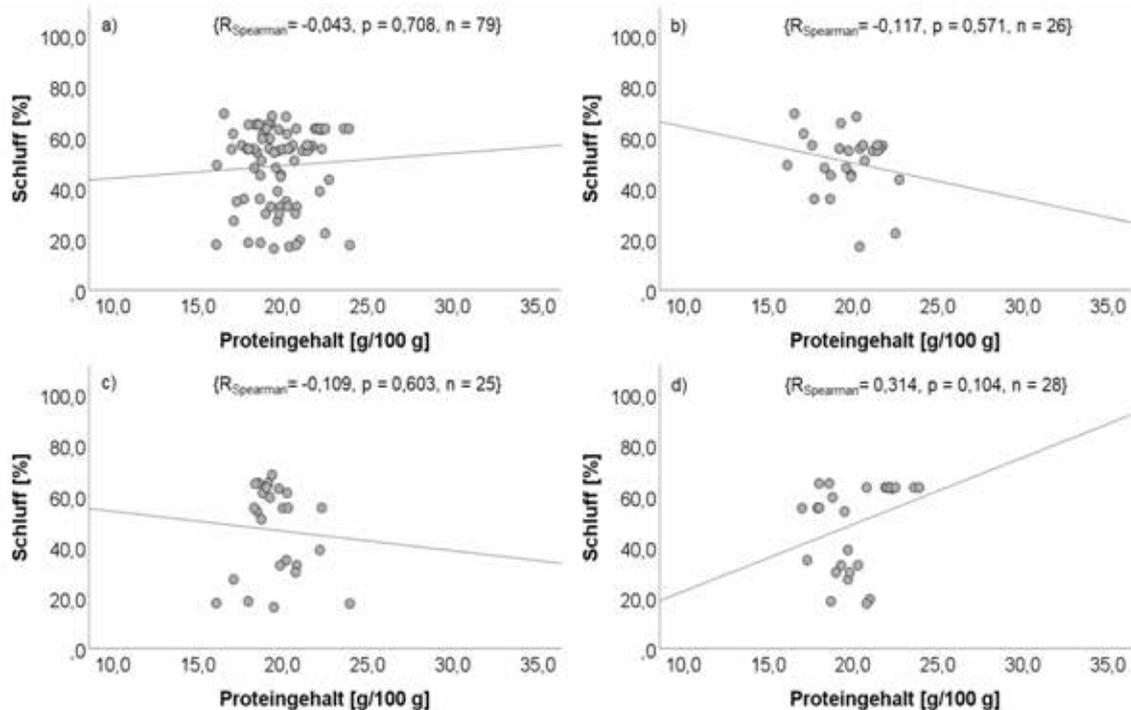


Abbildung 43: Zusammenhang zwischen prozentualem Schluffanteil im Boden und Proteingehalt von Erbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

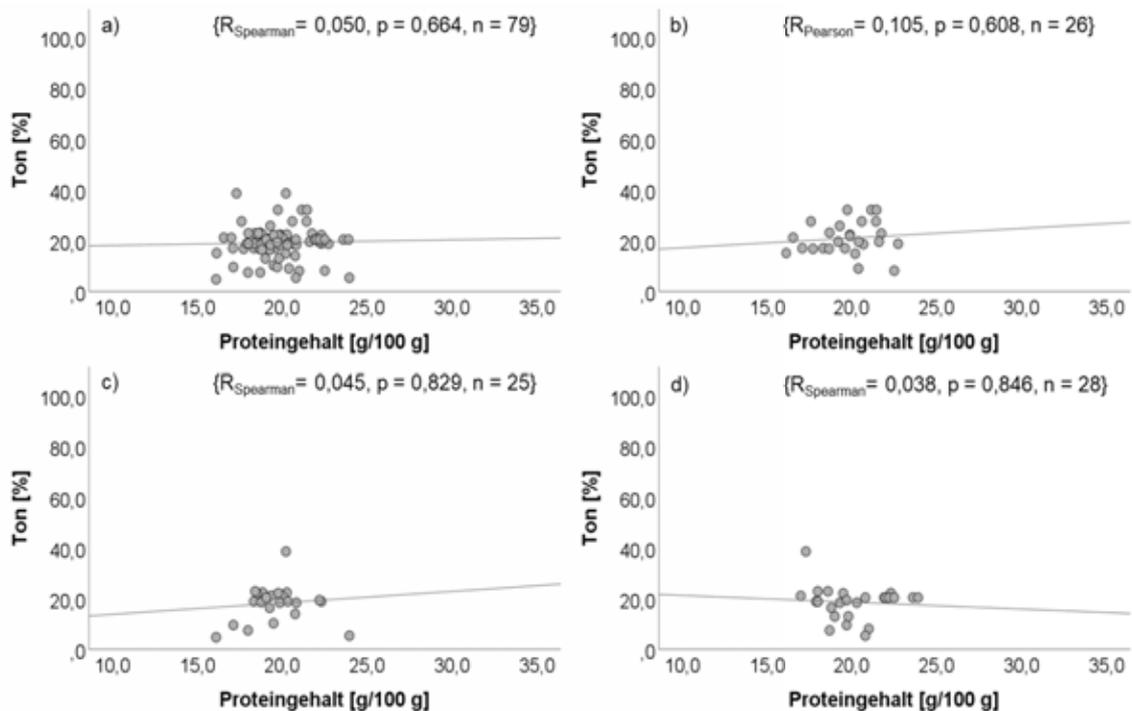


Abbildung 44: Zusammenhang zwischen prozentualem Tonanteil im Boden und Proteingehalt von Erbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

7.5.7 Einfluss von Bodenarten auf den Proteingehalt von Ackerbohnen

Es konnte gezeigt werden, dass der Proteingehalt von Ackerbohnen durch die Bodenzusammensetzung teilweise beeinflusst wird (Abbildung 45, 46 47). Die Zusammenhänge waren zwischen den einzelnen Bodenarten und dem Proteingehalt nicht immer konstant signifikant (Abbildung 45, 46 47). Zudem waren die morphologischen Einflüsse auf den Proteingehalt ebenfalls abhängig vom jeweiligen Anbaujahr. Anders als bei den Erbsen ist vor allem das Anbaujahr 2016 und das Anbaujahr 2017 hervorzuheben. Für das Anbaujahr 2016 führte ein abnehmender Tonanteil zu einem tendenziellen Anstieg im Proteingehalt (Abbildung 47b). Im Anbaujahr 2017 wurde der Proteingehalt hingegen eher durch den prozentualen Sand- und Schluffanteil beeinflusst (Abbildung 45c, 46c). Hier konnte gezeigt werden, dass mit abnehmenden Sandanteil und zunehmenden Schluffanteil der Proteingehalt signifikant zunimmt (Abbildung 45c, 46c). Für das Anbaujahr 2018 konnten keinerlei Trends zwischen der Bodentextur und dem Proteingehalt beobachtet werden (Abbildung 45d, 46d, 47d).

Ergebnisse

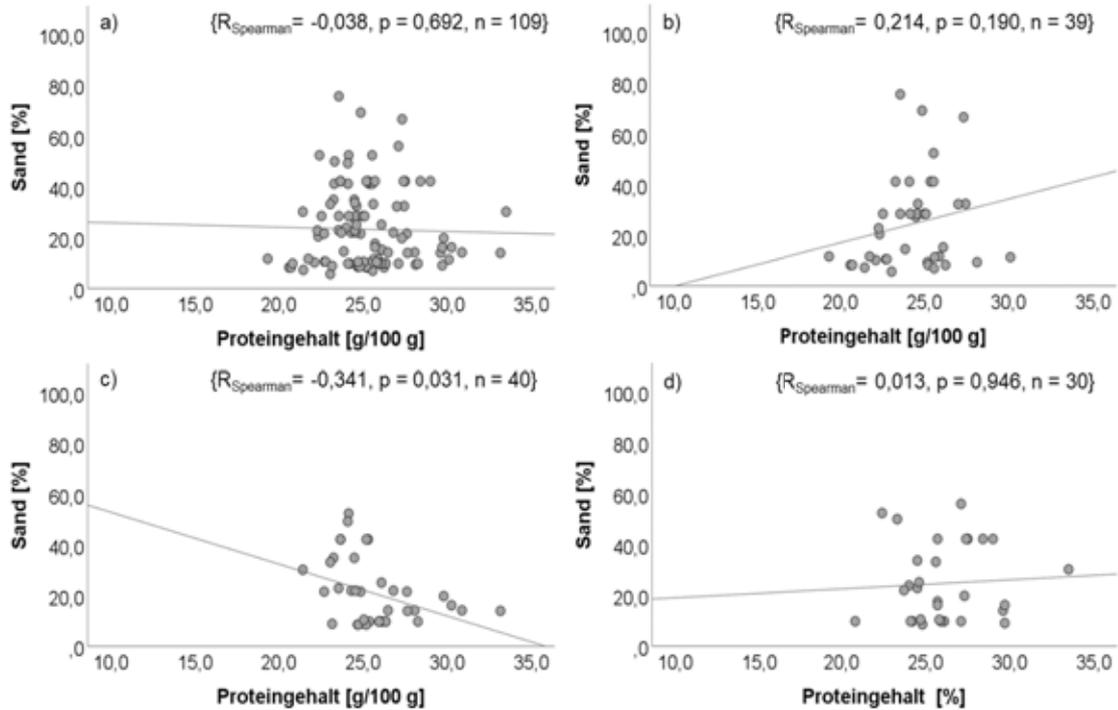


Abbildung 45: Zusammenhang zwischen prozentualem Sandanteil im Boden und Proteingehalt von Ackerbohnen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

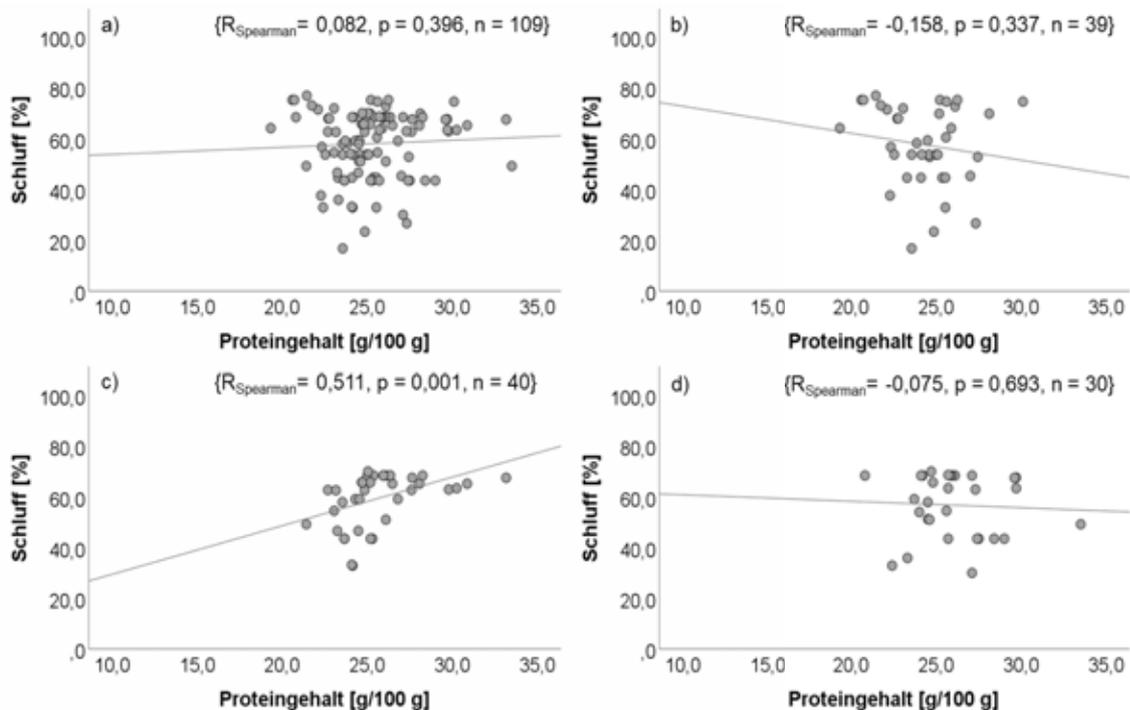


Abbildung 46: Zusammenhang zwischen prozentualem Schluffanteil im Boden und Proteingehalt von Ackerbohnen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

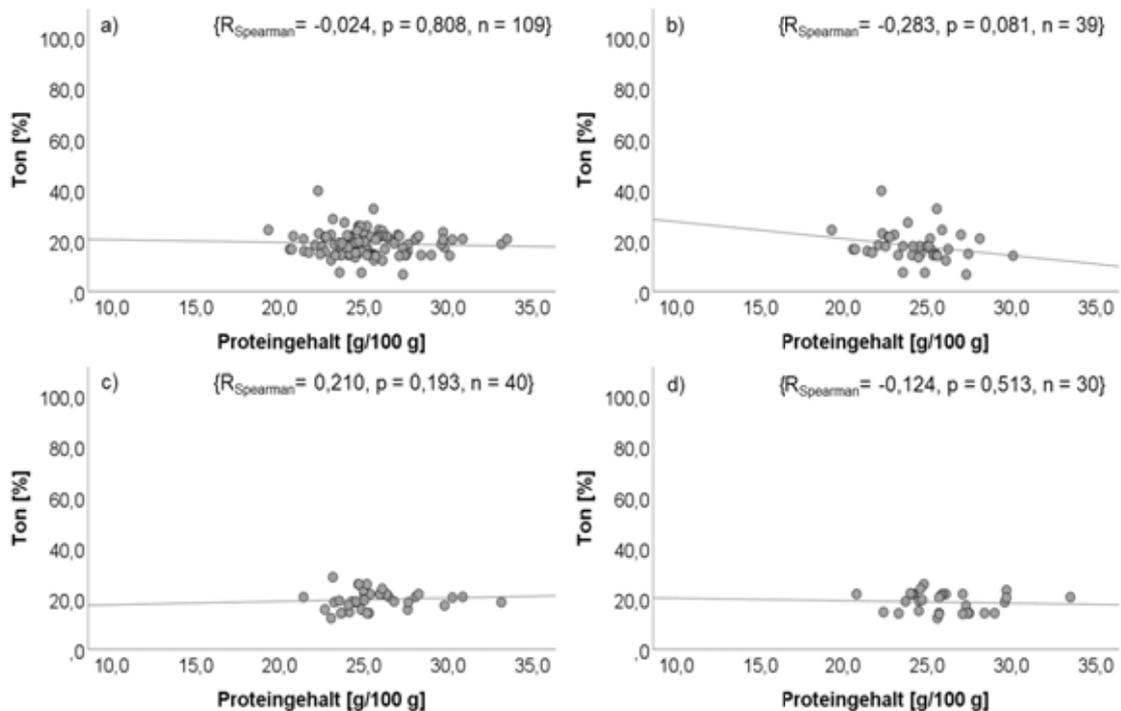


Abbildung 47: Zusammenhang zwischen prozentualem Tonanteil im Boden und Proteingehalt von Ackerbohnen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

7.5.8 Einfluss von Bodenarten auf die TI-Aktivität von Erbsen

Die Abbildungen 48 bis 50 zeigen, dass die morphologische Bodenzusammensetzung einen bestimmenden Einfluss auf die TI-Aktivität in der gesamten Erbsenstichprobe (ohne Unterteilung in Sommer- und Winteranbau) hatte. Es zeigte sich in der Gesamtbetrachtung und im Anbaujahr 2018, dass mit zunehmenden prozentualen Sandanteil sowie abnehmenden Schluffanteil die TI-Aktivität in Erbsen linear abnimmt (Abbildung 48a, d, 49a, d). Solch ein Trend konnte nicht für die Anbaujahre 2016 und 2017 gezeigt werden (Abbildung 48b, c, 49b, c). Allerdings zeichnete sich in diesen beiden Anbaujahren ab, dass in tonreichen Böden angebaute Erbsen eine höhere TI-Aktivität aufweisen (Abbildung 50b, c). Die genannten korrelativen Zusammenhänge aus den drei Anbaujahren 2016, 2017 und 2018 waren jedoch nicht immer gleichbleibend signifikant und zeichneten oft nur einen Trend des Zusammenhanges ab (Abbildung 48, 49, 50). Dahingegen konnte innerhalb der Sommererbsenstichprobe weder in der Gesamtauswertung noch den einzelnen Anbaujahren ein korrelativer Zusammenhang zwischen den Bodenarten und der TI-Aktivität beobachtet werden (Anhang 9.9 Abbildung 87, 88, 89). Bei der Wintererbsenstichprobe wurde die TI-Aktivität durch die morphologische Bodenzusammensetzung jedoch wieder stark beeinflusst. Beispielsweise zeigte sich, dass mit steigendem Schluffanteil und abnehmenden

Ergebnisse

Tonanteil die TI-Aktivität von Wintererbsen signifikant zunahm (Anhang 9.9 Abbildung 91, 92).

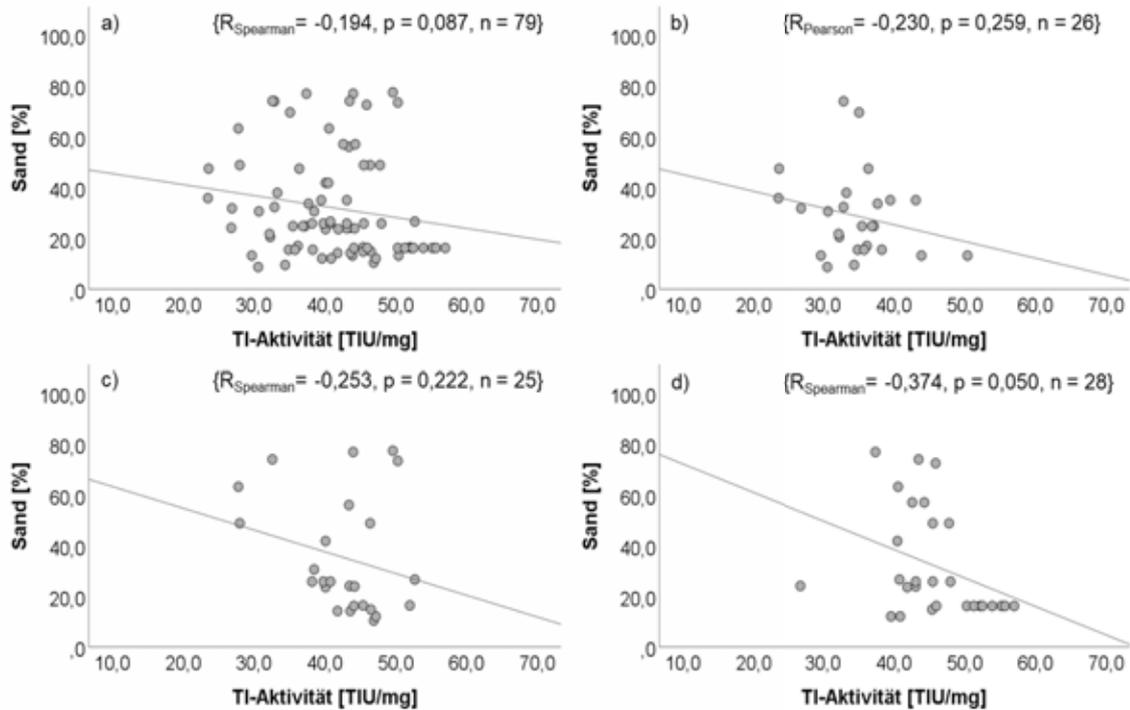


Abbildung 48: Zusammenhang zwischen prozentualem Sandanteil im Boden und TI-Aktivität von Erbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

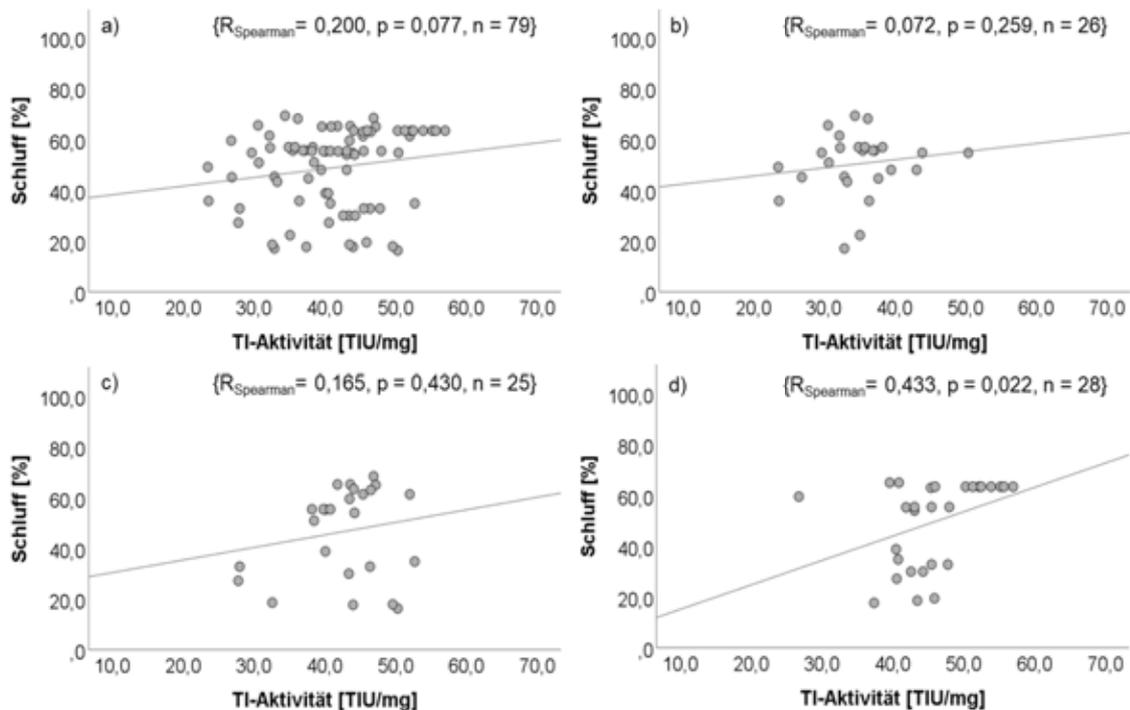


Abbildung 49: Zusammenhang zwischen prozentualem Schluffanteil im Boden und TI-Aktivität von Erbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

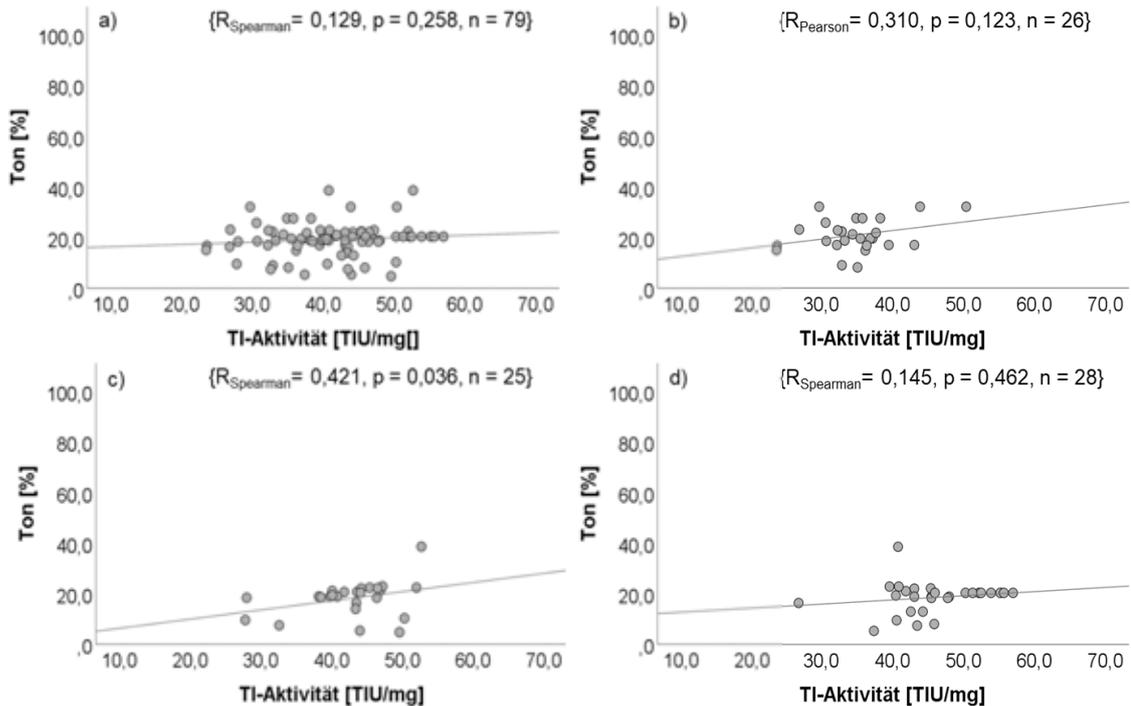


Abbildung 50: Zusammenhang zwischen prozentualem Tonanteil im Boden und TI-Aktivität von Erbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

7.5.9 Einfluss von Bodenarten auf die TI-Aktivität von Ackerbohnen

Ähnlich wie bei den Erbsen konnten für Ackerbohnen ebenfalls keine einheitlichen Zusammenhänge zwischen der Bodenzusammensetzung und der TI-Aktivität aufgezeigt werden (Abbildung 51, 52, 53). Ebenso waren die korrelativen Zusammenhänge zwischen den untersuchten Bodenarten und der TI-Aktivität unterschiedlich in den einzelnen Anbaujahren (Abbildung 51, 52, 53). Beispielsweise konnte für das Anbaujahr 2018 gezeigt werden, dass die TI-Aktivität mit zunehmendem Sandanteil sowie abnehmenden Schluffanteil zunimmt (Abbildung 51d, 52d). Weiterhin konnte im Anbaujahr 2016 beobachtet werden, dass die TI-Aktivität mit abnehmenden Tonanteil signifikant ansteigt (Abbildung 53a).

Ergebnisse

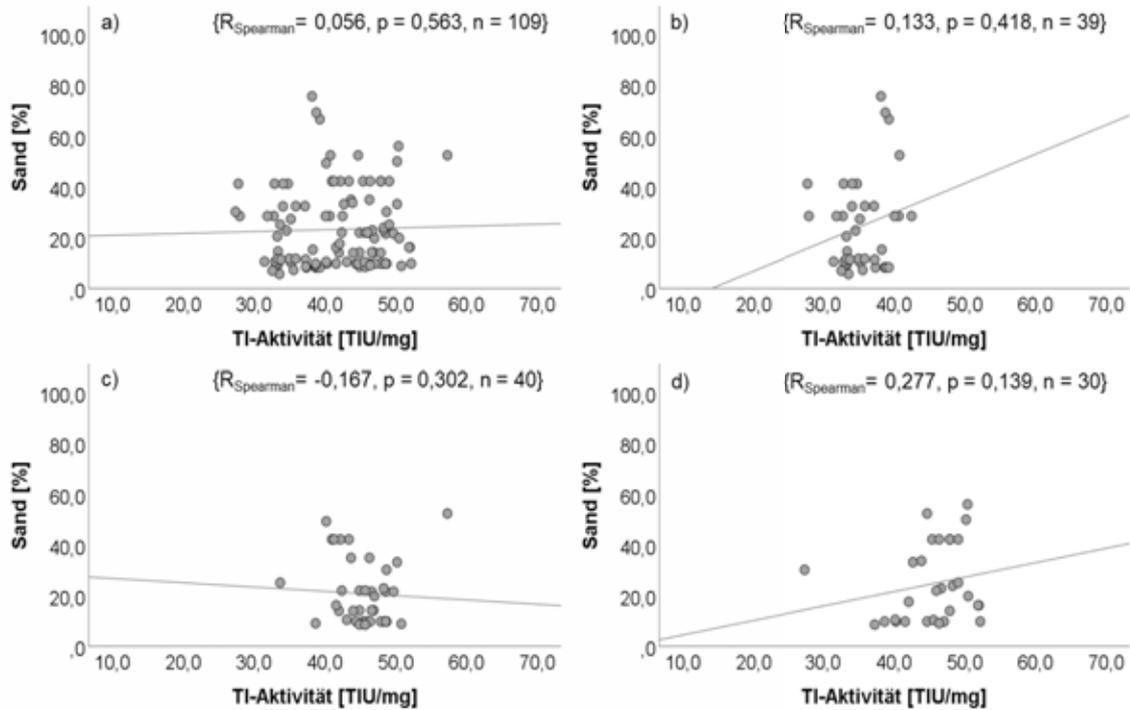


Abbildung 51: Zusammenhang zwischen prozentualem Sandanteil im Boden und TI-Aktivität von Ackerbohnen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

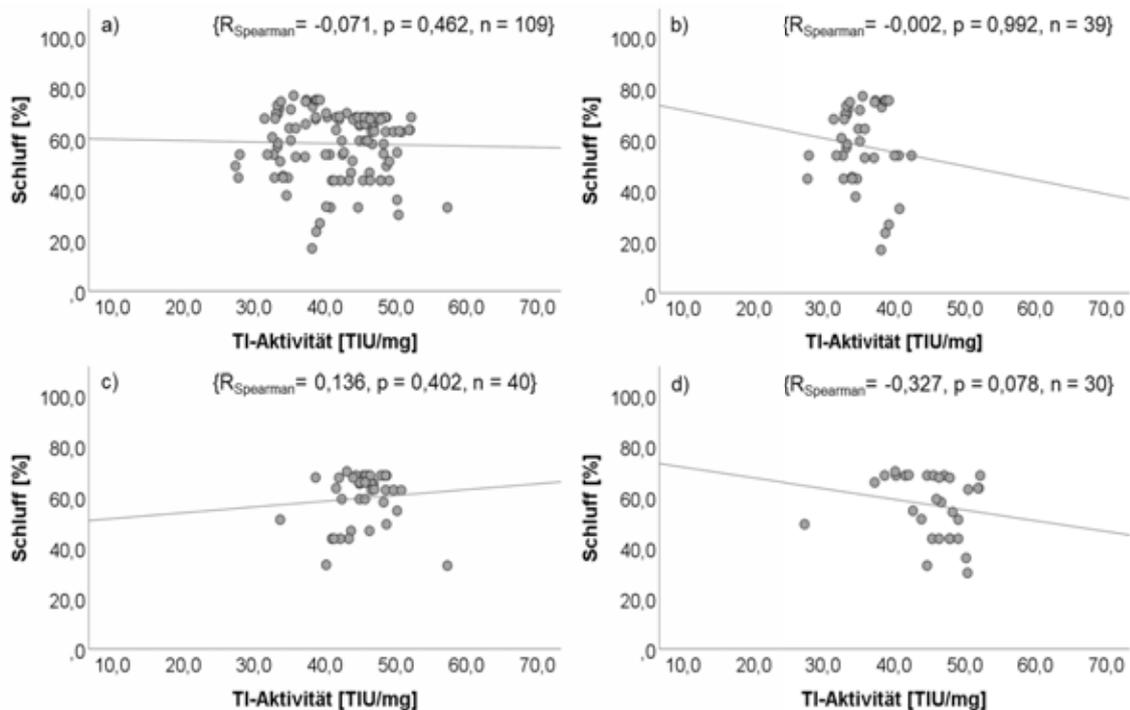


Abbildung 52: Zusammenhang zwischen prozentualem Schluffanteil im Boden und TI-Aktivität von Ackerbohnen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

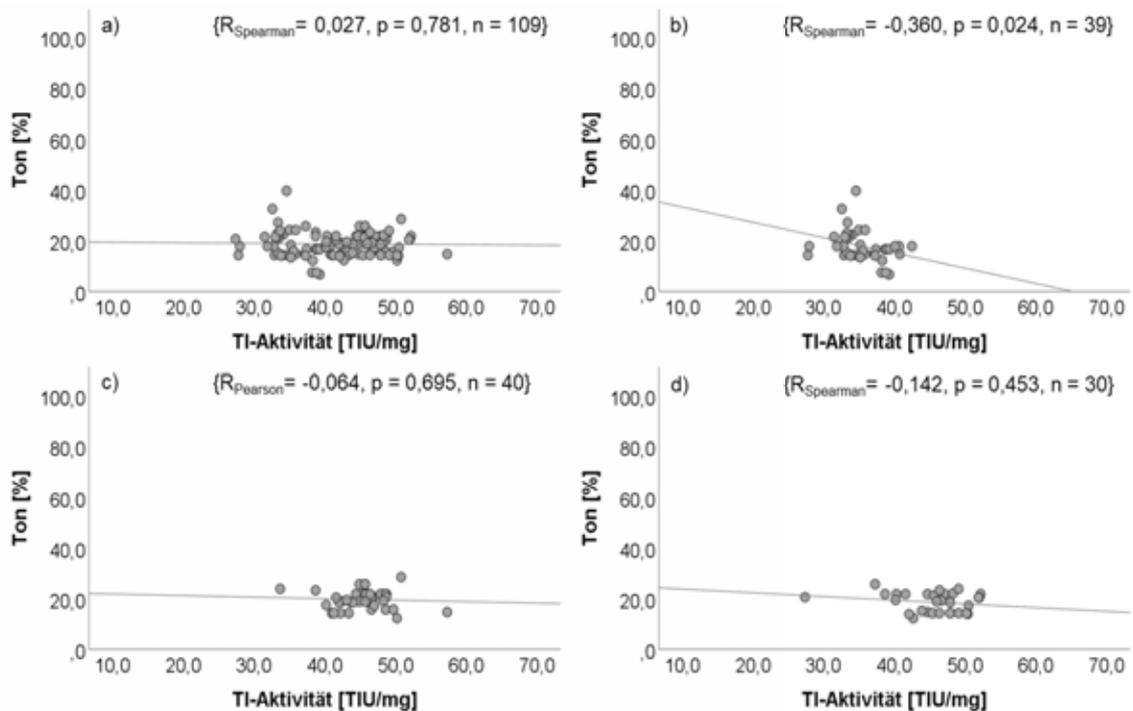


Abbildung 53: Zusammenhang zwischen prozentualen Tonanteil im Boden und TI-Aktivität von Ackerbohnen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

7.5.10 Einfluss von Bodenarten auf den Tanningehalt von buntblühenden Ackerbohnen

In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass die prozentuale Bodenzusammensetzung den Tanningehalt von buntblühenden Ackerbohnen zum Teil beeinflusst (Abbildung 54, 55, 56). An dieser Stelle ist vor allem das Anbaujahr 2016 hervorzuheben. Hier konnte beobachtet werden, dass mit zunehmenden Sandanteil sowie mit abnehmenden Schluff- und Tonanteil der Tanningehalt von Ackerbohnen abnimmt (Abbildung 54b, 55b, 56b). Ein ähnlicher nicht-signifikanter Zusammenhang konnte zwischen dem prozentualen Tonanteil und dem Tanningehalt im Anbaujahr 2017 beobachtet werden, sodass auch hier angenommen werden kann, dass auf tonreichen Böden angebaute Bohnen zu höheren Tanningehalten tendieren (Abbildung 56c). Für das Anbaujahr 2018 konnten hingegen keine korrelativen Zusammenhänge zwischen den genannten Bodenarten und dem Tanningehalt festgestellt werden (Abbildung 54d, 55d, 56d).

Ergebnisse

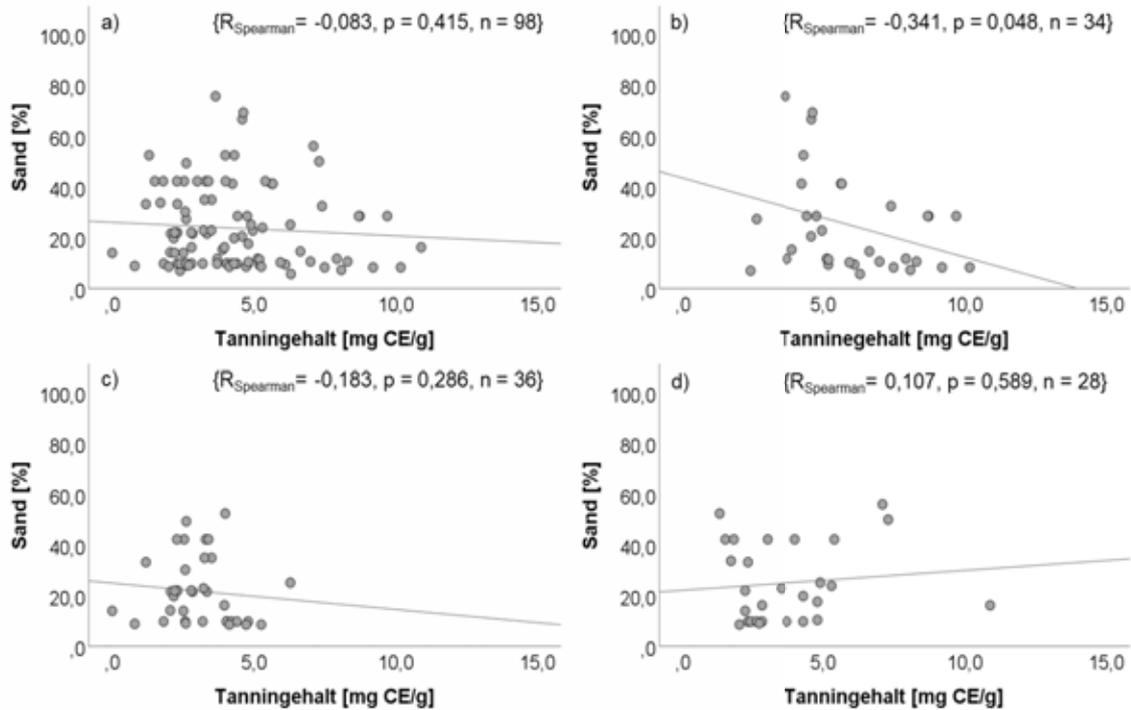


Abbildung 54: Zusammenhang zwischen prozentualem Sandanteil im Boden und Tanningehalt von Ackerbohnen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

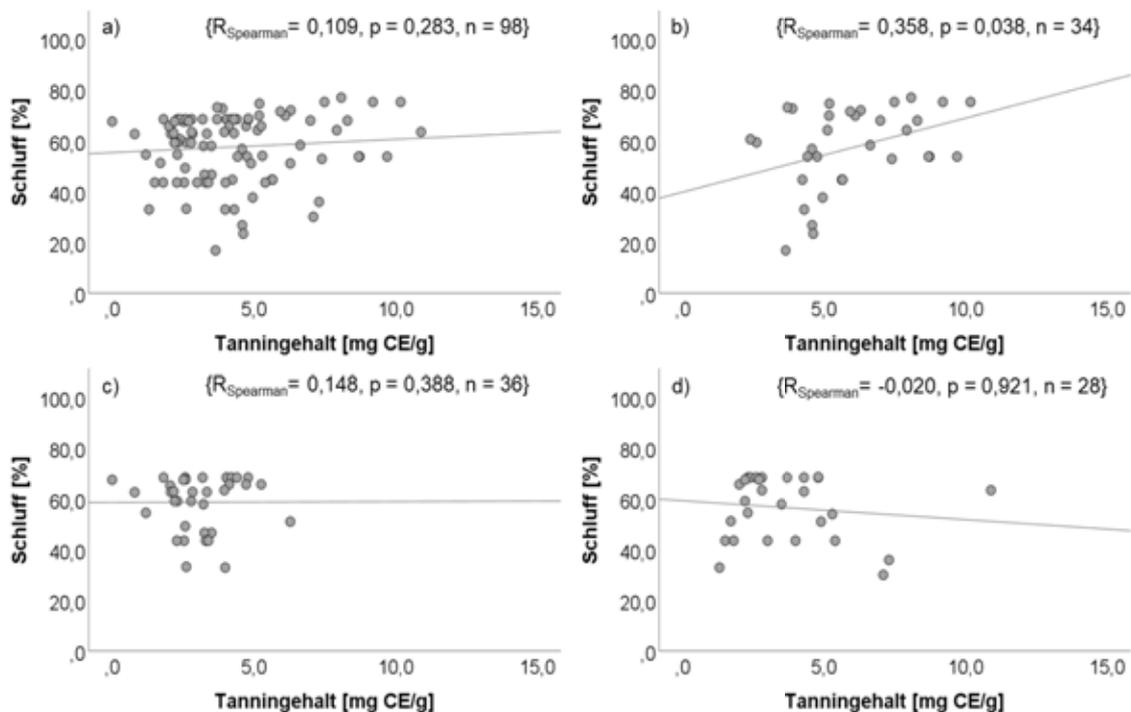


Abbildung 55: Zusammenhang zwischen prozentualem Schluffanteil im Boden und Tanningehalt von Ackerbohnen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

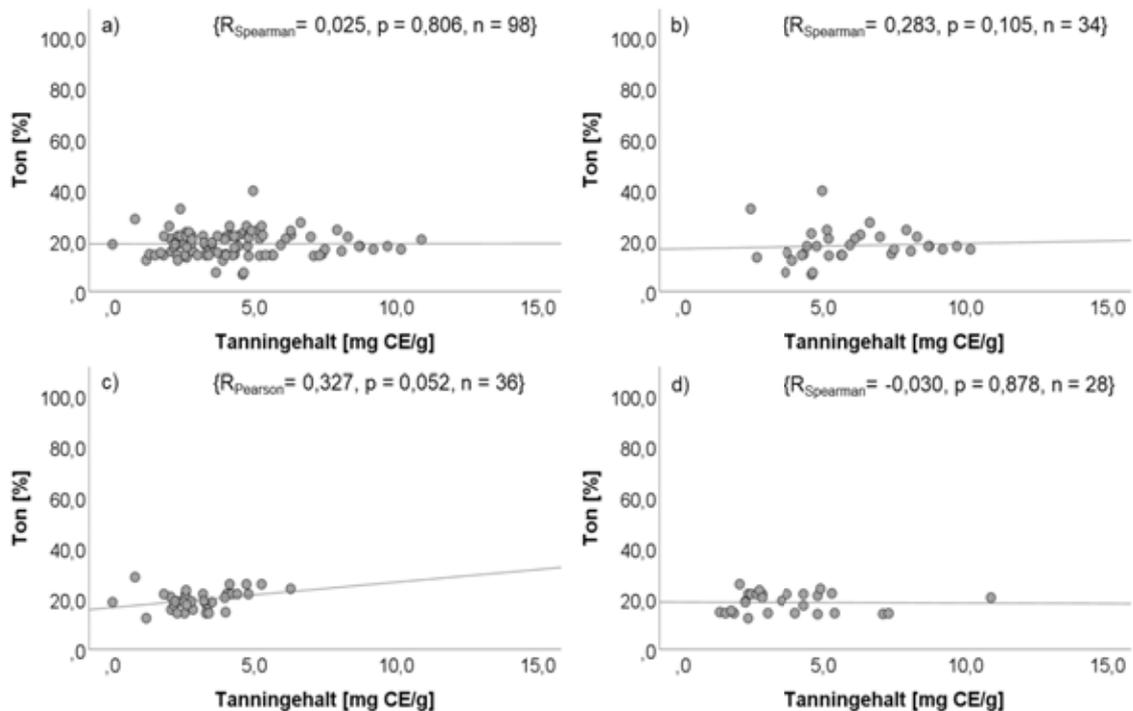


Abbildung 56: Zusammenhang zwischen prozentualem Tonanteil im Boden und Tanningehalt von Ackerbohnen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

7.6 Korrelativer Einfluss zwischen den untersuchten Qualitätsparametern

In den folgenden Abschnitten wird der korrelative Einfluss der drei untersuchten Qualitätsparameter mit dem Tausendkorngewicht statistisch beleuchtet. Die korrelative Auswertung wurde einerseits insgesamt (alle Proben aus den Jahren 2016, 2017 und 2018) und andererseits innerhalb der drei Anbaujahre 2016, 2017 und 2018 separiert betrachtet. Daran anschließend wurde auch der korrelative Zusammenhang zwischen den drei Qualitätsparametern überprüft. Auch hier wurde die Auswertung insgesamt (alle Proben aus den Jahren 2016, 2017 und 2018) und innerhalb der drei Anbaujahre 2016, 2017 und 2018 separiert betrachtet.

7.6.1 Zusammenhang zwischen dem Korngewicht und dem Proteingehalt bei Erbsen und Ackerbohnen

Es konnte gezeigt werden, dass das Tausendkorngewicht von Erbsen größtenteils keinen signifikanten Einfluss auf den Proteingehalt hat (Abbildung 57). Ausschließlich im Anbaujahr 2018 konnte gezeigt werden, dass mit steigendem Korngewicht der Proteingehalt von Erbsen signifikant abnahm (Abbildung 57d).

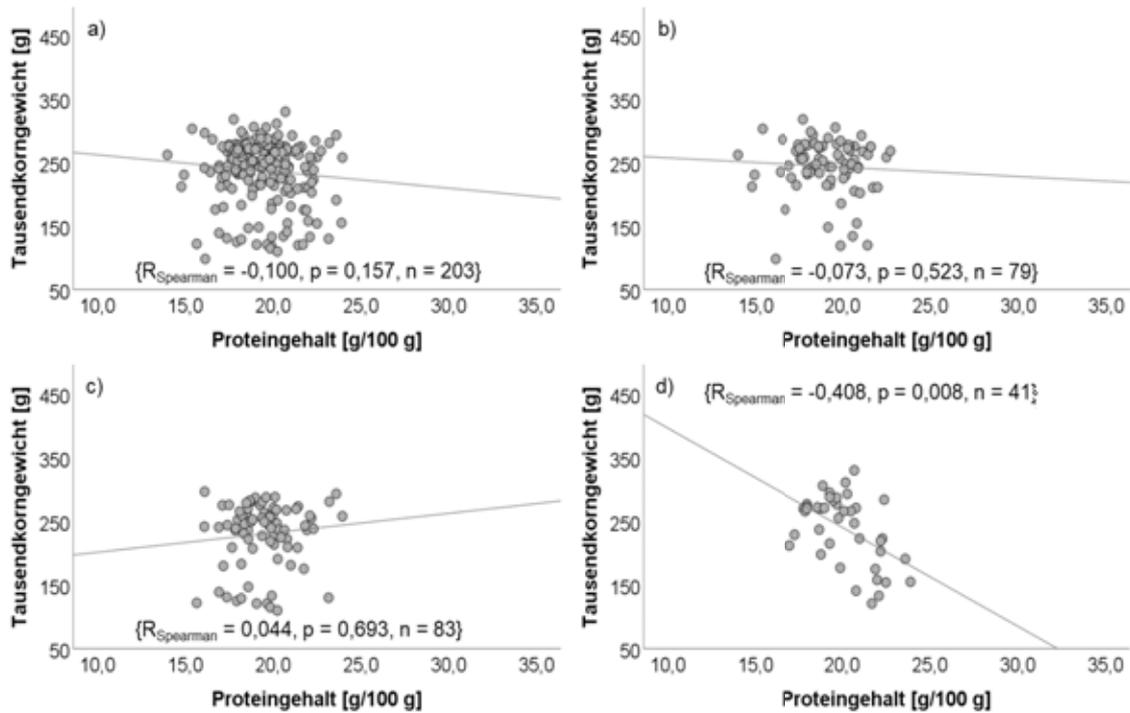


Abbildung 57: Zusammenhang zwischen Tausendkorngewicht und Proteingehalt bei Erbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

Auch für Sommererbsen und für Wintererbsen konnten keine signifikanten Zusammenhänge zwischen dem Korngewicht und dem Proteingehalt festgestellt werden (Anhang 9.9 Abbildung 93, 94).

Die Ergebnisse aus Abbildung 58 zeigen ebenfalls, dass das Tausendkorngewicht und der Proteingehalt von Ackerbohnen nicht korrelativ zusammenhängen.

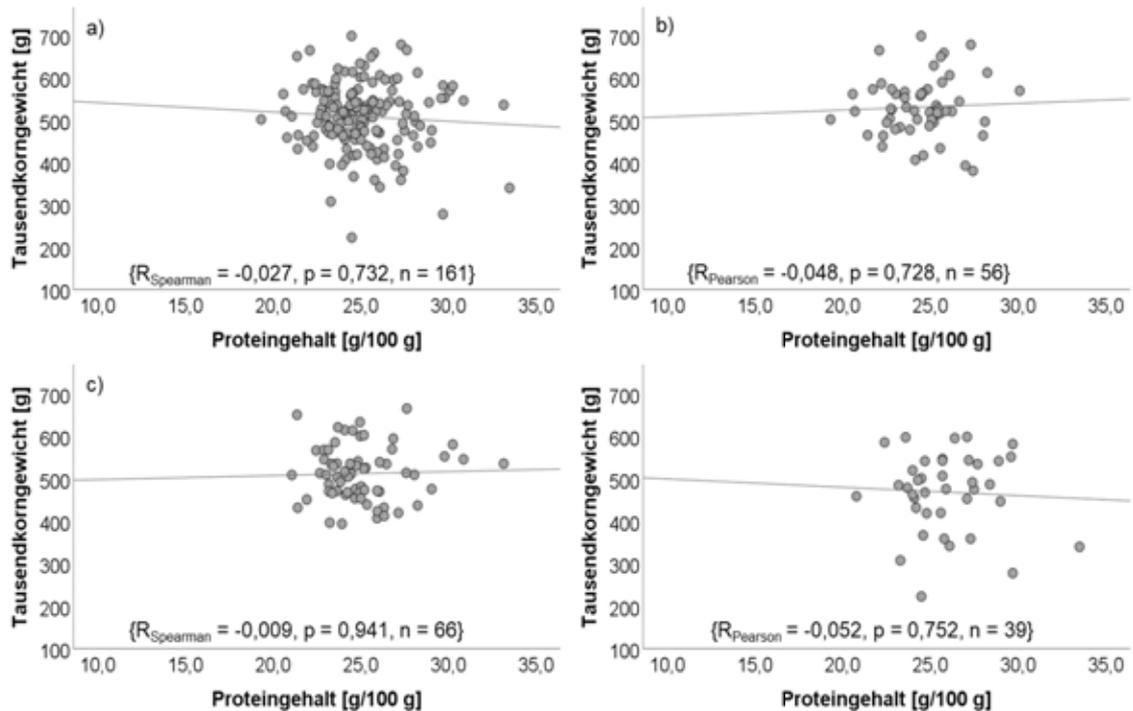


Abbildung 58: Zusammenhang zwischen Tausendkorngewicht und Proteingehalt bei Ackerbohnen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

7.6.2 Zusammenhang zwischen dem Korngewicht und der TI-Aktivität bei Erbsen und Ackerbohnen

Es konnte gezeigt werden, dass die TI-Aktivität und das Tausendkorngewicht zum Teil signifikant zusammenhängen. Innerhalb der Gesamtauswertung und für die Anbaujahre 2017 und 2018 konnte beobachtet werden, dass die TI-Aktivität mit zunehmendem Korngewicht signifikant abnahm (Abbildung 59a, c, d). Nur für das Anbaujahr 2016 konnte bei Erbsen kein korrelativer Zusammenhang zwischen Tausendkorngewicht und TI-Aktivität ermittelt werden (Abbildung 59b).

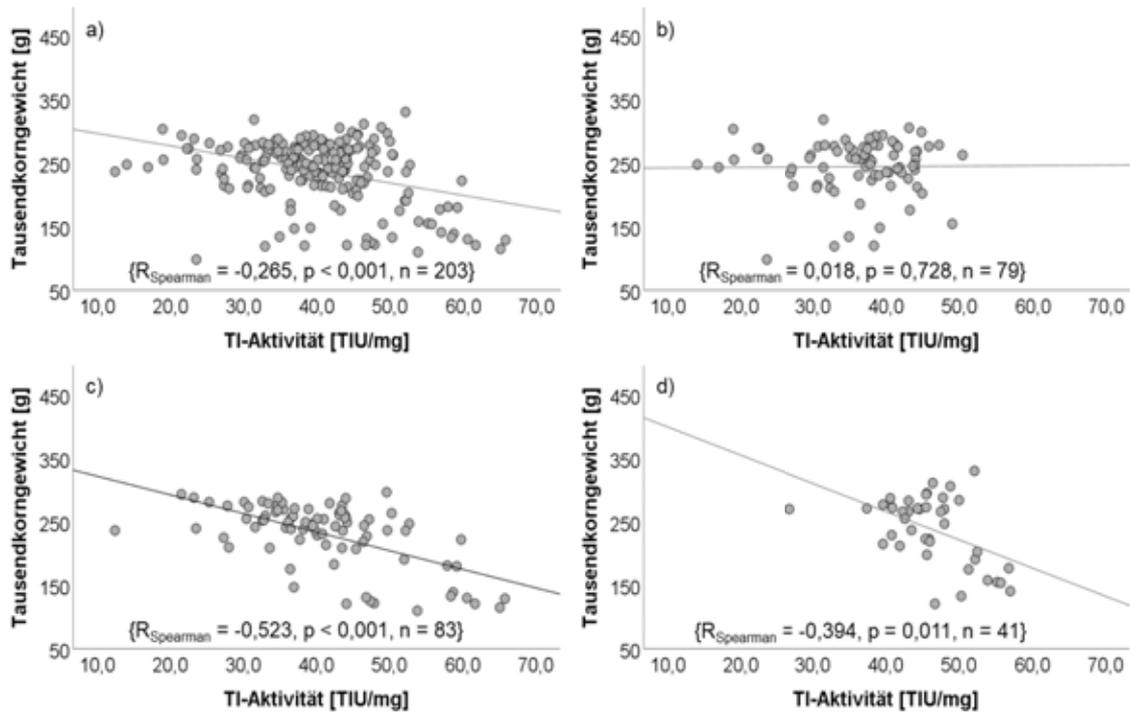


Abbildung 59: Zusammenhang zwischen Tausendkorngewicht und TI-Aktivität bei Erbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

Für die Sommererbsen und auch für Wintererbsen konnten ebenfalls kein Zusammenhang zwischen dem Tausendkorngewicht und der TI-Aktivität gezeigt werden (Anhang 9.9 Abbildung 95, 96).

Innerhalb der Auswertung von Ackerbohnen konnten nur innerhalb der Gesamtauswertung und für das Anbaujahr 2017 ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Tausendkorngewicht und der TI-Aktivität mit der Annahme festgestellt werden, dass die TI-Aktivität mit größerem Korngewicht signifikant zunahm (Abbildung 60a, c).

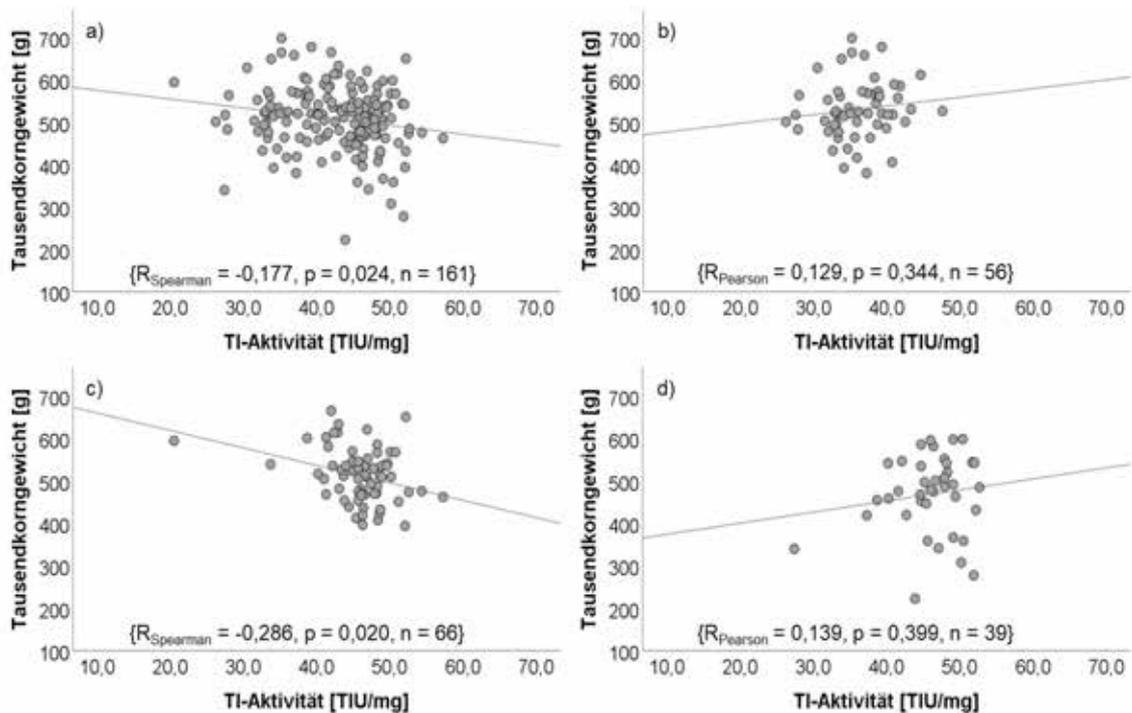


Abbildung 60: Zusammenhang zwischen Tausendkorngewicht und TI-Aktivität bei Ackerbohnen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

7.6.3 Zusammenhang zwischen dem Korngewicht und dem Tanningehalt bei buntblühenden Ackerbohnen

Bei buntblühenden Ackerbohnen konnten innerhalb der Gesamtauswertung sowie in den Anbaujahren 2016 und 2017 gezeigt werden, dass der Tanningehalt mit größerem Korngewicht der Bohnen signifikant zunahm (Abbildung 61a, b, c). Ein ähnlicher, aber nicht-signifikanter Trend konnte für das Anbaujahr 2018 beobachtet werden (Abbildung 61d).

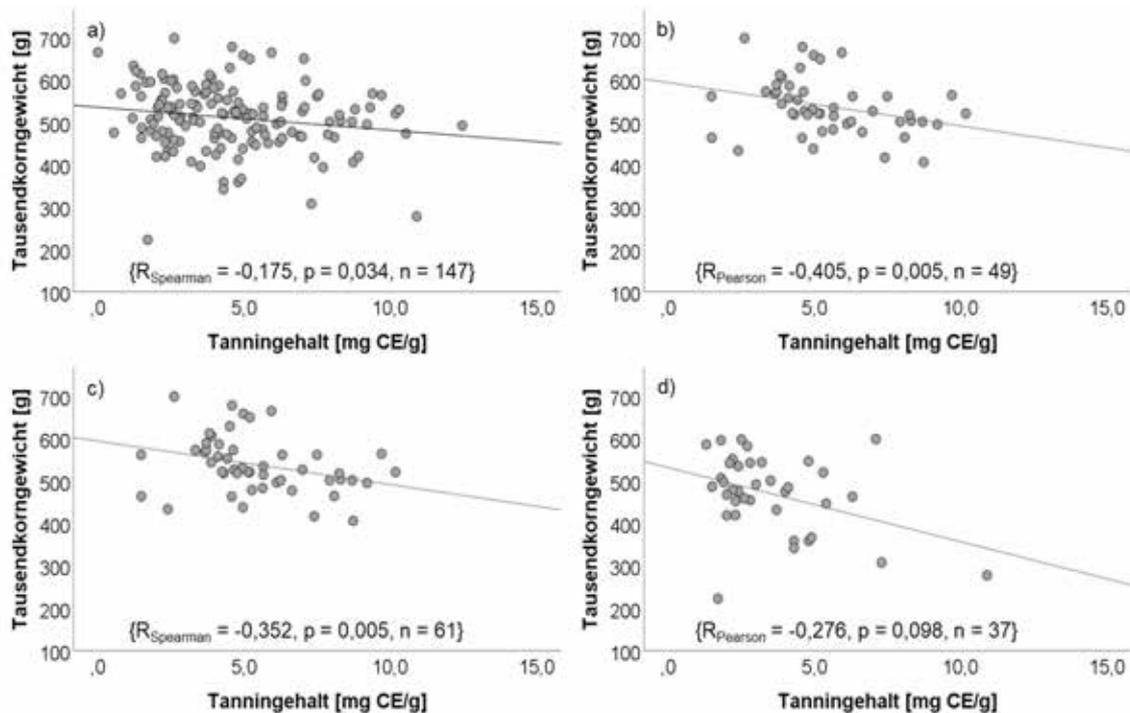


Abbildung 61: Zusammenhang zwischen Tausendkorngewicht und Tanningehalt bei Ackerbohnen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

7.6.4 Zusammenhang zwischen dem Proteingehalt und der TI-Aktivität bei Erbsen und Ackerbohnen

Es konnten in der korrelativen Auswertung zwischen Proteingehalt und TI-Aktivität von Erbsen jahresabhängige Zusammenhänge beobachtet werden. Im Anbaujahr 2016 konnte zwischen dem Proteingehalt und der TI-Aktivität ein signifikant negativer Zusammenhang ermittelt werden (Abbildung 62b), wobei im Anbaujahr 2018 ein entgegengesetzter signifikanter Trend festgestellt werden konnte (Abbildung 62d).

Für die Sommererbsenstichprobe konnten ähnliche Ergebnisse gezeigt werden (Anhang 9.9 Abbildung 97), wobei im Anbaujahr 2017 zusätzlich ein negativer signifikanter Trend zwischen dem Proteingehalt und der TI-Aktivität beobachtet werden konnte (Anhang 9.9 Abbildung 97c). Für Wintererbsen konnte hingegen kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Proteingehalt und der TI-Aktivität nachgewiesen werden (Anhang 9.9 Abbildung 98).

Abbildung 63 zeigt, dass der Proteingehalt und der TI-Aktivität von Ackerbohnen nicht bestimmend miteinander zusammenhängen. Allerdings zeichnet sich in Abbildung 63d ein nicht signifikanter Trend ab, dass mit steigendem Proteingehalt die TI-Aktivität ebenfalls zunahm. Dahingegen konnte für das Anbaujahr 2017 ein entgegengesetzter signifikanter Zusammenhang zwischen dem Proteingehalt und der TI-Aktivität ermittelt werden (Abbildung 63c).

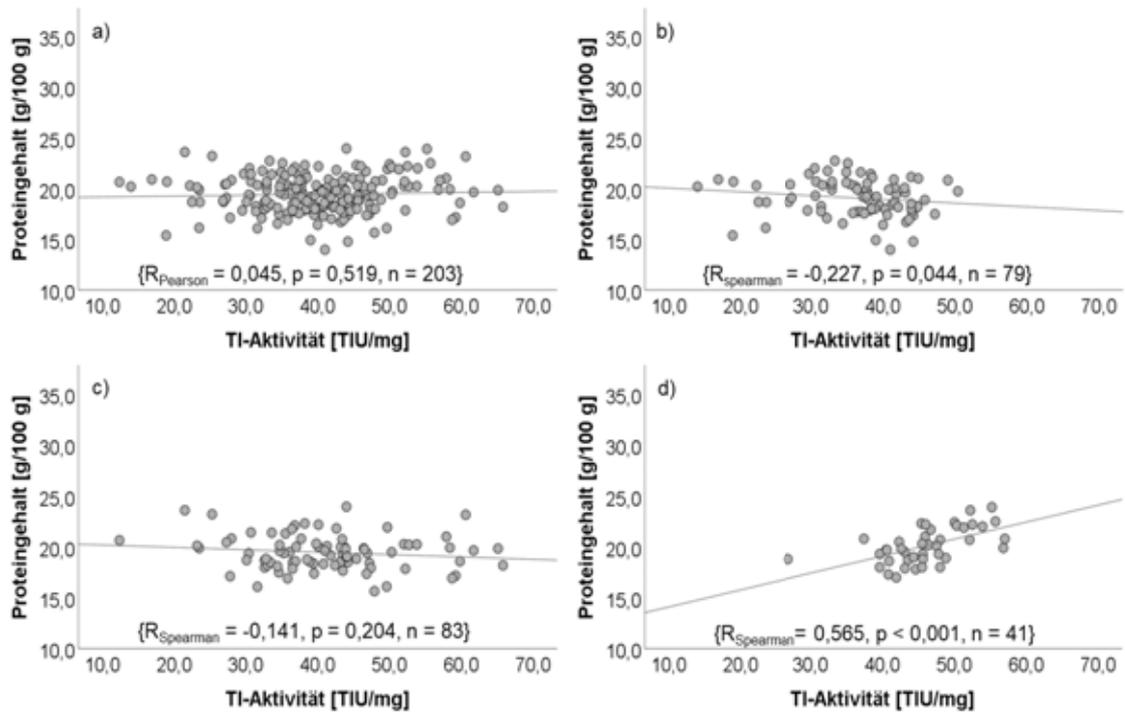


Abbildung 62: Zusammenhang zwischen Proteingehalt und TI-Aktivität bei Erbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

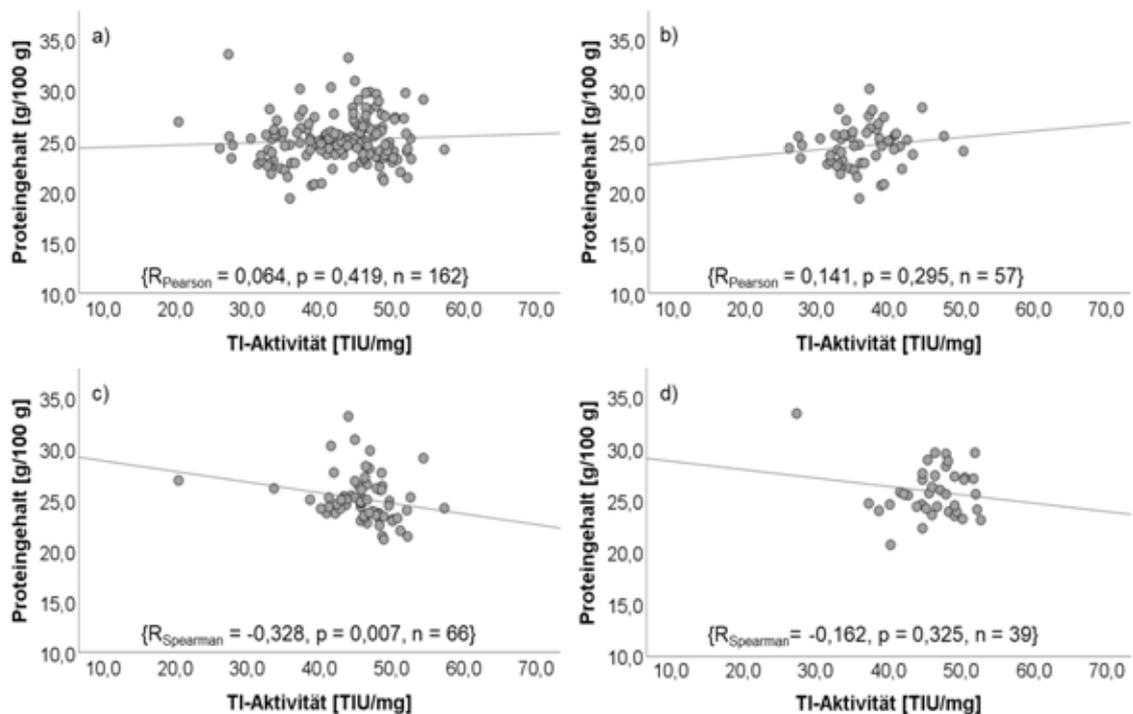


Abbildung 63: Zusammenhang zwischen Proteingehalt und TI-Aktivität bei Ackerbohnen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

7.6.5 Zusammenhang zwischen dem Proteingehalt und dem Tanningehalt bei buntblühenden Ackerbohnen

Die Ergebnisse in Abbildung 64 zeigten, dass proteinreiche Ackerbohnen gleichzeitig niedrigere Tanningehalte aufweisen. Ein signifikanter Zusammenhang konnte insbesondere in der Gesamtauswertung und in den Anbaujahren 2016 und 2017 beobachtet werden (Abbildung 64a, b, c). Für das Anbaujahr 2018 konnte ein solcher Zusammenhang zwischen dem Protein- und dem Tanningehalt jedoch nicht bestätigt werden (Abbildung 64d).

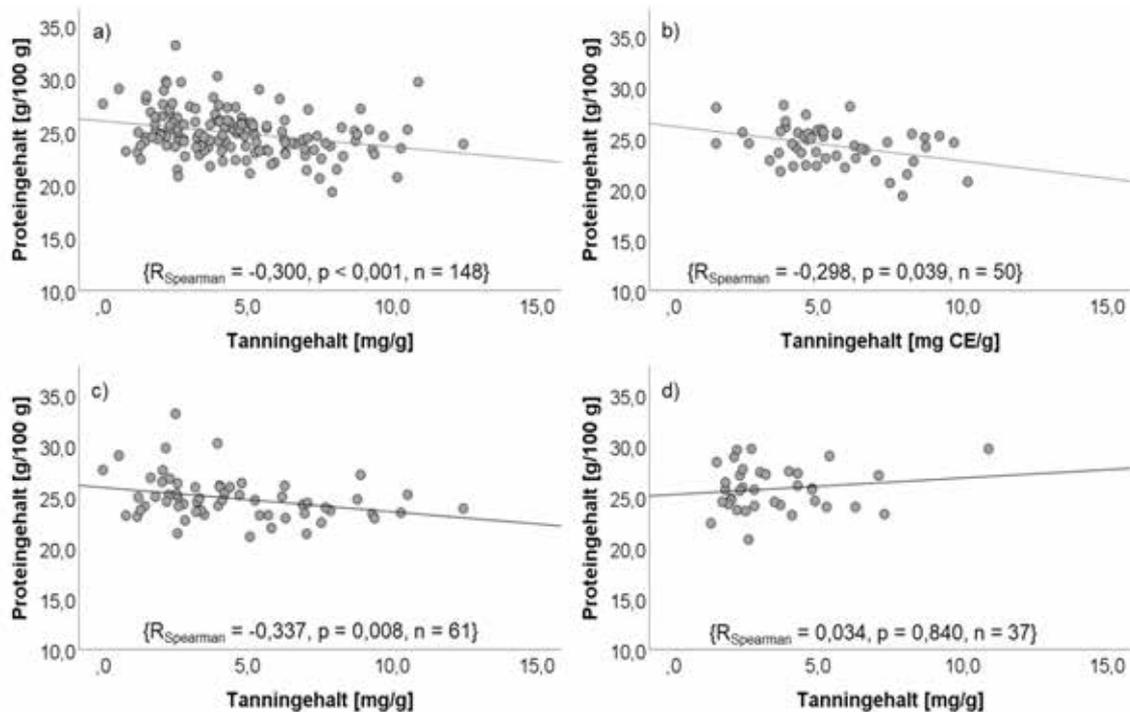


Abbildung 64: Zusammenhang zwischen Proteingehalt und Tanningehalt bei buntblühenden Ackerbohnen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

7.6.6 Zusammenhang zwischen der TI-Aktivität und dem Tanningehalt bei buntblühenden Ackerbohnen

Abbildung 65 zeigt, dass der Zusammenhang zwischen dem Tanningehalt und der TI-Aktivität innerhalb der Gesamtbetrachtung und zwischen den drei untersuchten Anbaujahren nicht durchgehend signifikant war. Nur für das Anbaujahr 2018 konnte eine signifikant positive Korrelation zwischen Tanningehalt und TI-Aktivität beobachtet werden (Abbildung 65d). Für das Anbaujahr 2017 konnte ein ähnlicher, allerdings nicht-signifikanter Zusammenhang gezeigt werden (Abbildung 65c). Innerhalb der Gesamtbetrachtung und für das Anbaujahr 2016 konnten hingegen solche

Zusammenhänge zwischen dem Tanningehalt und der TI-Aktivität nicht nachgewiesen werden (Abbildung 65a, b).

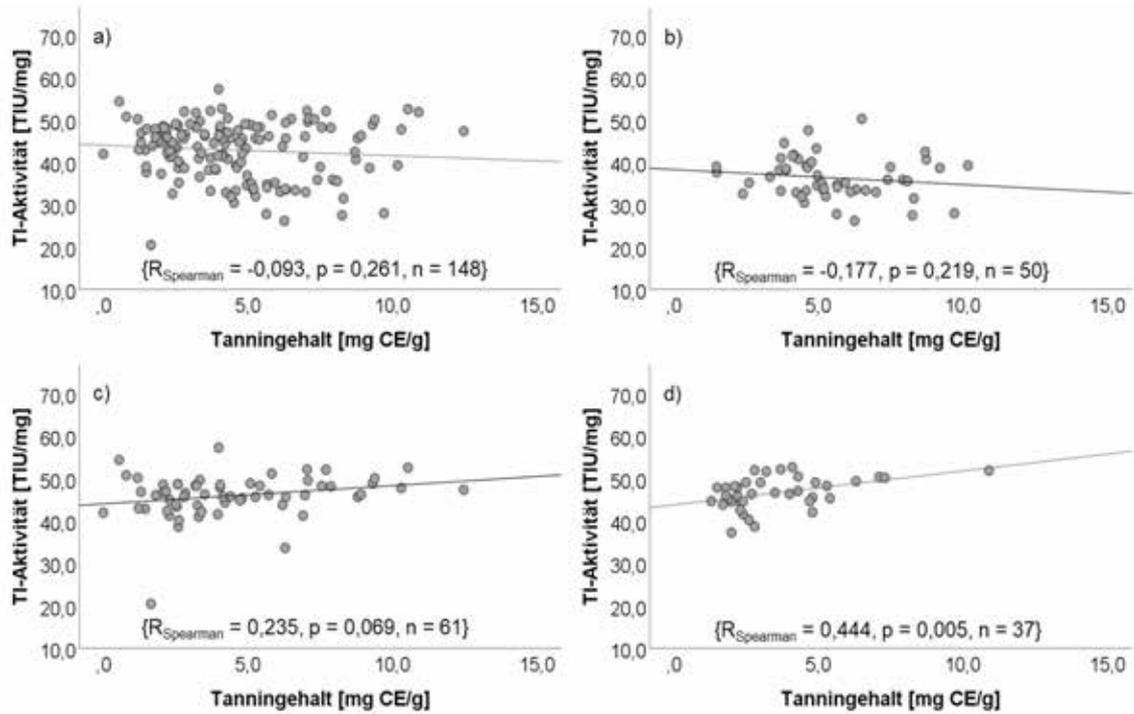


Abbildung 65: Zusammenhang zwischen TI-Aktivität und Tanningehalt bei buntblühenden Ackerbohnen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

8 Diskussion

8.1 Einfluss genetischer Faktoren und des Anbauzeitraumes auf die inhaltstoffliche Zusammensetzung

In den folgenden Abschnitten wird der Einfluss genetischer Faktoren wie Spezies, Sorte und der Einfluss des Anbauzeitraumes (Sommer- vs. Winteranbau) auf die untersuchten Inhaltstoffparameter umfassend diskutiert.

8.1.1 Proteingehalt

Die Ergebnisse zeigen, dass genetische Faktoren wie etwa die Spezies den Proteingehalt stark bestimmen. Ackerbohnen weisen einen signifikant höheren Proteingehalt als Erbsen auf. Auch in der Literatur wird von Unterschieden im Proteingehalt zwischen verschiedenen Leguminosen berichtet. Körnererbsen zählen zu den Leguminosen mit niedrigerem bis mittlerem Proteingehalt, während Ackerbohnen im Vergleich zu anderen Leguminosen eher mittlere bis hohe Proteingehalte aufweisen (Griffiths, 1981, Monti und Grillo, 1983, Alghamdi, 2009, Crépon et al., 2010, Schumacher et al., 2011, Barlóğ et al., 2019, Cuccia et al., 2019, Millar et al., 2019, Santos et al., 2019, Hacisalihoglu et al., 2020, Skovbjerg et al., 2020, De Angelis et al., 2021, Mayer Labba et al., 2021). Schumacher et al. (2011) zeigten für Erbsen mittlere Proteingehalte von 23 g/100g und für Ackerbohnen von 27 g/100g. Ähnliche mittlere Proteingehalte zeigten Millar et al. (2019) für Erbsen mit 22,3 g/100g \pm 0,1 g/100g und für Ackerbohnen mit 28,0 g/100g \pm 0,1 g/100g auf. Hacisalihoglu et al. (2020) untersuchte verschiedene Erbsensorten (*Pisum sativum* L.), die sich in Größe, Form und Farbe unterschieden. Sie ermittelten für Erbsen einen durchschnittlichen Proteingehalt von 22,8 g/100g \pm 4,3 g/100g und zeigten ebenfalls einen breiten Proteinbereich von 12,6 g/100g bis 33,1 g/100g für die verschiedenen Erbsensorten auf. Auch Monti und Grillo (1983) berichteten von einem sehr breiten Wertebereich des Proteingehaltes zwischen 15,5 g/100g bei Erbsen bis 39,7 g/100g und von 22,0 g/100g bis 37,0 g/100g bei Ackerbohnen. Eine Studie von Griffiths (1981) hingegen zeigte einen eher kleineren Proteinwertebereich zwischen 20,1 g/100g bis 24,3 g/100g für Erbsen und von 27,1 g/100g bis 29,0 g/100g für Ackerbohnen auf. Der aufgeführten Literatur kann entnommen werden, dass die Proteingehalte von Erbsen und Bohnen je nach Literaturquelle stark variieren. Die aktuelle Arbeit zeigte, dass die Proteingehalte für Erbsen und Bohnen im Schnitt niedriger als die Proteingehalte in der diskutierten Literatur waren. Dies könnte darauf zurückgeführt werden, dass in der vorliegenden Arbeit die Proteingehalte auf 86 % TM herunterkalkuliert wurden. Dahingegen wurden in

der Literatur größtenteils die Proteingehalte als absolute Werte angegeben. Trotzdem lagen die hier gemessenen Proteingehalte von Erbsen und Bohnen beispielsweise im angegebenen minimalen bis maximalen Wertebereich von Monti und Grillo (1983). Ferner konnte in der vorliegenden Arbeit gezeigt werden, dass weitere Genotyp-assoziierte Merkmale wie die Sorte zum Teil Einfluss auf den Proteingehalt nahmen. Für Bohnen konnten signifikante Sortenunterschiede beobachtet werden, wobei für Erbsen kein Sorteneffekt im Proteingehalt gezeigt werden konnte. In der Literatur wurden Sortenunterschiede für Erbsen (Igsban et al., 1996, Al-Karaki und Ereifej, 1999, Vidal-Valverde et al., 2003, Wang und Daun, 2004, Tzitzikas et al., 2006, Nikolopoulou et al., 2007, Wang et al., 2010, Mertens et al., 2012, Santos et al., 2019) und auch für Bohnen (Alghamdi, 2009) in Bezug auf den Proteingehalt bereits beschrieben. Bei Erbsen wurden die Unterschiede im Proteingehalt teilweise mit phänotypischen Merkmalen wie Samenform und -farbe assoziiert (Cousin, 1997, Bastianelli et al., 1998, Györi et al., 1998, Vidal-Valverde et al., 2003, Tzitzikas et al., 2006). Beispielsweise zeigten Tzitzikas et al. (2006), dass braune Erbsen höhere Proteingehalte als gelbfarbige oder grüne Erbsen aufweisen. Sie konnten allerdings keinen Zusammenhang zwischen Samenform und Proteingehalt beobachten. Dieses Ergebnis steht daher im Kontrast zu den zusammengefassten Untersuchungsergebnissen von Cousin et al. (1997). Sie berichteten, dass schrumpelige Erbsen höhere Proteingehalte als glatte Erbse aufweisen. Dies ist auf die unterschiedliche Ausprägung der beiden Gene *r* und *rb* in landwirtschaftlichen Nutzpflanzen zurückzuführen. Schrumpelige Erbsen sind an diesen beiden Genen homozygot rezessiv (*rr*) ausgeprägt, während glatte Erbsen eine homozygote oder heterozygote dominante Ausprägung (*RR* oder *Rr*) aufweisen. Aus diesem Grund unterschieden sich schrumpelige und glatte Erbse in ihrer inhaltsstofflichen Zusammensetzung, wie z.B. im Proteingehalt, aber auch in ihrer Stärke- und Lipidzusammensetzung (Coxon und Davies, 1982, Bhattacharyya et al., 1990, Ratnayake et al., 2002). Bhattacharyya et al. (1990) führten auf, dass die ungleiche inhaltsstoffliche Zusammensetzung der beiden Erbsen-Genotypen auf das Fehlen einer Isoform des stärkeverzweigenden Enzyms (SBEI) in schrumpeligen Erbsen zurückzuführen ist. Eine niedrige Aktivität des SBEI reduziert die Stärkesynthese und erhöht gleichzeitig die Konzentration von Saccharose im Endosperm. Zudem induzieren hohe Saccharosekonzentrationen eine Erhöhung des osmotischen Drucks im entwickelnden Pflanzenkeimling. In der Literatur wurde bereits beschrieben, dass die Akkumulation von Speicherproteinen wohl eng mit der Stärke- und Saccharose-Biosynthese in Verbindung steht. Anders als der pflanzliche Kohlenhydratstoffwechsel erfolgen Veränderungen in der Proteinzusammensetzung nicht direkt über die genetische Codierung, sondern sind eher eine Folge des genetisch festgelegten

metabolischen Saccharose- und Stärkestoffwechsels (Bhattacharyya et al., 1993). Hierzu gibt es bereits mehrere Hypothesen, die die metabolische Verbindung zwischen Kohlenhydrat- und Proteinstoffwechsel in Pflanzen versuchen zu erklären. Einige Quellen berichten, dass die Proteinsynthese durch die Erhöhung des osmotischen Potentials im Endosperm stimuliert wird (Bhattacharyya et al., 1990, Bhattacharyya et al., 1993). Dazu beschreiben Borisjuk et al. (2004), dass höhere Saccharosekonzentrationen innerhalb des Endosperms eine spezifische Signalkaskade generieren und somit die Synthese von Speicherstoffen, wie Proteinen, stimulieren. Eine Alternativinterpretation schildern Gallardo et al. (2008): Hohe Saccharosegehalte im Endosperm für verschiedene Enzyme induzieren eine transkriptionelle Hochregulierung, wie beispielweise für die Phosphoenolcarboxylase, deren Aktivität positiv mit dem Proteingehalt korreliert (Sugimoto et al., 1983). Die Ergebnisse der benannten Literaturquellen könnten einen möglichen Erklärungsansatz abbilden, warum innerhalb der fünf ausgewählten Erbsensorten keine Unterschiede im Proteingehalt beobachtet werden konnten, da sich die untersuchten Erbsen nicht in phänotypischen Merkmalen wie Samenform und -farbe unterschieden. Die in der Sortenauswertung berücksichtigten Erbsen zählen alle zu den gelbfarbigen und glatten Erbsen-Genotypen. Auch innerhalb der Auswertung ausgewählter Bohnensorten konnten die signifikanten Unterschiede im Proteingehalt nicht auf phänotypische Sortenmerkmale zurückgeführt werden, obwohl sich die Bohnen in Samen- und Blütenfarbe unterschieden. Györi et al. (1998) führten in ihrer Studie an, dass buntkörnige Bohnen zu niedrigeren Proteingehalten als weißkörnige Bohnen tendieren. Die aktuelle Arbeit zeigte, dass die einzige weißblühende Sorte *Taifun* mit grünlicher Schale ähnliche Proteingehalte wie die fünf anderen Bohnensorten, die den buntblühenden Varianten mit brauner Schale angehören, aufwies. Die buntblühende, braunfarbige Sorte *Fuego* wies hierbei den durchschnittlich niedrigsten Proteingehalt mit 24,3 g/100g und die ebenfalls buntblühende und braunfarbige Sorte *Tiffany* wies den durchschnittlich höchsten Proteingehalt mit 25,9 g/100g auf. Skovjeberg et al. (2020) zeigten in ihrer Untersuchung im Schnitt höhere Proteingehalte für die Bohnensorten *Fuego*, *Fanfare* and *Taifun* im Vergleich zu der vorliegenden Arbeit auf. Für die Bohnensorte *Fuego* konnte ein durchschnittlicher Proteingehalt von 28,7 g/100g \pm 0,3 g/100g, für *Fanfare* von 28,7 g/100g \pm 0,2 g/100g und für die Sorte *Taifun* von 28,7 g/100g \pm 0,3 g/100g ermittelt werden. Dagegen beobachteten Mayer Labba et al. (2021) ähnliche mittlere Proteingehalte für die beiden Ackerbohnsorten *Fuego* (24,5 g/100g \pm 0,03 g/100g) und *Fanfare* (24,9 g/100g \pm 0,06 g/100g) wie in der vorliegenden Arbeit. Die Proteingehalte der Sorten *Tiffany* (23,3 g/100g \pm 0,24 g/100g), *Taifun* (25,0 g/100g \pm 0,03 g/100g) und *Birgit* (24,0 g/100g \pm 0,07 g/100g) waren im Schnitt etwas niedriger im

Vergleich zu den ermittelten Proteingehalten dieser drei Bohnensorten in der aktuellen Studie.

Darüber hinaus konnte in der vorliegenden Arbeit beobachtet werden, dass der Anbauzeitraum den Proteingehalt von Sommer- und Wintererbsen signifikant bestimmt. Wintererbsen wiesen signifikant höhere Proteingehalte als Sommererbsen auf. Auch in der Literatur wird beschrieben, dass sich winterangebaute Erbsen durch einen höheren Proteingehalt gegenüber sommerangebauten Erbsen auszeichnen (Gatel und Grosjean, 1990, Peksen et al., 2002, Urbatzka et al., 2011). Pekşen et al. (2002) zeigten für Sommerkulturen einen durchschnittlich niedrigeren Proteingehalt von 24,4 g/100g und für Winterkulturen dagegen einen höheren Proteingehalt von 30,1 g/100g auf. Grosjean und Gatel (1990) beobachteten einen breiten Wertebereich zwischen 17,8 g/100g und 31,1 g/100g für den Proteingehalt bei Sommererbsen und bei Wintererbsen zwischen 18,7 g/100g und 30,9 g/100g. Dennoch beschreiben die beiden Autoren, dass Wintererbsen im Schnitt auch einen höheren Proteingehalt als Sommererbsen aufweisen. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit stimmen mit den Ergebnissen aus der Literatur vollständig überein, da sich auch hier Wintererbsen durch höhere Proteingehalte auszeichneten. Die Unterschiede im Proteingehalt bei Sommer- und Wintererbsen können möglicherweise mit dem Aussaatzeitpunkt in Verbindung gebracht werden. Allgemein erfolgt die Aussaat von winterangebauten Nutzpflanzen gegenüber sommerangebauten Nutzpflanzen früher und entsprechend weisen Winterpflanzen eine längere Entwicklungs- und Vegetationsperiode auf. In der Literatur konnte bereits gezeigt werden, dass die N-Fixierung und -Assimilation bei frühausgesäten landwirtschaftlichen Nutzpflanzen höher als bei spätausgesäten Nutzpflanzen ist (Gselman und Kramberger, 2008, McCauley et al., 2012). Zudem konnten Singh et al. (1997) in ihrer Untersuchung zeigen, dass winterangebaute Kichererbsen eine höhere Gesamtbiomasse im Vergleich zu sommerangebauten Kichererbsen aufweisen. Die Autoren führten die Ergebnisse auf die längere Vegetationsperiode und daraus resultierend, auch auf länger andauernde Photosyntheseprozesse zurück. Auch eine höhere Toleranz gegenüber extremen Umweltbedingungen nannten die Autoren als Grund für die höhere Biomasse in Winterkichererbsen. Die Ergebnisse der aufgeführten Untersuchungen führen zu der Annahme, dass Wintererbsen mehr dazu neigen Biomasse in Form von Speicherstoffen wie beispielsweise Proteinen zu bilden. Dies ist auf ihre Fähigkeit Stickstoff im Vergleich zu Sommererbsen eher zu fixieren und zu akkumulieren zurückzuführen. Auch das Winterkulturen gegenüber exogenen Stressfaktoren unempfindlicher reagieren (z.B. durch Veränderung der inhaltsstofflichen Zusammensetzung), lässt vermuten, dass sie auch beständiger in ihrer inhaltsstofflichen Zusammensetzung als Sommererbsen sind. Diese aufgestellten Thesen spiegeln sich

auch in den Ergebnissen der aktuellen Arbeit wieder. Wintererbsen zeichnen sich durch höhere Proteingehalte als Sommererbsen aus.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sowie der Literatur, dass vor allem Merkmale wie Spezies und Anbauzeitpunkt (Sommer- vs. Winteranbau) einen bestimmenden Einfluss auf den Proteingehalt haben. Phänotypische Merkmale wie Blütenfarbe und Schalenfarbe konnten mit den Proteingehalten von Bohnen nicht assoziiert werden. Interessant ist dieses Wissen vor allem für Landwirte und industrielle Abnehmer, um die Qualität - gemessen am Proteingehalt - der angebauten Leguminosen anhand genetischer Faktoren einschätzen und für die weitere Anwendung bewerten zu können.

Nichtsdestotrotz konnten in den einzelnen Analysen zur Prüfung der Signifikanz hohe Spannweiten innerhalb des Proteingehaltes beobachtet werden. Die große Inhomogenität des Proteingehaltes in den verschiedenen Auswertungen ist vermutlich auf einen kumulativen Effekt verschiedener Faktoren wie Genetik, Umwelt und agrarwirtschaftlicher Praxis zurückzuführen. Dieser kombinierte Effekt aus verschiedenen Einflussfaktoren wurde bereits in anderen Untersuchungen beschrieben (Wang und Daun, 2004, Nikolopoulou et al., 2006, Wang und Daun, 2006, Nikolopoulou et al., 2007, Alghamdi, 2009, Schumacher et al., 2011). Aus diesem Grund ist es wichtig, auch ökophysiologische Faktoren in der Qualitätsbewertung des Proteingehaltes zu berücksichtigen. In Abschnitt 8.2.1 wird der Einfluss ökophysiologischer Faktoren und agrarwirtschaftlicher Praktiken auf den Proteingehalt Erbsen und Ackerbohnen umfangreich diskutiert.

8.1.2 TI-Aktivität

In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass Ackerbohnen im Vergleich zu Erbsen eine höhere TI-Aktivität aufweisen, wobei für die Erbsenstichprobe die absolut niedrigsten und höchsten TI-Werte ermittelt werden konnten. Neben der Untersuchung auf signifikante Unterschiede zwischen Erbsen und Bohnen wurde die TI-Aktivität auch auf Sorteneffekte geprüft. Weder in der Erbsen- noch in der Bohnenstichprobe konnten signifikante Sorteneffekte innerhalb der TI-Aktivität beobachtet werden. Die Ergebnisse sind nicht vollständig deckungsgleich mit der bisherigen Literatur, da hier bereits beschrieben wurde, dass die TI-Aktivität in Leguminosen mit genetischen Faktoren wie Spezies und auch Sorte assoziiert werden kann (Griffiths, 1979, Griffiths, 1984, Gatel und Grosjean, 1990, Leterme et al., 1990, Aletor et al., 1994, Bacon et al., 1995, Cousin, 1997, Wang et al., 1998, Oluwatosin, 1999, Vidal-Valverde et al., 2003, Guillamon et al., 2008). Beispielsweise zählen Sojabohnen zu den Leguminosen mit sehr hohen TI-Aktivitäten, während Erbsen und Bohnen zu den Leguminosen mit niedrigen TI-

Aktivitäten gehören (Valdebouze et al., 1980, Guillamon et al., 2008). Anders als in der vorliegenden Arbeit konnten in der Untersuchung von Guillamon et al. (2008) keine bestimmenden Unterschiede innerhalb der TI-Aktivität für Erbsen und Bohnen festgestellt werden. Hier konnte für Erbsen ein Wertebereich von 6 TIU/mg bis 15 TIU/mg und für Bohnen ein Wertebereich von 5 TIU/mg bis 10 TIU/mg beobachtet werden. Von ähnlichen hohen TI-Aktivitäten für Erbsen und Ackerbohnen berichteten Valdebouze et al. (1980) in ihrer Veröffentlichung. Die Autoren zeigten einen Wertebereich für Erbsen von 2,8 TIU/mg bis 10,8 TIU/mg. Auch fassten sie aus verschiedenen Literaturquellen die TI-Aktivitäten für Ackerbohnen zusammen und berichteten von einem weiten Wertebereich von 0,7 TIU/mg bis 35,7 TIU/mg. Die Veröffentlichung von Valdebouze et al. (1980) zeigte, dass auch hier Bohnen wohl eher zu höhere TI-Aktivitäten als Erbsen neigen. Auch eine Studie von Griffiths (1984) zeigte, dass Erbsen eine durchschnittlich geringere TI-Aktivität als Ackerbohnen aufweisen. Allerdings konnte Griffiths (1984) für Erbsen einen breiteren Wertebereich von 0,15 TIU/mg bis 4,62 TIU/mg im Vergleich zu Bohnen (von 1,41 TIU/mg bis 1,56 TIU/mg) beobachten. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit stimmen mit den Ergebnissen der Literatur zum großen Teil überein. Auch hier konnte für Bohnen eine höhere TI-Aktivität im Vergleich zu Erbsen ermittelt werden. Jedoch zeigten Erbsen gleichzeitig die niedrigste mit 12,4 TIU/mg und die höchste TI-Aktivität mit 65,8 TIU/mg auf, wohingegen für Bohnen ein kleinerer Wertebereich von 20,5 TIU/mg bis 57,3 TIU/mg gemessen wurde. Die aktuellen Ergebnisse zeigen, dass eine signifikante Aussage darüber zu treffen, welche der beiden Körnerleguminosen im Schnitt eine höhere TI-Aktivität aufweist, schwer ist. Der Grund für die höheren TI-Aktivitäten im Vergleich zu den aufgeführten Literaturquellen kann abschließend nicht vollständig geklärt werden. Ähnliches beschrieben auch Mayer Labba et al. (2021) in ihrer Untersuchung. Die gemessenen TI-Gehalte in den untersuchten Bohnensorten sind hier höher als die beschriebenen Gehalte in der Literatur. Sie beobachteten eine TI-Aktivität von 1,2 TIU/mg bis 23,1 TIU/mg. Die Autoren bestätigten jedoch, dass die TI-Aktivitäten der einzelnen Bohnensorten im Schnitt immer noch niedriger als die TI-Aktivitäten von Sojabohnen sind. Ein möglicher Grund für die höheren TI-Aktivitäten der vorliegenden Arbeit könnte mitunter die teilweise unterschiedlich verwendeten Methoden im Vergleich zu den genannten Veröffentlichungen sein. Daher sind die ermittelten TI-Werte ggf. schwer miteinander zu vergleichen. Die Methode beschrieben von Valdebouze et al. (1980) und auch Guillamon et al. (2008) stimmte mit der Methode dieser Arbeit stark überein. Einziger Unterschied war, dass die Messung der TI-Aktivität in der vorliegenden Arbeit mit Hilfe einer Hochdurchsatzmethode durchgeführt wurde, d.h. es wurden ein Plattenlesegerät und Mikrotiterplatten zur Messung verwendet. In den beiden genannten Publikationen

erfolgte die Probenmessung in Küvetten und mittels eines allgemeinen Photometers. Wie bereits erwähnt, zeigten auch Mayer Labba (2021) höhere TI-Gehalte in ihren Bohnenproben im Vergleich zur Literatur auf. Auch diese Arbeitsgruppe verwendete eine Plattenlesermethode zur Bestimmung der TI-Aktivität. Die Methode zeigte leichte Abweichung in der Praxis im Vergleich zur vorliegenden Arbeit. Einerseits setzten die Autoren weniger von der Trypsinarbeitslösung (nur 20 μL , statt 40 μL) und BAPNA-Lösung (180 μL , statt 200 μL) ein, hingegen aber mehr von der Probenlösung (80 μL , statt 40 μL). Auch die Messbedingungen variierten zum Teil im Vergleich zu der Methode, welche in der vorliegenden Arbeit verwendet wurde. Im ersten Inkubationsschritt wurden die 96-Wellplatten mit den Proben, der HCl- und Trypsinarbeitslösung bei 24 °C für 60 min vermessen. In der vorliegenden Arbeit wurden die Proben jedoch bei 37 °C und für 10 min im Plattenleser inkubiert. Zudem unterschieden sich zum Teil die Extraktionsbedingungen der Proben aus der Arbeit von Mayer Labba et al. (2021) zu den Extraktionsbedingungen der verwendeten Methoden in der aktuellen Arbeit. Mayer und Labba et al. (2021) verwendet als Extraktionsmittel eine 0,9 %ige Phosphat-gepufferte Kochsalzlösung (statt 0,01 M NaOH-Lösung). Auch wurden höhere Probeneinwaagen (1 g/10 mL Probe, statt 20 mg/mL) zur Extraktion benutzt. Weiterhin erfolgte die Extraktion über Nacht, anders als in der vorliegenden Arbeit, wo die Proben nur 30 min bei Raumtemperatur extrahiert wurden. Diese Variationen in Arbeitslösung- und Probenvolumina sowie die Unterschiede innerhalb der Extraktion und den Messbedingungen könnten einen plausiblen Grund darstellen, warum die TI-Gehalte in der vorliegenden Arbeit im Durchschnitt höher als in den angegebenen Literaturquellen, wie z.B. auch bei Mayer Labba et al. (2021), sind.

Laut Literatur nehmen neben der Spezies auch weitere genetische Faktoren wie Sorte Einfluss auf die TI-Aktivität. Insbesondere sortenabhängige, phänotypische Merkmale wie die Farbe des Samens, des Mehlkörpers und der Blüte werden mit der TI-Aktivität in Leguminosen assoziiert (Griffiths, 1981, Makkar et al., 1997, Nemeskéri, 1997, Vidal-Valverde et al., 2003). Die beschriebenen Zusammenhänge zwischen den phänotypischen Merkmalen und der TI-Aktivität waren allerdings in den angegebenen Literaturquellen teilweise sehr inkonsistent. Beispielsweise berichteten Makkar et al. (1997), dass weißblühende Bohnen eine höhere TI-Aktivität als buntblühende Bohnen aufweisen, wobei Griffiths (1981) beobachtete, dass buntblühende Erbsen und Bohnen eine höhere TI-Aktivität als die weißblühenden Varianten haben. Weiterhin zeigten Vidal-Valverde et al. (2003) in ihrer Untersuchung, dass beige Erbsen eine höhere TI-Aktivität als grünliche Erbsen aufweisen, wohingegen Nemeskéri (1997) für Bohnen berichtete, dass weißkörnige Bohnen eine niedrigere TI-Aktivität als buntkörnige Bohnen aufzeigen. Der Einfluss phänotypischer Merkmale auf die TI-Aktivität könnte ein Grund dafür sein,

dass die in der Arbeit ausgewählten Erbsensorten sich in der TI-Aktivität nicht signifikant unterschieden, da nur glatte und gelbfarbige Erbsen auf Signifikanz untersucht wurden. Die untersuchten Bohnensorten unterschieden sich zwar in sortenabhängigen, phänotypischen Merkmalen wie Samen- und Blütenfarbe. Doch auch hier konnte kein Zusammenhang zwischen den in der Literatur genannten phänotypischen Merkmalen und der TI-Aktivität ermittelt werden, da die TI-Aktivität zwischen den untersuchten Bohnensorten sehr homogen verteilt war. Die weißblühende, grünfarbige Sorte *Taifun* fiel weder mit einer zu hohen noch mit einer zu niedrigen TI-Aktivität auf und zeigte eine ähnlich hohe durchschnittliche TI-Aktivität wie die buntblühenden, braunfarbigen Bohnensorten auf. Die höchste und niedrigste TI-Aktivität konnte für die buntblühende, braunfarbige Bohnensorte *Fanfare* mit einem Wertebereich von 20,5 TIU/mg bis 57,3 TIU/mg gemessen werden.

Darüber hinaus konnte in der vorliegenden Arbeit beobachtet werden, dass der Anbauzeitpunkt (Sommer- vs. Winteranbau) ebenfalls die TI-Aktivität von Sommer- und Wintererbsen signifikant bestimmt. Es konnte auch in diversen Studien gezeigt werden, dass winterangebaute Erbsen und Bohnen eine durchschnittlich höhere TI-Aktivität als sommerangebaute Erbsen und Bohnen aufweisen (Griffiths, 1979, Valdebouze et al., 1980, Gatel und Grosjean, 1990, Leterme et al., 1990, Leterme et al., 1992, Cousin, 1997, Bastianelli et al., 1998, Urbatzka et al., 2011). Beispielsweise zeigten Valdebouze et al. (1980), dass Wintererbsen eine TI-Aktivität von 7,9 TIU/mg bis 10,8 TIU/mg und Sommererbsen eine TI-Aktivität von 2,2 TIU/mg bis 5,5 TIU/mg vorzeigen. Die höhere TI-Aktivität in winterangebauten Erbsen kann vermutlich ebenfalls auf den Wachstumsvorsprung gegenüber sommerangebauten Erbsen zurückgeführt werden (Neuschwandtner et al., 2015), der bereits in Abschnitt 8.1.1 in Bezug auf die Unterschiede im Proteingehalt in Sommer- und Wintererbsen angesprochen wurde. Studien zufolge können winterangebaute Pflanzen besser Stickstoff fixieren und akkumulieren (Gselman und Kramberger, 2008, McCauley et al., 2012) und reagieren gegenüber exogenen Stressfaktoren weniger empfindlich als Sommererbsen (Singh et al., 1997). Auch konnte gezeigt werden, dass winterangebaute Kichererbsen zu einer höheren Gesamtbiomasse als sommerangebaute Erbsen neigen (Singh et al., 1997). Die Ergebnisse aus der Literatur führen zu der Annahme, dass die TI-Aktivität in winterangebauten Nutzpflanzen durch die Fähigkeit besser Stickstoff zu fixieren und akkumulieren, und auch durch einen länger andauernden Photosyntheseprozess, deutlich höher als bei sommerangebauten Nutzpflanzen ist. Diese Annahme spiegelt sich auch in den Ergebnissen der aktuellen Arbeit in der Hinsicht wieder, dass die TI-Aktivität von Wintererbsen signifikant höher als bei Sommererbsen ist.

Zusammenfassend kann aus den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit entnommen werden, dass die TI-Aktivität nur zum Teil von Genotyp-assoziierten Merkmalen beeinflusst wird. Ausschließlich der Anbauzeitpunkt (Sommer- vs. Winteranbau) hat einen signifikanten Einfluss auf die TI-Aktivität in Erbsen. Bestimmende Unterschiede zwischen Erbsen und Bohnen sowie Unterschiede zwischen ausgewählten Erbsen- und Bohnensorten konnten nicht nachgewiesen werden. Auch der Einfluss phänotypischer Merkmale wie Blüten- oder Samenfarbe auf die TI-Aktivität konnte nicht nachweislich gezeigt werden. Für die quantitative Qualitätsbewertung von TI einheimischer Erbsen und Bohnen kann also ausschließlich der Anbauzeitpunkt als genetischer Einflussfaktor valide genutzt werden kann. Diese Ergebnisse sind für den Agrarsektor (insbesondere für die Tierfütterung) und den Lebensmittelbereich sehr interessant. Für die quantitative Qualitätsbewertung einheimischer Erbsen und Bohnen kann in Bezug auf die TI-Aktivität ausschließlich der Anbauzeitpunkt als genetischer Einflussfaktor valide genutzt werden. Nichtsdestotrotz fallen in den einzelnen statistischen Analysen zur Prüfung der Signifikanz hohe Varianzen innerhalb der TI-Aktivität auf. Auch hier kann die große Inhomogenität der TI-Aktivität in den verschiedenen individuellen Auswertungen auf eine Kombination verschiedener Einflussparameter wie genetischer Faktoren, Umweltfaktoren und agrarwirtschaftliche Faktoren zurückgeführt werden. Dieser kumulierte Effekt verschiedener Einflussfaktoren wurde auch zum Teil in anderen Studien aufgeführt (Wang und Daun, 2004, Wang und Daun, 2006). Auch an dieser Stelle ist es wichtig, dass ökophysiologische Faktoren in der Qualitätsbewertung der TI-Aktivität berücksichtigt werden. In Abschnitt 8.2.2 wird der Einfluss ökophysiologischer Faktoren und agrarwirtschaftlicher Praxis auf die TI-Aktivität in Erbsen und Ackerbohnen umfassend diskutiert.

8.1.3 Tanningehalt

In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass die hier untersuchten Genotyp-assoziierten Merkmale (wie Spezies und Sorte) keinen direkten signifikanten Einfluss auf den Tanningehalt von Erbsen und Bohnen hatten. An dieser Stelle sollte kurz angemerkt werden, dass alle weißblühenden Erbsensorten sowie die weißblühende Bohnensorte *Taifun* Tanningehalte unterhalb der Nachweisgrenze aufwiesen und deswegen in den einzelnen Auswertungen mit dem Tanningehalt nicht berücksichtigt wurden. Weiterhin wurden bei der Sortenauswertung nur die buntblühende Bohnenstichprobe, jedoch nicht die buntblühenden Erbsen aufgrund des zu kleinen Stichprobenumfangs der einzelnen Erbsensorten berücksichtigt. Aufgrund des zu kleinen Stichprobenumfangs bei buntblühenden Erbsen konnte auch keine Auswertung zwischen Sommer- und Wintererbsen durchgeführt werden.

Es konnte in der aktuellen Arbeit gezeigt werden, dass buntblühende Erbsen und Ackerbohnen sich nicht im Tanningehalt signifikant unterscheiden. Die für Erbsen und Ackerbohnen ermittelten Tanningehalte stimmen mit den Tanningehalten aus der Literatur größtenteils überein. Griffiths (1981) zeigte deutlich geringere Tanningehalte von 0,23 mg CE/g bis 0,35 mg CE/g für buntblühende Erbsen und 0,50 mg CE/g bis 0,70 mg CE/g für buntblühende Ackerbohnen. Dagegen zeigten Bastianelli et al. (1998) für bunte Erbsen einen durchschnittlichen Tanningehalt von 5,49 mg CE/g \pm 1,92 mg CE/g und einen vergleichsweise breiteren Wertebereich von 0,55 mg CE/g bis 7,45 mg CE/g als in der Studie von Griffiths (1981). Zusätzlich fasste Jansman et al. (1993) einen Wertebereich von 0,48 mg CE/g bis 2,40 mg für buntblühende Ackerbohnen zusammen. In einer Studie von Makkar et al. (1997) konnten deutlich höhere Tanningehalte von 15,7 mg/g bis 35,4 mg/g im Vergleich zu den anderen aufgeführten Literaturquellen (und auch zu der vorliegenden Arbeit) gefunden werden. An dieser Stelle ist hinzuzufügen, dass die Tannin-Werte von Makkar et al. (1997) schwer mit den Tanninkonzentrationen aus der aktuellen Arbeit (und den anderen Publikationen) zu vergleichen sind, da verschiedene Methoden verwendet wurden. In der vorliegenden Arbeit wurde die Vanillin-HCl-Methode zur Bestimmung des Tanningehaltes verwendet, während Makkar et al. (1997) das HCl-Butanol-Eisen-(III)-Assay benutzen und ihre Ergebnisse als Tanninsäure-Äquivalent angaben. Die in der vorliegenden Arbeit ermittelten Tanningehalte von buntblühenden Erbsen und Bohnen entsprechen vor allem den Tanningehalten aus den Veröffentlichungen von Jansman et al. (1993) und Bastianelli et al. (1998).

Auch innerhalb der Sortenauswertung konnten keine Unterschiede im Tanningehalt zwischen den ausgewählten Bohnensorten beobachtet werden. Ähnliche Beobachtungen machte auch Griffiths (1981) im Tanningehalt verschiedener buntblühender Ackerbohnenarten. Es ist bekannt, dass der Tanningehalt mit der Blütenfarbe in einem engen korrelativen Zusammenhang steht. Generell sind buntblühende Erbsen und Ackerbohnen tanninreicher als weißblühende Erbsen und Ackerbohnen (Elias et al., 1979, Griffiths, 1981, Gatel und Grosjean, 1990, Jansman, 1993, Makkar et al., 1997, Bastianelli et al., 1998, Wang et al., 1998, Smulikowska et al., 2001, Urbatzka et al., 2011). Auf pflanzengenetischer Ebene werden die beiden Allele *zt1* und *zt2* mit der Biosynthese von Tanninen eng assoziiert. Buntblühende Leguminosen sind an den Allelen *zt1* und *zt2* rezessiv, wohingegen weißblühende Pflanzen dort dominant sind. Daher sind buntblühende Leguminosen tanninreicher als weißblühende Leguminosen (Reed, 1995, Duc, 1997, Crépon et al., 2010). Neben der Blütenfarbe wird der Tanningehalt in Leguminosen mit weiteren phänotypischen Merkmalen wie Samenform und -farbe in einen engen Zusammenhang gebracht (Elias

et al., 1979, Griffiths, 1984). Da die hier untersuchten Bohnensorten sich nicht in ihren phänotypischen Merkmalen wie Blütenfarbe, Samenfarbe und Form unterscheiden könnte dies ein Grund dafür sein, warum keine signifikanten Unterschiede im Tanningehalt zwischen den Bohnensorten ermittelt werden konnte.

Zusammenfassend kann zu den Ergebnissen aus der Literatur in Gegenüberstellung zu den aktuellen Ergebnissen herausgestellt werden, dass Genotyp-assoziierte Merkmale wie die Spezies keinen direkten Einfluss auf den Tanningehalt in Erbsen und Bohnen haben. Sorteneffekte bei Bohnen mit gleicher Samen- und Blütenfarbe konnten auch nicht nachgewiesen werden. Wie bereits in der Literatur umfassend erläutert, wird der Tanningehalt größtenteils mit der sortenabhängigen Blütenfarbe assoziiert. Aufgrund der Auswahl phänotypisch sehr ähnlicher Bohnensorten konnte der Einfluss anderer phänotypischer Merkmale auf den Tanningehalt in dieser Arbeit nicht nachgewiesen werden. Auch diese Ergebnisse sind für den landwirtschaftlichen Sektor im Bereich der Tierfütterung sehr interessant. Wie bereits in der Literatur beschrieben, eignen sich weißblühende Leguminosensorten aufgrund des geringeren Tanningehaltes im Vergleich zu buntblühenden Leguminosen eher für die Fütterung landwirtschaftlicher Nutztiere. Allerdings können weder Erbsen noch Bohnen als nutritiv wertvoller in Bezug auf den Tanningehalt spezifiziert werden. Auch konnten keine Bohnensorten als besonders tanninarm oder tanninreich eingestuft werden, weswegen auch an dieser Stelle keine Empfehlung für die Tierfütterung und auch nicht für den Lebensmittelbereich herausgegeben werden kann.

8.2 Einfluss ausgewählter ökophysiologischer Faktoren und agrarwirtschaftlicher Praxis auf die inhaltsstoffliche Zusammensetzung

In den drei folgenden Abschnitten werden beeinflussende Effekte umgebender Umweltfaktoren wie z.B. der Einfluss durch konventionelle und ökologische Anbaubedingungen, klimatische Einflüsse durch Temperatur und Niederschlag, sowie der Einfluss durch die Bodenzusammensetzung auf die untersuchten Inhaltsstoffparameter umfangreich diskutiert. Vor allem Klimaeinflüsse verursacht durch hohe Temperaturen, niedrige Niederschlagsraten und aride Bedingungen werden eng mit dem Klimawandel assoziiert und sind sowohl in der Wissenschaft als auch in der Öffentlichkeit aktuelle Diskussionsthemen.

8.2.1 Proteingehalt

In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass der Proteingehalt von Erbsen und Bohnen auf eine spezifische Weise von den hier untersuchten ökophysiologischen

und agrarwirtschaftlichen Faktoren abhängig ist. Es konnten grobe Tendenzen aufgezeigt werden, dass konventionelle und ökologische Anbaubedingungen sowie der Einsatz von Pestiziden den Proteingehalt von Erbsen und Bohnen durch ein bestimmtes Maß beeinflussen. Es konnte beobachtet werden, dass ökologisch angebaute sowie fungizid freie Bohnen zum Teil einen höheren Proteingehalt aufweisen. Die Ergebnisse waren jedoch über die drei untersuchten Anbaujahre hinweg sehr inkonsistent und konnten nicht einheitlich mit einer Signifikanz belegt werden. Zudem konnten keine Unterschiede zwischen insektizid behandelten und insektizid freien Ackerbohnen ermittelt werden. Innerhalb der gesamten Auswertung (ohne Unterteilung in Sommer- und Wintererbsen) tendierten ökologische und pestizidfreie Erbsen ebenfalls zu höheren Proteingehalten. Allerdings konnte dieser Trend auch hier nicht für jedes Anbaujahr bestätigt werden. Innerhalb der Auswertung nur mit Sommererbsen konnten derlei Tendenzen allerdings nicht gezeigt werden. Zwar wiesen hier fungizid frei angebaute Sommererbsen teilweise höhere Proteingehalte auf, wobei die Ergebnisse nicht mit einer Signifikanz belegt werden konnten. Zudem konnten keine Unterschiede in der Auswertung zwischen konventionellem und ökologischem Anbau sowie in der Auswertung zwischen insektizid behandelten und insektizid freien Erbsen festgestellt werden. Darüber hinaus wurde in der Literatur oftmals beschrieben, dass konventionell angebaute Nutzpflanzen höhere Proteingehalte als ökologisch angebaute Pflanzen aufweisen (Woese et al., 1997, Magkos et al., 2003, Dimberg et al., 2005, Krejčířová et al., 2006, Tamm et al., 2009, Bilsborrow et al., 2013). Wobei auch andere Studien zeigten, dass ökologisch angebaute Nutzpflanzen zu höheren Proteingehalten als die konventionellen Varianten neigen (Nelson et al., 2011, Balisteiro et al., 2013). Die Ergebnisse der aktuellen Arbeit sowie der aufgeführten Literaturquellen zeigen, dass ein einheitlicher signifikanter Zusammenhang zwischen Proteingehalt und Anbaubedingungen (wie z.B. zwischen konventionellen vs. ökologischen Anbau und Pestizideinsatz) schwer zu definieren ist. Dennoch kann für die vorliegende Arbeit grob angenommen werden, dass Erbsen und Bohnen vereinzelt zu höheren Proteingehalten im ökologischen bzw. pestizidfreien Anbau tendierten. Entsprechend stehen die aktuellen Ergebnisse im Kontrast zu den meisten der angegebenen Literaturquellen. Warum ökologisch angebaute Erbsen und Bohnen teilweise höhere Proteingehalte aufzeigten, kann mit den vorliegenden Ergebnissen nur gemutmaßt werden, da in der aufgeführten Literatur der kausale Sachverhalt zwischen Anbaubedingungen und Proteingehalt bisher nicht detailliert thematisiert und erklärt wurde. Ein möglicher Erklärungsansatz für die höheren Proteingehalte in ökologisch angebauten Erbsen und Bohnen könnte sein, dass die Biosynthese stickstoffhaltiger sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe, wie beispielsweise Alkaloide und cyanogene Glykoside, in

ökologisch angebauten Nutzpflanzen erhöht sind. Stickstoffhaltige Pflanzenstoffe werden im Samen akkumuliert und dienen der Pflanze als Stickstoffspeicher. Allerdings sind diese Inhaltsstoffe auch Teil des pflanzlichen Abwehrsystems und schützen Pflanzen vor Pathogenen und Fraßfeinden (wie z.B. Herbivoren und Insekten). Auch Studien beschrieben bereits, dass die Biosynthese von Alkaloiden und cyanogenen Glykosiden durch Insektenschaden stimuliert wird (Euler und Baldwin, 1996, Adler et al., 2006, Møller, 2010). Die aufgeführten Literaturquellen führen zu der Annahme, dass der Gehalt an stickstoffhaltigen Pflanzeninhaltsstoffen in ökologisch angebauten Erbsen und Ackerbohnen vermutlich höher als bei den konventionellen Varianten ist, da ökologische Erbsen und Bohnen sich, aufgrund des pestizidfreien Anbaus, auf natürlichen Weg vor Fraßfeinden schützen müssen. Aus diesem Grund könnte der Gesamtproteingehalt in ökologischen Erbsen und Bohnen erhöht sein, weil die hier verwendete Kjeldahlmethode zur Bestimmung des Proteingehaltes nicht nur spezifisch Proteinstrukturen analysiert, sondern auch unspezifisch alle anderen stickstoffhaltigen Pflanzeninhaltsstoffe. An dieser Stelle ist allerdings hervorzuheben, dass die Hypothese nicht für alle untersuchten Anbaujahre zutrifft. Häufig konnten keine Unterschiede im Proteingehalt zwischen konventionellem und ökologischem Anbau gezeigt werden. Aus der Literatur ist bekannt, dass der Gehalt an stickstoffhaltigen sekundären Pflanzenstoffen wie Alkaloiden und cyanogenen Glykosiden, neben dem Einfluss von Fraßfeinden, auch stark von der umgebenden Stickstoffverfügbarkeit abhängig ist. Eine hohe Stickstoffverfügbarkeit erhöht gleichzeitig die Konzentration stickstoffhaltiger Pflanzenabwehrstoffe (Bryant et al., 1983, Cipollini et al., 2014). Dies könnte für die vorliegende Arbeit bedeuten, dass je nach jährlicher N-Düngung die Konzentrationen von stickstoffhaltigen Pflanzenstoffen nicht nur im ökologischen Anbau, sondern auch in konventionell angebauten Erbsen und Bohnen zunehmen bzw. abnehmen. Auch könnte dies eine Erklärung für die starken Variationen in den drei untersuchten Anbaujahren darstellen.

Darüber hinaus wurden in der aktuellen Studie Jahreseffekte untersucht und Witterungsbedingungen mit dem Proteingehalt von Erbsen und Bohnen korreliert. In der Auswertung zwischen den Anbaujahren zeigte sich, dass der Proteingehalt von Erbsen und Bohnen signifikanten Jahreseffekten unterliegt. Auch in anderen Studien konnten für den Proteingehalt Jahreseffekte verschiedener Leguminosen beobachtet werden (Dornbos und Mullen, 1992, Al-Karaki und Ereifej, 1999, Nikolopoulou et al., 2006, Nikolopoulou et al., 2007, Wang et al., 2010, Bellaloui et al., 2011, Mertens et al., 2012). Die Autoren führten die Unterschiede im Proteingehalt neben genetischen Faktoren oft auch auf variierende Wettereinflüsse wie Temperaturschwankungen und Wasserverfügbarkeit zurück. Laut Literatur führen erhöhte Temperaturen (Robertson et

al., 1961, Canavin, 1965, Dornbos und Mullen, 1992, Gibson und Mullen, 1996, Piper und Boote, 1999, Kumar et al., 2006) und niederschlagsarme bzw. aride Bedingungen zu höheren Proteingehalten im Pflanzensamen (Dornbos und Mullen, 1992, Nemeskéri, 1997, Al-Karaki und Ereifej, 1999, Kumar et al., 2006, Nikolopoulou et al., 2007, Alghamdi, 2009). Hier zeigte eine Studie von Mertens et al. (2012), dass die Proteingehalte von Erbsen in Anbaujahren mit mäßigen Temperaturen eher anstiegen. Zahlreiche andere Studien konnten hingegen keinen Einfluss durch Temperatur oder Wasserstress auf den Proteingehalt in Leguminosen beobachten (McLean et al., 1974, Brooks et al., 1982, Kigel, 1999, Piergiovanni und Pignone, 2003, Nikolopoulou et al., 2006, Bellaloui, 2011, Bellaloui et al., 2011). Um einen Eindruck über den Einfluss von Wasserstress auf den Proteingehalt zu erhalten, ist an dieser Stelle zunächst die Studie von Alghamdi (2009) zu nennen. In der Studie wurde der Einfluss unterschiedlicher Bewässerungsdichten auf den Proteingehalt von Ackerbohnen untersucht. Die Bohnen wurden von der Vegetations- bis hin zur Samenreifungsphase unter normalen, mäßigen und Stressbedingungen bewässert (13200 m³/ha/Vegetationszeitraum; 7800 m³/ha/Vegetationszeitraum; 4800 m³/ha/Vegetationszeitraum). Alghamdi (2009) konnte hierbei beobachten, dass Bohnen unter Wasserstress (bei 4800 m³/ha/Vegetationszeitraum) höhere Proteingehalte als normal bewässerte Bohnenpflanzen (bei 13200 m³/ha/Vegetationszeitraum) aufweisen. Ähnliche Ergebnisse konnten Dornbos und Mullen (1992) für Sojabohnen unter kontrollierten Bedingungen nachweisen. Der Proteingehalt nahm zum einen unter wasserarmen Bedingungen und zum anderen bei höheren Temperaturen zu. In einem Teilversuch von 1985 beobachteten beide Autoren einen Anstieg des Proteingehaltes von 38,7 g/100g bei 29 °C und auf 41,5 g/100g bei 35 °C. Selbiges zeigten sie im darauffolgenden Jahr. Der Proteingehalt in Sojabohnen stieg von 37,3 g/100g bei 27 °C und auf 38,1 g/100g bei 33 °C an. Zudem beschrieben beide Autoren für Sojaproteine eine kritische Temperatur nahe 28 °C. Oberhalb von 28 °C nahm der Proteingehalt von Sojabohnen linear zu, während unterhalb von 28 °C der Proteingehalt linear abnahm. Ähnliche Beobachtungen über eine kritische Temperatur für Sojaprotein machten auch Piper und Boote (1999). Sie zeigten in ihrer Untersuchung eine Temperatur von 25 °C auf, bei der der Proteingehalt von Sojabohnen proportional anstieg, während unter 25 °C der Proteingehalt abnahm. Auch Robertson et al. zeigten bereits 1961, dass die inhaltsstoffliche Zusammensetzung von Erbsen innerhalb der vegetativen Wachstumsphase temperaturabhängig ist. Die Autoren untersuchten in ihrer Studie neben dem Proteingehalt auch den Saccharose- und Stärkegehalt innerhalb eines Temperaturbereichs von 10 °C bis 23 °C über eine Wachstumsperiode von 50 Tagen. Dabei stellten sie fest, dass der dimere Zuckerabbau sowie der Stärke- und

Proteinstoffwechsel durch alternierende Temperaturen bestimmt wurde. Der Saccharosegehalt war bei niedrigen Temperaturen erhöht, während die Stärke- und auch Proteinsynthese verzögert verlief, bei hohen Temperaturen jedoch beschleunigt war. Robertson et al. (1961) beschrieben, dass der pflanzliche Kohlenhydrat- und Proteinstoffwechsel auf eine biospezifische Weise miteinander zusammenhängt. Die Autoren vermuteten, dass vor allem beteiligte Enzyme im Kohlenhydratstoffwechsel durch niedrige Temperaturen inhibiert werden. Zudem führten die Autoren auf, dass die Biosynthese von Schlüsselenzymen bei niedrigeren Temperaturen ebenfalls verzögert ist. Anhand dieser Ergebnisse schlussfolgerten Robertson et al. (1961), dass dadurch auch die Proteinbiosynthese in Erbsen auf eine bestimmte Weise beeinflusst wird und diese ebenfalls, wie der Kohlenhydratstoffwechsel, von mikroklimatischen Veränderungen abhängig ist. Anderenfalls ist aus der Literatur bekannt, dass der Proteingehalt mit dem Stärkegehalt (Stoddard und Marshall, 1990, Al-Karaki und Ereifej, 1999) und ebenfalls mit dem Samenertrag negativ korreliert. Stoddard und Marshall (1990) beschrieben, dass der Stärke- und Proteinstoffwechsel eng zusammenhängen. Dieser metabolische Zusammenhang könnte einen entsprechenden Erklärungsansatz für die variierenden Proteingehalte bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen darstellen. Beide Autoren beschrieben, dass die pflanzlichen Energieversorgungsprozesse, wie die Photosynthese und der damit verbundene Aufbau kohlenstoffhaltiger Speicherstoffe (wie z.B. Stärke), empfindlicher gegenüber Trockenheit und Wasserstress als der Stickstoffwechsel reagieren. Stoddard und Marshall (1990) beschrieben hierzu zwei relevante Mechanismen: Zum einen soll Wasserstress die Verfügbarkeit von Saccharose - ein Endprodukt des Photosynthesestoffwechsels - vermindern, welches anschließend zu Stärke umgewandelt wird. Zum anderen sollen zu hohe Temperaturen die enzymatische Umwandlung von Saccharose zu Stärke inhibieren. In der Literatur ist bereits bekannt, dass die Umwandlung von Saccharose zu Stärke temperatur- und wasserabhängig verläuft, was hauptsächlich auf die Inhibierung von Schlüsselenzymen zurückzuführen ist (Bhullar und Jenner, 1986, Chang und Ryan, 1987, Hawker und Jenner, 1993, Geigenberger et al., 1997, Ahmadi und Baker, 2001, Awasthi et al., 2014, Sehgal et al., 2018). Beispielsweise zeigten Bhullar und Jenner (1986) in ihrer Untersuchung, dass die bei der Stärkesynthese involvierten Enzyme bei erhöhten Temperaturen (um 30 °C bis 35 °C) inhibiert werden und die Umwandlung von Saccharose zur hochmolekularen Stärke entsprechend vermindert abläuft. Um die fehlende Stärkespeicherung unter ariden Bedingungen ausgleichen zu können, bilden Pflanzen auf Kosten des Samenertrages und zur Sicherstellung des Wachstums vermutlich vermehrt andere Speicherstoffe, wie beispielsweise Proteine. (Stoddard und Marshall, 1990). Aus

pflanzenphysiologischer Sicht sind Proteine ein elementarer Bestandteil des Pflanzenwachstums. Sie stellen simultan den Stickstoff- und Kohlenstoffspeicher der Pflanze dar. Das Kohlenstoffgerüst der Proteine kann weiterhin durch katabole und anabole Prozesse zum Aufbau weiterer pflanzlicher Reservestoffe wie Stärke und Lipide genutzt werden (Kadereit et al., 2014, Heldt und Piechulla, 2015). Wie bei Stoddard und Marshall (1990) bereits beschrieben kann allgemein angenommen werden, dass biochemische Aufbauprozesse stickstoffhaltiger Strukturen (wie Speicherproteine) unter extremen Wetterbedingungen wie hohen Temperaturen, Trockenheit und Wasserstress vermehrt stattfinden und somit die Pflanzenentwicklung und das -wachstum sichergestellt werden kann. Diese These wird auch durch die Studie von Rotundo et al. (2009) gestützt. Die Autoren berichteten ebenfalls, dass Pflanzen unter Wasserstress Stickstoff mobilisieren. Die dadurch freigesetzten AS dienen innerhalb der Zellen als *compatible solutes*. Diesen Stickstoff akkumulieren Pflanzen anschließend im Samen, weswegen der Proteingehalt im reifen Samen unter Wasserstress höher als unter stressfreien Bedingungen ist. Allerdings zeigten Rotundo et al. (2009) zusätzlich, dass bei Wasserstress der Proteingehalt im Samen zwar zunahm, der Gesamtstickstoffgehalt in den Pflanzen jedoch abnahm. Ähnliche Beobachtungen machte Bellaloui (2011). Der Proteingehalt bei wassergestressten Sojapflanzen nahm im Samen zu, allerdings sank dieser innerhalb der gesamten Sojapflanze. Die Autoren führten die Gesamtabnahme des Stickstoffes innerhalb der Pflanze auf die gehemmte N-Fixierung und N-Assimilation zurück, die durch Trockenheit und Wasserstress stark beeinflusst wurden. Dies wird von den Autoren darauf zurückgeführt, dass die aus den Knöllchenbakterien stammende Aktivität der Nitrogenase und die Aktivität der pflanzlichen Nitratreduktase bei Wasserstress gehemmt und sich entsprechend negativ auf die gesamte N-Assimilierung und schlussendlich auch auf den Gesamtsickstoff der Pflanze auswirkt (Bellaloui, 2011, Bellaloui et al., 2011). Der in der Literatur beschriebene Einfluss von Temperatur und Niederschlag auf den Proteingehalt in Pflanzen konnte in der vorliegenden Arbeit für Erbsen und Bohnen zum Teil ebenfalls bestätigt werden. An dieser Stelle ist vor allem die Sommererbsenstichprobe zu nennen, da hier Temperatur- und Niederschlagseffekte auf den Proteingehalt beobachtet werden konnten. In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass mit steigender Temperatur und sinkenden Niederschlagsraten die Proteingehalte in Sommererbsen eher zunehmen. Auch innerhalb der Auswertung mit Ackerbohnen konnten negative Zusammenhänge zwischen Niederschlag und Proteingehalt beobachtet werden, wobei der hier beobachtete Temperatureffekt entgegengesetzt zu den Ergebnissen der Sommererbsenstichprobe war. Die aufgestellte These, dass Erbsen und Bohnen unter Stressbedingungen (z.B. unter hohen Temperaturen und ariden Bedingungen) vermehrt stickstoffhaltige

Pflanzenspeicherstoffe in Form von Proteinen im Leguminosensamen bilden, spiegelt sich zum Teil in den aktuellen Ergebnissen wieder. Allerdings ist hinzuzufügen, dass die korrelativen Ergebnisse innerhalb der Erbsen- und Bohnenstichprobe über die Anbaujahre hinweg sehr inkonsistent waren. Häufig konnten auch keine Zusammenhänge ermittelt werden oder die Ergebnisse waren zum Teil entgegengesetzt. Ein Grund für die fehlenden konsistenten, korrelativen Zusammenhänge zwischen den Wetterdaten und dem Proteingehalt könnte sein, dass die hier untersuchten Erbsen und Bohnen, anders als in dem Großteil der beschriebenen Literatur, unter nicht definierten Bedingungen angebaut worden sind. Die Kultivierung real angebaute Proben führt dazu, dass Erbsen und Bohnen neben dem Wetter auch anderen Faktoren wie Standort und landwirtschaftliche Praxis (z.B. N-Düngung und Inokulation) ausgesetzt sind. Dies führt zu einer kumulativen Kombination verschiedener Faktoren, die den Proteingehalt auf eine spezifische Art und Weise mitbeeinflussen und könnte eine weitere Erklärung für den zum Teil geringen korrelativen Einfluss der Witterungsdaten auf den Proteingehalt von Erbsen und Bohnen darstellen. Auch wenn in der vorliegenden Arbeit kein bestimmender und konsistenter korrelativer Einfluss der meteorologischen Daten auf den Proteingehalt in Erbsen und Bohnen ermittelt werden konnte, konnten dennoch signifikante Jahresunterschiede zwischen den Anbaujahren 2016 und 2018 innerhalb der Erbsen- und auch innerhalb der Bohnenstichprobe festgestellt werden. Das Anbaujahr 2018 wies im Schnitt signifikant höhere Proteingehalte als das Anbaujahr 2016 auf. Die Ergebnisse können vermutlich mit den unterschiedlichen jahresbedingten Temperaturen und Niederschlagsdichten in den beiden Anbaujahren erklärt werden, da die beiden Anbaujahre 2016 und 2018 sich insbesondere in der Durchschnittstemperatur und im Durchschnittsniederschlag unterschieden (Anhang 9.6 Tabelle 28, 29). Im Anbaujahr 2016 konnten für die Erbsenstichproben durchschnittlich niedrigere Temperaturen ($13,0\text{ °C} \pm 2,1\text{ °C}$) und höhere Niederschläge ($364,1\text{ mm} \pm 162,0\text{ mm}$) als im Anbaujahr 2018 - mit durchschnittlichen Temperaturen von $15,9\text{ °C} \pm 2,2\text{ °C}$ und durchschnittlichen Niederschlagsraten von $187,0\text{ mm} \pm 115,2\text{ mm}$ - gemessen werden. Auch für die Bohnenstichprobe konnte im Anbaujahr 2016 eine durchschnittlich niedrigere Temperatur ($14,1\text{ °C} \pm 1,3\text{ °C}$) und durchschnittlich höhere Niederschlagsrate ($296,2\text{ mm} \pm 123,0\text{ mm}$) als im Anbaujahr 2018 mit einer Durchschnittstemperatur von $17,1\text{ °C} \pm 1,5\text{ °C}$ und einem Durchschnittsniederschlag von $138,5\text{ mm} \pm 57,7,0\text{ mm}$ aufgezeichnet werden. Die Ergebnisse zu den Jahresunterschieden lassen durchaus vermuten, dass jahresbedingte Wetterbedingungen, wie z.B. unterschiedliche Temperaturen und Niederschlagsdichten, durchaus einen Einfluss auf den Proteingehalt von Erbsen und auch von Ackerbohnen haben. Die Ergebnisse zu den Jahresunterschieden bestätigen

ebenfalls die oben aufgestellte These zu den Einflüssen durch Temperatur und Niederschlag auf den Proteingehalt. Unter Stressbedingungen wie höheren Temperaturen und niedrigen Niederschlagsraten bilden Erbsen und Ackerbohnen vermehrt Proteinspeicherstoffe im Leguminosensamen.

Weiterhin konnte in der vorliegenden Arbeit gezeigt werden, dass der Einfluss auf den Proteingehalt durch die standortabhängige Bodenzusammensetzung schwer zu definieren ist, da die ermittelten signifikanten Unterschiede einerseits zwischen Erbsen und Bohnen und andererseits zwischen den drei Anbaujahren sehr stark variierten. Auch bei der Unterteilung der Erbsenstichprobe in Sommer- und Wintererbsen zeichneten sich unterschiedliche Zusammenhänge ab. Dennoch konnte im Anbaujahr 2018 ein nicht-signifikanter Trend für Erbsen beobachtet werden. Dieser Trend indiziert, dass die Proteingehalte mit niedrigerem Sand- und steigendem Schluffanteil anstiegen. Ähnlich signifikante Ergebnisse konnten für Bohnen im Anbaujahr 2017 gezeigt werden. Im Kontrast dazu stehen die nicht-signifikanten Ergebnisse der Sommererbsenstichprobe, die zu der Annahme führten, dass der Proteingehalt mit zunehmendem Sandanteil und abnehmendem Tonanteil tendenziell ansteigt. Für die Wintererbsenstichprobe konnte hingegen gezeigt werden, dass der Proteingehalt ebenfalls mit dem prozentualen Schluffanteil tendenziell positiv korreliert, wobei zwischen dem Proteingehalt und dem prozentualen Tonanteil ein negativer Zusammenhang aufgezeigt wurde. Die Ergebnisse zeigten, dass die Zusammenhänge je nach Stichprobe unterschiedlich ausfielen und keine einheitliche korrelative Beziehung zwischen dem Proteingehalt und der Bodenzusammensetzung beobachtet werden konnte. In der Literatur wurden Einflüsse durch die Bodenzusammensetzung auf den Proteingehalt in Leguminosen bisher nur angerissen (Igsban et al., 1996, Nikolopoulou et al., 2006, Nikolopoulou et al., 2007, Mertens et al., 2012). Igsban et al. (1996) beschrieben, dass in lehmigen Böden kultivierte Erbsen zu höheren Proteingehalten als in sandigen Lehmböden angebaute Erbsen neigen. Auch andere Studien konnten bereits tendenziell aufzeigen, dass der Proteingehalt in Erbsen an Standorten mit hohem Lehmananteil höher ist als bei Standorten mit hohem Sandanteil (Nikolopoulou et al., 2007, Mertens et al., 2012). Weitere Studien beschrieben, dass das Gewicht und die Mobilität von Knöllchenbakterien durch die Bodenzusammensetzung beeinflusst wird. Vor allem hohe Tonanteile sollen die Mobilität von Knöllchenbakterien einschränken (Ciafardini und Barbieri, 1987), was schlussendlich zur Reduzierung der Knöllchenmasse und folglich auch zur verminderten N-Fixierung und N-Assimilation führt (van Jaarsveld et al., 2002). Der hier beobachtete Zusammenhang zwischen der Bodentextur und dem Proteingehalt könnte tatsächlich auf die unterschiedliche Körnungsdichte der verschiedenen Bodenarten zurückgeführt werden. Sandige Böden sind durch eine geringe Körnungs-

und Nährstoffdichte charakterisiert, wohingegen Schluff- und Tonböden eine hohe Körnungs- und Nährstoffdichte aufweisen. Schluff- und Tonböden weisen folglich eine bessere Speicherkapazität auf und sind nährstoffreicher als Sandböden (Strahler und Strahler, 2005). Allerdings limitieren Tonböden die N-Fixierung und N-Assimilation von Leguminosen durch Einschränkung der Mobilität der stickstofffixierenden Knöllchenbakterien, was vermutlich die Proteinsynthese in Erbsen und Ackerbohnen inhibiert. Auf dieser Wissensbasis kann angenommen werden, dass Böden mit hohem Schluff- und Tonanteil stickstoffhaltige Nährstoffe besser speichern können. Allerdings sind schluffhaltige Böden durch ihre etwas geringere Körnungsdichte im Vergleich zu Tonböden in ihrer N-Fixierung und N-Assimilation nicht limitiert. Folglich müsste der Proteingehalt auf schluffhaltigen Böden kultivierten Erbsen und Bohnen höher als bei Leguminosen sein, die auf Böden mit hohem Sand- und Tonanteil angebaut worden sind. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit bestätigen zum Teil diese Annahme. Es müssten allerdings weitere Feldversuche und gegebenenfalls Versuche unter kontrollierten Anbaubedingen durchgeführt werden, um diese Hypothese vollständig zu belegen.

8.2.2 TI-Aktivität

In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass konventionelle und ökologische Anbaubedingungen sowie der Einsatz von Pestiziden keinen bestimmenden signifikanten Einfluss auf die TI-Aktivität von Erbsen haben. In der Gesamtauswertung (d.h. keine Unterteilung in Sommer- und Wintererbsen) neigten konventionell angebaute und pestizid behandelte Erbsen teilweise zu einer höheren TI-Aktivität als ökologisch angebaute Erbsen. Diese Unterschiede konnte man auch verschärft bei der Auswertung der Sommererbsenstichprobe beobachten. Für Ackerbohnen konnten ähnliche grobe Einflüsse auf die TI-Aktivität, ausgehend von den Anbaubedingungen und dem Insektizideinsatz, beobachtet werden. Aber auch hier konnten die Ergebnisse nicht konsistent mit Signifikanzen belegt werden. Grundsätzlich werden TI als Pflanzenabwehrstoffe gebildet, um Pflanzen insbesondere vor biotischen Faktoren wie Prädatoren (z.B. Herbivoren und Insekten) zu schützen (Dunaevskii et al., 2005, Mithöfer und Boland, 2012, Kidrič et al., 2014). Dabei sollen TI Enzyme von Fraßfeinden inhibieren, um somit pflanzliche Reservestoffe zu schützen (Caballero et al., 2003, Duranti, 2006). Auch Jongtsma et al. (1994) beschrieben in ihrer Studie, dass die TI-Synthese durch biotische Faktoren stimuliert wird. Hierbei beobachteten die Autoren in einem Telexperiment für Tomaten, dass Insektenschäden zur Erhöhung der TI-Gehalte in verschiedenen Teilen der Tomatenpflanze führten. Die genannten Literaturquellen führen zu der Annahme, dass ökologisch angebaute Nutzpflanzen sich über die Wachstumsperiode hinweg durch die Bildung natürlicher Pflanzenabwehrstoffe (wie z.B.

TI) vor Fraßfeinden schützen müssten, anders als bei konventionell angebauten Pflanzen, die durch den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln geschützt sind. So kann angenommen werden, dass die TI-Aktivität in Erbsen und Bohnen unter ökologischen Anbaubedingungen höher als im konventionellen Anbau sein müsste. Diese Hypothese konnte in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht bestätigt werden. Eine ähnliche Argumentation führten auch Balleistro et al. (2013) in ihrer Untersuchung auf. Aber auch hier wiesen konventionell angebaute Sojabohnen eine höhere TI-Aktivität im Vergleich zu ökologischen Bohnen auf. Es kann festgehalten werden, dass neben den Anbaubedingungen vermutlich weitere Mechanismen oder Faktoren die Biosynthese von TI in Erbsen und Bohnen beeinflussen. Möglicherweise kann der ausbleibende Effekt innerhalb der Auswertung zwischen konventionellem und ökologischem Anbau sowie bei der Auswertung in Hinblick auf den Pestizideinsatz darauf zurückgeführt werden, dass die Erbsen- und Ackerbohnenproben in der vorliegenden Arbeit unter realen Bedingungen ohne experimentelles Felddesign angebaut wurden und somit weiteren ökophysiologischen Faktoren (wie z.B. variierenden Wetterbedingungen) ausgesetzt waren, die möglicherweise einen größeren Einfluss auf die quantitative TI-Zusammensetzung hatten. Ein weiterer Grund könnte sein, dass die untersuchte Erbsen- und Bohnenstichprobe zu heterogen zusammengesetzt war (beispielsweise die Untersuchung verschiedener Sorten, Unterschiede in den Anbauzeiträumen, etc.), sodass auch genetische Faktoren einen möglichen Einfluss ausübten und deswegen signifikante Unterschiede innerhalb der TI-Aktivität zwischen den Anbaubedingungen ausblieben. Kontrollierte Feldversuche und experimentell definierte Anbaubedingungen könnten ggf. zu aussagekräftigeren Unterschieden in TI-Aktivität zwischen konventionell und ökologisch angebauten Erbsen und Bohnen führen.

Weiterhin wurde die TI-Aktivität von Erbsen und Bohnen auch auf Jahresunterschiede geprüft. Es konnte gezeigt werden, dass die TI-Aktivität von Erbsen und Bohnen im Anbaujahr 2016 im Schnitt geringer als in den darauffolgenden Anbaujahren 2017 und 2018 war. Zusätzlich konnte für die Erbsenstichprobe eine signifikant höhere TI-Aktivität im Anbaujahr 2018 als in den beiden Vorjahren festgestellt werden. Mehrere Studien zeigten bereits, dass die TI-Aktivität von jahresabhängigen Wetterbedingungen beeinflusst wird (Bacon et al., 1995, Oluwatosin, 1999, Piergiovanni und Pignone, 2003, Wang und Daun, 2004). Beispielsweise zeigten Piergiovanni und Pignone (2003) in ihrer Untersuchung mit Gartenbohnen, dass die TI-Aktivität stark abhängig von jährlichen Niederschlagsraten ist. Die beiden Autoren konnten beobachten, dass im niederschlagsarmen Anbaujahr 1995 (durchschnittlich 177 mm Niederschlag) die TI-Aktivität höher als in den niederschlagsreicheren Anbaujahren 1996 (durchschnittlich 477 mm Niederschlag) und 1997 (durchschnittlich 388 mm Niederschlag) war. Anhand

ihrer Ergebnisse schlussfolgerten sie, dass die höhere TI-Aktivität im Anbaujahr 1995 eng mit ariden Wetterbedingungen zusammenhängt. Die Zunahme der TI-Aktivität unter trockenen und ariden Wetterbedingungen konnte auch in weiteren Studien gezeigt werden (Howard et al., 1996, Nemeskéri, 1997, Györi et al., 1998). Nur eine einzige Studie konnte gefunden werden, die von entgegengesetzten Ergebnissen berichtete (Oluwatosin, 1999). Der Autor zeigte hier, dass die TI-Aktivität von Augenbohnen in feucht-angebauten Anbauzeiträumen höher als in trocken-angebauten Anbauzeiträumen ist. Die Ergebnisse aus der Literatur können darauf zurückgeführt werden, dass die pflanzliche TI-Synthese, neben biotischen Faktoren, auch mit abiotischen Faktoren assoziiert wird (Brzin und Kidrič, 1996). Die Biosynthese von TI steht hierbei zwar nicht im direkten Zusammenhang mit abiotischen Faktoren, sondern ist an die zelluläre ROS-Bildung gekoppelt (Kidrič et al., 2014). Die Bildung von ROS wird durch abiotische Stressfaktoren in der Zelle ausgelöst (Close und McArthur, 2002). Auf zellulärer Ebene schädigen ROS vornehmlich Zellproteine. Geschädigte Proteine werden anschließend durch unspezifische proteolytische Enzyme abgebaut. Ein unkontrollierter Proteinabbau würde allerdings zur weiteren Schädigung der Pflanzenzelle führen, weswegen TI, als sogenannter Gegenspieler, gebildet werden um die oben genannten Proteasen kontrolliert sowie spezifisch zu hemmen. So stellen sie gleichzeitig die Biofunktionalität der Zellproteine sicher (Kidrič et al., 2014). Auf dieser Grundlage und auf Grundlage der aufgeführten Literaturquellen kann angenommen werden, dass Erbsen und Bohnen mit hoher TI-Aktivität vermutlich vermehrt abiotischen Stressfaktoren, wie z.B. hohen Temperaturen, sowie trockenen und ariden Wetterbedingungen ausgesetzt sind. Die hier aufgestellte Hypothese konnte in der korrelativen Auswertung zwischen den beiden meteorologischen Daten und der TI-Aktivität teilweise bestätigt werden. Es konnte innerhalb der Sommererbsenstichprobe und der Bohnenstichprobe gezeigt werden, dass mit abnehmenden Niederschlagsraten die TI-Aktivität zunimmt. Es ist jedoch hervorzuheben, dass die Zusammenhänge zwischen den Niederschlagsdaten und der TI-Aktivität über die untersuchten Anbaujahre hinweg nicht konsistent gezeigt werden konnten. Größtenteils zeigten die Ergebnisse keinen Zusammenhang auf. Weiterhin konnte auch ein Temperatureffekt auf die TI-Aktivität beobachtet werden, allerdings waren die Ergebnisse in den einzelnen Auswertungen nicht einheitlich: Zwar konnten bei der Bohnenstichprobe innerhalb der Gesamtbetrachtung und im Anbaujahr 2016 ein positiver Zusammenhang zwischen Temperatur und TI-Aktivität beobachtet werden, was die oben aufgestellte Hypothese bestätigt. Auch innerhalb der Gesamtbetrachtung der Sommererbsenstichprobe konnte ein positiver Temperatureffekt auf die TI-Aktivität beobachtet werden. Innerhalb der Wintererbsenstichprobe wurde dahingegen ein negativer Zusammenhang zwischen

Temperatur und TI-Aktivität gezeigt. Dies steht nicht im Einklang mit der oben aufgestellten These. Der Grund für die inkonsistenten und uneinheitlichen Ergebnisse zwischen Temperatur und TI-Aktivität in der Erbsen- und Bohnenstichprobe könnte möglicherweise damit zusammenhängen, dass unterschiedliche Genotypen unterschiedlich stark auf exogene Einflüsse wie die Temperatur reagieren. Dies wurde bereits in einigen Studien detailliert diskutiert (Bacon et al., 1995, Piergiovanni und Pignone, 2003). Beispielsweise schlussfolgerten Bacon et al. (1995), dass die Empfindlichkeit verschiedener Genotypen gegenüber verschiedenen Umweltbedingungen transkriptionell codiert ist. D.h., je nach vorliegenden Umweltfaktoren bilden unterschiedliche Genotypen unterschiedlich stark TI aus. Auch wenn die korrelativen Auswertungen der Witterungsdaten nicht zu einheitlichen Ergebnissen über die drei Anbaujahre hinweg führten, konnte die aufgestellte Hypothese jedoch gut durch die beobachteten Jahresunterschiede in der Erbsen- und Bohnenstichprobe belegt werden. Das wärmere und niederschlagsärmere Anbaujahr 2018 zeichnete sich durch eine signifikant höhere TI-Aktivität im Vergleich zum kühleren und niederschlagsreicheren Anbaujahr 2016 aus (Anhang 9.6 Tabelle 28, 29). Die Ergebnisse zu den Jahresunterschieden verdeutlichen noch einmal den möglichen Einfluss von jahresabhängigen Temperaturen und Niederschlagsraten auf die TI-Aktivität in Erbsen und Bohnen. Anders als in der Studie von Piergiovanni und Pignone (2003), in der nur Einflüsse durch jahresabhängige Niederschlagsraten und nicht durch Temperaturen gezeigt werden konnten, können die signifikanten Jahresunterschiede der TI-Aktivität mit alternierenden Temperatur- und Niederschlagseinflüssen valide begründet werden. Stressbedingungen wie warme Temperaturen und niederschlagsarme Bedingungen führen zu höheren TI-Gehalten in Erbsen und Ackerbohnen. Teilweise bildeten dies auch schon die korrelativen Auswertungen zwischen den Witterungsdaten und der TI-Aktivität ab. Allerdings sind die korrelativen Ergebnisse zwischen den beiden Witterungsparametern und der TI-Aktivität über die drei Anbaujahre hinweg nicht konsistent und die Zusammenhänge auch nicht einheitlich. Ein Grund für die inkonsistenten korrelativen Zusammenhänge zwischen den erhobenen Witterungsdatendaten und der TI-Aktivität könnte sein, dass die hier untersuchten Erbsen und Bohnen unter nicht definierten Bedingungen angebaut worden sind. Die Kultivierung real angebauter Proben führt dazu, dass Erbsen und Bohnen neben genetischen Faktoren und Wittereinflüssen vermutlich auch anderen Faktoren, wie Standort und landwirtschaftlicher Praxis (z.B. N-Düngung und Inokulation), ausgesetzt sind und diese die TI-Aktivität auf eine bestimmte Art und Weise mitbeeinflussen, sodass die vorliegenden Ergebnisse nur selten signifikante Zusammenhänge aufzeigten.

Ferner wurden in der Literatur Jahresunterschiede innerhalb der TI-Aktivität nicht nur mit wechselnden Witterungsbedingungen in Verbindung gebracht, sondern auch mit den umgebenden Standortbedingungen (Bacon et al., 1995, Oluwatosin, 1999, Wang und Daun, 2004). Der Einfluss der Bodentextur auf die TI-Aktivität von Erbsen und Ackerbohnen wurde ebenfalls in der vorliegenden Arbeit untersucht. Erbsen, die auf schluff- und tonhaltigen Böden angebaut wurden wiesen tendenziell eine höhere TI-Aktivität als auf sandhaltigen Böden kultivierte Erbsen auf. An dieser Stelle ist allerdings zu erwähnen, dass die Verteilung der TI-Aktivität in Zusammenhang mit den untersuchten Bodenarten über die Anbaujahre hinweg sehr inkonsistent und daraus resultierend schwer zu interpretieren waren. Ebenso ist zu erwähnen, dass keine signifikanten Einflüsse in der Sommererbsenstichprobe beobachtet werden konnten. Für Wintererbsen konnten hingegen ähnliche signifikante Zusammenhänge zwischen TI-Aktivität und Schluffanteil beobachtet werden. Allerdings nahm die TI-Aktivität mit zunehmenden Tonanteil in der Wintererbsenstichprobe signifikant ab. Auch für Ackerbohnen konnte kein einheitlicher Trend innerhalb der drei Anbaujahre beobachtet werden. Allgemein stellen Böden für Pflanzen einen Wasser- und Nährstoffspeicher an Stickstoff und anorganischen Mineralsalzen dar, wobei die Speicherkapazität der Böden stark variiert. Sandböden sind aufgrund ihrer Körnungsdichte eher wasser- und nährstoffarm, wohingegen Schluff und Tonböden aufgrund ihrer hohen Körnungsdichte Nährstoffe sehr gut speichern können (Strahler und Strahler, 2005). TI werden von Leguminosen hauptsächlich als Abwehrsubstanz gegen exogenen Stress gebildet. Gleichzeitig sind TI aber auch wichtige pflanzliche Proteinreservestoffe und stellen zudem eine geeignete Quelle für schwefelhaltige Aminosäuren dar (Caballero et al., 2003, Rimbach et al., 2010). Folglich ist die TI-Biosynthese von der Nährstoffverfügbarkeit der Pflanze abhängig. Vor allem die Verfügbarkeit von Stickstoff ist ein limitierender Faktor und beeinflusst entsprechend die Synthese von stickstoffhaltigen Pflanzeninhaltsstoffen wie z.B. TI (Bryant et al., 1983, Herms und Mattson, 1992). Es kann angenommen werden, dass Pflanzen auf nährstoffreichen und etwas dichteren Böden eine höhere TI-Aktivität als auf nährstoffarmen, sandhaltigen Böden angebaute Erbsen und Bohnen aufweisen. Weiterhin kann angenommen werden, dass tonhaltige Böden die N-Fixierung von Erbsen und Bohnen dadurch limitieren, dass die Mobilität von Knöllchenbakterien in Tonböden eingeschränkt wird (Ciafardini und Barbieri, 1987). Die Hypothese konnte in den Ergebnissen der Erbsenstichprobe teilweise verifiziert werden. Hier zeigten auf schluffhaltigen Böden angebaute Erbsen eine tendenziell höhere TI-Aktivität als solche Erbsen, die auf sand- oder tonhaltigen Böden angebaut wurden. Für die Bohnenstichprobe waren die beobachteten Zusammenhänge zu uneinheitlich um eine valide Aussage treffen zu können. Die

unklaren Ergebnisse der Bohnenstichprobe und teilweise bei der Erbsenstichprobe lassen darauf schließen, dass weitere umgebende Faktoren die TI-Aktivität mitbeeinflussen. Bereits Bacon et al. (1995) sowie Piergiovanni und Pignone (2003) berichteten, dass verschiedene Genotypen unterschiedlich stark auf umgebende Umweltbedingungen durch TI-Bildung reagieren. Nach der genannten Literatur spielen bei real angebauten Ackerbohnen und teilweise auch bei Erbsen möglicherweise weitere Faktoren, wie beispielsweise der Genotyp (z.B. Sorte), und andere extrinsische Faktoren (wie z.B. Witterungsbedingungen) ebenso eine bedeutende Rolle, weswegen hier der Einfluss durch den Boden vermutlich nicht so ausgeprägt messbar war.

8.2.3 Tanningehalt

Es konnte in der aktuellen Arbeit kein bestimmender Einfluss durch die Anbaubedingungen auf den Tanningehalt von Ackerbohnen festgestellt werden. Literaturquellen legen nahe, dass ökologisch angebaute Nutzpflanzen einen höheren nutritiven Wert als konventionell angebaute Pflanzen aufweisen, da der Anteil an phytochemischen, gesundheitsfördernden Substanzen, wie z.B. phenolischen Verbindungen, im ökologischen Anbau deutlich höher als im konventionellen Anbau ist (You et al., 2011, Vallverdú-Queralt et al., 2012, Drakou et al., 2015, Giusti et al., 2018). Folglich ist auch das antioxidative Potential ökologischer Pflanzen höher als bei den konventionellen Varianten (Dimberg et al., 2005, You et al., 2011, Vallverdú-Queralt et al., 2012, Giusti et al., 2018). Auch weitere landwirtschaftliche Praktiken wie beispielsweise eine limitierte Nitrataufnahme soll die Synthese polyphenolischer Verbindungen stimulieren (Haukioja et al., 1998, Vallverdú-Queralt et al., 2012), wobei andere Studien zeigten, dass eine erhöhte N-Düngung zur Erhöhung der Tanningehalte in Ackerbohnen führte (Babiker et al., 1995, Elsheikh und Elzidany, 1997a, Elsheikh und Elzidany, 1997b). Entgegen der aufgeführten Literatur zeigten Balleistro et al. (2013) in ihrer Untersuchung, dass der Polyphenolgehalt sowie das antioxidative Potenzial von ökologisch angebauten Sojabohnen niedriger als von konventionellen Bohnen ist. Obwohl die Autoren argumentierten, dass der quantitative Anteil an phenolischen Verbindungen in ökologisch angebauten Nutzpflanzen höher sein sollte, da Phenole eine Art natürlichen Pflanzenschutz darstellen. Durch den Nicht-Einsatz von Pestiziden sind Pflanzen vor allem biotischen Stressfaktoren, wie z.B. Fraßfeinden, ausgesetzt. Laut Literatur sollen Pflanzen vermehrt phytochemische Stoffe wie Polyphenole bilden, um sich vor Fraßfeinden zu schützen (Vallverdú-Queralt et al., 2012, Balisteiro et al., 2013, Bartwal et al., 2013). Als polyphenolische Substanz stehen auch Tannine im Zusammenhang mit dem pflanzlichen Abwehrsystem und sollen Pflanzen durch ihren bitteren-adstringierenden Geschmack vor diversen Prädatoren schützen (Hill, 2003,

Hassanpour et al., 2011, Sarwar Gilani et al., 2012). Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit decken sich nicht mit den meisten der aufgeführten Literaturquellen. In Anlehnung an die verwendeten Quellen hätte angenommen werden können, dass der Tanningehalt - als natürlicher Fraßschutz - in ökologisch Ackerbohnen deutlich höher als bei konventionell angebauten Ackerbohnen ist. Allerdings zeigten die hier aufgeführten Ergebnisse, dass ökologische Ackerbohnen keine höheren Tanningehalte gegenüber konventionell angebauten Bohnen aufweisen. Auch zwischen dem Einsatz bzw. dem Nicht-Einsatz von Fungiziden sowie Insektiziden konnten keine bestimmenden bzw. einheitlichen Unterschiede im Tanningehalt bei jeweiliger Betrachtung des konventionellen und ökologischen Anbaus festgestellt werden. Auf Grundlage der Literatur wurde auch hier vermutet, dass pestizidfreie Bohnen höhere Tanningehalte gegenüber den pestizidbehandelten Varianten aufweisen. Die Ergebnisse können vermutlich darauf zurückgeführt werden, dass die hier untersuchten Bohnenproben unter realen Bedingungen ohne experimentelles Felddesign angebaut wurden. Hierbei sind Bohnen unterschiedlichen extrinsischen Einflüssen ausgesetzt und diese können möglicherweise einen konkurrierenden Einfluss bzw. kombinierte Auswirkung auf den Tanningehalt von buntblühenden Bohnen haben. Darüber hinaus wird in der Literatur beschrieben, dass der Gehalt an phenolischen Verbindungen in Leguminosen auch durch den Genotyp limitiert wird (Drakou et al., 2015, Giusti et al., 2018). Da die untersuchte Bohnenstichprobe dieser Arbeit sehr heterogen zusammengesetzt war (z.B. die Untersuchung verschiedener Bohnensorten), könnte dies ein weiterer Grund sein, dass keine Unterschiede zwischen konventionell und ökologisch angebauten Ackerbohnen im Tanningehalt beobachtet werden konnte.

Weiterhin konnte für buntblühende Ackerbohnen in Bezug auf den Tanningehalt in den untersuchten Anbaujahren 2016, 2017 und 2018 Jahresunterschiede beobachtet werden. Anders als bei dem Proteingehalt und der TI-Aktivität von Bohnen, konnten im Anbaujahr 2016 die durchschnittlich höchsten Tanningehalte und im Anbaujahr 2018 die durchschnittlich niedrigsten Tanningehalte für Ackerbohnen ermittelt werden. Verschiedene Studien beschrieben bereits Jahreseffekte in Bezug auf den Tanningehalt in Leguminosen. Die Jahresunterschiede wurden insbesondere mit diversen ökophysiologischen Faktoren, wie z.B. Wetter- und Standorteinflüssen, in Verbindung gebracht (Makkar und Becker, 1998, Oluwatosin, 1999, Kraus et al., 2003, Nikolopoulou et al., 2006, Nikolopoulou et al., 2007). Laut Literaturquellen sollen hohe Temperatur und Wasserstress einen bestimmenden Einfluss auf den Tanningehalt in Pflanzen haben (Fales, 1984, Lees et al., 1994, Makkar und Becker, 1998, Oluwatosin, 1999, Gebrehiwot et al., 2002, Kouki und Manetas, 2002, Monteiro et al., 2006, Rebey et al., 2012). Beispielsweise zeigte Oluwatosin (1999) in den Anbaujahren 1993 bis 1994, dass der

Tanningehalt in Augenbohnen stark von saisonalen Bedingungen, aber auch von weiteren Faktoren wie Standort und Wetter, beeinflusst wird. Er konnte beobachten, dass die Tanningehalte an trockenen Standorten höher als an feuchten Standorten waren. Monteiro et al. (2006) konnten ebenfalls einen Zusammenhang zwischen niederschlagsarmen und niederschlagsreichen Monaten und dem Tanningehalt feststellen. Während der Trockenperiode wiesen die Pflanzen höhere Tanningehalte als in der niederschlagsreichen Periode auf. Gebrehiwot et al. (2002) konnten zudem saisonale Effekte auf den Tanningehalt in Hornklee beobachten. In den Jahreszeiten Frühling und Sommer wiesen die Pflanzen höhere Tanningehalte als in der Herbstzeit auf. Die Autoren führten die erhöhten Tanningehalte im Frühling und Sommer auf jahreszeitenbedingt höhere Temperaturen zurück. Auch Lees et al. (1994) konnten innerhalb ihrer Untersuchung mit einem definierten experimentellen Design aufzeigen, dass der Gehalt an kondensierten Tanninen in Hornklee-Blättern bei 30 °C höher als bei 20 °C war. Zudem konnten die Autoren feststellen, dass der Temperatureffekt für tanninarme und tanninreiche Sorten gleichermaßen gilt. Allerdings reagierten tanninreiche Sorten empfindlicher auf Temperaturunterschiede als tanninarme Sorten. Die höheren Tanningehalte unter Stressbedingungen sind vermutlich darauf zurückzuführen, dass die pflanzliche Polyphenolsynthese - auf der auch die Tanninsynthese beruht - durch zelluläre Ausschüttung von ROS stimuliert wird (Close und McArthur, 2002). Hierbei wird die pflanzliche zelluläre ROS-Bildung mit diversen abiotischen Stressfaktoren, wie beispielsweise hohen Temperaturen und Wasserstress, in Verbindung gebracht (Close und McArthur, 2002, Rebey et al., 2012). Allerdings gibt es auch Studien, die keinen Einfluss auf den Tanningehalt in Leguminosen durch Temperatur und Niederschlag beobachten konnten (Nikolopoulou et al., 2006, Nikolopoulou et al., 2007). Die in der Literatur beschriebenen Wittereinflüsse durch Temperatur und Niederschlag auf den Tanningehalt konnten nicht auf die Ergebnisse der aktuellen Arbeit übertragen werden. Es konnte in der korrelativen Auswertung kein Zusammenhang zwischen dem Tanningehalt und den Temperatur- und Niederschlagsdaten beobachtet werden. Ferner sind die Ergebnisse der Jahresunterschiede dieser Arbeit den Ergebnissen aus den Literaturquellen eher entgegengesetzt, da das kühlere und niederschlagsreichere Anbaujahr 2016 höhere Tanningehalte als das wärmere und niederschlagsärmere Anbaujahr 2018 aufwies (Anhang 9.6 Tabelle 28, 29). Nach der Literatur müssten die Tanningehalte in Bohnen unter Bedingungen mit hohen Temperaturen und geringem Niederschlag ansteigen und bei kühleren Temperaturen und hohen Niederschlagsraten eher vermindert sein. Ein möglicher Grund für die vorliegenden Ergebnisse könnte sein, dass weitere Faktoren die inhaltsstoffliche Zusammensetzung in Bezug auf den Tanningehalt gleichermaßen oder

ggf. stärker beeinflussen. Beispielsweise wird in der Literatur berichtet, dass die Tanninsynthese stark abhängig von der Länge der Photoperiode ist. Lange Photoperioden führen zu höheren Tanningehalten in der Pflanze (Kraus et al., 2003, Nikolopoulou et al., 2007). Dies könnte vielleicht auch erklären, warum die Tanningehalte im Anbaujahr 2018 höher als im Anbaujahr 2016 waren, da höhere Temperaturen und geringere Niederschlagsraten mit längeren Photoperioden während des Vegetationszeitraumes assoziiert werden können. Des Weiteren spielt die Nährstoffverfügbarkeit (insbesondere die Verfügbarkeit von N) eine relevante Rolle bei der Tanninbiosynthese. Steht Pflanzen ausreichend Stickstoff zur Verfügung, so ist die anabole Synthese stickstoffhaltigen Materials erhöht und die Synthese kohlenstoffhaltiger Stoffe (wie z.B. Tannine) entsprechend limitiert (Bryant et al., 1983, Herms und Mattson, 1992, Haukioja et al., 1998, Jones und Hartley, 1999). Die Ergebnisse der aufgeführten Literaturquellen führen zu der Annahme, dass die hier untersuchten real-angebauten Bohnenproben neben variierenden Wetterbedingungen auch weiteren umgebenden Einflüssen ausgesetzt waren, die auf eine spezifische Art und Weise den Tanningehalt mitbeeinflussten. Die kombinierten Effekte aus verschiedenen intrinsischen und extrinsischen Faktoren könnten einen Grund darstellen, dass in der vorliegenden Arbeit kein signifikanter Zusammenhang zwischen Temperatur und Tanningehalt sowie zwischen Niederschlag und Tanningehalt beobachtet werden konnte. Da die Bohnenproben unter realen Bedingungen angebaut wurden, könnten kontrollierte Anbau- und Feldversuche mit definierten Temperatur- und Wasserbedingungen möglicherweise mehr Einblicke auf den Einfluss von variierenden Witterungsbedingungen auf die Tanninbildung in Ackerbohnen geben.

Darüber hinaus wurden die zur Verfügung stehenden Bodendaten mit dem Tanningehalt von Bohnen korreliert. Insbesondere im Anbaujahr 2016 konnten positive Zusammenhänge beobachtet werden die zu der Annahme führen, dass in schluff- und tonreichen Böden kultivierte Bohnen höhere Tanningehalte als in sandhaltigen Böden angebaute Bohnen aufweisen. Um ein Verständnis über die Wichtigkeit von zur Verfügung stehenden Nährstoffen im Boden auf die Tanninsynthese zu bekommen ist an dieser Stelle die Studie von Oluwatosin (1999) zu nennen. Er zeigte, dass der Tanningehalt in Augenbohnen in einem signifikanten Zusammenhang mit den im Boden verfügbaren anorganischen Mineralsalzen wie Phosphat, Magnesium, Kalium und Calcium steht. Außerdem zeigten weitere Studien, dass der Tanningehalt in Bohnen mit zusätzlicher N- und Schwefel-Verfügbarkeit im Boden ebenfalls zunimmt (Babiker et al., 1995, Elsheikh und Elzidany, 1997a, Elsheikh und Elzidany, 1997b). Die aufgeführten Studien führen zu der Annahme, dass der Tanningehalt in Leguminosen beispielsweise mit der Verfügbarkeit anorganischer Nährstoffe im Boden auf eine gewisse Weise

korreliert. Wie bereits ausführlich beschrieben, weisen Schluff- und Tonböden gegenüber Sandböden eine höhere Nährstoffdichte auf (Strahler und Strahler, 2005). Dies zeichnet sich zum Teil auch in den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit ab. Der Tanningehalt in Schluff- und Tonböden herangewachsener Bohnen ist höher als in Sandböden. Vermutlich können Bohnenpflanzen in Schluff- und Tonböden organische und anorganische Nährstoffe besser aufnehmen und für die Tanninbiosynthese zielgerichtet nutzen.

8.3 Korrelative Einflüsse innerhalb der inhaltsstofflichen Qualitätsparameter

In den folgenden Abschnitten wird der korrelative Zusammenhang zwischen den einzelnen Qualitätsparametern umfassend diskutiert. Zur statistischen Auswertung wurde neben den drei Qualitätsparametern auch das Tausendkorngewicht herangezogen. Das Tausendkorngewicht wurde mit den einzelnen Inhaltsstoffparametern korreliert. Die korrelativen Auswertungen zwischen dem Protein- und Tanningehalt sowie die Analyse zwischen der TI-Aktivität und dem Tanningehalt wurden zudem mit den drei oben beschriebenen Pflanzentheorien in Zusammenhang gebracht und diskutiert.

8.3.1 Untersuchung des Tausendkorngewichtes auf die inhaltsstoffliche Zusammensetzung

8.3.1.1 Protein

Für Erbsen und für Ackerbohnen konnte zwischen Proteingehalt und Tausendkorngewicht größtenteils kein signifikanter Zusammenhang ermittelt werden. Nur für Erbsen im Anbaujahr 2018 konnte gezeigt werden, dass der Proteingehalt signifikant negativ mit dem Korngewicht korreliert. Wobei innerhalb der Einzelbetrachtung der Sommer- und Wintererbsenstichprobe kein Zusammenhang beobachtet werden konnte. Laut Literatur sind Proteine vornehmlich im Mehlkörper und weniger in der Schale lokalisiert (Elias et al., 1979, Griffiths, 1981, Valdez-Anguiano et al., 2015). Demnach müsste der Proteingehalt aufgrund des Schalen-Mehlkörper-Verhältnisses mit größerem Korngewicht zunehmen. In der Literatur wurde allerdings mehrfach ein negativer Zusammenhang zwischen Proteingehalt und Korngewicht beobachtet (Welch, 1974, Evans und Boulter, 1980, Lafiandra et al., 1981, Bastianelli et al., 1998, Berger et al., 1999, Grosjean et al., 2000, Önder und Babaoglu, 2001, Malik et al., 2007, Wang et al., 2010, Tahir et al., 2011, Uzun et al., 2011, Santos et al., 2019). Allerdings gibt es auch Studien, die keinen Zusammenhang zwischen Proteingehalt und

Korngewicht ermitteln konnten (Monti und Grillo, 1983, Kumar et al., 2006). Die aufgestellte These auf Basis des Schalen-Mehlkörper-Verhältnisses konnte in der vorliegenden Arbeit für den Proteingehalt nicht bestätigt werden. In den meisten der genannten Studien, wie auch bei der Erbsenstichprobe im Anbaujahr 2018, konnte ausschließlich ein negativer Zusammenhang zwischen dem Korngewicht und dem Proteingehalt beobachtet werden, was im Kontrast zu der hier aufgestellten Hypothese steht. Dies könnte damit zusammenhängen, dass die Quantität der Proteingehalte von Erbsen und Ackerbohnen von der Dauer der Wachstumsperiode abhängig sind (Robertson et al., 1961, Valdez-Anguiano et al., 2015). Bereits 1961 zeigten Robertson et al. in einem Telexperiment, dass die Proteingehalte in Erbsen mit der Wachstumsperiode stetig zunahmen. Zudem zeigten Valdez-Anguiano et al. (2015) bei drei verschiedenen Ackerbohnen, dass die Proteingehalte im Mehlkörper und in der Schale über einen Wachstumszeitraum von 0 bis 16 Tagen stark variierten. Die Autoren konnten hierbei keinen einheitlich zunehmenden oder abnehmenden Trend in Mehlkörper und Schale über den Vegetationszeitraum hinweg beobachten. Vor allem die Ergebnisse von Valdez-Anguiano et al. (2015) zeigen, dass das Tausendkorngewicht (bzw. auch die These zum Schalen-Mehlkörper-Verhältnis) nur bedingt genutzt werden kann, um den Proteingehalt in real angebauten Erbsen und Bohnen vorhersagen zu können. Dies ergibt sich aufgrund der starken Schwankungen des Proteingehaltes in Mehlkörper und Schale über den in ihrer Studie untersuchten Wachstumszeitraum. Zudem konnte in der vorliegenden Arbeit bereits gezeigt werden, dass auch ökophysiologische Faktoren, wie z.B. Anbau- und Wetterbedingungen sowie die Bodenzusammensetzung, die Proteingehalte in Erbsen und Bohnen zum Teil signifikant beeinflussen (Abschnitt 8.2.1). Die umgebenden Umwelteinflüsse könnten ebenfalls ein Grund darstellen, warum kein konsistenter Zusammenhang zwischen Proteingehalt und Tausendkorngewicht in real angebauten Erbsen und Bohnen in der aktuellen Arbeit beobachtet werden konnte.

8.3.1.2 TI-Aktivität

Bei der Korrelation zwischen der TI-Aktivität und dem Tausendkorngewicht konnte ein signifikant negativer Zusammenhang, insbesondere bei Erbsen gezeigt werden. D.h., dass große Erbsen eine geringere TI-Aktivität aufweisen. Allerdings konnte bei der Einzelbetrachtung der Sommer- und Wintererbsenstichproben kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Korngewicht und der TI-Aktivität beobachtet werden. Dies führt zu der Annahme, dass der Zusammenhang zumindest bei Erbsen stark von der Zusammensetzung der Stichprobe abhängig ist. Für Ackerbohnen konnten

allerdings auch vereinzelt negative Zusammenhänge beobachtet werden, die jedoch nicht konsistent in allen drei Anbaujahren waren. Auch Grosjean et al. (2000) konnten in ihrer Untersuchung bereits einen negativen, jedoch nicht signifikanten, Zusammenhang zwischen TI-Aktivität und Tausendkorngewicht beobachten. Leider legten die Autoren innerhalb ihrer Untersuchung keinen kausalen Erklärungsansatz zu ihrem beobachteten korrelativen Ergebnis dar. Eine mögliche Erklärung könnte auch hier das Schalen-Mehlkörper-Verhältnis abbilden. Aus der Literatur ist bekannt, dass auch TI vermehrt im Mehlkörper und weniger in der Schale lokalisiert sind (Valdebouze et al., 1980, Avilés-Gaxiola et al., 2018). Auf dieser Grundlage kann angenommen werden, dass die TI-Aktivität nach dem Schalen-Mehlkörper-Verhältnis mit steigendem Korngewicht - ähnlich wie bei den Proteingehalten angenommen - zunehmen sollte. Für die aktuelle Arbeit konnte die aufgeführte These jedoch nicht bestätigt werden, da in einzelnen Auswertungen das Korngewicht und die TI-Aktivität in einem negativen Zusammenhang zueinanderstehen. Ein Grund warum auch hier die These des Schalen-Mehlkörper-Verhältnis nicht greift, könnte sein, dass die Lokalisierung von TI in Leguminosen einerseits abhängig von der Samenfarbe (Elias et al., 1979) und andererseits vom Zeitpunkt des Keimungsprozesses ist (Valdez-Anguiano et al., 2015). Beispielsweise konnten Elias et al. (1979) für bunte Bohnen zeigen, dass die TI-Aktivität in der Samenschale höher als im Mehlkörper war, wohingegen weiße Bohnen im Vergleich zur Schale eine höhere TI-Aktivität im Mehlkörper aufwiesen. Zudem zeigten Anguiano et al. (2015), dass zu Beginn der Keimung die TI-Aktivität im Mehlkörper höher als in der Samenschale war. Die Autoren beobachteten allerdings, dass nach 16 Tagen Keimung die TI-Gehalte der untersuchten Bohnen im Cotyledon und in der Testa annähernd gleich hoch waren. Auch wenn die vorliegenden Ergebnisse nicht mit dem Ansatz des Schalen-Mehlkörper-Verhältnis erklärt werden können legen die Ergebnisse der aktuellen Arbeit dennoch nahe, dass mit Hilfe des Tausendkorngewichtes die TI-Aktivität in Erbsen und Ackerbohnen zum Teil zur quantitativen Einschätzung genutzt werden können. Wobei bei Erbsen die Stichprobenzusammensetzung (in Bezug auf Sommer- vs. Wintererbsen) stark ins Gewicht fällt. Wie bereits in Abschnitt 7.1.4 erwähnt, weisen Wintererbsen eine signifikant höhere TI-Aktivität als Sommererbsen auf. Darüber hinaus zeigen Wintererbsen aufgrund ihres Wachstumsvorsprung eine höhere Wuchshöhe gegenüber Sommererbsen auf (Thangwana und Ogola, 2012), wobei die Wuchshöhe gleichzeitig negativ mit dem Korngewicht zusammenhängen soll (Neugschwandtner et al., 2020). Aus diesem Grund kann angenommen werden, dass Wintererbsen ein kleineres Korngewicht als Sommererbsen aufweisen. Die vorliegenden Ergebnisse und aufgeführte Literatur stellen somit einen Erklärungsansatz für die beobachteten negativen Zusammenhänge zwischen dem Tausendkorngewicht und der TI-Aktivität in

der gesamten Erbsenstichprobe (Sommer- und Wintererbsen inkludiert) dar. Allerdings lässt die korrelative Einzelauswertung der Sommer- und Wintererbsen für Erbsen vermuten, dass die TI-Aktivität weniger mit dem Korngewicht, sondern möglicherweise mehr mit dem Genotyp zusammenhängt, da in keiner der einzelnen Stichprobenauswertungen (separiert in Sommer- und Wintererbsen) signifikante Zusammenhänge gezeigt werden konnten. Allerdings konnte bei der korrelativen Auswertung der Bohnenstichprobe innerhalb der Gesamtauswertung und im Anbaujahr 2017 ein signifikant negativer Zusammenhang zwischen dem Korngewicht und der TI-Aktivität beobachtet werden, d.h., dass das Korngewicht und die TI-Aktivität in einer spezifischen Weise doch in Beziehung miteinander stehen. An dieser Stelle kann vermutlich auch der Einfluss ökophysiologischer Faktoren als Erklärung herangezogen werden kann. Wie bereits in Abschnitt 8.2.2 ausführlich diskutiert wurde, ist die TI-Aktivität abhängig von den jeweiligen Niederschlagsverhältnissen. Niederschlagsarme Bedingungen führen zu hohen TI-Aktivitäten, während niederschlagsreiche Bedingungen zu niedrigeren TI-Aktivitäten führen (Abschnitt 8.2.2). Auch das Korngewicht wird von den umgebenden Niederschlagsbedingungen beeinflusst. Im Gegensatz zu den TI-Gehalten nimmt das Korngewicht jedoch bei Wasserstress ab (McDonald und Paulsen, 1997). Dies könnte die zum Teil hier beobachteten negativen Zusammenhänge zwischen Tausendkorngewicht und TI-Aktivität in der Ackerbohnenstichprobe ebenfalls erklären.

8.3.1.3 Tannine

In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass große Ackerbohnen einen niedrigeren Tanningehalt als kleine Bohnen aufweisen. Der negative Zusammenhang zwischen Korngewicht und Phenol- bzw. Tanningehalt ist in der Literatur durchaus bekannt (Berger et al., 1999, Nikolopoulou et al., 2006). Ferner zeigte Griffiths (1981), dass Tannine vermehrt in der Schale und weniger im Mehlkörper von buntblühenden Erbsen und Bohnen lokalisiert sind. Zudem berichteten Nikolopoulou et al. (2006), dass kleine Kichererbsen eine größere Oberfläche im Vergleich zu ihrem Gesamtvolumen aufweisen. Daraus resultierte, dass kleine Kichererbsen sich im Vergleich zu großen Erbsen durch einen höheren Tanningehalt auszeichnen. Die aktuellen Ergebnisse stimmen mit der aufgeführten Literatur überein. Die höheren Tanningehalte von kleinen Bohnen können auch auf das größere Schalen-Mehlkörper-Volumen-Verhältnis zurückgeführt werden. Anhand des Tausendkorngewichtes kann der nutritive Wert von buntblühenden Bohnen aussagekräftig bewertet werden. Dieses Wissen ist vor allem für die Tierernährung von großer Bedeutung, da nach aktueller Studienlage Leguminosen

mit hohem Tanningehalt den gastrointestinalen Verdau durch Protein- und Stärkekomplesierung sowie Hemmung von Proteasen negativ beeinträchtigen (Elias et al., 1979, Jansman et al., 1995, Makkar et al., 1997). Allerdings spielen in der Lebensmittelindustrie die Tanningehalte aufgrund von Verarbeitungsprozessen eine eher untergeordnete Rolle.

8.3.2 Untersuchung der CNBH, GDBH und PCM auf die inhaltsstoffliche Zusammensetzung

Die CNBH, GDBH und PCM sind theoretische Denkansätze die dabei helfen, die Zusammensetzung von stickstoffhaltigem und kohlenstoffhaltigem Pflanzenmaterial innerhalb des pflanzlichen Organismus in Abhängigkeit ihrer Nährstoffverfügbarkeit sowie unter definierten ökophysiologischen Bedingungen vorhersagen zu können. Die drei Hypothesen wurden in der vorliegenden Arbeit herangezogen, um die korrelativen Zusammenhänge zwischen dem Gesamtproteingehalt und dem Tanningehalt, zwischen der TI-Aktivität und dem Tanningehalt sowie zwischen dem Gesamtproteingehalt und der TI-Aktivität in Erbsen und Bohnen erklären und bewerten zu können.

Es konnte in der aktuellen Arbeit gezeigt werden, dass in buntblühenden Ackerbohnen ein negativer Zusammenhang zwischen Protein- und Tanningehalt über fast alle Anbaujahre vorliegt. Ausschließlich im Anbaujahr 2018 konnte kein Zusammenhang zwischen Protein- und Tanningehalt ermittelt werden. Die aktuellen Ergebnisse zeigen auf, dass proteinreiche Bohnen aufgrund des gleichzeitig positiv auftretenden Effekts niedriger Tanningehalte ernährungsphysiologisch höher bewertet werden können. Grundsätzlich können tanninreiche Leguminosen insbesondere in der Tierernährung als ernährungsphysiologisch negativ bewertet werden, da Tannine insbesondere Mineralstoffe, aber auch Nahrungsproteine komplexieren und deren Aufnahme im Gastrointestinaltrakt vermindern (Elias et al., 1979, Jansman et al., 1995, Makkar et al., 1997). Die vorliegenden Ergebnisse sind vor allem für die Tierernährung interessant, da Bohnen lediglich roh und im unverarbeiteten Zustand an die Nutztiere verfüttert werden. Auch in der Literatur konnten bereits negative Zusammenhänge zwischen Protein- und Tanningehalt in Leguminosen beobachtet werden (Donnelly und Anthony, 1969, Fales, 1984), während einige Veröffentlichungen auch einen positiven Zusammenhang zwischen Protein- und Tanningehalt beschreiben konnten (Nikolopoulou et al., 2006, Nikolopoulou et al., 2007). Andere Studien konnten dahingegen keine signifikanten Zusammenhänge zwischen Protein- und Tanningehalt feststellen (Barampama und Simard, 1993, Wang et al., 1998, Wang und Daun, 2006). Für die oben aufgeführten Literaturquellen fällt auf, dass keine der Forschungsgruppen die Kausalität des beobachteten Zusammenhanges zwischen Protein- und Tanningehalt wissenschaftlich

diskutiert. Als Grundlage für die Interpretation solcher Ergebnisse (sowie für die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit) kann die CNBH beschrieben von Bryant et al. (1983), sowie die GDBH beschrieben von Loomis (1932) und Lorio (1986) und schließlich überarbeitet von Herms und Mattson (1992), dienen. Auch das PCM, beschrieben von Jones und Hartley (1999), ist ein weiterer Denkansatz, welcher ebenfalls den inversen Zusammenhang zwischen dem Protein- und Tanningehalt in Ackerbohnen erklären könnte. Alle drei Hypothesen überschneiden sich in der Annahme, dass Pflanzen in einem ständigen Zielkonflikt stehen und abhängig von der Nährstoffverfügbarkeit und den ökophysiologischen Bedingungen entweder vermehrt stickstoffhaltige (z.B. Proteine und TI) oder kohlenstoffhaltige Pflanzeninhaltsstoffe (z.B. Tannine) bilden. Nach den drei Hypothesen sollen Pflanzen beispielsweise bei hoher N-Verfügbarkeit vermehrt stickstoffhaltiges Pflanzenmaterial bilden, während die Synthese von kohlenstoffhaltigen Inhaltsstoffen vermindert ist. Im umgekehrten Fall - die N-Verfügbarkeit ist niedrig und die Kohlenstoffverfügbarkeit und Lichtintensität ist hoch - bilden Pflanzen mehr kohlenstoffhaltige und weniger stickstoffhaltige Pflanzeninhaltsstoffe. Zusätzlich weisen Jones und Hartley (1999) in ihrem *protein competition model* darauf hin, dass dieser Zielkonflikt auf pflanzen-biochemischen Prozessen basiert. Grundsätzlich erläutern die Autoren, dass Phenylalanin als Ausgangsstoff sowohl für die Protein- als auch für Polyphenolsynthese dient. Ähnlich wie bei den beiden theoretischen Ansätzen der CNBH und GDBH beschreiben Jones und Hartley (1999), dass Phenylalanin in Abhängigkeit der Nährstoffverfügbarkeit und umgebenden Umweltbedingungen entweder für die Proteinsynthese oder für die Synthese phenolischer Verbindungen (wie beispielsweise Tannine) genutzt wird. Hinsichtlich dieser drei genannten Pflanzenhypothesen müsste der Protein- und Tanningehalt von Ackerbohnen naturgemäß entgegengesetzt korrelieren. Der negative Zusammenhang zwischen Protein- und Tanningehalt führt zunächst zu der Annahme, dass die CNBH, GDBH und PCM geeignete Denkansätze sind, um die inhaltsstoffliche Zusammensetzung (wie die Allokation von Proteinen und Tanninen) von real-angebauten Ackerbohnen erklären zu können. Auch andere Studien, die allerdings den Fokus auf boreale und Waldpflanzenproben setzten, berichteten von einem negativen Zusammenhang zwischen Protein- und Tanningehalt. An dieser Stelle ist zum Beispiel die experimentelle Untersuchung von Baldwin et al. (1983) zu nennen. Die Autoren berichteten, dass die Nitrifikation und die damit verbundene Stickstoffassimilation von Pflanzen in tanninreichen Waldbodenmaterial gehemmt ist. Dies zeigt sich vor allem durch eine geringe Akkumulation von Ammonium und Nitrat und durch einen geringen Gesamtstickstoffgehalt in den extrahierten Waldbodenproben. Die Autoren schlussfolgerten, dass die niedrige N-Assimilation vor allem in Zusammenhang mit den

hohen Tanningehalten steht. Ähnliche Beobachtungen machten auch Adamczyk et al. (2013) innerhalb ihrer modellhaften Untersuchung. Die Autoren zeigten, dass unterschiedliche Konzentrationen von kondensierten Tanninen, extrahiert aus norwegischen Fichtennadeln (*Picea abies*), den Nitrifikationsprozess im untersuchten Waldbodenmaterial über einen Inkubationszeitraum von 8 Tagen ebenfalls inhibierten. Anders als bei den drei genannten Pflanzenhypothesen führen die Ergebnisse aus den beiden Studien für die vorliegende Arbeit zu der Annahme, dass ein hoher Tanningehalt in Ackerbohnen die N-Assimilation in Ackerbohnen limitiert und Bohnen durch die geringere N-Verfügbarkeit zu niedrigeren Proteingehalten tendieren. Dennoch ist an dieser Stelle hervorzuheben, dass in den beiden modellhaften Studien von Baldewin et al. (1983) und Adamczyk et al. (2013), nur Waldbodenmaterial untersucht wurde. Auch die drei genannten Pflanzenhypothesen werden in der Literatur häufig dazu verwendet die inhaltsstoffliche Zusammensetzung von Wald- und Nadelbäumen zu erklären und eher weniger zur Vorhersage der Inhaltsstoffzusammensetzung landwirtschaftlicher Nutzpflanzen (wie beispielsweise für Leguminosen). Aus diesem Grund kann nicht eindeutig festgelegt werden, ob die Ergebnisse dieser beiden aufgeführten Studien sowie die Annahmen der drei erwähnten Pflanzenhypothesen als grundsätzlicher Interpretationsansatz für real-angebaute Leguminosen (wie beispielsweise Ackerbohnen) genutzt werden kann. Die Schwierigkeit und Komplexität der Anwendbarkeit dieser drei Hypothesen wird vor allem in weiteren Studien offensichtlich. Beispielsweise untersuchten McCarty und Bremner (1986) die Wirkung von Tanninen auf die N-Assimilation von Ammonium in Sojabohnen. Hierzu brachten die Autoren bis zu 500 µg Tanninextrakt in je 1 g Boden ein. Es konnte festgestellt werden, dass die zugeführte Tanninmenge keinen Effekt auf den Nitrifizierungsprozess in Sojabohnen haben. Sie vermuteten, dass die eingesetzten Konzentrationen der untersuchten polyphenolischen Verbindungen zu gering waren um den bakteriellen Nitrifikationsprozess zu beeinflussen, obwohl Konzentrationen eingesetzt wurden, die deutlich höher als die natürlich vorkommenden Konzentrationen phenolischer Verbindungen im Boden waren. Die Studienergebnisse von McCarty und Bremner (1986) machen deutlich, dass die beobachteten Ergebnissen in Waldbodenmaterial, beschrieben von Baldewin et al. (1983) und Adamczyk et al. (2013), nicht ohne weiteres auf Leguminosen anwendbar sind. Weiterhin zeigten mehrere Studien bereits, dass eine zusätzliche N-Düngung und Inokulation mit *Rhizobien* zu höheren Proteingehalten, aber gleichzeitig auch zu höheren Tanningehalten in Ackerbohnen, führten (Babiker et al., 1995, Elsheikh und Elzidany, 1997a, Elsheikh und Elzidany, 1997b). Auch Nikolopoulou et al. (2006, 2007) berichteten von einem positiven Zusammenhang zwischen Protein- und Tanningehalt in verschiedenen Leguminosen. Darüber hinaus zeigten Donnelly und

Anthony (1969) in ihrer Studie, dass der Zusammenhang zwischen Protein- und Tanningehalt in Buschkleesorten sehr inkonsistent ist. Sie konnten für verschiedene Buschkleesorten positive, negative und teilweise sogar gar keine Korrelationen zwischen dem Protein- und dem Tanningehalt beobachten. Die Autoren führten die uneinheitlichen Zusammenhänge innerhalb ihrer Untersuchung darauf zurück, dass die inhaltstoffliche Zusammensetzung von Buschkleesorten auch stark von genetischen Faktoren abhängig ist. Die vorliegende Studienlage zeigt, dass die Anwendung der genannten Pflanzenhypothesen nicht für jeden Pflanzentyp (wie beispielsweise für Leguminosen) umzusetzen ist und die praktische Anwendbarkeit vermutlich auch stark mit genetischen Faktoren zusammenhängt. Dennoch finden die drei Hypothesen für die in diesem Diskussionsabschnitt vorliegenden Ergebnisse möglicherweise Anwendbarkeit und können zur Erklärung des Zusammenhanges zwischen Protein- und Tanningehalt herangezogen werden. Allerdings muss der negative Zusammenhang in Bezug auf das Korngewicht und dem Tanningehalt, der bereits in Abschnitt 8.3.1.3 erläutert worden ist, an dieser Stelle der Arbeit nochmal hervorgehoben werden. Wie bereits beschrieben sind Proteine überwiegend in den Cotyledonen und Tannine in der Testa lokalisiert (Griffiths, 1981). So kann ebenfalls angenommen werden, dass das Schalen-Mehlkörper-Verhältnis ein möglicher Einflussfaktor ist, der die wechselseitige Verteilung des Protein- und Tanningehaltes in Erbsen und Bohnen mitbestimmt.

Zu dem untersuchten Zusammenhang zwischen Protein- und Tanningehalt wurde zusätzlich die korrelative Beziehung zwischen Tanningehalt und TI-Aktivität in buntblühenden Ackerbohnen statistisch geprüft. Beide Stoffklassen zählen zu den antinutritiven Inhaltsstoffen in Leguminosen, da sie die Aufnahme von Nahrungsproteinen im Gastrointestinaltrakt negativ beeinflussen. Hierbei hemmen TI direkt die proteolytische Aktivität von Verdauungsenzymen, wohingegen Tannine unverdauliche Komplexe mit Proteinen bilden. Zudem reduzieren hohe Tanningehalte die Annehmbarkeit des Futtermittels, hervorgerufen durch ihren bitteren und adstringierenden Geschmack. Aus diesem Grund ist es wichtig den Zusammenhang dieser beiden antinutritiven Inhaltsstoffe zueinander grundlegend zu verstehen, um darauf basierend eine nutritive Bewertung für den *Food*- und *Feed*-Bereich durchzuführen. Insbesondere in der landwirtschaftlichen Tierfütterung führen zu hohe Gehalte dieser beiden Antinutritiva zu Leistungs- und Qualitätseinbußen beim Nutztier. Dies gilt, obwohl die Empfindlichkeit (in Bezug auf die Verdaulichkeit) gegenüber Tanninen auch von den jeweiligen Tieren (Monogastriern vs. Wiederkäuern) abhängig ist (Crépon, 2006). Beispielsweise zeigten Jansman et al. (1995) innerhalb eines Schweinefütterungsversuchs, dass tanninreiche Erbsen einerseits die Verdaulichkeit von Nahrungsproteinen vermindern und gleichzeitig auch die endogene Proteinexkretion

erhöhen, insbesondere von histidin- und prolinhaltigen Proteinen. Auch bei landwirtschaftlichen Nutztieren wie Hühnern konnte eine Verringerung der Proteinverdaulichkeit, ausgelöst durch die Fütterung tanninreicher Ackerbohnen, ermittelt werden. Ebenso berichteten Grosjean et al. (2000) innerhalb einer Untersuchung mit Schweinen von einem negativen Effekt auf die Protein- und AS-Verdaulichkeit bei der Fütterung von TI-reichen Erbsen. Aus diesem Grund empfehlen die Autoren einen Grenzwert von 4.0 TIU/mg im Futtermittel. Anders als bei der Fütterung von Monogastriern besteht ein besonderes Interesse an tanninreichen Leguminosen innerhalb der Wiederkäuerfütterung. Tanninreiche Leguminosen werden hier bevorzugt im Futtermittel eingesetzt, um beispielsweise das Blähen des Verdauungstraktes und gebildete Methanemissionen zu reduzieren, dies auch zur Unterdrückung interner Parasiten und zur Verbesserung der quantitativen Proteinabsorption innerhalb des Gastrointestinaltraktes.

In der Humanernährung spielen TI und Tannine heutzutage eine eher untergeordnete Rolle. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass während industrieller Verarbeitungsprozesse TI einerseits inaktiviert und Tannine andererseits reduziert werden. Vor allem die Aktivität von TI wird durch verschiedene Hitzebehandlungen (z.B. durch Kochen und Rösten) drastisch vermindert (Alonso et al., 2000a, Alonso et al., 2000b, Khattab und Arntfield, 2009, Embaby, 2011), während der Tanningehalt hauptsächlich durch Schälen und Einweichen reduziert wird (Alonso et al., 2000a, Khattab und Arntfield, 2009). Zudem zeigte eine Studie von Khattab und Arntfield (2009), dass die Tanningehalte verschiedener Leguminosen während des Röstprozesses (180 °C, 15 min) signifikant reduziert wurden. Auch Plahar et al. (1997) zeigten, dass die Tanningehalte in Kichererbsen durch das Rösten (150 °C, 35 min) verringert wurden, während Embaby (2011) keine Effekte durch Hitzebehandlung (wie z.B. Röstung und Mikrowellenaufschluss) auf den Tanningehalt zeigen konnte. Die bisherige Literatur zeigt, dass es wichtig ist den Zusammenhang zwischen diesen beiden antinutritiven Inhaltsstoffen in Leguminosen (wie z.B. die in dieser Arbeit untersuchte Ackerbohne) zu verstehen, um für diese eine geeignete und zielgerichtete Qualitätsbewertung für den *Food*- und *Feed*-Bereich durchzuführen. In der vorliegenden Studie konnte in den beiden Anbaujahren 2017 und 2018 gezeigt werden, dass ein positiver Zusammenhang zwischen der TI-Aktivität und dem Tanningehalt besteht. Dies konnte jedoch nicht in der Gesamtbetrachtung und im Anbaujahr 2016 beobachtet werden. Laut den Ergebnissen gehen tanninreiche Ackerbohnen mit dem negativen Effekt hoher TI-Aktivitäten einher. Bereits in der Literatur wurden positive Zusammenhänge zwischen TI-Aktivität und Tanningehalt beobachtet (Elias et al., 1979, Berger et al., 1999, Oluwatosin, 1999). Allerdings berichteten Berger et al. (1999), dass die positive Korrelation zwischen dem

Tanningehalt und der TI-Aktivität nicht für jeden *Vicia faba* Genotyp gilt. Lediglich für Ackerbohnen und für schwarze Ackerbohnen konnten die Autoren zeigen, dass mit zunehmenden Tanningehalt auch die Protease-Aktivität zunahm. Weiterhin konnte nur in der Studie von Makkar et al. (1997) ein negativer Zusammenhang zwischen der TI-Aktivität und dem Tanningehalt in der Literatur gefunden werden. Die aktuellen Ergebnisse gehen größtenteils konform mit der aufgeführten Literatur. Allerdings stimmen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit nicht mit den grundsätzlichen Annahmen der drei vorgestellten Pflanzenhypothesen überein. Vor allem die CNBH beschäftigt sich mit der Allokation stickstoffhaltiger und kohlenstoffhaltiger Pflanzenabwehrstoffe (wie beispielsweise Tannine, Alkaloide und TI). Wie bereits beschrieben, kann die CNBH dazu verwendet werden das C/N-Verhältnis in Pflanzen – in Abhängigkeit ihrer Nährstoffverfügbarkeit und umgebenden Lichtverhältnissen – abzuschätzen. Darauf basierend kann folglich der Gehalt an sekundären Pflanzenabwehrstoffen vorhergesagt werden. Entsprechend müssten die TI-Aktivität und der Tanningehalt in Ackerbohnen stets entgegengesetzt miteinander korrelieren. Allerdings konnte diese Annahme in der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt werden. Eine mögliche Erklärung für die Nicht-Anwendbarkeit der CNBH in Ackerbohnen liefern Berger et al. (1999). Die Autoren schilderten (ausschließlich für die CNBH), dass deren Anwendung in Leguminosen nur begrenzt möglich ist, da Leguminosen mit stickstofffixierenden Knöllchenbakterien (Rhizobien) in einer symbiotischen Beziehung stehen. Rhizobien leben in den Wurzelknöllchen von Leguminosen und fixieren elementaren Stickstoff aus der Luft und machen diesen für Leguminosen verfügbar, indem sie den atmosphärischen Stickstoff zu Verbindungen wie Ammonium reduzieren. Im Gegenzug versorgen Leguminosen die Knöllchenbakterien mit Photosyntheseprodukten (wie z.B. mit Glukose) aus ihrem eignen Kohlenstoff-Pool (Datta et al., 2014). Nach Berger et al. (1999) wäre dies ein plausibler Erklärungsansatz, warum die CNBH nur begrenzt in Leguminosen anwendbar ist. Auf Basis dieser Annahme mutmaßten die Autoren, dass eine Erhöhung der Kohlenstofffixierung gleichzeitig zur Erhöhung der Stickstofffixierung in Leguminosen führen muss. Die gleiche Annahme kann für die positive Korrelation zwischen der TI-Aktivität und dem Tanningehalt in der vorliegenden Arbeit verwendet werden. Dennoch sollte an dieser Stelle angemerkt werden, dass nach der aufgestellten Annahme von Berger et al. (1999) der Protein- und Tanningehalt ebenfalls positiv miteinander korrelieren müssten. Einen positiven Zusammenhang zwischen Protein- und Tanningehalt konnte (wie oben bereits beschrieben) in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht aufgezeigt werden. Die Anwendbarkeit der CNBH zur inhaltsstofflichen Einschätzung von Pflanzen wurde bereits in der Literatur kritisch diskutiert. In einem *Review*-Artikel erwähnten Hamilton et

al. (2001) einerseits, dass biochemische Pflanzenprozesse in Bezug auf die Synthese pflanzlicher Abwehrmetabolite nicht ausreichend berücksichtigt werden. Beispielsweise erfolgt die Synthese von phenolischen Verbindungen über zahlreiche enzymatische Prozessschritte, außerdem weist die Synthese dieser beteiligten Enzyme einen hohen *N*-Verbrauch auf. Weiterhin werden bei der Bildung stickstoffhaltiger Pflanzenabwehrstoffe Glukose-Moleküle verbraucht, die ebenfalls *C*, *H* und *O* Atome enthalten. Der Glukose-Verbrauch soll bei der Synthese von stickstoffhaltigen Abwehrstoffen sogar höher als bei kohlenstoffhaltigen, aromatischen Inhaltsstoffen (wie z.B. Tannine) sein. Darüber hinaus kritisierten Hamilton et al. (2001), dass innerhalb der CNBH nur unzureichend genetische Einflussfaktoren bei der Vorhersage der inhaltsstofflichen Zusammensetzung von Pflanzen berücksichtigt werden. Die angesprochenen Kritikpunkte von Hamilton et al. (2001) können zum Teil auch auf die GDBH und PCM übertragen werden, denn beide Denkansätze berücksichtigen weder detailliert den Einfluss metabolischer Stoffwechselfvorgänge noch den Einfluss genetischer Faktoren. Nur das PCM greift die metabolische Konkurrenz zwischen Proteinen- und Tanninstrukturen um die gemeinsame, begrenzt verfügbare Aminosäure Phenylalanin auf, welche während des Shikimisäureweg gebildet wird. Die aufgeführten Kritikpunkte könnten ebenfalls ein Grund sein, warum diese drei Denkansätze nicht immer für die Vorhersage von stickstoffhaltigen (z.B. TI) und kohlenstoffhaltigen (z.B. Tannine) Pflanzenabwehrstoffen geeignet sind.

Weiterhin wurde in der vorliegenden Arbeit der Zusammenhang zwischen dem Proteingehalt und der TI-Aktivität untersucht. Die Korrelation dieser beiden Inhaltsstoffe erscheint sinnvoll, da TI die Nährstoffverfügbarkeit von Nahrungsproteinen hemmen. In der vorliegenden Arbeit konnten keine eindeutigen konsistenten Zusammenhänge zwischen dem Proteingehalt und der TI-Aktivität in der Erbsen- und Bohnenstichprobe festgestellt werden. Während bei der Auswertung der gesamten Erbsenstichprobe kein einheitlicher zusammenhängender Trend beobachtet werden konnte, konnten bei der Auswertung der Sommererbsenstichprobe tendenziell negative Zusammenhänge in den Anbaujahren 2016 und 2017 gezeigt werden. Auch innerhalb der Bohnenstichprobe im Anbaujahr 2017 konnte eine negative Korrelation zwischen dem Proteingehalt und der TI-Aktivität beobachtet werden. Bereits in der Literatur wurden negative Zusammenhänge zwischen Proteingehalt und TI-Aktivität in verschiedenen Leguminosen beschrieben (Singh und Jambunathan, 1981, Berger et al., 1999, Wang und Daun, 2006), wobei auch eine Vielzahl von Studien keine Korrelation zwischen diesen beiden Parametern aufzeigte (Griffiths, 1979, Barampama und Simard, 1993, Ladogina, 1997, Piergiovanni und Pignone, 2003, Wang und Daun, 2004, Balisteiro et al., 2013). Die aktuellen Ergebnisse zeigen an dieser Stelle deutlich auf, dass die

theoretischen Annahmen der CNBH, GDBH und PCM zur Vorhersage der inhaltsstofflichen Zusammensetzung von Erbsen und Bohnen abermals an ihre Grenzen stoßen. Nach den grundsätzlichen Annahmen der drei Pflanzenhypothesen müsste die TI-Aktivität mit zunehmenden Proteingehalt in Erbsen und Bohnen ebenfalls zunehmen. Dieser hypothetisch konstruierte positive Zusammenhang konnte in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht gezeigt werden. Aus chemisch-struktureller Sicht sind TI Proteinstrukturen (und Peptide) und setzen sich größtenteils aus der Proteinfraction Albumin zusammen (Marquez und Lajolo, 1981, Clemente et al., 2000, Venkatachalam und Sathe, 2007, Tavano et al., 2008, Park et al., 2010, Rimbach et al., 2010, Rubio et al., 2014). Generell stellen Albumine im Vergleich zu Globulinen die anteilmäßig geringfügigere Proteinfraction dar und sind nur die zweitgrößte Fraktion im Leguminosenprotein (Rimbach et al., 2010, Jeroch et al., 2017). An dieser Stelle wäre es interessant zu wissen, in welchem Zusammenhang der Gesamtproteingehalt von Leguminosen mit den einzelnen Proteinfractionen (insbesondere mit Albumin) steht. In der Literatur wurde hierzu bereits von Zusammenhängen zwischen dem Gesamtproteingehalt und einzelnen Proteinfractionen in Leguminosen berichtet. Auch ein bestehender Zusammenhang zwischen den beiden Hauptproteinfractionen (Globulin und Albumin) wurde bereits für Leguminosen beschrieben. Aus der Literatur ist beispielsweise bekannt, dass die beiden Proteinfractionen, Globulin und Albumin, in Erbsen in einem negativen Zusammenhang zueinander stehen (Gueguen und Barbot, 1988, Park et al., 2010). Darüber hinaus wird über einen positiven Zusammenhang zwischen dem Gesamtproteingehalt und dem Globulingehalt in Erbsen und Bohnen berichtet (Gallardo et al., 2008, Park et al., 2010, Gasim et al., 2015). Beispielsweise zeigten Park et al. (2010) in ihrer Untersuchung mit Erbsen, dass ein erhöhter Proteingehalt zu geringeren Albumingehalten führt, aber gleichzeitig die Globulingehalte in Erbsen zunehmen. Zudem zeigten die Autoren, dass der Proteingehalt mit zunehmendem Albumin/Globulin-Verhältnis in sieben verschiedenen Erbsenvarianten signifikant zunahm ($r = 0,954$, $p < 0,001$). stehen. Auf Basis der aufgeführten Literatur müsste der Albumingehalt auch in den vorliegenden Erbsen- und Bohnenproben in einem alternierenden Zusammenhang mit dem Gesamtproteingehalt Dieser beschriebene wechselseitige Zusammenhang zwischen Albumin- und Proteingehalt könnte ein möglicher Erklärungsansatz für den beobachteten negativen Zusammenhang zwischen Proteingehalt und TI-Aktivität darstellen. Dies liegt darin begründet, dass nach der Literatur zu urteilen grundsätzlich angenommen werden kann, dass mit einem Anstieg der Albuminfractionen vermutlich auch die TI-Aktivität im Verhältnis zum Gesamtproteingehalt zunimmt. Um diese These besser stützen zu können wäre es an dieser Stelle der Arbeit hilfreich gewesen, eine zusätzliche korrelative Auswertung

zwischen den beiden Proteinfractionen Albumin und Globulin mit der TI-Aktivität durchzuführen und deren Zusammenhang zueinander besser verstehen zu können. Darüber hinaus wären weitere wissenschaftliche Untersuchungen denkbar, in deren Rahmen die beiden genannten Proteinfractionen mit dem Gesamtproteingehalt korrelieren werden, um weitere quantitative Rückschlüsse auf die TI-Gehalte in Erbsen und Bohnen schließen zu können.

Wie bereits angedeutet, waren die Zusammenhänge zwischen der TI-Aktivität und dem Tanningehalt sowie zwischen dem Proteingehalt und der TI-Aktivität bei Erbsen und bei Bohnen über die Anbaujahre hinweg sehr inkonsistent. In Abschnitt 8.2 wurden die Einflüsse ökophysiologischer Faktoren wie Wetterbedingungen und Bodenzusammensetzung sowie der Einfluss landwirtschaftlicher Praxis auf die drei untersuchten Qualitätsparameter umfangreich diskutiert. Insbesondere der Proteingehalt und die TI-Aktivität werden mit äußeren Einflussfaktoren wie Niederschlag und Bodenzusammensetzung in Verbindung gebracht. Weiterhin ist an dieser Stelle wichtig zu erwähnen, dass der gesamte pflanzliche *N*-Stoffwechsel durch umgebende Umwelteinflüsse - insbesondere durch alternierende Wetterbedingungen - bestimmt wird. Dies zeigt sich auch in der Literatur. Beispielsweise wird die Globulin-Albumin-Zusammensetzung in Leguminosen durch externe Faktoren beeinflusst (Boulter und Croy, 1997, Alghamdi, 2009, Mertens et al., 2012). An dieser Stelle ist die Studie von Alghamdi (2009) zu nennen, der für die beiden Speicherproteine Albumin und Globulin zeigte, dass diese unter Wasserstressbedingungen abnahmen. Auch der von Knöllchenbakterien induzierte Nitrifikationsprozess sowie die damit verbundene pflanzliche *N*-Assimilation wird laut Literatur durch hohe Temperaturen und Wasserstress gehemmt (Aranjuelo et al., 2007, Bellaloui, 2011, Bellaloui et al., 2011). Die Ergebnisse aus der Literatur zeigen noch einmal deutlich auf, dass der gesamte *N*-Stoffwechsel der hier untersuchten Erbsen- und Bohnenproben durch alternierende Wetterbedingungen über die drei Untersuchungszeiträume vermutlich beeinflusst wurde und dies sich somit auch auf den Gesamtproteingehalt und die TI-Aktivität der Erbsen- und Bohnenproben auswirkt. Auch für den Tanningehalt konnten in der vorliegenden Arbeit zum Teil Zusammenhänge mit ökophysiologischen Faktoren (wie z.B. mit der Bodenzusammensetzung) hergestellt werden. In der Literatur wird die pflanzliche Tannin-Synthese auch oft mit der Dauer der Photoperiode (Kraus et al., 2003) und mit variierenden Wetterbedingungen in Verbindung gebracht (Fales, 1984, Lees et al., 1994, Makkar und Becker, 1998, Oluwatosin, 1999, Gebrehiwot et al., 2002, Kouki und Manetas, 2002, Monteiro et al., 2006, Rebey et al., 2012). Basierend auf den aktuellen Ergebnissen und den Ergebnissen der aufgeführten Literatur können die alternierenden Wetter- und Standortbedingungen in den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018 ein

möglicher Grund für die uneinheitlichen Korrelationen zwischen der TI-Aktivität und dem Tanningehalt sowie zwischen dem Proteingehalt und der TI-Aktivität sein. Weiterhin wird die Synthese von TI und Tanninen in Pflanzen auch durch Fraßfeinde (wie z.B. durch Insekten und Herbivoren) stimuliert. Es wurde in der Literatur bereits belegt, dass die TI-Aktivität und der Tanningehalt sich in Pflanzen beispielsweise durch Insektenschäden erhöht (Jongsma et al., 1994, Barbehenn und Constabel, 2011). Hinzu kommt, dass die Erbsen- und Bohnenstichprobe sehr heterogen, d.h. eine variierende Stichprobenanzahl und Unterschiede in der Stichprobenzusammensetzung (z.B. unterschiedliche Sorten, Sommer- vs. Winteranbau), über die Untersuchungszeiträume zusammengestellt wurden. In Abschnitt 8.1 wurde auch der Einfluss genetischer Faktoren auf die drei Qualitätsparameter umfassend diskutiert und gezeigt, dass der Genotyp ebenfalls einen Sub-Einfluss auf die drei untersuchten Inhaltsstoffparameter hat. Auch in der Literatur konnte bereits der Einfluss durch genetische Faktoren auf den Proteingehalt, die TI-Aktivität und den Tanningehalt mehrfach belegt werden (Griffiths, 1984, Makkar et al., 1997, Guillamon et al., 2008, Alghamdi, 2009, Schumacher et al., 2011). Die heterogene Zusammensetzung der Stichproben könnte ebenfalls einen möglichen Erklärungsansatz liefern, warum die Ergebnisse keine konsistent positiven oder negativen Zusammenhänge über alle drei Untersuchungszeiträume hinweg zeigten. Die bisherige Studienlage sowie die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen deutlich auf, dass die chemische Zusammensetzung von Leguminosen sehr stark durch verschiedene intrinsische und extrinsische Faktoren beeinflusst wird. Aus diesem Grund erscheint die Anwendung der drei aufgeführten Pflanzenhypothesen zur Erklärung des korrelativen Zusammenhanges zwischen Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt in Erbsen und Ackerbohnen als bedingt zu empfehlen.

9 Schlussfolgerung

In der vorliegenden Arbeit wurde gezeigt, dass die inhaltsstoffliche Zusammensetzung von Erbsen und Ackerbohnen durch intrinsische, aber auch durch extrinsische Faktoren beeinflusst wird. Vor allem genetische Faktoren können genutzt werden, um die Inhaltsstoffzusammensetzung vorherzusagen und darauf basierend eine fundierte Qualitätsbewertung durchzuführen. Ackerbohnen können aufgrund des höheren Proteingehaltes als nutritiv höher im Vergleich zu Erbsen eingestuft werden. Ferner ergab die selektive Auswertung der Erbsen, dass Wintererbsen sich zwar durch einen höheren Proteingehalt auszeichnen, gleichzeitig aber auch eine höhere TI-Aktivität aufweisen. Anders als beim Vergleich zwischen Erbsen und Ackerbohnen ist es an dieser Stelle etwas schwerer eine Qualitätsbewertung mit Hilfe des Anbauzeitraumes durchzuführen. Eine hohe TI-Aktivität kann den nutritiven positiven Effekt des hohen Proteingehaltes in Wintererbsen aufgrund der Auswirkungen auf die Verdaulichkeit von Nahrungsproteinen aufheben. Sommererbsen wiesen zwar einen durchschnittlich niedrigeren Proteingehalt auf, doch durch die signifikant niedrigere TI-Aktivität wird vermutlich die Verdauung von aufgenommenen Nahrungsproteinen weniger beeinflusst. Allerdings ist an dieser Stelle wichtig zu erwähnen, dass die TI-Gehalte von Sommer- und Wintererbsen abseits der empfohlenen Grenzgehalte für die Tierfütterung bei Schweinen sind (Abschnitt 4.2.2). Weiterhin sind Grenzwerte von Nutztier zu Nutztier unterschiedlich und müssen für jede Tierart neu bewertet werden. Auf Grundlage dieser Ergebnisse ist es deshalb nur bedingt möglich allgemeine Empfehlungen für die Tierernährung abzuleiten, da auch die gemessenen Proteinwerte von Sommer- und Wintererbsen trotz der signifikanten Unterschiede sich relativ ähnlich sind. Ein experimenteller Fütterungsversuch mit Sommer- und Wintererbsen, durchgeführt mit verschiedenen Nutztierarten, würde hier vermutlich zu aussagekräftigeren Ableitungen und Empfehlungen führen. Die proteinreichen Wintererbsen eignen sich entsprechend mehr für den Humanernährungssektor, da die antinutritiven Eigenschaften von TI durch verarbeitende Prozesse eine eher untergeordnete Relevanz aufweisen. Ferner können TI eine zusätzliche Quelle für schwefelhaltige Aminosäuren in der Humanernährung darstellen. Auch werden TI aus Leguminosen mit einer antiproliferativen Wirkung assoziiert. Der Tanningehalt von Erbsen und Bohnen wird vornehmlich mit sortencharakteristischen Merkmalen wie der Blütenfarbe und weniger mit der Spezies und dem Anbauzeitraum assoziiert. Buntblühende Sorten weisen höhere Tanningehalte als weißblühende Sorten auf, weswegen sich buntblühende Sorten vor allem aus Sicht der Tierernährung durch einen geringeren nutritiven Wert als weißblühende Sorten auszeichnen. Heutzutage werden Tannine aber auch ein breitgefächertes positives

Wirkungsspektrum, wie z.B. eine antioxidative, antibakterielle und antiproliferative Wirkung, nachgesagt. Für den Proteingehalt und die TI-Aktivität konnten hingegen keine Sorteneffekte oder zusammenhängenden phänotypischen Merkmale festgestellt werden. Zudem zeigt die vorliegende Arbeit, dass Umweltfaktoren ebenfalls Einfluss auf die untersuchten Inhaltsstoffe nehmen. An dieser Stelle muss allerdings hinzugefügt werden, dass es dennoch eine große Herausforderung darstellt, die inhaltsstoffliche Zusammensetzung von real angebauten Erbsen- und Bohnenproben durch einzelne spezifische Umweltfaktoren vorhersagen zu können und darauf basierend eine aussagekräftige Qualitätsbeurteilung für die Tier- und Humanernährung durchzuführen, da sich in Summe die einzelnen Einflussfaktoren kumulieren, limitieren oder sogar aufheben. In der aktuellen Arbeit wurde deutlich, dass die agronomische Praxis, hier insbesondere die Anbaubedingungen (konventionell vs. ökologisch), sowie der Einsatz von Pestiziden einen Teileffekt auf den Proteingehalt und die TI-Aktivität hatten. Ökologisch angebaute Bohnen tendierten teilweise zu höheren Proteingehalten als die konventionellen Varianten. Für Sommererbsen konnte hingegen kein unmittelbarer Einfluss auf den Proteingehalt durch Anbaubedingungen ermittelt werden. Dennoch neigten ökologische Erbsen zu niedrigeren TI-Gehalten. Die Ergebnisse konnten jedoch nicht mit einer direkten Signifikanz belegt werden. Auf Grundlage der vorliegenden Auswertung ist es dennoch schwer ökologisch angebauten Erbsen und Bohnen in Hinblick auf den Proteingehalt und die TI-Aktivität einen höheren nutritiven Wert zu zusprechen. Auch konnten die Anbaubedingungen nicht herangezogen werden, um die Tanningehalte in buntblühenden Varianten einzuordnen. Aufgrund der Funktion als pflanzlicher Abwehrstoff wurde davon ausgegangen, dass die TI-Aktivität und Tanningehalte in ökologisch angebauten Erbsen und Bohnen doch deutlich höher als im konventionellen Anbau sind. Dennoch zeigten die Ergebnisse Tendenzen auf, dass ökologisch angebaute Erbsen und Bohnen insbesondere für die Tierernährung, aber auch für den Lebensmittelbereich als vermutlich nutritiv höher als der konventionelle Anbau bewertet werden können. Dennoch sind an dieser Stelle weitere Beobachtungen und Untersuchungen notwendig, um eine genauere Aussage treffen zu können. Um statistisch signifikantere Ergebnisse zu erlangen wird empfohlen, eine homogenere Stichprobe (z.B. gleiche Anzahl an konventionellen und ökologischen Proben, gleiche Sorten, gleicher Standort) von konventionellen und ökologischen Erbsen und Bohnen auszuwählen, um den Einfluss intrinsischer und extrinsischer Faktoren möglichst gering zu halten. Somit könnte der genaue Einfluss von konventionellen und ökologischen Anbaubedingungen in real angebauten Erbsen und Ackerbohnen bestimmt werden. Jahresabhängige Wetterbedingungen hatten ebenso einen Effekt auf die hier untersuchten Inhaltsstoffe von Erbsen und Ackerbohnen. Die vorliegenden Ergebnisse

weisen darauf hin, dass variierende Temperaturen und Niederschlagsbedingungen die Inhaltsstoffzusammensetzung der beiden Körnerleguminosen beeinflussen. Das wärmere und niederschlagsärmere Anbaujahr 2018 zeichnete sich durch höhere Proteingehalte und durch höhere TI-Gehalte als das kühlere und niederschlagsreichere Anbaujahr 2016 aus. Zudem konnten im Anbaujahr 2018 niedrigere Tanningehalte in Bohnen im Vergleich zu 2016 ermittelt werden. Den aktuellen Ergebnissen kann entnommen werden, dass jährliche Temperatur- und Niederschlagsvarianzen herangezogen werden können, um die inhaltsstoffliche Qualität von Erbsen und Bohnen vorhersagen und bewerten zu können. Auf den jahresabhängigen Temperatur- und Niederschlagsdaten basierend kann folglich eine entsprechende Qualitätsbewertung beider Körnerleguminosen durchgeführt werden. Auch zeigten die korrelativen Auswertungen der meteorologischen Daten punktuell, dass variierende Wetterbedingungen Einfluss auf die inhaltsstoffliche Zusammensetzung (insbesondere auf den Proteingehalt und die TI-Aktivität) von Erbsen und Ackerbohnen haben. Die hiesigen Ergebnisse zeigten, dass vor allem unter warmen und niederschlagsarmen Bedingungen die Proteingehalte eher ansteigen. Auch für die TI-Aktivität konnte gezeigt werden, dass diese punktuell unter wärmeren Wetterbedingungen ansteigt. Dahingegen zeichnete sich in der Auswertung zwischen dem Durchschnittsniederschlag und der TI-Aktivität kein einheitlicher Trend ab. Zudem konnte kein aussagekräftiger Effekt innerhalb der korrelativen Auswertung zwischen den Temperatur- und Niederschlagsdaten und dem Tanningehalt beobachtet werden. Die beobachtete Inkonsistenz der vorliegenden Ergebnisse innerhalb der korrelativen Auswertung zwischen den Wetterdaten und der untersuchten Qualitätsparameter (insbesondere Proteingehalt und TI-Aktivität) ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass die hier untersuchten Erbsen und Ackerbohnen unter realen Bedingungen angebaut wurden und neben Wetter auch weitere extrinsische Faktoren die inhaltsstoffliche Zusammensetzung dieser beiden Körnerleguminosen beeinflussen. Nichtsdestotrotz kann dieses Wissen von Landwirten und auch von industriellen Abnehmern als grober Leitfaden genutzt werden, um die Quantität der hier untersuchten Qualitätsparameter grob vorhersagen zu können. Andeutungsweise lassen die aktuellen Ergebnisse vermuten, dass Erbsen und Bohnen, die unter wärmeren und niederschlagsarmen Bedingungen angebaut wurden als qualitativ höher eingeordnet werden können. Wie in den Ergebnissen bei der Auswertung der Jahresunterschiede gezeigt werden konnte, ist die TI-Aktivität unter wärmeren und niederschlagsarmen Bedingungen zwar hoch, gleichzeitig sind aber auch die Proteingehalte erhöht und die Tanningehalte niedrig. Durch das Abschätzen der inhaltsstofflichen Zusammensetzung anhand von Niederschlagsdaten können beispielsweise unter kühlen und niederschlagsreichen

Bedingungen die Proteingehalte in Erbsen und Bohnen durch landwirtschaftliche Maßnahmen wie durch zusätzliche N-Düngung erhöht und der nutritive Wert gesteigert werden. Bei Erbsen und Bohnen, die während warmen und ariden Bedingungen kultiviert worden und herangewachsen sind, kann durch spezielle Behandlungsmethoden, wie z.B. durch Erhitzen und Extrusion, die TI-Aktivität reduziert und der ernährungsphysiologische Wert dieser beiden Leguminosen vor allem im Bereich der Tierfütterung gesteigert werden.

Ferner konnte gezeigt werden, dass in nährstoffreichen Schluffböden angebaute Erbsen und Bohnen tendenziell zu höheren Proteingehalten, TI-Aktivitäten und Tanningehalten neigen. Zudem konnte innerhalb der korrelativen Auswertung des Tanningehaltes beobachtet werden, dass der Tanningehalt mit dem Tongehalt im Boden teilweise ebenfalls zunahm. Dahingegen zeigten Erbsen und Bohnen auf nährstoffarmen Sandböden niedrigere Protein-, TI- und Tanningehalte auf. Diese Erkenntnis kann ebenfalls in der Agrarwirtschaft und in der lebensmittelverarbeitenden Industrie genutzt werden, um die Inhaltsstoffe anhand der Bodenzusammensetzung in beiden Körnerleguminosen quantitativ grob abschätzen zu können und um die nutritive Qualität von Erbsen und Bohnen einordnen zu können. Eine aussagekräftige Qualitätsbewertung für den Futtermittel- und Lebensmittelbereich ist an dieser Stelle nahezu unmöglich zu realisieren, da hier die Quantität der untersuchten nutritiven und antinutritiven Parameter nicht korrelieren. Allerdings können durch die quantitative Voreinschätzung der Inhaltsstoffe anhand der Bodenzusammensetzung auch hier geeignete Vorbehandlungsmaßnahmen angewendet werden (z.B. durch Anwendung von Druck und Hitze), um die hohen ANF-Gehalte von Erbsen und Bohnen, welche in schluff- und tonhaltigen Böden angebauten worden sind, zu reduzieren. Auf sehr sandigen Böden angebaute Erbsen und Bohnen können als nutritiv niedriger eingestuft werden, da hier landwirtschaftliche Maßnahmen wie z.B. Düngung vermutlich nur geringe Effekte auf die inhaltsstoffliche Zusammensetzung aufgrund der schlechteren Nährstoffspeicherung erzielen.

Zur Qualitätsbeurteilung der inhaltsstofflichen Zusammensetzung kann zum Teil auch das Tausendkorngewicht herangezogen werden. Im Anbaujahr 2018 konnte nachgewiesen werden, dass große Erbsen zum Teil zu einer geringeren TI-Aktivität als kleine Erbsen neigten. Weiterhin zeigten große Bohnen geringere Tanningehalte als kleine Ackerbohnen. Insbesondere bei der korrelativen Auswertung zwischen dem Korngewicht und dem Tanningehalt konnte ein starker negativer Zusammenhang ermittelt werden. Auf Grundlage dieser Ergebnisse kann angenommen werden, dass große Erbsen und Ackerbohnen sich aufgrund der geringeren ANF-Gehalte möglicherweise eher für die Tierernährung eignen. Weiterhin kann angenommen

werden, dass aufgrund der stark negativen Korrelation proteinreiche Bohnen geringe Tanningehalte aufweisen und folglich als nutritiv höherwertig zu bewerten sind. Dieses Wissen ist insbesondere für die Tierfütterung relevant, um die Tierfutterakzeptanz sowie Wachstums-, Leistungs- und Fleischqualitätsparameter zu optimieren. In der Humanernährung spielen die TI-Aktivität und die Tanningehalte durch die industrielle Verarbeitung eher eine untergeordnete Rolle. Die aktuellen Ergebnisse zeigen auch, dass die CNBH, GDBH und PCM nicht unangefochten zur inhaltsstofflichen Qualitätsbeurteilung von Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt in Erbsen und Ackerbohnen herangezogen werden können.

Dennoch ist bei den vorliegenden Ergebnissen zu berücksichtigen, dass unter realen, nicht-definierten Kultivierungsbedingungen gleichzeitig viele verschiedene Umweltfaktoren eine Rolle spielen, die die Zusammensetzung gewisser Inhaltsstoffe in Erbsen und Bohnen fördern oder limitieren. Deshalb gestaltet sich die Ausarbeitung und Herausgabe von Empfehlungen zur Qualitätsbeurteilung von Erbsen und Bohnen für Landwirte und auch für Abnehmer in der lebensmittelverarbeitenden Industrie zum Teil als nur bedingt umsetzbar. Die hier aufgeführten Ergebnisse dienen ausschließlich als Orientierungslinie zur groben Einordnung der inhaltsstofflichen Zusammensetzung von Erbsen und Ackerbohnen anhand der untersuchten intrinsischen und extrinsischen Faktoren. Um den genauen Einfluss wie etwa des Anbaus, Klimas und Bodens zu verstehen, wird empfohlen eine homogenere Stichprobe an Erbsen- und Bohnensorten auszuwählen. So kann gewährleistet werden, dass die genetische Komponente ausgeschlossen ist. Darüber hinaus spielen bei der nutritiven Qualitätsbewertung von Erbsen und Ackerbohnen noch weitere wertgebende Inhaltsstoffe, wie z.B. der Stärke- und Ballaststoffgehalt, sowie die Aminosäurezusammensetzung, eine relevante Rolle. Die Quantität weiterer ANF wie Saponine, Phytinsäure und Lektine sind ebenfalls wichtige Qualitätsparameter um den nutritiven Wert von Erbsen und Ackerbohnen insbesondere im Futtermittelbereich bewerten zu können. Darüber hinaus besitzen TI und Tannine heutzutage nicht nur den Status als Antinutritiva. Beiden Pflanzenstoffen werden neben ihrer verdauungsstörenden Wirkung auch gesundheitlich-pharmazeutisch positive Effekte nachgesagt, die in der Qualitätsbewertung von Erbsen und Ackerbohnen für die Tier- und Humanernährung auch berücksichtigt werden müssten.

Abschließend kann zusammengefasst werden, dass die vorliegende Arbeit wertvolle Impulse gibt, um den Erzeugern von Erbsen und Ackerbohnen einerseits eine fundierte Orientierungshilfe in der Hinsicht zu geben, ob sich beide Körnerleguminosen für die Tierfütterung eignen. Wie bereits erwähnt, sind hier vor allem hohe Proteingehalte sowie niedrige TI- und Tanningehalte in Erbsen und Bohnen wichtig, um Leistungs-, Wachstums- und Qualitätseinbußen bei landwirtschaftlichen Nutztieren zu minimieren.

Andererseits bietet die aktuelle Arbeit ebenfalls Informationen für den Abnehmer, um die Qualität von Erbsen und Bohnen einordnen zu können. Für die Humanernährung sind insbesondere hohe Proteingehalte und deren Zusammensetzung relevant. Wie bereits mehrmals erwähnt spielen ANF, wie TI und Tannine, hingegen eine eher untergeordnete Rolle für den Lebensmittelbereich, da diese während der Verarbeitung zum Großteil reduziert bzw. inaktiviert werden und die Verdauung von Nahrungsproteinen nicht mehr limitieren und lediglich ihr positives Wirkungsspektrum relevant ist.

10 Experimenteller Teil

10.1 Materialien

10.1.1 Chemikalien, Geräte und Verbrauchsmaterialien

Alle verwendeten Chemikalien, Geräte, Verbrauchsmaterialien und Softwares sind in Anhang 9.1 in Tabelle 7 bis 10 aufgeführt.

10.1.2 Probenmaterial

Das für diese Arbeit verwendete Probenmaterial an Erbsen und Ackerbohnen wurde durch das Projekt „Demonstrationsnetzwerk Erbse & Bohne“ (DemoNetEr&Bo) bereitgestellt. Die vollständige Auflistung der Proben ist auf dem beigefügten USB-Stick im Ordner „*Gesamtliste*“ aufgeführt. Die realen Erbsen- und Bohnenproben stammen von 75 landwirtschaftlichen und verarbeitenden Demonstrationsbetrieben aus zehn Bundesländern in Deutschland. Innerhalb der Anbaujahre 2016, 2017 und 2018 wurden insgesamt 203 Erbsen und 162 Ackerbohnen untersucht (Abbildung 66). Die gesamten Erbsen und Ackerbohnen wurden quantitativ auf ihren Proteingehalt, ihre TI-Aktivität und ihren Tanningehalt hin untersucht. Zusätzlich wurde das Tausendkorngewicht des gesamten Probenmaterials gravimetrisch bestimmt.

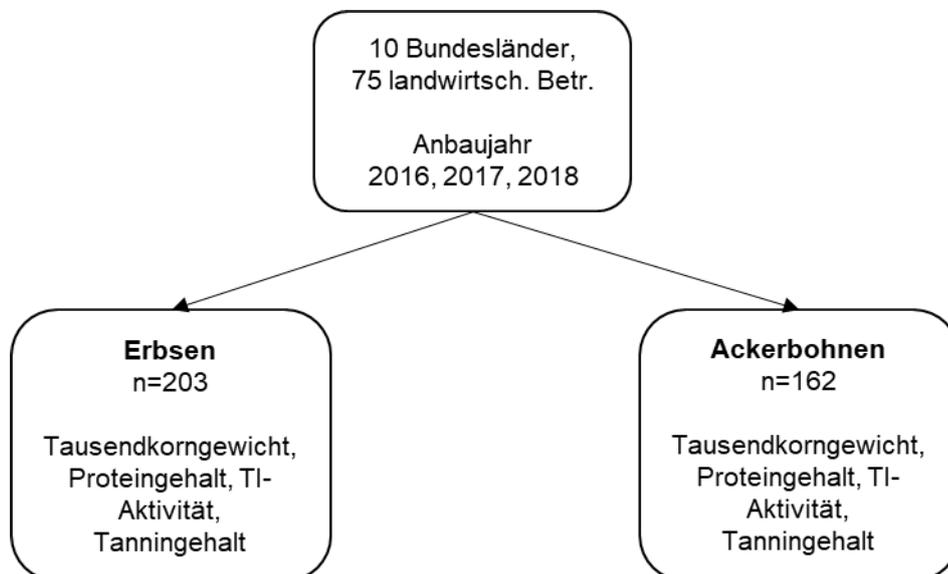


Abbildung 66: Übersicht über die verwendeten Qualitätsparameter mit Einteilung dazugehöriger Stichproben

Auswertung auf signifikante Unterschiede zwischen den Inhaltsstoffen und Anbaujahr, Sommer- und Winteranbau sowie Anbaubedingungen

Die einzelnen Qualitätsparameter wurden mit Hilfe eines beschreibenden Datensets mit Anbaujahr, Sommer- und Winteranbau, in Bezug auf konventionellen und ökologischen Anbau, sowie Fungizid- und Insektizideinsatz statistisch analysiert. Die statistische Auswertung zwischen Sommer- und Winteranbau erfolgte nur mit Erbsen, weil der Stichprobenumfang von Winterbohnen über die gesamten Anbaujahre zu gering ($n = 1$) war. Die statistische Auswertung der Anbaubedingungen, wie konventioneller und ökologischer Anbau, sowie Anbau mit Fungizid- und Insektizideinsatz, wurde weiterhin auf Jahreseffekte innerhalb der Erbsen- und Bohnenstichprobe untersucht. Um den Einflussfaktor des Anbauzeitraumes ausschließen zu können, wurde die Erbsenstichprobe zusätzlich in Bezug auf Sommeranbau unterschieden und ebenfalls statistisch analysiert. Die Auswertung mit Wintererbsen konnte in diesem Zusammenhang nicht durchgeführt werden, weil die Stichprobe der konventionell angebauten Wintererbsen ($n = 1$) insgesamt zu gering war, um eine signifikant fundierte Aussage treffen zu können. Die Auswertung der Tannindaten erfolgte hier nur mit buntblühenden Ackerbohnen, da der Stichprobenumfang für buntblühende Erbsen ($n = 11$) auch hier zu gering war. Die Häufigkeiten der Erbsen und Ackerbohnen zu den jeweiligen beschreibenden Daten sind in Anhang 9.5 und in Tabelle 19 bis 27 aufgeführt.

Sortenauswertung auf signifikante Unterschiede

Die inhaltsstofflichen Parameter wurden auf einen Sorteneffekt untersucht. Für die Sortenauswertung der einzelnen Qualitätsparameter wurden Erbsensorten mit einem Stichprobenumfang $n \geq 10$ und Bohnensorten mit einem Stichprobenumfang $n \geq 8$ betrachtet. Auf Jahreseffekte wurden die Erbsen- und Bohnenstichprobe aufgrund des zu kleinen Stichprobenumfanges innerhalb der Sortenauswertung nicht untersucht. Die hierfür ausgewählten Erbsen- und Bohnensorten und deren Häufigkeit über die insgesamt drei untersuchten Anbaujahre sind im Anhang 9.5 in Tabelle 20 und 21 aufgeführt.

Korrelative Auswertung der meteorologischen und morphologischen Faktoren

Die untersuchten Qualitätsparameter wurden ferner nach ökophysiologischen Faktoren wie Temperatur, Niederschlag und Bodenarten (wie Sand, Schluff und Ton) korrelativ ausgewertet. Die Temperatur- und Niederschlagswerte ausgewählter Standorte über die drei Anbaujahre hinweg sind vom *Deutschen Wetterdienst* (Offenbach, Deutschland), eine nationale Bundesbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, bereitgestellt worden. Die Zuordnung der Wetterdaten

zu den einzelnen Standorten erfolgte durch geografische Standortkoordinaten, die von den teilnehmenden Demonstrationsbetrieben dokumentiert wurden. Die bereitgestellten Temperatur- und Niederschlagsdaten beziehen sich auf den gesamten Vegetationszeitraum (d.h. vom Zeitpunkt des Saattermins bis hin zum Erntetermin) und wurden zu einem Mittelwert zusammengefasst. Die errechneten durchschnittlichen Temperatur- (in °C) und Niederschlagsdaten (in mm) wurden schlussendlich zur korrelativen Auswertung mit den drei Qualitätsparametern verwendet. Die prozentuale Bodenzusammensetzung von Sand, Schluff und Ton zu den einzelnen Standorten über die drei Anbaujahre wurde mit Hilfe der Schlämmanalyse nach DIN ISO 11277:2002-08 bestimmt. Im Abschnitt 10.2.7 ist die Bestimmung der Bodenzusammensetzung umfassend aufgeführt. Auch hier wurden in den Auswertungen Jahreseffekte sowie der Einfluss des Anbauzeitraumes bei Erbsen (Sommer- vs. Winteranbau) berücksichtigt. Wie bereits bei der Auswertung der beschreibenden Daten - Anbaubedingungen, Fungizid- und Insektizideinsatz - wurde die korrelative Auswertung des Tanningehaltes und der ökophysiologischen Faktoren nur mit buntblühenden Bohnen durchgeführt. Der Stichprobenumfang der buntblühenden Erbsen war auch hier zu gering (n = 11) um eine aussagekräftige Bewertung der Daten durchzuführen. Der Stichprobenumfang und die deskriptive Statistik zu den Wetter- und Bodendaten über die drei Anbaujahre hinweg sind in Anhang 9.6 und in Tabelle 28 bis 32 aufgeführt.

Korrelative Auswertung der inhaltsstofflichen Daten

Zudem wurden die einzelnen Qualitätsparameter miteinander in Beziehung gesetzt und auf Zusammenhänge hin untersucht. Die korrelative Auswertung des Tanningehaltes und der anderen Qualitätsparameter wurde ausschließlich mit buntblühenden Ackerbohnen durchgeführt, da der Stichprobenumfang buntblühender Erbsen (n = 11) auch hier nicht umfangreich genug für eine aussagekräftige statistische Analyse war. Innerhalb der Auswertung wurden ebenfalls Jahreseffekte und der Einfluss des Anbauzeitraumes bei Erbsen (Sommer- vs. Winteranbau) berücksichtigt.

10.2 Methoden

10.2.1 Probenaufarbeitung

Das Probenmaterial wurde mittels einer Analysenmühle A11 basic (Partikelgröße > 1 mm, IKA®-Werke GmbH & Co. KG, Staufen, Deutschland) zu einem feinen Mehl verarbeitet. Das Homogenisat wurde für die späteren Analysen in einem 50 mL Probenröhrchen bei Raumtemperatur aufbewahrt.

10.2.2 Bestimmung der Trockenmasse

Die Trockenmasse (TM) wurde mittels des Feuchtebestimmers HR73 (Mettler Toledo International Inc., Columbus, Ohio, USA) über den prozentualen Feuchtegehalt bestimmt. Es wurden hierbei ca. $2 \text{ g} \pm 0,2 \text{ g}$ des gemahlten Probenmaterials auf eine Aluminium Probenschale eingewogen. Die Temperatur wurde auf $150 \text{ }^\circ\text{C}$ bis Minute 3:30 hochgeheizt. Anschließend wurde die Temperatur auf $110 \text{ }^\circ\text{C}$ herunter temperiert und konstant gehalten, bis der Feuchtegehalt bestimmt wurde. Die Dauer der Messung war abhängig von dem Feuchtegehalt der Probe und konnte bis zu 10 min dauern. Anhand des prozentualen Feuchtegehaltes konnte die Trockenmasse (%) ermittelt werden (Gleichung 1).

$$TM [\%] = 100 \% - F [\%] \quad (1)$$

$TM [\%]$	Trockenmasse der Probe in %
$F [\%]$	Feuchtegehalt der Probe in %

Die TM wurde dazu verwendet um die gemessenen Qualitätsparameter wie Proteingehalt, Lipidgehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt auf eine TM von 86 % herunter zu kalkulieren. Der Wert 86% TM für die einzelnen Qualitätsparameter ergibt sich daraus, dass im agrarwirtschaftlichen Bereich Körnerleguminosen erst ab 14 % Wassergehalt lagerfähig sind. Die auf 86 % runtergerechneten TM-Werte der Qualitätsparameter wurden für die statistische Analyse genutzt. Die TM aller Proben befindet sich auf dem beigefügten USB-Stick im Ordner „Trockenmasse“. Die TM sind auf dem USB-Stick im Ordner „Gesamtliste“ aufgeführt. Die auf 86 % berechneten TM-Werte wurden für die weitere statistische Auswertung verwendet.

10.2.3 Bestimmung des Tausendkorngewichtes

Das Tausendkorngewicht (TKW) (manchmal auch Hundertkorngewicht) ist eine Qualitätskenngröße im Getreide- und Leguminosenanbau und wird durch die DIN EN ISO 520:2011-03 folgendermaßen definiert: Das TKW ist das Gewicht von 1000 Samenkörnern einer Körnerkultur und wird in der Einheit *g* angegeben. Das TKW des Probenmaterials wurde nach die DIN EN ISO 520:2011-03 ausgewogen. Das TKW aller Erbsen und Bohnen ist auf dem beigefügten USB-Stick im Ordner „Gesamtliste“ aufgeführt.

10.2.4 Proteinbestimmung nach KJELDAHL

Der Rohproteingehalt der Erbsen- und Bohnenproben wurden nach Methode AOAC 992.23-1992 (1998) quantitativ analysiert. Die Stickstoffbestimmung nach KJELDAHL ist eine quantitative Methode zur Bestimmung organischen Stickstoffes in Lebensmitteln. Die Methode nach KJELDAHL ist nicht spezifisch für die Quantifizierung von Proteinen und Aminosäuren. Es werden neben Proteinstrukturen auch andere stickstoffhaltige Substanzen erfasst. Der Anteil an stickstoffhaltigen Nichtproteinverbindungen ist in Lebensmitteln allerdings gering und entsprechend vernachlässigbar. Die Methode nach KJELDAHL liefert somit ein hinreichend sicheres Ergebnis für den Gesamtproteingehalt. Der Proteingehalt wird hierbei indirekt über einen spezifischen Umrechnungsfaktor bestimmt.

Es wurden 0,5 g bis 1,5 g Probenmaterial, abhängig von der Proteinkonzentration, in einen KJELDAHL-Kolben sorgfältig eingewogen und mit 20 ml Schwefelsäure ($\geq 96\%$) in einer Aufschlusseinheit SpeedDigester K-425 (Büchi Labortechnik GmbH, Essen, Deutschland) bei $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ für 3,5 Stunden aufgeschlossen. Als Katalysator wurden KJELDAHL-Tabletten TCT verwendet. Anschließend wurden zu den Proben in einem Wasserdampfdestillationsgerät K-355 (Büchi Labortechnik GmbH, Essen, Deutschland) 75 mL destilliertes Wasser und 75 mL Natronlauge (33 %, w/v) zu dosiert. Es wurde eine Wasserdampfdestillation (5 min bei 75 % Dampfdruck) durchgeführt. Das Destillat wurde in eine Borsäurevorlage 50 mL (4 %, w/v) überführt. Als Indikator wurden 50 μL des Tashiro-Indikators verwendet. Die Säurevorlage wurde mittels einer Salzsäure-Maßlösung (0,1 N, v/v) bis grau titriert.

Anhand der Probeneinwaage (*g*), der verbrauchten Maßlösung (*mL*) im Blind- und Hauptversuch und mittels eines Umrechnungsfaktor von 6,25 konnte der Proteingehalt *P* (%) in den untersuchten Erbsen und Bohnen berechnet werden (Gleichung 2).

$$P [\%] = \frac{(a - b) \times 1,4008 \times F}{EW_{Probe} \times 10} \quad (2)$$

P [%]	Proteingehalt in %
a	Verbrauch an Salzsäure-Maßlösung (0,1 mL/L) im Hauptversuch in mL
b	Verbrauch an Salzsäure-Maßlösung (0,1 mL/L) im Blindversuch in mL
F	Umrechnungsfaktor zur Berechnung des Proteingehaltes, hier 6,25
EW	Probeneinwaage in g
1,4008	1 mL Salzsäure-Maßlösung (0,1 mL/L) entspricht 1,4008 Stickstoff

Um auf das Protein rückrechnen zu können bedarf es Umrechnungsfaktoren, die vom Stickstoffgehalt der Einzelproteine abhängen (Aminosäurezusammensetzung und -anzahl) und die sich von Lebensmittel zu Lebensmittel unterscheiden können. Ein Standardprotein enthält 16 % Stickstoff, so dass der Faktor 6,25 immer dann benutzt wird, wenn es keine anderen Vorgaben gibt. Für die vorliegende Arbeit wurde der proteinspezifische Faktor von 6,25 nach Matissek et al. (2014) für die allgemeine Berechnung des Proteingehaltes in Lebensmitteln angewendet. Die Angabe des Proteingehaltes erfolgte schlussendlich in g/100g.

Die Proteingehalte aller Proben befinden sich auf dem beigefügten USB-Stick im Ordner „*Proteingehalte*“. Weiterhin sind die Proteingehalte auf dem beigefügten USB-Stick im Ordner „*Gesamtliste*“ wiederzufinden.

10.2.5 Extraktion der Trypsininhibitoren und Bestimmung der TI-Aktivität

Zur Bestimmung der TI-Aktivität wurde eine modifizierte Methode in Anlehnung an Kakade (1974) angewendet. Bei der photometrischen Methode handelt es sich um eine indirekte Bestimmung der TI-Aktivität, da die Restaktivität des Enzyms Trypsin, welches nicht durch die Trypsininhibitoren in der Probe inhibiert wurden, bestimmt wird. Trypsin reagiert mit BAPNA zu *p*-Nitroanilin, welches bei einer Wellenlänge von 410 nm spektroskopisch gemessen werden kann.

In dieser Arbeit wurden 20 mg/mL des gemahlene Probenmaterials in Natronlauge (0,01 M, w/v) für 30 min bei Raumtemperatur extrahiert. Das Extrakt wurde anschließend zentrifugiert (10 min/10.000 rpm/4 °C). Der Überstand wurde abgenommen und im Kühlschrank (4 °C/24 h) bis zur weiteren Analyse aufbewahrt.

Die Messung der TI-Aktivität erfolgte über die Gen5 Software (Version 2.00.18, BioTek, Winooski, Vermont, USA) an einem UV/Vis-Plattenlesegerät HT Synergy (BioTek, Winooski, Vermont, USA). Das Pipettierschema für die 96-Well-Platte ist in Anhang 9.3.1 in Tabelle 12 zu finden. Die in die 96-Well-Platte pipettierten Proben wurden im Plattenlesegerät inkubiert (10 min/37 °C). Anschließend wurde 120 µL BAPNA in jedes Well der 96-Well-Platte hinzugefügt. Die 96-Well-Platte wurde abermals inkubiert (10 min/37 °C). Die Messung erfolgte bei 410 nm. Eine Trypsin-Einheit entsprach einer 0,01 Erhöhung der Extinktion bei 410 nm (Kakade, 1974). Die TI-Aktivität wurde in TIU/mg angegeben. Anhand der gemessenen Extinktionen konnte die TI-Aktivität indirekt berechnet werden. Die Berechnung der TI-Aktivität ist in Gleichung 3 und 4 aufgeführt.

$$\frac{TIU}{ml_{Probe}} = 100 \times \left[\frac{[(E_{TIA100\%} - E_{TIA\ Blank}) - (E_{TIA\ Probe} - E_{TIA\ Blank\ Probe})]}{V} \right] \quad (3)$$

$$\frac{TIU}{mg_{Probe}} = \frac{TIU}{ml_{Probe}} \times \frac{1\ ml}{EW_{Probe}} \quad (4)$$

$E_{TIA\ 100\%}$	Extinktion der gehemmten Trypsin-Aktivität zu 100 %
$E_{TIA\ Blank}$ 100 %	Extinktion des Blindwertes der gehemmten Trypsin-Aktivität zu 100 %
$E_{TIA\ Probe}$	Extinktion der gehemmten Trypsin-Aktivität in der Probe
$E_{TIA\ Blank\ Probe}$	Extinktion des Blindwertes der gehemmten Trypsin-Aktivität in der Probe
V	Probenvolumina in der 96-Well-Platte mL
EW_{Probe}	Probeneinwaage in mg

Die TI-Aktivität aller Proben befindet sich auf dem beigefügten USB-Stick im Ordner „*TI-Aktivität*“. Weiterhin ist die TI-Aktivität aller Proben auf dem beigefügten Stick im Ordner „*Gesamtliste*“ zu finden.

10.2.6 Extraktion und Bestimmung des Tanningehaltes

Zur Bestimmung des Tanningehaltes wurde in dieser Arbeit eine modifizierte Methode in Anlehnung an Price et al. (1978) angewendet. In dieser Arbeit wurden 0,5 g gemahlene Probenmaterial verwendet und in einer Schwefelsäurelösung gelöst in MeOH (1 %, v/v) extrahiert. Für Erbsen wurden 1,5 mL Lösungsmittel und für Ackerbohnen wurden 5 mL Lösungsmittel zur Extraktion verwendet. Die Extraktion erfolgte auf dem Thermomixer bei (30 min/600 U/min/50 °C). Anschließend wurde die

Suspension zentrifugiert (20 min/4000 rpm/4 °C). Der Überstand wurde abgenommen und bei 4 °C im Kühlschrank bis zur weiteren Analyse aufbewahrt. Vor Beginn der Analyse wurde die Vanillin-Lösung mit der HCl-Lösung (8 %, v/v) 1:1 verdünnt. Bis zur Analyse wurde die verdünnte Vanillin- und HCl-Lösung (4 %, v/v) im Wasserbad auf 30 °C erwärmt.

Die Messung des Tanningehaltes erfolgte über die Gen5 Software (Version 2.00.18, BioTek, Winooski, Vermont, USA) an einem UV/Vis-Plattenlesegerät HT Synergy (BioTek, Winooski, Vermont, USA). Das Pipettierschema für die 96-Well-Platte ist in Anhang 9.3.2 Tabelle 13 aufgeführt. Es wurden jeweils 40 µL Probe für die Blind- und Hauptmessung auf die 96-Well-Platte pipettiert. Als externer Standard wurde Catechin verwendet und die Ergebnisse als Catechin-Äquivalent (CE) festgehalten. Die Tanningehalte des Probenmaterials wurden mit Hilfe des externen Standards bekannter Konzentrationen mit Hilfe einer Kalibrierfunktion ausgewertet. Es wurde eine 6-Punkt-Kalibrierung durchgeführt und je Verdünnungsstufe wurden 40 µL Standard zu pipettiert. Die 96-Well-Platte mit Standard und Probe wurde im Plattenlesegerät inkubiert (5 min/30 °C). Anschließend wurde zum externen Standard 200 µL HCl-Lösung (4 %, v/v) und zum Hauptversuch wurden 200 µL Vanillin-Lösung hinzugefügt. Die 96-Well-Platte wurde im Plattenlesegerät inkubiert (20 min/30 °C). Die Messung erfolgte bei 500 nm. Die Tanningehalte der Erbsen- und Bohnenproben wurden in mg CE/g angegeben. Die ermittelten Nachweis- und Bestimmungsgrenzen für die Erbsen- und Bohnenproben sind in Anhang 9.4 aufgeführt.

Die Tanningehalte aller Proben befinden sich auf dem beigefügten USB-Stick im Ordner „*Tanningehalte*“. Weiterhin sind die Tanningehalte auf dem beigefügten USB-Stick im Ordner „*Gesamtliste*“ zu finden.

10.2.7 Bestimmung der Bodenzusammensetzung

Für die Bestimmung der prozentualen Bodenzusammensetzung wie Sand, Schluff und Ton wurden Bodenproben auf zwei Messparzellen mit 10 bis 20 m Abstand auf den jeweiligen Standorten entnommen. Die beiden Messparzellen wurden so gewählt, dass sie möglichst charakteristisch für den Schlag des Standortes sind. Für jede Messparzelle wurden mit Hilfe eines Bohrstocks auf einer 5m langen abgesteckten Feldlinie 20 cm tief mindestens zehn Bodenproben entnommen und anschließend vermischt. Für die Korngrößenanalyse wurden Bodenproben aus beiden Messparzellen gemischt und analysiert. Die Korngrößenanalyse wurde mit Hilfe der Schlämmanalyse nach DIN ISO 11277:2002-08 bestimmt. Nach der Schlämmanalyse wurden die prozentualen Sandanteile durch Sieben analysiert. Die prozentualen Schluff- und Tonanteile wurden durch Sedimentation bestimmt. Der Wertebereich der Partikelgrößen für Sand liegt hierbei

bei 0,063 bis 2 mm, für Schluff bei 0,002 bis 0,063 mm und für Ton < 0,002 mm. Die Daten zur prozentualen Bodenzusammensetzung sind auf dem beigefügten USB-Stick im Ordner „*Gesamtliste*“ zu finden.

10.2.8 Statistische Auswertung

Die Probandaten wurden im Rahmen einer deskriptiven Statistik nach Mittelwert, Standardabweichung, Minimum und Maximum ausgewertet. Für die Auswertung wurden verschiedene beschreibende Daten wie Genotyp und ökophysiologische Faktoren mit den Anbau-, Wetter- und Bodendaten herangezogen, die auf dem beigefügten USB-Stick im Ordner „*Gesamtliste*“ aufgeführt sind. Die Prüfung der Normalverteilung erfolgte mit Hilfe des *KOLOMGOROW-SMIRNOW-Test* und dem *SHAPIRO-WILK-Test*. Zur statistischen Prüfung von signifikanten Unterschieden innerhalb zweier oder mehrerer unabhängiger Stichproben wurden parametrische und nicht-parametrische Signifikanztests durchgeführt. Zur Analyse von parametrischen Daten wurde *der t-Test* (Anzahl Stichprobe $n = 2$) und die *einfaktorielle ANOVA* (Anzahl Stichprobe $n > 2$) angewandt, darauffolgend wurde ein *pos-hoc-Test* nach Bonferroni durchgeführt.

Für die Untersuchung von nicht-parametrischen Daten wurde *der MANN-WHITNEY-* (Anzahl Stichprobe $n = 2$) und *der KRUSKALL-WALLIS-Test* (Anzahl Stichprobe $n > 2$) angewendet. Für die vollständige statistische Untersuchung wurde ein Signifikanzniveau von 0,05 festgelegt. Zur Einschätzung des linearen Zusammenhanges zwischen zwei intervallskalierten Merkmalen wurde der Korrelationskoeffizient R verwendet. Die Korrelationsprüfung bivariater Zusammenhänge mittels Korrelationskoeffizienten erfolgte bei Normalverteilung nach *Pearson* und bei Nicht-Normalverteilung nach *Spearman*. Zur Visualisierung des statistischen Zusammenhangs wurden die Daten in 2-D-Punktdiagrammen dargestellt. Alle statistischen Berechnungen wurden mit Hilfe der SPSS® Version 25.0 durchgeführt (IBM Corporation, Armonk, New York, USA).

11 Literaturverzeichnis

- Adamczyk, S., Kiikkilä, O., Kitunen, V., Smolander A. (2013). Potential response of soil processes to diterpenes, triterpenes and tannins: Nitrification, growth of microorganisms and precipitation of proteins. *Applied Soil Ecology* 67, 47-52.
- Adler, L.S., Wink, M., Distel, M., Lentz, A.J. (2006). Leaf herbivory and nutrients increase nectar alkaloids. *Ecology Letters* 9(8), 960-967.
- Ahmadi, A., Baker, D.A. (2001). The effect of water stress on the activities of key regulatory enzymes of the sucrose to starch pathway in wheat. *Plant Growth Regulation* 35(1), 81-91.
- Al-Karaki, G.N., Ereifej, K.I. (1999). Relationships between Seed Yield and Chemical Composition of Field Peas Grown under Semiarid Mediterranean Conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science* 182(4), 279-284.
- Aletor, V.A., Goodchild, A.V., El Moneim, A.M.A. (1994). Nutritional and antinutritional characteristics of selected *Vicia* genotypes. *Animal Feed Science and Technology* 47(1-2), 125-139.
- Alghamdi, S.S. (2009). Chemical composition of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes under various water regimes. *Pakistan Journal of Nutrition* 8(4), 477-482.
- Alonso, R., Aguirre, A., Marzo, F. (2000a). Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and *in vitro* digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. *Food Chemistry* 68(2), 159-168.
- Alonso, R., Grant, G., Dewey, P., Marzo, F. (2000b). Nutritional assessment *in vitro* and *in vivo* of raw and extruded peas (*Pisum sativum* L.). *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 48(6), 2286–2290.
- Amarowicz, R., Naczki, M., Zadernowski, R., Shaidi, F. (2000). Antioxidant activity of condensed tannins of beach pea, canola hulls, evening primerose, and faba bean. *Journal of Food Lipids* 7(3), 195-205.
- Amarowicz, R., Troszyńska, A. (2003). Antioxidant activity of extract of pea and its fractions of low molecular phenolics and tannins. *Polish Journal of Food and Nutrition Science* 53(1), 10-15.
- AOAC Official Method 992.23-1992 (1998). Crude protein in cereal grains and oils seeds. Generic combustion method. *Official Methods of Analysis Cereal Foods*. USA.
- Apel, K., Hirt, H. (2004). Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology* 55, 373-399.
- Aranjuelo, I., Irigoyen, J.J., Sánchez-Díaz, M. (2007). Effect of elevated temperature and water availability on CO₂ exchange and nitrogen fixation of nodulated alfalfa plants. *Environmental and Experimental Botany* 59(2), 99-108.

- Arbeitsgemeinschaft für Wirkstoffe in der Tierernährung e.V. (AWT) (1998). Aminosäuren in der Tierernährung. Bonn. ISBN: ISBN 3-86037-085-5.
- Askar, A. (1986). Food science: Faba beans (*Vicia Faba* L.) and their role in the human diet. *Food and Nutrition Bulletin* 8(3), 1-10.
- Avilés-Gaxiola, S., Chuck-Hernández, C., Serna Saldívar, S.O. (2018). Inactivation methods of trypsin inhibitor in legumes: A review. *Journal of Food Science* 83(1), 17-29.
- Awasthi, R., Kaushal, N., Vadez, V., Turner, N.C., Berger, J., Siddique, K.H.M., Nayyar, H. (2014). Individual and combined effects of transient drought and heat stress on carbon assimilation and seed filling in chickpea. *Functional Plant Biology* 41(11), 1148-1167.
- Babiker, E.E., El Sheikh, E.A.E., Osman, A.J., El Tinay, A.H. (1995). Effect of nitrogen fixation, nitrogen fertilization and viral infection on yield, tannin and protein contents and in vitro protein digestibility of faba bean. *Plant Foods for Human Nutrition* 47(3), 257-263.
- Bacon, J.R., Lambert, N., Matthews, P., Arthur, A.E., Duchene, C. (1995). Genotype, environment and genotype × environment effects on trypsin inhibitor in peas. *Science of Food and Agriculture* 67(1), 101-108.
- Baldewin, I.T., Olson, R.K., Reiners, W.A. (1983). Protein binding phenolics and the inhibition of nitrification in subalpine balsam fir soils. *Soil Biology and Biochemistry* 15(4), 419-423.
- Balisteiro, D.M., Rombaldi, C.V., Genovese, M.I. (2013). Protein, isoflavones, trypsin inhibitory and in vitro antioxidant capacities: Comparison among conventionally and organically grown soybeans. *Food Research International* 51(1), 8-14.
- Barampama, Z., Simard, R.E. (1993). Nutrient composition, protein quality and antinutritional factors of some varieties of dry beans (*Phaseolus vulgaris*) grown in Burundi. *Food Chemistry*. 47(2), 159-167.
- Barbehenn, R.V., Constabel, C.P. (2011). Review - Tannins in plant-herbivore interactions. *Phytochemistry* 72(13), 1551-1565.
- Bartóg, P., Grzebisz, W., Łukowiak, R. (2019). The Effect of Potassium and Sulfur Fertilization on Seed Quality of Faba Bean (*Vicia faba* L.). *Agronomy* 9(4), 1-18.
- Bartwal, A., Mall, R., Lohani, P., Guru, S.K., Arora, S. (2013). Role of secondary metabolites and brassinosteroids in plant defense against environmental stresses. *Journal of Plant Growth Regulation* 32(1), 216-232.
- Bastianelli, D., Grosjean, F., Peyronnet, C., Duparque, M., Régnier, J.M. (1998). Feeding value of pea (*Pisum sativum* L.) 1. Chemical composition of different categories of pea. *Animal Science* 67(3), 609-619.
- Batterham, E.S., Saini, H.S., Andersen, L.M., Baigent, R.D. (1993). Tolerance of growing pigs to trypsin and chymotrypsin inhibitors in chickpeas (*Cicer arietinum*) and pigeonpeas (*Cajanus cajan*). *Science of Food and Agriculture* 61(2), 211-216.

- Bellaloui, N. (2011). Effect of water stress and foliar boron application on seed protein, oil, fatty acids, and nitrogen metabolism in soybean. *American Journal of Plant Sciences* 2(5), 692-701.
- Bellaloui, N., Reddy, K.N., Gillen, A.M., Fisher, D.K., Mengistu, A. (2011). Influence of planting date on seed protein, oil, sugars, minerals, and nitrogen metabolism in soybean under irrigated and non-irrigated environments. *American Journal of Plant Sciences* 2(5), 702-715.
- Berger, J.D., Siddique, K.H.M., Loss, S. (1999). Cool season grain legumes for Mediterranean environments - species \times environment interaction in seed quality traits and anti-nutritional factors in the genus *Vicia*. *Australian Journal of Agricultural Research* 50(3), 389-401.
- Bhattacharyya, M.K., Martin, C., Smith, A. (1993). The importance of starch biosynthesis in the wrinkled seed shape character of peas studied by Mendel. *Plant Molecular Biology* 22(3), 525-531.
- Bhattacharyya, M.K., Smith, A.M., Ellis, T.H.N., Hedley, C., Martin, C. (1990). The wrinkled-seed character of pea described by Mendel is caused by a transposon-like insertion in a gene encoding starch-branching enzyme. *Cell* 60(1), 115-122.
- Bhullar, S.S., Jenner, C.F. (1986). Effects of temperature on the conversion of sucrose to starch in the developing wheat endosperm. *Australian Journal of Plant Physiology* 13(5), 605-615.
- Bilsborrow, P., Cooper, J., Tétard-Jones, C., Średnicka-Tober, D., Barański, M., Eyre, M., Schmidt, C., Shotton, P., Volakakis, N., Cakmak, I., Ozturk, L., Leifert, C., Wilcockson, S. (2013). The effect of organic and conventional management on the yield and quality of wheat grown in a long-term field trial. *European Journal of Agronomy* 51, 71-80.
- Borisjuk, L., Rolletschek, H., Radchuk, R., Weschke, W., Wobus, U., Weber, H. (2004). Seed development and differentiation: A role for metabolic regulation. *Plant Biology* 6(4), 375-386.
- Boulter, D., Croy, R.R.D. (1997). The structure and biosynthesis of legume seed storage proteins: A biological solution to the storage of nitrogen in seeds. *Advances in Botanical Research* 27, 1-92.
- Boye, J., Fatemeh, Z., Pletch, (2010). A review - Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food Research International* 43(2), 414-431.
- Broadhurst, R.B., Jones, W.T.(1978). Analysis of condensed tannins using acidified vanillin. *Science of Food and Agriculture* 29(9), 788-794.

- Brooks, A., Jenner, C.F., Aspinall, D. (1982). Effects of water deficit on endosperm starch granules and on grain physiology of wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology* 9(4), 423-436.
- Bryant, J.P., Chapin, F.S., Klein, D.R. (1983). Carbon/nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivore. *Oikos* 40(3), 357-368.
- Brzin, J., Kidrič, M. (1996). Proteinases and their inhibitors in plants: Role in normal growth and in response to various stress conditions. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews* 13(1), 421-468.
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). EU-Agrarpolitik. 2019. Zugriff am 3. Februar 2020: <https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Agrarpolitik/Texte/GAP-FAQs.html#doc4121226bodyText4>.
- Caballero, B., Finglas, P., Toldra, F. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition. New Zealand. *Academic Press*. 2003, 5878-5883.
- Canavin, D.T. (1965). The effect of temperature on the oil content and fatty acid composition of the oils from several oil seed crops. *Canadian Journal of Botany* 43(1), 63-69.
- Castell, A.G. (1976). Comparison of faba beans (*Vicia faba*) with soybean meal or field Peas (*Pisum Sativum*) as protein supplements in barley diets for growing - finishing pigs. *Journal of Animal Science* 56(3), 425-432.
- Champ, M.M.J. (2002). Non-nutrient bioactive substances of pulses. *British Journal of Nutrition* 88(S3), 307-319.
- Chang, C.W., Ryan, R.D. (1987). Effects of water stress on starch and sucrose metabolism in cotton leaves. *Starch* 39(3), 84-87.
- Chrenková, M., Formelová, Z., Chrastinová, L., Flak, P., Čerešňáková, Z., Lahučký, R., Poláčiková, M., Bahelka, I. (2011). Influence of diets containing raw or extruded peas instead of soybean meal on meat quality characteristics in growing-finishing pigs. *Czech Journal of Animal Science* 56(3), 119-126.
- Ciafardini, G., Barbieri, C. (1987). Effects of cover inoculation of soybean on nodulation, nitrogen fixation, and yield. *Agronomy Journal* 79(4), 645-648.
- Cipollini, D., Walters, D., Voelckel, C. (2014). Costs of resistance in plants: From theory to evidence. *Annual Plant Reviews* 47, 263-307.
- Clemente, A., Geelan, J.M., Johnson, T., MacKenzie, D.A., Domoney, C. (2005). Pea (*Pisum sativum* L.) Protease inhibitors from the Bowman-Birk class influence the growth of human colorectal adenocarcinoma HT29 Cells *in vitro*. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 53(23), 8979-8986.
- Clemente, A., Marín-Manzano, M.C., Jiménez, E., Arques, M.C., Domoney, C. (2012). The anti-proliferative effect of TI1B, a major Bowman-Birk isoinhibitor from pea (*Pisum sativum*

- L.), on HT29 colon cancer cells is mediated through protease inhibition. *British Journal of Nutrition* 108(S1), 135-144.
- Clemente, A., Sánchez-Vioque, R., Vioque, J., Bautista, J., Millán, F. (1998). Effect of cooking on protein quality of chickpea (*Cicer arietinum*) seeds. *Food Chemistry* 62(1), 1-6.
- Clemente, A., Vioque, J., Sanchez-Vioque, R., Pedroche, J., Bautista, J., Millan, F. (2000). Factors affecting the in vitro protein digestibility of chickpea albumins. *The Journal of the Science of Food and Agriculture* 80(1), 79-84.
- Close, D.C., McArthur, C. (2002). Rethinking the role of many plant phenolics - protection from photodamage not herbivores? *Oikos* 99(1), 166-172.
- Cousin, R. (1997). Peas (*Pisum sativum* L.). *Field Crops Research* 53(1-3), 111-130.
- Coxon, D.T., Davies, D.R. (1982). The effect of the *ra* and *rb* loci on the lipid content of the seed of *Pisum sativum*. *Theoretical and Applied Genetics* 64(1), 47-50.
- Crépon, K. Nutritional value of legumes (Pea and Faba Bean) and economics of their use. Recent Advances in Animal Nutrition. Nottingham. *Nottingham University Press*. 2006 331-366.
- Crépon, K., Marget, P., Peyronnet, C., Carrouée, B., Aresec, P., Duc, G. (2010). Review: Nutritional value of faba bean (*Vicia faba* L.) seeds for feed and food. *Field Crops Research* 115(3), 329-339.
- Cuccia, G., Lacolla, G., Summo, C., Pasqualone, A. (2019). Effect of organic and mineral fertilization on faba bean (*Vicia faba* L.). *Scientia Horticulturae* 243, 338-343.
- Datta, A., Singh, R.K., Kumar, S., Kumar, S. (2014). An Effective and Beneficial Plant Growth Promoting Soil Bacterium “*Rhizobium*”: A Review. *Annals of Plants Science* 4(1), 933-942.
- De Angelis, D., Pasqualone, A., Costantini, M., Ricciardi, L., Lotti, C., Pavan, S., Summo, C. (2021). Data on the proximate composition, bioactive compounds, physicochemical and functional properties of a collection of faba beans (*Vicia faba* L.) and lentils (*Lens culinaris* Medik.). *Data in Brief* 34, 106660.
- Deutsche Agrarforschungsallianz (DAFA) (2012). Leguminosen Forum: Wissenschaft, Wirtschaft, Gesellschaft – Ökosystemleistungen von Leguminosen wettbewerbsfähig machen Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz. Braunschweig: Thünen Institut. ISBN: 978-3-86576-092-0.
- Diaz, D., Morlacchini, M., Masoero, F., Moschini, M., Fusconi, G., Piva, G. (2006). Pea seeds (*Pisum sativum*), faba beans (*Vicia faba* var. *minor*) and lupin seeds (*Lupinus albus* var. *multitalia*) as protein sources in broiler diets: effect of extrusion on growth performance. *Italian Journal of Animal Science* 5(1), 43-53.
- Dimberg, L.H., Gissén, C., Nilsson, J. (2005). Phenolic compounds in oat grains (*Avena sativa* L.) Grown in Conventional and Organic Systems. *Ambio* 34(4-5), 331-337.

- DIN 32654:2008-11 (2008). Chemische Analytik - Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze unter Wiederholbedingungen - Begriffe, Verfahren, Auswertung. *Beuth Verlag*. Berlin, Deutschland.
- DIN EN ISO 520:2011-03 (2011). Getreide und Hülsenfrüchte - Bestimmung der 1000-Korn-Masse. *Beuth Verlag*. Berlin, Deutschland.
- DIN ISO 11277:2002-08 (2002). Bodenbeschaffenheit – Bestimmung der Partikelgrößenverteilung in Mineralböden – Verfahren mittels Siebung und Sedimentation, ISO 11277: 1998/Cor.1:2002. *Beuth Verlag*. Berlin, Deutschland.
- Donnelly, E.D., Anthony, W.B. (1969). Relationship of tannin, dry matter digestibility and crude protein in *Sericea lespedeza*. *Crop Science* 9(3), 361-362.
- Dornbos, D.L., Mullen, R.E. (1992). Soybean seed protein and oil contents and fatty acid composition adjustments by drought and temperature. *Journal of the American Oil Chemists Society* 69(3), 228–231.
- Drakou, M., Birmipa, A., Koutelidakis, A.E., Komaitis, M., Panagou, E.Z., Kapsokefalou, M. (2015). Total antioxidant capacity, total phenolic content and iron and zinc dialyzability in selected Greek varieties of table olives, tomatoes and legumes from conventional and organic farming. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 66(2), 1-6.
- Duc, G. (1997). Faba bean (*Vicia faba* L.). *Field Crops Research* 53(1-3), 99-109.
- Dunaevskii, Y.E., Tsybina, T.A., Belyakova, G.A., Domash, V.I., Sharpio, T.P., Zabreiko, S.A., Belozerskii, M.A. (2005). Proteinase inhibitors as antistress proteins in higher plants. *Applied Biochemistry and Microbiology* 41(4), 344-348.
- Duranti, M. (2006). Review: Grain legume proteins and nutraceutical properties. *Fitoterapia* 77(2), 67-82.
- Elias, L.G., De Fernandez, D.G., Bressani, R.J. (1979). Possible effects of seed coat polyphenolics on the nutritional quality of bean protein. *Journal of Food Science* 44(2), 524-527.
- Elsheikh, E.A.E., Elzidany, A.A. (1997a). Effects of *Rhizobium* inoculation, organic and chemical fertilizers on yield and physical properties of faba bean seeds. *Plant Foods for Human Nutrition* 51(2), 137-144.
- Elsheikh, E.A.E., Elzidany, A.A. (1997b). Effect of *Rhizobium* inoculation, organic and chemical fertilizers on proximate composition, in vitro protein digestibility, tannin and sulphur content of faba beans. *Food Chemistry* 59(1), 41-45.
- Embaby, H.E.S. (2011). Effect of heat treatments on certain antinutrients and *in vitro* protein digestibility of peanut and sesame seeds. *Food Science and Technology Research* 17(1), 31-38.
- Euler, M., Baldewin, I.T. (1996). The chemistry of defense and apparency in the corollas of *Nicotiana attenuata*. *Oecologia* 107(1), 102-112.

- Evans, I.M., Boulter, D. (1980). Crude protein and sulphur amino acid contents of some commercial varieties of peas and beans. *Science of Food and Agriculture* 31(3), 238-242.
- Fales, S.L. (1984). Influence of temperature on chemical composition and in vitro dry matter disappearance of normal-and low-tannin *Sericea lespedeza*. *Canadian Journal of Plant Science*. 64(3), 637-642.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Food Outlook - Biannual Report On Global Food Markets. Rom. 2014. ISSN 1560-8182 (Online).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Pulses and their by-products as animal feed. Rom. 2017. ISBN: 978-92-5-109915-5.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). The Global Economy of Pulses. Rom. 2019. ISBN 978-92-5-109730-4.
- Gallardo, K., Thompson, R., Burstin, J. (2008). Reserve accumulation in legume seeds. *Comptes Rendus Biologies* 331(10), 755-762.
- Gasim, S., Hamad, S.A.A., Abdelmula, A., M., A.I.A. (2015). Yield and quality attributes of faba bean inbred lines grown under marginal environmental conditions of Sudan. *Food and Nutrition* 3(6), 539-547.
- Gatel, F., Grosjean, F.(1990). Composition and nutritive value of peas for pigs: a review of European results. *Livestock Production Science* 26(3), 155-175.
- Gebrehiwot, L., Beuselinck, P.R., Craig, A.R. (2002). Seasonal variations in condensed tannin concentration of three lotus Species. *Agronomy Journal* 94(5), 1059-1065.
- Geigenberger, R., Reimholz, G., Geiger, M., Merlo, L., Canale, V., Stitt, M. (1997). Regulation of sucrose and starch metabolism in potato tubers in response to short-term water deficit. *Planta* 201, 502-508.
- Gibson, L.R., Mullen, R.E. (1996). Soybean Seed composition under high day and night growth temperatures. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 73(6), 733-737.
- Giusti, F., Caprioli, G., Ricciutelli, M., Torregiani, E., Vittori, S., Sagratini, G. (2018). Analysis of 17 polyphenolic compounds in organic and conventional legumes by high-performance liquid chromatography-diode array detection (HPLC-DAD) and evaluation of their antioxidant activity. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 69(5), 557-565.
- Griffiths, D.W. (1979). The inhibition of digestive enzymes by extracts of field bean (*Vicia faba*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 30(5), 458-462.
- Griffiths, D.W. (1981). The polyphenolic content and enzyme inhibitory activity of testas from bean (*Vicia faba*) and pea (*Pisum spp.*) varieties. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 32(8), 797-804.
- Griffiths, D.W. (1984). The trypsin and chymotrypsin inhibitor activities of various pea (*Pisum spp.*) and field bean (*Vicia faba*) cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 35(5), 481-486.

- Grosjean, F., Jondreville, C., Williatte-Hazouard, I., Skiba, F., Carrouée, B., Gâtel, F. (2000). Ileal digestibility of protein and amino acids of feed peas with different trypsin inhibitor activity in pigs. *Canadian Journal of Animal Science* 80(4), 643-652.
- Gselman, A., Kramberger, B. (2008). Benefits of winter legume cover crops require early sowing. *Australian Journal of Agricultural Research* 59(12), 1156-1163.
- Gueguen, G., Barbot, G. (1988). Quantitative and qualitative variability of pea (*Pisum sativum* L.) protein composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 42(3), 209-224.
- Guillamon, E., Pedrosa, M.M., Burbano, C., Cuadrado, C., de Cortes Sanchez, M., Muzquiz, M. (2008). The trypsin inhibitors present in seed of different grain legume species and cultivar. *Food Chemistry* 107(1), 68-74.
- Guleria, S., Dua, S., Chongtham, N. (2009). Analysis of variability in different genotypes of pea (*Pisum sativum* L.) on the basis of protein markers. *Legume Research* 32(4), 265-269.
- Györi, Z., Nemeskéri, E., Szilágyi, S. (1998). Legumes grown under nonirrigated conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46(8), 3087-3091.
- Hacisalihoglu, G., Freeman, J., Armstrong, P.R., Seabourn, B.W., Porter, L.D., Settles, A.M., Gustin, J.L. (2020). Protein, weight, and oil prediction by single-seed near-infrared spectroscopy for selection of seed quality and yield traits in pea (*Pisum sativum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 100(8), 3488-3497.
- Hall, C., Hillen, C., Garden Robinson, J. (2017). Composition, nutritional value, and health benefits of pulses. *Cereal Chemistry* 94(1), 11-31.
- Hamilton, J.G., Zangerl, A.R., DeLucia, E.H., Berenbaum, M.R. (2001). The carbon–nutrient balance hypothesis: its rise and fall. *Ecology Letters* 4(1), 86-95.
- Hassanpour, S., Maheri-Sis, N., Eshratkhan, B., Mehmandar, F.B. (2011). Plants and secondary metabolites (tannins): A review. *International Journal of Forest, Soil and Erosion* 1(1), 47-53.
- Hassanpour, S., Sadaghian, M., MaheriSis, N., Eshratkhan, B., ChaichiSemsari, M. (2011). Effect of condensed tannin on controlling faecal protein excretion in nematode-infected sheep: *in vivo* study. *Journal of American Science* 7(5), 896-900.
- Haukioja, E., Ossipov, V., Koricheva, J., Honkanen, T., Larsson, S., Lempa, K. (1998). Biosynthetic origin of carbon-based secondary compounds: cause of variable responses of woody plants to fertilization? *Chemoecology* 8(3), 133-139.
- Hawker, J.S., Jenner, C.F. (1993). High temperature affects the activity of enzymes in the committed pathway of starch synthesis in developing wheat endosperm. *Australian Journal of Plant Physiology* 20(2), 197-209.
- Heldt, H.-W., Piechulla, B. Pflanzenbiochemie. 5. Auflage. Berlin. Springer. 2015.

- Hemming, J.D.C., Lindroth, R.L. (1999). Effects of light and nutrient availability on aspen: Growth, phytochemistry, and insect performance. *Journal of Chemical Ecology* 25(7), 1687–1714.
- Hermes, D.A., Mattson, W.J. (1992). The dilemma of plants: To grow or defend. *The Quarterly Review of Biology* 67(3), 283-334.
- Hill, G.D. (2003). Plant Antinutritional Factory. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition. 2. Auflage. New Zealand. *Academic Press*; 2003. 4578-4586.
- Howard, T.M., Morton, J.D., Savage, G.P., Russell, A.C. (1996). Trypsin inhibitors in New Zealand pea cultivars: Quantification and isoforms. *Proceeding of Nutrition Society of New Zealand* 21, 120-124.
- Iglsban, F.A., Guenter, W., Warkentin, T.D., Mcandrew, D.W. (1996). Protein quality of peas as influenced by location, nitrogen application and seed inoculation. *Plant Foods for Human Nutrition* 49, 93-105.
- James, K.A.C., Butts, C.A., Morrison, S.C., Koolaard, J.P., Scott, M.F., Scott, R.E., Griffin, W.B., Bang, L.M. (2005). The effects of cultivar and heat treatment on protein quality and trypsin inhibitor content of New Zealand field peas. *New Zealand Journal of Agriculture Research* 48(1), 117-124.
- Jansman, A.J.M. (1993). Tannins in feedstuffs for simple-stomached animals. *Nutrition Research Reviews* 6(1), 209-236.
- Jansman, A.J.M., Versteegen, M.W.A., Huisman, J., van den Berg, J.W.O. (1995). Effects of hulls of faba beans (*Vicia faba* L.) with a low or high content of condensed tannins on the apparent ileal and fecal digestibility of nutrients and the excretion of endogenous protein in ileal digesta and feces of pigs. *Journal of Animal Science* 73(1), 118-127.
- Jeroch, H., Lipiec, A., Abel, H., Zentek, J., Grela, E.R., Bellof, G. Inhaltsstoffe von Körnerleguminosen. Körnerleguminosen als Futter- und Nahrungsmittel. 2. Auflage. Frankfurt am Main. *DLG Verlag*. 2017, 51-66.
- Jezierny, D., Mosenthin, R., Bauer, E. (2010). The use of grain legumes as a protein source in pig nutrition: A review. *Animal Feed Science and Technology* 157(3-4), 111-128.
- Jezierny, D., Mosenthin, R., Eklund, M., Rademacher, M. Determination of standardized ileal digestibilities of crude protein and amino acids in legume seeds for growing pigs. *Proceedings of the 16th International Science Symposium on Nutrition of Domestic Animals*, Radenci. 2007.
- Jones, C.G., Hartley, S.E. (1999). A protein competition model of phenolic allocation. *Oikos* 86(1), 27-44.
- Jongsma, M.A., Bakker, P.L., Visser, B., Stiekema, W.J. (1994). Trypsin inhibitor activity in mature tobacco and tomato plants is mainly induced locally in to insect attack, wounding and virus infection. *Planta* 195(1), 29-35.

- Kadereit, J.W., Körner, C., Kost, B., Sonnewald, U. Strasburger-Lehrbuch der Pflanzenwissenschaften. 37. Auflage. Berlin. *Springer*. 2014.
- Kakade, M.L. (1974). Determination of trypsin inhibitor activity of soy products: A collaborative analysis of an improved procedure. *Cereal chemistry* 51(3), 376-382.
- Khattab, R.Y., Arntfield, S.D. (2009). Nutritional quality of legume seeds as affected by some physical treatments 2. Antinutritional factors. *LWT - Food Science and Technology* 42(6), 1113-1118.
- Kidrič, M., Kos, J., Sabotič, J. (2014). Proteases and their endogenous inhibitors in the plant response to abiotic stress. *Botanic Serbica* 38(1), 139-158.
- Kigel, J. (1999). Culinary and nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* seeds as affected by environmental factors. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* 3(4), 205-209.
- Kouki, M., Manetas, Y. (2002). Resource availability affects differentially the levels of gallotannins and condensed tannins in *Ceratonia siliqua*. *Biochemical Systematics and Ecology* 30(7), 631-639.
- Kraus, T.E.C., Dahlgren, R.A., Zasoski, R.J. (2003). Tannins in nutrient dynamics of forest ecosystems - a review. *Plant and Soil* 256(1), 41-66.
- Krejčířová, L., Capouchová, I., Jiří, P., Bicanová, E. (2006). Protein composition and quality of winter wheat from organic and conventional farming. *Zemdirbyste/Agriculture* 93(4), 285-296.
- Kumar, V., Rani, A., Solanki, S., Hussain, S.M. (2006). Influence of growing environment on the biochemical composition and physical characteristics of soybean seed. *Journal of Food Composition and Analysis* 19(2-3), 188-195.
- Küster, F., Thiel, A. Rechentafeln für die Chemische Analytik. 105. Auflage. Berlin. *de Gruyter*. 2003.
- Lacassagne, L., Francesch, M., Carré, B., Melcion, J.P. (1988). Utilization of tannin-containing and tannin-free faba beans (*Vicia faba*) by young chicks: Effects of pelleting feeds on energy, protein and starch digestibility. *Animal Feed Science and Technology* 20(1), 59-68.
- Ladogina, M.P. (1997). Variants of trypsin inhibitors in cultivated and wild barley and analysis of their antitrypsin activity. *Journal of Cereal Science* 26(2), 265-270.
- Lafiandra, D., Polignano, G.B., Filippetti, A., Porceddu, E. (1981). Genetic variability for protein content and S-aminoacids in broad-beans (*Vicia faba* L.). *Kulturpflanze* 29, 115-127.
- Lajolo, F.M., Genovese, M.I. (2002). Nutritional significance of lectins and enzyme inhibitors from legumes. *Agriculture and Food Chemistry* 50(22), 6592-6598.
- Lees, G.L., Hinks, C.F., Suttill, N.H. (1994). Effect of high temperature on condensed tannin accumulation in leaf tissues of big trefoil (*Lotus uliginosus* Schkuhr). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 65(4), 415-421.

- Leterme, P., Beckers, Y., Thewis, A. (1990). Trypsin inhibitors in peas: Varietal effect and influence on digestibility of crude protein by growing pigs. *Animal Feed Science and Technology* 29(1-2), 45-55.
- Leterme, P., Monmart, A., Thewis, A. (1992). Varietal distribution of the trypsin inhibitor activity in peas (*Pisum sativum* L.). *Animal Feed Science and Technology* 37(3-4), 309-315.
- Loomis, W.E. (1932). Growth-differentiation balance vs carbohydrate–nitrogen ratio. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 29, 240-245.
- Lorio, P.L.J. (1986). Growth-differentiation balance: A basis for understanding southern pine beetle-tree interactions. *Forest Ecology and Management* 14(4), 259-273.
- Magkos, F., Arvaniti, F., Zampelas, A. (2003). Organic food: Nutritious food or food for thought? A review of the evidence. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 54(5), 357-371.
- Mahajan, S., Tuteja, N. (2005). Minireview Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 444(2), 139-118.
- Makkar, H.P.S., Becker, K. (1998). Do tannins in leaves of trees and shrubs from African and Himalayan regions differ in level and activity? *Agroforestry Systems* 40, 59-68.
- Makkar, H.P.S., Becker, K., Abel, H.J., Pawelzik, E. (1997). Nutrient contents, rumen protein degradability and antinutritional factors in some colour-and white-flowering cultivars of *Vicia faba* beans. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 75(4), 511-520.
- Malik, A.H., Ashraf, M., Qureshi, A.S., Ghafoor, A. (2007). Assessment of genetic variability, correlation and path analyses for yield and its components in soybean. *Pakistan Journal of Botany* 39(2), 405-413.
- Marquez, U.M.L., Lajolo, F.M. (1981). Composition and digestibility of albumin, globulins, and glutelins from *Phaseolus vulgaris*. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 29(5), 1068-1074.
- Mayer Labba, I.C., Frøkiær, H., Sandberg, A.S. (2021). Nutritional and antinutritional composition of fava bean (*Vicia faba* L., var. minor) cultivars. *Food Research International* 140(2), 1-11.
- McCauley, A.M., Jones, C.A., Miller, P.R., Burgess, M.H., Zabinski, C.A. (2012). Nitrogen fixation by pea and lentil green manures in a semi-arid agroecoregion: Effect of planting and termination timing. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 92(3), 305-314.
- McDonald, G.K., Paulsen, G.M. (1997). High temperature effects on photosynthesis and water relations of grain legumes. *Plant and Soil* 196, 47-58.
- McLean, L.A., Sosulski, F.W., G., Y.C. (1974). Effects of nitrogen and moisture on yield and protein in field peas. *Canadian Journal of Plant Science* 54(2), 301-305.
- Melito, C., Tovar, J. (1995). Cell walls limit in vitro protein digestibility in processed legume seeds. *Food Chemistry* 53(3), 305-307.

- Mertens, C., Dehon, L., Bourgeois, A., Verhaeghe-Cartryse, C., Blecker, C. (2012). Agronomical factors influencing the legumin/vicilin ratio in pea (*Pisum sativum* L.) seeds. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 92(8), 1591-1596.
- Millar, K.A., Gallagher, E., Burke, R., McCarthy, S., Barry-Ryana, C. (2019). Proximate composition and anti-nutritional factors of fava-bean (*Vicia faba*), green-pea and yellow-pea (*Pisum sativum*) flour. *Journal of Food Composition and Analysis* 82, 1-8.
- Min, B.R., Barry, T.N., Attwood, G.T., McNabb, W.C. (2003). The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: A review. *Animal Feed Science and Technology* 106(1-4), 3-19.
- Mithöfer, A., Boland, W. (2012). Plant defense against herbivores: Chemical aspects. *Annual Review of Plant Biology* 63, 431-450.
- Møller, B.L. (2010). Functional diversifications of cyanogenic glucosides. *Current Opinion in Plant Biology* 13(3), 337-346.
- Monteiro, J.M., de Albuquerque, U.P., de Freitas Lins Neto, E.M., Araújo, E.L. (2006). The effects of seasonal climate changes in the Caatinga on tannin levels in *Myracrodruon urundeuva* (Engl.) Fr. All. and *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. *Revista Brasileira de Farmacognosia* 16(3), 338-344.
- Monti, L.M., Grillo, S. (1983). Legume seed improvement for protein content and quality. *Plant Foods for Human Nutrition* 32(1-2), 253-266.
- Mosolov, V.V., Valueva, T.A. (2005). Proteinase inhibitors and their function in plants: A review. *Applied Biochemistry and Microbiology* 41(3), 227-246.
- Moy, L.Y., Billings, P.C. (1994). A proteolytic activity in a human breast cancer cell line which is inhibited by the anticarcinogenic Bowman-Birk protease inhibitor. *Cancer Letters* 85(2), 205-210.
- National Center for Biotechnology Information (NCBI). *Pisum sativum* L. und *Vicia faba* L. o. J. Zugriff am am 3. Februar 2020:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?mode=Info&id=3888&lvl=3&lin=f&keep=1&srchmode=1&unlock>.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?mode=Info&id=3906&lvl=3&lin=f&keep=1&srchmode=1&unlock>.
- Negi, A., Boora, P., Khetarpaul, N. (2001). Effect of microwave cooking on the starch and protein digestibility of some newly released moth bean (*Phaseolus aconitifolius* Jacq.) Cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis* 14(5), 541-546.
- Nelson, A.G., Quideau, S., Frick, B., Niziol, D., Clapperton, J., Spaner, D. (2011). Spring wheat genotypes differentially alter soil microbial communities and wheat breadmaking quality in organic and conventional systems. *Canadian Journal of Plant Science* 91(3), 485-495.

- Nemeskéri, E. (1997). The nutritive quality of legume foodstuffs produced under dry growing conditions. *Acta Agronomica Hungarica* 45(1), 17-22.
- Neugschwandtner, R.W., Bernhuber, A., Kammlander, S., Wagentristl, H., Klimek-Kopyra, A., Kaul, H.P. (2020). Yield structure components of autumn- and spring-sown pea (*Pisum sativum* L.). *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science* 70(2), 109-116.
- Neugschwandtner, R.W., Ziegler, K.V., Kriegner, S., Wagentristl, H. (2015). Nitrogen yield and nitrogen fixation of winter faba beans. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science* 65(7), 1-9.
- Nikolopoulou, D., Grigorakis, K., Stasini, M., Alexis, M., Iliadis, K. (2006). Effects of cultivation area and year on proximate composition and antinutrients in three different kabuli-type chickpea (*Cicer arietinum*) varieties. *European Food Research and Technology* 223, 737-741.
- Nikolopoulou, D., Grigorakis, K., Stasini, M., Alexis, M.N., Iliadis, K. (2007). Differences in chemical composition of field pea (*Pisum sativum*) cultivars: Effects of cultivation area and year. *Food Chemistry* 103(3), 847-852.
- O'Doherty, J.V., Keady, U. (2001). The effect of expander processing and extrusion on the nutritive value of peas for pigs. *Animal Science* 72(1), 43-53.
- Oluwatosin, O.B. (1999). Genotype x environment influence on cowpea (*Vigna unguiculata* (L) Walp) antinutritional factors: 1-trypsin inhibitors, tannins, phytic acid and haemagglutinin. *Science of Food and Agriculture* 79(2), 265-272.
- Önder, M., Babaoglu, M. (2001). Interactions amongst grain variables in various dwarf dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science* 187(1), 19-23.
- Osier, T.L., Lindroth, R.L. (2006). Genotype and environment determine allocation to and costs of resistance in quaking aspen. *Oecologia* 148(2), 293-303.
- Pandhair, V., Sekhon, B.S. (2006). Mini review - Reactive oxygen species and antioxidants in plants: An overview. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology* 15(2), 71-78.
- Park, S.J., Kim, T.W., Baik, B.-K. (2010). Relationship between proportion and composition of albumins, and in vitro protein digestibility of raw and cooked pea seeds (*Pisum sativum* L.) *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90(10), 1719-1725.
- Patra, A.K. (2010). Review: Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminant nutrition. *Science of Food and Agriculture* 91(1), 24-37.
- Peksen, E., Bozoğlu, H., Peksen, A., Gulumser, A. (2002). Determination of the effects of different row spacings on yield and some other properties of pea (*Pisum sativum* L.) cultivars sown in spring and autumn. *Acta horticulturae* 579, 313-318.

- Piergiovanni, A.R., Pignone, D. (2003). Effect of year-to-year variation and genotype on trypsin inhibitor level in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83(5), 473 - 476.
- Piper, E.L., Boote, K.I. (1999). Temperature and cultivar effects on soybean seed oil and protein concentrations. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 76(10), 1233–1241.
- Plahar, W.A., Annan, N.T., Nti, C.A. (1997). Cultivar and processing effects on the pasting characteristics, tannin content and protein quality and digestibility of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Plants Foods for Human Nutrition* 51(4), 343-356.
- Prandini, A., Sigolo, S., Morlacchini, M., Cerioli, C., Masoero, F. (2011). Pea (*Pisum sativum*) and faba bean (*Vicia faba* L.) seeds as protein sources in growing-finishing heavy pig diets: Effect on growth performance, carcass characteristics and on fresh and seasoned Parma ham quality. *Italian Journal of Animal Science*. 10(4), 176-183.
- Ratnayake, W.S., Hoover, R., Warkentin, T. (2002). Pea starch: Composition, structure and properties - A review. *Starch* 54(6), 217-234.
- Rebey, I.B., Jabri-Karoui, I., Hamrouni-Sellami, I., Bourgou, S., Limam, F., Marzouk, B. (2012). Effect of drought on the biochemical composition and antioxidant activities of cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds. *Industrial Crops and Products* 36(1), 238-245.
- Reed, J.D. (1995). Nutritional toxicology of tannins and related polyphenols in forage legumes. *Journal of Animal Science* 73(5), 1516-1528.
- Rimbach, G., Möhring, J., Erbersdobler, H.F. Lebensmittel-Warenkunde für Einsteiger. Berlin. *Springer*. 2010.
- Robertson, R.N., Highkin, H.R., Smydzuk, J., Went, F.W. (1961). The effect of environmental conditions on the development of pea seeds. *Australian Journal of Biological Sciences* 15(1), 1-15.
- Rotundo, J.L., Westgate, M.E. (2009). Meta-analysis of environmental effects on soybean seed composition. *Field Crops Research* 110(2), 147-156.
- Roy, F., Boye, J.I., Simpson, B.K. (2010). Review: Bioactive proteins and peptides in pulse crops: Pea, chickpea and lentil. *Food Research International* 43(2), 432-442.
- Rubio, L.A., Pérez, A., Ruiz, R., Guzmán, M.Á., Aranda-Olmedo, I., Clemente, A. (2014). Characterization of pea (*Pisum sativum*) seed protein fractions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 94(2), 280-287.
- Ryan, G.D., Rasmussen, S., Newman, J.A. Global atmospheric change and trophic interactions: are there any general responses? Plant communication from an ecological perspective. Berlin. *Springer*. 2010, 179-214.
- Santos, C.S., Carbas, B., Castanho, A., Vasconcelos, M.W., Vaz Patto, M.C., Domoney, C., Brites, C. (2019). Variation in pea (*Pisum sativum* L.) seed quality traits defined by physicochemical functional properties. *Foods* 8(11), 1-15.

- Sarwar Gilani, G., Xiao, C.W., Cockell, K.A. (2012). Impact of antinutritional factors in food proteins on the digestibility of protein and the bioavailability of amino acids and on protein quality. *British Journal of Nutrition* 108(S2), 315-332.
- Savage, G.P., Morrison, S.C. Trypsin inhibitors. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition. 2. Auflage. New Zealand. *Academic Press*. 2003, 5878-5883.
- Schumacher, H., Paulsen, H.M., Gau, A.E., Link, W., Jürgens, H.U., Sass, O., Dieterich, R. (2011). Seed protein amino acid composition of important local grain legumes *Lupinus angustifolius* L., *Lupinus luteus* L., *Pisum sativum* L. and *Vicia faba* L. *Plant Breeding* 130, 156-164.
- Sehgal, A., Sita, K., Siddique, K.H.M., Kumar, R., Bhogireddy, S., Varshney, R.V., HanumanthaRao, B., Nair, R.M., Prasad, P.V.V., Nayyar, H. (2018). Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops: Impacts on functional biochemistry, seed yields, and nutritional quality. *Frontiers in Plant Science* 27(9), 1-19.
- Sepngang, K.B., Stauss, W., Stute, I., Mergenthaler, M. The market of grain legumes in Germany. Soest. 2018. ISBN: 978-3-940956-71-2.
- Singh, K.B., Malhotra, R.S., Saxena, M.C., Bejiga, G. (1997). Superiority of winter sowing over traditional spring sowing of chickpea in the mediterranean region. *Agronomy Journal* 89(1), 112-118.
- Singh, K.B., Williams, P.C., Nakkoul, H. (1990). Influence of growing season, location and planting time on some quality parameters of kabuli chickpea. *The Journal of the Science of Food and Agriculture* 53(4), 429-441.
- Singh, U., Jambunathan, R. (1981). Studies on desi and kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars: Levels of protease inhibitors, levels of polyphenolic compounds and *in vitro* protein digestibility. *Journal of Food Science* 46(5), 1364-1367.
- Sirtori, F., Crovetto, A., Acciaioli, A., Bonelli, A., Pugliese, C., Bozzi, R., Campodoni, G., Franci, O. (2015). Effect of replacing a soy diet with *Vicia faba* and *Pisum sativum* on performance, meat and fat traits of Cinta Senese pigs. *Italian Journal of Animal Science* 14(1), 99-104.
- Skovbjerg, C.K., Nørgaard Knudsen, J., Füchtbauer, W., Stougaard, J., Stoddard, F.L., Janss, L., Uggerhøj Andersen, S. (2020). Evaluation of yield, yield stability, and yield–protein relationship in 17 commercial faba bean cultivars. *Legume Science* 2(3), 1-11.
- Smith, L.A., Houdijk, J.G.M., Homer, D., Kyriazakis, I. (2013). Effects of dietary inclusion of pea and faba bean as a replacement for soybean meal on grower and finisher pig performance and carcass quality. *Journal of Animal Science* 91(8), 3733-3741.
- Smulikowska, S., Pastuszewska, B., Świąch, E., Ochtabińska, A., Mieczkowska, A., Nguyen, V.C., Buraczewska, L., . (2001). Tannin content affects negatively nutritive value of pea for monogastrics. *Journal of Animal and Feed Sciences* 10(3), 511-523.

- Stamp, N. (2004). Can the growth-differentiation balance hypothesis be tested rigorously? *Oikos* 107(2), 439-448.
- Stein, H.H., Everts, A.K.R., Sweeter, K.K., Peters, D.N., Maddock, R.J., Wulf, D.M., Pedersen, C. (2006). The influence of dietary field peas (*Pisum sativum* L.) on pig performance, carcass quality, and the palatability of pork. *American Society of Animal Science* 84(11), 3110-3117.
- Stoddard, F.L., Marshall, D.R. (1990). Variability in grain protein in Australian hexaploid wheats. *Australian Journal of Agricultural Research* 41(2), 277-288.
- Strahler, A.H., Strahler, A.N. Physische Geographie. 3. Auflage. Stuttgart. *Eugen Ulmer*. 2005, 505-520.
- Sugimoto, T., Tanaka, K., Monma, M., Kawamura, Y., Saio, K. (1983). Phosphoenolpyruvate carboxylase level in soybean seed highly correlates to its contents of protein and lipid. *Agricultural and Biological Chemistry* 53(3), 885-887.
- Taber, L., Higgins, T.J.V. (1998). Engineering plant protein composition for improved nutrition. *Trends in Plant Science* 3(7), 282-286.
- Tahir, M., Lindeboom, N., Båga, M., Vandenberg, A., Chibbar, R. (2011). Composition and correlation between major seed constituents in selected lentil (*Lens culinaris*. Medik) genotypes. *Canadian Journal of Plant Science* 91(5), 825-835.
- Tamm, I., Tamm, Ü., Ingver, A. (2009). Spring cereals performance in organic and conventional cultivation. *Agronomy Research* 7(1), 522-527.
- Tavano, O.L., da Silva, S.I., Demonte, A., Neves, V.A. (2008). Nutritional responses of rats to diets based on chickpea (*Cicer arietinum* L.) seed meal or its protein fractions. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 56(22), 11006–11010.
- Thangwana, N.M., Ogola, J.B. (2012). Yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum*): Response to genotype and planting density in summer and winter sowings. *Journal of Food Agriculture and Environment* 10(2), 710-715.
- Troszynska, A., Ciska, E. (2015). Phenolic compounds of seed coats of white and coloured varieties of pea (*Pisum sativum* L.) and their total antioxidant activity. *Czech Journal of Food Sciences* 20(1), 15-22.
- Tzitzikas, E.N., Vincken, J.P., de Groot, J., Gruppen, H., Visser, R.G.F. (2006). Genetic variation in pea seed globulin composition. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 54(2), 425-433.
- Urbatzka, P., Graß, R., Haase, T., Schüler, C., Trautz, D., Heß, J. (2011). Grain yield and quality characteristics of different genotypes of winter pea in comparison to spring pea for organic farming in pure and mixed stands. *Organic Agriculture* 1(4), 187-202.

- Uzun, A., Gücer, S., Acikgoz, E. (2011). Common vetch (*Vicia sativa* L.) germplasm: Correlations of crude protein and mineral content to seed traits. *Plant Foods for Human Nutrition* 66(3), 254-260.
- Valdebouze, P., Bergeron, E., Gaborit, T., Delort-Laval, J. (1980). Content and distribution of trypsin inhibitors and hemagglutinins in some legume seeds. *Canadian Journal of Plant Science* 60(2), 695-701.
- Valdez-Anguiano, D.M., Herrera-Cabrera, E.B., D'ávila-Ortiz, G., Oomah, B.D., Cardador-Martínez, A., Jiménez-Martínez, C. (2015). Content and distribution of nutritional and non-nutritional compounds during germination of three Mexican faba bean (*Vicia faba*) varieties. *International Journal of Research In Agriculture and Food Sciences* 2(9), 1-14.
- Vallverdú-Queralt, A., Medina-Remón, A., Casals-Ribes, I., Lamuela-Raventos, R.M. (2012). Is there any difference between the phenolic content of organic and conventional tomato juices? *Food Chemistry* 130(1), 222-227.
- van Jaarsveld, C.M., Smith, M.A., Krüger, G.H.J. (2002). Interaction Amongst Soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] genotype, soil type and inoculant strain with regard to N₂ fixation. *Journal of Agronomy and Crop Science* 188(3), 206-211.
- Venkatachalam, M., Sathe, S.K. (2007). Val bean (*Lablab purpureus* L.) proteins: Composition and biochemical properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87(8), 1539-1549.
- Vickers, C.E., Gershenzon, J., Lerdau, M.T., Loreto, F. (2009). A unified mechanism of action for volatile isoprenoids in plant abiotic stress. *Nature Chemical Biology* volume 5(5), 283-291.
- Vidal-Valverde, C., Frias, J., Hernández, A., Martín-Alvarez, P.J., Sierra, I., Rodríguez, C., Blazquez, I., Vicente, G. (2003). Assessment of nutritional compounds and antinutritional factors in pea (*Pisum sativum*) seeds. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83(4), 298-306.
- Vijayakumaria, K., Pugalenthib, M., Vadivelb, V. (2007). Effect of soaking and hydrothermal processing methods on the levels of antinutrients and *in vitro* protein digestibility of *Bauhinia purpurea* L. seed. *Food Chemistry* 103(3), 968-975.
- Wang, N., Daun, J.K. (2004). Effect of variety and crude protein content on nutrients and certain antinutrients in field peas (*Pisum sativum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 84(9), 1021-1029.
- Wang, N., Daun, J.K. (2006). Effects of variety and crude protein content on nutrients and anti-nutrients in lentils (*Lens culinaris*). *Food Chemistry* 95(3), 493-502.
- Wang, N., Hatcher, D.W., Warkentin, T.D., Toews, R. (2010). Effect of cultivar and environment on physicochemical and cooking characteristics of field pea (*Pisum sativum*). *Food Chemistry* 118(1), 109-115.

- Wang, X., Warkentin, T.D., Briggs, C.J., Oomah, B.D., Campbell, C.G., Woods, S. (1998). Total phenolics and condensed tannins in field pea (*Pisum sativum* L.) and grass pea (*Lathyrus sativus* L.). *Euphytica* 101(1), 97-102.
- Wang, X., Warkentin, T.D., Briggs, C.J., Oomah, B.D., Clayton, G.C., Woods, S. (1998). Trypsin inhibitor activity in field pea (*Pisum sativum* L.) and grass Pea (*Lathyrus sativus* L.). *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 46(7), 2620-2623.
- Welch, R.W. (1974). The effect of winter and spring sowing on the grain composition of oat varieties. *The Journal of Agriculture Science* 83(2), 275-279.
- Woese, K., Lange, D., Chr., B., W., B.K. (1997). A comparison of organically and conventionally grown foods results of a review of the relevant literature. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 74(3), 281-293.
- Xu, B., Chang, S.K.C. (2012). Comparative study on antiproliferation properties and cellular antioxidant activities of commonly consumed food legumes against nine human cancer cell lines. *Food Chemistry* 134(3), 1287-1296.
- You, Q., Wang, B., Chen, F., Huang, Z., Wanga, X., Luocd, P.G. (2011). Comparison of anthocyanins and phenolics in organically and conventionally grown blueberries in selected cultivars. *Food Chemistry* 125(1), 201-208.
- Zacharias, B. Baden-Württemberg. *Landinfo* 5. 2016, 16-17.

12 Anhang

12.1 Verzeichnis zu Chemikalien, Geräte, Verbrauchsmaterialien und verwendete Softwares

Alle Chemikalien, die für die Durchführung dieser Arbeit verwendet wurden, sind mit ihren Sicherheitshinweisen und dem Hersteller in Tabelle 7 aufgeführt.

Tabelle 7: Aufführung aller verwendeten Chemikalien

Chemikalien	GHS-Symbole	H-Sätze	P-Sätze	Entsorgung (1)	Hersteller
(+)-Catechin, analytical standard	Kein gefährlicher Stoff nach GHS			4	Sigma-Aldrich Co. LLC.
Borsäure, 4 %, p.a.	 „Gefahr“	360FD	201-280-308+318	5	Carl Roth GmbH &Co. KG
Dimethylsulfoxid, ≥ 99,8 %, p.a.	Kein gefährlicher Stoff nach GHS			4	Carl Roth GmbH &Co. KG
Ethanol, absolut, ≥ 99,8 %	 „Gefahr“	225, 319	210, 240, 305+351+338, 403+233	4	VWR International LLC.
Kjeldahl-Tabletten, TCT	 „Achtung“	319, 410	273, 280, 305+351+338	4	Carl Roth GmbH &Co. KG
Methanol, HPLC Gradient Grade	 „Gefahr“	225, 331, 311, 301, 370	210, 233, 280, 302+352, 304+340, 308+310, 403+235	5	Carl Roth GmbH &Co. KG

Anhang

Chemikalien	GHS-Symbole	H-Sätze	P-Sätze	Entsorgung (1)	Hersteller
Methylenblau, p.a.	 „Achtung“	302, 412		4	Carl Roth GmbH &Co. KG
Methylrot, p.a.	Kein gefährlicher Stoff nach GHS			4	Carl Roth GmbH & Co. KG
Natrium- hydroxid, ≥ 98%, p.a. ISO, in Plätzchen	 „Gefahr“	290, 315, 319	233, 280, 303+361 353+305+3 51+338+31 0	3	Carl Roth GmbH & Co. KG
Natronlauge, 33 %, p.a.	 „Gefahr“	290, 315, 319	280, 302+352 305+351+ 338	3	Carl Roth GmbH & Co. KG
N-α-Benzoyl-DL- arginine 4-nitroanilide hydrochloride, ≥ 98 %	Kein gefährlicher Stoff nach GHS			4	
Salzsäure, 0,1 mol/L - 0,1 N, Maßlösung	 „Gefahr“		234, 390	1	Carl Roth GmbH & Co. KG
Salzsäure, rauchend, 37 %, p.a.	 „Gefahr“	290, 314, 335	260, 280, 303+361+ 353, 304+340+ 310, 305+351	1	Carl Roth GmbH & Co. KG
Schwefelsäure, ≥ 96 %, p.a,	 „Gefahr“	290, 314	280 301+330+3 31 303+361+3 53 305+351+3 38+310	1	Grüssing GmbH
Trishydroxymeth- yl- aminoethan	 „Gefahr“	315, 319, 338	261, 305+351+ 338	4	Macherey -Nagel GmbH & Co. KG

Anhang

Chemikalien	GHS-Symbole	H-Sätze	P-Sätze	Entsorgung (1)	Hersteller
Trypsin from porcine pancreas, Type IX-S, lyophilized powder, 13.000-20.000 BAEE units/mg protein	 „Gefahr“	315, 319, 334, 335	261, 305+351+ 338, 342, 311	5	Sigma-Aldrich Co. LLC.
Vanillin, ≥ 99 %, für die Biochemie	 „Gefahr“			4	Carl Roth GmbH & Co. KG

- 1 Behälter für andere Säuren (chlorid-/sulfathaltig), gegebenenfalls vorher in Wasser lösen oder verdünnen.
- 2 Behälter für andere Säuren (nitrathaltig), gegebenenfalls vorher in Wasser lösen oder verdünnen.
- 3 Behälter für andere Basen, gegebenenfalls vorher in Wasser lösen oder verdünnen.
- 4 Behälter für halogenfreie, organische Lösemittel, gegebenenfalls vorher in halogenfreiem Lösemittel lösen oder verdünnen.
- 5 Behälter für halogenhaltige und giftige, organische Lösemittel, gegebenenfalls vorher in organischem Lösemittel lösen oder verdünnen.
- 6 Behälter für kontaminierte Betriebsmittel.

Anhang

In Tabelle 8 sind alle im Laufe dieser Arbeit verwendeten Geräte mit Hersteller und weiteren Spezifikationen aufgeführt.

Tabelle 8: Aufführung aller verwendeten Geräte

Bezeichnung	Hersteller	Weitere Spezifikationen
Analysenmühle	IKA-Werke GmbH & Co. KG, Staufen, Deutschland	A11 basic Analysenmühle
Analysenwaage	Sartorius GmbH, Göttingen, Deutschland	Typ 1702 004
Aufschluss-Einheit	Büchi Labortechnik GmbH, Essen, Deutschland	SpeedDigerster K-425
Autosampler	Gerstel GmbH & Co. KG, Mülheim an der Ruhr, Deutschland	MultiPurposeSampler
Destillationsdampfdruckgerät	Büchi Labortechnik GmbH, Essen, Deutschland	Destillationsgerät K-355
Feuchtebestimmer	Mettler Toledo, Columbus, Ohio, USA	Halogen Moisture Analyzer HR73
Homogenisator	VWR International GmbH, Radnor, Pennsylvania, USA	Typ VDI 12
pH-Meter	WTW GmbH, Weilheim, Deutschland	inoLab 720
Pipetten	Eppendorf Research Plus	Volumina: - 10 bis 100 µL - 0,1 bis 1,0 mL - 0,5 bis 5,0 mL
Mehrfachkanalpipette	Mettler Toledo Incorporated Columbus, Ohio, USA	Rainin Volumina - 30 bis 300 µL
Mikroplatten Reader	BioTek Instruments, Inc., Winooski, Vermont, USA	Synergy HT
Präzisionswaage	Sartorius GmbH, Göttingen, Deutschland	L2200P

Anhang

Bezeichnung	Hersteller	Weitere Spezifikationen
Ultraschallgerät	Bandelin electronic GmbH & Co. KG, Berlin, Deutschland	Sonorex Super
Vortex	VWR International GmbH, Radnor, PA, USA	Digital Vortex Mixer, 230 V
	IKA-Werke GmbH & Co. KG, Staufen im Breisgau, Deutschland	Vortex 3/ Model V3S000
Wasserbad	Julabo GmbH, Seelach, Deutschland	SW22
Zentrifuge	Eppendorf AG, Hamburg, Deutschland	Centrifuge 5430 R Centrifuge 5810 R

In Tabelle 9 sind alle im Laufe dieser Arbeit verwendeten Verbrauchsmaterialien mit Hersteller und weiteren Spezifikationen aufgeführt.

Tabelle 9: Aufführung aller verwendeten Verbrauchsmaterialien

Verbrauchsmaterial	Hersteller	Weitere Spezifikationen
Aluminium Probenschalen	Mettler Toledo Incorporated Columbus, Ohio, USA	Einweg Probenschalen aus Aluminium
Pipettenspitzen	Sarstedt AG & Co. Nümbrecht, Deutschland	10 µL, 200 µL, 1000 µL, 5 mL
	Mettler Toledo Incorporated Columbus, Ohio, USA	300 µL
Reaktionsgefäße		
Tubes	Sarstedt AG & Co. Nümbrecht, Deutschland	15 mL, 50 mL
Cups	SafeSeal	2 mL
96-Well-Platte	Greiner Bio-One GmbH, Kremsmünster, Österreich	300 µL

In Tabelle 10 sind alle im Laufe dieser Arbeit verwendeten Softwares und deren Hersteller aufgeführt.

Tabelle 10: Aufführung aller verwendeten Softwares

Bezeichnung	Version	Hersteller
ChemDraw®	Version 19.0	PerkinElmer, Inc., Waltham, Massachusetts, USA
Gen5	Version 2.00.18	BioTek Instruments, Inc., Winooski, Vermont, USA
SPSS®	Version 25.0	IBM Corporation, Armonk. New York, USA

12.2 Verzeichnis über verwendete Lösungen und Puffer

12.2.1 Proteinbestimmung nach KJELDAHL

12.2.1.1 Tashiro-Indikator

Der Tashiro-Indikator wurde als Indikator zur Titration während der Proteinbestimmung nach KJELDAHL verwendet (Abschnitt 10.2.4). Zur Herstellung des Tashiro-Indikators wurden Methylrot (0,01 %) und Methylenblau (0,1 %) in Ethanol (70 %) gelöst (w/v).

12.2.2 Messung der TI-Aktivität

12.2.2.1 Trypsin-Lösung

Zur Herstellung der Trypsin-Lösung zur Bestimmung der TI-Aktivität (Abschnitt 10.2.5) des Probenmaterials wurden 1 mg Trypsin in 50 mL einer 0,001 M Salzsäurelösung (w/v) gelöst. An dieser Stelle wurde eine Salzsäure (37 %, rauchend) verwendet. Die Trypsin-Lösung wurde zu jedem Analysetag frisch angesetzt.

12.2.2.2 BAPNA-Lösung

Zur Herstellung der BAPNA-Arbeitslösungen wurden 4 mg BAPNA zunächst in 100 µL DMSO gelöst. Anschließend wurden zur BAPNA-Lösung 12 mL Tris-Puffer (0,05 M, w/v) hinzugefügt. Der Tris-Puffer wurde mit Hilfe von Salzsäure (37 %, rauchend) mittels eines pH-Meters auf pH 8,2 eingestellt. Die BAPNA-Lösung wurde zu jedem Analysetag frisch angesetzt.

12.2.3 Messung des Tanningehaltes

12.2.3.1 Arbeitslösungen zur Tanninbestimmung

Zur Bestimmung des Tanningehaltes (Abschnitt 10.2.6) in Erbsen und Bohnen wurden verschiedene Arbeitslösungen im Vorfeld hergestellt. Zunächst wurde eine 1-%ige Schwefelsäurelösung, gelöst in Methanol (v/v), hergestellt, welche zur Extraktion des Probenmaterials verwendet wurde. Des Weiteren wurde eine 1-%ige Vanillinlösung, in Methanol gelöst (w/v), vorbereitet. Die Vanillinlösung wurde für die weitere Analyse im Kühlschrank (4 °C) dunkel gelagert und wurde zu jedem Analysetag frisch hergestellt. Zur weiteren Analyse wurde eine 4-%ige und 8-%ige Salzsäurelösung, gelöst in Methanol (v/v), hergestellt.

12.2.3.2 Catechin-Standard und Kalibrierreihe

Zur Bestimmung des Tanningehaltes in Erbsen und Bohnen wurde ein externer Catechin-Standard verwendet. Hierzu wurde zunächst eine Stammlösung mit 2 mg/mL Catechin, in Methanol gelöst, verwendet. Anschließend wurde die Catechin-Stammlösung verdünnt und eine 6-Punktkalibrierung durchgeführt. In Tabelle 11 ist die Kalibrierreihe des Catechin-Standards zur photometrischen Bestimmung des Tanningehaltes auf der 96-Well-Platte aufgeführt.

Tabelle 11: 6-Punkt-Kalibrierreihe des Catechin-Standards zur Bestimmung des Tanningehaltes auf der 96-Well-Platte

Verdünnung aus der Stammlösung	Catechin Konzentration [mg/ml]	Catechin-Lösung [μ l]	Methanol [μ l]	Standard
-	2	40	0	1
1:2	1,0	40	0	2
1:4	0,5	40	0	3
1:10	0,2	40	0	4
1:100	0,02	40	0	5
-	0	0	40	6

12.3 Verzeichnis Durchführung 96-Well-Platten-Schema

12.3.1 Durchführung 96-Well-Platten-Schema zur Messung der TI-Aktivität

In Tabelle 12 ist das 96-Well-Platten-Schema zur Messung der TI-Aktivität aufgeführt. Im ersten Inkubationsschritt wurden ausschließlich Wasser, Proben, HCl- und Trypsin-Lösung hinzu pipettiert. Nach 10 min Inkubationszeit bei 37 °C im Plattenleser wurde die BAPNA-Lösung auf die 96-Well-Platte hinzugefügt. Die Platte wurde erneut inkubiert bei (37 °C/10 min) und bei 410 nm gemessen.

Tabelle 12: Schema zur Messung der TI-Aktivität auf der 96-Well-Platte

Substanz	Volumen	96-Well-Platte Nummerierung	Anmerkungen
Wasser	40 µL	A1 bis H1 und A7 bis H7	
Probe Blindwert	40 µL	A2 bis H6	von jedem Probeextrakt wurde eine 4fach Bestimmung gemacht
Probe Haupt- messung	40 µL	A8 bis H12	von jedem Probeextrakt wurde eine 4fach Bestimmung gemacht
0,001 M HCl-Lösung	40 µL	A1 bis H6	
Trypsin- Lösung	40 µL	A7 bis H12	
BAPNA- Lösung	120 µL	A1 bis H12	

12.3.2 Durchführung 96-Well-Platten-Schema zur Messung des Tanningehaltes

In Tabelle 13 ist das 96-Well-Platten-Schema zur Messung des Tanningehaltes aufgeführt. Die sechs Catechin-Standardlösungen und die Proben wurden im ersten Inkubationsschritt hinzugefügt und im Plattenleser inkubiert (5 min/30 °C). Anschließend wurde die Vanillin- und HCl-Lösung (4 %, v/v) auf die 96-Well-Platte hinzu pipettiert. Die Platte wurde erneut inkubiert (30 °C/20 min). Die Messung erfolgte bei 500 nm.

Tabelle 13: Schema zur Messung des Tanningehaltes auf der 96-Well-Platte

Substanz	Volumen	96-Well-Platte Nummerierung	Anmerkungen
Catechin-Standard Blindwert	40 µL	A1 bis D6	von jedem Standard (Std1 bis Std6) wurde eine 4fach Bestimmung gemacht
Catechin-Standard Hauptmessung	40 µL	A7 bis D12	von jedem Standard (Std1 bis Std6) wurde eine 4fach Bestimmung gemacht
Probe Blindwert	40 µL	E1 bis H6	von jedem Probeextrakt wurde eine 4fach Bestimmung gemacht
Probe	40 µL	E7 bis H12	von jedem Probeextrakt wurde eine 4fach Bestimmung gemacht
4-%ige HCl-Lösung	200 µL	A1 bis H6	
Vanillin-Lösung	200 µL	A7 bis H13	

12.4 Nachweis und Bestimmungsgrenze der Plattenlesermethoden zur Bestimmung des Tanningehaltes

12.4.1 Nachweisgrenze

Die Nachweisgrenze (NWG) stellt die kleinste nachweisbare Menge eines Analyten dar und ist mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 50 % behaftet. Mit der NWG kann ausschließlich abgeschätzt werden, ob der Analyt in der Probe vorhanden ist. Eine Quantifizierung ist mit der NWG nicht möglich. Die NWG wurde nach der Leerwertmethode der DIN 32654:2008-11 berechnet (Gleichung 5).

$$NWG = \frac{(y_b + s_b \times t \times \sqrt{\frac{1}{p} + \frac{1}{n}}) - b}{m} \quad (5)$$

<i>NWG</i> [mg CE/mL]	Nachweisgrenze [mg CE/mL]
y_b [Skt]	Mittelwert des Blindwertes
s_b [Skt]	Standardabweichung des Blindwertes
t	Tabellenwert der einseitigen t-Tabelle für $f = n-1$ (Tabelle 14)
p	Anzahl der Parallelbestimmungen (hier: 1)
n	Anzahl der unabhängig hergestellten Blindproben (hier: 4)
b	aus den Kalibrierdaten bekannte Steigung
m [Skt mL/ mg CE]	Empfindlichkeit

Tabelle 14: t-Tabelle; Signifikanzschranken der t-Verteilung (Küster und Thiel, 2003)

$f \backslash \alpha$	Signifikanzniveau α (zweiseitige Fragestellung)					
	10 % P= 90 %	5 % P= 95 %	2 % P= 98 %	1 % P= 99 %	0,2 % P= 99,8 %	0,1 % P= 99,9 %
1	6,31	12,70	31,82	63,70	318,30	637,00
2	2,92	4,30	6,97	9,92	22,33	31,60
3	2,35	3,18	4,54	5,84	10,22	12,90
4	2,13	2,78	3,75	4,60	7,17	8,61
5	2,01	2,57	3,37	4,03	5,89	6,86
6	1,94	2,45	3,14	3,71	5,21	5,96
7	1,89	2,36	3,00	3,50	4,79	5,40
8	1,86	2,31	2,90	3,36	4,50	5,04
9	1,93	2,26	2,82	3,25	4,30	4,78
	5 %	2,5 %	1 %	0,5 %	0,1 %	0,05 %
	Signifikanzniveau α (einseitige Fragestellung)					

Die grundlegenden Bedingungen für die Bestimmung der Nachweisgrenze sind die Normalverteilung der Kalibrierproben, sowie eine Varianzhomogenität zwischen dem höchsten Kalibrierstandard und dem Leerwert. Der Schnelltest nach DAVID kann zur Beurteilung der Normalverteilung herangezogen werden, während das Vorliegen einer Varianzhomogenität mittels F-Tests kontrolliert wird.

12.4.2 Schnelltest auf Normalverteilung nach DAVID

Es kann zu einer angegebenen Wahrscheinlichkeit von einer Normalverteilung ausgegangen werden, wenn die nach Gleichung 6 berechnete Prüfgröße zwischen den in Tabelle 15 angegebenen Werten liegt.

$$PG = \frac{V}{s_R} \quad (6)$$

PG	Prüfgröße
V [Skt]	Variationsbreite (Differenz zwischen dem größten und kleinsten Messwert)
s_R [Skt]	Standardabweichung

Tabelle 15: Obere und untere Schranke zur Prüfung der Normalverteilung nach DAVID (Küster und Thiel, 2003)

n	Untere Schranke Signifikanzniveau α [%]			Obere Schranke Signifikanzniveau α [%]		
	1,0	5,0	10,0	1,0	5,0	10,0
	3	1,74	1,76	1,78	2,00	2,00
4	1,87	1,98	2,04	2,43	2,45	2,45
5	2,02	2,15	2,22	2,75	2,80	2,81
6	2,15	2,28	2,37	3,01	3,10	3,12
7	2,26	2,40	2,49	3,22	3,34	3,37
8	2,35	2,50	2,59	3,40	3,54	3,59
9	2,44	2,59	2,68	3,55	3,72	3,77

Für den Test auf Normalverteilung nach DAVID sind mindestens drei Messwiederholungen notwendig. Da bei den Bestimmungen des Tanningehaltes in dieser Diplomarbeit Doppelbestimmungen ($n = 2$) durchgeführt wurden, kann daher kein Test auf Normalverteilung erfolgen.

12.4.3 F-Test auf Varianzhomogenität

Es kann mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,9 % von einer Varianzhomogenität ($\alpha = 0,1 \%$) ausgegangen werden, wenn die nach Gleichung 7 berechnete Prüfgröße zwischen den in Tabelle 16 aufgeführten Werten liegt.

$$PG = \frac{S_{R1}^2}{S_{R2}^2} \quad (7)$$

<i>PG</i>	Prüfgröße
S_{R1}^2 [Skt]	Standardabweichung der Grundgesamtheit der Leerwerte
S_{R2}^2 [Skt]	Standardabweichung der Grundgesamtheit des höchsten Kalibrierstandards

Tabelle 16: Signifikanzniveau der F-Verteilung mit einem Signifikanzniveau von $\alpha=0,1 \%$ (Küster und Thiel, 2003)

$f_2 \backslash f_1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	405000	500000	540000	563000	576000	586000	533000	598000	602000
2	998,50	999,00	999,20	999,30	999,30	999,30	999,40	999,40	999,40
3	167,15	148,50	141,10	137,10	134,60	132,80	131,50	130,60	129,80
4	74,14	61,25	56,18	53,44	51,71	50,53	49,66	49,00	48,47
5	47,04	36,61	33,20	31,09	29,75	28,84	28,15	27,64	27,23
6	35,51	27,00	23,70	21,90	20,81	20,01	19,46	19,03	18,68
7	29,22	21,69	18,77	17,19	16,21	15,52	15,01	14,63	14,32
8	25,42	18,49	15,83	14,39	13,49	12,86	12,39	12,04	11,76
9	22,86	16,39	13,90	12,56	11,71	11,13	10,70	10,37	10,10

12.4.4 Bestimmungsgrenze

Die Bestimmungsgrenze (BWG) ist die kleinste nachweisbare Konzentration eines Analyten innerhalb einer Probe und entspricht der dreifachen NWG (Gleichung 8).

$$BWG = 3 \times NWG \quad (8)$$

BWG	Bestimmungsgrenze [mg CE/mL]
NWG	Nachweisgrenze [mg CE/mL]

Zur Bestimmung der NWG und BWG wurden die Extinktionen der Blindwerte randomisiert ausgewählter 96-Well-Platten verwendet. Die zufällig ausgesuchten Platten mit den Extinktionen sind auf dem beigefügten USB-Stick im Ordner „*Tanningehalte*“ im Unterordner „2016“ zu finden. In Tabelle 17 sind die bereits berechneten NWG und BWG der randomisierten 96-Well-Platten zu finden.

Tabelle 17: Nachweis- und Bestimmungsgrenze randomisierter Proben über den Messzeitraum

Plattenr.	NWG	BWG
261	0,009	0,026
255	0,009	0,039
247	0,007	0,020
244	0,028	0,084
238	0,030	0,088
220	0,031	0,091
213	0,019	0,056
204	0,022	0,067
199	0,017	0,052
189	0,007	0,021
171	0,022	0,052
162	0,017	0,052
157	0,018	0,055
151	0,036	0,108
148	0,034	0,101
136	0,022	0,067
132	0,024	0,071
Mittelwert	0,021	0,063

Die aus den Konzentrationen resultierenden Grenzwerte für die Tanningehalte, die vom jeweiligen Extraktionsvolumen abhängig sind, werden in Tabelle 18 aufgeführt. Das Extraktionsvolumen von 1,5 mL wird für die weißblühenden Erbsensorten *Alvesta* und

Astronoute sowie für die weißblühende Ackerbohnen sorte *Taifun* verwendet. Für die buntblühende Ackerbohnen sorten *Fuego* und *Fanfare* wurde ein Extraktionsvolumen von 5 mL eingesetzt.

Tabelle 18: Nachweis- und Bestimmungsgrenze von Erbsen und Ackerbohnen bezogen auf das Extraktionsvolumen

Extraktions- Volumen [mL]	NWG [mg CE/mL]	BWG [mg CE/mL]
1,5	0,032	0,095
2,0	0,105	0,315

12.5 Aufführung der Häufigkeitsverteilung der Erbsen und Ackerbohnen nach den Metadaten

Tabelle 19: Häufigkeiten Erbsen und Ackerbohnen in den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018

Anbaujahr	Erbsen	Ackerbohnen
2016	79	57
2017	83	66
2018	41	39
insgesamt	203	162

Tabelle 20: Häufigkeiten ausgewählter Erbsensorten

Sorten	Anzahl
Alvesta	45
Astronaute	43
Respect	10
Rocket	10
Salamanca	13
insgesamt	121

Tabelle 21: Häufigkeiten ausgewählter Ackerbohnen Sorten

Sorten	Anzahl
Bilbo	10
Birgit	8
Fanfare	43
Fuego	45
Taifun	12
Tiffany	24
insgesamt	142

Tabelle 22: Häufigkeiten Erbsen und Ackerbohnen nach Sommer- und Winteranbau

Anbauzeit	Erbsen	Ackerbohnen
Sommer	166	161
Winter	37	1
insgesamt	203	162

Tabelle 23: Häufigkeiten Erbsen und Ackerbohnen nach weißer und bunter Blütenfarbe

Blütenfarbe	Erbsen	Ackerbohnen
weißblühend	192	14
buntblühend	11	148
insgesamt	203	162

Tabelle 24: Häufigkeiten Erbsen und Ackerbohnen nach konventionellem und ökologischem Anbau

Anbau	Erbsen	Ackerbohnen
konventionell	78	115
ökologisch	74	47
insgesamt	152	162

Tabelle 25: Häufigkeiten Sommer- und Wintererbsen nach konventionellem und ökologischem Anbau

Anbau	Sommer- erbsen	Winter- erbsen
konventionell	76	2
ökologisch	40	34
insgesamt	116	36

Tabelle 26: Häufigkeiten Erbsen und Ackerbohnen nach Fungizideinsatz

Fungizid- einsatz	Erbsen	Ackerbohnen
ja	29	75
nein	111	77
insgesamt	140	152

Tabelle 27: Häufigkeiten Erbsen und Ackerbohnen nach Insektizideinsatz

Insektizid- einsatz	Erbsen	Ackerbohnen
ja	60	75
nein	83	83
insgesamt	143	158

12.6 Deskriptive Statistik zu den ökophysiologischen Parametern Temperatur, Niederschlag und Boden

Tabelle 28: Durchschnittliche *Temperatur* (°C) (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) in den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018 beim Erbsen- und Ackerbohnenanbau

Anbaujahr	N	MW ± STD	Min	Max
Erbsen (insgesamt)				
2016	25	13,0 ± 2,1	8,0	15,6
2017	24	12,2 ± 2,8	7,0	15,6
2018	20	15,9 ± 2,2	7,7	18,5
insgesamt	69	13,6 ± 2,8	7,0	18,5
Sommererbsen				
2016	21	13,9 ± 0,6	12,7	15,6
2017	19	13,5 ± 1,5	8,2	15,6
2018	19	16,4 ± 1,0	13,7	18,5
insgesamt	59	14,5 ± 1,7	8,2	18,5
Wintererbsen				
insgesamt	10	8,0 ± 0,7	7,0	8,8
Ackerbohnen				
2016	26	14,1 ± 1,3	9,7	16,3
2017	37	14,7 ± 0,7	12,4	15,4
2018	29	17,1 ± 1,5	13,6	18,9
insgesamt	92	15,3 ± 1,7	9,7	18,9

Anhang

Tabelle 29: Durchschnittlicher *Niederschlag (mm)* (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) in den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018 beim Erbsen- und Ackerbohnenanbau

Anbaujahr	N	MW ± STD	Min	Max
Erbsen (insgesamt)				
2016	25	364,1 ± 162,0	186,5	671,2
2017	37	312,1 ± 150,2	134,5	641,3
2018	20	187,0 ± 115,2	45,9	548,0
insgesamt	69	294,7 ± 160,9	45,9	671,2
Sommererbsen				
2016	21	320,7 ± 138,3	186,5	671,2
2017	19	256,4 ± 99,8	134,5	452,6
2018	19	168,0 ± 79,9	45,9	333,3
insgesamt	59	250,8 ± 125,3	45,9	671,2
Wintererbsen				
insgesamt	10	553,4 ± 86,2	370,4	641,3
Ackerbohnen				
2016	26	296,2 ± 123,0	166,4	659,8
2017	37	358,1 ± 83,3	235,0	560,1
2018	29	138,5 ± 57,7	65,3	854,0
insgesamt	92	271,4 ± 129,6	65,3	289,6

Tabelle 30: Prozentualer Bodenanteil *Sand (%)* in den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018 beim Erbsen- und Ackerbohnenanbau

Anbaujahr	N	MW ± STD	Min	Max
Erbsen				
2016	26	28,8 ± 16,7	8,7	73,9
2017	25	35,2 ± 22,7	10,4	77,4
2018	28	32,2 ± 21,1	12,1	76,9
insgesamt	79	32,0 ± 20,2	8,7	77,4
Ackerbohnen				
2016	39	24,6 ± 18,2	5,7	75,6
2017	40	20,8 ± 12,9	8,6	52,4
2018	30	24,7 ± 15,2	8,6	56,0
insgesamt	109	23,2 ± 15,6	5,7	75,6

Anhang

Tabelle 31: Prozentualer Bodenanteil *Schluff* (%) in den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018 beim Erbsen- und Ackerbohnenanbau

Anbaujahr	N	MW ± STD	Min	Max
Erbsen				
2016	26	50,3 ± 12,3	17,1	69,3
2017	25	46,6 ± 17,8	16,3	68,4
2018	28	49,3 ± 16,9	17,7	65,0
insgesamt	79	48,8 ± 15,7	16,3	69,3
Ackerbohnen				
2016	39	57,5 ± 15,7	16,8	76,9
2017	40	59,5 ± 10,5	32,9	70,0
2018	30	56,7 ± 12,4	30,0	70,0
insgesamt	109	58,0 ± 13,0	16,8	76,9

Tabelle 32: Prozentualer Bodenanteil *Ton* (%) in den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018 beim Erbsen- und Ackerbohnenanbau

Anbaujahr	N	MW ± STD	Min	Max
Erbsen				
2016	26	20,9 ± 6,4	8,2	32,1
2017	25	18,2 ± 6,9	4,8	38,6
2018	28	18,5 ± 6,3	5,4	38,6
insgesamt	79	19,2 ± 6,5	4,8	38,6
Ackerbohnen				
2016	39	17,9 ± 6,2	6,7	39,6
2017	40	19,7 ± 3,7	12,3	28,5
2018	30	18,6 ± 3,8	12,3	25,7
insgesamt	109	18,8 ± 4,8	6,7	39,6

12.7 Signifikante Unterschiede der meteorologischen Daten zwischen den drei Anbaujahren bei Erbsen und Ackerbohnen

Tabelle 33: Signifikante Unterschiede der meteorologischen Daten (*Temperatur* und *Niederschlag*) zwischen den drei Anbaujahren (2016, 2017 und 2018) bei Erbsen und Ackerbohnen

	Erbsen	Ackerbohnen
<i>Anbaujahr</i>	<i>Temperatur</i>	
2016-2018	p < 0,001	p < 0,001
2016-2017	ns	p < 0,01
2017-2018	p < 0,001	p < 0,001
	Erbsen	Ackerbohnen
<i>Anbaujahr</i>	<i>Niederschlag</i>	
2016-2018	p < 0,001	p < 0,001
2016-2017	ns	p < 0,01
2017-2018	p < 0,05	p < 0,001

ns = nicht signifikant

12.8 Ergänzungen zum Abschnitt 7 - Ergebnisse: Tabellen

Deskriptive Statistik zum konventionellen und ökologischen Anbau von Erbsen und Ackerbohnen insgesamt (alle Proben aus den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018). Zusätzliche Aufführung der deskriptiven Statistik von konventionellen und ökologischen Sommererbsen sowie konventionellen und ökologischen buntblühenden Ackerbohnen insgesamt (alle Proben aus den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018).

Tabelle 34: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von konventionell und ökologisch angebauten Erbsen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017 und 2018)

konventioneller Anbau					
	N	MW ± STD	Median	Min	Max
insgesamt					
Tausendkorngewicht [g]	78	252,4 ± 35,3	262,4	98,3	305,1
Proteingehalt [g/100 g]	78	19,4 ± 1,6	19,3	14,8	23,9
TI-Aktivität [TIU/mg]	78	40,5 ± 5,9	41,9	23,5	50,4
Tanningehalt [mg CE/g]	78	<NWG	<NWG	<NWG	0,3
Anbaujahr 2016					
Tausendkorngewicht [g]	28	250,2 ± 49,8	267,8	98,3	305,1
Proteingehalt [g/100 g]	28	19,2 ± 1,9	19,5	14,8	22,7
TI-Aktivität [TIU/mg]	28	37,9 ± 6,8	37,5	23,5	50,4
Tanningehalt [mg CE/g]	28	<NWG	<NWG	<NWG	0,3
Anbaujahr 2017					
Tausendkorngewicht [g]	30	248,6 ± 21,0	251,7	208,9	287,0
Proteingehalt [g/100 g]	30	19,6 ± 1,4	19,6	17,1	23,9
TI-Aktivität [TIU/mg]	30	41,4 ± 4,8	42,9	27,8	50,3
Tanningehalt [mg CE/g]	30	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
Anbaujahr 2018					
Tausendkorngewicht [g]	20	261,3 ± 27,1	270,0	198,0	293,0
Proteingehalt [g/100 g]	20	19,2 ± 1,3	19,2	17,0	22,3
TI-Aktivität [TIU/mg]	20	42,6 ± 4,7	43,1	26,8	48,0
Tanningehalt [mg CE/g]	20	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
ökologischer Anbau					
	N	MW ± STD	Median	Min	Max
insgesamt					
Tausendkorngewicht [g]	74	206,1 ± 53,4	217,0	110,0	296,6
Proteingehalt [g/100 g]	74	20,0 ± 1,8	20,2	15,6	23,9
TI-Aktivität [TIU/mg]	74	41,3 ± 13,1	42,0	12,4	65,8
Tanningehalt [mg CE/g]	74	0,7 ± 1,9	0,0	<NWG	11,7

Anhang

Anbaujahr 2016					
Tausendkorngewicht [g]	24	227,3 ± 39,6	234,9	120,0	277,8
Proteingehalt [g/100 g]	24	19,9 ± 1,2	20,2	17,6	22,0
TI-Aktivität [TIU/mg]	24	31,4 ± 8,3	32,6	14,0	44,9
Tanningehalt [mg CE/g]	24	0,5 ± 1,6	0,0	<NWG	6,7
Anbaujahr 2017					
Tausendkorngewicht [g]	35	200,0 ± 61,0	208,7	110,0	296,6
Proteingehalt [g/100 g]	35	19,6 ± 2,0	19,7	15,6	23,6
TI-Aktivität [TIU/mg]	35	44,5 ± 14,0	46,9	12,4	65,8
Tanningehalt [mg CE/g]	35	0,5 ± 1,3	0,0	<NWG	5,6
Anbaujahr 2018					
Tausendkorngewicht [g]	15	186,2 ± 44,3	177,0	121,0	277,0
Proteingehalt [g/100 g]	15	21,3 ± 1,8	21,9	17,3	23,9
TI-Aktivität [TIU/mg]	15	49,9 ± 5,6	51,3	40,5	57,0
Tanningehalt [mg CE/g]	15	1,3 ± 3,1	0,0	<NWG	11,7

Tabelle 35: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von konventionell und ökologisch angebauten Ackerbohnen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017 und 2018)

konventioneller Anbau					
	N	MW ± STD	Median	Min	Max
insgesamt					
Tausendkorngewicht [g]	114	513,0 ± 69,3	512,8	308,0	699,0
Proteingehalt [g/100 g]	115	24,9 ± 2,2	24,5	19,3	33,2
TI-Aktivität [TIU/mg]	115	43,4 ± 6,1	44,9	26,2	57,3
Tanningehalt [mg CE/g]	115	4,3 ± 2,7	4,0	<NWG	12,5
Anbaujahr 2016					
Tausendkorngewicht [g]	34	537,4 ± 71,1	523,8	380,4	699,0
Proteingehalt [g/100 g]	35	24,4 ± 2,3	24,5	19,3	30,1
TI-Aktivität [TIU/mg]	35	36,5 ± 5,0	35,9	26,2	50,3
Tanningehalt [mg CE/g]	35	5,1 ± 2,4	5,2	<NWG	10,2
Anbaujahr 2017					
Tausendkorngewicht [g]	54	509,5 ± 65,7	509,5	394,0	665,7
Proteingehalt [g/100 g]	54	24,9 ± 2,1	24,5	21,1	33,2
TI-Aktivität [TIU/mg]	54	46,5 ± 3,3	46,4	40,2	57,3
Tanningehalt [mg CE/g]	54	4,4 ± 3,1	3,5	<NWG	12,5
Anbaujahr 2018					
Tausendkorngewicht [g]	26	488,4 ± 66,5	486,0	308,0	598,0
Proteingehalt [g/100 g]	26	25,4 ± 2,2	24,7	20,8	29,6
TI-Aktivität [TIU/mg]	26	46,5 ± 3,6	46,6	38,7	52,7
Tanningehalt [mg CE/g]	26	3,1 ± 1,6	2,6	<NWG	7,3
ökologischer Anbau					

Anhang

	N	MW ± STD	Median	Min	Max
insgesamt					
Tausendkorngewicht [g]	47	496,9 ± 91,7	517,9	223,0	678,4
Proteingehalt [g/100 g]	47	25,6 ± 2,5	25,1	21,4	33,5
TI-Aktivität [TIU/mg]	47	40,6 ± 7,6	40,1	20,5	54,4
Tanningehalt [mg CE/g]	47	4,1 ± 2,6	4,0	<NWG	10,9
Anbaujahr 2016					
Tausendkorngewicht [g]	22	521,1 ± 65,5	518,2	406,2	678,4
Proteingehalt [g/100 g]	22	24,6 ± 1,7	24,7	21,4	28,0
TI-Aktivität [TIU/mg]	22	36,2 ± 4,2	38,0	27,5	42,5
Tanningehalt [mg CE/g]	22	4,8 ± 2,7	4,6	<NWG	9,7
Anbaujahr 2017					
Tausendkorngewicht [g]	12	525,8 ± 56,7	531,7	432,1	601,0
Proteingehalt [g/100 g]	12	25,8 ± 2,8	25,1	21,4	30,3
TI-Aktivität [TIU/mg]	12	43,5 ± 9,1	45,7	20,5	54,4
Tanningehalt [mg CE/g]	12	3,0 ± 1,9	2,6	0,6	6,3
Anbaujahr 2018					
Tausendkorngewicht [g]	13	429,1 ± 122,1	419,0	223,0	599,0
Proteingehalt [g/100 g]	13	27,1 ± 2,6	25,8	24,5	33,5
TI-Aktivität [TIU/mg]	13	45,2 ± 6,9	46,4	27,4	52,0
Tanningehalt [mg CE/g]	13	3,9 ± 2,8	2,8	<NWG	10,9

Tabelle 36: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von konventionell und ökologisch angebauten Sommererbsen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017 und 2018)

konventioneller Anbau					
	N	MW ± STD	Median	Min	Max
insgesamt					
Tausendkorngewicht [g]	76	254,3 ± 33,5	263,0	98,3	305,1
Proteingehalt [g/100 g]	76	19,4 ± 1,6	19,3	14,8	23,9
TI-Aktivität [TIU/mg]	76	40,3 ± 5,8	41,8	23,5	50,4
Tanningehalt [mg CE/g]	76	<NWG	<NWG	<NWG	0,3
Anbaujahr 2016					
Tausendkorngewicht [g]	27	253,8 ± 47,1	268,3	98,3	305,1
Proteingehalt [g/100 g]	27	19,2 ± 1,9	19,4	14,8	22,7
TI-Aktivität [TIU/mg]	27	37,5 ± 6,6	37,2	23,5	50,4
Tanningehalt [mg CE/g]	27	<NWG	<NWG	<NWG	0,3
Anbaujahr 2017					
Tausendkorngewicht [g]	29	250,0 ± 19,9	253,7	209,8	287,0
Proteingehalt [g/100 g]	29	19,7 ± 1,4	19,6	17,1	23,9

Anhang

TI-Aktivität [TIU/mg]	29	41,4 ± 4,8	42,6	27,8	50,3
Tanningehalt [mg CE/g]	29	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
Anbaujahr 2018					
Tausendkorngewicht [g]	20	261,3 ± 27,1	270,0	198,0	293,0
Proteingehalt [g/100 g]	20	19,2 ± 1,3	19,2	17,0	22,3
TI-Aktivität [TIU/mg]	20	42,6 ± 4,7	43,1	26,8	48,0
Tanningehalt [mg CE/g]	20	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
ökologischer Anbau					
	N	MW ± STD	Median	Min	Max
insgesamt					
Tausendkorngewicht [g]	40	241,8 ± 33,0	242,0	122,0	296,6
Proteingehalt [g/100 g]	40	19,8 ± 1,7	20,1	15,6	23,6
TI-Aktivität [TIU/mg]	40	33,2 ± 10,3	33,3	12,4	52,7
Tanningehalt [mg CE/g]	40	0,2 ± 0,8	0,0	<NWG	4,7
Anbaujahr 2016					
Tausendkorngewicht [g]	20	236,7 ± 26,2	240,2	185,4	277,8
Proteingehalt [g/100 g]	20	19,9 ± 1,1	20,1	17,7	22,0
TI-Aktivität [TIU/mg]	20	30,6 ± 8,8	31,1	14,0	44,9
Tanningehalt [mg CE/g]	20	0,3 ± 1,0	0,0	<NWG	4,7
Anbaujahr 2017					
Tausendkorngewicht [g]	16	248,1 ± 42,0	253,6	122,0	296,6
Proteingehalt [g/100 g]	16	19,9 ± 2,4	20,2	15,6	23,6
TI-Aktivität [TIU/mg]	16	34,0 ± 12,0	33,1	12,4	52,7
Tanningehalt [mg CE/g]	16	0,1 ± 0,4	0,0	<NWG	1,8
Anbaujahr 2018					
Tausendkorngewicht [g]	4	241,5 ± 24,4	233,0	223,0	277,0
Proteingehalt [g/100 g]	4	19,2 ± 1,6	19,2	17,3	21,0
TI-Aktivität [TIU/mg]	4	42,7 ± 2,5	42,2	40,5	45,9
Tanningehalt [mg CE/g]	4	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG

Anhang

Tabelle 37: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von konventionell und ökologisch angebauten buntblühenden Ackerbohnen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017 und 2018)

konventioneller Anbau					
	N	MW ± STD	Median	Min	Max
insgesamt					
Tausendkorngewicht [g]	103	515,6 ± 69,7	513,5	308,0	699,0
Proteingehalt [g/100 g]	104	24,6 ± 2,1	24,4	19,3	33,2
TI-Aktivität [TIU/mg]	104	43,7 ± 6,2	45,4	26,2	57,3
Tanningehalt [mg CE/g]	104	4,7 ± 2,5	4,2	<NWG	12,5
Anbaujahr 2016					
Tausendkorngewicht [g]	29	547,7 ± 64,6	526,7	416,8	699,0
Proteingehalt [g/100 g]	30	24,2 ± 2,0	24,4	19,3	28,3
TI-Aktivität [TIU/mg]	30	36,5 ± 5,4	35,2	26,2	50,3
Tanningehalt [mg CE/g]	30	5,6 ± 1,8	5,2	2,6	10,2
Anbaujahr 2017					
Tausendkorngewicht [g]	49	511,7 ± 67,6	512,1	394,0	665,7
Proteingehalt [g/100 g]	49	24,6 ± 2,0	24,3	21,1	33,2
TI-Aktivität [TIU/mg]	49	46,6 ± 3,4	46,3	40,2	57,3
Tanningehalt [mg CE/g]	49	4,8 ± 2,9	4,0	<NWG	12,5
Anbaujahr 2018					
Tausendkorngewicht [g]	25	486,3 ± 66,9	485,0	308,0	598,0
Proteingehalt [g/100 g]	25	25,4 ± 2,2	24,7	20,8	29,6
TI-Aktivität [TIU/mg]	25	46,7 ± 3,4	46,7	38,7	52,7
Tanningehalt [mg CE/g]	25	3,2 ± 1,5	2,6	1,3	7,3
ökologischer Anbau					
	N	MW ± STD	Median	Min	Max
insgesamt					
Tausendkorngewicht [g]	44	500,7 ± 91,7	521,3	223,0	678,4
Proteingehalt [g/100 g]	44	25,5 ± 2,2	25,1	21,4	30,3
TI-Aktivität [TIU/mg]	44	41,1 ± 7,5	40,9	20,5	54,4
Tanningehalt [mg CE/g]	44	4,3 ± 2,5	4,2	0,6	10,9
Anbaujahr 2016					
Tausendkorngewicht [g]	20	524,2 ± 68,0	531,4	406,2	678,4
Proteingehalt [g/100 g]	20	24,6 ± 1,7	24,7	21,4	28,0
TI-Aktivität [TIU/mg]	20	36,2 ± 4,2	38,0	27,5	42,5
Tanningehalt [mg CE/g]	20	5,2 ± 2,4	4,6	1,5	9,7
Anbaujahr 2017					
Tausendkorngewicht [g]	12	525,8 ± 56,7	531,7	432,1	601,0
Proteingehalt [g/100 g]	12	25,8 ± 2,8	25,1	21,4	30,3

Anhang

TI-Aktivität [TIU/mg]	12	43,5 ± 9,1	45,7	20,5	54,4
Tanningehalt [mg CE/g]	12	3,0 ± 1,9	2,6	0,6	6,3
Anbaujahr 2018					
Tausendkorngewicht [g]	12	436,5 ± 124,5	419,5	223,0	599,0
Proteingehalt [g/100 g]	12	26,6 ± 1,9	25,8	24,5	29,7
TI-Aktivität [TIU/mg]	12	46,7 ± 4,5	47,3	37,3	52,0
Tanningehalt [mg CE/g]	12	4,2 ± 2,7	3,6	1,7	10,9

Deskriptive Statistik zu fungizid-angebauten und nicht-fungizid-angebauten Erbsen und Ackerbohnen insgesamt (alle Proben aus den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018). Zusätzliche Aufführung der deskriptiven Statistik von fungizid-angebauten und nicht-fungizid-angebauten Sommererbsen sowie fungizid-angebauten und nicht-fungizid-angebauten buntblühenden Ackerbohnen insgesamt (alle Proben aus den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018).

Tabelle 38: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von fungizid-angebauten und nicht-fungizid-angebauten Erbsen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017 und 2018)

Fungizideinsatz					
	N	MW ± STD	Median	Min	Max
insgesamt					
Tausendkorngewicht [g]	29	258,2 ± 37,2	270,0	119,1	305,1
Proteingehalt [g/100 g]	29	18,8 ± 1,5	18,6	14,8	22,3
TI-Aktivität [TIU/mg]	29	41,8 ± 4,8	43,1	30,7	50,3
Tanningehalt [mg CE/g]	29	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
Anbaujahr 2016					
Tausendkorngewicht [g]	14	263,5 ± 47,6	276,9	119,1	305,1
Proteingehalt [g/100 g]	14	18,5 ± 1,6	18,6	14,8	20,7
TI-Aktivität [TIU/mg]	14	39,9 ± 5,4	40,7	30,7	47,2
Tanningehalt [mg CE/g]	14	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
Anbaujahr 2017					
Tausendkorngewicht [g]	6	240,1 ± 20,5	237,5	208,9	263,5
Proteingehalt [g/100 g]	6	19,7 ± 1,6	19,7	17,7	22,3
TI-Aktivität [TIU/mg]	6	42,7 ± 4,3	42,2	38,2	50,3
Tanningehalt [mg CE/g]	6	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
Anbaujahr 2018					
Tausendkorngewicht [g]	9	262,0 ± 24,3	270,0	198,0	277,0
Proteingehalt [g/100 g]	9	18,6 ± 1,0	18,0	17,8	20,5
TI-Aktivität [TIU/mg]	9	44,1 ± 2,9	44,6	39,6	48,0
Tanningehalt [mg CE/g]	9	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
kein Fungizideinsatz					
	N	MW ± STD	Median	Min	Max
insgesamt					
Tausendkorngewicht [g]	111	220,7 ± 52,8	236,0	98,3	296,6
Proteingehalt [g/100 g]	111	19,9 ± 1,9	19,9	15,6	23,9
TI-Aktivität [TIU/mg]	111	40,6 ± 11,3	41,3	12,4	65,8
Tanningehalt [mg CE/g]	111	0,4 ± 1,6	0,0	<NWG	11,7

Anhang

Anbaujahr 2016					
Tausendkorngewicht [g]	37	230,2 ± 43,8	242,9	98,3	277,8
Proteingehalt [g/100 g]	37	20,0 ± 1,5	20,2	16,1	22,7
TI-Aktivität [TIU/mg]	37	32,9 ± 8,3	33,3	14,0	50,4
Tanningehalt [mg CE/g]	37	0,4 ± 1,3	0,0	<NWG	6,7
Anbaujahr 2017					
Tausendkorngewicht [g]	49	215,1 ± 57,9	236,0	110,0	296,6
Proteingehalt [g/100 g]	49	19,6 ± 1,9	19,4	15,6	23,9
TI-Aktivität [TIU/mg]	49	43,4 ± 12,1	43,5	12,4	65,8
Tanningehalt [mg CE/g]	49	0,4 ± 1,1	0,0	<NWG	5,6
Anbaujahr 2018					
Tausendkorngewicht [g]	25	217,5 ± 54,8	219,0	121,0	293,0
Proteingehalt [g/100 g]	25	20,5 ± 1,8	20,3	17,0	23,9
TI-Aktivität [TIU/mg]	25	46,3 ± 7,1	45,9	26,8	57,0
Tanningehalt [mg CE/g]	25	0,8 ± 2,5	0,0	NWG	11,7

Tabelle 39: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von fungizid-angebauten und nicht-fungizid-angebauten Ackerbohnen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017 und 2018)

Fungizideinsatz					
	N	MW ± STD	Median	Min	Max
insgesamt					
Tausendkorngewicht [g]	74	509,8 ± 66,5	510,7	342,0	664,8
Proteingehalt [g/100 g]	75	24,6 ± 1,7	24,4	19,3	28,3
TI-Aktivität [TIU/mg]	75	43,2 ± 6,5	44,9	26,2	57,3
Tanningehalt [mg CE/g]	75	4,6 ± 2,7	4,3	<NWG	12,5
Anbaujahr 2016					
Tausendkorngewicht [g]	22	514,1 ± 65,2	519,7	380,4	664,8
Proteingehalt [g/100 g]	23	24,4 ± 1,9	24,4	19,3	28,1
TI-Aktivität [TIU/mg]	23	36,0 ± 5,9	34,8	26,2	50,3
Tanningehalt [mg CE/g]	23	5,2 ± 1,9	5,3	<NWG	8,3
Anbaujahr 2017					
Tausendkorngewicht [g]	39	511,1 ± 67,5	505,0	396,8	650,9
Proteingehalt [g/100 g]	39	24,4 ± 1,5	24,3	21,1	28,3
TI-Aktivität [TIU/mg]	39	46,5 ± 3,4	46,3	41,0	57,3
Tanningehalt [mg CE/g]	39	4,9 ± 3,1	4,0	<NWG	12,5
Anbaujahr 2018					
Tausendkorngewicht [g]	13	498,6 ± 69,5	497,0	342,0	598,0
Proteingehalt [g/100 g]	13	25,4 ± 1,4	24,7	23,6	27,7
TI-Aktivität [TIU/mg]	13	46,3 ± 3,5	46,0	40,2	52,2
Tanningehalt [mg CE/g]	13	2,6 ± 1,3	2,4	<NWG	5,3
kein Fungizideinsatz					

Anhang

	N	MW	Median	Min	Max
insgesamt					
Tausendkorngewicht [g]	77	503,0 ± 85,6	514,3	223,0	699,0
Proteingehalt [g/100 g]	77	25,1 ± 2,5	24,9	20,6	33,5
TI-Aktivität [TIU/mg]	77	41,8 ± 7,0	41,6	20,5	54,4
Tanningehalt [mg CE/g]	77	4,1 ± 2,6	3,8	<NWG	10,9
Anbaujahr 2016					
Tausendkorngewicht [g]	32	537,7 ± 69,1	534,9	406,2	699,0
Proteingehalt [g/100 g]	32	24,3 ± 2,0	24,5	20,6	28,3
TI-Aktivität [TIU/mg]	32	36,7 ± 3,9	37,6	27,5	44,6
Tanningehalt [mg CE/g]	32	4,9 ± 2,8	4,6	<NWG	10,2
Anbaujahr 2017					
Tausendkorngewicht [g]	25	507,6 ± 53,4	513,5	394,0	601,0
Proteingehalt [g/100 g]	25	25,7 ± 2,5	25,0	21,4	30,9
TI-Aktivität [TIU/mg]	25	45,3 ± 6,8	46,6	20,5	54,4
Tanningehalt [mg CE/g]	25	3,1 ± 2,2	2,6	<NWG	7,9
Anbaujahr 2018					
Tausendkorngewicht [g]	20	441,8 ± 109,1	457,0	223,0	599,0
Proteingehalt [g/100 g]	20	25,8 ± 2,9	25,2	20,8	33,5
TI-Aktivität [TIU/mg]	20	45,5 ± 6,2	46,6	27,4	52,7
Tanningehalt [mg CE/g]	20	3,9 ± 2,5	3,2	<NWG	10,9

Tabelle 40: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von fungizid-angebauten und nicht-fungizid-angebauten Sommererbsen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017 und 2018)

Fungizideinsatz					
	N	MW ± STD	Median	Min	Max
insgesamt					
Tausendkorngewicht [g]	28	259,9 ± 36,6	270,0	119,1	305,1
Proteingehalt [g/100 g]	28	18,8 ± 1,5	18,7	14,8	22,3
TI-Aktivität [TIU/mg]	28	41,7 ± 4,9	42,7	30,7	50,3
Tanningehalt [mg CE/g]	28	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
Anbaujahr 2016					
Tausendkorngewicht [g]	14	263,5 ± 47,6	276,9	119,1	305,1
Proteingehalt [g/100 g]	14	18,5 ± 1,6	18,6	14,8	20,7
TI-Aktivität [TIU/mg]	14	39,9 ± 5,4	40,7	30,7	47,2
Tanningehalt [mg CE/g]	14	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
Anbaujahr 2017					
Tausendkorngewicht [g]	5	246,3 ± 15,3	238,4	231,0	263,5
Proteingehalt [g/100 g]	5	20,1 ± 1,5	19,9	18,3	22,3

Anhang

TI-Aktivität [TIU/mg]	5	42,6 ± 4,8	40,8	38,2	50,3
Tanningehalt [mg CE/g]	5	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
Anbaujahr 2018					
Tausendkorngewicht [g]	9	262,0 ± 24,3	270,0	198,0	277,0
Proteingehalt [g/100 g]	9	18,6 ± 1,0	18,0	17,8	20,5
TI-Aktivität [TIU/mg]	9	44,1 ± 2,9	44,6	39,6	48,0
Tanningehalt [mg CE/g]	9	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
kein Fungizideinsatz					
	N	MW	Median	Min	Max
insgesamt					
Tausendkorngewicht [g]	76	246,9 ± 34,0	253,6	98,3	296,6
Proteingehalt [g/100 g]	76	19,7 ± 1,7	19,8	15,6	23,9
TI-Aktivität [TIU/mg]	76	35,8 ± 9,1	37,1	12,4	52,7
Tanningehalt [mg CE/g]	76	0,1 ± 0,6	0,0	<NWG	4,7
Anbaujahr 2016					
Tausendkorngewicht [g]	32	238,8 ± 35,2	243,3	98,3	277,8
Proteingehalt [g/100 g]	32	19,9 ± 1,5	20,1	16,1	22,7
TI-Aktivität [TIU/mg]	32	32,1 ± 8,4	32,6	14,0	50,4
Tanningehalt [mg CE/g]	32	0,2 ± 0,8	0,0	<NWG	4,7
Anbaujahr 2017					
Tausendkorngewicht [g]	30	250,3 ± 33,8	253,6	122,0	296,6
Proteingehalt [g/100 g]	30	19,8 ± 2,0	19,9	15,6	23,9
TI-Aktivität [TIU/mg]	30	37,1 ± 9,7	39,8	12,4	52,7
Tanningehalt [mg CE/g]	30	0,1 ± 0,3	0,0	<NWG	1,8
Anbaujahr 2018					
Tausendkorngewicht [g]	14	257,9 ± 29,0	270,5	212,0	293,0
Proteingehalt [g/100 g]	14	19,3 ± 1,1	19,4	17,0	21,0
TI-Aktivität [TIU/mg]	14	41,5 ± 5,0	42,3	26,8	47,8
Tanningehalt [mg CE/g]	14	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG

Anhang

Tabelle 41: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von fungizid-angebauten und nicht-fungizid-angebauten buntblühenden Ackerbohnen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017 und 2018)

Fungizideinsatz					
	N	MW \pm STD	Median	Min	Max
insgesamt					
Tausendkorngewicht [g]	68	515,0 \pm 64,8	516,7	342,0	664,8
Proteingehalt [g/100 g]	69	24,4 \pm 1,6	24,3	19,3	28,1
TI-Aktivität [TIU/mg]	69	43,4 \pm 6,6	45,2	26,2	57,3
Tanningehalt [mg CE/g]	69	5,0 \pm 2,5	4,7	1,2	12,5
Anbaujahr 2016					
Tausendkorngewicht [g]	20	526,9 \pm 53,0	521,3	416,8	664,8
Proteingehalt [g/100 g]	21	24,1 \pm 1,8	24,3	19,3	28,1
TI-Aktivität [TIU/mg]	21	36,0 \pm 6,1	34,8	26,2	50,3
Tanningehalt [mg CE/g]	21	5,7 \pm 1,2	5,6	4,1	8,3
Anbaujahr 2017					
Tausendkorngewicht [g]	36	515,1 \pm 68,5	510,7	396,8	650,9
Proteingehalt [g/100 g]	36	24,2 \pm 1,4	24,2	21,1	27,2
TI-Aktivität [TIU/mg]	36	46,6 \pm 3,5	46,3	41,0	57,3
Tanningehalt [mg CE/g]	36	5,3 \pm 2,9	4,6	1,2	12,5
Anbaujahr 2018					
Tausendkorngewicht [g]	12	495,0 \pm 71,3	488,0	342,0	598,0
Proteingehalt [g/100 g]	12	25,4 \pm 1,5	25,3	23,6	27,7
TI-Aktivität [TIU/mg]	12	46,8 \pm 3,1	46,0	41,6	52,2
Tanningehalt [mg CE/g]	12	2,8 \pm 1,1	2,4	1,8	5,3
kein Fungizideinsatz					
	N	MW	Median	Min	Max
insgesamt					
Tausendkorngewicht [g]	70	504,4 \pm 87,4	515,7	223,0	699,0
Proteingehalt [g/100 g]	70	25,0 \pm 2,2	24,8	20,6	30,3
TI-Aktivität [TIU/mg]	70	42,2 \pm 6,9	42,3	20,5	54,4
Tanningehalt [mg CE/g]	70	4,4 \pm 2,5	3,9	0,6	10,9
Anbaujahr 2016					
Tausendkorngewicht [g]	28	542,1 \pm 72,6	557,4	406,2	699,0
Proteingehalt [g/100 g]	28	24,4 \pm 2,0	24,5	20,6	28,3
TI-Aktivität [TIU/mg]	28	36,7 \pm 4,0	38,0	27,5	44,6
Tanningehalt [mg CE/g]	28	5,4 \pm 2,5	4,6	1,5	10,2
Anbaujahr 2017					
Tausendkorngewicht [g]	23	505,9 \pm 55,2	513,5	394,0	601,0
Proteingehalt [g/100 g]	23	25,3 \pm 2,3	25,0	21,4	30,3

Anhang

TI-Aktivität [TIU/mg]	23	45,3 ± 7,1	46,6	20,5	54,4
Tanningehalt [mg CE/g]	23	3,4 ± 2,0	2,6	0,6	7,9
Anbaujahr 2018					
Tausendkorngewicht [g]	19	447,1 ± 109,3	459,0	223,0	599,0
Proteingehalt [g/100 g]	19	25,4 ± 2,4	24,8	20,8	29,7
TI-Aktivität [TIU/mg]	19	46,5 ± 4,7	46,7	37,3	52,7
Tanningehalt [mg CE/g]	19	4,1 ± 2,4	3,5	1,3	10,9

Deskriptive Statistik zu insektizid-angebauten und nicht-insektizid-angebauten Erbsen und Ackerbohnen insgesamt (alle Proben aus den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018). Zusätzliche Aufführung der deskriptiven Statistik von fungizid-angebauten und nicht-fungizid-angebauten Sommererbsen sowie insektizid-angebauten und nicht-insektizid-angebauten buntblühenden Ackerbohnen insgesamt (alle Proben aus den Anbaujahren 2016, 2017 und 2018).

Tabelle 42: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von insektizid-angebauten und nicht-insektizid-angebauten Erbsen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017 und 2018)

Insektizideinsatz					
	N	MW ± STD	Median	Min	Max
insgesamt					
Tausendkorngewicht [g]	60	255,6 ± 33,1	265,0	119,1	305,1
Proteingehalt [g/100 g]	60	19,3 ± 1,6	19,3	14,8	23,9
TI-Aktivität [TIU/mg]	60	40,9 ± 5,5	41,9	26,8	50,4
Tanningehalt [mg CE/g]	60	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
Anbaujahr 2016					
Tausendkorngewicht [g]	23	257,2 ± 43,6	269,2	119,1	305,1
Proteingehalt [g/100 g]	23	19,3 ± 1,8	19,6	14,8	22,5
TI-Aktivität [TIU/mg]	23	39,3 ± 6,4	38,9	26,9	50,4
Tanningehalt [mg CE/g]	23	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
Anbaujahr 2017					
Tausendkorngewicht [g]	22	249,8 ± 21,2	254,9	208,9	287,0
Proteingehalt [g/100 g]	22	19,7 ± 1,6	19,6	17,1	23,9
TI-Aktivität [TIU/mg]	22	41,4 ± 4,2	42,2	27,8	50,3
Tanningehalt [mg CE/g]	22	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
Anbaujahr 2018					
Tausendkorngewicht [g]	15	261,5 ± 29,0	270,0	198,0	293,0
Proteingehalt [g/100 g]	15	18,8 ± 1,0	18,8	17,0	20,5
TI-Aktivität [TIU/mg]	15	42,6 ± 5,2	43,1	26,8	48,0
Tanningehalt [mg CE/g]	15	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
kein Insektizideinsatz					
	N	MW ± STD	Median	Min	Max
insgesamt					
Tausendkorngewicht [g]	83	209,8 ± 54,4	223,0	98,3	296,6
Proteingehalt [g/100 g]	83	19,9 ± 1,9	20,1	15,6	23,9
TI-Aktivität [TIU/mg]	83	40,8 ± 12,6	40,8	12,4	65,8
Tanningehalt [mg CE/g]	83	0,6 ± 1,8	0,0	<NWG	11,7

Anhang

Anbaujahr 2016					
Tausendkorngewicht [g]	28	224,7 ± 44,9	234,9	98,3	277,8
Proteingehalt [g/100 g]	28	19,7 ± 1,6	20,1	16,1	22,7
TI-Aktivität [TIU/mg]	28	31,2 ± 7,8	32,3	14,0	44,9
Tanningehalt [mg CE/g]	28	0,5 ± 1,5	0,0	<NWG	6,7
Anbaujahr 2017					
Tausendkorngewicht [g]	36	201,4 ± 60,7	215,4	110,0	296,6
Proteingehalt [g/100 g]	36	19,5 ± 2,0	19,5	15,6	23,6
TI-Aktivität [TIU/mg]	36	44,3 ± 13,8	46,9	12,4	65,8
Tanningehalt [mg CE/g]	36	0,5 ± 1,2	0,0	<NWG	5,6
Anbaujahr 2018					
Tausendkorngewicht [g]	19	203,8 ± 52,8	203,0	121,0	283,0
Proteingehalt [g/100 g]	19	21,0 ± 1,7	21,0	17,3	23,9
TI-Aktivität [TIU/mg]	19	48,2 ± 6,1	47,2	37,4	57,0
Tanningehalt [mg CE/g]	19	1,0 ± 2,8	0,0	<NWG	11,7

Tabelle 43: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von insektizid-angebauten und nicht-insektizid-angebauten Ackerbohnen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017 und 2018)

Insektizideinsatz					
	N	MW ± STD	Median	Min	Max
insgesamt					
Tausendkorngewicht [g]	75	511,0 ± 63,3	509,2	342,0	664,8
Proteingehalt [g/100 g]	75	25,0 ± 2,2	25,0	19,3	30,9
TI-Aktivität [TIU/mg]	75	43,5 ± 6,0	45,4	26,2	52,6
Tanningehalt [mg CE/g]	75	4,0 ± 2,5	3,7	<NWG	10,5
Anbaujahr 2016					
Tausendkorngewicht [g]	17	531,3 ± 63,3	521,8	392,7	664,8
Proteingehalt [g/100 g]	17	24,6 ± 2,3	25,2	19,3	28,3
TI-Aktivität [TIU/mg]	17	34,8 ± 5,4	34,1	26,2	47,6
Tanningehalt [mg CE/g]	17	4,9 ± 1,6	5,2	<NWG	7,9
Anbaujahr 2017					
Tausendkorngewicht [g]	35	512,1 ± 61,5	509,7	407,6	650,9
Proteingehalt [g/100 g]	35	24,8 ± 2,1	24,5	21,1	30,9
TI-Aktivität [TIU/mg]	35	46,4 ± 3,0	46,3	41,0	52,6
Tanningehalt [mg CE/g]	35	4,5 ± 3,1	3,4	<NWG	10,5
Anbaujahr 2018					
Tausendkorngewicht [g]	23	494,3 ± 64,0	492,0	342,0	598,0
Proteingehalt [g/100 g]	23	25,7 ± 2,2	25,8	20,8	29,6
TI-Aktivität [TIU/mg]	23	45,6 ± 3,1	46,0	38,7	51,7
Tanningehalt [mg CE/g]	23	2,7 ± 1,3	2,4	<NWG	5,4
kein Insektizideinsatz					

Anhang

	N	MW ± STD	Median	Min	Max
insgesamt					
Tausendkorngewicht [g]	82	501,1 ± 85,2	512,8	223,0	699,0
Proteingehalt [g/100 g]	83	24,9 ± 2,2	24,7	20,6	33,5
TI-Aktivität [TIU/mg]	83	41,9 ± 7,2	41,8	20,5	57,3
Tanningehalt [mg CE/g]	83	4,5 ± 2,7	4,1	0,1	12,5
Anbaujahr 2016					
Tausendkorngewicht [g]	37	526,6 ± 70,7	521,0	380,4	699,0
Proteingehalt [g/100 g]	38	24,3 ± 1,8	24,5	20,6	28,0
TI-Aktivität [TIU/mg]	38	37,1 ± 4,3	37,6	27,5	50,3
Tanningehalt [mg CE/g]	38	5,1 ± 2,7	4,7	0,1	10,2
Anbaujahr 2017					
Tausendkorngewicht [g]	29	506,8 ± 63,5	510,0	394,0	633,7
Proteingehalt [g/100 g]	29	24,9 ± 2,0	24,7	21,4	30,3
TI-Aktivität [TIU/mg]	29	45,7 ± 6,7	46,6	20,5	57,3
Tanningehalt [mg CE/g]	29	3,9 ± 2,7	3,5	0,6	12,5
Anbaujahr 2018					
Tausendkorngewicht [g]	16	431,7 ± 113,4	426,0	223,0	599,0
Proteingehalt [g/100 g]	16	26,4 ± 2,8	25,7	23,2	33,5
TI-Aktivität [TIU/mg]	16	46,7 ± 6,7	49,3	27,4	52,7
Tanningehalt [mg CE/g]	16	4,2 ± 2,7	3,9	<NWG	10,9

Tabelle 44: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von insektizid-angebauten und nicht-insektizid-angebauten Sommererbsen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017 und 2018)

Insektizideinsatz					
	N	MW ± STD	Median	Min	Max
insgesamt					
Tausendkorngewicht [g]	58	258,1 ± 30,1	266,0	119,1	305,1
Proteingehalt [g/100 g]	58	19,3 ± 1,6	19,3	14,8	23,9
TI-Aktivität [TIU/mg]	58	40,7 ± 5,5	41,8	26,8	50,4
Tanningehalt [mg CE/g]	58	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
Anbaujahr 2016					
Tausendkorngewicht [g]	22	261,8 ± 38,3	272,1	119,1	305,1
Proteingehalt [g/100 g]	22	19,3 ± 1,8	19,5	14,8	22,5
TI-Aktivität [TIU/mg]	22	38,8 ± 6,2	38,4	26,9	50,4
Tanningehalt [mg CE/g]	22	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
Anbaujahr 2017					
Tausendkorngewicht [g]	21	251,8 ± 19,6	255,8	213,7	287,0

Anhang

Proteingehalt [g/100 g]	21	19,8 ± 1,5	19,6	17,1	23,9
TI-Aktivität [TIU/mg]	21	41,3 ± 4,3	41,8	27,8	50,3
Tanningehalt [mg CE/g]	21	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
Anbaujahr 2018					
Tausendkorngewicht [g]	15	261,5 ± 29,0	270,0	198,0	293,0
Proteingehalt [g/100 g]	15	18,8 ± 1,0	18,8	17,0	20,5
TI-Aktivität [TIU/mg]	15	42,6 ± 5,2	43,1	26,8	48,0
Tanningehalt [mg CE/g]	15	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG
kein Insektizideinsatz					
	N	MW ± STD	Median	Min	Max
insgesamt					
Tausendkorngewicht [g]	49	241,5 ± 37,5	246,9	98,3	296,6
Proteingehalt [g/100 g]	49	19,7 ± 1,8	19,9	15,6	23,6
TI-Aktivität [TIU/mg]	49	33,7 ± 9,8	33,6	12,4	52,7
Tanningehalt [mg CE/g]	49	0,2 ± 0,7	0,0	<NWG	4,7
Anbaujahr 2016					
Tausendkorngewicht [g]	24	232,1 ± 37,8	240,2	98,3	277,8
Proteingehalt [g/100 g]	24	19,6 ± 1,5	20,1	16,1	22,7
TI-Aktivität [TIU/mg]	24	30,5 ± 8,2	31,5	14,0	44,9
Tanningehalt [mg CE/g]	24	0,2 ± 0,9	0,0	<NWG	4,7
Anbaujahr 2017					
Tausendkorngewicht [g]	17	248,2 ± 40,6	252,2	122,0	296,6
Proteingehalt [g/100 g]	17	19,8 ± 2,3	20,1	15,6	23,6
TI-Aktivität [TIU/mg]	17	34,2 ± 11,6	33,6	12,4	52,7
Tanningehalt [mg CE/g]	17	0,1 ± 0,4	0,0	<NWG	1,8
Anbaujahr 2018					
Tausendkorngewicht [g]	8	255,8 ± 23,3	263,0	223,0	283,0
Proteingehalt [g/100 g]	8	19,5 ± 1,2	19,6	17,3	21,0
TI-Aktivität [TIU/mg]	8	42,3 ± 2,6	42,9	37,4	45,9
Tanningehalt [mg CE/g]	8	<NWG	<NWG	<NWG	<NWG

Anhang

Tabelle 45: Tausendkorngewicht, Proteingehalt, TI-Aktivität und Tanningehalt von insektizid-angebauten und nicht-insektizid-angebauten bunten Ackerbohnen insgesamt (alle Proben der Jahre 2016, 2017 und 2018)

Insektizideinsatz					
	N	MW ± STD	Median	Min	Max
insgesamt					
Tausendkorngewicht [g]	68	514,0 ± 63,6	511,8	342,0	664,8
Proteingehalt [g/100 g]	68	24,8 ± 2,1	24,6	19,3	29,6
TI-Aktivität [TIU/mg]	68	43,6 ± 6,2	45,5	26,2	52,6
Tanningehalt [mg CE/g]	68	4,5 ± 2,3	4,2	1,3	10,5
Anbaujahr 2016					
Tausendkorngewicht [g]	16	540,0 ± 54,0	522,0	478,7	664,8
Proteingehalt [g/100 g]	16	24,5 ± 2,3	24,8	19,3	28,3
TI-Aktivität [TIU/mg]	16	34,9 ± 5,6	33,8	26,2	47,6
Tanningehalt [mg CE/g]	16	5,2 ± 1,1	5,2	3,7	7,9
Anbaujahr 2017					
Tausendkorngewicht [g]	30	516,0 ± 63,9	520,2	407,6	650,9
Proteingehalt [g/100 g]	30	24,4 ± 1,7	24,3	21,1	27,6
TI-Aktivität [TIU/mg]	30	46,5 ± 3,2	46,3	41,0	52,6
Tanningehalt [mg CE/g]	30	5,2 ± 2,7	4,9	1,5	10,5
Anbaujahr 2018					
Tausendkorngewicht [g]	22	492,2 ± 64,6	489,5	342,0	598,0
Proteingehalt [g/100 g]	22	25,7 ± 2,2	25,9	20,8	29,6
TI-Aktivität [TIU/mg]	22	45,9 ± 3,0	46,0	38,7	51,7
Tanningehalt [mg CE/g]	22	2,9 ± 1,2	2,5	1,3	5,4
kein Insektizideinsatz					
	N	MW ± STD	Median	Min	Max
insgesamt					
Tausendkorngewicht [g]	76	504,5 ± 85,3	515,3	223,0	699,0
Proteingehalt [g/100 g]	77	24,8 ± 2,0	24,6	20,6	30,3
TI-Aktivität [TIU/mg]	77	42,5 ± 7,1	42,7	20,5	57,3
Tanningehalt [mg CE/g]	77	4,8 ± 2,6	4,2	0,6	12,5
Anbaujahr 2016					
Tausendkorngewicht [g]	32	533,7 ± 70,5	528,8	406,2	699,0
Proteingehalt [g/100 g]	33	24,2 ± 1,8	24,5	20,6	28,0
TI-Aktivität [TIU/mg]	33	37,2 ± 4,6	38,2	27,5	50,3
Tanningehalt [mg CE/g]	33	5,6 ± 2,4	4,9	1,5	10,2
Anbaujahr 2017					
Tausendkorngewicht [g]	29	506,8 ± 63,5	510,0	394,0	633,7
Proteingehalt [g/100 g]	29	24,9 ± 2,0	24,7	21,4	30,3
TI-Aktivität [TIU/mg]	29	45,7 ± 6,7	46,6	20,5	57,3

Anhang

Tanningehalt [mg CE/g]	29	3,9 ± 2,7	3,5	0,6	12,5
Anbaujahr 2018					
Tausendkorngewicht [g]	15	437,8 ± 114,6	432,0	223,0	599,0
Proteingehalt [g/100 g]	15	25,9 ± 2,2	25,6	23,2	29,7
TI-Aktivität [TIU/mg]	15	47,9 ± 4,5	49,4	37,3	52,7
Tanningehalt [mg CE/g]	15	4,5 ± 2,5	4,1	1,7	10,9

12.9 Ergänzungen zum Abschnitt 7 - Ergebnisse: signifikante Unterschiede

Verteilung des Proteingehaltes von Sommererbsen zwischen konventionellem und ökologischem Anbau, zwischen Fungizid- und Nicht-Fungizideinsatz sowie zwischen Insektizid- und Nicht-Insektizideinsatz.

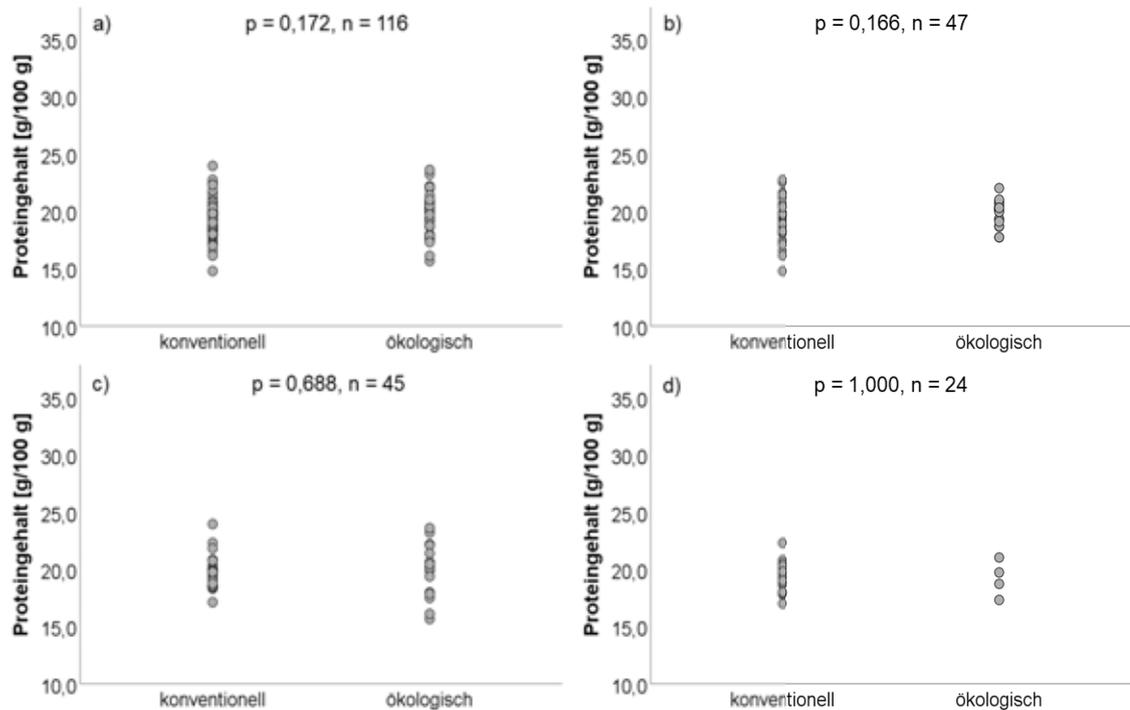


Abbildung 67: Verteilung des Proteingehaltes von Sommererbsen zwischen konventionellem und ökologischem Anbau insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), Anbaujahr 2017 (c) und 2018 (d)

Anmerkungen: **Häufigkeiten insgesamt (alle Sommererbsenproben der Jahre 2016, 2017 und 2018):** konventionell ($n = 76$), ökologisch ($n = 40$). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2016:** konventionell ($n = 27$), ökologisch ($n = 20$). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2017:** konventionell ($n = 29$), ökologisch ($n = 16$). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2018:** konventionell ($n = 20$), ökologisch ($n = 4$).

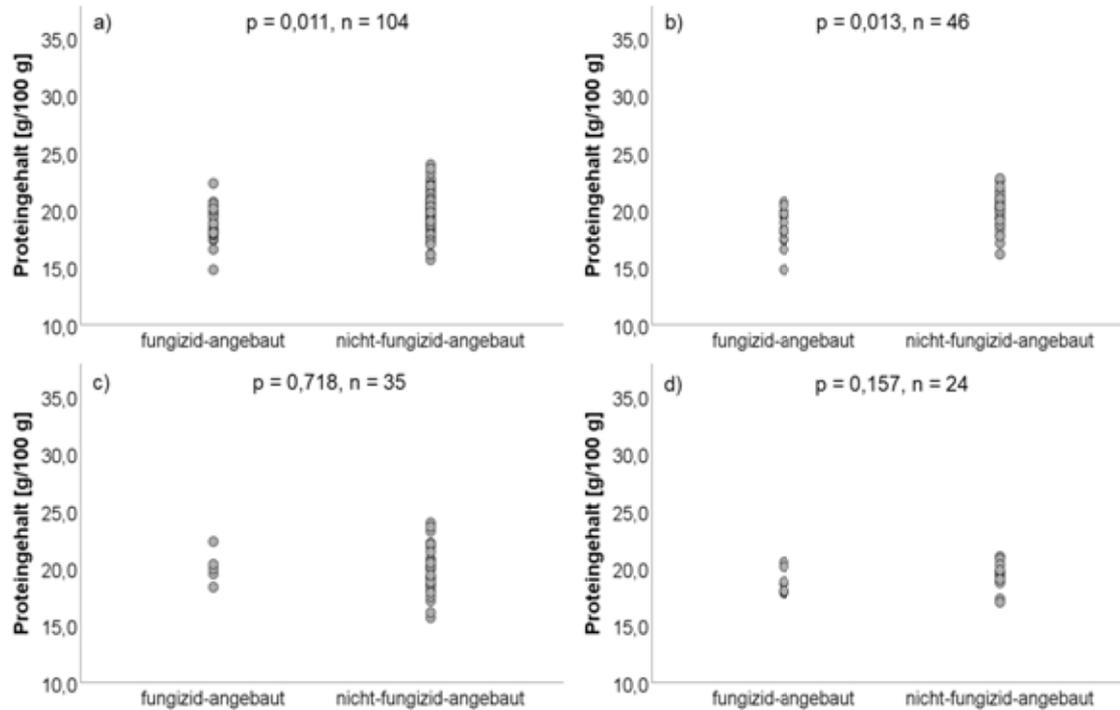


Abbildung 68: Verteilung des Proteingehaltes von Sommererbsen zwischen fungizid-angebauten und nicht-fungizid-angebauten insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), Anbaujahr 2017 (c) und 2018 (d)

Anmerkungen: **Häufigkeiten insgesamt (alle Sommererbsenproben der Jahre 2016, 2017 und 2018):** fungizid-angebaute ($n = 28$), nicht-fungizid-angebauten ($n = 76$). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2016:** fungizid-angebaute ($n = 14$), nicht-fungizid-angebauten ($n = 32$). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2017:** fungizid-angebaute ($n = 5$), nicht-fungizid-angebauten ($n = 30$). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2018:** fungizid-angebaute ($n = 9$), nicht-fungizid-angebauten ($n = 14$).

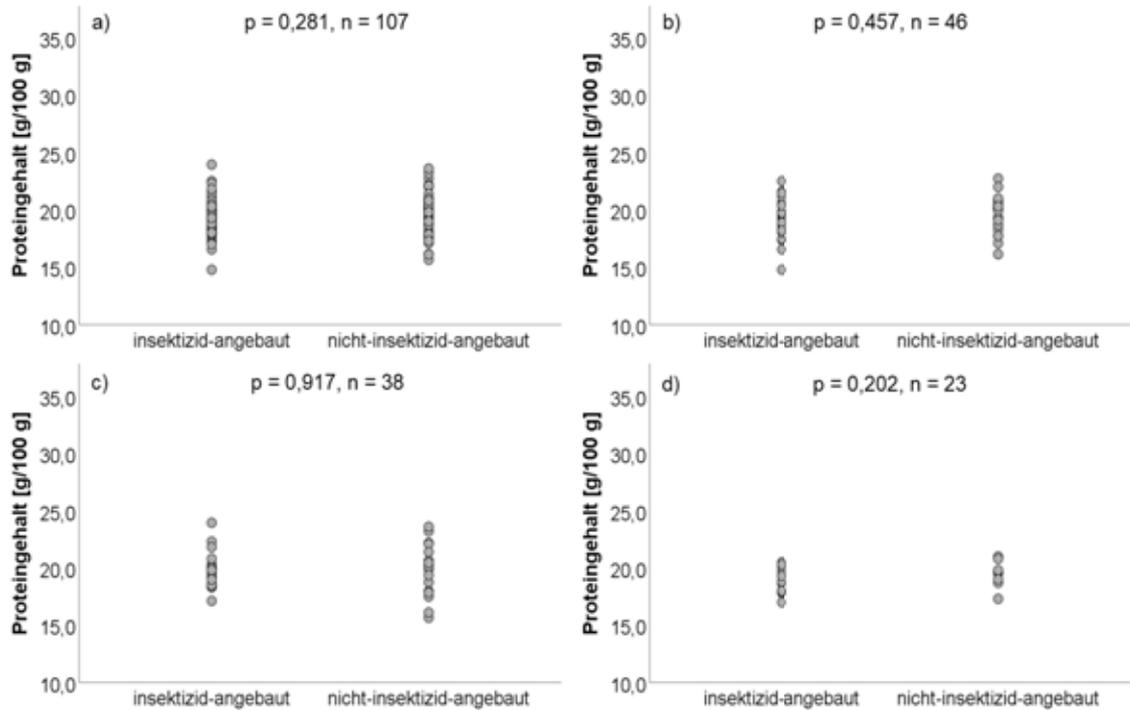


Abbildung 69: Verteilung des Proteingehaltes von Sommererbsen zwischen insektizid-angebauten und nicht-insektizid-angebauten insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), Anbaujahr 2017 (c) und 2018 (d)

Anmerkungen: **Häufigkeiten insgesamt (alle Sommererbsenproben der Jahre 2016, 2017 und 2018):** insektizid-angebaute ($n = 58$), nicht-insektizid-angebauten ($n = 49$). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2016:** insektizid-angebaute ($n = 22$), nicht-insektizid-angebauten ($n = 24$). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2017:** insektizid-angebaute ($n = 21$), nicht-insektizid-angebauten ($n = 17$). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2018:** insektizid-angebaute ($n = 15$), nicht-insektizid-angebauten ($n = 8$).

Verteilung der TI-Aktivität von Sommererbsen zwischen konventionellem und ökologischem Anbau, zwischen Fungizid- und Nicht-Fungizideinsatz sowie zwischen Insektizid- und Nicht-Insektizideinsatz.

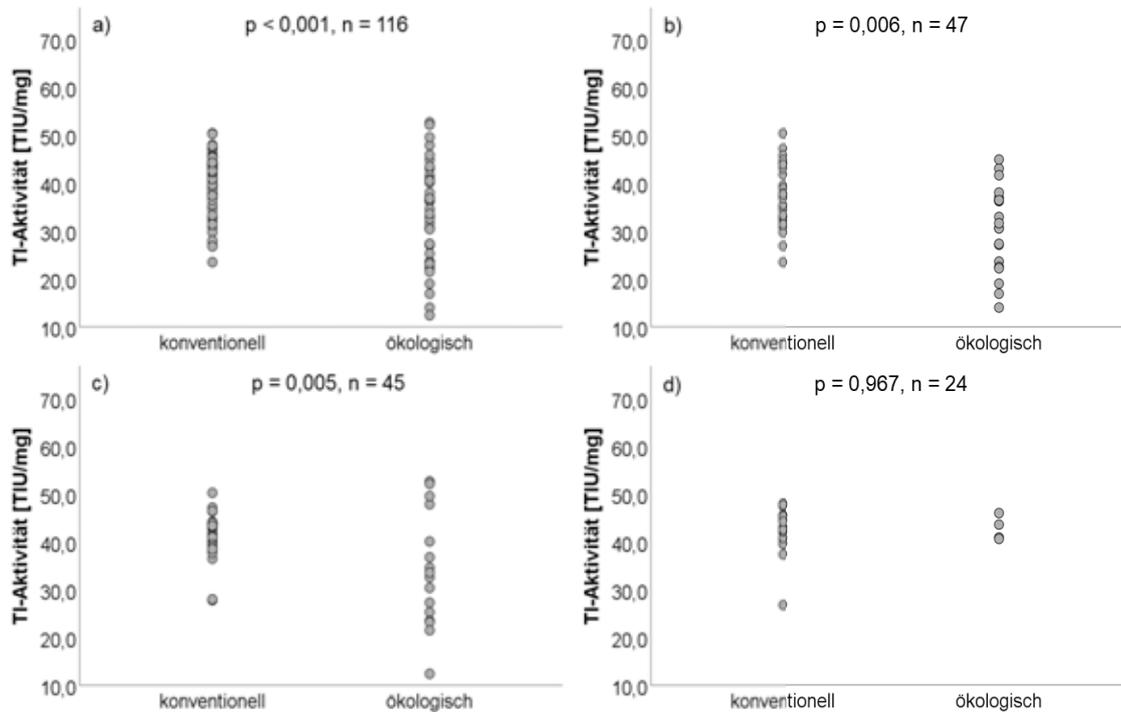


Abbildung 70: Verteilung der TI-Aktivität von Sommererbsen zwischen konventionellem und ökologischem Anbau insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), Anbaujahr 2017 (c) und 2018 (d)

Anmerkungen: **Häufigkeiten insgesamt (alle Sommererbsenproben der Jahre 2016, 2017 und 2018):** konventionell (n = 76), ökologisch (n = 40). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2016:** konventionell (n = 27), ökologisch (n = 20). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2017:** konventionell (n = 29), ökologisch (n = 16). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2018:** konventionell (n = 20), ökologisch (n = 4).

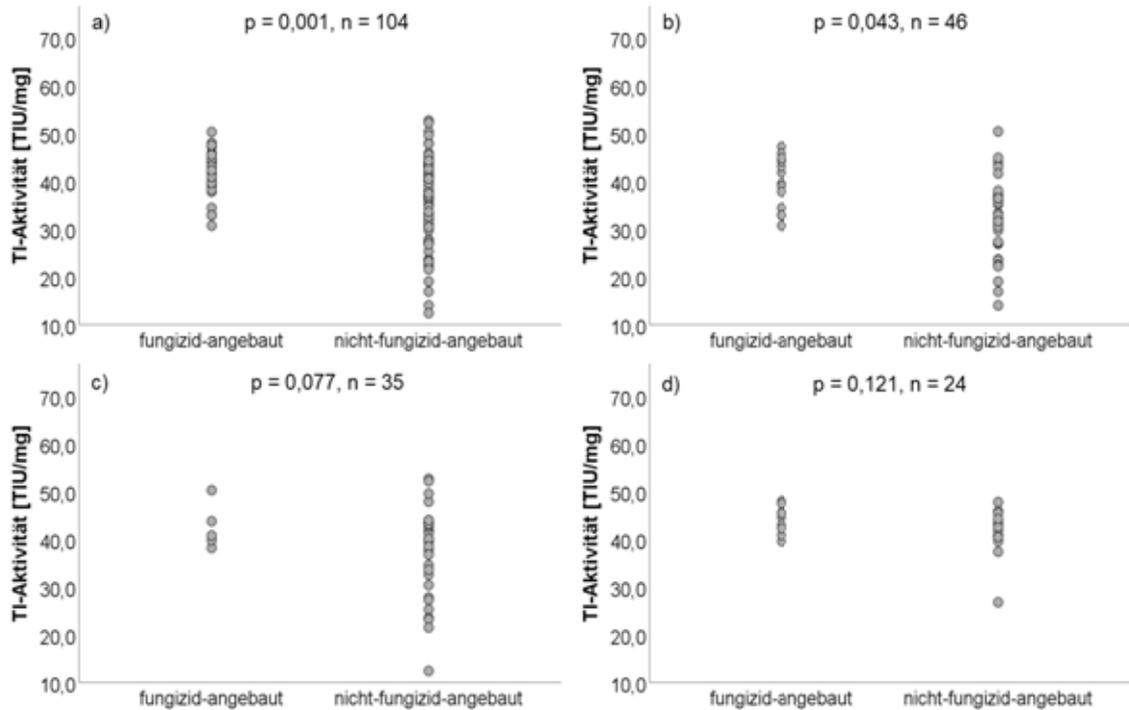


Abbildung 71: Verteilung der TI-Aktivität von Sommererbsen zwischen fungizid-angebauten und nicht-fungizid-angebauten insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), Anbaujahr 2017 (c) und 2018 (d)

Anmerkungen: **Häufigkeiten insgesamt (alle Sommererbsenproben der Jahre 2016, 2017 und 2018):** fungizid-angebaute ($n = 28$), nicht-fungizid-angebauten ($n = 76$). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2016:** fungizid-angebaute ($n = 14$), nicht-fungizid-angebauten ($n = 32$). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2017:** fungizid-angebaute ($n = 5$), nicht-fungizid-angebauten ($n = 30$). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2018:** fungizid-angebaute ($n = 9$), nicht-fungizid-angebauten ($n = 14$).

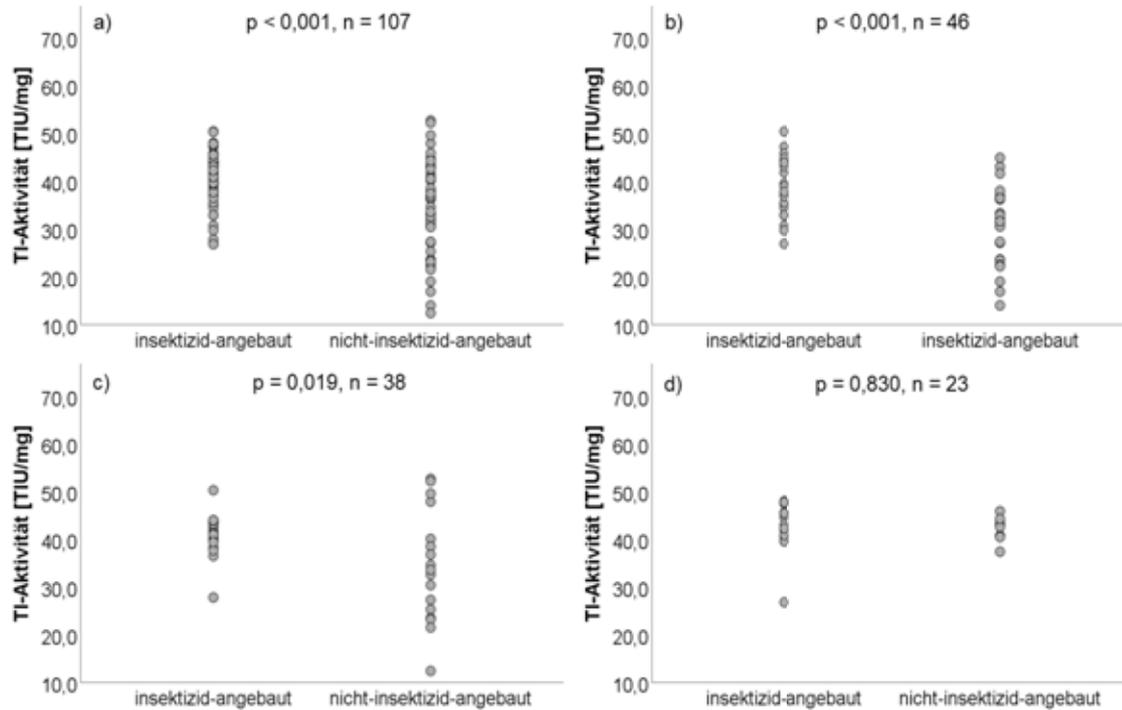


Abbildung 72: Verteilung der TI-Aktivität von Sommererbsen zwischen insektizid-angebauten und nicht-insektizid-angebauten insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), Anbaujahr 2017 (c) und 2018 (d)

Anmerkungen: **Häufigkeiten insgesamt (alle Sommererbsenproben der Jahre 2016, 2017 und 2018):** insektizid-angebaute (n = 58), nicht-insektizid-angebauten (n = 49). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2016:** insektizid-angebaute (n = 22), nicht-insektizid-angebauten (n = 24). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2017:** insektizid-angebaute (n = 21), nicht-insektizid-angebauten (n = 17). **Häufigkeiten im Anbaujahr 2018:** insektizid-angebaute (n = 15), nicht-insektizid-angebauten (n = 8).

12.10 Ergänzungen zum Abschnitt 7 - Ergebnisse: Korrelationen

Zusammenhang zwischen der Temperatur bzw. dem Niederschlag und dem Proteingehalt bei Sommererbsen und Wintererbsen sowie zwischen der Temperatur bzw. dem Niederschlag und der TI-Aktivität bei Sommererbsen und Wintererbsen.

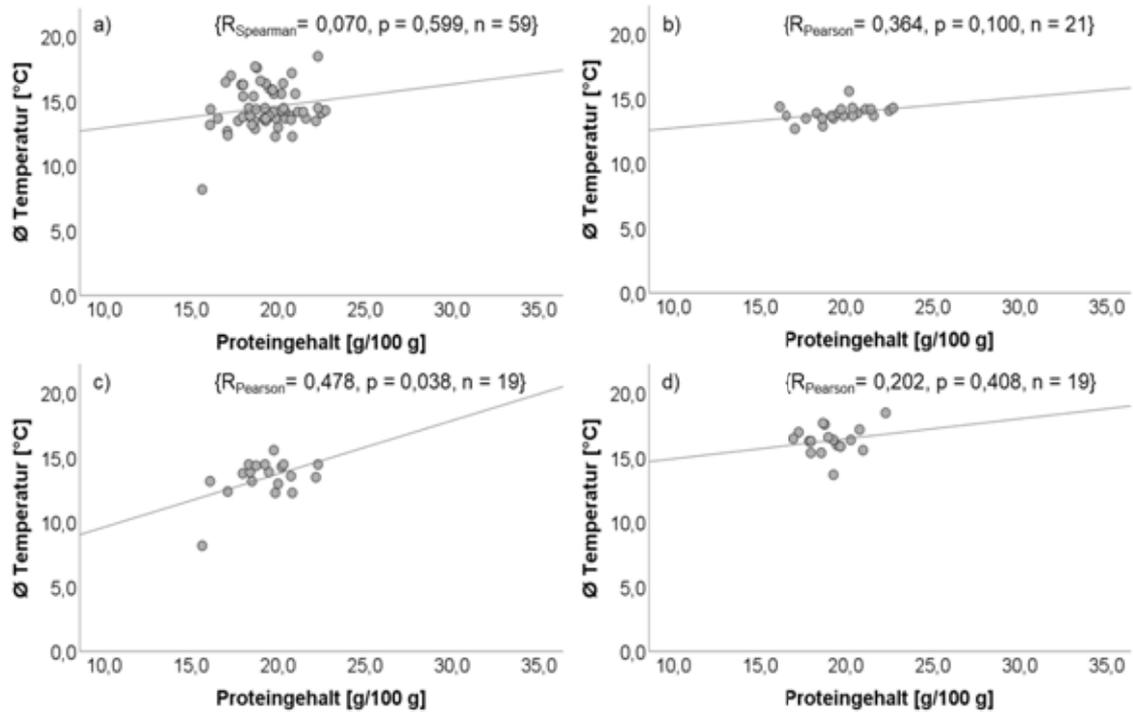


Abbildung 73: Zusammenhang zwischen der Durchschnittstemperatur (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und Proteingehalt von Sommererbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

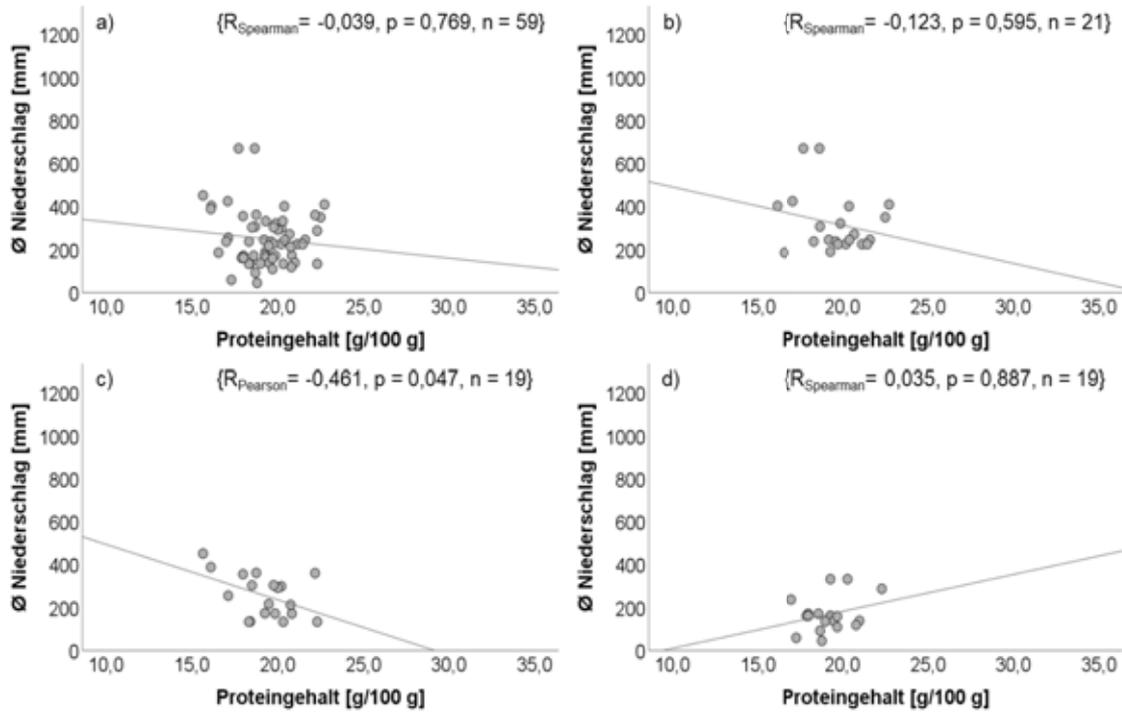


Abbildung 74: Zusammenhang zwischen dem Durchschnittsniederschlag (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und Proteingehalt von Sommererbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

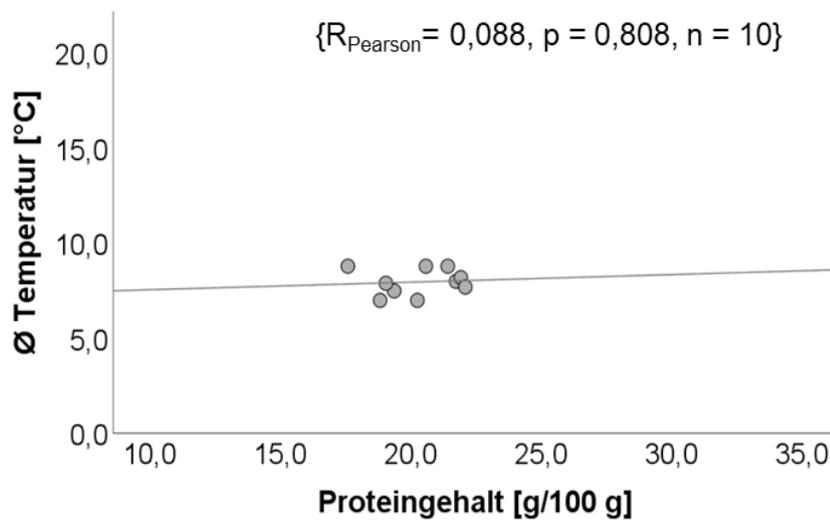


Abbildung 75: Zusammenhang zwischen der Durchschnittstemperatur (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und Proteingehalt von Wintererbsen insgesamt

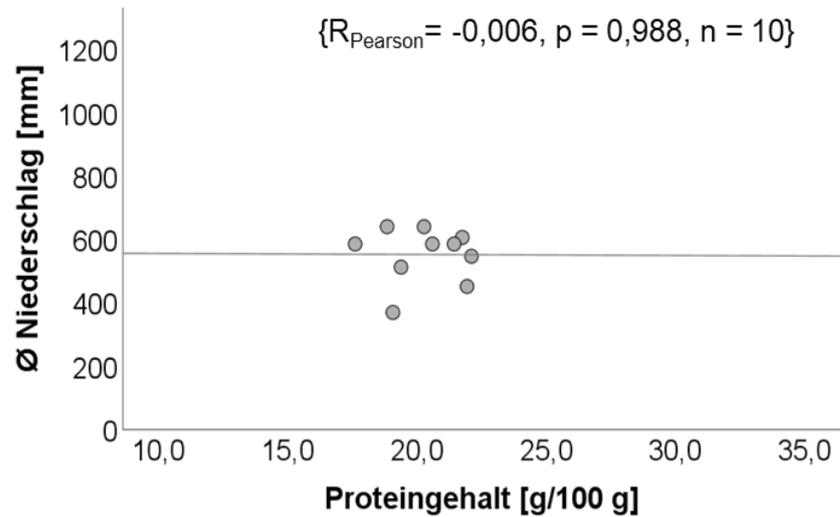


Abbildung 76: Zusammenhang zwischen dem Durchschnittsniederschlag (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und Proteingehalt von Wintererbsen insgesamt

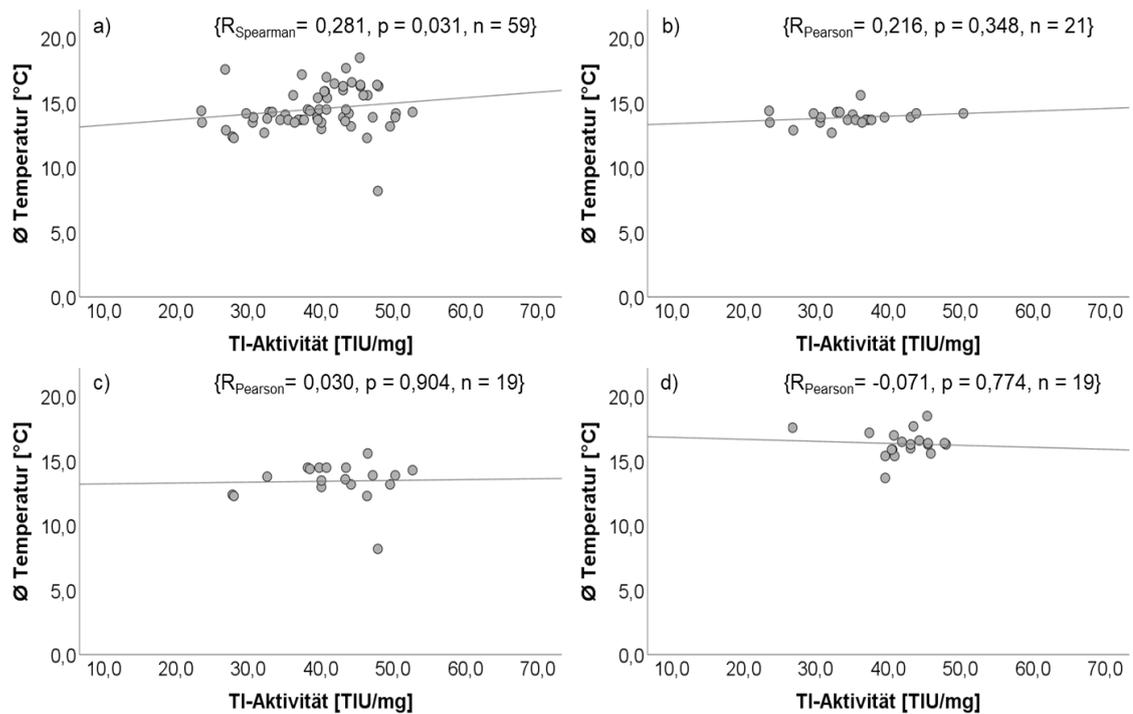


Abbildung 77: Zusammenhang zwischen der Durchschnittstemperatur (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und TI-Aktivität von Sommererbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

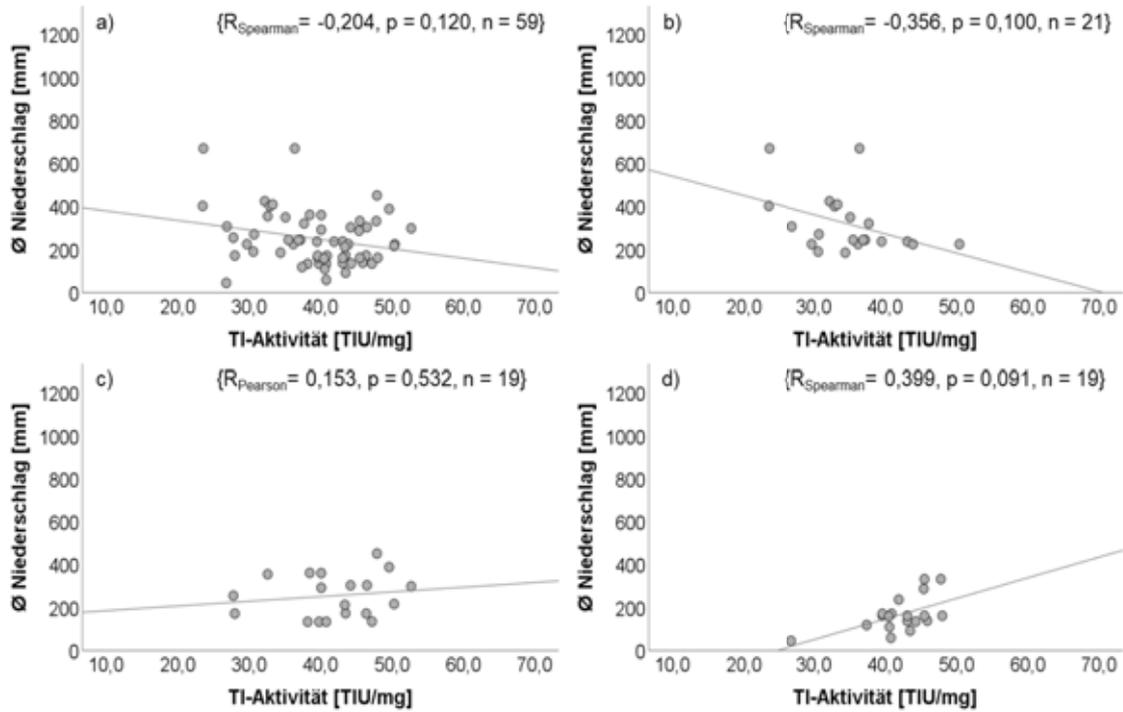


Abbildung 78: Zusammenhang zwischen dem Durchschnittsniederschlag (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und TI-Aktivität von Sommererbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

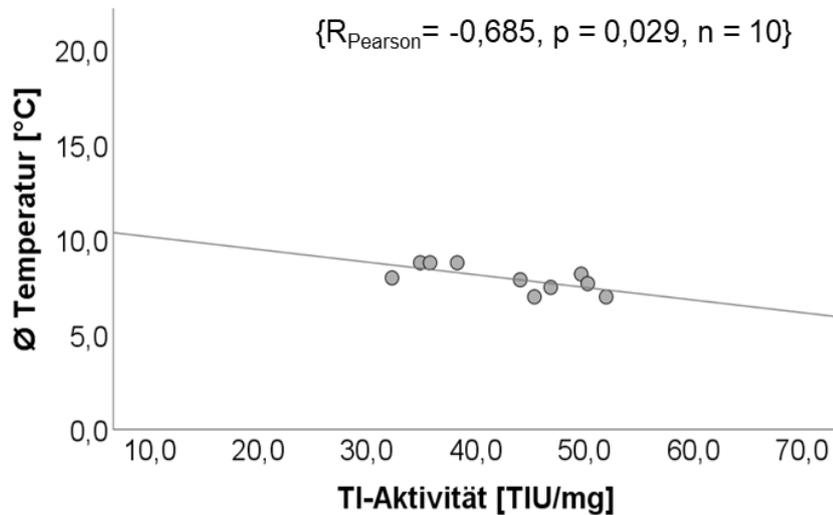


Abbildung 79: Zusammenhang zwischen der Durchschnittstemperatur (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und TI-Aktivität von Wintererbsen insgesamt

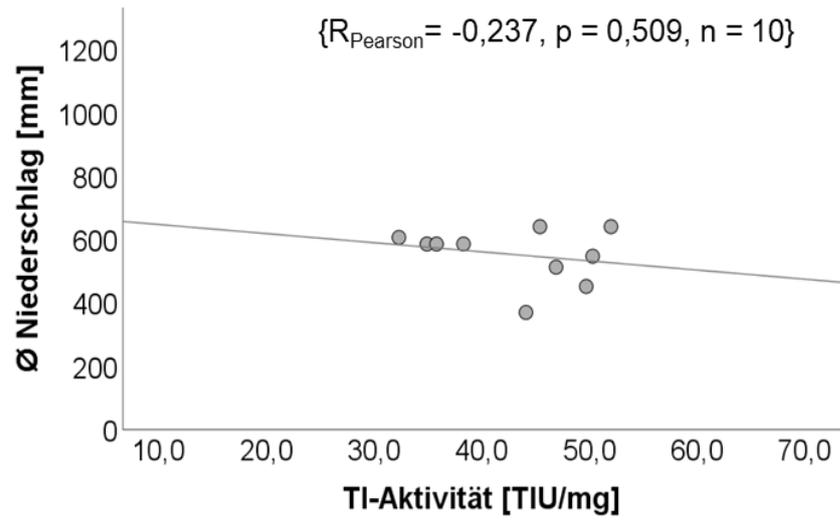


Abbildung 80 Zusammenhang zwischen dem Durchschnittsniederschlag (aufgenommen von Saattermin bis Erntetermin) und TI-Aktivität von Wintererbsen insgesamt

Zusammenhang zwischen den Bodendaten und dem Proteingehalt bei Sommererbsen und Wintererbsen sowie zwischen den Bodendaten und der TI-Aktivität bei Sommererbsen und Wintererbsen.

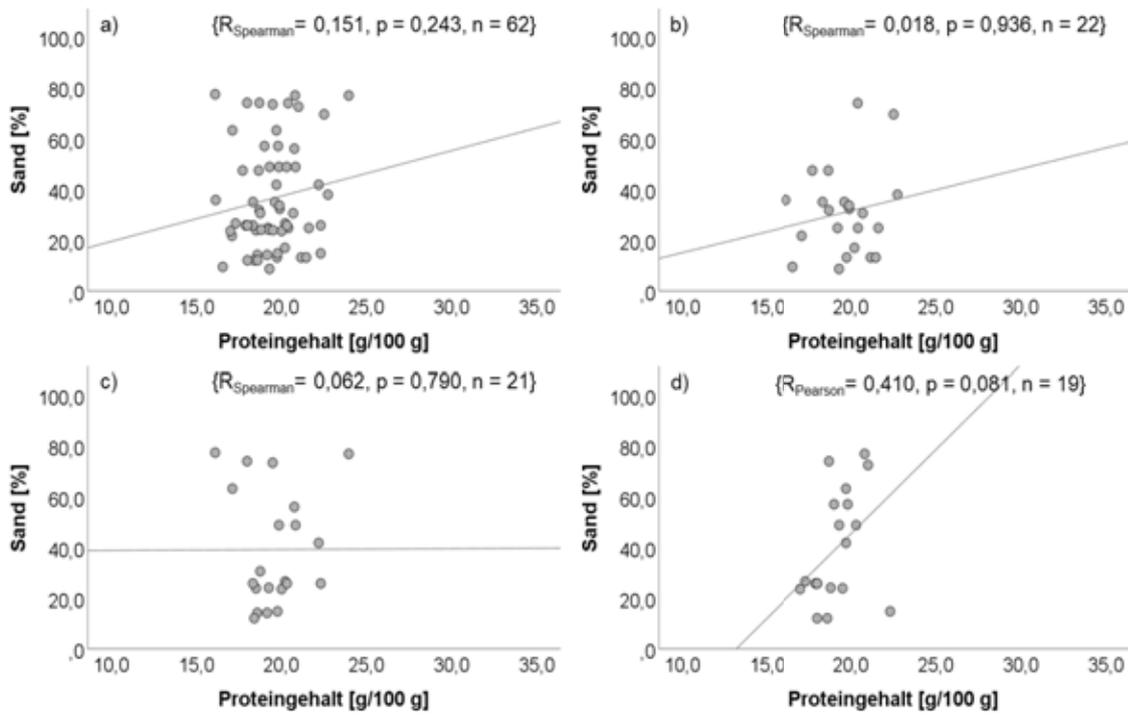


Abbildung 81: Zusammenhang zwischen prozentualem Sandanteil im Boden und Proteingehalt bei Sommererbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

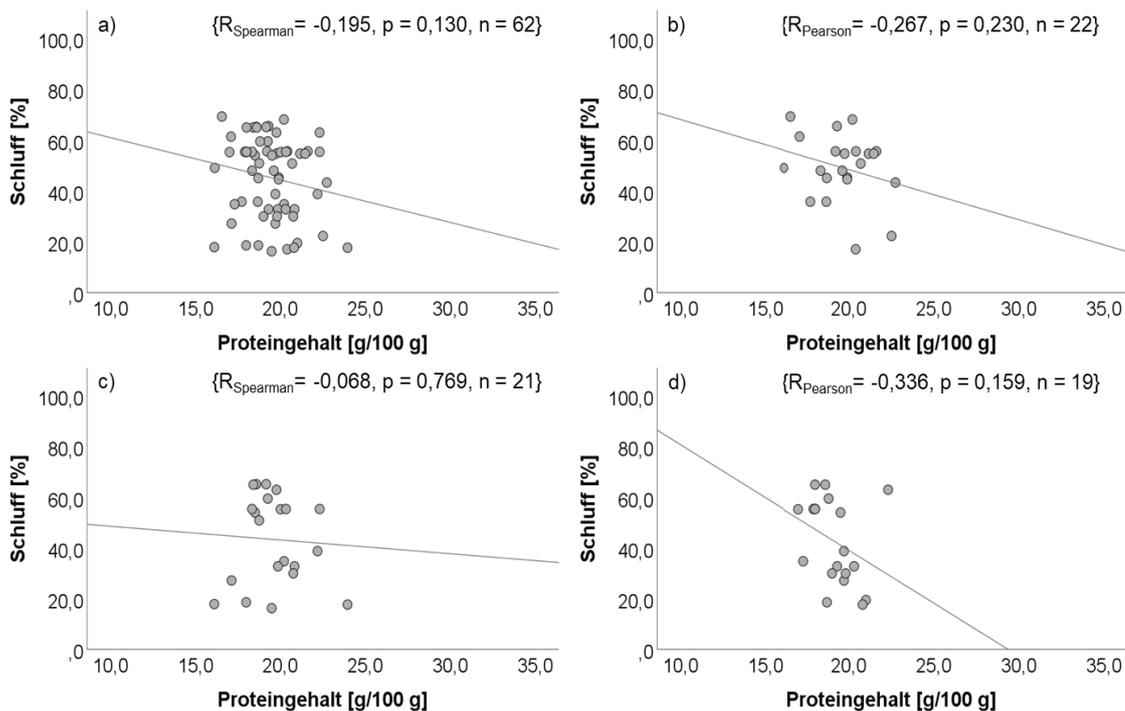


Abbildung 82: Zusammenhang zwischen prozentualem Schluffanteil im Boden und Proteingehalt bei Sommererbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

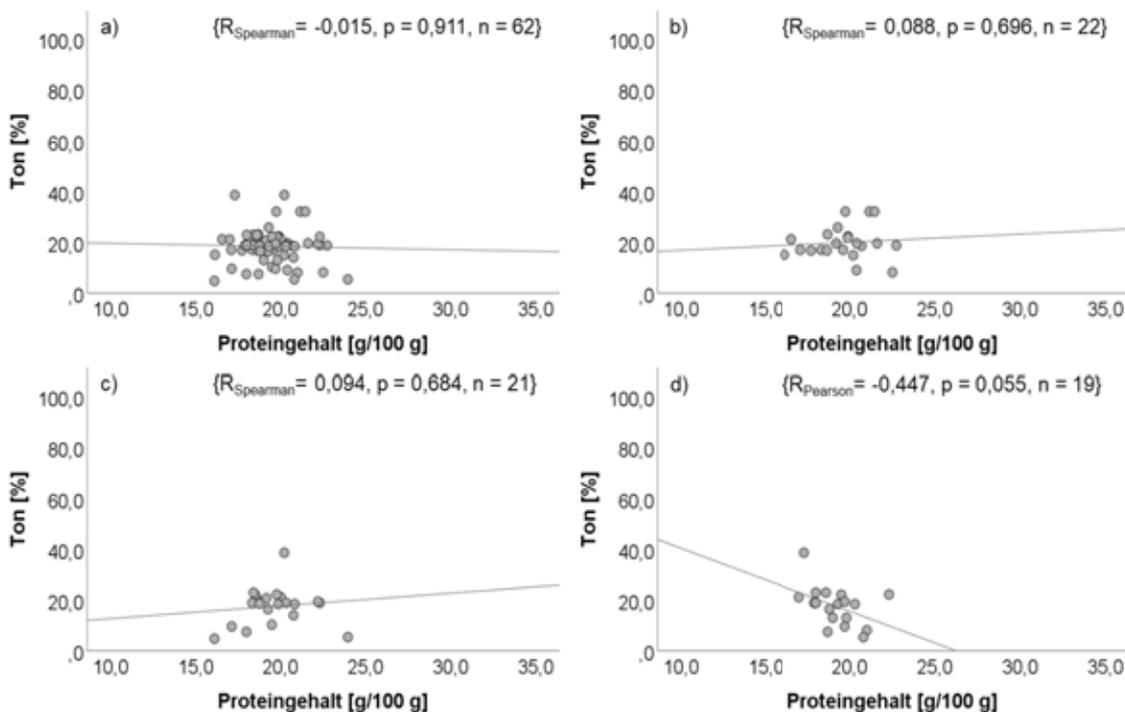


Abbildung 83: Zusammenhang zwischen prozentualem Tonanteil im Boden und Proteingehalt bei Sommererbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

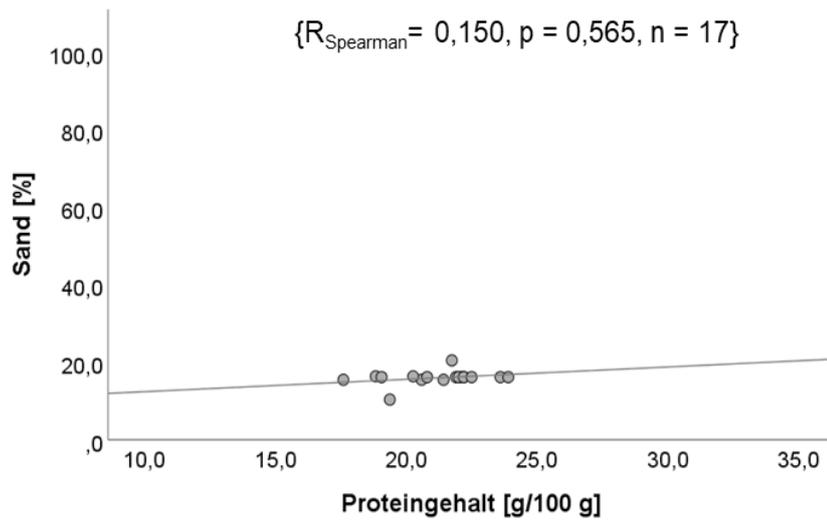


Abbildung 84: Zusammenhang zwischen prozentualem Sandanteil im Boden und Proteingehalt bei Wintererbsen insgesamt

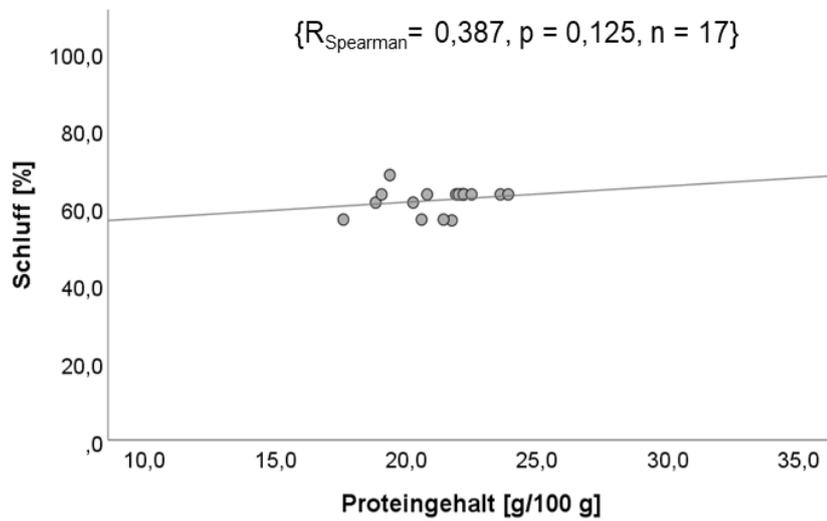


Abbildung 85: Zusammenhang zwischen prozentualem Schluffanteil im Boden und Proteingehalt bei Wintererbsen insgesamt

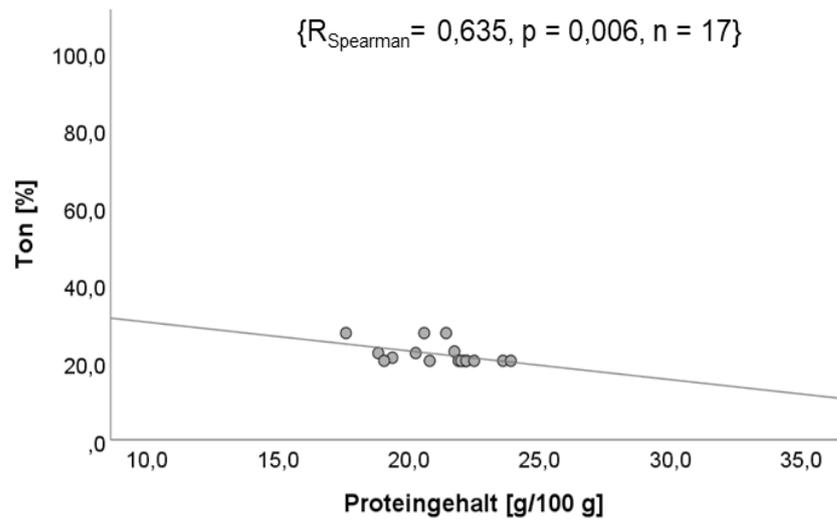


Abbildung 86: Zusammenhang zwischen prozentualem Tonanteil im Boden und Proteingehalt bei Wintererbsen insgesamt

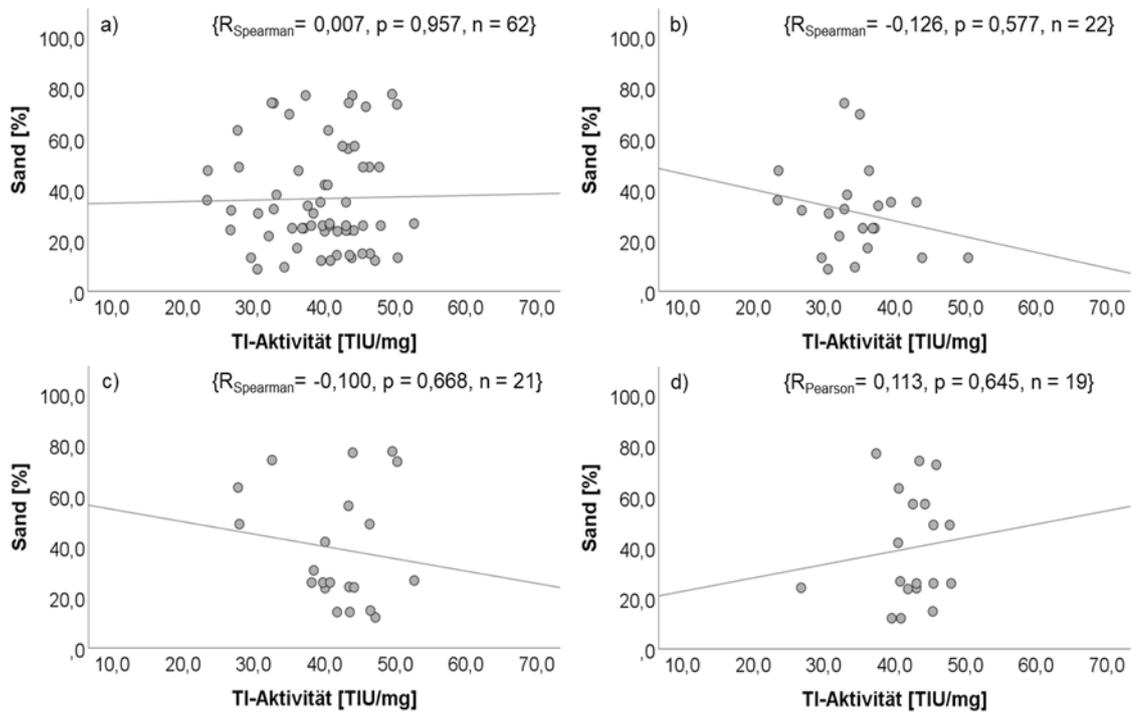


Abbildung 87: Zusammenhang zwischen prozentualem Sandanteil im Boden und TI-Aktivität bei Sommererbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

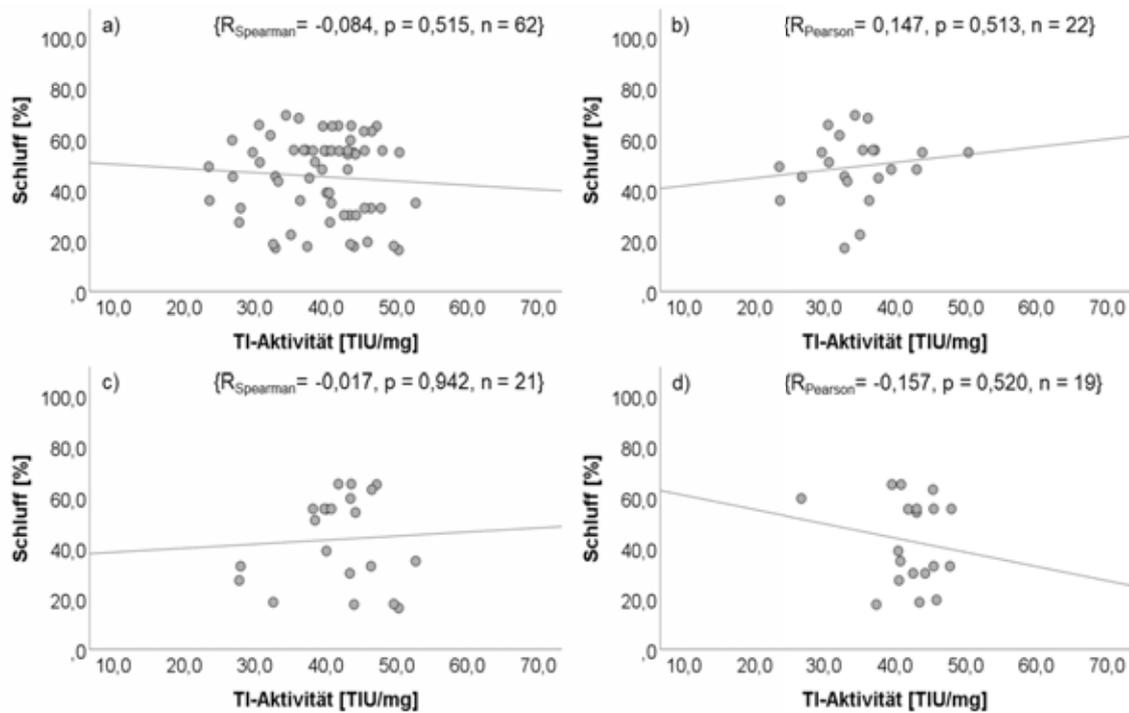


Abbildung 88: Zusammenhang zwischen prozentualem Schluffanteil im Boden und TI-Aktivität bei Sommererbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

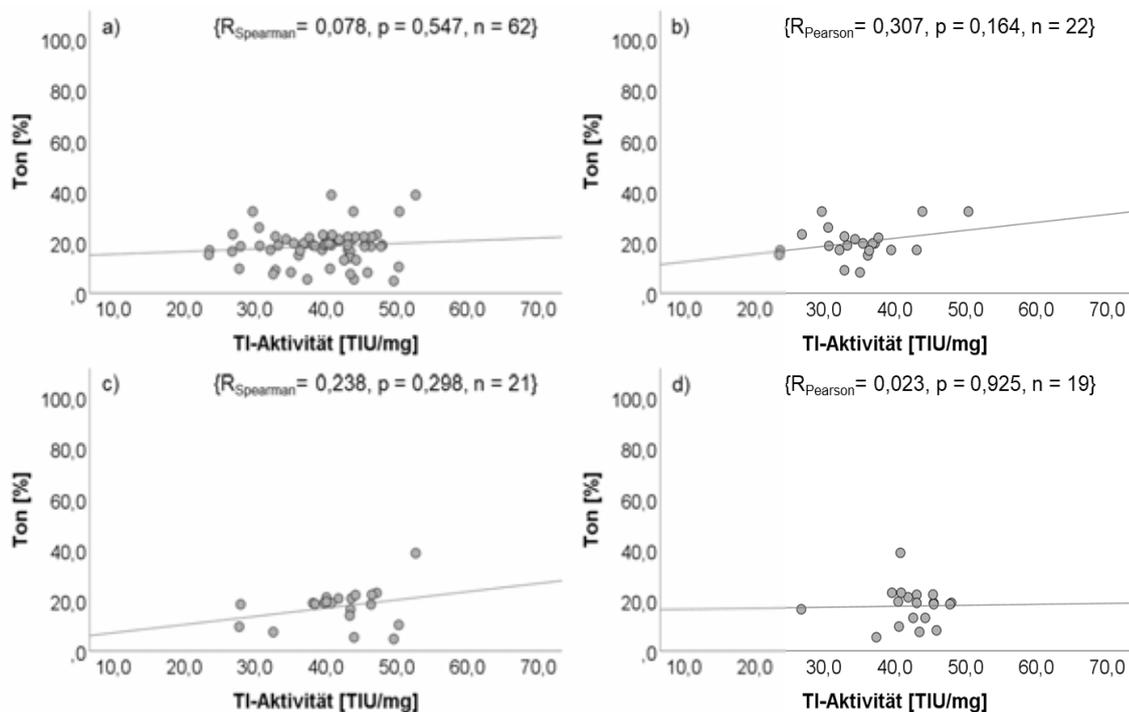


Abbildung 89: Zusammenhang zwischen prozentualem Tonanteil im Boden und TI-Aktivität bei Sommererbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

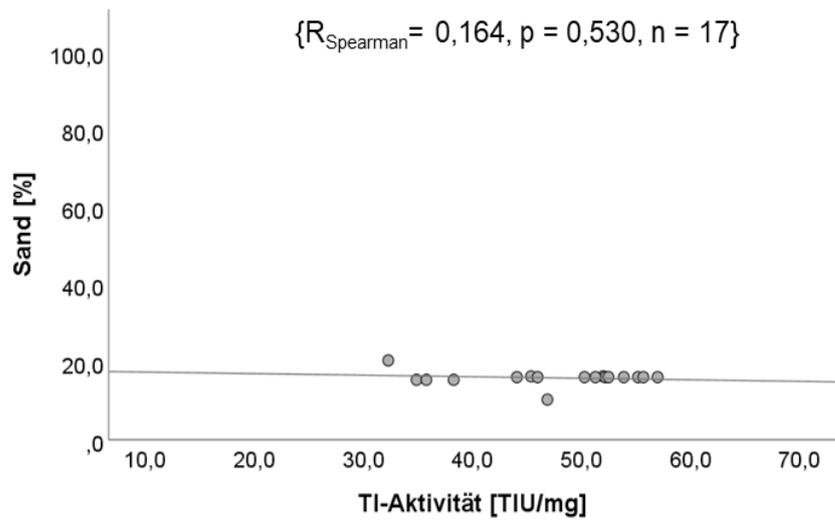


Abbildung 90: Zusammenhang zwischen prozentualem Sandanteil im Boden und TI-Aktivität bei Wintererbsen insgesamt

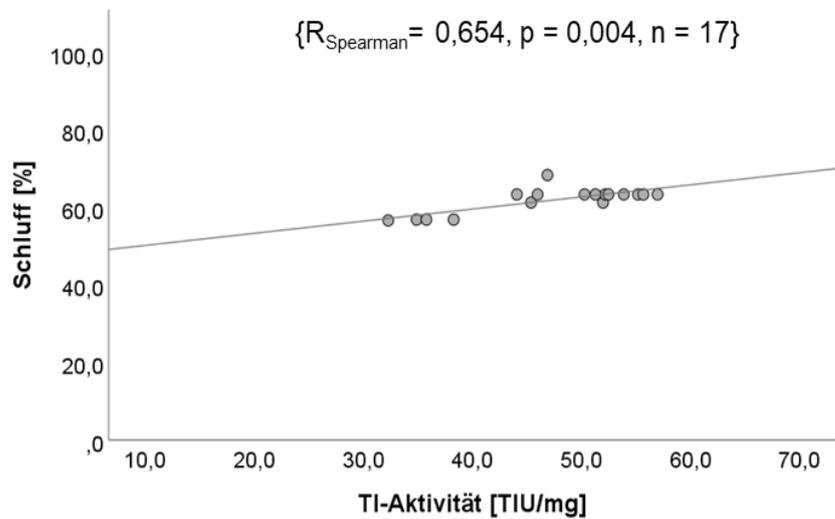


Abbildung 91: Zusammenhang zwischen prozentualem Schluffanteil im Boden und TI-Aktivität bei Wintererbsen insgesamt

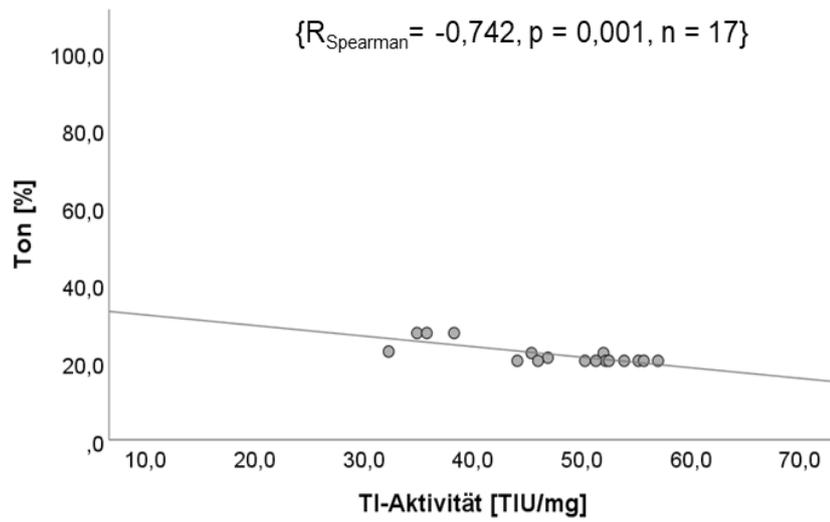


Abbildung 92: Zusammenhang zwischen prozentualem Tonanteil im Boden und TI-Aktivität bei Wintererbsen insgesamt

Zusammenhang zwischen dem Tausendkorngewicht und dem Proteingehalt sowie der TI-Aktivität bei Sommererbsen und Wintererbsen.

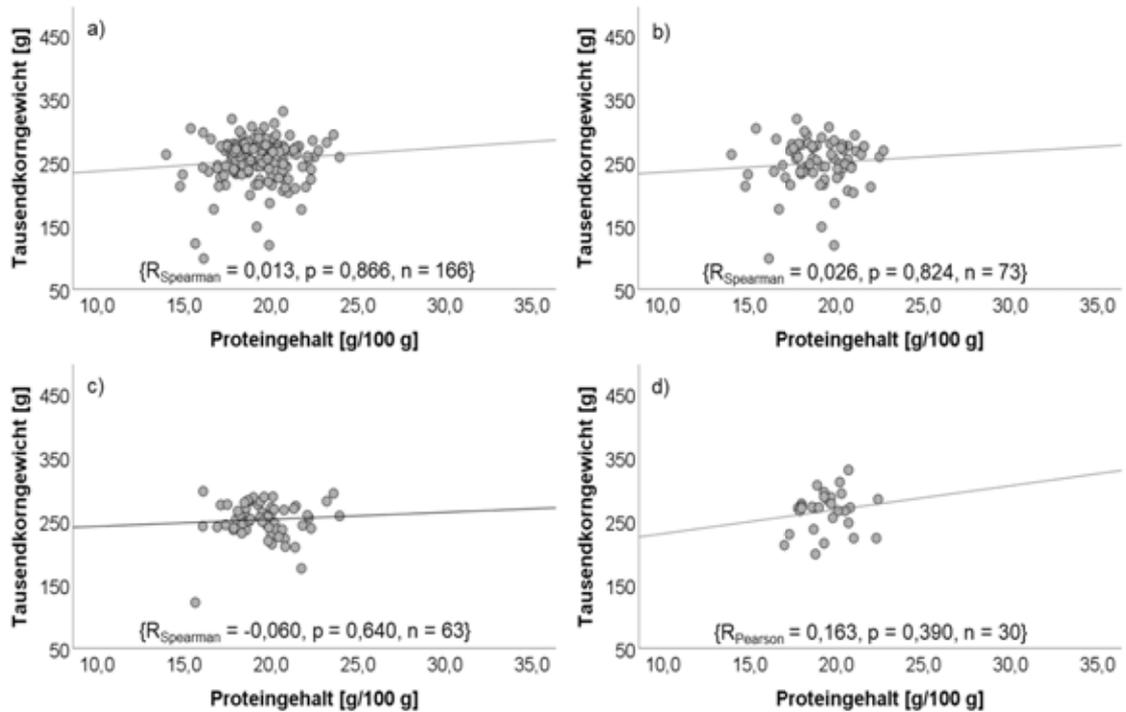


Abbildung 93: Zusammenhang zwischen Tausendkorngewicht und Proteingehalt bei Sommererbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

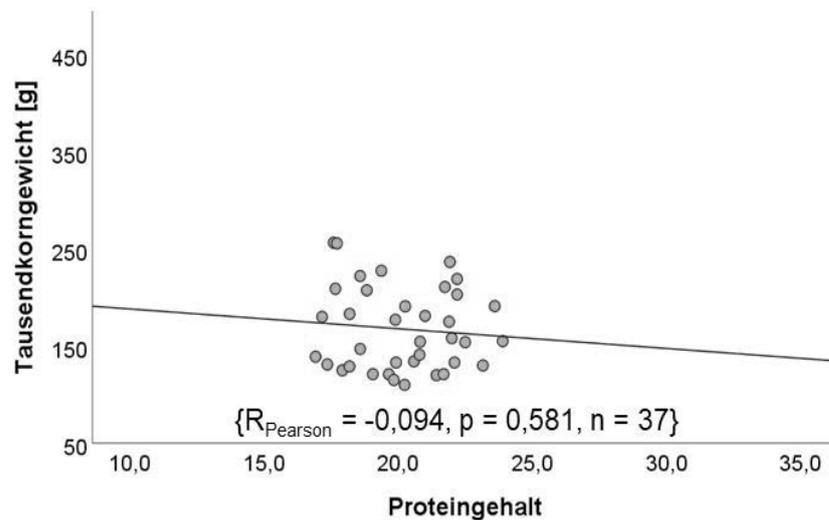


Abbildung 94: Zusammenhang zwischen Tausendkorngewicht und Proteingehalt bei Wintererbsen insgesamt

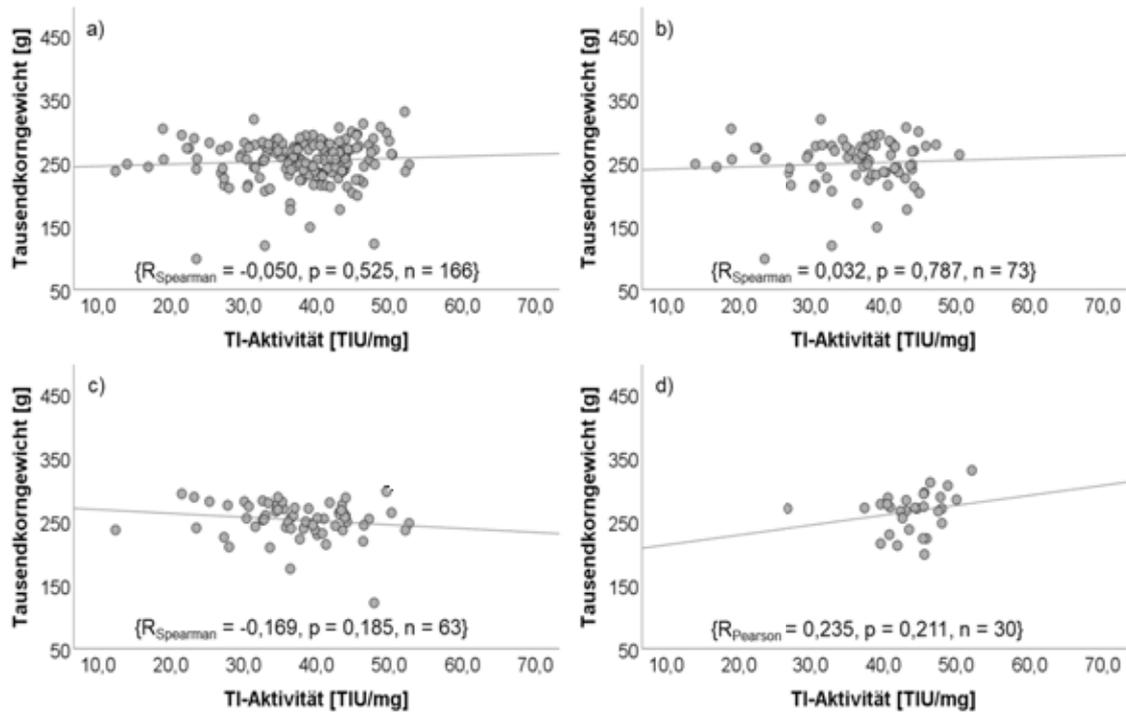


Abbildung 95: Zusammenhang zwischen Tausendkorngewicht und TI-Aktivität bei Sommererbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

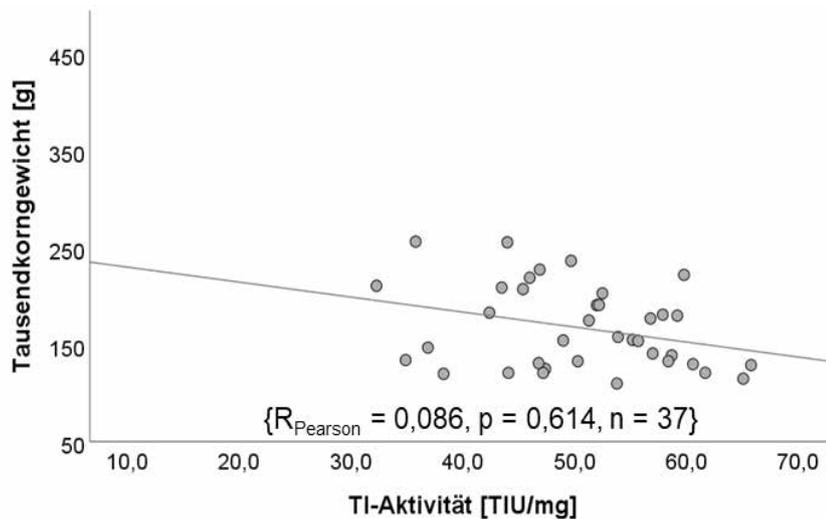


Abbildung 96: Zusammenhang zwischen Tausendkorngewicht und TI-Aktivität bei Wintererbsen insgesamt

Zusammenhang zwischen dem Proteingehalt und der TI-Aktivität bei Sommererbsen und Wintererbsen.

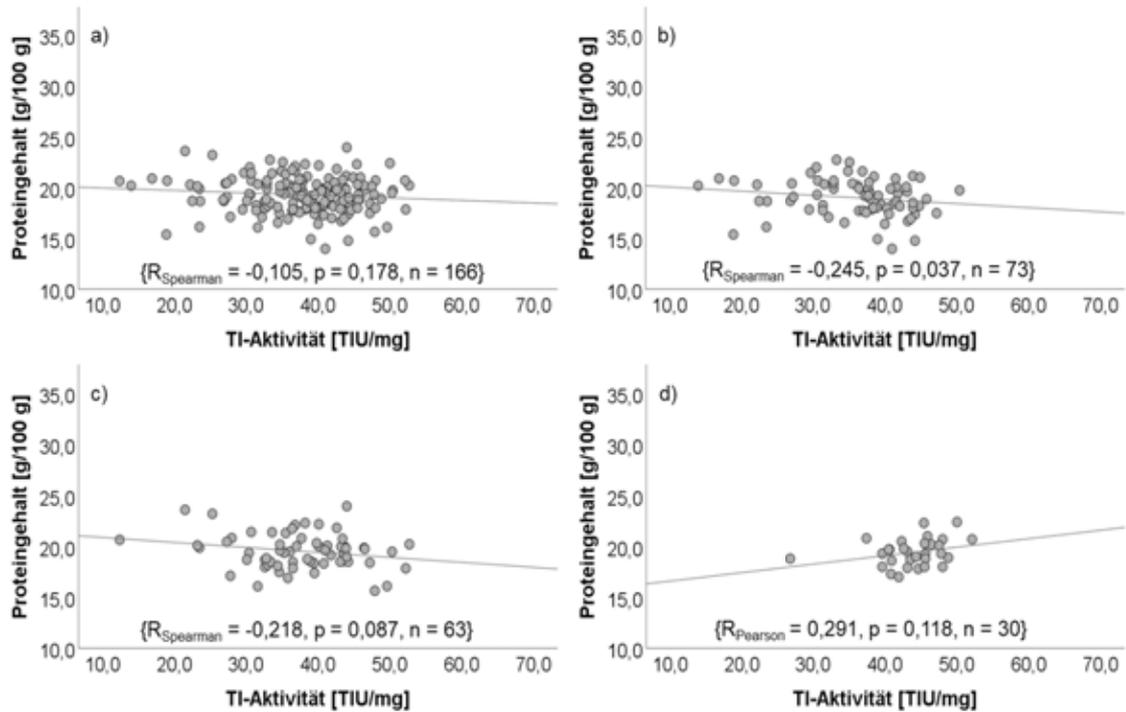


Abbildung 97: Zusammenhang zwischen Proteingehalt und TI-Aktivität bei Sommererbsen insgesamt (a), im Anbaujahr 2016 (b), im Anbaujahr 2017 (c) und im Anbaujahr 2018 (d)

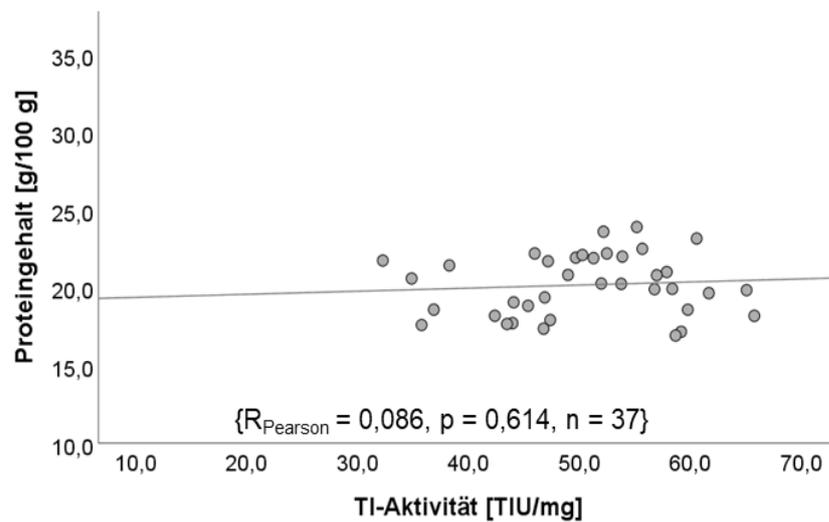


Abbildung 98: Zusammenhang zwischen Proteingehalt und TI-Aktivität bei Wintererbsen insgesamt

13 Danksagung

Zum Abschluss möchte ich mich an dieser Stelle nochmal bei allen Personen bedanken, die mich die letzten Jahre unterstützt und zur erfolgreichen Abgabe der vorliegenden Arbeit beigetragen haben.

Ein großer Dank geht an meinen Betreuer, Prof. Dr. Sascha Rohn, der die finanziellen und materiellen Mittel für diese Arbeit organisiert und mir stets die Freiheiten gegeben hat, meine Kenntnisse im instrumentellen Bereich der analytischen Chemie weiterzuentwickeln und zu vertiefen. Frei nach dem Prinzip „*Learning by Doing*“ im Laboralltag und im Datenlabyrinth bin ich oftmals an meine persönlichen Grenzen gelangt, was mich aber trotzdem immer wieder von Neuem angespornt hat mein Bestes zu geben, aus Fehlern zu lernen und schlussendlich mit der Arbeit voran zu kommen. Durch diese Arbeitsweise konnte ich meine fachliche Expertise stets ausbauen und zudem sehr viel Erfahrung für meine weitere berufliche Laufbahn mitnehmen. Prof. Dr. Rohn prägte auch weitere Teile meines akademischen Werdegangs. Insbesondere im letzten Jahr spornte er mich immer wieder dazu an, die erhobenen Daten in Fachzeitschriften zu veröffentlichen, da deren Qualität einzigartig sei. Das Möglichmachen des wissenschaftlichen Arbeitens sowie die Publikation der erhobenen Daten und der Glaube an meine Fähigkeiten – für alles möchte ich mich noch einmal besonders bei Prof. Dr. Rohn bedanken.

Ein weiterer Dank geht an die Leitung und die Mitglieder des Demonstrationsnetzwerkes Erbse & Bohne, die insbesondere die finanziellen Mittel für diese Arbeit zur Verfügung gestellt und diese Stelle überhaupt ermöglicht haben. Ich möchte mich hier für die fachliche Expertise vor allem im agrarwirtschaftlichen Bereich und für die Hilfestellungen bei den Auswertungen und der Ausarbeitungen wissenschaftlicher Fragestellungen in dem mir anfangs doch etwas fremden Bereich bedanken. Herausgehoben sei dabei Herr Dr. Harald Schmidt, der mir innerhalb dieses Netzwerkes die meteorologischen Daten und Bodendaten zur Verfügung gestellt hat. Durch seine Hilfe konnte ich ganz besonderen Fragestellungen innerhalb dieser Arbeit nachgehen.

Weiterhin möchte ich meinen Kollegen in der Arbeitsgruppe Rohn an der Universität Hamburg für ihre jahrelange Unterstützung, Hilfsbereitschaft und Geduld danken. Der interessante (und doch manchmal stressige) Laboralltag wurde durch die gemeinsamen Arbeitstreffen sehr viel erträglicher. Hier möchte ich insbesondere unsere technische Laborassistentin Kathrin Mink hervorheben. Sie war mir jahrelang eine sehr gute ZuhörerIn, hatte immer einen hilfreichen Praxistipp für die alltägliche Arbeit parat und hat auch sonst sehr viel zu dieser Arbeit und dem Projekt beigetragen.

Auch möchte ich mich bei meinen beiden Diplomandinnen Nantke Strunk und Marie Bündler, die mich während meiner Promotionszeit unterstützt haben, ganz herzlich bedanken. Mit ihrem Eifer, ihrem Tatendrang, ihrer Energie und ihrer Bereitschaft sind die hier aufgeführten Messergebnisse mitentstanden. Vielen lieben Dank nochmal für Eure Hilfe!

Zum guten Schluss möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken, die mich auf meinem Weg mit größtem Eifer und Elan unterstützen und es stets schafften mich von manchmal auftretenden Selbstzweifeln zu befreien. An dieser Stelle möchte ich einen großen Dank an Sara Ramminger aussprechen, die mir bei jeglicher Statistikfrage zur Seite stand! Zudem möchte ich meinem Mann Philipp und meinem kleinen Sohn Jonathan danken. Ohne die moralische Unterstützung meines Mannes Philipp und der Ausgeglichenheit meines Sohnes Jonathan hätte ich diese Arbeit vermutlich nie fertigstellen können. Vielen Dank ihr Zwei!

14 Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich an Eides statt, die vorliegende Dissertation selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt zu haben. Die eingereichte schriftliche Verfassung entspricht der auf dem elektronischen Speichermedium. Ich versichere, dass diese Dissertation nicht in einem früheren Promotionsverfahren eingereicht wurde.

(Datum und Unterschrift)