



Schlussbericht zum Thema

Einsatz von behandelten Saatwickenkörnern (*Vicia sativa* L.) als eiweißreiches Futtermittel für Monogastrier im ökologischen Landbau

FKZ: 2815OE038; 2815OE106

**Projektnehmer: Johann Heinrich
von Thünen-Institut; Friedrich-
Loeffler-Institut**

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft auf Grund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft.

Das Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft (BÖLN) hat sich zum Ziel gesetzt, die Rahmenbedingungen für die ökologische und nachhaltige Land- und Lebensmittelwirtschaft in Deutschland zu verbessern. Es wird vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) finanziert und in der BÖLN-Geschäftsstelle in der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) in Bonn in die Praxis umgesetzt. Das Programm untergliedert sich in zwei ineinandergreifende Aktionsfelder, den Forschungs- und den Informationsbereich.

Detaillierte Informationen und aktuelle Entwicklungen finden Sie unter
www.bundesprogramm.de

Wenn Sie weitere Fragen haben, wenden Sie sich bitte an:

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft
Deichmanns Aue 29
53179 Bonn
Tel: 0228-6845-3280
E-Mail: boeln@ble.de

Einsatz von behandelten Saatwickenkörnern (*Vicia sativa* L.)
als eiweißreiches Futtermittel für
Monogastrier im ökologischen Landbau

Zuwendungsempfänger / ausführende Stellen:

Dr. Lisa Baldinger (Koordination Gesamtvorhaben)

Dr. Karen Aulrich

Dr. Herwart Böhm

Ralf Bussemas

Anja Höhne

Nadja Rinke

Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI) – Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und
Fischerei, Thünen-Institut für Ökologischen Landbau

Trenthorst 32, 23847 Westerau

lisa.baldinger@thuenen.de

FKZ 2815OE038



Dr. Michael Grashorn

Universität Hohenheim, FG Populationsgenomik bei Nutztieren,
Institut für Nutztierwissenschaften

Garbenstr. 17, 70599 Stuttgart

popgenomik@uni-hohenheim.de

FKZ 2815OE038



Dr. Andreas Berk

Friedrich-Loeffler-Institut, Bundesforschungsinstitut für
Tiergesundheit, Institut für Tierernährung

Bundesallee 37, 38116 Braunschweig

FKZ 2815OE106



Autor*innen des Abschlussberichts:

Lisa Baldinger, Karen Aulrich, Herwart Böhm, Anja Höhne, Nadja Rinke

Einsatz von behandelten Saatwickenkörnern (*Vicia sativa* L.) als eiweißreiches Futtermittel für Monogastrier im ökologischen Landbau

Lisa Baldinger¹, Karen Aulrich¹, Herwart Böhm¹, Anja Höhne¹, Nadja Rinke¹

¹ Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, 23847 Westerau, Deutschland

Das Projekt „Wickeiweiß“ hatte die Förderung der Körnerleguminose Saatwicke (*Vicia sativa* L.) als Eiweißkomponente in der ökologischen Fütterung monogastrischer Nutztiere zum Ziel. Es wurden dreijährige Anbauversuche mit den Sorten Berninova, Ina, Jaga, Slovena und Toplesa in Reinsaat und im Gemenge mit Sommerweizen, -triticale (2 Jahre) und -roggen (1 Jahr) durchgeführt. Die Slovena-Sommerweizen-Gemenge erzielten dabei die höchsten Gesamtkorn- (34-37 dt ha⁻¹) und -rohproteinerträge (2017 & 2019 10,7 dt ha⁻¹), welche bei Wickenanteilen von 30-50 %, in der Aussaatmischung erreicht wurden. Die Rohproteingehalte der Wicken betragen 319-338 g kg⁻¹, die Methionin+Cysteingehalte 5,2-5,8 g kg⁻¹. Die Analytik der aufgrund ihrer starken antinutritiven Wirkung relevanten Cyanoalanintoxine und Pyrimidinglycoside wurde am Thünen-Institut für Ökologischen Landbau etabliert und zeigte Sortenunterschiede auf, mit γ -Glutamyl- β -Cyanoalanin-Gehalten von 9,6 (Slovena) bis 12,9 g kg⁻¹ (Jaga). Das Pyrimidinglycosid Convicin zeigte ebenfalls Sortenunterschiede mit niedrigen Gehalten in den hellsamigen Sorten (Toplesa 0,23, Ina 0,30 g kg⁻¹) und den höchsten in der dunkelsamigen Sorte Slovena (1,1 g kg⁻¹). Als Optionen zur Verbesserung des Futterwerts wurden die Keimung und Silierung der Saatwickenkörner untersucht. Die Silierung führte zu einer Reduktion antinutritiver Faktoren, die *in vivo* Verdaulichkeit bei Masthuhn und -schwein wurde dadurch aber nicht verbessert. Masthühner, Legehennen und Vormastschweine bevorzugten in Fütterungsversuchen mit der Sorte Slovena die behandelten Wicken, die freiwillige Aufnahme blieb aber moderat (Rationsanteile 9-13 % Keimgut, 7,7-10 % Silage). Bei Einmischung in pelletiertes Masthuhn-Futter konnten rohe Wicken bis zu 12,5 % eingesetzt werden. Zusammenfassend kann die Verfütterung von rohen Saatwickenkörnern (Slovena) an monogastrische Nutztiere bei moderaten Rationsanteilen empfohlen werden, der Aufwand der Keimung oder Silierung erscheint nicht gerechtfertigt.

Kontakt:

Thünen-Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, 23847 Westerau

Dr. Lisa Baldinger, lisa.baldinger@thuenen.de

Treated common vetch (*Vicia sativa* L.) seeds as protein-rich feed for monogastric farm animals in organic agriculture

Lisa Baldinger¹, Karen Aulrich¹, Herwart Böhm¹, Anja Höhne¹, Nadja Rinke¹

¹Johann Heinrich von Thünen Institute, Federal Research Institute for Rural Areas, Forestry and Fisheries, Institute of Organic Farming, Trenthorst 32, 23847 Westerau, Germany

The research project 'Wickeiweiß' aimed the promoting of the grain legume common vetch (*Vicia sativa* L.) as a protein source in organic diets for monogastric livestock. Cultivation trials were conducted for three years with the cultivars Berninova, Ina, Jaga, Slovena and Toplesa, sole cropped and intercropped with spring wheat, triticale (2 years) and rye (1 year). Mixtures of Slovena with spring wheat had the highest total grain yields (34-37 dt ha⁻¹) and total crude protein yields (2017 & 2019 10.7 dt ha⁻¹), which were achieved with vetch percentages of 30-50 % in the seed mixture. The crude protein content of the common vetches ranged from 319 to 338 g kg⁻¹, and methionine+cysteine contents were 5.2-5.8 g kg⁻¹. Analysis of cyanoalanine toxins and pyrimidine glycosides, which have strong antinutritional effects, were established at the Thünen Institute of Organic Agriculture and revealed differences between cultivars, with γ -glutamyl- β -cyanoalanine contents ranging from 9.6 (Slovena) to 12.9 g kg⁻¹ (Jaga). The pyrimidine glycoside convicin also showed differences, with low levels in the light-seeded cultivars (Toplesa 0.23, Ina 0.30 g kg⁻¹), and the highest in the dark-seeded Slovena (1.1 g kg⁻¹). Germination and ensiling of common vetch grains were investigated as options to improve feed value. Ensiling resulted in a reduction of antinutritional factors, but did not improve *in vivo* digestibility in broiler chickens and fattening pigs. Broilers, layers, and early fattening pigs preferred the treated vetches in feeding trials with the cultivar Slovena, but voluntary intake remained moderate (proportion of diet 9-13 % germinated, 7.7-10 % ensiled vetch). When mixed into pelleted broiler diets, raw vetches could be used up to 12.5 %. In conclusion, feeding raw common vetch grains (cultivar Slovena) to monogastric livestock at moderate dietary inclusion rates can be recommended, and the expense of germination or ensiling does not appear justified.

Contact:

Thünen-Institut of Organic Farming, Trenthorst 32, 23847 Westerau

Dr. Lisa Baldinger, lisa.baldinger@thuenen.de

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Gegenstand des Vorhabens.....	1
1.2	Ziele und Aufgabenstellung des Projektes, Bezug des Vorhabens zu den einschlägigen Zielen des BÖLN oder zu konkreten Bekanntmachungen und Ausschreibungen	1
1.3	Planung und Ablauf des Projektes	4
2	Wissenschaftlicher und technischer Stand	5
3	Material und Methoden	11
3.1	Fütterungsversuche	11
3.1.1	Fütterungsversuch Masthühner 2017	12
3.1.2	Fütterungsversuch Masthühner 2018.....	15
3.1.3	Fütterungsversuch Legehennen	17
3.1.4	Fütterungsversuch Vormastschweine	19
3.2	Anbau- und Behandlungsversuche.....	20
3.2.1	Parzellenversuche	20
3.2.2	Keimungs- und Silierversuch	29
3.3	Futtermittelbewertung.....	30
3.3.1	Analyse der Inhaltsstoffe	30
3.3.2	<i>In vivo</i> Verdaulichkeit Mastschwein.....	33
3.3.3	<i>In vivo</i> Verdaulichkeit Masthuhn.....	33
3.3.4	<i>In vitro</i> Verdaulichkeit Masthuhn.....	38
4	Ergebnisse und Diskussion	39
4.1	Fütterungsversuche.....	39
4.1.1	Fütterungsversuch Masthühner 2017.....	41
4.1.2	Fütterungsversuch Masthühner 2018.....	47
4.1.3	Fütterungsversuch Legehennen	52
4.1.4	Fütterungsversuch Vormastschweine	59
4.2	Anbau- und Behandlungsversuche.....	63
4.2.1	Parzellenversuche	63
4.2.2	Keimungs- und Silierversuch	87
4.3	Futtermittelbewertung.....	88
4.3.1	Analyse der Inhaltsstoffe	88

4.3.2 In vivo Verdaulichkeit Mastschwein.....	98
4.3.3 In vivo Verdaulichkeit Masthuhn	98
4.3.4 In vitro Verdaulichkeit Masthuhn.....	100
5 Nutzen und Verwertbarkeit	101
6 Geplante und erreichte Ziele	102
7 Zusammenfassung	103
8 Literaturverzeichnis	109
9 Veröffentlichungen.....	115
ANHANG	117
Erfolgskontrollbericht.....	117

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Überblick über den Projektablauf	4
Tabelle 2 Zusammensetzung der Kontrollration und des zu den separat gefütterten Wicken vorgelegten Ergänzers im Fütterungsversuch mit Masthühnern 2017	13
Tabelle 3 Zusammensetzung der Kontrollration und der Versuchsrationen mit 7,5, 10,0 und 12,5 % Wicken im Fütterungsversuch mit Masthühnern 2018	16
Tabelle 4 Zusammensetzung der Kontrollration und des zu den separat gefütterten Wicken vorgelegten Ergänzers im Fütterungsversuch mit Legehennen	17
Tabelle 5 Zusammensetzung der Kontrollration und des zu den separat gefütterten Wicken vorgelegten Ergänzers im Fütterungsversuch mit Vormastschweinen	19
Tabelle 6 Bodenchemische Kennwerte der Versuchsflächen im Oberboden (0-30 cm) sowie Einordnung in die Gehaltsklassen A - E nach Richtwerten der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Stand Januar 2018, LWK Niedersachsen, 2018).....	20
Tabelle 7 Versuchsfaktoren und deren Faktorstufen sowie Kontrollvarianten im Feldversuch	23
Tabelle 8 Charakteristika der Saatwickensorten in den Feldversuchen	24
Tabelle 9 Charakteristika der Sommerweizen, -roggen und -triticalesorten in den Feldversuchen...	25
Tabelle 10 Bewirtschaftungsmaßnahmen in den Feldversuchen für die Anbaujahre 2017 bis 2019..	26
Tabelle 11 Versuchsdesign des Verdaulichkeitsversuchs mit Masthühnern	34
Tabelle 12 Zusammensetzung sowie analysierte Nährstoffgehalte (g kg^{-1} TM) der Futtermischungen des Verdaulichkeitsversuchs.....	35
Tabelle 13 Gehalte an Nährstoffen und antinutritiven Faktoren in rohen, gekeimten und silierten Wicken der Ernte 2016, g kg^{-1} Trockenmasse, sofern nicht anders angegeben.....	40
Tabelle 14 Nährstoffgehalte der Kontrollration und des zu den separat gefütterten Wicken vorgelegten Ergänzers im Fütterungsversuch mit Masthühnern 2017, g kg^{-1} Trockenmasse, sofern nicht anders angegeben	41
Tabelle 15 Futtermittelverbrauch, Tageszunahmen und Futteraufwand (LS-Means) der Masthühner ($n = 640$) in Abhängigkeit der Fütterungsvariante im Fütterungsversuch 2017 (Kontrolle vs. rohe, gekeimte oder silierte Wicken)	42
Tabelle 16 Parameter der Schlachtleistung (LS-Means) der Masthühner in Abhängigkeit der Fütterungsvariante im Fütterungsversuch 2017 (Kontrolle vs. rohe, gekeimte oder silierte Wicken)	44
Tabelle 17 Tierwohlbewertung im Fütterungsversuch 2017, % der betrachteten Masthühner mit der jeweiligen Boniturnote (0 = kein Befund, 1 = leichte Veränderung, 2 = starke Veränderung, 3 = komplette Verschmutzung) in Lebenswoche 10 und nach der Schlachtung	46
Tabelle 18 Gehalte an Nährstoffen und antinutritiven Faktoren in der Kontrollration und den Versuchsrationen mit 7,5, 10,0 und 12,5 % Wicken im Fütterungsversuch mit Masthühnern 2018, g kg^{-1} Trockenmasse, sofern nicht anders angegeben.....	47
Tabelle 19 Futtermittelverbrauch, Tageszunahmen und Futteraufwand (LS-Means) der Masthühner ($n = 640$) in Abhängigkeit der Fütterungsvariante im Fütterungsversuch 2018 (Kontrolle vs. 7,5, 10,0 oder 12,5 % Rationsanteil rohe Wicken).....	48
Tabelle 20 Parameter der Schlachtleistung (LS-Means) der Masthühner in Abhängigkeit der Fütterungsvariante im Fütterungsversuch 2018 (Kontrolle vs. 7,5, 10,0, 12,5 % Rationsanteil rohe Wicken).....	49
Tabelle 21 Tierwohlbewertung im Fütterungsversuch 2018, % der betrachteten Masthühner mit der jeweiligen Boniturnote (0 = kein Befund, 1 = leichte Veränderung, 2 = starke Veränderung, 3 = komplette Verschmutzung) in Lebenswoche 10 und nach der Schlachtung	50
Tabelle 22 Nährstoffgehalte der Kontrollration und des zu den separat gefütterten Wicken vorgelegten Ergänzers im Fütterungsversuch mit Legehennen, g kg^{-1} Trockenmasse, sofern nicht anders angegeben	52

Tabelle 23 Futterverbrauch, Lebendmasse und Legeleistung (LS-Means) der Legehennen im Versuchszeitraum (Lebenswoche 20-36) in Abhängigkeit der Fütterungsvariante (Kontrolle vs. rohe, gekeimte oder silierte Wicken) und des Durchgangs (2017, 2019).....	53
Tabelle 24 Futterverbrauch und Legeleistung (LS-Means) der Legehennen im Zeitraum Lebenswoche 22-36 in Abhängigkeit der Fütterungsvariante (Kontrolle vs. rohe, gekeimte oder silierte Wicken) und des Durchgangs (2017, 2019).....	55
Tabelle 25 Größenverteilung der Eier (S, M, L, XL) sowie Eiqualität im Durchschnitt des Versuchszeitraums (Lebenswoche 20-36) in Abhängigkeit der Fütterungsvariante (Kontrolle vs. rohe, gekeimte oder silierte Wicken) und des Durchgangs (2017, 2019).....	57
Tabelle 26 Tierwohlbewertung im Fütterungsversuch, % der Legehennen mit der jeweiligen Boniturnote (0 = kein Befund, 1 = leichte Veränderung, 2 = starke Veränderung, 3 = komplette Verschmutzung) im Durchgang 2017 und 2019.....	58
Tabelle 27 Nährstoffgehalte der Kontrollration und des zu den separat gefütterten Wicken vorgelegten Ergänzers im Fütterungsversuch mit Vormastschweinen, g kg ⁻¹ Trockenmasse, sofern nicht anders angegeben	59
Tabelle 28 Futterverbrauch, Tageszunahmen und Futteraufwand (LS-Means) der Vormastschweine (n = 240) in Abhängigkeit der Fütterungsvariante (Kontrolle vs. rohe, gekeimte oder silierte Wicke)	60
Tabelle 29 Unkrautbiomasse [g TM m ⁻²] für die Wicken-Reinsaaten und -Gemenge mit dem Gemengepartner Sommerweizen (<i>Zeitreihenanalyse</i> , P < 0,05)	74
Tabelle 30 Unkrautbiomasse [g TM m ⁻²] für die Wicken-Reinsaaten und -Gemenge mit dem Gemengepartner Sommertriticale (<i>Zeitreihenanalyse</i> , P < 0,05)	76
Tabelle 31 Aufgenommene Stickstoffmenge in der Unkrautbiomasse [g N TM m ⁻²] für die Wicken-Reinsaaten und -Gemenge mit dem Gemengepartner Sommerweizen (<i>Zeitreihenanalyse</i> , P < 0,05).....	79
Tabelle 32 Aufgenommene Stickstoffmenge in der Unkrautbiomasse [g N TM m ⁻²] für die Wicken-Reinsaaten und -Gemenge mit dem Gemengepartner Sommertriticale (<i>Zeitreihenanalyse</i> , P < 0,05).....	81
Tabelle 33 HEB-Indices für die Wicken- Gemenge in den Jahren 2017 bis 2019 mit Sommerweizen (SW), Sommerroggen (SR, Jahr 2017) sowie Sommertriticale (ST, Jahre 2018 und 2019) (P < 0,05)	85
Tabelle 34 Standardisierte <i>praecaecale</i> Verdaulichkeit (SID ± SE) des Rohproteins und der Aminosäuren in rohen, gekeimten und silierten Saatwickenkörnern beim Masthuhn	99
Tabelle 35 <i>In vitro</i> Verschwindensrate und <i>in vitro</i> Verdaulichkeitskoeffizienten des Rohproteins in rohen, gekeimten und silierten Saatwickenkörnern bei 21 und 42 Tage alten Masthühnern (nach Witten & Aulrich (in Begutachtung 2021)).....	100

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Lufttemperatur (Monatsmittel in °C) und Niederschlag (Monatssumme in mm) in den Versuchsjahren 2017 bis 2019 der DWD-Wetterstation Lübeck (DWD, 2019)	22
Abbildung 2 Verbrauchte Menge von rohen, gekeimten und silierten Wicken im Fütterungsversuch mit Masthühnern 2017, anteilig am Gesamtfutterverbrauch	42
Abbildung 3 Verbrauchte Menge von rohen, gekeimten und silierten Wicken im Fütterungsversuch mit Legehennen, anteilig am Gesamtfutterverbrauch	54
Abbildung 4 Verbrauchte Menge von roher, gekeimter und siliertes Wicke im Fütterungsversuch mit Vormastschweinen, anteilig am Gesamtfutterverbrauch	61
Abbildung 5 Regressionskurven der Gesamtkornerträge sowie der Teilkornerträge der Saatwickensorten und der beiden Gemengepartner im Jahr 2017 ($P < 0,05$). Die Gesamt- und Teilkornerträge für die Sorte Toplesa konnten für die Sommerroggen-Gemenge (rechts) im Jahr 2017 nicht geschätzt werden.	64
Abbildung 6 Regressionskurven der Gesamtkornerträge sowie der Teilkornerträge der Saatwickensorten und der beiden Gemengepartner im Jahr 2018 ($P < 0,05$). Für die Gesamtkornerträge für die Sommerweizen (links)- und für die Sommerroggen-Gemenge (rechts) sowie für die Wickenteilkornerträge in den Sommerroggen-Gemengen (rechts) konnte jeweils eine gemeinsame Regression geschätzt werden.	65
Abbildung 7 Regressionskurven der Gesamtkornerträge sowie der Teilkornerträge der Saatwickensorten und der beiden Gemengepartner im Jahr 2019 ($P < 0,05$).	66
Abbildung 8 Regressionskurven der Gesamtrohproteinträge sowie der Teilrohproteinträge der Saatwickensorten und der beiden Gemengepartner im Jahr 2017 ($P < 0,05$). Die Teilrohproteinträge der Wickensorte Toplesa konnte für die Sommerroggen-Gemenge (rechts) nicht geschätzt werden.	69
Abbildung 9 Regressionskurven der Gesamtrohproteinträge sowie der Teilrohproteinträge der Saatwickensorten und der beiden Gemengepartner im Jahr 2018 ($P < 0,05$). Für die Teilrohproteinträge des Sommerweizens (links) konnte eine gemeinsame Regression für alle Gemenge geschätzt werden, die Teilrohproteinträge der Sommertriticale (rechts) im Gemenge mit Slovenia konnten für das Jahr 2018 nicht geschätzt werden.	70
Abbildung 10 Regressionskurven der Gesamtrohproteinträge sowie der Teilrohproteinträge der Saatwickensorten und der beiden Gemengepartner im Jahr 2019 ($P < 0,05$). Die Teilrohproteinträge der Wickensorte Berninova im Gemenge mit Sommertriticale (rechts) konnte für das Jahr 2019 nicht geschätzt werden.	71
Abbildung 11 Rohproteingehalte der Wicken (W), Wicken-Sommerweizen (W/SW)- und Wicken-Sommertriticale (W/ST)-Gemenge in roher, gekeimter und siliertes Form – Mittelwerte der Sorten und Jahre	89
Abbildung 12 Stärkegehalte der Wicken (W), Wicken-Sommerweizen (W/SW)- und Wicken-Sommertriticale (W/ST)-Gemenge in roher, gekeimter und siliertes Form – Mittelwerte der Sorten und Jahre	89
Abbildung 13 Zuckergehalte der Wicken (W), Wicken-Sommerweizen (W/SW)- und Wicken-Sommertriticale (W/ST)-Gemenge in roher, gekeimter und siliertes Form – Mittelwerte der Sorten und Jahre	90
Abbildung 14 Rohfasergehalte der Wicken (W), Wicken-Sommerweizen (W/SW)- und Wicken-Sommertriticale (W/ST)-Gemenge in roher, gekeimter und siliertes Form – Mittelwerte der Sorten und Jahre	91
Abbildung 15 Vicingehalte der Wicken (W), Wicken-Sommerweizen (W/SW)- und Wicken-Sommertriticale (W/ST)-Gemenge in roher, gekeimter und siliertes Form – Mittelwerte der Sorten und Jahre	93

Abbildung 16 γ -Glutamyl- β -Cyanoalaningehalte der Wicken (W), Wicken-Sommerweizen (W/SW)- und Wicken-Sommertriticale (W/ST)-Gemenge in roher, gekeimter und silierter Form – Mittelwerte der Sorten und Jahre.....	94
Abbildung 17 β -Cyanoalaningehalte der Wicken (W), Wicken-Sommerweizen (W/SW)- und Wicken-Sommertriticale (W/ST)-Gemenge in roher, gekeimter und silierter Form – Mittelwerte der Sorten und Jahre.	95

Abkürzungsverzeichnis

ANF	antinutritive Faktoren
AID	scheinbare <i>praecaecale</i> Verdaulichkeit
AS	Aminosäure
BCA	β -Cyanoalanin
dt	Dezitonne
GCA	γ -Glutamyl- β -Cyanoalanin
GP	Getreidepartner
ha	Hektar
kfK	keimfähige Körner
LM	Lebendmasse
LW	Lebenswoche
ME	Umsetzbare Energie
N	Stickstoff
SID	standardisierte <i>praecaecale</i> Verdaulichkeit
SR	Sommerroggen
ST	Sommertriticale
SW	Sommerweizen
SWS	Saatwickensorte
SSV	Saatstärkenverhältnis
TGZ	Tageszunahmen
TM	Trockenmasse
TKG	Tausendkorngewicht
XP	Rohprotein

1 Einführung

Das Ziel des Projekts war es, durch eine Behandlung die Einsatzmöglichkeiten von Körnern der Saatwicke (*Vicia sativa* L.) in der ökologischen Fütterung von monogastrischen Nutztieren zu verbessern. Da die Saatwicke eine in Deutschland gut unter ökologischen Bedingungen zu kultivierende Körnerleguminose ist, soll ihr verstärkter Einsatz in der Fütterung zur regionalen Eiweißversorgung von ökologisch gehaltenen Nutztieren beitragen. Die Erwartung der Verbesserung der Einsatzmöglichkeiten durch die Behandlungen Keimung bzw. Silierung basiert auf der Annahme, dadurch die Verdaulichkeit verbessern und den Gehalt an antinutritiven Inhaltsstoffen (ANF) reduzieren zu können.

1.1 Gegenstand des Vorhabens

... waren Anbau-, Fütterungs-, Verdaulichkeits- und Behandlungsversuche sowie die Analyse der Inhaltsstoffe von Saatwickenkörnern. Mehrjährige Anbauversuche mit verschiedenen Saatwickensorten und Gemengepartnern, Fütterungsversuche mit Masthühnern, Legehennen und Vormastschweinen, Verdaulichkeitsversuche mit Masthühnern und Mastschweinen, Keimungs- und Silierversuche sowie die Analyse sämtlicher anfallenden Proben auf ihre wertgebenden und antinutritiven Inhaltsstoffe sollten eine umfassende Bewertung der Einsatzmöglichkeiten von Saatwickenkörnern und der Wirkung der Behandlungen erlauben.

1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts, Bezug des Vorhabens zu den einschlägigen Zielen des BÖLN oder zu konkreten Bekanntmachungen und Ausschreibungen

Ziel der Bekanntmachung Nr. 07/15/31 über die Durchführung von FuE-Vorhaben zur Förderung der nachhaltigen und einheimischen Eiweißversorgung in der Monogastrierernährung im Rahmen des BÖLN vom 27.03.2015 war es, den Proteinbedarf in der Ernährung ökologisch und nachhaltig gehaltenen Monogastrier unter dem Gesichtspunkt regionaler Kreislaufkonzepte zu decken. Das hiermit abgeschlossene Projekt bezieht sich mit seinem Ziel, mit Hilfe der Behandlungsverfahren Keimung bzw. Silierung die eiweißreichen Körner der Saatwicke zu einem hochwertigen Futtermittel für Monogastrier im ökologischen Landbau zu veredeln, unmittelbar auf Förderschwerpunkt 1.1, „Entwicklung von Verfahren zur Verbesserung der Aminosäureverdaulichkeit aus vorhandenen Proteinfuttermitteln durch geeignete Behandlung oder Bearbeitung“. Der in der Bekanntmachung Nr. 07/15/31 genannte Aspekt der Schließung regionaler Kreislaufkonzepte wurde durch umfassende Parzellenversuche zum Anbau von Saatwicken unterschiedlicher Sorten im Gemenge mit Sommerweizen und Sommertriticale bearbeitet.

Arbeitspaket 1 (Fütterungsversuche) lag in der Projektverantwortung der Arbeitsgruppe Huhn & Schwein am Thünen-Institut für Ökologischen Landbau in Trenthorst und umfasste folgende Teil-Arbeitspakete:

AP 1.1. Fütterungsversuche mit Masthühnern

AP 1.2 Fütterungsversuch mit Legehennen

AP 1.3 Fütterungsversuch mit Vormastschweinen

Die damit zu beantwortenden Forschungsfragen lauteten:

1. Welchen Effekt hat der Einsatz von rohen und unterschiedlich behandelten Saatwickenkörnern der Sorte Slovena auf die tierischen Leistungen von Masthühnern, Legehennen und Vormastschweinen?
2. Unterscheidet sich der Effekt der Keimung von dem der Silierung hinsichtlich der tierischen Leistungen?
3. Führen unterschiedliche Rationsanteile von behandelten Saatwickenkörnern zu unterschiedlichen tierischen Leistungen beim Masthuhn? (nur eine Behandlungsvariante)

Innerhalb von Arbeitspaket 2 (Anbau- und Behandlungsversuche) übernahm die Arbeitsgruppe Acker- und Futterbau des Thünen-Instituts für Ökologischen Landbau in Trenthorst das Teil-Arbeitspaket 2.1 (Parzellenversuche) mit folgenden Forschungsfragen:

4. Welchen Effekt haben die Gemengepartner Sommerweizen und Sommerroggen bzw. Sommertriticale auf die Ertragsleistung und die Ertragsanteile von ausgewählten Saatwickensorten?
5. Welche Saatwickenanteile in der Aussaatmischung des Gemenges ermöglichen einen sicheren Mähdrusch hinsichtlich der Bestandeshöhe zur Ernte und zeigen eine geringe Verunkrautung mit niedrigem Stickstoffentzug durch die Unkrautbiomasse mit möglichst hohen Saatwickenerträgen?
6. Mit welchen Gemengevarianten lassen sich die höchsten Gesamtkorn- und Gesamtrohproteinträge pro Hektar erzielen?

In Teil-Arbeitspaket 2.2 (Keimungs- und Silierversuche) wurde von der Arbeitsgruppe Huhn & Schwein Probenmaterial für Teil-Arbeitspaket 3.1 erzeugt.

Innerhalb von Arbeitspaket 3 (Futtermittelbewertung) oblag der Arbeitsgruppe Produktqualität des Thünen-Instituts für Ökologischen Landbau in Trenthorst das Teil-Arbeitspaket 3.1 (Analyse der Inhaltsstoffe) und die Beantwortung folgender Forschungsfragen:

7. Welchen Effekt hat die unterschiedliche Behandlung auf die Inhaltsstoffe (Rohnährstoffe, Aminosäuren und ANF) von Saatwickenkörnern der Sorte Slovena?

8. Bestehen Sortenunterschiede und Wechselwirkungen zwischen Saatwickensorte und Gemengepartner und der Veränderung der Inhaltsstoffe durch die Behandlung? (Behandlung als Gemenge)
9. Unterscheidet sich der Effekt der Keimung von dem der Silierung hinsichtlich der Veränderung der Inhaltsstoffe?

Das Teil-Arbeitspaket 3.2 (Bestimmung der *praecaecalen* Verdaulichkeit von Saatwickenkörnern der Sorte Slovena beim Mastschwein, *in vivo*) wurde im Rahmen eines Teilprojekts (FKZ 2815OE106) am Institut für Tierernährung des Friedrich-Loeffler-Instituts in Braunschweig bearbeitet, um die folgenden Forschungsfragen zu beantworten:

10. Wie hoch ist die *in vivo* Verdaulichkeit der Rohnährstoffe, der Aminosäuren und des Phosphors in rohen und unterschiedlich behandelten Saatwickenkörnern der Sorte Slovena?
11. Welchen Effekt hat die Behandlung auf die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe, Aminosäuren und des Phosphors?

Das Teil-Arbeitspaket 3.3 (Bestimmung der *praecaecalen* Verdaulichkeit von Saatwickenkörnern der Sorte Slovena beim Masthuhn, *in vivo*) wurde im Rahmen eines Unterauftrages zu Projekt FKZ 2815OE038 von der Universität Hohenheim, FG Populationsgenomik bei Nutztieren, Institut für Nutztierwissenschaften übernommen, um folgende Forschungsfragen zu beantworten:

12. Wie hoch ist die *in vivo* Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren in rohen und unterschiedlich behandelten Saatwickenkörnern der Sorte Slovena?
13. Welchen Effekt hat die Behandlung auf die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe und der Aminosäuren?

Das Teil-Arbeitspaket 3.4 (Bestimmung der *in vitro* Verdaulichkeit von Saatwickenkörnern der Sorte Slovena beim Masthuhn) lag in der Projektverantwortung der Arbeitsgruppe Produktqualität des Thünen-Instituts für Ökologischen Landbau in Trenthorst und sollte folgende Forschungsfrage beantwortet werden:

14. Wie hoch ist die *in vitro* Verdaulichkeit des Rohproteins in rohen und unterschiedlich behandelten Saatwickenkörnern der Sorte Slovena?

1.3 Planung und Ablauf des Projektes

Die diesem Bericht zugrundeliegende Projektdauer betrug 58 Monate (1.3.2017 bis 31.12.2021). Der Projektablauf ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1 Überblick über den Projektablauf

Zeitraum	Arbeitspaket	Beschreibung	Forschungsfrage	Status
04/17-09/18	1.1	Fütterungsversuche Masthühner	1, 2, 3	erfüllt
08/17-08/19	1.2	Fütterungsversuch Legehennen	1, 2	erfüllt
10/17-04/19	1.3	Fütterungsversuch Vormastschweine	1, 2	erfüllt
	2.1	Parzellenversuche	4, 5, 6	erfüllt
02/19-11/20	2.2	Keimungs- und Silierversuch	7, 8, 9	erfüllt
04/17-11/21	3.1	Analyse der Inhaltsstoffe	7, 8, 9	erfüllt
01/17-02/18	3.2	<i>In vivo</i> Verdaulichkeit Mastschwein	10, 11	erfüllt
07/19	3.3	<i>In vivo</i> Verdaulichkeit Masthuhn	12, 13	erfüllt
11/21	3.4	<i>In vitro</i> Verdaulichkeit Masthuhn	14	erfüllt
01/21-12/21	alle	Erstellung des Endberichts		erfüllt

Aufgrund der Elternzeit einer Mitarbeiterin sowie der ab März 2020 durch die Covid-19 Pandemie verzögerten Projektarbeiten wurde das Projektende von ursprünglich 29.02.2020 auf 31.12.2021 verlegt.

2 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Leguminosen bieten eine Vielzahl von Ökosystemleistungen, so erhöhen sie die Biodiversität, lockern die Fruchtfolge auf, fixieren durch die Wurzelrhizobien Luftstickstoff in den Wurzelknöllchen und hinterlassen durch die Wurzelreste einen lockeren und nährstoffreichen Boden für die Nachfrucht (Döring 2015, Nemecek et al. 2008). Somit sind sie wichtiger Bestandteil in Fruchtfolgen des Ökologischen Landbaus, wobei insbesondere die Körnerleguminosen die Basis der Eiweißversorgung der Monogastrier darstellen.

Neben den bekannten Körnerleguminosen Ackerbohne (*Vicia faba* L.), Futtererbse (*Pisum sativum* L.) und den Lupinenarten (*Lupinus* spp.), ist die Saatwicke (*Vicia sativa* L.) eine interessante Alternative. Sie weist geringe Ansprüche an ihre Umwelt auf, wächst auf sauren Böden bis zu einem pH-Wert von 4,5 und ist an trockene Klimate gut angepasst (Böhm und Weissmann 2013). Die meist sehr langen Sprossachsen sind jedoch nicht selbsttragend, daher ist, beim Ziel einer Kornnutzung, der Anbau im Gemenge mit einer Stützfrucht notwendig. Der Gemengeanbau ist der gleichzeitige Anbau von zwei oder mehreren Kulturen auf einem Schlag im gleichen zeitlichen Rahmen (Willey 1979, Andrews und Kassam 1976, Ofori und Stern 1987). Der Gemengepartner der Saatwicke soll im Gemenge verschiedene Aufgaben übernehmen. So stützt er das Gemenge, erhöht die Unkrautunterdrückung, wirkt ertragsstabilisierend und gewährleistet eine ausreichende Bestandeshöhe zur Abreife für eine Druschfähigkeit. Eine weitere Voraussetzung für einen erfolgreichen Gemengeanbau ist eine möglichst zeitgleiche Abreife beider Gemengepartner.

Obwohl Saatwicken, im Vergleich zu anderen Leguminosen, eine bessere Unkrautunterdrückung aufweisen (Šarūnaitė et al. 2010), besteht aufgrund des langsamen Wachstums in der juvenilen Entwicklungsphase die Gefahr der Frühverunkrautung. Unkräuter stehen in direkter Konkurrenz zu den Gemengepartnern um Wasser, Licht und Nährstoffe, wie Stickstoff. Versuche von Gronle et al. (2015) mit Erbsen und Hafer zeigten zudem eine Reduzierung der Unkrautbiomasse durch Wurzelausscheidungen des Hafers. Aber auch die Reduzierung des pflanzenverfügbaren Bodenstickstoffs durch den Gemengeanbau mit einem Getreide (Jensen 1996) führt zu einem geringeren Unkrautaufkommen. So zeigten Untersuchungen, dass Gemenge mit Leguminosen einen geringeren Unkrautdruck aufwiesen als die jeweiligen Reinsaaten (Jensen et al. 2005, Corre-Hellou et al. 2011, Gronle et al. 2015). Ebenso wurde nachgewiesen, dass die Unkrautbiomasse von Leguminosen-Reinsaaten während der Hauptwachstumsphase höhere Stickstoffkonzentrationen aufwies als die Gemengevarianten und damit die Unkrautbiomasse in den Reinsaaten oftmals mehr Stickstoff aufgenommen hat als in den Gemengebausystemen (Gronle et al. 2014, Gronle et al. 2015). Diese Ergebnisse weisen auf eine Kulturpflanzen-Unkraut-Konkurrenz um Stickstoff im Hinblick auf die unterschiedliche Unkrautunterdrückungsfähigkeit in Leguminosen-Reinsaaten und im Gemenge hin.

Ein weiterer wesentlicher Faktor für den Anbau von Gemengen zur Kornnutzung ist die Höhe des Bestandes zur Abreife. Der HEB-Index von Sauer mann (2007), der die Standfestigkeit von Erbsen-Rein saaten durch die Bewertung des Zusammensinkens des Bestandes beurteilt, kann auch auf Wicken-Gemenge übertragen werden. Umso niedriger der HEB-Index, umso schlechter trocknet der Bestand ab und umso schwieriger ist der maschinelle Mähdrusch.

Im mediterranen Raum ist der Anbau von Wicken in Reinsaat oder auch im Gemenge mit Getreide (z.B. Hafer, Triticale) bekannt. Hier steht allerdings die Nutzung als Ganzpflanzensilage oder Heu im Fokus. Dabei zeigten Gemengeanbauversuche, dass dem Saatstärkenverhältnis von Saatwicke und Getreidepartner eine wichtige Rolle hinsichtlich des Ertrags als auch der Futterqualität zukommt. So konnte Erol et al. (2009) zeigen, dass ein Verhältnis von 45 %:55 % von Hafer und Saatwicke die höchsten Erträge bei guter Futterqualität (Rohproteingehalt) erbrachten.

Die in den Körnerleguminosen ubiquitär anzutreffenden antinutritiven Inhaltsstoffe konnten in einzelnen Arten, z.B. den Körnererbsen und Ackerbohnen, durch züchterische Bearbeitung bereits soweit reduziert werden, dass eine Verfütterung an Monogastrier auch in höheren Rationsanteilen problemlos möglich ist. Eine, auf die Verfütterung an Monogastrier ausgerichtete, züchterische Bearbeitung der Saatwicke hat in Deutschland bisher allerdings nicht stattgefunden, während global betrachtet vereinzelt Bemühungen unternommen wurden (Firincioğlu et al. 2007, Chowdhury et al. 2001).

Saatwicken enthalten durchweg höhere Rohproteingehalte als Körnererbsen und Ackerbohnen (Ott et al. 2005, Böhm 2013), wodurch bei vergleichbaren Hektarerträgen auch die Rohprotein erträge je Flächeneinheit über dem Niveau von Körnererbsen liegen (Böhm 2015). In mehrjährigen Anbauversuchen am Thünen-Institut für Ökologischen Landbau zeigte sich unter norddeutschen Standortbedingungen und praxisüblichem Anbau im Gemenge mit der Stützfrucht Hafer überdies eine bessere Ertragsstabilität im Vergleich zu Körnererbsen (Böhm 2015). Eine Studie von Jensen et al. (2005) zeigte darüber hinaus, dass durch die interspezifische Konkurrenz der Gemengeanbau von Leguminosen zu einer durchschnittlich 10 % höheren N-Fixierleistung führte und der Gemengepartner (Hafer) mehr Bodenn stickstoff aufnehmen konnte. Über Unterschiede zwischen verschiedenen Wickensorten (Ott et al. 2005) und Gemengen mit verschiedenen Partnern ist allerdings wenig bekannt.

Rohe Saatwickenkörner werden in der europäischen Monogastrierfütterung praktisch nicht eingesetzt, weil sie zahlreiche antinutritive Faktoren (ANF) enthalten. Als wichtigste Substanzgruppen sind hier die Pyrimidinglycoside, die Cyanoalanintoxine und die Tannine zu nennen (Enneking und Wink 2000). Die Pyrimidinglycoside Vicin und Convicin sind in der Gattung der Wicken (*Vicia*) weit verbreitet, und führen zu Leistungsdepressionen sowie morphophysiologicalen und histologischen Veränderungen der

Darmwand und verschiedener innerer Organe (Abel et al. 2002). Besonders hohe Vicin- und Convicin-gehalte sind in den häufig als Futtermittel eingesetzten Ackerbohnen (*Vicia faba*) anzutreffen (Enneking 1994). Ackerbohnen Sorten mit reduzierten Gehalten an Vicin und Convicin haben sich hier bereits als gute Möglichkeit zur Verbesserung des Einsatzes in der Hühnerfütterung erwiesen (Abel und Gerken 2004). Für Saatwicken ist keine diesbezügliche züchterische Bearbeitung bekannt. Bei den Cyanoalanintoxinen handelt es sich um nicht-proteinogene Aminosäuren. In Saatwicken vorhanden sind sowohl das Dipeptid γ -Glutamyl- β -Cyanoalanin, als auch β -Cyanoalanin. Die Cyanoalanintoxine wirken durch die Freisetzung von HCN (Blausäure) neurotoxisch im tierischen Organismus (Enneking 1994). Sie sind in Saatwicken, aber nicht in Ackerbohnen enthalten, und eine auf eine Reduzierung der Cyanoalanintoxine ausgerichtete züchterische Bearbeitung ist nur von der australischen Saatwickensorte Morava bekannt (Collins et al. 2002). Tannine wiederum interagieren mit Proteinen und setzen dadurch u.a. die Proteinverdaulichkeit beim Monogastrier herab, wie u.a. von Jansmann et al. (1993) für Ackerbohnen beschrieben.

In der Literatur zur Nutzung von Saatwickenkörnern als Futtermittel finden sich aufgrund der enthaltenen ANF zahlreiche Berichte zu negativen Folgen der Verfütterung in roher Form. In Rationen für Masthühner zeigten sich bei Mischungsanteilen von 10 % noch keine negativen Effekte (Darre et al. 1998), 30 % rohe Saatwickenkörner führten hingegen zu 100 %iger Mortalität (Harper und Arcsott 1962), ebenso wie ein extrem hoher Rationsanteil von 60 % (Farran et al. 2001). Die Studien von Darre et al. (1998), Saki et al. (2008) und Sadeghi et al. (2011) kommen übereinstimmend zur Empfehlung, in Rationen für Masthühner höchstens 10 % rohe Wicken einzusetzen. Dabei macht einzig Darre et al. (1998) zumindest eine ungefähre Angabe zur eingesetzten Wickensorte („Varieties were thought to be related to Willamette.“ Darre et al. 1998, p. 4675), in allen anderen Arbeiten bleibt die Wickensorte unbekannt. Sortenunterschiede sind daher nicht auszuschließen.

Zur Verfütterung von rohen Saatwickenkörnern an Legehennen existieren ebenfalls Berichte, die darin übereinstimmen, dass nur geringe Rationsanteile roher Wicken ohne negative Effekte auf die Leistung und Gesundheit von Legehennen eingesetzt werden können. Konkret nennen Farran et al. (1995) 15 % als Einsatzgrenze, während Fernández-Figares et al. (1995) schon bei 10 % rohen Wicken in der Ration negative Effekte auf Futtermittelaufnahme und Legeleistung fanden. Kaya et al. (2011) beobachteten bei einem Mischungsanteil von 25 % krankhafte Veränderungen der Leber. Extrem hohe, nicht praxisrelevante Rationsanteile von 60 % rohen Wicken führten bei Legehennen zu einem kompletten Stop der Eiproduktion und einer drastischen Reduktion der Futtermittelaufnahme (Farran et al. 2001).

Schweine reagieren, der Literatur zufolge, weniger sensibel auf die in den Saatwickenkörnern enthaltenen ANF, so empfiehlt etwa Gómez (1983) einen Höchstanteil von 20 % rohen Saatwickenkörnern in

Rationen für Mastschweine nicht zu überschreiten. Bei Einsatz von rohen Wicken im kompletten Austausch für Sojaextraktionsschrot fanden Teixeira et al. (1996) keine negativen Effekte auf die Mastleistung von Mastschweinen. In einem Versuch mit der auf verringerten Gehalt an Cyanoalanintoxinen selektierten australischen Sorte Morava zeigten sich sogar bei 22,5 % Mischungsanteil keine negativen Effekte auf die Leistungsparameter von Mastschweinen (Collins et al. 2002). Damit übereinstimmend fanden Seabra et al. (2001) keine negativen Effekte auf die Futteraufnahme von Ferkeln nach dem Absetzen, wenn deren Ration 25 % rohe Saatwickenkörner einer unbekanntes Sorte enthielt.

Hinsichtlich der Behandlung von Wicken vor der Verfütterung gibt es sowohl Berichte aus der Masthühner- wie auch der Legehennenfütterung. So erreichten Harper und Arscott (1962) bei Masthühnern ein ähnliches Wachstum wie in der Kontrolle, wenn die Saatwickenkörner vor der Verfütterung einer Autoklavierung unterzogen wurden. Sadeghi et al. (2011) wiederum dokumentierten bei Fütterung von in 95 °C heißem Wasser gekochten Saatwickenkörnern eine Erhöhung der Futteraufnahme von Masthühnern. Darre et al. (1998) und Saki et al. (2008) konnten bei Verfütterung von ebenfalls gekochten Saatwickenkörnern an Masthühner den Futteraufwand reduzieren. Auch aus der Humanernährung ist bekannt, dass ANF in Körnerleguminosen erfolgreich durch Kochen reduziert werden können (Finney 1983). Damit übereinstimmend konnten Darre et al. (1998) mit einer Kombination aus mehrstündigem Kochen und mehrmaligem Austausch des Kochwassers den β -Cyanoalanin-Gehalt unter die Nachweisgrenze senken. Und während die Pyrimidinglucoside weder durch schälen noch durch trockene Hitze reduziert werden können (Halle 2006), erzielten Hussein et al. (1986) durch eine Kombination aus Einweichen und Kochen eine Reduktion um etwa 50 %. Für Legehennen berichten Farran et al. (1995) von eingeweichten, autoklavierten und nach dem Einweichen autoklavierten Wicken, Farran et al. (2001) von in Wasser und 1 %iger Essigsäure eingeweichten Wicken, und Kaya et al. (2011) vom Einsatz eingeweichter und nach dem Einweichen gekochter Wicken. Gemeinsam ist diesen Berichten die Anwendung eines Einweichens in Wasser, welches in allen getesteten Varianten zu einer Verbesserung des Futtermittelsverbrauchs und der Legeleistung im Vergleich zu Rationen mit rohen Wicken führte, bei Rationsanteilen von 25 (Farran et al. 1995, Kaya et al. 2011) bzw. 60 % (Farran et al. 2011).

Die Verfütterung von gekeimten Sämereien zu Futterzwecken ist ein altes Verfahren, das vor der Entwicklung von synthetischen Vitaminen vor allem zur Verbesserung der Versorgung von Hühnern während des Winters eingesetzt wurde. Seit einigen Jahren ist das Interesse daran wieder neu erwacht. Um dem wachsenden Keimling die im Samenkorn gespeicherten Nährstoffe verfügbar zu machen, steigt während der Keimung die Aminosäurenverdaulichkeit an, die Phosphorverfügbarkeit wird bes-

ser und antinutritive Inhaltsstoffe werden abgebaut (Finney 1983). Allerdings verbrauchen diese Umsetzungen Energie, wodurch der Energiegehalt der gekeimten Körner sinkt. Die Firma Söllradl GmbH im österreichischen Kremsmünster vertreibt eine Anlage zur Keimung von Sämereien zu Futterzwecken, das sogenannte Keimrad® (www.keimrad.at). In den Kammern des Keimrades werden die Sämereien computergesteuert durchschnittlich vier Tage lang bewässert und bewegt. An Geflügel verfüttert werden die gekeimten Sämereien folgendermaßen: Bis zu Rationsanteilen von 30 % wird das Keimgut mit mehligem, handelsüblichem Futter vermischt und über eine Futterkette verfüttert (Söllradl 2015), welche in der Praxis sowohl für Legehennen als auch für Masthühner weitverbreitet zum Einsatz kommt. Höhere Rationsanteile an Keimgetreide müssen separat über ein Futterband vorgelegt werden, welches für Betriebe eine zusätzliche Investition darstellt. Für den Einsatz von gekeimten Saatwickenkörnern in der Hühnerfütterung existieren also bereits technisch ausgereifte, im Handel frei erhältliche Systeme, und besonders eine Verfütterung über die Futterkette wäre für viele Betriebe ohne größere bauliche Maßnahmen möglich. Für den Einsatz in der Schweinefütterung steht noch kein solches System zur Verfügung.

Zur Keimung von Saatwicken liegt bisher keine Literatur vor, allerdings existieren Belege für eine deutliche Verbesserung des Futterwerts von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.), welche derselben Pflanzengattung angehören: Die Gehalte der ANF Vicin und Convicin wurden durch eine 7-tägige Keimung um 84 bzw. 100 % reduziert (Jamalian 1999). Kondensierte Tannine wurden durch eine 72 stündige Keimung um 60 % reduziert (Alonso et al. 2000). Die Reduktion insbesondere der Tannine wiederum führte ab einer Keimdauer von 48 h zu einer Verbesserung der Aminosäurenverdaulichkeit (Alonso et al. 2000). Eine BÖL-Studie (Projekt Nr. 02OE663) zum Einsatz von gekeimtem Weizen in der Geflügelfütterung fand zwar keine positiven Effekte auf die Inhaltsstoffe, sah aber Forschungsbedarf bezüglich der Effekte auf die ANF-Reduktion in Körnerleguminosen (Fölsch et al. 2004).

Für die Silierung der Körner großsamiger Leguminosen im Labormaßstab existiert eine erprobte Methode (Hoedtke und Zeyner 2011), die auch bereits erfolgreich mit Saatwickenkörnern getestet wurde (Marquardt et al. 2008). Wie jede Silierung basiert die Methode auf der luftdichten Verpackung von verdichtetem Erntegut. Für die aufgrund ihres hohen Rohproteingehalts schwer silierbaren Leguminosenkörner hat sich laut Hoedtke und Zeyner (2011) die Zugabe eines Silierhilfsmittels aus Milchsäurebakterien bewährt, welches für eine sichere und rasche Ansäuerung der grob geschroteten Körner sorgt.

Die Konservierung von Raufuttermitteln in Form von Silage ist ein in der landwirtschaftlichen Praxis weitverbreitetes Verfahren. Obwohl es sich bei der Herstellung von Körnersilagen um eine weniger verbreitete Variante handelt, wird die Chance, dass diese Methode auch in der Geflügelproduktion Akzeptanz findet, als sehr hoch eingeschätzt. Für die Silierung von Saatwickenkörnern im größeren und

großen Maßstab stehen grundsätzlich die auch für Maiskornsilage verwendeten Verfahren der Ballensilage, Schlauchsilage und die Konservierung im Fahrsilo zur Verfügung. Regional unterschiedlich werden diese Verfahren auch von Lohnunternehmern angeboten. Für die Vorlage von Körnersilagen an Geflügel existiert keine spezialisierte Technik, eine Einmischung der bröseligen, leicht feuchten Körnersilage in mehliges Futter und dessen Vorlage über Futterketten sollte aber, analog zu gekeimtem Getreide, möglich sein. Im Schweinebereich ist die Verfütterung von silierten Saatwickenkörnern am einfachsten in händischen Trockenfütterungs-Systemen möglich. Ist eine Flüssigfütterung installiert, müsste die Körnersilage separat gefüttert werden, wie dies bereits auf vielen Betrieben mit Kleegras-silage durchgeführt wird.

Während der Effekt der Silierung auf die Gehalte an ANF in Ackerbohnen, Futtererbsen und Lupinen bereits untersucht wurde, liegen zu Saatwicken bisher wenige Erkenntnisse vor. Für die nah verwandten Ackerbohnen konnte ein deutlicher Effekt der Silierung auf die Gehalte an ANF festgestellt werden: So trat etwa eine bis zu 77 %ige Reduktion der kondensierten Tannine und eine nicht signifikante Reduktion von Vicin und Convicin auf (Gefrom et al. 2014). Da die Silierung mit einem Abfall des pH-Wertes einhergeht, kann sie mit einer sauren Hydrolyse verglichen werden, die nach Aussage von Enneking und Wink (2000) ebenso wie die alkalische Hydrolyse zum Abbau der Pyrimidinglycoside und des Cyanoalanintoxins γ -Glutamyl- β -Cyanoalanin in Wicken führt.

Zum Effekt der Silierung von Leguminosenkörnern auf die Aminosäurenverdaulichkeit ist bislang nichts bekannt. Allerdings ist davon auszugehen, dass es - ebenso wie für die Keimung berichtet - durch die Reduktion der ANF zu einer Verbesserung kommt.

3 Material und Methoden

3.1 Fütterungsversuche

Die Fütterungsversuche wurden von 2017-2019 auf dem Versuchsbetrieb des Thünen-Instituts für Ökologischen Landbau in Trenthorst-Wulmenau durchgeführt. In Untersuchungen mit Masthühnern, Legehennen sowie Vormastschweinen erfolgte jeweils der Vergleich von drei verschiedenen Versuchsrationen mit Saatwickenkörnern der Sorte Slovena (kurz. Wicken) und einer Kontrollration ohne Wicken.

Anbau und Behandlung der Saatwickenkörner

Die Saatwickenkörner der Sorte Slovena stammten aus den Ernten der Jahre 2016 und 2017 und wurden auf dem Versuchsbetrieb des Thünen-Instituts im Gemenge mit Hafer angebaut. Die Trennung der beiden Komponenten erfolgte über ein Siebverfahren nach der Ernte. Die rohe Wicke wurde vor der Fütterung in einer Walze gequetscht, um die Samenschale aufzubrechen. Die Keimung der Wicken erfolgte über 4 Tage, bei einer Durchschnittstemperatur von 22,5 °C in einem Keimrad® (Söllradl GmbH, Austria). Die Silierung der Wicken erfolgte nach der Methode von Hoedtke und Zeyner (2011). Die auf 4 mm gemahlene Wicken wurden auf 65 % Trockenmassegehalt rückbefeuchtet und in 2 kg Portionen in Plastikbeutel verpackt. Zusätzlich erfolgte die Zugabe eines Silierhilfsmittels aus homofermentativen Milchsäurebakterien (Biosil®, Dr. Pieper, Germany). Die Plastikbeutel wurden luftdicht verschlossen, sieben Wochen gelagert und zur Kontrolle des Silierfortschritts wöchentlich der pH-Wert gemessen.

3.1.1 Fütterungsversuch Masthühner 2017

Jeder der beiden Fütterungsversuche (2017 und 2018) mit Masthühnern umfasste jeweils 640 Masthühner der Herkunft Hubbard ISA JA 757 (Brütereier Overmeyer, 48496 Hopsten-Halverde). Noch in der Brütereier wurden die Masthühner gegen Marek und Kokzidiose geimpft und als Eintagsküken angeliefert. Die Tiere waren mit je 320 Tieren auf zwei aufeinanderfolgende Mastdurchgänge aufgeteilt. Während der Aufzucht, von der ersten bis zum Ende der vierten Lebenswoche, befanden sich die Masthühner gemeinsam im Feststall mit Zugang zu einem überdachten Außenbereich. Am 29. Lebens- tag, mit Beginn des Fütterungsversuchs, wurden die Tiere zufällig in 16 Kleingruppen á 20 Tieren ein- geteilt, mit nummerierten Fußringen markiert und für die Untersuchung in vier Mobilställe mit je vier Gruppen umgesiedelt. Jedes Abteil (2 m²) war mit Stroh eingestreut sowie mit Sitzstangen, Nip- peltränke, Futtertrog und einer Klappe als Zugang zum Auslauf (4 m² je Tier) ausgestattet. Von Tag 29 bis Tag 49 hatten alle Masthühner von 10:00 Uhr bis zur Dämmerung Zugang zum Auslauf. Ab Tag 50 war der Auslauf für alle Tiere rund um die Uhr zugänglich. Der sechswöchige Fütterungsversuch endete am Tag 71 mit der Schlachtung in einem nahegelegenen Schlachthaus.

Der erste Fütterungsversuch mit Masthühnern wurde 2017 durchgeführt. Die beiden aufeinanderfol- genden Mastdurchgänge starteten am 04. April 2017 und 29. Mai 2017 jeweils mit der Ankunft der Eintagsküken auf dem Versuchsbetrieb des Thünen-Instituts. Während der Aufzucht (Tag 1 bis Tag 28) erhielten alle Tiere dieselbe zugekaufte Futtermischung (192 g XP, 3,2 g Methionin, 12,9 MJ AME_N kg⁻¹ TM; Gut Rosenkrantz BIO-FUTTER GmbH & Co. KG, 24539 Neumünster). Der Ver- suchszeitraum (Tag 29 bis Tag 70) war entsprechend des Nährstoffbedarfs der Tiere in zwei weitere Fütterungsphasen unterteilt: Mastphase 1 (Tag 2 bis Tag 49) und Mastphase 2 (Tag 50 bis Tag 70).

Während des Versuchszeitraums wurden drei Versuchsrationen mit einer Kontrollration verglichen. Die Kontrollration des Fütterungsversuchs mit Masthühnern 2017 bestand aus einer, entsprechend den Fütterungsempfehlungen für langsam wachsende Masthühner von Jeroch et al. (2012) formulier- ten, Futtermischung ohne Wicken sowie aufgrund der nahen Verwandtschaft auch ohne Ackerbohnen (*Vicia faba* L.). Die drei Wicken-Varianten bestanden aus separat vorgelegten rohen, gekeimten oder silierten Wicken im Ausmaß von 15 % der Gesamtfuttermischung, sowie einer auf diese Wickenauf- nahme abgestimmten, *ad libitum* gefütterten ergänzenden Futtermischung (Ergänzer). Die vorgelegte Wickenmenge wurde wöchentlich angepasst. Die Kombination aus Ergänzer und 15 % Wicken ergab dabei eine rechnerische Gesamtration mit gleichem Energie- und Methioningehalt wie in der Kontrolle. Sowohl die Kontrollration als auch der Ergänzer wurden in Form von 3 mm Pellets gefüttert. Im Ver-

gleich zur Kontrollration ersetzten die Wicken die in der Kontrollration verwendeten Körnererbsen sowie einen Teil des Sojakuchens. Die Produktion der Futtermischungen erfolgte in der betriebseigenen Futtermühle, Tabelle 2 zeigt ihre Zusammensetzungen. Jede Fütterungsvariante wurde an insgesamt vier Gruppen á 20 Tiere verfüttert.

Tabelle 2 Zusammensetzung der Kontrollration und des zu den separat gefütterten Wicken vorgelegten Ergänzers im Fütterungsversuch mit Masthühnern 2017

Komponenten, %	Mastphase 1		Mastphase 2	
	Kontrolle	Ergänzer	Kontrolle	Ergänzer
Weizen	31,0	36,5	35,0	41,7
Triticale	13,0	15,3	16,0	18,8
Erbse	20,0	4,7	20,0	4,7
Sojakuchen	18,0	19,4	13,5	14,1
Rapskuchen	7,5	8,8	10,0	11,8
Sonnenblumenkuchen	2,5	2,9	-	-
Weizenkleie	-	3,0	-	2,4
Reiskleber	4,7	5,5	2,5	2,9
Prämix ¹	3,3	3,9	3,0	3,6

¹210 g Ca, 107 g P, 47 g Na, 7 g Mg, 450.000 iE Vit A, 90.000 iE Vit D3, 2.265 mg Vit E, 2500 mg Fe, 3.340 mg Zn, 2.670 mg Mn, 500 mg Cu, 26 mg I, 7 mg Se kg⁻¹

Datenerfassung und Berechnung

Sowohl am Tag der Ankunft auf dem Versuchsbetrieb und danach wöchentlich bis zur Schlachtung wurden alle Tiere einzeln gewogen. Des Weiteren erfolgte die Erfassung der Futteraufnahme auf Gruppenbasis. Die Saatwickenkörner wurden täglich frisch vorgelegt und Futterreste rückgewogen. Die Rückwaage von Ergänzer und Kontrollfutter erfolgte wöchentlich. Die Berechnung der Futterverwertung erfolgte mit Hilfe des Gesamtfutterverbrauchs auf Gruppenbasis und der durchschnittlichen Tageszunahme pro Gruppe. Am Tag 64 wurde eine Tierwohl-Bonitur von 20 Tieren pro Fütterungsvariante durchgeführt. Hierbei wurden das Gefieder, im Hinblick auf Verschmutzungen, und der Kamm auf Verletzungen untersucht und entsprechend der Notenschematas des Welfare Quality® Assessment Protokolls für Geflügel bewertet (Welfare Quality 2009). Eine Bewertung von "0" entsprach keinem Befund, "1" entsprach einer leichten Veränderung, "2" einer starken Veränderung und "3" einer kompletten Verschmutzung.

Am Tag der Schlachtung wurde das Gewicht des warmen Schlachtkörpers dokumentiert. Für die Bestimmung der Schlachtleistung erfolgte nach einer 24 stündigen Kühlung auf 2 °C Kerntemperatur die

Erfassung folgender Parameter: Gewicht des Schlachtkörpers sowie der Teilstücke Brustfilet (*Pectoralis major* und *Pectoralis minor*) und Keule von je 20 Tieren pro Fütterungsvariante. Dieselben Tiere wurden nach dem Welfare Quality Protocol (Welfare Quality 2009) hinsichtlich ihrer Fersenhöckerläsionen, Pododermatitis und Brustblasen bewertet. Bei den Fersenhöckerläsionen und Pododermatitis entsprach eine Bewertung von „0“ keinem Befund, eine „1“ leichten Veränderung und eine „2“ starken Veränderungen. Die Brustblasen wurden mit „ja = vorhanden“ und „nein = nicht vorhanden“ bewertet.

Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte unter Verwendung eines linearen gemischten Modells (PROC GLIMMIX in SAS® 9.4, 2002–2012; SAS Institute inc., Cary, NC, USA). Das Signifikanzniveau lag hierbei bei $\alpha = 0,05$. Das Modell enthielt die fixen Effekte Fütterungsvariante, Lebenswoche, Geschlecht und Mastdurchgang sowie die Interaktionen Fütterungsvariante*Lebenswoche und Fütterungsvariante*Geschlecht. Die Gruppe, genestet innerhalb der Fütterungsvariante und des Mastdurchgangs, wurde als zufälliger Effekt eingefügt.

3.1.2 Fütterungsversuch Masthühner 2018

Der zweite Fütterungsversuch mit Masthühnern wurde 2018 durchgeführt. Mit der Ankunft der Eintagsküken am 09. April und 25. Juni 2018 auf dem Versuchsbetrieb des Thünen-Instituts starteten zwei aufeinanderfolgende Mastdurchgänge. Alle Tiere erhielten in der ersten Lebenswoche eine nummerierte Flügelmarke. Während der gemeinsamen Aufzucht (Tag 1 bis Tag 28) erhielten alle Tiere dieselbe Futtermischung aus 30 % Weizen, 10 % Triticale, 20 % Erbsen, 30 % Presskuchen, 5,8 % Reiskleber und 4,2 % Prämix, welche 238 g Rohprotein, 3,6 g Methionin und 12,9 MJ AME_N kg⁻¹ TM enthielt. Der danach anschließende Versuchszeitraum war in zwei Phasen unterteilt: Mastphase 1 (Tag 29 bis Tag 49) und Mastphase 2 (Tag 50 bis Tag 70). Basierend auf den Ergebnissen des Fütterungsversuchs von 2017 wurden die Saatwickenkörner der Sorte Slovena (kurz: Wicken) 2018 zu verschiedenen Rationsanteilen in roher Form verfüttert. Während des Versuchszeitraums (Tag 29 bis Tag 70) erfolgte der Vergleich einer Kontrollration ohne Wicke mit drei Versuchsrationen mit Wicken. Wie schon im ersten Fütterungsversuch mit Masthühnern bestand die Kontrollration aus einer bedarfsgerecht formulierten Futtermischung (Jeroch et al., 2012) ohne Wicken und, aufgrund der nahen Verwandtschaft, auch ohne Ackerbohnen (*Vicia faba* L.). Die drei Wicken-Varianten umfassten eine Ration mit 7,5 % Wicken, eine Ration mit 10 % Wicken und eine Ration mit 12,5 % Wicken, die alle mit dem Ziel der gleichen Energie- und Methioningehalten wie in der Kontrollration formuliert wurden. Die gequetschten Wicken waren in den Pellets (3 mm) enthalten, was im Gegensatz zum Fütterungsversuch 2017 eine Selektion der Wicken unmöglich machte. Im Vergleich zur Kontrollration ersetzten die Wicken einen Großteil der, in der Kontrollration verwendeten, Körnererbsen. Die Mischung der Rationen erfolgte in der betriebseigenen Futtermühle. Die Zusammensetzung der Futtermischungen und ihre Nährstoffgehalte sind Tabelle 3 zu entnehmen. Jede Fütterungsvariante wurde in jeder Mobilstalleinheit, also in insgesamt vier Gruppen, vorgelegt.

Tabelle 3 Zusammensetzung der Kontrollration und der Versuchsrationen mit 7,5, 10,0 und 12,5 % Wicken im Fütterungsversuch mit Masthühnern 2018

Komponenten, %	Mastphase 1				Mastphase 2			
	Kontrolle	Anteil Wicke, %			Kontrolle	Anteil Wicke, %		
		7,5	10,0	12,5		7,5	10,0	12,5
Weizen	43,0	48,7	49,7	48,5	48,0	57,2	56,9	55,6
Saatwickenkörner	-	7,5	10,0	12,5	-	7,5	10,0	12,5
Erbsen	18,0	4,0	-	-	19,3	-	-	-
Sojakuchen	18,0	17,0	17,0	15,5	13,5	13,0	12,1	10,0
Rapskuchen	7,5	7,5	7,0	6,5	7,5	7,0	6,0	6,6
Sonnenblumenkuchen	2,5	2,5	2,5	3,0	2,5	2,0	2,0	2,0
Weizenkleie	2,6	4,0	5,0	5,0	2,7	6,0	5,0	5,0
Reiskleber	5,1	5,5	5,5	5,7	3,4	4,3	4,9	5,2
Prämix ¹	3,3	3,3	3,4	3,3	3,1	3,0	3,1	3,1

¹210 g Ca, 107 g P, 47 g Na, 7 g Mg, 450.000 iE Vit A, 90.000 iE Vit D3, 2.265 mg Vit E, 2500 mg Fe, 3.340 mg Zn, 2.670 mg Mn, 500 mg Cu, 26 mg I, 7 mg Se kg⁻¹

Datenerfassung und Berechnung

Die Datenerhebung sowie die Berechnung verschiedener Parameter entsprachen demselben Vorgehen wie im Fütterungsversuch 2017.

Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgt ebenfalls nach dem gleichen Verfahren wie im Fütterungsversuch von 2017.

3.1.3 Fütterungsversuch Legehennen

Die Untersuchung mit Legehennen umfasste zwei Durchgänge, die 2017 (30.8.-19.12.) und 2019 (17.4.-07.8.) durchgeführt wurden. Jeder der beiden Fütterungsversuche inkludierte 152 Hennen vom Genotyp Lohmann Braun plus (Geflügelhof Südbrock, 33378 Rheda-Wiedenbrück). Nach der Ankunft der Hennen in deren 18. Lebenswoche auf dem Versuchsbetrieb des Thünen-Instituts erfolgte eine zweiwöchige Adaptationsphase an die neue Umwelt. Im ersten Durchgang (2017) verbrachten die Hennen diese Phase bereits in den Mobilställen. Im zweiten Durchgang (2019) erfolgte die Adaptationsphase im Feststall mit Zugang zu einem Wintergarten. Mit Beginn des Fütterungsversuchs in der 20. Lebenswoche wurden die Hennen zufällig in acht Kleingruppen á 19 Hennen eingeteilt, mit farbigen, nummerierten Fußringen markiert und auf vier Mobilställe mit je zwei Gruppen aufgeteilt. Jede Bucht (4 m²) war mit Sitzstangen, einem Gruppennest, einem Pickblock, Grit, Nippeltränke sowie einer Klappe mit Zugang zum Auslauf (4 m² pro Henne) ausgestattet. Das Lichtprogramm beinhaltete in der 20. Lebenswoche 14 h Licht, in der 21. Lebenswoche eine Beleuchtungszeit von 15 h und ab der 22. Lebenswoche 16 h Licht.

Während des Fütterungsversuchs (Lebenswoche 20-36) wurden folgende Rationen miteinander verglichen: Drei Wicken-Varianten, die aus separat vorgelegten rohen, gekeimten oder silierten Saatwickenkörnern der Sorte Slovena (kurz: Wicken) im Ausmaß von 15 % der Gesamtfutteraufnahme sowie einem auf diese Wickenaufnahme abgestimmtem, *ad libitum* gefüttertem, ergänzendem Legehennenfutter (3 mm Pellets) bestanden. Die vorgelegte Wickenmenge wurden wöchentlich angepasst. Die Kombination aus Ergänzer und 15 % Wicken ergab dabei eine rechnerische Gesamtration mit gleichem Energie- und Methioningehalt wie in der Kontrolle. Tabelle 4 zeigt die Zusammensetzung der Kontrollration und des Ergänzers.

Tabelle 4 Zusammensetzung der Kontrollration und des zu den separat gefütterten Wicken vorgelegten Ergänzers im Fütterungsversuch mit Legehennen

Komponenten, %	Kontrolle	Ergänzer
Weizen	33,6	31,1
Triticale	6,0	6,0
Erbse	9,5	-
Presskuchen	27,0	24,0
Reiskleber	7,0	7,0
Luzernegrünmehl	6,0	6,0
Prämix ¹	5,2	5,2
Kalkgrit ²	5,7	5,7

¹245 g Ca, 110 g P, 75 g Na, 15 g Mg, 500.000 iE Vit A, 150.000 iE Vit D3, 2.500 mg Vit E, 1.500 mg Fe, 3.500 mg Zn, 5.000 mg Mn, 600 mg Cu, 25 mg I, 25 mg Se kg⁻¹, ²360 g Ca kg⁻¹

Datenerfassung und Berechnung

Die Wicken wurden täglich frisch vorgelegt und Futterreste rückgewogen. Die Erfassung des Verbrauchs vom Ergänzter und Kontrollfutter erfolgte wöchentlich. Zusammen mit der täglich erfassten Legeleistung wurde aus dem gesamten Futterverbrauch der Futteraufwand (kg Futter kg^{-1} Eimasse) berechnet. Die Entwicklung der Lebendmasse wurde monatlich tierindividuell dokumentiert. Gleichzeitig erfolgte die Beurteilung von Schnabel, Kamm, Gefiederzustand, Brustbein, Kloake und der Fußballen nach dem Bewertungsschema des MTool© für Legehennen (Keppler 2017). Eine Bewertung von „0“ entsprach keinem Befund, „1“ entsprach leichten Veränderungen und „2“ größeren Veränderungen/Schäden. Einmal wöchentlich wurde das Tagesgelege gewogen und die Größenverteilung (S, M, L, XL) erfasst. In Lebenswoche 24, 28, 32 und 36 wurden von jeder Größe (S, M, L, XL) vier Eier im Labor untersucht und das Gewicht des gesamten Eis sowie von Schale, Eiklar und Eidotter dokumentiert. Die Dotterfarbe wurde mithilfe eines DSM Farbfächers (DSM YolkFan™, Basel, Schweiz) mit einer Skala von 1-15 erfasst. Über die Projektarbeit hinaus wurden im Rahmen einer Masterarbeit (Pluschke 2020) noch ein Novel Object Test durchgeführt sowie die Schlachtkörpergewichte der Hennen erhoben und der Zustand ihrer Leber beurteilt, für Details sei auf diese Arbeit verwiesen.

Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte unter Verwendung eines linearen gemischten Modells (PROC GLIMMIX in SAS® 9.4, 2002–2012; SAS Institute inc., Cary, NC, USA). Das Signifikanzniveau lag hierbei bei $\alpha = 0,05$. Das Modell enthielt die fixen Effekte Fütterungsvariante, Lebenswoche und Durchgang sowie die Interaktionen Fütterungsvariante*Lebenswoche und Fütterungsvariante*Durchgang. Die Auswertung erfolgt nach dem stepwise backward Prinzip, nicht signifikante Interaktionen wurden demnach aus dem Modell genommen. Die Gruppe, genestet innerhalb der Fütterungsvariante und des Durchgangs, wurde als zufälliger Effekt eingefügt. Die Auswertung der Tierwohlparameter bzw. deren Bewertung erfolgte über eine Häufigkeitsverteilung und anschließender Signifikanzprüfung unter Verwendung eines linearen gemischten Modells (PROC GLIMMIX). Das Modell enthielt die fixen Effekte Fütterungsvariante, Lebenswoche und Durchgang.

3.1.4 Fütterungsversuch Vormastschweine

Der Fütterungsversuch mit Vormastschweinen wurde von 2017-2019 in drei Durchgängen á 80 Tieren und somit insgesamt 240 Tieren durchgeführt. Zu Versuchsbeginn wurden die etwa 28 kg schweren Ferkel jeweils in Abhängigkeit von Geschlecht, Wurfzugehörigkeit und Lebendmasse in acht Gruppen á 10 Ferkel aufgeteilt. Während des Versuchszeitraums (Gewichtsabschnitt 28-50 kg) wurden drei Versuchsrationen mit einer Kontrollration verglichen: Drei Wicken-Varianten, die aus separat vorgelegten rohen, gekeimten oder silierten Saatwickenkörnern im Ausmaß von 15 % der Gesamtfuttermischung sowie einem auf diese Wickenaufnahme abgestimmtem, *semi ad libitum* gefüttertem Ergänzer (6 mm Pellets) bestanden. Die Zusammensetzung der Futtermischungen ist in Tabelle 5 dargestellt. Die Kombination aus Ergänzer und 15 % Wicken ergab eine rechnerische Gesamtration mit gleichem Energie- und Lysingehalt wie die Kontrolle. Die vorgelegte Wickenmenge wurde wöchentlich angepasst. Zusätzlich wurden täglich 5 kg FM Kleegrassilage je Gruppe vorgelegt.

Tabelle 5 Zusammensetzung der Kontrollration und des zu den separat gefütterten Wicken vorgelegten Ergänzers im Fütterungsversuch mit Vormastschweinen

Komponenten, %	Kontrolle	Ergänzer
Triticale	26,0	34,0
Gerste	16,0	21,0
Erbse	20,0	-
Sojakuchen	16,0	18,0
Rapskuchen	10,0	12,0
Weizenkleie	10,0	12,0
Prämix ¹	3,0	4,0

¹210 g Ca, 50 g P, 50 g Na, 183.333 iE Vit A, 57.000 iE D3, 3.500 iE Vit E kg⁻¹

Datenerfassung und Berechnung

Die Datenerhebung erfolgte im Gewichtsabschnitt von durchschnittlich 28-50 kg Lebendmasse und umfasste die tägliche Dokumentation der Futtermittelaufnahme auf Gruppenbasis sowie die wöchentliche, tierindividuelle Erfassung der Lebendmasse.

Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte unter Verwendung eines linearen gemischten Modells (PROC GLIMMIX in SAS® 9.4, 2002–2012; SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Das Signifikanzniveau lag bei $\alpha = 0,05$. Das Modell enthielt die Fütterungsvariante, Lebenswoche und deren Interaktion als fixe Effekte. Die Bucht innerhalb des Durchgangs ging als zufälliger Effekt ins Modell ein.

3.2 Anbau- und Behandlungsversuche

In den Jahren 2017-2020 wurden sowohl dreijährige Parzellenversuche als auch Versuche zur Keimung und Silierung der, aus den Parzellenversuchen gewonnenen, Proben verschiedener Wickensorten und Gemengepartner durchgeführt.

3.2.1 Parzellenversuche

Standort und Witterung

Der Feldversuch wurde am Thünen-Institut für Ökologischen Landbau (Trenthorst) in Schleswig-Holstein (53°46'N, 10°30'E) durchgeführt. Die Versuchsflächen werden seit dem 01.01.2001 nach den EU-Richtlinien des ökologischen Landbaus bewirtschaftet und zeichnen sich vorherrschend durch den Bodentyp Parabraunerde mit stellenweiser Pseudovergleyung und einer Bodenwertzahl von 50 Bodenpunkten sowie der Bodenart sandiger Lehm aus. Bodenchemische Kenndaten sowie Einordnung in Gehaltsklassen A - E nach Richtwerten der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Stand Februar 2018) sind in Tabelle 6 aufgeführt (LWK Niedersachsen 2018).

Tabelle 6 Bodenchemische Kennwerte der Versuchsflächen im Oberboden (0-30 cm) sowie Einordnung in die Gehaltsklassen A - E nach Richtwerten der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Stand Januar 2018, LWK Niedersachsen 2018)

	Parameter	pH-Wert	P [mg/100g]	K [mg/100g]	Mg [mg/100g]	C _{total} [%]	N _{total} [%]
2017		6,7	3,9	6,7	8,7	1,23	0,12
	Gehaltsklasse	C	B	B	C	-	-
2018		6,8	6,3	6,5	8,2	1,34	0,15
	Gehaltsklasse	C	C	B	C	-	-
2019		7,0	6,6	9,7	12,5	1,36	0,12
	Gehaltsklasse	C	C	B	D	-	-

Die Feldversuche wurden in der Betriebsfruchtfolge nach Winter- bzw. Sommerweizen und vor Triticale in einem Schlag mit einem Ackerbohnen-Hafer-Gemenge angebaut. Die Betriebsfruchtfolge umfasst folgende Fruchtarten: Klee gras – Klee gras – Mais – Weizen – Ackerbohnen-Hafer-Gemenge – Triticale.

Die Witterung war in den drei Versuchsjahren sehr unterschiedlich (Abbildung 1), mit zum Teil deutlicher Abweichung vom langjährigen Mittel (1986–2015), das für die mittlere Jahrestemperatur 9,0 °C

und für den Jahresniederschlag 698 mm beträgt. Somit war es in allen drei Versuchsjahren mit 9,7 °C (2017) und 10,3 °C (2018 und 2019) im Vergleich zum langjährigen Mittel deutlich wärmer. Die Jahresniederschläge variierten ebenfalls sehr stark. Das Jahr 2018 war mit einer Niederschlagssumme von 468 mm am trockensten, während das Jahr 2017 mit 861 mm sehr nass war. Im Versuchsjahr 2019 lag die Niederschlagssumme mit 633 mm auf vergleichbarem Niveau wie das langjährige Mittel (696 mm).

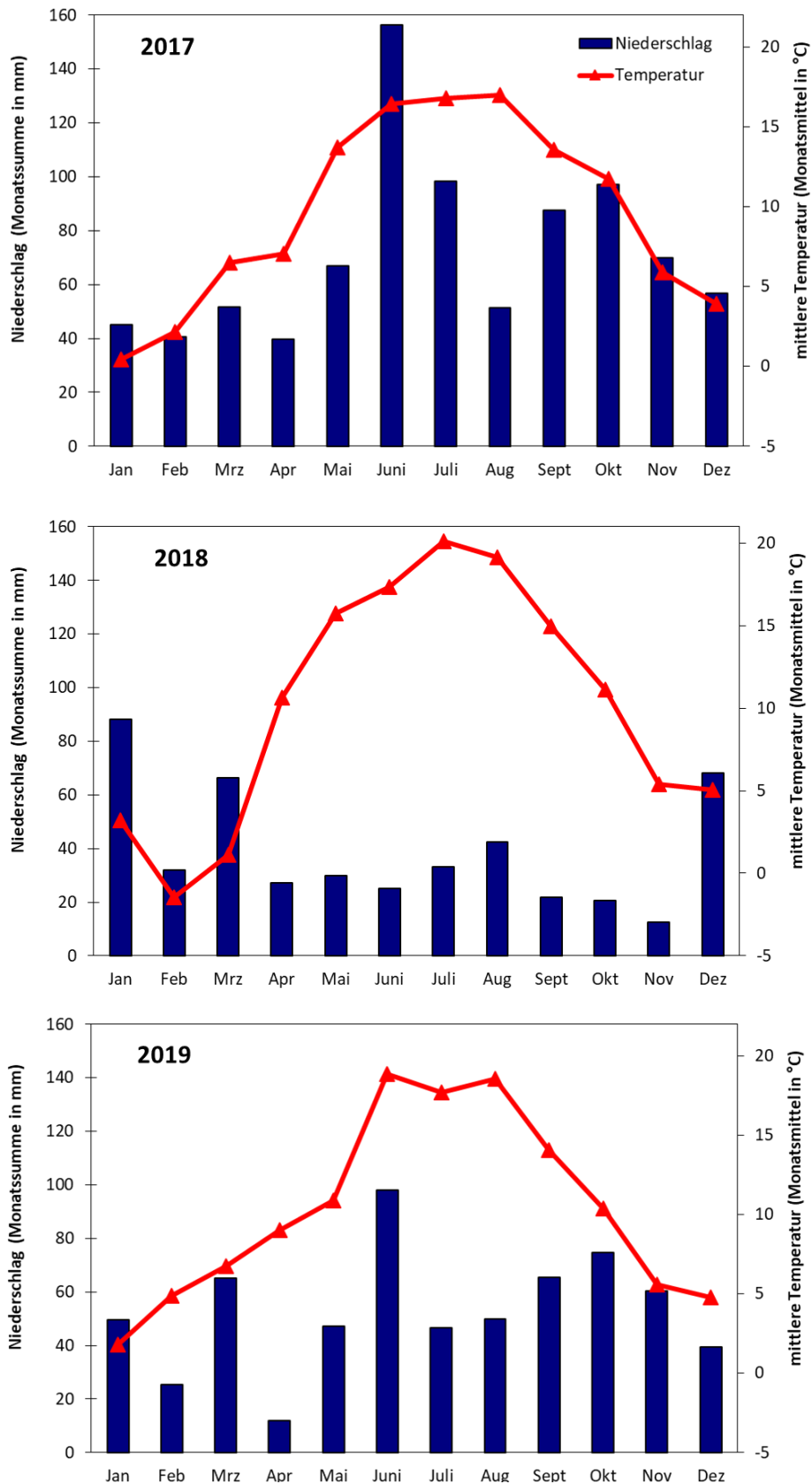


Abbildung 1 Lufttemperatur (Monatsmittel in °C) und Niederschlag (Monatssumme in mm) in den Versuchsjahren 2017 bis 2019 der DWD-Wetterstation Lübeck (DWD 2019)

Versuchsaufbau

Der dreifaktorielle Versuch wurde als randomisierte Blockanlage mit vier Feldwiederholungen angelegt. Die Parzellengröße betrug 2,5 x 15,0 m. Die destruktiven Probennahmen während der Vegetationsperiode erfolgten in einer Teilparzelle (5,0 m Länge), während die nicht-destruktiven Untersuchungen sowie die Druschernte in der Hauptparzelle (10,0 m Länge) durchgeführt wurden.

Die Versuchsfaktoren waren 1.) die Wickensorte, 2.) der Getreidepartner sowie 3.) das Saatstärkenverhältnis, bei dem nach dem Replacement-Ansatz vorgegangen wurde.

Tabelle 7 Versuchsfaktoren und deren Faktorstufen sowie Kontrollvarianten im Feldversuch

Faktor	Faktorstufe	(Versuchsjahre)	[Abkürzung]
1. Saatwickensorte (SWS)	1.1	Sorte Berninova	[Ber]
	1.2	Sorte Ina	[Ina]
	1.3	Sorte Jaga	[Jag]
	1.4	Sorte Slovena	[Slo]
	1.5	Sorte Toplesa	[Top]
2. Getreidepartner (GP)	2.1	Sommerweizen	[SW]
	2.2	Sommerroggen (2017)	[SR]
		Sommertriticale (2018 und 2019)	[ST]
3. Saatstärken verhältnis (SSV)	3.1	Reinsaat Saatwicke (120 keimfähige Körner [kfK] m ⁻²)	[RS-WI]
		75 % Saatwicke und 25 % Getreide (90 kfK m ⁻² Wicke und 100 kfK m ⁻² Getreide)	[75:25]
	3.3	50 % Saatwicke und 50 % Getreide (60 kfK m ⁻² Wicke und 200 kfK m ⁻² Getreide)	[50:50]
	3.4	25 % Saatwicke und 75 % Getreide (30 kfK m ⁻² Wicke und 300 kfK m ⁻² Getreide)	[25:75]
		3.5	Reinsaat Getreidepartner (400 kfK m ⁻²)

Der erste Faktor war die Saatwickensorte. Die im Versuch eingesetzten Sorten sind in Tabelle 7 benannt und in Tabelle 8 charakterisiert. Der zweite Faktor war der Getreidepartner, wobei im ersten Versuchsjahr 2017 mit Sommerweizen und Sommerroggen gearbeitet wurde. In den Folgejahren wurde der Sommerroggen jedoch durch Sommertriticale ersetzt, da die Abreife des Sommerroggens zu früh und die Standfestigkeit zu gering war. Die Sorten sind in Tabelle 8 benannt und charakterisiert.

Der Faktor Saatstärkenverhältnis wurde als Replacementserie durchgeführt. Eine Replacementserie ist eine Serie von Behandlungen, die sowohl die Reinsaat jeder Kulturart als auch die Gemengevarianten, die durch das Ersetzen bestimmter Anteile der Reinsaat einer Kulturart durch entsprechende Anteile der Reinsaat der anderen Kulturart gebildet werden, enthält (Wiley 1979). Die Replacementserie mit den jeweiligen Anteilen der Gemengepartner in der Aussaatmischung sind in Tabelle 7 zusammenfassend dargestellt. Die Keimfähigkeiten der unterschiedlichen Kulturarten bzw. Sorten sind bei der Berechnung der Aussaatstärken berücksichtigt worden.

Tabelle 8 Charakteristika der Saatwickensorten in den Feldversuchen

Sorte	Züchter (Land)	Jahr ¹⁾	Wuchstyp	Blütenfarbe	Farbe Samenschale	Samenfarbe	TKG [g]	Agronomische Merkmale
Berninova	Saatzucht Dr. Hege GbR (Deutschland)	1992	Blatttyp	blauviolett	dunkelbraun/schwarz	beigebraun	40-50	Kleine Samen, mittlere Pflanzlänge, schnelle Jugendentwicklung (Anonym 2018a)
Ina	Danko Hodowla Roslin (Polen)	1997	Blatttyp	blauviolett	hell naturweiß	/ gelborange	45-55	Niedrig wachsende Pflanzen, frühe Reife, empfohlen zur Korn- und Biomassebeerntung (Anonym 2015b)
Jaga	Danko Hodowla Roslin (Polen)	1997	Blatttyp	blauviolett	hellbraun	gelborange	50-70	Resistenz gegen Mehltau, empfohlen für Biomassebeerntung (Anonym 2015a)
Slovena	Saatbau Linz (Österreich)	1995	Blatttyp	blauviolett	schwarz	hellgrau	50-70	empfohlen zum Zwischenfruchtanbau, schnelle Jugendentwicklung, Resistenz gegen Mehltau (Anonym 2018d)
Toplesa	Saatbau Linz (Österreich)	1994	Aufrechter Typ	blauviolett	graubraun/gesprengelt	graubraun	60-75	Schnell wachsend, anspruchslos, trocken tolerant (Anonym 2018c)

¹⁾ Jahr der Registrierung

Tabelle 9 Charakteristika der Sommerweizen, -roggen und -triticalesorten in den Feldversuchen

Sorte	Züchter	Jahr der Registrierung	TKG [g]	Agronomische Merkmale
Quintus (SW)	W.v. Borries-Eckendorf GmbH & Co KG (Deutschland)	2013	45-50	gesunde Sorte, insbesondere geringe Anfälligkeit gegen Ährenfusarium, hoher Ertrag, begrannt, standfest (Anonym 2018b, Bundessortenamt 2017)
Bojko (SR)	Hodowla Roślin Smolice (Polen)	2005	30	Mittlere Abreife, recht langwüchsige Sorte, mittlere Neigung zum Lager, geringe Mehltauanfälligkeit, mittlere Anfälligkeit für Gelbrost (Anonym 2021a)
Mamut (ST)	DANKO Hodowla Roslin (Polen)	2016	35-45	Gute Standfestigkeit, etwas kurzwüchsiger, mittelfrühe Reife, gute Blattgesundheit (Mehltau, Braunrost, Fusarium) (Anonym 2021b, c)

Versuchsdurchführung

Im Herbst des Vorjahres wurde nach der Ernte der Vorkultur Weizen auf den Versuchsflächen eine Erhaltungskalkung (25-30 dt Coccolithenkalk ha⁻¹) durchgeführt, gefolgt von einer flachen (ca. 4-6 cm) Stoppelbearbeitung mit einem Exaktgrubber (Allrounder 500, Fa. Köckerling GmbH & Co. KG, Verl, D). Je nach Witterungsbedingungen erfolgte im Zeitraum Mitte bis Ende Oktober die Grundbodenbearbeitung mit einem 5-Schar-Pflug (Albatros, Fa. Rabe, Bad Essen, D). Im Frühjahr (April) wurde, sobald die Befahrbarkeit der Flächen gegeben war, das Pflugland, je nach vorliegenden Bodenbedingungen, mit einer leichten Egge (Koralle, Fa. Lemken GmbH & Co. KG, Alpen, D) und/oder einem Exaktgrubber (Allrounder 500, Fa. Köckerling GmbH & Co. KG, Verl, D oder Multicracker 550, Fa. Kerner Maschinenbau GmbH, Aislingen, D) aufgezogen und je nach Bodenbeschaffenheit ein- bis zweimal bearbeitet. Am nachfolgenden Tag wurde das Saatbett im Versuchsfeld mit einer Kreiselegge mit 4,0 m Arbeitsbreite (Zirkon 8, Fa. Lemken GmbH & Co. KG, Alpen, D) bereitet, wobei der letzte Bearbeitungsgang in Drillrichtung des Parzellenversuches ausgeführt wurde.

Tabelle 10 Bewirtschaftungsmaßnahmen in den Feldversuchen für die Anbaujahre 2017 bis 2019

	2017	2018	2019
Kalkung (25-30 dt CaO ha ⁻¹)	01.09.2016	18.09.2017	06.09.2018
Stoppelbearbeitung	14.09.2016	19.09.2017	07.09.2018
Grundbodenbearbeitung	15.10.2016	28.10.2017	11.10.2018
Saatbettbearbeitung (Koralle)	07.04.2017		05.04.2019
Saatbettbearbeitung (Koralle)	10.05.2017	19.04.2018 (Allrounder)	15.04.2019 (Kerner)
Kreiselegge (Zirkon, 4,0 m)	11.05.2017	20.04. 2018	17.04.2019
Aussaat	12.05.2017	21.04. 2018	18.04.2019
Striegeln	02.06.2017	-	-
Beerntung	29.08.-09.10.2017	24.07.-16.08.2018	22.08.-16.09.2019

Die Aussaat erfolgte mit einem Geräteträger mit 3,0 m Spurbreite (Fendt F380GT, Fa. Fendt AGCO GmbH, Marktoberdorf, D, umgebaut auf 3,0 m Spurbreite (Fa. Haldrup GmbH, Ilshofen, D)) und einer Parzellendruckmaschine (PZ; D3-24 Quatro, Agrar Markt Deppe, D) mit einer Arbeitsbreite von 2,5 m in einer Überfahrt. Dabei wurden die Saatwicken und die Getreide in alternierenden Reihen mit einer Reihenweite von 12,5 cm und einer Ablagetiefe von ca. 3-4 cm gedrillt. In den Parzellen wurde keine mechanische Unkrautregulierung durchgeführt. Mit Ausnahme von 2017, da nach Starkregenereignissen und damit einhergehender Verschlammung, der Boden aufgebrochen werden musste. Im Versuch wurden lediglich Wurzelunkräuter wie Ackerkratzdisteln (*Cirsium arvense* (L.) Scop.), Ampfer (*Rumex spp.*) sowie Huflattich (*Tussilago farfara* L.) händisch aus den Parzellen entfernt. Gegen Vogelfraß wurden Flugdrachen (Standard Eco, Fa. Vogelscheuche.de, D) installiert. Düngungsmaßnahmen wurden ebenfalls nicht vorgenommen. In Tabelle 10 sind die Bewirtschaftungsmaßnahmen für die drei Versuchsjahre zusammengefasst.

Probenentnahme und Untersuchungsmethoden

Bonituren und Pflanzenzählungen

Die Entwicklungsstadien der Pflanzen wurden regelmäßig anhand der BBCH-Stadien (Meier 2001) erfasst.

Weiterhin wurde der HEB-Index (Sauer mann 2007) bestimmt, wofür die Wuchshöhe der Leguminose an drei Pflanzen innerhalb der Parzelle zur Vollblüte und zur Reife gemessen wurde.

Beerntungen

Zu den Entwicklungsstadien Längenwachstum (BBCH 30-37), Blüte (BBCH 65-69) und Vollreife (ab BBCH 88) wurde die oberirdische Biomasse in den Teilparzellen per Hand geerntet. Zur 1. Zeiternte (Längenwachstum) und zur 2. Zeiternte (Blüte) wurden auf 0,5 m² die Kulturen und die natürlich vorkommende Unkrautbiomasse getrennt bodennah entnommen und die Trockenmasse durch Trocknung (Fa. Heraeus Holding GmbH, Hanau, D) bei 105 °C für 48 h ermittelt. Die Unkrautbiomasse wurde auf die Bezugsgröße g Trockenmasseertrag pro m² berechnet.

Zur Garbenernte (Vollreife) wurden auf 1,0 m² Schnitte bodennah entnommen und wiederum nach Kulturen und Unkräutern getrennt. Für das natürlich vorkommende Unkraut wurde, entsprechend den vorherigen Zeiternten, die Trockenmasse bestimmt und berechnet. Die Unkrautproben der 1. Zeiternte wurden, aufgrund der geringen Masse, mit einer Kugelmühle (MM 400, Fa. Retsch GmbH, Haan, D) bei einer Frequenz von 30 s⁻¹ für 1:30 Minuten vermahlen, um den Verlust beim Vermahlen so gering wie möglich zu halten. Die Proben der anderen Unkrauternten wurden mit einem 0,5 mm Sieb in einer Cyclotec Probenmühle (Foss Tecator 1093, Hilleroed, DK) vermahlen. Der Stickstoff-(N)-Gehalt der vermahlenden Proben wurde in einem CNS-Analysator (Vario MAX Cube, Elementar Analysensysteme, Langenselbold, D) bestimmt. Die aufgenommene N-Menge der Unkräuter wurde dann mit Hilfe der Unkrautbiomasse und dem N-Gehalt berechnet.

Erfassung der Korn- und Stroherträge

Zur Vollernte erfolgte die Beerntung der Druschparzellen als Kerndrusch mit einem Parzellenmähdrescher mit der Arbeitsbreite von 1,75 m (Haldrup C-65, Fa. Haldrup, Ilshofen, D). Die Parzellenerträge wurden nach der Ernte bis zur Weiterverarbeitung auf einer Flächentrocknung bei 30-40 °C in Baumwollsäcken getrocknet und gelagert. Anschließend erfolgte die Ernteguttrennung und -reinigung (K35, Baumann Saatzuchtbedarf, Waldenburg, D), zum Teil unter Einsatz eines Tischauslesers (Bandreiniger C-0380, Selecta Machinefabriek BV, Enkhuizen, NL) sowie eines Farbauslesers (LabSeed 1000, Sesotec ASM S.r.l., Argelato, Italien). Die abschließende Aufbereitung wurde mit einem Windsichter (Kleinprobenreiniger nach Schlingmann, Fa. Baumann, Waldenburg, D) durchgeführt. Zur Bestimmung der Trockensubstanz wurde anschließend ein Teil der gereinigten Kornproben bei 105 °C für 48 Stunden getrocknet. Der Kornertrag wurde auf die Bezugsgröße dt Trockenmasse (TM) ha⁻¹ berechnet.

Rohproteingehalt und -ertrag

Die Kornproben wurden in einer Cyclotec-Probenmühle (Foss Tecator 1093, Hilleroed, DK) mit einem 1 mm Sieb vermahlen und anschließend der Stickstoffgehalt mit einem CNS-Analysator (Vario MAX Cube Elementar Analysensysteme, Langenselbold, D) analysiert. Der Rohproteingehalt wurde durch

Multiplikation des N-Gehaltes mit dem Faktor 6,25 berechnet. Alle Werte sind in Prozent auf Basis der Trockenmasse angegeben. Der Rohproteinерtrag wurde durch Multiplikation des Kornertrages mit dem Rohproteingehalt berechnet, wobei als einheitliche Bezugsgröße dt Rohprotein TM ha⁻¹ gewählt wurde.

Statistische Auswertung

Alle Datensätze wurde mit dem Statistikprogramm SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, US) ausgewertet. Die Datenanalyse der Drusch- sowie Rohproteinерträge erfolgte, aufgrund eines Gemengepartnerwechsels im 2. Versuchsjahr, getrennt nach Gemengepartner für die Gesamt- und Teilkornerträge. Durch eine zuvor durchgeführte dreifaktorielle ANOVA (PROC MIXED) konnten zum Teil Jahre bzw. zwei Jahre einer Wickensorte zusammengefasst werden. Darüber hinaus wurden aber alle Saatwickensorten für jedes Jahr einzeln mit der Prozedur GLM in einer Regression über die Saatstärken ausgewertet. Der Wickenanteil im Gemenge ist dabei die unabhängige Variable, d.h. die Reinsaat des Getreidepartners entspricht einem Wickenanteil von 0% und die Reinsaat der Wicke von 100%. Die Regression wird durch die Schätzung der Signifikanzen der einzelnen Parameter sowie dem Bestimmtheitsmaß angepasst. Die maximalen Ertragswerte wurden durch die Berechnung der Extrempunkte der einzelnen Regressionskurven berechnet.

Zur Bewertung der sortenspezifischen Konkurrenzkraft der Gemenge wurden die Unkrautbiomassen und die aufgenommene Stickstoffmenge der Unkräuter im Vegetationsverlauf mit der Prozedur MIXED getrennt für jedes Jahr und jeden Gemengepartner ausgewertet.

Die Auswertung der Bestandeshöhe erfolgte mittels HEB-Index, hierzu wurde ein Quotient aus der Wuchshöhe der Saatwicken zur Ernte und zur Blüte (Sauer mann 2007) gebildet. Eine nachfolgende Varianzanalyse (ANOVA) unter Verwendung der Prozedur MIXED, getrennt nach Jahren, zeigte die Haupt- und Wechselwirkungen der jeweiligen Faktoren und das entsprechende Signifikanzniveau. Bei signifikanten Zusammenhängen bzw. Wechselwirkungen wurden multiple Mittelwertvergleiche mittels Tukey-Tests bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % angeschlossen und signifikante Unterschiede unter Verwendung des SAS-Makros (mult.sas) nach (Piepho 2012) mit Buchstaben dargestellt. Dabei schlossen signifikante Wechselwirkungen zwischen den Faktoren die Betrachtung der Einzelfaktoren aus. Da bei pflanzlichen Ertragswerten in der Grundgesamtheit von Normalverteilung ausgegangen werden kann, wurde Normalverteilung der Residuen unterstellt (Kroschewski 2017). Weiterhin sind Tests auf Varianzhomogenität bei Stichprobenumfängen $n \leq 5$ nicht ausreichend robust, weshalb diese in der vorliegenden Arbeit ($n = 4$) nicht berücksichtigt wurden (Dufner 2004). Die Regressionen der Korn- und Rohproteinерträge wurden mit Hilfe der Statistikprogramm SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, US) graphisch dargestellt.

3.2.2 Keimungs- und Silierversuch

Der Keimungs- und Silierversuch umfasste zwei Durchgänge, die 2019 und 2020 durchgeführt wurden. Folgende Wickensorten wurden in beiden Durchgängen sowohl in Reinsaat als auch im Gemenge mit Sommerweizen (SW) und Sommertriticale (ST) geprüft: Berninova, Ina, Jaga, Slovena und Toplesa. Die Gemengepartner SW und ST wurden ebenfalls in Reinsaat gekeimt und siliert. Der Anbau der Wicken für diese Versuche erfolgte sowohl in Reinsaat als auch im Gemenge. Für die Gemengevarianten wurde die Wicke jedoch nach der Ernte vom jeweiligen Gemengepartner über ein Siebverfahren getrennt und zu gleichen Teilen für die Varianten neu gemischt. Von jeder Variante wurde eine rohe, gekeimte und silierte Probe erstellt und diese analysiert. Die Analyse der Proben umfasste sowohl die Rohnährstoffe, Aminosäuren und Mineralstoffe als auch die sekundären Pflanzeninhaltsstoffe Vicin und Convicin, die Cyanoalanintoxine (β -Cyanoalanin und Glutamyl- β -Cyanoalanin), die Tannine ebenso wie Phytin-Phosphor.

Die Silierung der Varianten erfolgte nach der Methode von Hoedtke und Zeyner (2011). Die auf 4 mm vermahlene Saatwicken- und Getreidekörner wurden auf 65 % Trockenmasse rückbefeuchtet und in 400 g Portionen in Plastikbeutel überführt. Zusätzlich erfolgte die Zugabe eines Silierhilfsmittels, das homofermentative Milchsäurebakterien (Biosil[®], Dr. Pieper, Germany) enthielt. Die Plastikbeutel wurden mittels eines Vakuumiergerätes (WeboMatic E15 basic, Homburg Verpackungstechnik, Bad Homburg) luftdicht verschlossen, bei wöchentlicher pH-Wert Messung zur Kontrolle des Silierverlaufs sieben Wochen gelagert und anschließend analysiert. Die Keimung der verschiedenen Varianten erfolgte über vier Tage in zwei parallel betriebenen Keimrädern[®] (Söllradl GmbH, Österreich). Die Proben wurden nach der Keimung sofort auf ihren Trockenmassegehalt untersucht und anschließend für 48 h im Trockenschrank bei 40 °C in Crispbags getrocknet. Die getrockneten Proben wurden bis zur Analyse bei 6 °C gelagert.

3.3 Futtermittelbewertung

Die Futtermittelbewertung umfasste sowohl die Analyse der wertgebenden als auch der sekundären Pflanzeninhaltsstoffe der Wicken, der Gemengepartner sowie der Futtermischungen. Weiterhin wurden die Verdaulichkeiten der Wicken für Schweine und Masthühner *in vivo* bestimmt und für Masthühner eine *in vitro* Methode zur Verdaulichkeitsbestimmung geprüft.

3.3.1 Analyse der Inhaltsstoffe

Vor der Analyse wurden die Proben durch ein 1 mm Sieb für die Bestimmung der Roh Nährstoffe, und durch ein 0,5 mm Sieb für die Bestimmung der Aminosäuren, Mineralstoffe, sekundären Pflanzeninhaltsstoffe und des Markers Titandioxid vermahlen (Cyclotec 1093, Foss®, Hilleroed, Dänemark) und anschließend bei 6 °C bis zu den nachfolgenden Analysen gelagert.

Rohnährstoffe

Die Bestimmung der Trockensubstanz und der Rohnährstoffe erfolgte in den auf 1 mm vermahlenden Proben entsprechend den Vorschriften der Verordnung (EG) Nr. 152/2009 (Europäische Kommission 2009).

Aminosäuren

Die Analyse der Aminosäuregehalte wurde in den auf 0,5 mm vermahlenden Proben in Anlehnung an die Vorschriften der Verordnung (EG) Nr. 152/2009 (Europäische Kommission 2009) durchgeführt. Die offizielle Methode wurde bezüglich der Derivatisierung und der anschließenden Quantifizierung folgendermaßen angepasst (Witten et al. 2020): jeweils nach der Hydrolyse, entweder nach vorangegangener Oxidation für die Bestimmung von Methionin und Cystein oder direkt für alle anderen Aminosäuren, erfolgte die Derivatisierung der Proben, im Gegensatz zur EU-Richtlinie, mit 6-Aminoquinolyl-N-hydroxysuccinimidyl-carbamat als Vorsäulenderivatisierung (Cohen & Michaud 1993). Die Trennung und Quantifizierung wurde mittels HPLC (Infinity 1260, Agilent Technologies, Waldbronn) und Fluoreszenzdetektion vorgenommen. Die Anregungswellenlänge betrug 250 nm, die Emissionswellenlänge 400 nm. Die Trennung erfolgte mittels Gradientenelution an einer C18-Säule (3µ C18 - Luna 150 x 2 mm, Phenomenex, Aschaffenburg).

Mineralstoffe

Die Analyse der Mineralstoffe erfolgte in den auf 0,5 mm vermahlenden Proben. Dazu wurden die Proben einer sauren Hydrolyse mittels Mikrowellendruckaufschluss (MARSPress, CEM, Kamp-Lintfort) nach der VDLUFA-Methode 10.8.1.2 (VDLUFA 2012) unterzogen. Die Gehalte an Calcium, Magnesium,

Kalium und Natrium wurden anschließend mit Hilfe eines Continuum-Source Atomabsorptionsspektrometers (ContrAA 300, Analytik Jena GmbH, Jena) quantifiziert. Für die photometrische Bestimmung der Phosphorgehalte kam die Vanadat-Molybdat-Methode entsprechend der Vorschrift 10.6.1. des VDLUFA (VDLUFA, 2012) zum Einsatz.

Sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe

Die Analyse der sekundären Pflanzeninhaltsstoffe erfolgte jeweils in den auf 0,5 mm vermahlenden Proben.

Pyrimidinglycoside

Für die Bestimmung der Pyrimidinglycoside Vicin und Convicin wurde die HPLC-Methode von Pulkkinen et al. (2015) in unserem Hause adaptiert. Die Extraktion erfolgte nach Zugabe des internen Standards Uridin in 7 % Perchlorsäure unter schütteln. Nach Zentrifugation (13.000 g, 10 min, 4 °C) und Filtration durch einen 0,2 µm Spritzenfilter wurden die Proben der HPLC-Analyse (Infinity 1260, Agilent Technologies, Waldbronn) zugeführt. Die Trennung erfolgte an einer C18-Phase (Kinetex 5 µm XB-C18, 150 x 4,6 mm, Phenomenex, Aschaffenburg) unter Verwendung einer Vorsäule. Die Elution fand isokratisch mit 0,1 % Ameisensäure und einem Fluss von 0,4 ml min⁻¹ statt. Nach 16 Minuten wurde auf einen Gradienten eingestellt, der nach 20 min 70 % Acetonitril und nach 33 min wieder 100 % 0,1 % Ameisensäure erreichte. Die Detektion fand bei 273 nm mittels Diodenarraydetektor (DAD 1260 Infinity, Agilent Technologies, Waldbronn) statt. Da keine Standardsubstanz für Convicin auf dem internationalen Markt zur Verfügung steht, wurde zur Bestätigung der Identität der im DAD detektierten Substanzen ein massenselektiver Detektor mit einer API-Elektrospray-Quelle (Infinity Lab MSD, Agilent Technologies, Waldbronn) herangezogen. Das MS-Spektrum zeigte für die entsprechenden DAD-Peaks nur Ionen, die vom Vicin, Convicin oder Uridin stammten (Vicin: [M + H]⁺ m/z 305; Convicin: [M + H]⁺ m/z 306; Uridin: [M + H]⁺ m/z 245). Die Quantifizierung erfolgte zum einen über eine Standardreihe des Vicins und zum anderen über den Zusatz des internen Standards Uridin zu Proben und Standards. Nachfolgend wurden daraus Responsefaktoren ermittelt, die die Quantifizierung des Vicins ermöglichen.

Cyanoalanintoxine

Die Cyanoalanintoxine, β-Cyanoalanin (BCA) und γ-Glutamyl-β-Cyanoalanin (GCA), wurden in Anlehnung der Methode von Thavarajah et al. (2012) analysiert (Aulrich 2021). Dazu erfolgte im 1. Schritt eine wässrige Extraktion (1 h bei Raumtemperatur). Nach Zentrifugation (13.000 g, 10 min) und Filtration durch einen 0,2 µm Spritzenfilter wurden die Proben entsprechend der zu erwartenden Gehalte

der Analyten verdünnt (BCA: unverdünnt, GCA: 1:100). Als interner Standard kam 2-Aminobuttersäure zum Einsatz. Die chromatographische Trennung erfolgte mittels HPLC (Infinity 1260, Agilent Technologies, Waldbronn) an einer C18-Phase (Kinetex 5 m XB-C18, 150 x 4,6 mm, Phenomenex, Aschaffenburg) inkl. Vorsäule. Als Eluent diente 20 mM Ameisensäure mit einem Fluss von 0,4 ml min⁻¹. Quantifiziert wurde anhand der Massen der zu bestimmenden Ionen: BCA: [M + H]⁺ m/z 115,1 GCA: [M + H]⁺ m/z 244,2, 2-Aminobuttersäure: : [M + H]⁺ m/z 104,1 unter Verwendung einer Standardreihe für BCA (Sigma Aldrich, Deisenhofen), GCA (zur Verfügung gestellt von Robert Asenstorfer, ehemals AG Max Tate, University of Adelaide, Australien) und des internen Standards 2-Aminobuttersäure (Roth, Karlsruhe).

Gesamtphenole und Tannine

Die Analyse der Gesamtphenole und Tannine erfolgte nach der Folin-Ciocalteu-Methode, beschrieben bei Makkar et al. (1993). In unserem Labor wurde die Methode auf Mikrotiterplatten adaptiert und mit dem Gerät Multiscan FC (Thermo Fisher Scientific, Langenselbold) bei 748 nm gemessen. Dabei erfolgte im ersten Schritt die Bestimmung der Gesamtphenole mittels Folin-Ciocalteu-Reagenz. Nach Bindung der Tanninphenole an Polyvinylpyrrolidon wurden die Nichttannin-Phenole mit gleichem Reagenz bestimmt. Der Tanningehalt wurde rechnerisch aus der Differenz der Gesamtphenole und der Nichttannin-Phenole ermittelt. Die Ergebnisse werden als Tanninsäureäquivalente angegeben.

Phytin-Phosphor

Für die Analyse des im Phytin gebundenen Phosphors kam die AOAC Methode 986.11 (AOAC International 2016), die auf der Ionenaustauschchromatographie und anschließender photometrischer Bestimmung des freigesetzten Phosphors nach Reaktion mit Molybdat und Sulfonsäurereagenz beruht, zur Anwendung.

Titandioxid

Titandioxid (TiO₂) wurde als unverdaulicher Marker zur Prüfung der *in vivo* Verdaulichkeit beim Masthuhn eingesetzt. Die Analyse des TiO₂ erfolgte in den Futtermischungen und im Chymus nach saurer Hydrolyse photometrisch entsprechend der Methode von Brandt und Allam (1987).

3.3.2 *In vivo* Verdaulichkeit Mastschwein

Für die Details der Durchführung des Arbeitspaketes 3.2 (Bestimmung der *praecaecalen* Verdaulichkeit von Saatwickenkörnern der Sorte Slovena beim Mastschwein, *in vivo*) sei auf den Endbericht des Teilprojekts FKZ 2815OE106 verwiesen (Projektlaufzeit 01.03.2017 - 28.02.2018), der von Dr. Andreas Berk vom Institut für Tierernährung des Friedrich-Loeffler-Instituts, Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit eingereicht und bereits begutachtet wurde.

3.3.3 *In vivo* Verdaulichkeit Masthuhn

Das Teil-Arbeitspaket 3.3 (Bestimmung der *praecaecalen* Verdaulichkeit von Saatwickenkörnern der Sorte Slovena beim Masthuhn, *in vivo*) wurde als Unterauftrag zu Projekt FKZ 2815OE038 von der Universität Hohenheim, FG Populationsgenomik bei Nutztieren, Institut für Nutztierwissenschaften übernommen. Der Tierversuch war durch das zuständige Regierungspräsidium in Tübingen mit Aktenzeichen HOH 55/18 PG genehmigt, und wurde auf der Versuchsstation für Agrarwissenschaften, Teilstation Unterer Lindenhof, Eningen u.A., vom 02. - 24. Juli 2019 im Stall A durchgeführt.

Vorversuch

Aufgrund des zu Beginn des Verdaulichkeitsversuchs unbekanntes Gehaltes an ANF in den Saatwickenkörnern wurde zur Vermeidung von Vergiftungserscheinungen bei den höheren Zulagestufen ein Vorversuch zur Prüfung der allgemeinen Verträglichkeit durchgeführt. Darin wurden rohe Saatwickenkörner wie im geplanten Hauptversuch in Mengenanteilen von 0, 10 und 20 % den Versuchsrationen zugesetzt und dieses Futter zwischen dem 15. und 21. Lebensstag an 3 x 10 Tiere verfüttert. Da sich hierbei keine Auffälligkeiten ergaben, wurde der Hauptversuch wie geplant durchgeführt.

Anbau und Behandlung der Saatwickenkörner

Die Saatwickenkörner stammten aus der Ernte des Jahres 2016 vom Versuchsbetrieb des Thünen-Instituts. Die Keimung und Silierung des Futters für den Verdaulichkeitsversuch wurden wie in Kapitel 3.1 beschrieben durchgeführt. Im Anschluss an die Behandlung wurden das Keimgut und die Silage schonend getrocknet (72 h bei 40 °C), vakuumverpackt und an die Universität Hohenheim geliefert.

Tiere und Haltung

Ebenso wie in den Fütterungsversuchen mit Masthühnern aus Teil-Arbeitspaket 3.1.1 wurden auch im Verdaulichkeitsversuch Hühner der Herkunft Hubbard ISA JA 757 (Hetzenecker Küken Bioge Flügelzucht und Brüterei, 84494 Neumarkt-Sankt Veit) eingesetzt. Die Tiere waren nicht nach Geschlecht sortiert, wurden noch in der Brüterei gegen Marek, IB, Kokzidiose und Gumboro geimpft, und als Eintagsküken

angeliefert. Die Aufstallung der Tiere erfolgte nach vorheriger Reinigung und Desinfektion des Stalles nach dem Betriebs-spezifischen Hygienemanagementprogramm. Die Eintagsküken wurden für die ersten 14 Lebenstage in Gruppen von rund 250 Tieren in 12 m² großen, mit Hobelspänen eingestreuten Abteilen gehalten. Am 15. Lebenstag erfolgte die Aufteilung auf die 4,5 m² großen Versuchsabteile (18 Tiere je Abteil) und der Beginn der Versuchsfütterung, wobei auf ähnliche Durchschnittsgewichte je Abteil geachtet wurde. Die maximale Besatzdichte betrug 4 Tiere je m², entsprechend 8,7 kg Lebendmasse je m² am 21. Lebenstag. Die Abteile waren nach oben offen. Die Umgebungstemperatur betrug im Tierbereich am ersten Tag 32 C und wurde dann bis zum 21. Lebenstag kontinuierlich auf 26°C abgesenkt. Die Beleuchtung (>20 Lux) erfolgte in den ersten 3 Lebenstagen über 24 h, danach über 16 h.

Versuchsdesign und Fütterung

Zur Schätzung der *praececalen* Verdaulichkeit der Aminosäuren wurden die rohen, silierten und gekeimten Saatwickenkörner in drei Zulagehöhen (Anteilen in der Ration) in den Futtermitteln eingesetzt. Den Berichten von Rodehutsord et al. (2004) und Kluth et al. (2005) für Futtermittel mit höherem Proteingehalt folgend, wurden Zulagehöhen von 0, 10 und 20 % gewählt. Der Austausch erfolgte gegen Maisstärke. Die Basisration (ohne das prüfende Futtermittel) enthielt alle wesentlichen Nährstoffe (in erster Linie Aminosäuren, Fettsäuren, Vitamine und Spurenelemente) in bedarfsdeckender Höhe. Durch die Zulage des Futtermittels wurde somit nur der Protein- bzw. Aminosäuregehalt erhöht und der Energiegehalt abgesenkt. Die drei Behandlungen wurden je sechsmal wiederholt, woraus sich ein Versuchsumfang von 3 Saatwickenbehandlungen x 3 Zulagestufen = 9 Behandlungsgruppen x 6 Wiederholungen = 54 Tiergruppen x 18 Tiere = 972 Masthühner ergab, Details siehe Tabelle 11.

Tabelle 11 Versuchsdesign des Verdaulichkeitsversuchs mit Masthühnern

Versuchsration	Anzahl Abteile	Tiere je Abteil	Tiere je Behandlung
Basalration + 0 % SW-roh	6	18	108
Basalration + 10 % SW-roh	6	18	108
Basalration + 20 % SW-roh	6	18	108
Basalration + 0 % SW-sil	6	18	108
Basalration + 10 % SW-sil	6	18	108
Basalration + 20 % SW-sil	6	18	108
Basalration + 0 % SW-gek	6	18	108
Basalration + 10 % SW-gek	6	18	108
Basalration + 20 % SW-gek	6	18	108
Reservetiere			8
Gesamt			980

SW-roh: rohe Saatwicken, SW-sil: silierte Saatwicken, SW-gek: gekeimte Saatwicken

Nährstoffe, g kg ⁻¹ TM	Saatwicke									
	Starter	roh			gekeimt			siliert		
		0 %	10 %	20 %	0 %	10 %	20 %	0 %	10 %	20 %
Rohasche	56,2	67,1	70,4	67,2	61,9	64,3	67,3	67,9	65,4	67,3
Rohprotein	228	264	278	296	260	273	301	249	279	294
Rohfett	61,1	70,9	70,7	73,6	70,9	69,9	73,4	70,5	70,3	74,0
Rohfaser	38,3	38,8	39,3	46,4	46,9	45,6	47,6	41,9	42,0	44,0
Stärke	455	473	415	349	471	402	349	477	406	359
Zucker	48,9	50,9	51,9	53,7	40,6	52,7	58,2	47,1	46,7	43,4
Calcium	9,1	8,3	8,4	8,8	10,0	9,5	10,2	9,3	9,4	8,9
Phosphor	9,0	10,1	10,1	10,4	10,4	10,2	11,0	10,0	10,4	10,8
MJ AME _N ¹	13,8	15,0	14,3	13,7	14,8	14,0	13,7	14,8	14,2	13,7
Lysin	12,8	14,7	15,8	16,4	14,7	15,8	17,3	13,7	16,0	17,6
Methionin	4,1	4,3	4,4	4,5	4,2	4,3	4,3	4,2	4,4	4,5
Cystein	4,2	4,4	4,5	4,7	4,4	4,4	4,6	4,2	4,5	4,7
Threonin	8,6	9,9	10,2	10,6	9,6	10,0	10,9	9,4	10,1	10,9
Tryptophan	2,8	3,2	3,3	3,4	3,1	3,2	3,3	3,0	3,2	3,3
Leucin	17,1	19,8	20,4	21,2	18,6	20,2	21,9	19,0	20,1	21,7
Isoleucin	9,7	11,4	11,9	12,0	10,8	11,4	12,6	10,8	11,8	12,4
Valin	10,6	11,4	12,6	12,6	11,5	12,1	13,6	11,5	12,6	13,3
Arginin	15,0	17,0	18,7	20,1	16,1	18,3	20,8	16,5	18,2	20,4
Histidin	5,7	7,0	7,2	7,6	6,3	7,2	8,0	6,9	7,1	7,9
Phenylalanin	11,3	13,1	13,5	13,7	12,4	13,2	14,2	12,7	13,2	14,1
Tyrosin	7,8	8,8	9,2	9,4	8,4	9,0	9,0	8,4	9,0	9,0
Alanin	9,6	10,8	11,2	11,5	10,1	11,3	12,3	10,5	11,2	12,4
Glycin	9,6	11,0	11,4	11,8	10,5	11,2	12,2	10,6	11,0	11,9
Serin	11,4	13,6	13,8	14,5	12,9	13,6	14,3	12,8	13,3	14,4
Prolin	14,4	17,1	17,3	17,5	16,2	17,1	17,8	16,7	17,1	17,8
Asparaginsäure	21,8	24,9	26,8	28,3	23,1	27,0	29,0	24,4	27,1	30,9
Glutaminsäure	47,2	56,5	57,8	59,2	53,0	57,3	60,9	54,7	56,2	59,4

¹ AME_N: N-korrigierte, scheinbare, Umsetzbare Energie, berechnet nach WPSA (1984)

Datenerfassung und Berechnung

Während der Prüfphase wurde der Futterverbrauch je Abteil zur Berechnung der durchschnittlichen täglichen Futterraufnahme je Tier dokumentiert. Am 14. Lebenstag wurden die Gruppengewichte und am 21. Lebenstag die Einzeltiergewichte erfasst. Zur Gewinnung des Darminhalts (Chymus) mussten die Tiere zu Versuchsende getötet werden. Um eine Vermischung des Ileumchymus mit den Jejunum- und Caecuminhalten zu vermeiden, musste der Dünndarmabschnitt für die Probengewinnung unmittelbar nach dem Eintritt des Todes der Tiere entnommen werden. Zur Betäubung und Tötung wurden die Tiere direkt vom Stall gruppenweise (= 18 Tiere) in einen geschlossenen Container gebracht. In Phase 1 erfolgte hier die Betäubung der Tiere mit einem Gasgemisch (max. 35 % CO₂, 30 % O₂, 35 % N₂) über ca. 60 Sekunden bis zur Bewusstlosigkeit. In der zweiten Phase wurden die Tiere in einen Container mit einer CO₂-Konzentration > 80 % verbracht, in dem die Tiere bis zum Eintritt des Todes verblieben (Dauer ca. 120 sec).

Danach wurde der Tierkörper ausgehend von der Kloake rechts und links am Brustkorb entlang bis zum Schultergürtel aufgeschnitten, der Brustbereich nach oben geklappt und der gesamte Darm aus der Körperhöhle gezogen. Die letzten beiden Drittel des Dünndarms zwischen dem Meckel'schen Divertikulum und 2 cm vor der Einmündung der Blinddärme wurden entnommen. Dieser Darmabschnitt wurde in kurze Segmente geschnitten und diese mit destilliertem Wasser ausgespült. Der Chymusinhalt aller Tiere eines Abteils wurde als Pool in Kunststoffbehältern gesammelt und sofort tiefgefroren. Die Proben wurden dann gefriergetrocknet und anschließend mit einem 0,5 mm Sieb (Retsch-Mühle) gemahlen. Die gemahlene Proben wurden in Schraubgefäße überführt und bis zu den Analysen tiefgefroren gelagert.

Die Hauptnährstoffe der Futtermischungen (Tabelle 12) wurden an der Universität Hohenheim bestimmt, die Analyse der Protein- und Aminosäuregehalte sowie die Gehalte an Titandioxid im Futter und im Chymus erfolgte am Thünen-Institut für Ökologischen Landbau, wie in Kapitel 3.3.1 beschrieben.

Die scheinbare *praecaecale* Verdaulichkeit (AID) von Rohprotein und Aminosäuren (AS) auf Buchtenbasis wurde mit der folgenden Formel berechnet:

$$AID_{AS} = 1 - [(TiO_2 \text{ Futter} * AS_{\text{Chymus}}) / (TiO_2 \text{ Chymus} * AS_{\text{Futter}})]$$

Die standardisierte *praecaecale* Verdaulichkeit (SID) von Rohprotein und Aminosäuren wurde mithilfe einer linearen Regression bestimmt, unter Verwendung des Statistikprogramms SAS® (2002-2012; SAS

Institute Inc., Cary, NC, USA). Dabei entspricht die standardisierte *praecaecale* Verdaulichkeit der Steigung der Regressionsgeraden, die auf dem jeweiligen Futterverbrauch und den Mengen an Rohprotein und Aminosäuren basiert, die bis zum terminalen Ileum verdaut wurden (Rodehutscord et al. 2004).

3.3.4 *In vitro* Verdaulichkeit Masthuhn

Die Bestimmung der *in vitro* Verdaulichkeit erfolgte mit einer in unserem Labor auf das Huhn adaptierten Methode, die auf Arbeiten von Boisen und Fernandez (1995) für das Schwein basiert. Dazu wurden die Futterproben bei 41 °C mit einem Phosphatpuffer (30 min, pH 6,0), Pepsin (135 min, pH 2,6) und Pankreatin (120 Minuten, pH 6,4) inkubiert. Der *in vitro* unverdaute Rest wurde mittels Zentrifugation von der Flüssigkeit separiert und getrocknet. Anschließend wurde der N-Gehalt bestimmt und der Rohproteingehalt mit Hilfe des Faktors 6,25 ermittelt. Die Verschwindensrate des Rohproteins ist mit der *praecaecalen* Verdaulichkeit des Rohproteins korreliert und konnte mittels Regression bestimmt werden. Details finden sich in der Publikation von Witten & Aulrich (in Begutachtung 2021).

4 Ergebnisse und Diskussion

Auf den folgenden Seiten werden die Ergebnisse der Versuche aus den Bereichen Fütterung, Anbau und Analyse der Inhaltsstoffe detailliert dargestellt und interpretiert.

4.1 Fütterungsversuche

In den Jahren 2017 bis 2019 wurden Fütterungsversuche mit Masthühnern, Legehennen und Vormastschweinen durchgeführt. Tabelle 13 zeigt die Nährstoffzusammensetzung und die Gehalte sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe der rohen, gekeimten und silierten Wicken aus der Ernte 2016, die sowohl im Fütterungsversuch mit Masthühnern 2017 als auch in den jeweils ersten Durchgängen der Fütterungsversuche mit Legehennen und Vormastschweinen zum Einsatz kamen.

Tabelle 13 Gehalte an Nährstoffen und antinutritiven Faktoren in rohen, gekeimten und silierten Wicken der Ernte 2016, g kg⁻¹ Trockenmasse, sofern nicht anders angegeben

	Wicken, Behandlung		
	roh	gekeimt	siliert
Trockenmasse, g kg ⁻¹ Frischmasse	886	286	610
Rohasche	46,3	41,9	39,5
Rohprotein	343	354	358
Rohfett	17,2	19,0	14,7
Rohfaser	52,7	66,1	43,8
Stärke	414	421	462
Zucker	32,7	39,0	0,0
Calcium	1,0	1,7	0,9
Phosphor	4,0	3,4	3,5
Energie, MJ AME _N ¹	13,3	13,7	13,8
Lysin	21,5	20,3	21,5
Methionin	2,4	2,7	2,6
Cystein	3,5	3,3	3,4
Threonin	3,1	3,4	3,3
Tryptophan	3,1	3,4	3,3
Leucin	18,8	15,9	21,0
Isoleucin	10,3	8,1	11,2
Valin	11,9	10,4	12,7
Arginin	21,8	17,4	26,9
Histidin	8,2	7,2	10,8
Phenylalanin	12,2	10,3	12,7
Tyrosin	8,3	6,9	8,8
Alanin	10,9	9,6	12,2
Glycin	11,4	9,2	12,6
Serin	13,0	11,3	14,2
Prolin	13,0	11,1	12,1
Asparaginsäure	35,3	41,3	37,6
Glutaminsäure	48,6	41,2	52,5
Vicin	5,69	6,19	3,20
Convicin	0,75	1,40	0,50
β-Cyanoalanin	0,03	0,01	0,26
γ-Glutamyl-β-Cyanoalanin	6,90	7,70	4,38
Tannine	0,81	0,45	0,48

¹ AME_N = N-korrigierte, scheinbare, Umsetzbare Energie, berechnet nach WPSA (1984)

4.1.1 Fütterungsversuch Masthühner 2017

Der Fütterungsversuch mit Masthühnern 2017 hatte den Vergleich von rohen, gekeimten und silierten Saatwickenkörnern der Sorte Slovena (kurz: Wicken) als eiweißreiche Futterkomponente zum Inhalt, wobei die Wicken separat vorgelegt wurden, um den Tieren eine Verweigerung zu ermöglichen. Die Wicken wurden ab dem 29. und bis zur Schlachtung am 71. Lebenstag täglich frisch angeboten.

Futtermittelinhaltsstoffe

In Tabelle 14 sind die analysierten Nährstoffgehalte der Rationen dargestellt.

Tabelle 14 Nährstoffgehalte der Kontrollration und des zu den separat gefütterten Wicken vorgelegten Ergänzers im Fütterungsversuch mit Masthühnern 2017, g kg⁻¹ Trockenmasse, sofern nicht anders angegeben

	Mastphase 1		Mastphase 2	
	Kontrolle	Ergänzer	Kontrolle	Ergänzer
Rohprotein	221	215	194	183
Lysin	11,3	11,3	10,3	10,1
Methionin	3,5	3,6	3,1	3,1
Cystein	4,1	4,2	3,9	3,8
Threonin	2,5	2,5	2,2	2,2
Rohfett	49,5	50,1	45,6	47,3
Rohfaser	55,7	52,7	44,1	46,2
Stärke	433	416	482	475
Zucker	58,6	56,6	55,2	52,1
Calcium	8,4	9,8	7,9	9,4
Phosphor	4,0	4,8	5,0	5,4
Energie, MJ AME _N ¹	13,1	12,7	13,3	13,1

¹AME_N: N-korrigierte, scheinbare, Umsetzbare Energie, berechnet nach WPSA (1984)

Futtermittelverbrauch

Der Futtermittelverbrauch der Versuchsgruppen mit Wicken lag in beiden Mastphasen (Mast 1 = Lebenswoche 5-7: P = 0,002; Mast 2 = Lebenswoche 8-10: P < 0,001) und über den gesamten Versuchszeitraum (P < 0,001) signifikant höher als bei der Kontrollgruppe ohne Wicken, siehe Tabelle 15.

Abbildung 2 zeigt ergänzend den Anteil an verbrauchten Wicken am Gesamtfuttermittelverbrauch, worauf die Behandlung der Wicken einen deutlichen Einfluss (P < 0,001) hatte: die gekeimten Wicken wurden von den Masthühnern mit Abstand am besten angenommen, und lagen mit 13,2 % vom Gesamtfuttermittelverbrauch signifikant über dem Verbrauch der silierten (7,7 %) und rohen Wicken (5,7 %).

Tabelle 15 Futtermittelverbrauch, Tageszunahmen und Futteraufwand (LS-Means) der Masthühner (n = 640) in Abhängigkeit der Fütterungsvariante im Fütterungsversuch 2017 (Kontrolle vs. rohe, gekeimte oder silierte Wicken)

	Wicken, Behandlung				SEM ¹
	Kontrolle	roh	gekeimt	siliert	
Futtermittelverbrauch, g Tier⁻¹ Tag⁻¹					
Mastphase 1	89 ^b	108 ^a	110 ^a	107 ^a	3,7
Mastphase 2	145 ^b	166 ^a	164 ^a	165 ^a	3,1
Versuchszeitraum	116 ^b	137 ^a	137 ^a	136 ^a	2,7
Tageszunahmen, g					
Mastphase 1	46,8	52,2	51,2	53,5	1,8
Mastphase 2	52,2	56,4	55,9	53,6	1,4
Versuchszeitraum	50,4	54,7	53,6	53,8	1,8
Futteraufwand, kg Futter kg⁻¹ Zuwachs					
Mastphase 1	1,95 ^a	2,10 ^a	2,31 ^a	2,02 ^a	0,10
Mastphase 2	2,89 ^b	3,10 ^{a,b}	3,17 ^{a,b}	3,28 ^a	0,10
Versuchszeitraum	2,42 ^b	2,60 ^{a,b}	2,74 ^a	2,65 ^{a,b}	0,07

¹ Standardfehler; ^{a,b} LS-Means ohne gemeinsamen Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede innerhalb der Zeilen hin (P < 0,05)

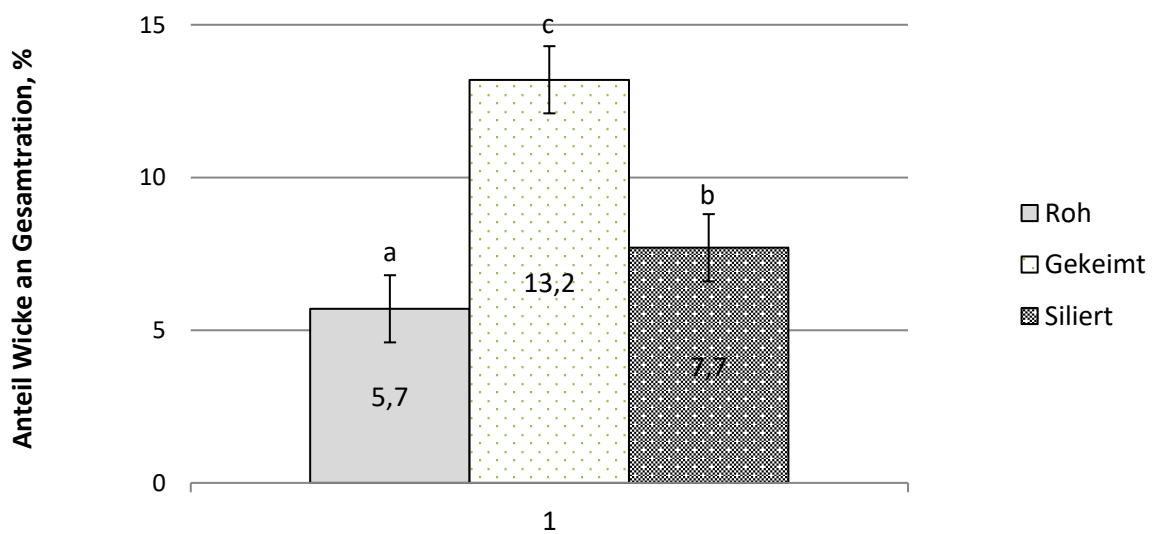


Abbildung 2 Verbrauchte Menge von rohen, gekeimten und silierten Wicken im Fütterungsversuch mit Masthühnern 2017, anteilig am Gesamtfuttermittelverbrauch

Die geringe freiwillige Aufnahme von rohen Wicken weist auf eine geringe Attraktivität dieser Futterkomponente für Masthühner hin, was sich mit den Hinweisen aus der Literatur auf die enthaltenen ANF und deren negativen Folgen auf die Gesundheit von Masthühnern (u.a. Arscott und Harper 1963, Darre et al. 1998, Sadeghi et al. 2011) sowie der darauf gründenden Empfehlung deckt, rohe Wicken nur zu geringen Rationsanteilen einzusetzen. Die Präferenz für silierte, und in noch stärkerem Ausmaß für gekeimte Wicken in unserem Versuch, lässt die behandelten Wicken als deutlich attraktiveres Futter als die rohe Variante erscheinen. Diese Beobachtung stimmt mit Berichten von Sadeghi et al. (2011) überein, die bei Fütterung von hitzebehandelten Saatwickenkörnern eine Erhöhung der Futteraufnahme dokumentierten. Allerdings unterschied sich die Behandlung von Sadeghi et al. (2011) deutlich von unseren hinsichtlich der Art der Behandlung, da die Wicken in der genannten Arbeit in 95 °C heißem Wasser gekocht wurden.

Mastleistung

Die Masthühner starteten am 29. Lebenstag mit ähnlichen durchschnittlichen Lebendmassen in den Versuch. So wogen die Tiere der Kontrollgruppe durchschnittlich 584 g und diejenigen, die mit rohen, gekeimten oder silierten Wicken gefüttert wurden 605, 602 und 607 g (SEM = 6,5-6,7; $P > 0,05$). Zu Beginn der zweiten Mastphase am 50. Lebenstag waren die Masthühner der rohen und der silierten Gruppe jedoch bereits signifikant schwerer als die Tiere der Kontrollgruppe (Kontrolle = 1583 g, roh = 1720 g, siliert = 1728 g, $P = 0,003$). Die statistische Auswertung der Tageszunahmen ergab für die erste Mastphase zwar einen signifikanten Effekt der Fütterung ($P = 0,044$, Tabelle 15), ein paarweiser Vergleich der Gruppen zeigte jedoch keine Unterschiede. Zum Zeitpunkt der Schlachtung am 71. Lebenstag wiesen die Masthühner aus allen Versuchsgruppen mit Wicken ein signifikant höheres Mastendgewicht als die Kontrollgruppe auf ($P = 0,001$, Tabelle 16), was sich in ebenfalls signifikant höheren Tageszunahmen vom Schlupf bis zur Schlachtung spiegelte ($P < 0,001$): die Masthühner der Kontrollgruppe wuchsen signifikant langsamer (38,0 g Tageszunahmen) als die mit Wicken gefütterten Tiere (roh = 40,8 g, gekeimt = 40,3 g, siliert = 40,2 g; SEM = 26,5-26,8). Zwischen den Versuchsgruppen mit Wicken zeigten sich hingegen keine Unterschiede. Während der zweiten Mastphase und über den gesamten Versuchszeitraum hinweg unterschieden sich die Tageszunahmen nicht signifikant zwischen den Fütterungsvarianten ($P > 0,05$; Tabelle 15).

Der bei Vorlage von Wicken signifikant höhere Futterverbrauch führte also zu ebenfalls signifikant höheren Mastendgewichten im Vergleich zur Kontrollgruppe, diese Mehrleistung ging allerdings mit einer geringeren Masteffizienz einher. Während sich in der ersten Mastphase noch keine Unterschiede im Futteraufwand zwischen den Fütterungsvarianten zeigten, wiesen die Masthühner, die silierte Wi-

cken erhielten, in der zweiten Mastphase einen signifikant höheren Futteraufwand als die Kontrollgruppe auf ($P = 0,042$). Über den gesamten Versuchszeitraum berechnet war der Futteraufwand der Tiere, die gekeimte Wicken erhielten, der signifikant höher war als in der Kontrollgruppe ($P = 0,006$). Dieses Ergebnis widerspricht Berichten von Darre et al. (1998) und Saki et al. (2008), die bei Verfütterung von behandelten Saatwickenkörnern an Masthühner auch den Futteraufwand reduzieren konnten, wobei die Behandlung in beiden Arbeiten aus einem Kochvorgang bestand. Auch aus der Humannahrung ist bekannt, dass ANF in Körnerleguminosen erfolgreich durch Kochen reduziert werden können (Finney 1983), dieses Verfahren eignet sich aber nur bedingt für die innerbetriebliche Verwertung von Wicken als Futter für monogastrische Nutztiere, und unterscheidet sich deutlich von den im vorliegenden Projekt untersuchten Behandlungen der Keimung und Silierung.

Schlachtleistung

In Tabelle 16 sind Parameter der Schlachtleistung dargestellt. Es zeigte sich ein Einfluss der Fütterung auf das Gewicht des Schlachtkörpers und des Brustfilets (Schlachtkörper: $P = 0,004$; Brustfilet: $P = 0,027$). Die in den Gruppen mit Wickenfütterung höheren Werte als in der Kontrollgruppe sind dabei auf das höhere Mastendgewicht dieser Tiere zurückzuführen. Die Ausschachtung und der Anteil des Brustfilets und der Keulen unterschieden sich nicht ($P > 0,05$), und lagen in einem für die Herkunft üblichen Bereich.

Tabelle 16 Parameter der Schlachtleistung (LS-Means) der Masthühner in Abhängigkeit der Fütterungsvariante im Fütterungsversuch 2017 (Kontrolle vs. rohe, gekeimte oder silierte Wicken)

Schlachtleistung	Wicken, Behandlung				SEM ¹	n
	Kontrolle	roh	gekeimt	siliert		
Mastendgewicht, g	2707 ^a	2900 ^b	2861 ^b	2857 ^b	31,8	640
Schlachtkörper, g	1796 ^a	1953 ^b	1908 ^b	1909 ^b	28,4	640
Ausschlachtung, %	66,2	67,0	66,2	66,6	0,5	640
Brustfilet, g	443 ^a	491 ^b	482 ^b	481 ^b	10,5	80
Brustfilet, %	24,7	25,2	25,1	25,1	0,3	80
Keulen, g	621	658	653	653	10,5-10,9	80
Keulen, %	34,4	33,7	34,0	34,0	0,3	80

¹Standardfehler; ^{a,b} LS-Means ohne gemeinsamen Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede innerhalb der Zeilen hin ($P < 0,05$)

Tierwohlbewertung

Weder bei der Bonitur am lebenden Tier in der 10. Lebenswoche noch bei der Bewertung am Schlachtkörper zeigte sich bei einem der untersuchten Tierwohlparameter ein Einfluss der Fütterung ($P > 0,05$), das Tierwohl der Tiere war daher unabhängig von der Fütterung als gut einzustufen (Tabelle 17). Bezüglich der Kammverletzung wurde bei der Mehrheit der Tiere (65-73 %) „kein Befund“ dokumentiert. Für die Gefiederverschmutzung wurden die Boniturnoten 2 und 3 für Tiere, die gekeimte oder silierte Wicke erhielten, häufiger vergeben (gekeimt: 55,7 % Note 2 und 3; siliert: 53,4 % Note 2 und 3) als bei Fütterung der Kontrollration (47,7 % Note 2 und 3) und der rohen Wicke (43,2 % Note 2 und 3); diese Unterschiede waren aber nicht signifikant. Fersenhöckerläsionen und Brustblasen wurden nur bei wenigen Masthühnern dokumentiert (97,5-100 % Note 0 bei Fersenhöckerläsionen; 87,5-97,5 % Brustblasen „nein“). Die Bewertung der Fußballenläsionen ergab ebenfalls bei den meisten Tieren „keine Veränderung“ (60,0-85,0 %) und nur bei einem sehr geringen Anteil der Tiere eine „starke Veränderungen“ (2,5-10,0 %).

Zusammenfassend lässt sich in Beantwortung von Fragestellung 1 („Welchen Effekt hat der Einsatz von rohen und unterschiedlich behandelten Saatwickenkörnern der Sorte Slovena auf die tierischen Leistungen von Masthühnern?“) festhalten, dass gekeimte Wicken sich als sehr attraktives Futter für Masthühner erwiesen (13,2 % Rationsanteil bei freiwilliger Aufnahme). Allerdings schlug sich dies nicht in einer besseren Futtereffizienz nieder, sondern führte im Gegenteil zu einem signifikant höheren Futteraufwand. Aus Gründen der Effizienz und insbesondere angesichts des Aufwandes, der mit einer Keimung verbunden ist, kann auf Basis dieser Ergebnisse die Keimung von Wicken vor der Verfütterung an Masthühnern nicht empfohlen werden. Vorteile der gekeimten Wicken, die über ihren Gehalt an Rohnährstoffen und Aminosäuren hinausgehen, sind nicht auszuschließen, waren aber nicht Gegenstand dieses Versuchs. Fragestellung 2 („Unterscheidet sich der Effekt der Keimung von dem der Silierung hinsichtlich der tierischen Leistungen?“) kann damit beantwortet werden, dass silierte Saatwickenkörner von den Masthühnern weniger gern aufgenommen wurden als gekeimte, sie im entsprechend geringeren Rationsanteil von 7,7 % aber nicht zu einer Erhöhung des Futteraufwands führten. Silierte Wicken wären somit ohne Bedenken hinsichtlich der Futtereffizienz einsetzbar, die vergleichsweise geringe freiwillige Aufnahme rechtfertigt den Aufwand der Behandlung aber nicht. Die Aufnahme von rohen Wicken belief sich auf nur 5,7 % des Gesamtfutterverbrauchs. Da sich der Futteraufwand aber nicht von der Kontrollgruppe unterschied und bei dieser Variante der Aufwand der Behandlung entfällt, erscheint eine genauere Betrachtung des Einsatzes roher Saatwickenkörner in Rationen für Masthühner angebracht.

Tabelle 17 Tierwohlbewertung im Fütterungsversuch 2017, % der betrachteten Masthühner mit der jeweiligen Boniturnote (0 = kein Befund, 1 = leichte Veränderung, 2 = starke Veränderung, 3 = komplette Verschmutzung) in Lebenswoche 10 und nach der Schlachtung

	Boniturnote				P-Wert
	0	1	2	3	
Lebenswoche 10					
Kammverletzungen					
Kontrolle	72,5	22,5	5,0		0,910
Rohe Wicken	70,0	20,0	10,0		
Gekeimte Wicken	67,5	22,5	10,0		
Silierte Wicken	65,0	22,5	12,5		
Gefiederverschmutzung					
Kontrolle	38,7	20,8	22,7	25,0	0,215
Rohe Wicken	22,6	29,9	18,2	25,0	
Gekeimt Wicken	16,1	19,5	43,2	12,5	
Silierte Wicken	22,6	29,9	15,9	37,5	
nach der Schlachtung					
Fersenhockerläsionen					
Kontrolle	97,5	2,50	0,0		0,994
Rohe Wicken	100,0	0,0	0,0		
Gekeimte Wicken	97,4	2,56	0,0		
Silierte Wicken	100,0	0,0	0,0		
Pododermatitis					
Kontrolle	60,0	30,0	10,0		0,074
Rohe Wicken	70,0	27,5	2,50		
Gekeimte Wicken	64,1	28,2	7,69		
Silierte Wicken	85,0	10,0	5,0		
Brustblasen					
	NEIN	JA			
Kontrolle	87,5	12,5			0,111
Rohe Wicken	95,0	5,0			
Gekeimte Wicken	97,4	2,1			
Silierte Wicken	97,5	2,5			

4.1.2 Fütterungsversuch Masthühner 2018

Basierend auf den Ergebnissen des Fütterungsversuchs mit Masthühnern 2017 erschien eine detaillierte Betrachtung des Einsatzes von rohen Saatwickenkörnern der Sorte Slovena (kurz: Wicken) in Rationen für Masthühner angebracht. Die Literatur zur Verfütterung roher Wicken berichtet von negativen Folgen auf Gesundheit und Leistung von Masthühnern bei Rationsanteilen von 30 %, während ein Anteil von 10 % keine unerwünschten Folgen zeigte (Details siehe Kapitel 2). Im Fütterungsversuch 2018 wurden rohe Wicken in Rationsanteilen von 7,5, 10,0 und 12,5 % eingesetzt, wobei die Wicken in die pelletierte Futtermischung eingemischt waren und daher nicht vermieden werden konnten.

Futtermittelinhaltsstoffe

In Tabelle 18 sind die analysierten Nährstoffgehalte der Rationen dargestellt.

Tabelle 18 Gehalte an Nährstoffen und antinutritiven Faktoren in der Kontrollration und den Versuchsrationen mit 7,5, 10,0 und 12,5 % Wicken im Fütterungsversuch mit Masthühnern 2018, g kg⁻¹ Trockenmasse, sofern nicht anders angegeben

	Mastphase 1				Mastphase 2			
	Kontrolle	Anteil Wicke, %			Kontrolle	Anteil Wicke, %		
		7,5	10,0	12,5		7,5	10,0	12,5
Rohprotein	229	233	241	239	216	221	222	220
Lysin	12,3	12,3	12,5	12,3	12,2	12,1	12,4	12,3
Methionin	3,2	3,7	3,7	3,7	3,1	3,3	3,4	3,2
Cystein	3,9	4,4	4,5	4,5	4,0	4,1	4,2	3,9
Threonin	8,6	8,5	8,9	8,6	8,2	8,1	8,3	8,3
Rohfett	43,7	46,0	46,0	45,3	39,8	50,5	47,0	48,2
Rohfaser	45,1	45,0	44,7	45,1	45,8	43,4	3,88	41,7
Stärke	425	415	401	411	449	437	448	452
Zucker	57,9	54,4	52,2	51,3	50,3	49,4	47,3	49,4
Calcium	10,5	10,6	10,7	11,0	10,9	10,4	10,6	11,2
Phosphor	10,1	10,2	6,0	8,3	7,3	7,3	7,2	7,5
Energie, MJ AME _N ¹	12,9	12,8	12,7	12,8	12,9	13,1	13,2	13,3
Vicin	0,06	0,46	0,62	0,74	0,2	0,47	0,61	0,71
Convicin	0,02	0,06	0,08	0,09	0,06	0,07	0,08	0,09
β-Cyanoalanin	0,006	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
γ-Glutamyl-β-Cyanoalanin	0,03	0,32	0,53	0,59	0,03	0,30	0,46	0,57
Tannine	0,10	0,21	0,19	0,19	0,14	0,18	0,18	0,20

¹AME_N: N-korrigierte, scheinbare, Umsetzbare Energie, berechnet nach WPSA (1984)

Futtermverbrauch

Der Rationsanteil an rohen Wicken hatte keinen Einfluss auf den Futtermverbrauch der Masthühner, siehe Tabelle 19 ($P > 0,05$).

Tabelle 19 Futtermverbrauch, Tageszunahmen und Futteraufwand (LS-Means) der Masthühner ($n = 640$) in Abhängigkeit der Fütterungsvariante im Fütterungsversuch 2018 (Kontrolle vs. 7,5, 10,0 oder 12,5 % Rationsanteil rohe Wicken)

	Wicken, Rationsanteil				SEM ¹
	Kontrolle	7,5 %	10 %	12,5 %	
Futtermverbrauch, g Tier⁻¹ Tag⁻¹					
Mastphase 1	99	98	97	90	2,9
Mastphase 2	147	151	148	151	2,5
Versuchszeitraum	123	124	123	121	1,9
Futteraufwand, kg Futter kg⁻¹ Zuwachs					
Mastphase 1	2,1	2,0	2,0	1,7	1,7-2,1
Mastphase 2	2,6	2,5	2,6	2,5	1,0
Versuchszeitraum	2,3	2,2	2,3	2,1	1,0
Tageszunahmen, g					
Mastphase 1	47,2	47,2	49,9	51,4	1,4
Mastphase 2	54,8	57,1	56,4	56,1	1,1
Versuchszeitraum	51,0	52,2	53,1	53,7	1,0

¹Standardfehler

Mastleistung

Weder zu Beginn der ersten (29. Lebenstag) noch der zweiten Mastphase (50. Lebenstag) zeigten sich Unterschiede in der Lebendmasse der Masthühner in Abhängigkeit von der Fütterungsvariante (Tag 29: Kontrolle = 641 g, 7,5 % Wicke = 651 g, 10,0 % Wicke = 643 g, 12,5 % Wicke = 650 g, $P \geq 0,05$; Tag 50: Kontrolle = 1639 g, 7,5 % Wicke = 1669 g, 10,0 % Wicke = 1705 g, 12,5 % Wicke = 1743 g, $P \geq 0,05$). Dementsprechend wurden auch die Tageszunahmen vom Schlupf bis zur Schlachtung nicht von der Fütterungsvariante beeinflusst (Kontrolle = 39,2 g, 7,5 % = 40,3 g, 10,0 % = 40,9 g, 12,5 % = 40,9 g, $P \geq 0,05$). Das allgemeine Niveau der Tageszunahmen war dabei sehr ähnlich zu dem des Fütterungsversuchs 2017, und entsprach dem genetischen Leistungspotential der Herkunft.

Auf die Tageszunahmen während der ersten und zweiten Mastphase und im gesamten Versuchszeitraum sowie im daraus abgeleiteten Futteraufwand wurde ebenfalls kein Effekt der Fütterung gefunden

($P \geq 0,05$, Tabelle 19). Dies lässt den Schluss zu, dass ein Rationsanteil von 12,5 % Saatwickenkörnern während der Mastphase von Masthühnern ohne negative Effekte auf das Wachstum der Tiere möglich ist. Der höchste getestete Rationsanteil von 12,5 % lag dabei etwas höher als die Empfehlung, in Masthuhnrationen höchstens 10 % Saatwickenkörner einzusetzen, die Huang et al. (2017) in Zusammenfassung der vorhandenen Studien zur Verfütterung von rohen Saatwickenkörnern an Masthühner nennt. Grundlage für diese Empfehlung sind die Arbeiten von Darre et al. (1998), Saki et al. (2008) und Sadeghi et al. (2011), von denen nur Darre et al. (1998) eine zumindest ungefähre Angabe zur eingesetzten Wickensorte macht („Varieties were thought to be related to Willamette.“ Darre et al. 1998, p. 4675), während in den anderen Arbeiten keine Informationen zur Wickensorte enthalten sind. Sortenunterschiede sind daher nicht auszuschließen.

Schlachtleistung

Von den in Tabelle 20 dargestellten Parametern der Schlachtleistung hatte die Fütterung einzig auf das Gewicht der Keulen signifikanten Einfluss ($P = 0,041$), mit höheren Werten in der Gruppe mit 10,0 % Wicken in der Ration als in der Kontrollgruppe (siehe Tabelle 20). Dieser signifikante Unterschied lässt sich durch das numerisch höhere Schlachtkörpergewicht in der Gruppe mit 10,0 % Wicken erklären.

Tabelle 20 Parameter der Schlachtleistung (LS-Means) der Masthühner in Abhängigkeit der Fütterungsvariante im Fütterungsversuch 2018 (Kontrolle vs. 7,5, 10,0, 12,5 % Rationsanteil rohe Wicken)

Schlachtparameter	Wicken, Rationsanteil				SEM ¹	n
	Kontrolle	7,5 %	10,0 %	12,5 %		
Mastendgewicht, g	2786	2864	2903	2903	38,6	640
Schlachtkörper, g	1833	1882	1914	1911	27,5	640
Ausschlachtung, %	65,6	65,7	65,9	65,8	0,34	640
Brustfilet, g	454	478	500	484	12,3-12,5	80
Brustfilet, %	25,1	25,2	25,6	25,5	0,34	80
Keulen, g	630 ^a	658 ^{ab}	673 ^b	657 ^{ab}	9,9-10,1	80
Keulen, %	34,9	34,6	34,3	34,5	0,21	80

¹Standardfehler; ^{a,b}LSMeans ohne gemeinsamen Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede innerhalb der Zeilen hin ($P < 0,05$)

Tierwohlbewertung

Die Bonitur der Masthühner in der 10. Lebenswoche ergab nur für den Parameter der Gefiederverschmutzung einen signifikanten Effekt der Fütterung ($P < 0,001$, Tabelle 21).

Tabelle 21 Tierwohlbewertung im Fütterungsversuch 2018, % der betrachteten Masthühner mit der jeweiligen Boniturnote (0 = kein Befund, 1 = leichte Veränderung, 2 = starke Veränderung, 3 = komplette Verschmutzung) in Lebenswoche 10 und nach der Schlachtung

	Boniturnote				P-Wert
	0	1	2	3	
Lebenswoche 10					
Kammverletzungen					
Kontrolle	51,9	35,0	13,1		
7,5 % Wicken	46,9	32,5	20,6		0,496
10,0 % Wicken	52,2	28,9	18,9		
12,5 % Wicken	44,0	34,6	21,4		
Gefiederverschmutzung					
Kontrolle	26,4	54,4	19,4	0,0	
7,5 % Wicken	20,0	58,1	17,5	4,4	<0,001
10,0 % Wicken	4,4	57,0	32,3	6,3	
12,5 % Wicken	12,0	50,3	32,3	6,3	
nach der Schlachtung					
Fersenhockerläsionen					
Kontrolle	95,9	4,1	0,0		
7,5 % Wicken	94,7	5,3	0,0		0,354
10,0 % Wicken	90,9	9,1	0,0		
12,5 % Wicken	93,2	6,1	0,7		
Pododermatitis					
Kontrolle	87,5	9,4	3,1		
7,5 % Wicken	94,4	3,8	1,9		0,224
10,0 % Wicken	91,8	8,2	0,0		
12,5 % Wicken	90,6	8,8	0,6		
Brustblasen					
	NEIN	JA			
Kontrolle	85,0	15,0			
7,5 % Wicken	82,5	17,5			0,106
10,0 % Wicken	90,5	9,5			
12,5 % Wicken	79,3	20,8			

In allen Gruppen wurde mit 50,3-58,1 % bei den meisten Tieren eine „leichte Veränderung“ dokumentiert. Jedoch war der Anteil der Tiere mit „starke Veränderung“ (32,3 %) und „komplette Verschmutzung“ (6,3 %) bei den Tieren, die 10,0 oder 12,5 % Wicken in der Ration hatten, höher als bei den Tieren die keine oder 7,5 % Wicken bekamen. Dies könnte auf eine Veränderung der Kotkonsistenz durch den höheren Rationsanteil der Wicke zurückzuführen sein, die sich allerdings nicht auf die mit nach der Schlachtung erhobenen Parameter Fersenhöckerläsionen, Pododermatitis und Brustblasen auswirkte ($P > 0,05$). Bei diesen Parametern wurde beim größten Anteil der Tiere „kein Befund“, bzw. bei den Brustblasen ein „Nein“ dokumentiert (Fersenhöckerläsionen: 90,0-95,9 %; Pododermatitis: 87,5-94,4 %; Brustblasen: 79,3-90,5 %). Auf die, noch am lebenden Tier erhobenen, Kammverletzungen hatte die Fütterung ebenfalls keinen Einfluss ($P > 0,05$). In allen Fütterungsgruppen wurde überwiegend (44,0-52,2 %) „kein Befund“ dokumentiert und am wenigsten (13,1-21,4 %) eine „starke Veränderung“ erfasst.

Zusammenfassend lässt sich in Beantwortung von Fragestellung 3 („Führen unterschiedliche Rationsanteile von rohen Saatwickenkörnern zu unterschiedlichen tierischen Leistungen beim Masthuhn?“) festhalten, dass rohe Körner der Saatwickensorte Slovena in Rationsanteilen bis 12,5 % ohne negative Effekte auf die tierischen Leistungen von Masthühnern eingesetzt werden konnten.

4.1.3 Fütterungsversuch Legehennen

Der Fütterungsversuch mit Legehennen wurde in zwei Durchgängen 2017 und 2019 durchgeführt und hatte den Vergleich von rohen, gekeimten und silierten Saatwickenkörnern der Sorte Slovena (kurz: Wicken) als eiweißreiche Futterkomponente zum Inhalt. Ebenso wie im Fütterungsversuch mit Masthühnern 2017 wurden die Wicken separat vorgelegt, um den Tieren eine Verweigerung zu ermöglichen. Die Wicken wurden von der 20. bis zur 36. Lebenswoche täglich frisch angeboten.

Futtermittelinhaltsstoffe

In Tabelle 22 sind die analysierten Nährstoffgehalte der wickenfreien Kontrollration sowie des ergänzend zu den separat vorgelegten Wicken verfütterten Ergänzers dargestellt.

Tabelle 22 Nährstoffgehalte der Kontrollration und des zu den separat gefütterten Wicken vorgelegten Ergänzers im Fütterungsversuch mit Legehennen, g kg⁻¹ Trockenmasse, sofern nicht anders angegeben

	Kontrolle	Ergänzer
Rohprotein	228	233
Lysin	11,5	11,3
Methionin	3,9	4,3
Cystein	4,4	4,6
Threonin	8,5	8,9
Rohfett	49,2	48,3
Rohfaser	61,2	69,0
Stärke	356	316
Zucker	57,2	55,6
Calcium	20,0	24,0
Phosphor	8,7	9,5
Energie, MJ AME _N ¹	11,9	11,3

¹AME_N: N-korrigierte, scheinbare, Umsetzbare Energie, berechnet nach WPSA (1984)

Futtermittelverbrauch

Wie in Tabelle 23 dargestellt, hatte die Fütterung der verschiedenen Wickenvarianten keinen Einfluss auf den Verbrauch der pelletierten Futtermischung (Kontrolle bzw. Ergänzer, P > 0,05). 2017 lag der Verbrauch der Futtermischung mit 99 g Tier⁻¹ Tag⁻¹ über dem Verbrauch 2019 mit 91 g Tier⁻¹ Tag⁻¹ (P = 0,006). Dieser Unterschied lässt sich durch die Jahreszeiten erklären, in denen die Durchgänge stattfanden: Während der Durchgang 2017 in den Herbst und Winter fiel (September-Dezember), lag der Durchgang 2019 im Frühling und Sommer (April-August). Entsprechend unterschiedlich war der Zustand des Grünauslaufs, der 2017 nach dem Ende der Vegetationsperiode kein frisches Grünfutter

mehr bot, während 2019 durch eine vorteilhafte Verteilung der Niederschläge und gute Weidepflege durchgehend frischer Aufwuchs zur Verfügung stand und von den Hennen, nach subjektiver Beobachtung des Betreuungspersonals, sehr aktiv beweidet wurde. Die Futteraufnahme von Legehennen im Grünauslauf wird von Horsted et al. (2006) und Antell und Ciszuk (2006) auf 10-35 g TM Tag⁻¹ geschätzt, wobei die in unserem Versuch gefundene Differenz im Futterverbrauch von 9 g zwischen den beiden Durchgängen fast der unteren Grenze des angegebenen Bereichs entspricht. Daher ist davon auszugehen, dass die Differenz auf die 2019 höhere Aufnahme von Grünfutter im Auslauf zurückzuführen ist.

Tabelle 23 Futterverbrauch, Lebendmasse und Legeleistung (LS-Means) der Legehennen im Versuchszeitraum (Lebenswoche 20-36) in Abhängigkeit der Fütterungsvariante (Kontrolle vs. rohe, gekeimte oder silierte Wicken) und des Durchgangs (2017, 2019)

	Saatwicken, Behandlung				SEM ¹	Durchgang		
	Kontrolle	roh	gekeimt	siliert		2017	2019	SEM ¹
Futterverbrauch, g TM Tier⁻¹ Tag⁻¹								
Futtermischung	99	95	91	94	2,7	99 ^b	91 ^a	1,9
Wicken	-	4,9 ^a	9,5 ^b	8,8 ^b	0,3	7,5	7,9	0,4
Weizen	9,9	9,9	10,0	9,9	0,1	9,8	10,0	0,1
Gesamt	109	108	111	113	2,5	115 ^b	106 ^a	1,8
Lebendmasse, g								
Lebenswoche 20	1602	1592	1589	1574	16	1517 ^a	1661 ^b	11
Lebenswoche 28	1984	1990	1954	1980	16-17	2031 ^b	1922 ^a	11-12
Lebenswoche 36	2070	2066	2050	2050	17-18	2133 ^b	1984 ^a	12-13
Legeleistung								
Legeleistung, %	77	79	79	77	0,9	76 ^a	80 ^b	0,6-0,7
Eimasse, g Tier ⁻¹ Tag ⁻¹	48,7	48,3	48,9	47,0	0,9	49,1	47,4	0,5-0,7
Futteraufwand, kg Fut- ter kg ⁻¹ Eimasse	4,3 ^a	4,8 ^a	4,8 ^{ab}	6,0 ^{bc}	0,3	5,2	4,8	0,2-0,3

¹Standardfehler; ^{a,b} LS-Means ohne gemeinsamen Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede innerhalb der Zeilen hin (P < 0,05)

Beim Verbrauch der vorgelegten Wicken sowie deren Anteil am Gesamtfutterverbrauch zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Fütterungsvarianten (P = 0,001, Abbildung 3). Die gekeimten Wicken wurden mit 9,5 g Tier⁻¹ Tag⁻¹ und einem Anteil von 9 % am Gesamtfutterverbrauch am besten von den Hennen angenommen, gefolgt von den silierten Wicken mit einem Verbrauch von 8,8 g Tier⁻¹

Tag⁻¹ und einem Anteil am Gesamtfuttermittelverbrauch von 7,9 %. Von den rohen Wicken wurde mit 4,9 g Tier⁻¹ Tag⁻¹ bzw. einem Anteil von 4,6 % am wenigsten verbraucht. Die vorgelegte Weizenmenge sollte 10 % des Gesamtfuttermittelverbrauchs betragen und wurde wöchentlich angepasst, daher unterschieden sich die verbrauchten Mengen nicht ($P > 0,05$). Trotz der Unterschiede in den verbrauchten Wickenmengen war kein Effekt der Fütterung auf den Gesamtfuttermittelverbrauch zu erkennen ($P > 0,05$). Der bereits für den Verbrauch an pelletiertem Legehennenfutter beschriebene Durchgangseffekt zeigte sich auch für den Gesamtfuttermittelverbrauch ($P = 0,005$), mit einem signifikant höheren Gesamtfuttermittelverbrauch 2017 (115 g Tier⁻¹ Tag⁻¹) als 2019 (106 g Tier⁻¹ Tag⁻¹).

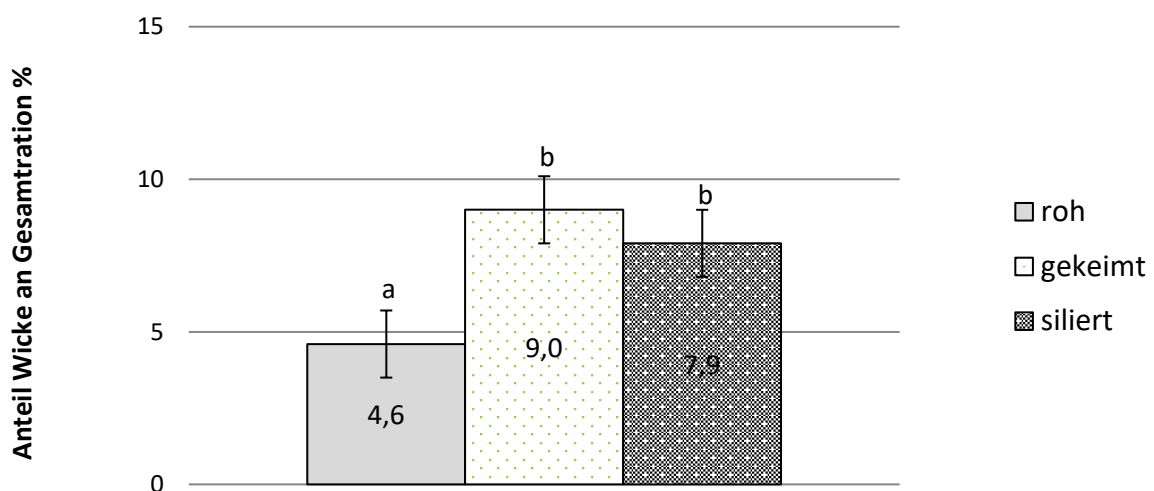


Abbildung 3 Verbrauchte Menge von rohen, gekeimten und silierten Wicken im Fütterungsversuch mit Legehennen, anteilig am Gesamtfuttermittelverbrauch

Lebendmasse und Legeleistung

Die Erfassung der Lebendmasse erfolgte im Alter von 20, 28 und 36 Wochen. Zu keinem dieser Zeitpunkte zeigte sich ein Einfluss der Fütterung auf die Lebendmasse der Hennen ($P > 0,05$, Tabelle 23). Auch bezüglich der Legeleistung, der Eimasse sowie der Anteile an S, M, L und XL Eiern über den gesamten Versuchszeitraum von Lebenswoche 20-36 wurden keine Unterschiede zwischen den Gruppen gefunden ($P > 0,05$). Der aus der Eimasse und dem Gesamtfuttermittelverbrauch berechnete Futteraufwand hingegen unterschied sich signifikant zwischen den Fütterungsgruppen ($P = 0,008$), mit dem höchsten Wert von 6,0 in der Gruppe mit den silierten Wicken.

Der Legebeginn der Hennen 2017 erfolgte aufgrund geringer Lebendmasse zum Versuchsbeginn etwas verzögert (Tabelle 23), deshalb wurden die Leistungsparameter ergänzend auch ab Lebenswoche 22 berechnet, wo alle Versuchsgruppen eine Legeleistung von mindestens 50 % erreicht hatten. Für den Zeitraum Lebenswoche 22-36 berechnet, lag die durchschnittliche Legeleistung bei 86-89 % und der

Futtermittelverbrauch bei 2,2-2,5 und es bestanden keine Unterschiede zwischen den Fütterungsvarianten (Tabelle 24). Im Durchgang 2017 ergab sich jedoch nach wie vor ein höherer Futtermittelverbrauch als im Durchgang 2019 (2017: 2,5, 2019: 2,1, $P = 0,008$), welcher sich durch die im Vergleich zu 2019 niedrigere Legeleistung und den höheren Energiebedarf der Hennen für Wachstum erklären lässt.

Tabelle 24 Futtermittelverbrauch und Legeleistung (LS-Means) der Legehennen im Zeitraum Lebenswoche 22-36 in Abhängigkeit der Fütterungsvariante (Kontrolle vs. rohe, gekeimte oder silierte Wicken) und des Durchgangs (2017, 2019)

	Saatwicken, Behandlung				SEM ¹	Durchgang		SEM ¹
	Kontrolle	roh	gekeimt	siliert		2017	2019	
Futtermittelverbrauch, g TM Tier⁻¹ Tag⁻¹								
Gesamt	109	108	111	113	2,5	115 ^a	106 ^b	1,8
Legeleistung								
Legeleistung, %	87	88	89	86	1,0	86 ^b	89 ^a	0,7
Eimasse, g Tier ⁻¹ Tag ⁻¹	54,5	54,2	55,0	52,7	1,1	55,0	53,3	0,7-0,9
Futtermittelverbrauch, kg Fut- ter kg ⁻¹ Eimasse	2,2	2,3	2,3	2,5	0,1	2,5 ^a	2,1 ^b	0,1

¹Standardfehler; ^{a,b}LSMeans ohne gemeinsamen Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede innerhalb der Zeilen hin ($P < 0,05$)

Zur Verfütterung von rohen Saatwickenkörnern an Legehennen existieren einige Berichte, die darin übereinstimmen, dass nur geringe Rationsanteile roher Wicken ohne negative Effekte auf die Leistung und Gesundheit von Legehennen eingesetzt werden können. Konkret nennen Farran et al. (1995) 15 % als Einsatzgrenze, während Fernández-Figares et al. (1995) schon bei 10 % rohen Wicken in der Ration negative Effekte auf Futtermittelaufnahme und Legeleistung fanden. Ein möglicher Grund für die unterschiedlichen Empfehlungen könnten dabei Sortenunterschiede der eingesetzten Wicken sein, Angaben zur Sorte fehlen in der Literatur aber durchweg. Der in unserer Untersuchung bei freiwilliger Aufnahme realisierte Rationsanteil von 4,6 % rohen Wicken liegt deutlich unter den genannten Einsatzgrenzen, das Ausbleiben von Effekten der Verfütterung von rohen Wicken steht daher im Einklang mit den oben genannten Berichten. Hinsichtlich der Behandlung von Wicken vor der Verfütterung berichten Farran et al. (1995) von eingeweichten, autoklavierten und nach dem Einweichen autoklavierten Wicken, Farran et al. (2001) von in Wasser und 1 %iger Essigsäure eingeweichten Wicken, und Kaya et al. (2011) vom Einsatz eingeweichter und nach dem Einweichen gekochter Wicken. Gemeinsam ist diesen Berichten die Anwendung eines Einweichens in Wasser, welches in allen getesteten Varianten zu einer

Verbesserung des Futtermittelfressens und der Legeleistung im Vergleich zu Rationen mit rohen Wicken führte, bei Rationsanteilen von 25 (Farran et al. 1995, Kaya et al. 2011) bzw. 60 % (Farran et al. 2011). Unser Projekt ist nach unserem Kenntnisstand das erste, in dem die Behandlungen Keimung und Silierung getestet wurden, welche bei freiwilliger Aufnahme von 9,0 bzw. 7,9 % gekeimten bzw. silierten Wicken nicht zu Unterschieden im Gesamtfuttermittelfressen und in der Legeleistung führte. Diese Beobachtung lässt sich vermutlich auf den vergleichsweise geringen Rationsanteil der Wicken zurückführen. Bedeutsamer scheint hier das Fehlen eines Unterschieds zur wickenfreien Kontrollration, welches wiederum mit Berichten von Kaya et al. (2011) zum Vergleich von Rationen mit 25 % eingeweichten bzw. nach dem Einweichen gekochten übereinstimmt.

Eiqualität

Die Erhebung der Eiqualitäts-Parameter Gesamtgewicht, Gewicht und Anteil von Eischale, Eiklar, Dotter und Dotterfarbe ergab keinen Einfluss der Fütterung ($P > 0,05$, Tabelle 25). Ausgenommen vom Anteil der Eischale und der Dotterfarbe zeigte sich aber auch hier ein Einfluss des Durchgangs ($P < 0,001$).

Tabelle 25 Größenverteilung der Eier (S, M, L, XL) sowie Eiqualität im Durchschnitt des Versuchszeitraums (Lebenswoche 20-36) in Abhängigkeit der Fütterungsvariante (Kontrolle vs. rohe, gekeimte oder silierte Wicken) und des Durchgangs (2017, 2019)

	Saatwicken, Behandlung				SEM ¹	Durchgang		SEM ¹
	Kontrolle	roh	gekeimt	siliert		2017	2019	
Größenverteilung der Eier, %								
S	17,2	21,7	21,4	23,9	1,9	18,0 ^a	24,2 ^b	1,4
M	39,2	43,9	42,4	41,7	2,0	32,7 ^a	51,0 ^b	1,4
L	38,5	28,1	30,8	28,9	2,8	40,5 ^b	22,7 ^a	2,0
XL	5,0	6,2	5,3	5,5	0,7	8,8 ^b	2,2 ^a	0,5
Eizusammensetzung								
Eigewicht, g	63,8	62,4	62,7	62,6	0,8	65,6	60,2	0,5-0,6
Eischale, g	7,7	7,6	7,5	7,6	0,1	8,2 ^b	7,0 ^a	0,1
Eischale, %	12,0	12,3	12,0	12,0	0,1	12,4 ^b	11,7 ^a	0,1
Eiklar, g	39,8	38,4	39,1	38,6	0,5	40,3 ^b	37,7 ^a	0,4
Eiklar, %	62,4	61,7	62,3	62,0	0,3	61,4 ^a	62,8 ^b	0,2
Dotter, g	16,4	16,3	16,1	16,3	0,3	17,2 ^b	15,4 ^a	0,2
Dotter, %	25,6	26,1	25,7	26,0	0,3	26,1 ^b	25,5 ^a	0,2
Dotterfarbe ²	8,5	8,7	8,7	8,6	0,3	8,3 ^b	7,0 ^a	0,1

¹Standardfehler; ²auf einer Skala von 1-15; ^{a,b}LSMeans ohne gemeinsamen Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede innerhalb der Zeilen hin ($P < 0,05$)

Tierwohlbewertung

In beiden Durchgängen zeigte sich bei keinem der erfassten Tierwohlparameter (Kammverletzung, Verschmutzung von Bauch und Rücken, Fußballenläsionen) ein Einfluss der Fütterung ($P > 0,05$, Tabelle 26). Die Mehrheit der Hennen wurde bezüglich der ausgewählten Parameter mit „ohne Befund“ bewertet. Lediglich bei der Bewertung der Kammverletzungen zeigten sich im ersten Durchgang in den Gruppen „Kontrolle“, „Rohe Wicken“ und „Gekeimte Wicken“ höhere Anteile an Tieren mit „leichten Veränderungen“ als in der Gruppe mit den silierten Wicken.

Tabelle 26 Tierwohlbewertung im Fütterungsversuch, % der Legehennen mit der jeweiligen Boniturnote (0 = kein Befund, 1 = leichte Veränderung, 2 = starke Veränderung) im Durchgang 2017 und 2019

	Boniturnote 2017			P-Wert	Boniturnote 2019			P-Wert
	0	1	2		0	1	2	
Kammverletzung								
Kontrolle	37,8	51,4	10,8		75,7	24,3	0,0	
Rohe Wicken	24,3	62,2	13,5	0,095	62,9	37,1	0,0	0,340
Gekeimte Wicken	10,5	76,3	13,2		84,0	16,0	0,0	
Silierte Wicken	43,2	40,5	16,2		72,2	27,8	0,0	
Verschmutzung-Rücken								
Kontrolle	97,3	2,7	0,0		97,3	2,7	0,0	
Rohe Wicken	94,6	5,4	0,0	0,596	100,0	0,0	0,0	1,000
Gekeimte Wicken	89,5	10,5	0,0		96,0	4,0	0,0	
Silierte Wicken	94,6	2,7	2,7		100,0	0,0	0,0	
Verschmutzung-Bauch								
Kontrolle	78,4	21,6	0,0		97,3	2,7	0,0	
Rohe Wicken	94,6	5,4	0,0	0,221	100,0	0,0	0,0	1,000
Gekeimte Wicken	89,5	10,5	0,0		100,0	0,0	0,0	
Silierte Wicken	89,2	10,8	0,0		100,0	0,0	0,0	
Fußballenläsionen								
Kontrolle	100,0	0,0	0,0		83,8	16,2	0,0	
Rohe Wicken	100,0	0,0	0,0	1,000	88,6	11,4	0,0	0,123
Gekeimte Wicken	97,4	2,6	0,0		68,0	28,0	4,0	
Silierte Wicken	100,0	0,0	0,0		69,4	30,6	0,0	

Zusammenfassend lässt sich Fragestellung 1 („Welchen Effekt hat der Einsatz von rohen und unterschiedlich behandelten Saatwickenkörnern der Sorte Slovena auf die tierischen Leistungen von Legehennen?“) damit beantworten, dass bei einer freiwilligen Aufnahme von 4,6 % rohen, 7,9 % silierten oder 9,0 % gekeimten Wicken keine negativen Effekte auf den Futterverbrauch, die Legeleistung und das Tierwohl der Legehennen gefunden wurden. Dabei bestand hinsichtlich der tierischen Leistungen kein Unterschied zwischen dem Effekt der Keimung und dem der Silierung (Fragestellung 2).

4.1.4 Fütterungsversuch Vormastschweine

Der Fütterungsversuch mit Vormastschweinen wurde in drei Durchgängen in den Jahren 2017, 2018 und 2019 durchgeführt und hatte den Vergleich von rohen, gekeimten und silierten Saatwickenkörnern der Sorte Slovena (kurz: Wicken) als eiweißreiche Futterkomponente zum Inhalt. Ebenso wie in den Fütterungsversuchen mit Masthühnern 2017 und mit Legehennen wurden auch bei den Vormastschweinen die Wicken separat vorgelegt, um den Tieren eine Verweigerung zu ermöglichen. Die Wicken wurden im Zeitraum der Vormast, welche dem Lebendmasseabschnitt von durchschnittlich 28-50 kg und einer Dauer von etwa 5 Wochen entspricht, täglich frisch angeboten.

Futtermittelinhaltsstoffe

In Tabelle 27 sind die Nährstoffgehalte der Futtermischungen dargestellt, die im Fütterungsversuch mit Vormastschweinen zum Einsatz kamen.

Tabelle 27 Nährstoffgehalte der Kontrollration und des zu den separat gefütterten Wicken vorgelegten Ergänzers im Fütterungsversuch mit Vormastschweinen, g kg⁻¹ Trockenmasse, sofern nicht anders angegeben

	Kontrolle	Ergänzer
Rohprotein	186	185
Lysin	10,9	9,3
Methionin	2,7	2,9
Cystein	3,4	3,6
Threonin	7,3	7,3
Rohfett	57,0	52,6
Rohfaser	52,0	50,3
Stärke	455	445
Zucker	50,2	49,6
Calcium	10,0	11,0
Phosphor	6,9	7,3
Energie, MJ ME ¹	13,9	14,0

¹ Umsetzbare Energie, berechnet nach GfE (2008)

Futtermittelverbrauch

Der Wickenverbrauch wurde signifikant durch die Behandlung beeinflusst, mit einem höheren Verbrauch an behandelten Wicken (gekeimt, siliert) als von rohen ($P < 0,05$, Tabelle 28). Auch der in Abbildung 4 dargestellte Anteil der verbrauchten Wicken am Gesamtfuttermittelverbrauch zeigte signifikante Unterschiede, wobei der freiwillig realisierte Rationsanteil der silierten und gekeimten Wicken höher als

der der rohen Wicken war ($P < 0,05$), während sich die beiden Behandlungen nicht voneinander unterschieden. Die Vormastschweine zeigten also, ebenso wie die Masthühner 2017 und die Legehennen, eine Präferenz für die behandelten Wicken. Die Reihung der Behandlungen war dabei aber unterschiedlich: Während der freiwillig realisierte Rationsanteil bei den Masthühnern 2017 bei den gekeimten Wicken signifikant am höchsten war, bestand bei den Legehennen kein Unterschied zwischen den Behandlungen, und bei den Vormastschweinen war der Anteil der silierten Wicken signifikant am höchsten. Der Verbrauch der Futtermischung (Kontrolle bzw. Ergänzer) lag bei den Kontrolltieren mit 1,62 kg TM über dem Verbrauch der Tiere, die Wicken vorgelegt bekamen ($P < 0,05$, Tabelle 28). Der Effekt des Durchgangs war hierbei ebenfalls signifikant ($P < 0,05$), wobei die Schweine im zweiten Durchgang weniger Futtermischung verbrauchten als im ersten und dritten Durchgang (Tabelle 28). Unabhängig von der Wickenftterung erhielten alle Vormastschweine täglich 0,09 kg TM Kleegrassilage Tier⁻¹ als Raufutter. Der Gesamtfutterverbrauch als Summe aus Futtermischung, Wicken und Kleegrassilage war im zweiten Durchgang signifikant geringer als im ersten und dritten Durchgang ($P < 0,05$). Ein Effekt der Fütterung war nicht zu beobachten.

Tabelle 28 Futterverbrauch, Tageszunahmen und Futteraufwand (LS-Means) der Vormastschweine (n = 240) in Abhängigkeit der Fütterungsvariante (Kontrolle vs. rohe, gekeimte oder silierte Wicke)

	Saatwicke, Behandlung				SEM ¹	Durchgang			SEM ¹
	Kontrolle	roh	gekeimt	Siliert		1	2	3	
Futterverbrauch, kg TM Tier⁻¹ Tag⁻¹									
Futtermischung	1,62 ^b	1,45 ^a	1,43 ^a	1,41 ^a	0,016	1,51 ^b	1,36 ^a	1,55 ^b	0,014
Wicken	-	0,14 ^a	0,17 ^b	0,19 ^b	0,007	0,17	0,16	0,17	0,007
Kleegrassilage	0,09	0,09	0,09	0,09	-	0,09	0,09	0,09	-
gesamt	1,71	1,68	1,68	1,69	0,014	1,73 ^b	1,57 ^a	1,77 ^b	0,01
Lebendmasse, kg									
Mastbeginn	28,8	29,3	28,4	27,9	0,618	31,2 ^c	25,7 ^a	28,8 ^b	0,535
Ende Vormast	53,4	53,0	52,5	52,9	1,0-1,3	54,2 ^b	54,0 ^b	50,7 ^a	0,9-1,1
Tageszunahmen, g									
Futteraufwand, kg	2,2	2,4	2,4	2,1	0,2	2,2 ^{ab}	2,1 ^a	2,4 ^b	0,1
Futter kg ⁻¹ Zuwachs									

¹Standardfehler; ^{a,b}LSMeans ohne gemeinsamen Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede innerhalb der Zeilen hin ($P < 0,05$)

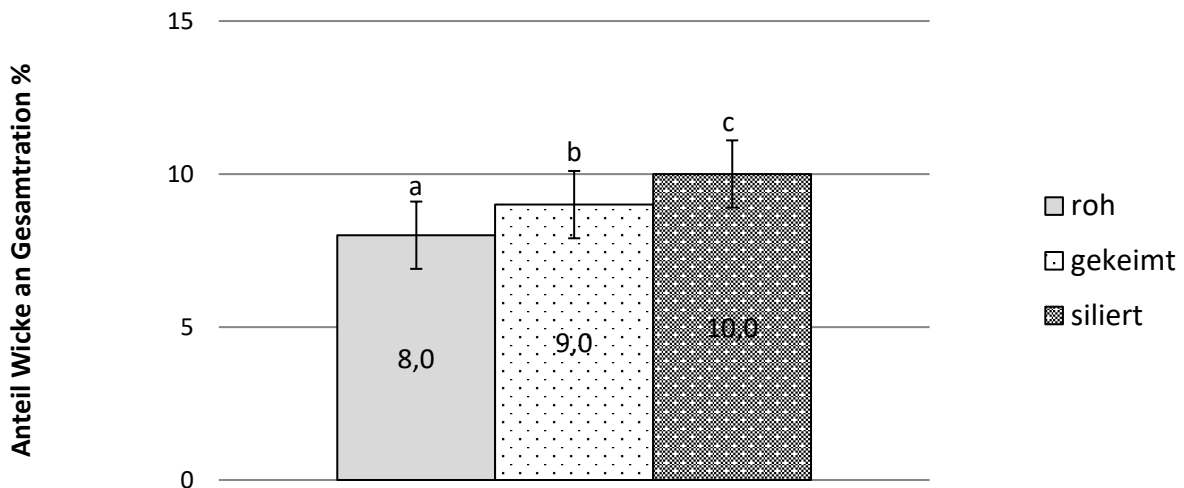


Abbildung 4 Verbrauchte Menge von roher, gekeimter und siliertes Wicke im Fütterungsversuch mit Vormastschweinen, anteilig am Gesamtfutterverbrauch

Mastleistung

Bezüglich der Mastleistung konnten keine Unterschiede zwischen den Fütterungsvarianten festgestellt werden. Die Erfassung der Lebendmasse erfolgte zum Mastbeginn sowie zum Ende der Vormast. Zu beiden Zeitpunkten zeigte sich kein Einfluss der Fütterung auf die Lebendmasse ($P > 0,05$, Tabelle 28). Auch die Berechnung der Tageszunahmen sowie der daraus abgeleitete Futteraufwand zeigten keine Unterschiede zwischen den Fütterungsvarianten ($P > 0,05$) und bewegten sich in einem für den Versuchsbetrieb des Thünen-Instituts für Ökologischen Landbau üblichen Bereich. Lediglich der Durchgang hatte einen Effekt auf den Futteraufwand ($P < 0,05$), wobei dieser im zweiten Durchgang signifikant höher als im dritten war.

In der Literatur zur Fütterung von Wicken werden für Mastschweine höhere Einsatzgrenzen genannt als für Hühner, so empfiehlt etwa Gómez (1983) einen Höchstanteil von 20 % rohen Saatwickenkörnern in Rationen für Mastschweine nicht zu überschreiten. Bei Einsatz von rohen Wicken im kompletten Austausch für Sojaextraktionsschrot fanden Teixeira et al. (1996) keine negativen Effekte auf die Mastleistung von Mastschweinen. In einem Versuchsdesign, welches dem in unserem Projekt ähnelte, fanden Collins et al. (2002) bei Austausch von Erbsen durch Wicken in der Ration von Mastschweinen keine negativen Effekte auf den Futterverbrauch, die Tageszunahmen und den Futteraufwand bis zu einem Rationsanteil von 22,5 % Wicken. Damit übereinstimmend beobachteten auch Seabra et al. (2001) keine negativen Auswirkungen auf die Futteraufnahme von Ferkeln nach dem Absetzen, wenn deren Ration 25 % rohe Saatwickenkörner enthielt. Verglichen damit war die in unserem Versuch erzielte freiwillige Aufnahme von Wicken im Ausmaß von 8-10 % des gesamten Futterverbrauchs niedrig

und das Ausbleiben von Unterschieden in der Mastleistung steht im Einklang mit den oben genannten Berichten.

Zusammenfassend kann Fragestellung 1 („Welchen Effekt hat der Einsatz von rohen und unterschiedlich behandelten Saatwickenkörnern der Sorte Slovena auf die tierischen Leistungen von Vormast-schweinen?“) damit beantwortet werden, dass bei einem Rationsanteil von 8-10 % Wicken kein Einfluss auf die Mastleistung von Schweinen während der Vormast gefunden wurde. Dabei bestand hinsichtlich der tierischen Leistungen kein Unterschied zwischen dem Effekt der Keimung und dem der Silierung (Fragestellung 2).

4.2 Anbau- und Behandlungsversuche

In den Jahren 2017-2019 wurden Parzellenversuche mit fünf Saatwickensorten in Reinsaat sowie im Gemenge mit Sommerweizen und -triticale bzw. -roggen durchgeführt, um Empfehlungen zum Anbau von Saatwicken als Körnerleguminose für die Fütterung monogastrischer Nutztiere ableiten zu können.

4.2.1 Parzellenversuche

4.2.1.1 Korn- und Rohproteinträge

Gesamt- und Teilkornerträge

Die Gesamt- und Teilkornerträge schwankten, aufgrund der sehr unterschiedlichen Witterungsbedingungen, in den drei Versuchsjahren recht deutlich. Aus diesem Grund wurde die Auswertung getrennt für jedes Anbaujahr durchgeführt. Im ersten Versuchsjahr 2017 wurden als Gemengepartner Sommerweizen und Sommerroggen eingesetzt. Die Gesamtkornerträge der Gemenge mit Sommerroggen lagen insgesamt auf einem niedrigeren Niveau als die der Sommerweizen-Gemenge (Abbildung 5). Die Maximalerträge in 2017 (Abbildung 5) erreichten die Gemenge mit der Saatwickensorte Slovena mit 37,1 dt ha⁻¹ und 25,8 dt ha⁻¹ jeweils für Sommerweizen (bei 31,2 % Saatwickenanteil in der Aussaatmischung) und Sommerroggen (bei 61,0 % Saatwickenanteil in der Aussaatmischung).

Die Sommerweizen-Gemenge mit der Sorte Ina erzielten im Jahr 2017 mit 36,0 dt ha⁻¹ höhere Gesamtkornerträge als die jeweiligen Varianten im Sommerroggen-Gemenge (24,8 dt ha⁻¹, Abbildung 5). Der Getreideertrag nahm in 2017 mit zunehmendem Wickenanteil in der Aussaatmischung ab, während der Wickenertrag mit zunehmendem Wickenanteil in der Aussaatmischung zunahm.

In den Gemengen mit Sommerroggen erbrachten die Saatwickensorten Ina und Jaga bei einem Saatwickenanteil in der Aussaatmischung von ca. 66 % die höchsten Gesamtkornerträge mit 24,8 dt ha⁻¹ bzw. 21,7 dt ha⁻¹ im Gemenge (Abbildung 5). Für die Sorte Toplesa konnte aufgrund der hohen Streuung der Ertragsdaten über alle Saatstärken hinweg für das Jahr 2017 keine Schätzung vorgenommen werden. Für die Saatwickensorten Toplesa und Jaga mit Sommerweizen wurde kein Ertragsvorteil der Gemenge in Bezug auf den Gesamtkornertrag verzeichnet. Ebenso waren die Gesamtkornerträge der Sommerroggen sowie -weizen-Gemenge mit Berninova nicht höher als die jeweilige Reinsaat des Getreides.

Der höchste Wickenteilkornertrag in den Sommerroggen-Gemengen wurde mit Saatwickenanteilen um 75 % erreicht. Hierbei wiesen die Saatwicken Jaga und Slovena die höchsten Teilkornerträge mit

jeweils 20,5 dt ha⁻¹ und 21,0 dt ha⁻¹ auf. Die Gemenge mit Sommerweizen zeigten die höchsten Wickenteilkornerträge bei einem Wickenanteil zwischen 60 % und 70 % in der Aussaatmischung, wobei die Sorten Ina und Slovena mit 23,0 dt ha⁻¹ und 23,9 dt ha⁻¹ die höchsten Teilkornerträge erreichen.

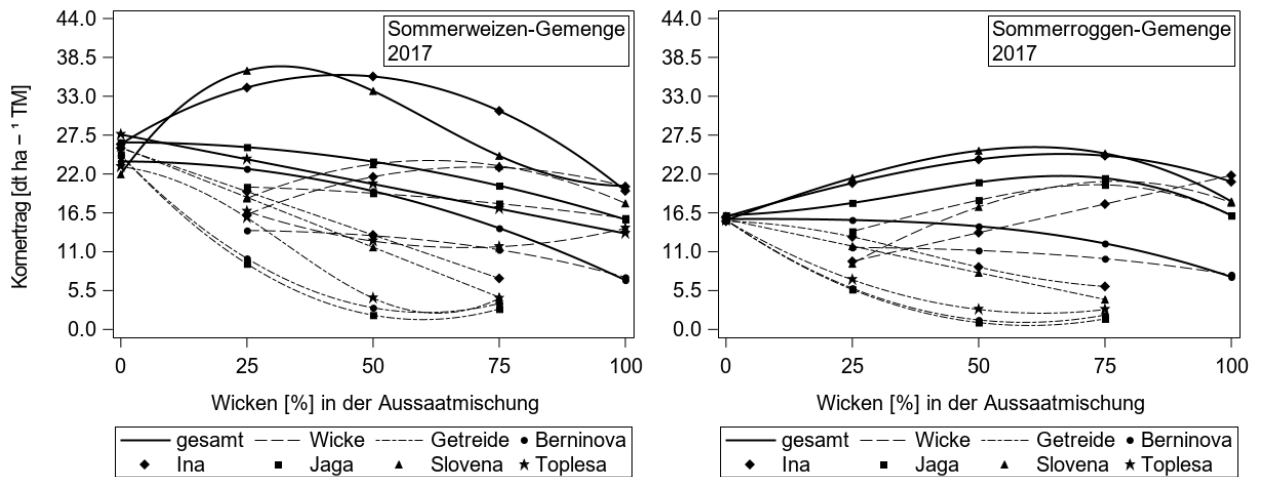


Abbildung 5 Regressionskurven der Gesamtkornerträge sowie der Teilkornerträge der Saatwickensorten und der beiden Gemengepartner im Jahr 2017 ($P < 0,05$). Die Gesamt- und Teilkornerträge für die Sorte Toplesa konnten für die Sommerroggen-Gemenge (rechts) im Jahr 2017 nicht geschätzt werden.

In den Jahren 2018 und 2019 wurde der Sommerroggen, aufgrund seiner relativ hohen Lagerneigung sowie einer zu frühen Abreife durch Sommertriticale, ersetzt. Im Jahr 2018 (Abbildung 6) war das Ertragsniveau bei den Sommerweizen-Gemengen im Vergleich zum Vorjahr (Abbildung 5) etwas geringer. Dabei lagen die Erträge der Sommerweizen- und Sommertriticale-Gemenge auf vergleichbarem Niveau. Die Ertragskurven für die Gesamtkornerträge wiesen einen recht flachen Verlauf ohne stark ausgeprägte Maximalwerte aus. Bei den Gesamtkornerträgen wurden zudem keine Unterschiede zwischen den Saatwickensorten festgestellt, sodass diese zusammen in einer Regression ausgewertet und dargestellt wurden. Die Maximalerträge lagen bei den Gemengen mit Sommerweizen und Sommertriticale auf vergleichbarem Niveau (34,2 dt ha⁻¹ bzw. 34,3 dt ha⁻¹), wobei diese mit unterschiedlichen Wickenanteilen in der Aussaatmischung erzielt wurden. Bei den Sommerweizen-Gemengen lag der Wickenanteil bei 48,4 % und bei den Sommertriticale-Gemengen bei 56,4 % in der Aussaatmischung (Abbildung 6). Die Gemenge wurden im Jahr 2018 durch den Getreidepartner dominiert, welches die geringen Wickenteilkornerträge an den Maximalerträgen erklärt. Die hohen Getreideanteile an den Gesamterträgen waren durch die andauernde Trockenheit bedingt.

Die Gemenge mit Sommerweizen zeigten Sortenunterschiede bei den Wickenteilkornerträgen (Abbildung 6). Die höchsten Wickenerträge konnten hier ebenfalls in den Reinsaaten erreicht werden. Dabei erzielten die Sorten Jaga, Slovena und Toplesa die höchsten Erträge mit jeweils 25 dt ha⁻¹. Bei den

Sommertriticale-Wicken-Gemengen zeigten sich keine Unterschiede für die Teilerträge der geprüften Wickensorten, sodass hier auch eine Regression über alle Wickensorten geschätzt wurde (Abbildung 6). Die höchsten Wickenenerträge von 24,3 dt ha⁻¹ wurden mit den Saatwicken-Reinsaaten erreicht. Die Wicken-Reinsaaten entwickelten sich in 2018 aufgrund der langanhaltenden Trockenheit ohne die Konkurrenz der Triticale gut, sodass höhere Wickenenerträge mit den Wicken-Reinsaaten erzielt wurden als in den Gemengen. Die trockene Witterung mit fehlenden Niederschlagsereignissen führte in diesem Ausnahmejahr auch dazu, dass die Wicken-Reinsaaten standfest genug waren, um mit dem Mähdrescher gut beerntet zu werden.

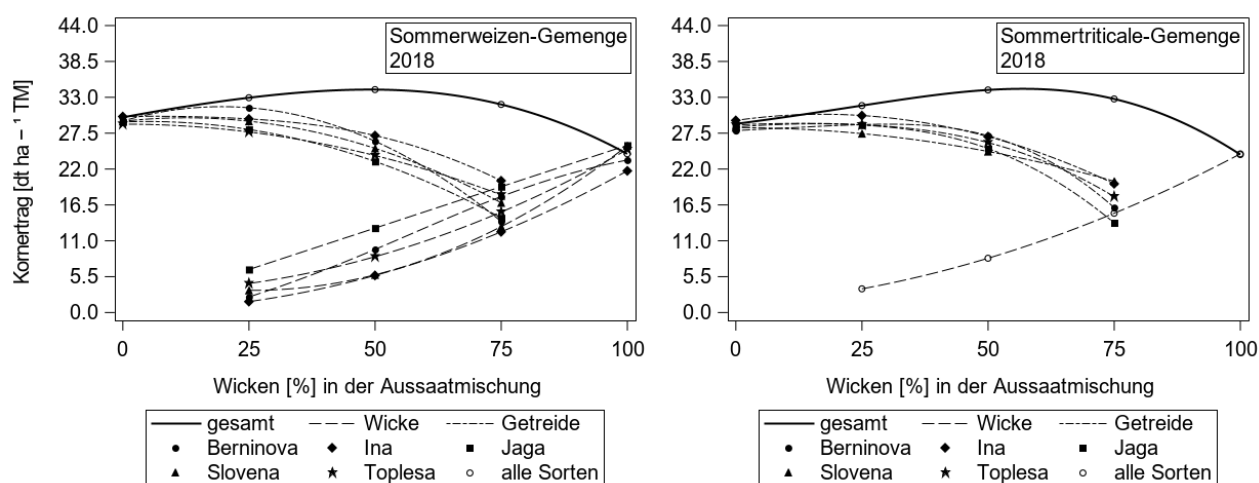


Abbildung 6 Regressionskurven der Gesamtkornerträge sowie der Teilerträge der Saatwickensorten und der beiden Gemengepartner im Jahr 2018 ($P < 0,05$). Für die Gesamtkornerträge für die Sommerweizen (links)- und für die Sommerroggen-Gemenge (rechts) sowie für die Wickenteilerträge in den Sommerroggen-Gemengen (rechts) konnte jeweils eine gemeinsame Regression geschätzt werden.

Im dritten Versuchsjahr 2019 (Abbildung 7) zeigten die Ertragskurven sowohl für die Sommerweizen- als auch für die Sommertriticale-Gemenge oftmals deutlich ausgeprägtere Optimalbereiche, wobei die zu erzielenden Maximalerträge auf einem höheren Niveau lagen im Vergleich zum Jahr 2018. Die Gesamtkornerträge der Sommerweizen-Gemenge mit der Wickensorte Slovena waren zwischen den Jahren 2017 und 2019 nicht signifikant unterschiedlich, sodass für beide Jahre eine Regressionsgleichung geschätzt wurde. Hieraus ergibt sich, dass die Sommerweizen-Gemenge mit Slovena den höchsten Ertrag mit 37,1 dt ha⁻¹ bei einem Anteil der Wicke von 31,2 % in der Aussaatmischung erlangten. Die Gemenge mit den anderen Wickensorten erbrachten Gesamterträge von 26,5 bis 33,8 dt ha⁻¹ bei einem Wickenanteil von 45 bis 55 % in der Aussaatmischung. Die Sommertriticale-Gemenge erzielten Maximalerträge von 36,8 dt ha⁻¹ und 32,0 dt ha⁻¹ für die beiden Saatwickensorten Slovena und Toplesa mit einem Wickenanteil von 33,8 bzw. 32,0 % in der Aussaatmischung. Die übrigen Saatwickensorten

erreichten in diesen Gemengen maximale Gesamtkornerträge von 24,3 dt ha⁻¹ bis 28,5 dt ha⁻¹ mit 47 bis 66 % Wickenanteil in der Aussaatmischung.

Die Wickenteilkornerträge der Gemenge bewegten sich auf einem höheren Niveau als 2018. Grund hierfür waren vor allem die, im Vergleich zu 2018, höheren Niederschläge in der Vegetationsperiode im Jahr 2019.

Die Auswertung der Wickenteilkornerträge in den Sommerweizen-Gemengen zeigte die höchsten Erträge bei der Saatwicke Slovena mit 28,9 dt ha⁻¹ bei einem Wickenanteil von 25 % in der Aussaatmischung, dicht gefolgt von der Sorte Jaga mit 28,2 dt ha⁻¹, allerdings bei einem Wickenanteil von 70,0 % in der Aussaatmischung. Die Saatwicke Ina erreichte in diesen Gemengen die maximalen Teilkornerträge von 22,6 dt ha⁻¹ bei einem sehr hohen Wickenanteil von 97,5 % in der Aussaatmischung.

Die Teilkornerträge der Saatwicke in den Gemengen mit Sommertriticale waren im Jahr 2019 am höchsten für die Sorten Slovena und Toplesa mit 33,4 dt ha⁻¹ bzw. 27,7 dt ha⁻¹ bei einem Wickenanteil von 25 % in der Aussaatmischung (Abbildung 7). Die Wickensorten Ina und Jaga erreichten die höchsten Erträge von 25,8 dt ha⁻¹ und 23,9 dt ha⁻¹ dagegen bei einem Wickenanteil von 76,7 bzw. 72,6 % in der Aussaatmischung. Die Sorte Berninova erzielte den geringsten Wickenteilkornertrag in Höhe von 19,1 dt ha⁻¹ bei einem Wickenanteil von 64,3 % in der Aussaatmischung.

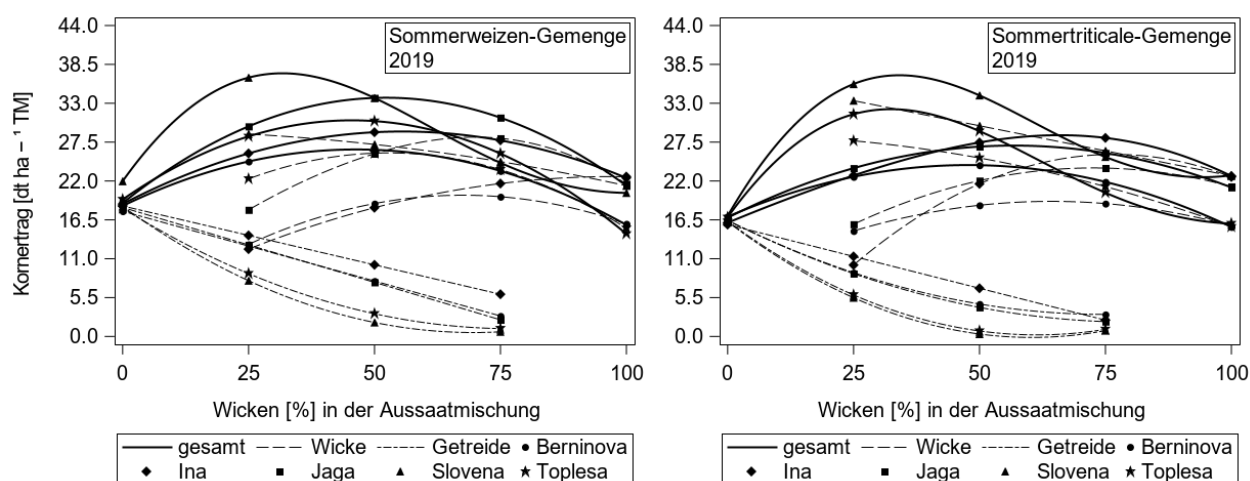


Abbildung 7 Regressionskurven der Gesamtkornerträge sowie der Teilkornerträge der Saatwickensorten und der beiden Gemengepartner im Jahr 2019 ($P < 0,05$).

Der Gemengeanbau mindert das Risiko eines Totalausfalls in Jahren mit extremer Witterung. Beim Gemengeanbau können Ressourcen besser genutzt werden als beim Anbau nur einer Kultur (Jensen et al. 2015). Leguminosen, wie die Saatwicke, sind in der Jugendentwicklung weniger konkurrenzstark

als Getreide. Sie können mit Hilfe der Wurzelrhizobien Luftstickstoff fixieren, sodass der aus dem Bodenvorrat freigesetzte Stickstoff dem Getreide zur Verfügung steht. Hieraus ergibt sich eine bessere Ausnutzung der Stickstoffquellen sowie eine effizientere Flächennutzung durch den Gemengeanbau (Jensen et al. 2020).

Die Gemenge erbrachten meist höhere Erträge als die Getreide-Reinsaaten. Diese Ergebnisse widersprechen den Ergebnissen von Lauk et al. (2007), die in ihren Untersuchungen festgestellt haben, dass die Erträge der Getreide-Reinsaaten auf einem höheren Level lagen.

Die Fragestellung 4 („Welchen Effekt haben die Gemengepartner Sommerweizen und Sommerroggen bzw. Sommertriticale auf die Ertragsleistung und die Ertragsanteile von ausgewählten Saatwickensorten?“) kann wie folgt beantwortet werden: Der verwendete Sommerroggen in 2017 ist, aufgrund der fehlenden Standfestigkeit und der zu frühen Abreife, für den Wicken-Gemengeanbau zur Kornnutzung nicht geeignet. Gemenge mit Sommertriticale erzielten etwas geringere Gesamtkornerträge als die jeweiligen Gemenge mit Sommerweizen. Die Sommerweizen-Gemenge mit der Saatwickensorte Slovenia erreichten in den drei Versuchsjahren die höchsten Gesamtkornerträge. Die Wickenanteile lagen bei 30-50 % in der Aussaatmischung.

Die Wickenteilkornerträge sind stark abhängig von der Witterung während der Vegetationsperiode, sodass in trockenen Jahren und bei starker Konkurrenz um Wasser, die maximalen Wickenteilkornerträge durchaus bei über 90 % Wickenanteil in der Aussaatmischung liegen können. In einer Studie aus der Türkei von Karada und Büyükburc (2002) wurde ebenfalls über geringe Wickenteilerträge in einem Versuchszeitraum mit Trockenperioden berichtet. Pużyńska et al. (2021) zeigte, dass bei der Prüfung unterschiedlicher Hafersorten im Gemenge mit Saatwicken die weniger leistungsstarken Hafersorten die höheren Wickenenerträge erbrachten, obwohl die Gesamtkornerträge vergleichbar mit denen der Gemenge mit der konkurrenzstärkeren Hafersorte waren. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass konkurrenzschwächere Gemengepartner für einen hohen Wickenanteil am Gesamtkornertrag besser geeignet sind.

Aus den vorliegenden Ergebnissen des Projektes lässt sich ableiten, dass in Jahren mit besserer Wasserversorgung der Wickenanteil in der Aussaatmischung 50 bis 75 % betragen sollte, um möglichst hohe Gesamt- als auch Wickenteilkornerträge zu erreichen. Wüchsigeren Sorten wie Slovenia und Toplesa können dabei mit geringeren Wickenanteilen in der Aussaatmischung gute Gesamtkornerträge mit recht hohen Wickenteilerträgen erzielen, während bei den weniger wüchsigen Sorten, wie Ina, höhere Anteile in der Aussaatmischung erforderlich sind.

Im Hinblick auf die Fragestellung 6 („Mit welchen Gemengevarianten lassen sich die höchsten Gesamtkorn- und Gesamtrohproteinträge pro Hektar erzielen?“) kann zusammenfassend festgehalten werden, dass trotz der sehr unterschiedlichen Witterungsbedingungen in den drei Versuchsjahren, die Sommerweizen-Gemenge mit der Saatwickensorte Slovena die höchsten Gesamtkornerträge mit 34,2 bis 37,1 dt ha⁻¹ erzielten. Diese Gesamtkornerträge wurden mit Wickenanteilen von 30-50 % in der Aussaatmischung erreicht.

Gesamt- und Teilrohproteinträge

Bei den maximal zu erzielenden Gesamtrohproteinträgen in Abhängigkeit vom Wickenanteil in der Aussaatmischung wird deutlich, dass der Rohproteintrag umso höher ist, desto höher der Wickenanteil im Gemenge. Die Gesamtrohproteinträge nehmen durchschnittlich mit steigendem Wickenanteil in der Aussaatmischung zu. Bei einem zu hohem Wickenanteil fällt die Kurve, durch die geringeren Kornerträge in der Wicken-Reinsaat, wieder ab. Aufgrund der Erhöhung des Wickenanteils in der Aussaatmischung und der damit einhergehenden Verringerung der Saatstärke des Getreides im Replacement-Design, nehmen die Teilrohproteinträge der Getreide mit zunehmenden Wickenanteil ab.

Im Versuchsjahr 2017 (Abbildung 8) zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den beiden Getreide-Gemengepartnern Sommerweizen und Sommerroggen. Die Gesamtrohproteinträge der Sommerweizen-Gemenge lagen insgesamt auf einem höheren Niveau als die der Sommerroggen-Gemenge.

In den Sommerweizen-Gemengen wurde in 2017 (Abbildung 8) der höchste Gesamtrohproteintrag von 10,7 dt ha⁻¹ in den Gemengen mit der Saatwickensorte Slovena bereits bei einem Wickenanteil von 39,7 % in der Aussaatmischung erreicht. Aber auch die Saatwickensorte Ina realisierte im Sommerweizen-Gemenge einen beinahe gleich hohen maximalen Gesamtrohproteintrag von 10,2 dt ha⁻¹, jedoch bei einem höheren Wickenanteil von 58,3 % in der Aussaatmischung. Die Saatwickensorte Berninova erzielte den geringsten maximalen Gesamtrohproteintrag von 5,9 dt ha⁻¹ bei einem Wickenanteil von 43,3 % in der Aussaatmischung. Die Sorten Jaga und Toplesa erreichten maximale Gesamtrohproteinträge mit 8,4 dt ha⁻¹ und 7,9 dt ha⁻¹ bei einem Wickenanteil von ca. 30 % in der Aussaatmischung.

Die Saatwickensorte Slovena erreichte in den Gemengen mit Sommerroggen im Jahr 2017 (Abbildung 8) den maximalen Gesamtrohproteintrag von 8,2 dt ha⁻¹ bei einem Wickenanteil von 71,0 % in der Aussaatmischung. Den zweithöchsten Gesamtrohproteingesamtertrag in Höhe von 7,5 dt ha⁻¹

wurde mit der Saatwickensorte Ina, jedoch bei einem höherem Wickenanteil von 86,2 % in der Aussaatmischung, erzielt. Die restlichen Sorten bewegten sich zwischen 4,6 dt Rohprotein ha⁻¹ und 6,9 dt Rohprotein ha⁻¹ bei einem Wickenanteil von 51,1 % bis 66,3 % in der Aussaatmischung.

Im Vergleich zu den Sommerroggen-Gemengen (Abbildung 8) zeigten die Saatwickensorten in den Gemengen mit Sommerweizen höhere Teilrohproteinträge von bis zu 8,7 dt ha⁻¹ (Slovena, 53,6 % Wickenanteil in der Aussaatmischung) bei vergleichsweise niedrigeren Wickenanteilen in der Aussaatmischung. In den Sommerroggen-Gemengen wurden die maximalen Teilrohproteinträge der Wicken mit den Sorten Ina und Slovena (7,7 dt ha⁻¹ und 7,5 dt ha⁻¹) in der Reinsaat bzw. bei 77,0 % Wickenanteil in der Aussaatmischung erreicht.

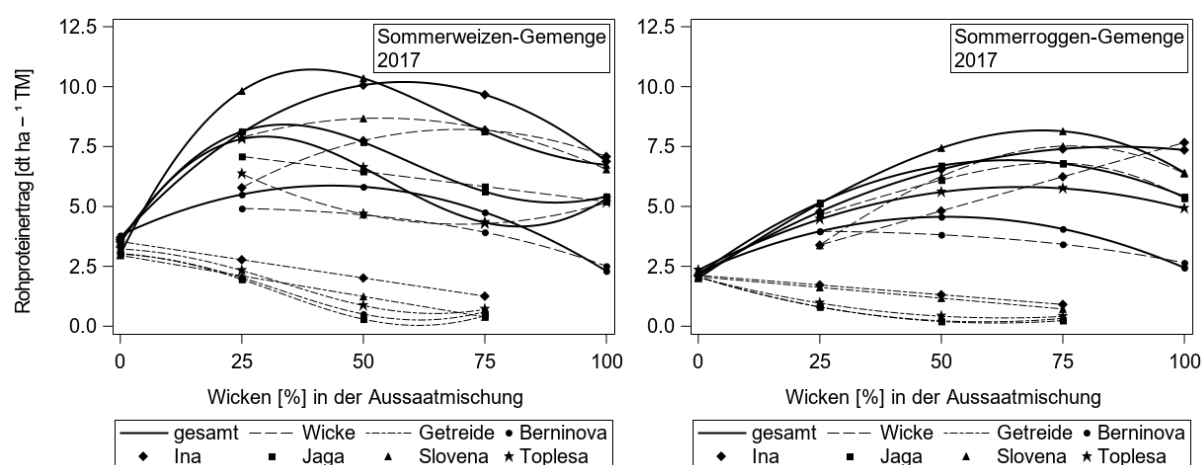


Abbildung 8 Regressionskurven der Gesamtröhproteinträge sowie der Teilröhproteinträge der Saatwickensorten und der beiden Gemengepartner im Jahr 2017 ($P < 0,05$). Die Teilröhproteinträge der Wickersorte Toplesa konnte für die Sommerroggen-Gemenge (rechts) nicht geschätzt werden.

In dem niederschlagsarmen Versuchsjahr 2018 (vgl. Abbildung 6) war der Teilkornertrag des Getreides am Gesamtertrag der Sommertriticale- und -weizen-Gemenge deutlich höher als im Jahr 2017 (vgl. Abbildung 5), sodass ein höherer Wickenanteil an der Aussaatmischung notwendig war, um die maximalen Gesamtröhproteinträge zu erhalten. Die Sommertriticale- sowie die Sommerweizen-Gemenge zeigten die höchsten Gesamtröhproteinträge bei den Saatwickensorten Berninova, Jaga, Slovena und Toplesa mit 8,0-8,7 dt ha⁻¹ bei einem hohen Wickenanteil von 83,0 % bis 100 % bezogen auf die Aussaatmischung. Die Sorte Ina konnte unter diesen Witterungsbedingungen in den Gemengevarianten mit beiden Getreidepartnern nur einen maximalen Gesamtröhproteintrag von 7,0-7,1 dt ha⁻¹ bei einem Wickenanteil von 95,7 % (Sommerweizen-Gemenge) bzw. in Reinsaat (Sommertriticale-Gemenge) erreichen. Zusammenfassend kann für das sehr trockene Anbaujahr 2018 festgehalten werden, dass die höchsten Gesamtröhproteinträge oftmals mit den Wicken-Reinsaaten oder mit sehr

hohen Anteilen an Wicken in der Aussaatmischung (83-96 %), sowohl in den Sommertriticale-Gemengen als auch in den Sommerweizen-Gemengen, erzielt wurden.

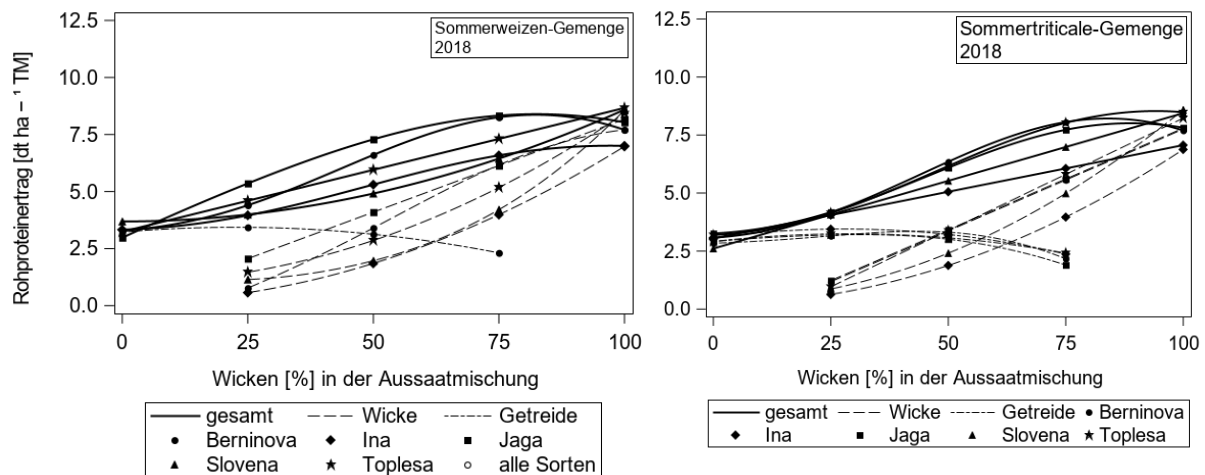


Abbildung 9 Regressionskurven der Gesamtrohproteinträge sowie der Teilrohproteinträge der Saatwickensorten und der beiden Gemengepartner im Jahr 2018 ($P < 0,05$). Für die Teilrohproteinträge des Sommerweizens (links) konnte eine gemeinsame Regression für alle Gemenge geschätzt werden, die Teilrohproteinträge der Sommertriticale (rechts) im Gemenge mit Slovena konnten für das Jahr 2018 nicht geschätzt werden.

Im Versuchsjahr 2019 (Abbildung 10) zeigte die Saatwickensorte Slovena in den Sommerweizen-Gemengen die beste Leistung mit einem Gesamtrohproteintrag von $10,7 \text{ dt ha}^{-1}$ bei einem Wickenanteil von 39,7 % in der Aussaatmischung. Die anderen Saatwickensorten erbrachten in den Sommerweizen-Gemengen Gesamtrohproteinträge von $7,6$ bis $9,7 \text{ dt ha}^{-1}$ bei einem Wickenanteil von 42,8 bis 71,3 % in der Aussaatmischung. Auch erzielte die Saatwickensorte Slovena mit $11,5 \text{ dt ha}^{-1}$ im Gemenge mit Sommertriticale bei einem Wickenanteil von 36,4 % in der Aussaatmischung den höchsten Gesamtrohproteintrag (Abbildung 10). Auf beinahe gleichem Niveau lag die Saatwickensorte Toplesa mit $10,2 \text{ dt ha}^{-1}$ bei einem Wickenanteil von 35,7 % in der Aussaatmischung. Die übrigen Saatwickensorten Sommertriticale-Gemenge erzielten Gesamtrohproteinträge von $7,2 \text{ dt ha}^{-1}$ (Berninova, 58,3 % Wickenanteil in der Aussaatmischung) bis $8,8 \text{ dt ha}^{-1}$ (Ina, 74,1 % Wickenanteil in der Aussaatmischung). Die Teilrohproteinträge der Saatwicke Slovena sowie die dazugehörigen Teilrohproteinträge des Sommerweizens waren zwischen den Jahren 2017 und 2019 nicht signifikant unterschiedlich, sodass für beide Jahre eine Regressionsgleichung geschätzt wurde.

Die Saatwickensorten Jaga, Slovena und Toplesa erlangten in den Sommerweizen-Gemengen die höchsten Teilrohproteinträge von $8,7 \text{ dt ha}^{-1}$ (Jaga mit 69,9 % bzw. Slovena mit 53,6 % Wickenanteil

in der Aussaatmischung) und $8,5 \text{ dt ha}^{-1}$ (Toplesa, 52,4 % Wickenanteil in der Aussaatmischung). Die restlichen Wicken erreichten Teilrohproteinertrege von $6,5 \text{ dt ha}^{-1}$ bis $7,5 \text{ dt ha}^{-1}$ bei Wickenanteilen von 66,9 % bis 92,0 % Wickenanteil in der Aussaatmischung.

Die höchsten Teilrohproteinertrege konnten für die Sommertriticale-Gemenge mit Slovena ($10,6 \text{ dt ha}^{-1}$) und Toplesa ($9,2 \text{ dt ha}^{-1}$) bei einem geringen Wickenanteil in der Aussaatmischung von 25 % ermittelt werden. Die Saatwicken Ina und Jaga erreichten maximale Teilrohproteinertrege von $8,3 \text{ dt ha}^{-1}$ und $7,3 \text{ dt ha}^{-1}$ bei einem Wickenanteil von jeweils 77,4 % und 72,2 % in der Aussaatmischung.

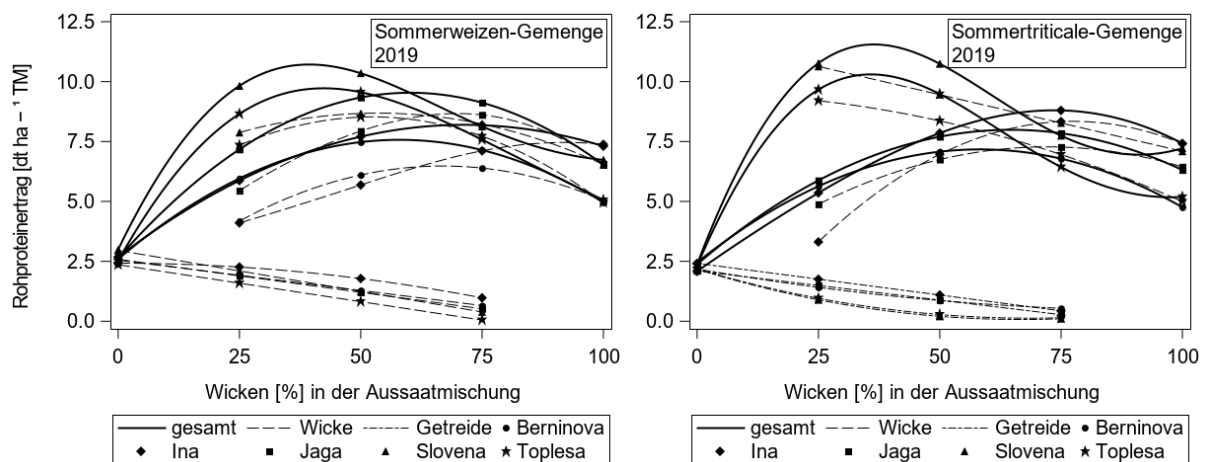


Abbildung 10 Regressionskurven der Gesamtrohproteinertrege sowie der Teilrohproteinertrege der Saatwickensorten und der beiden Gemengepartner im Jahr 2019 ($P < 0,05$). Die Teilrohproteinertrege der Wickensorte Berninova im Gemenge mit Sommertriticale (rechts) konnte für das Jahr 2019 nicht geschätzt werden.

Im ersten Versuchsjahr 2017 lagen die Gesamtrohproteinertrege der Sommerroggen-Gemenge auf einem niedrigeren Niveau als die des Sommerweizens. Die Wickenanteile in der Aussaatmischung waren in den Sommerroggen-Wicken-Gemengen zudem höher, um die maximalen Rohproteinertrege zu erhalten. Die Sommerroggen-Wicken-Bestände gingen ins Lager, wodurch wiederum die Abreife der Saatwicken behindert wurde. Die, ab dem zweiten Versuchsjahr angebaute, Sommertriticale zeigte dagegen ähnlich hohe Gesamtrohproteinertrege wie die Wicken-Gemenge mit Sommerweizen. Pużyńska et al. (2021) bestätigt in einer Untersuchung mit verschiedenen Hafersorten den Einfluss der Wahl des Gemengepartners auf den Gesamtrohproteinerttrag. Weiterhin zeigte eine Studie mit Hafer und Weizen als Gemengepartner von Lauk et al. (2007) einen Vorteil von Sommerweizen-Gemengen hinsichtlich der Erzielung höherer Rohproteinertrege. Der Rohproteinerttrag pro Flächeneinheit kann

zudem durch die Nutzung unterschiedlicher Stickstoffquellen durch das Getreide und die Saatwicke erhöht werden (Rodriguez et al. 2020). So zeigte eine Studie von Šarūnaitė et al. (2010), dass die Proteinkonzentration in den Leguminosen im Gemenge mit Sommerweizen im Vergleich zu der Leguminosen-Reinsaat zunahm und im direkten Vergleich die Saatwicken mit Sommerweizen höhere Proteinkonzentrationen aufwiesen als andere Leguminosen-Gemenge. Schlussfolgernd kann angenommen werden, dass die Saatwicke, wie auch andere Leguminosen, durch die Aufnahme des freigesetzten Stickstoffs aus dem Bodenvorrat und der damit einhergehenden Entleerung des Bodenraumes an verfügbarem Stickstoff, verstärkt Luftstickstoff mit Hilfe der Wurzelrhizobien fixieren.

Im niederschlagsarmen Jahr 2018 waren die Wickenertragsanteile in den Gemengen, bedingt durch den Wassermangel, der durch die zusätzlich hohe Konkurrenzkraft des Getreides verschärft wurde, in den Druschernten gering. Untersuchungen von Puzyńska et al. (2021) zeigen sogar eine Reduktion von 46 % Wickenanteil in der Druschernte in trockenen Jahren. Dies schlägt sich in unseren Untersuchungen auch in den Regressionskurven (2018) mit nahezu linearem Verlauf im Intervall 0 % bis 100 % nieder, sodass Gemenge mit hohen Wickenanteilen bzw. die Wicken-Reinsaaten die höchsten Gesamtrohproteinträge erzielen.

In niederschlagsreicheren Jahren erreichten die Gemenge bei einem Wickenanteil von 40 % bis 70 % in der Aussaatmischung ihren maximalen Gesamtrohproteintrag. Dies war jedoch stark durch die Witterung während des Vegetationsverlaufs beeinflusst. Zusammenfassend kann im Hinblick auf die Fragestellung 6 („Mit welchen Gemengevarianten lassen sich die höchsten Gesamtkorn- und Gesamtrohproteinträge pro Hektar erzielen?“) festgestellt werden, dass im Durchschnitt der Jahre die höchsten Gesamtrohproteinträge in den Gemengen mit Slovena erreicht wurden, die 2017 und 2019 mit 10,7 dt ha⁻¹ auf einem hohen Niveau lagen. Die Saatwickenanteile betrug dabei oftmals um 40 % in der Aussaatmischung, lagen zum Teil aber auch deutlich darüber.

4.2.1.2 Unkrautbiomasse und aufgenommene Stickstoffmenge in der Unkrautbiomasse

Unkrautbiomasse

Insgesamt war das Unkrautauftreten sowohl in den Sommerweizen- als auch in den Sommertriticale-Wicken-Gemengen in 2019 höher als im Jahr 2018 (Tabelle 29). Dies ist auf die sehr trockenen Witterungsbedingungen im Jahr 2018 zurückzuführen, da auch das Wachstum der Unkräuter durch die anhaltende Trockenheit beeinträchtigt war.

Für die Sommerweizen-Varianten zeigte sich nur im Jahr 2019 eine signifikante Hauptwirkung für den Faktor Wickensorte (Tabelle 29). Längere und wüchsigeren Saatwickensorten konnten die Unkräuter dabei signifikant besser unterdrücken als niedrigwachsende Wickensorten wie z.B. die Sorte Ina.

Die Wechselwirkung Wickenanteil x Termin konnte für beide Jahre in den Sommerweizen-Gemengen festgestellt werden. Zu allen drei Beprobungsterminen gab es, mit einer Ausnahme, keine signifikanten Unterschiede in der Unkrautbiomasse zwischen den Gemengevarianten mit unterschiedlich hohen Anteilen an Wicken in der Aussaatmischung. Nur am 1. Termin im Jahr 2019 wies das Gemenge mit 25 % Wickenanteil in der Aussaatmischung eine signifikant geringere Unkrautbiomasse auf als die übrigen Gemengevarianten. Auch zeigten die Wicken-Reinsaaten in beiden Jahren mit nur einer Ausnahme stets die signifikant höchsten Unkrautbiomassen im Vergleich zu allen anderen Gemengevarianten. Lediglich zum 3. Termin, zur Abreife im Jahr 2018, war der Unterschied zwischen den Wicken-Reinsaaten und der Gemengevariante mit 75 % Wicken in der Aussaatmischung nicht signifikant.

Im Jahr 2018 zeigte die Wechselwirkung zudem, dass zum Stadium des Längenwachstums (1. Termin) die Unkrautbiomassen in allen Gemengen geringer waren als zu den Nachfolgeterminen. Mit Ausnahme der Wicken-Reinsaat, hier waren die Unkrautbiomassen zur Abreife (3. Termin) nicht signifikant höher als zum Längenwachstum (1. Termin). Im Jahr 2019 zeigten, mit Ausnahme der Gemenge mit einem Wickenanteil von 75 %, alle Gemenge eine geringere Unkrautbiomasse zum Längenwachstum im Vergleich zu den anderen Beprobungsterminen. Zur Abreife (3. Termin) wurde in den Wicken-Reinsaat wiederum keine signifikant höhere Unkrautbiomasse als zum Längenwachstum (1. Termin) festgestellt.

Die Wechselwirkung Wickensorte x Wickenanteil wurde nur für das Jahr 2018 ausgewiesen. Mit zunehmenden Wickenanteilen in der Aussaatmischung nahm auch die Unkrautbiomasse zu, jedoch konnten nicht immer signifikante Unterschiede nachgewiesen werden. Es konnte jedoch festgestellt werden, dass sich gerade bei der wüchsigen Sorte Slovenia die Unterschiede bis zu 75 % Wickenanteil in der Aussaatmischung nicht signifikant vom Gemenge mit 25 % Wickenanteil unterschieden. Im Vergleich zwischen den Sorten konnte für die Wicken-Reinsaat der kürzeren Wickensorte Ina eine signifikant höhere Unkrautbiomasse im Vergleich zur wüchsigeren Sorte Toplesa festgestellt werden.

Tabelle 29 Unkrautbiomasse [g TM m⁻²] für die Wicken-Reinsaaten und -Gemenge mit dem Gemengepartner Sommerweizen (*Zeitreihenanalyse*, P < 0,05)

Wickensorte	Wickenanteil ^{*)}	Termin	2018		2019	
Berninova			17,37		42,03AB	
Ina			21,56		53,73A	
Jaga			14,33		38,79B	
Slovena			19,69		22,96C	
Toplesa			16,16		26,97C	
	25%	1	4,69B	b	13,99C	b
	50%		4,58B	b	17,39BC	b
	75%		9,28B	b	23,49B	a
	100%		24,66A	b	57,81A	b
	25%	2	13,53B	a	26,99B	a
	50%		11,76B	a	30,20B	a
	75%		24,47B	a	36,56B	a
	100%		63,27A	a	97,92A	a
	25%	3	19,26B	a	36,75B	a
	50%		21,40B	a	36,98B	a
	75%		38,82AB	a	36,61B	a
	100%		46,91A	ab	76,13A	ab
Berninova	25%		13,24B	a		
	50%		9,45B	a		
	75%		18,74AB	a		
	100%		38,82A	ab		
Ina	25%		15,13B	a		
	50%		10,35B	a		
	75%		15,29B	a		
	100%		90,24A	a		
Jaga	25%		9,32B	a		
	50%		9,42B	a		
	75%		14,51AB	a		
	100%		33,10A	ab		
Slovena	25%		10,56B	a		
	50%		13,68AB	a		
	75%		29,59AB	a		
	100%		35,21A	ab		
Toplesa	25%		7,07B	a		
	50%		10,06B	a		
	75%		30,58A	a		
	100%		31,37A	b		

^{*)} Wickenanteil in der Aussaatmischung, Werte ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede für die Wechselwirkung Wickenanteil x Termin zwischen den Wickenanteilen innerhalb eines Termins bzw. für die Wechselwirkung Sorte x Wickenanteil für die Wickenanteile innerhalb einer Sorte; Werte ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede für die Wechselwirkung Wickenanteil x Termin zwischen den Terminen innerhalb eines Wickenanteils bzw. für die Wechselwirkung Sorte x Wickenanteil für die Sorte innerhalb eines Wickenanteils

Bei den Sommertriticale-Gemengen zeigte sich in beiden Jahren die Wechselwirkung Wickensorte x Wickenanteil (Tabelle 30). So nahm die Unkrautbiomasse im Bestand in der Regel mit zunehmendem Wickenanteil in der Aussaatmischung zu, wobei die Unterschiede zwischen 25 % Wickenanteil und der

Wicken-Reinsaat (100 %) oftmals signifikant waren. Die Abstufungen zwischen den 25 %- und den 50 %-Varianten wie auch zwischen den 50 %- und den 75 %-Varianten waren oftmals nicht gleichgerichtet. Im Jahr 2018 gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Wickensorten innerhalb eines Wickenanteils. Dagegen wurde im Versuchsjahr 2019 bei 75 % Wickenanteil bei der Saatwicke Slovena eine geringere Unkrautbiomasse im Vergleich zu den restlichen Wickensorten festgestellt. Zudem zeigten sich in den Wicken-Reinsaaten die geringsten Unkrautbiomassen für die wüchsigen Sorten Slovena und Toplesa mit 41,83 g TM m⁻² und 56,93 g TM m⁻². Die anderen Wickenanteile wiesen höhere Unkrautbiomassen zwischen 77,27 g TM m⁻² und 133,65 g TM m⁻² auf. Die Wechselwirkung Wickenanteil x Termin trat ebenfalls in beiden Jahren auf. Zum Längenwachstum (1. Termin) zeigte sich in beiden Jahren, dass in den Gemengen weniger Unkrautbiomasse unter dem Bestand war als in den Reinsaaten. In 2018 gab es bei Termin 1 keinen Unterschied zwischen den Gemengen, während im Jahr 2019 mit steigendem Wickenanteil auch die Unkrautbiomasse unter dem Bestand zunahm. Zum 2. Termin (Blüte) stieg im Jahr 2018 die Unkrautbiomasse, mit Ausnahme der 50 %-Variante, mit zunehmendem Wickenanteil an der Aussaatmischung, während im Jahr 2019 zwar kein signifikanter Unterschied zwischen den Gemengen, jedoch ein signifikanter Unterschied zu der Wicken-Reinsaat erkennbar war. Zur Abreife (3. Termin) zeigte sich in 2018 eine signifikant höhere Unkrautbiomasse ab 75 % Wickenanteil in der Aussaatmischung, wohingegen im Versuchsjahr 2019 nur das Gemenge mit 75 % Wickenanteil signifikant niedrigere Unkrautbiomassen als die Reinsaat aufwies. Die weitere Wechselwirkung zwischen Wickensorte x Termin zeigte sich nur im Jahr 2019. Erst zur Abreife wurden signifikante Unterschiede zwischen den Wickensorten erkennbar, so wurden bei den Wickensorten Slovena und Toplesa die geringsten Unkrautbiomassen gefunden. Nur zum ersten Untersuchungstermin zeigten die kurzwüchsigeren und mittellangen Sorten Berninova, Ina und Jaga eine höhere Verunkrautung als die langwüchsigen Wickensorten Slovena und Toplesa.

Tabelle 30 Unkrautbiomasse [g TM m⁻²] für die Wicken-Reinsaaten und -Gemenge mit dem Gemengepartner Sommertriticale (*Zeitreihenanalyse*, P < 0,05)

Wickensorte	Wickenanteil *)	Termin	2018		2019	
Berninova	25%		10,87B	a	28,88B	a
	50%		15,53AB	a	38,92B	a
	75%		11,74AB	a	44,63AB	a
	100%		38,82A	a	99,99A	ab
Ina	25%		7,21C	a	27,72B	a
	50%		6,81C	a	44,13B	a
	75%		28,24B	a	50,75B	a
	100%		90,24A	a	133,65A	a
Jaga	25%		7,83B	a	25,77B	a
	50%		7,45B	a	30,78B	a
	75%		21,85AB	a	45,44AB	a
	100%		33,10A	a	77,27A	abc
Slovena	25%		8,66B	a	24,17AB	a
	50%		8,32B	a	24,08AB	a
	75%		12,83AB	a	14,97B	b
	100%		35,21A	a	41,83A	c
Toplesa	25%		10,64AB	a	26,39AB	a
	50%		6,17B	a	20,97B	a
	75%		21,12A	a	36,40AB	a
	100%		31,37A	a	56,93A	bc
	25%	1	4,21B	b	13,62C	b
	50%		4,14B	b	16,03BC	b
	75%		6,97B	b	28,14B	a
	100%		24,66A	b	57,81A	a
	25%	2	10,89BC	a	28,40B	a
	50%		9,13C	ab	37,65B	a
	75%		20,97B	a	45,03B	a
	100%		63,27A	a	97,92A	a
	25%	3	15,47B	a	48,33AB	a
	50%		15,37B	a	47,31AB	a
	75%		40,80A	a	35,19B	a
	100%		46,91A	ab	76,13A	a
Berninova		1			24,51A	b
Ina					28,50A	b
Jaga					21,88A	b
Slovena					21,91A	a
Toplesa					25,89A	a
Berninova		2			55,05A	a
Ina					58,59A	a
Jaga					53,67A	a
Slovena					33,32A	a
Toplesa					38,10A	a
Berninova		3			78,55A	a
Ina					92,61A	a
Jaga					58,06AB	a
Slovena					20,31C	a
Toplesa					35,53BC	a

*) Wickenanteil in der Aussaatmischung, Werte ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede für die Wechselwirkung Wickenanteil x Termin zwischen den Wickenanteilen innerhalb eines Termins bzw. für die Wechselwirkung Sorte x Wickenanteil für die Wickenanteile innerhalb einer Sorte bzw. für die Wechselwirkung Sorte x Termin für die Sorten innerhalb eines Termins; Werte ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede für die Wechselwirkung Wickenanteil x Termin zwischen den Terminen innerhalb eines Wickenanteils bzw. für die Wechselwirkung Sorte x Wickenanteil für die Sorte innerhalb eines Wickenanteils bzw. für die Wechselwirkung Sorte x Termin für den Termin innerhalb einer Sorte

Die Ergebnisse zur Unkrautbiomasse unter dem Bestand zeigen einen deutlichen Jahreseffekt. Im trockenen Jahr 2018 (468 mm Niederschlag) war die Konkurrenz des Getreides um Wasser gegenüber den Wicken, aber auch gegenüber den Unkräutern groß, sodass das Unkrautauflkommen auf einem deutlich niedrigeren Niveau lag als im Jahr 2019 mit einer Niederschlagsmenge in Höhe von 633 mm, die vergleichbar mit dem langjährigen Mittel war.

Mit steigendem Wickenanteil in der Aussaatmischung haben in der Regel auch die Unkrautbiomassen unter dem Bestand zugenommen. Die Zunahme der Verunkrautung durch eine Erhöhung des Leguminosenanteils im Gemenge wurde auch für viele andere Körnerleguminosen-Gemenge nachgewiesen (Hauggaard-Nielsen et al. 2001, Hauggaard-Nielsen et al. 2006, Corre-Hellou et al. 2011, Gronle und Böhm 2014). Hohe Wickenanteile in der Aussaatmischung führten aufgrund der langsamen Jugendentwicklung der Wicke zu einer Frühverunkrautung und damit zu erhöhten Unkrautbiomassen, meist ab einem Wickenanteil von 75 % in der Aussaatmischung. Getreidepflanzen beschatteten den Boden schneller und nehmen als konkurrenzstarke Kultur den aufkeimenden Unkräutern Licht und Nährstoffe. Wicken sind in der frühen Entwicklungsphase konkurrenzschwach und haben somit den gleichzeitig auflaufenden Unkräutern wenig entgegen zu setzen. Im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode jedoch, nutzen die Wicken die Unkräuter als Stütz- und Rankhilfe und überwachsen diese. Daher kann die Unkrautbiomasse in den Wicken-Reinsaaten zur Abreife geringer ausfallen als zum Zeitpunkt der Blüte (Termin 2). Alle Gemengevarianten konnten aber das Unkraut besser unterdrücken als die Wicken-Reinsaaten, was auch schon in anderen Versuchen mit Hafer bestätigt wurde (Böhm 2014).

Die Fragestellung 5 („Welche Saatwickenanteile in der Aussaatmischung des Gemenges ermöglichen einen sicheren Mähdrusch hinsichtlich der Bestandeshöhe zur Ernte und zeigen eine geringe Verunkrautung mit niedrigem Stickstoffentzug durch die Unkrautbiomasse mit möglichst hohen Saatwickenenerträgen?“) kann im Hinblick auf die Verunkrautung dahingehend beantwortet werden, dass Gemenge bis zu einem Wickenanteil von 50 % in der Aussaatmischung geringere Unkrautbiomassen im Bestand als Gemenge mit höheren Wickenanteilen in der Aussaatmischung zeigten. Wüchsige Sorten, wie Slovena, Toplesa oder Jaga, besitzen dabei eine bessere Unkrautunterdrückungsfähigkeit als kürzere und weniger wüchsige Sorten, wie Ina. So können wüchsigere Sorten, im Hinblick auf die Unkrautunterdrückung, auch mit höheren Wickenanteilen in der Aussaatmischung angebaut werden. Bei kurzwüchsigen Sorten sollte auf eine Erhöhung der Wickenanteile über 50 % in der Aussaatmischung verzichtet werden.

Aufgenommene Stickstoffmenge in der Unkrautbiomasse

Die statistische Auswertung für die aufgenommene Stickstoffmenge in der Unkrautbiomasse für die Gemenge mit Sommerweizen als Gemengepartner stufte den Hauptfaktor Wickensorte, nur für das Jahr 2019, als signifikant ein (Tabelle 31). Die wüchsigeren Sorten Slovena und Toplesa mit einer geringeren Verunkrautung zeigten auch hier eine geringere aufgenommene Stickstoff-(N)-Menge im Vergleich zu den kurzwüchsigeren Sorten, wobei die Unkrautbiomasse in Gemengen mit der Wickensorte Ina die höchste N-Menge aufgenommen hat. Im Jahr 2018 stand der Faktor Wickensorte in einer Wechselwirkung mit dem Faktor Wickenanteil in der Aussaatmischung, sodass die Wickensorten nicht als Hauptfaktor ausgewertet werden konnten. Im trockenen Jahr 2018 dagegen war der Hauptfaktor Termin signifikant. Hier zeigte sich, dass die aufgenommene N-Menge zum Zeitpunkt des Längenwachstums (1. Termin), aufgrund geringerer Unkrautbiomassen, geringer als zu den anderen beiden Beprobungszeitpunkten war.

Die Wechselwirkung Wickensorte x Wickenanteil wies aus, dass die Unkrautbiomassen in allen Wickensorten in den 25- und 50 %-Varianten signifikant weniger Stickstoff aufgenommen hatten als die jeweiligen Wicken-Reinsaaten, während die Ergebnisse für die 75 %-Varianten nicht einheitlich waren. Innerhalb einer Variante mit gleichem Wickenanteil in der Aussaatmischung war die aufgenommene Stickstoffmenge der Unkrautbiomasse unter allen Sorten gleich, d.h. hier lagen keine signifikanten Unterschiede vor, obwohl bei den Unkrautbiomassen (vgl. Tabelle 29) die Wicken-Reinsaat der Wickensorte Toplesa sich signifikant von der Wicken-Reinsaat der Wickensorte Ina unterschied.

Im Versuchsjahr 2019 lag zusätzlich eine signifikante Wechselwirkung Wickenanteil x Termin vor. So konnten für die Beprobungstermine Längenwachstum (1. Termin) und Blüte (2. Termin) mit steigendem Wickenanteil signifikant höhere aufgenommene Stickstoffmengen in der Unkrautbiomasse festgestellt werden, wohingegen zur Abreife (3. Termin) nur noch ein signifikanter Unterschied zwischen der Wicken-Reinsaat und den Wicken-Gemengen vorlag.

Bei den Gemengen mit dem Gemengepartner Sommertriticale zeigte sich für das Jahr 2018 eine Hauptwirkung Termin (Tabelle 32). So war zum Längenwachstum (1. Termin) weniger Stickstoff in der Unkrautbiomasse, bedingt durch die zu diesem Zeitpunkt geringere Unkrautbiomasse, gebunden als zur Blüte (2. Termin) und zur Abreife (3. Termin). Dies zeigte sich in vergleichbarer Art und Weise auch für das Jahr 2019, doch konnte dies statistisch nicht ausgewiesen werden, da signifikante Wechselwirkungen von Termin und Wickenanteil bzw. Wickensorte vorlagen. In den beiden Versuchsjahren 2018 und 2019 wurde zusätzlich eine signifikante Wechselwirkung Wickensorte x Wickenanteil festgestellt. In beiden Jahren zeigte sich, dass die 25- und 50 %-Gemengevarianten aller geprüften Sorten signifikant weniger Stickstoff in der Unkrautbiomasse aufgenommen haben als die Wicken-Reinsaaten, mit Ausnahme der 50 %-Variante der Wickensorte Slovena.

Tabelle 31 Aufgenommene Stickstoffmenge in der Unkrautbiomasse [g N TM m⁻²] für die Wicken-Rein-
saaten und -Gemenge mit dem Gemengepartner Sommerweizen (*Zeitreihenanalyse*, P < 0,05)

Wickensorte	Wickenanteil *)	Termin	2018		2019		
Berninova			0,45		0,84	AB	
Ina			0,53		1,03	A	
Jaga			0,38		0,78	B	
Slovena			0,51		0,53	C	
Toplesa			0,43		0,59	C	
		1	0,31	B	0,57		
		2	0,59	A	0,78		
		3	0,51	A	1,25		
Berninova	25%		0,30	B	a		
	50%		0,23	B	a		
	75%		0,49	AB	a		
	100%		1,15	A	a		
Ina	25%		0,34	B	a		
	50%		0,23	B	a		
	75%		0,39	B	a		
	100%		2,49	A	a		
Jaga	25%		0,20	B	a		
	50%		0,24	B	a		
	75%		0,41	AB	a		
	100%		1,04	A	a		
Slovena	25%		0,24	C	a		
	50%		0,33	BC	a		
	75%		0,76	AB	a		
	100%		1,08	A	a		
Toplesa	25%		0,16	B	a		
	50%		0,24	B	a		
	75%		0,80	A	a		
	100%		1,05	A	a		
	25%	1			0,29	C	b
	50%				0,39	BC	b
	75%				0,56	B	b
	100%				1,52	A	a
	25%	2			0,35	C	b
	50%				0,48	BC	b
	75%				0,69	B	ab
	100%				1,91	A	a
	25%	3			0,83	B	a
	50%				0,88	B	a
	75%				0,89	B	a
	100%				1,73	A	a

*) Wickenanteil in der Aussaatmischung, Werte ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede für die Hauptfaktoren Wickensorte und Termin, für die Wechselwirkung Wickenanteil x Termin zwischen den Wickenanteilen innerhalb eines Termins bzw. für die Wechselwirkung Wickensorte x Wickenanteil für die Wickenanteile innerhalb einer Wickensorte; Werte ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede für die Wechselwirkung Wickenanteil x Termin zwischen den Terminen innerhalb eines Wickenanteils bzw. für die Wechselwirkung Wickensorte x Wickenanteil für die Wickensorte innerhalb eines Wickenanteils

Zudem verhielten sich in beiden Jahren die 25 %- und 75 %-Gemengevarianten in Abhängigkeit der Wickensorte nicht immer gleichgerichtet (Tabelle 32), wodurch die Wechselwirkung begründet ist. Nur die Wickensorte Berninova zeigte eine in beiden Jahren gleichgerichtete Aufnahme an Stickstoff in der Unkrautbiomasse, d.h. einen signifikanten Unterschied zwischen Gemengevarianten und Wicken-Reinsaat. Die Varianten mit der Wickensorte Ina wiesen in 2018 eine signifikant geringere aufgenommene Stickstoffmenge in der Unkrautbiomasse für die Gemenge bis zu 50 % Wickenanteil in der Aussaatmischung im Vergleich zu der 75 %-Variante bzw. zur Wicken-Reinsaat auf. Im Jahr 2019 bestand dieser Unterschied nur zwischen den Gemengen und der Wicken-Reinsaat. In den Varianten mit der Wickensorte Slovena konnte im Jahr 2018 nur ein signifikanter Unterschied zwischen der Wicken-Reinsaat und den Gemengen festgestellt werden, während 2019 die aufgenommene Stickstoffmenge nur zwischen der 25 %-Variante und der Reinsaat signifikant war.

Zwischen den Wickensorten innerhalb einer Saatstärke lagen, mit der Ausnahme der Wicken-Reinsaaten (100 %), im Jahr 2019 keine Unterschiede vor. Bei den Wicken-Reinsaaten zeigte sich bei Slovena eine signifikant geringere N-Aufnahme in der Unkrautbiomasse als bei den Ina- und Berninova-Reinsaaten.

Im Jahr 2019 wurde ebenfalls die Wechselwirkung Wickenanteil x Termin ausgewiesen. Zu den ersten beiden Terminen nahm die Stickstoffmenge in der Unkrautbiomasse mit steigendem Wickenanteil oftmals signifikant zu, während zur Abreife (3. Termin) keine signifikanten Unterschiede vorlagen. Die Wechselwirkung zeigte weiterhin, dass zum 1. und 2. Termin in den 25 %- und 50 %-Gemengen im Vergleich zum 3. Termin signifikant geringere N-Mengen von der Unkrautbiomasse aufgenommen wurden, wohingegen für die 75 %- und 100 %-Varianten keine signifikante Zunahme der aufgenommenen N-Menge nachgewiesen werden konnte.

Die weitere Wechselwirkung Wickensorte x Termin wurde nur für das Jahr 2019 festgestellt. An den ersten beiden Beprobungszeitpunkten zum Längenwachstum (1. Termin) und zur Blüte (2. Termin) wurden keine Unterschiede in der aufgenommenen Stickstoffmenge in der Unkrautbiomasse in Abhängigkeit der Wickensorten festgestellt. Zur Abreife (3. Termin) zeigte die Auswertung jedoch die geringste N-Aufnahme in der Unkrautbiomasse für die Sorte Slovena, gefolgt von der Sorte Toplesa. Dieser Unterschied war gegenüber den weniger wüchsigen Sorten Berninova und Ina signifikant. Beim 1. und 2. Termin waren zudem die Stickstoffmengen in der Unkrautbiomasse bei den Sorten Berninova und Ina geringer als zur Abreife, während für die Sorten Slovena und Toplesa keine signifikanten Unterschiede zwischen den Terminen ausgewiesen wurden, sodass diese auf einem gleichbleibend niedrigen Niveau blieben.

Tabelle 32 Aufgenommene Stickstoffmenge in der Unkrautbiomasse [g N TM m⁻²] für die Wicken-Rein-
saaten und -Gemenge mit dem Gemengepartner Sommertriticale (*Zeitreihenanalyse*, P < 0,05)

Wickensorte		Wickenanteil *)	Termin	2018		2019			
			1	0,25	B	0,57			
			2	0,44	A	0,78			
			3	0,47	A	1,25			
Berninova	25%			0,22	B	a	0,52	B	a
	50%			0,35	B	a	0,80	B	a
	75%			0,28	B	a	0,93	B	a
	100%			1,15	A	a	2,25	A	ab
Ina	25%			0,15	C	a	0,49	B	a
	50%			0,15	C	a	0,82	B	a
	75%			0,61	B	a	0,98	B	a
	100%			2,49	A	a	2,87	A	a
Jaga	25%			0,17	B	a	0,47	C	a
	50%			0,18	B	a	0,60	BC	a
	75%			0,55	A	a	0,99	AB	a
	100%			1,04	A	a	1,61	A	abc
Slovena	25%			0,18	B	a	0,49	B	a
	50%			0,18	B	a	0,57	AB	a
	75%			0,31	B	a	0,56	AB	a
	100%			1,08	A	a	1,02	A	c
Toplesa	25%			0,21	BC	a	0,49	B	a
	50%			0,14	C	a	0,47	B	a
	75%			0,53	AB	a	0,82	AB	a
	100%			1,05	A	a	1,40	A	bc
	25%	1					0,28	C	b
	50%						0,36	C	c
	75%						0,67	B	a
	100%						1,52	A	a
	25%	2					0,38	C	b
	50%						0,61	BC	b
	75%						0,83	B	a
	100%						1,91	A	a
	25%	3					1,13	A	a
	50%						1,16	A	a
	75%						1,06	A	a
	100%						1,73	A	a
Berninova		1					0,57	A	b
Ina							0,60	A	b
Jaga							0,49	A	b
Slovena							0,55	A	a
Toplesa							0,63	A	a
Berninova		2					0,84	A	b
Ina							0,87	A	b
Jaga							0,82	A	ab
Slovena							0,67	A	a
Toplesa							0,70	A	a
Berninova		3					1,86	A	a
Ina							2,09	A	a
Jaga							1,35	AB	a
Slovena							0,69	C	a
Toplesa							0,83	BC	a

*) Wickenanteil in der Aussaatmischung. Werte ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede für den Hauptfaktor Termin, für die Wechselwirkung Wickenanteil x Termin zwischen den Wickenanteilen innerhalb eines Termins bzw. für die Wechselwirkung Wickensorte x Wickenanteil für die Wickenanteile innerhalb einer Wickensorte; Werte ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede für die Wechselwirkung Wickenanteil x Termin zwischen den Terminen innerhalb eines Wickenanteils bzw. für die Wechselwirkung Wickensorte x Wickenanteil für die Wickensorte innerhalb eines Wickenanteils

Die aufgenommene Stickstoffmenge in den Unkräutern ist abhängig von der Unkrautbiomasse unter dem Bestand. In den Daten ist ein starker Jahreseffekt erkennbar. Im trockenen Jahr 2018 war die aufgenommene Stickstoffmenge, aufgrund der niedrigeren Unkrautbiomassen, geringer.

Getreide hat einen hohen Bedarf an Stickstoff und tritt damit in direkte Konkurrenz zum Unkraut. Wicken können, aufgrund ihrer Fähigkeit in Symbiose mit Wurzelrhizobien Luftstickstoff zu fixieren, dieser Konkurrenz ausweichen. Eine Studie von Knight et al. (2017) an Mais zeigt auf, dass Unkräuter mit zunehmendem Alter auch mehr Stickstoff entziehen und weniger Stickstoff im Erntegut eingelagert wird, sodass Unkräuter frühestmöglich entfernt werden sollten. In unseren Versuchen weicht die Wicke jedoch auf eine andere Stickstoffquelle aus, sodass vor allem das Getreide durch den Stickstoffentzug beeinflusst wird. Jedoch sind manche Getreide, wie der Hafer, zudem in der Lage, durch Wurzelausscheidungen Unkräuter ebenfalls effektiv zu unterdrücken (Gronle et al. 2015).

Das deckt sich mit den Untersuchungen in dieser Studie, sodass im Hinblick auf die Fragestellung 5 („Welche Saatwickenanteile in der Aussaatmischung des Gemenges ermöglichen einen sicheren Mähdrusch hinsichtlich der Bestandeshöhe zur Ernte und zeigen eine geringe Verunkrautung mit niedrigem Stickstoffentzug durch die Unkrautbiomasse mit möglichst hohen Saatwickenerträgen?“) zusammenfassend festgestellt werden kann, dass mit zunehmendem Wickenanteil in der Aussaatmischung nicht nur die Unkrautbiomassen, sondern auch die aufgenommene Stickstoffmenge der Unkräuter zugenommen hat. In Gemengen mit wüchsigeren Wickensorten wurde weniger Stickstoff von der Unkrautbiomasse aufgenommen als bei weniger wüchsigen Sorten. Gemenge bis zu einem Wickenanteil von 50 % zeigten einen relativ geringen N-Entzug durch die Unkrautbiomasse. Vergleichbar zu den Ergebnissen der Unkrautbiomasse, können wüchsiger Sorten, wie Slovena und Toplesa, in höheren Wickenanteilen in der Aussaatmischung angebaut werden. Bei kürzeren und weniger wüchsigen Sorten sollten die Wickenanteile im Gemenge 50 % nicht überschreiten.

4.2.1.3 HEB-Index

Für die Beurteilung von Wicken-Gemengen ist neben den Korn- und Rohproteinträgen sowie der unkrautunterdrückenden Wirkung ebenso die Standfestigkeit des Gemenges von Bedeutung, um einen guten Mähdrusch zu ermöglichen. Saatwicken sind zumeist langwüchsig und bilden eine hohe pflanzliche Biomasse, sind aber wenig standfest. Hieraus ergibt sich zum einen die Notwendigkeit des Gemengeanbaus mit einer Partnerpflanze, die eine ausreichende Stützfruchtwirkung aufweist, zum anderen muss deren Anteil in der Aussaatmischung so gewählt sein, dass sie diese Funktion bestmöglich übernehmen kann. Für die Beurteilung kann der HEB-Index genutzt werden, der bisher vorrangig für die Beurteilung der Standfestigkeit von Erbsen eingesetzt wurde (Sauer mann et al. 2016). In der Versuchsserie im Replacement-Design mit unterschiedlichen Wickenanteilen bei gleichzeitig zunehmenden Anteilen von Getreide in der Aussaatmischung haben wir den HEB-Index für Gemenge mit Wicken übernommen. Der HEB-Index (Sauer mann 2007) bestimmt durch den Quotienten aus Wuchshöhe zur Ernte und Wuchshöhe zur Blüte, um wie viel Prozent der Bestand zusammengesunken ist. Ein HEB-Index von 1 zeigt an, dass der Bestand nicht zusammengefallen ist, während 0,5 ein Zusammen-sinken des Bestandes um 50 % anzeigt.

Die drei Versuchsjahre waren witterungsbedingt sehr unterschiedlich. Im niederschlagsreichen Jahr 2017 zeigten die Ergebnisse der ANOVA (Tabelle 33) signifikante Wechselwirkungen von Wickenanteil x Wickensorte. Bei allen Wickensorten nahm der HEB-Index mit steigendem Wickenanteil in der Aussaatmischung ab, wobei deutliche Sortenunterschiede ausgewiesen wurden. So zeigte die kürzere und weniger wüchsige Wickensorte Ina mit jeweils steigendem Wickenanteil signifikant niedrigere HEB-Indices. Für die wüchsigeren Sorten Berninova, Slovena und Toplesa zeigte sich eine signifikante Abnahme nur noch zwischen dem 25 %-Gemenge und den 50 %- und 75 %-Gemengen. Bei der Sorte Jaga lagen die Werte in allen drei Gemengen dagegen auf einem niedrigen Niveau ohne signifikante Unterschiede. Durch das hohe Wasserangebot bildeten die Wicken eine große Menge an Biomasse aus, so dass langwüchsige Sorten bereits ab 25 % Wickenanteil in der Aussaatmischung signifikant niedrigere HEB-Indices aufwiesen als die weniger wüchsige Wickensorte Ina. Ab 75 % Wickenanteil in der Aussaatmischung gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Wickensorten.

Eine weitere Wechselwirkung im Jahr 2017 wurde für Gemengepartner x Wickensorte ausgewiesen. Die Gemengepartner zeigten eine ähnlich gute Stützwirkung, mit Ausnahme des Gemenges mit der Wickensorte Jaga. Hier wies der Sommerweizen eine bessere Stützleistung als der Sommerroggen auf. Zwischen den Wickensorten hatten die Sommerroggen-Gemenge (SR) mit der Wickensorte Ina eine signifikant bessere Stützfruchtwirkung als die restlichen Wickensorten. Die Sommerweizen-Gemenge

(SW) mit den Wickensorten Ina, Jaga und Slovena erzielten eine signifikant bessere Stützfruchtwirkung als bei den Gemengen mit den Wickensorten Berninova und Toplesa.

Die stark von Trockenheit geprägte Vegetationsperiode im Jahr 2018 führte zu gänzlich anderen Ergebnissen bei den HEB-Indices. Die hohen Getreideanteile am Gesamtertrag und die damit verbundenen geringen Wickenanteile führten dazu, dass die Wickenpflanzen im Jahr 2018, aufgrund des Wassermangels und der Konkurrenz um eben dieses, sich nicht im Gemenge gegenüber dem Getreide behaupten konnten. Dennoch reagierten die Wickensorten unterschiedlich auf diese Situation, sodass es auch in diesem Jahr eine Wechselwirkung zwischen Wickenanteil x Wickensorte gab. Die HEB-Indices lagen im Vergleich zum Vorjahr auf einem deutlich höheren Level, wodurch die Gemenge bei allen drei unterschiedlich hohen Wickenanteilen in der Aussaatmischung gut bis sehr gut mit dem Mähdrescher beerntet werden konnten. Nur bei der Wickensorte Berninova war ein signifikant geringerer HEB-Index im Gemenge mit 75 % Wickenanteil in der Aussaatmischung im Vergleich zu den anderen Wickensorten erkennbar. Innerhalb der Wickenanteilstufen reagierten die Wickensorten zum Teil unterschiedlich. Den höchsten HEB-Index hatte in den Gemengen mit 25 %- und 50 %-Wickenanteil in der Aussaatmischung die Sorte Berninova. Dieser war signifikant höher als bei der Sorte Ina. Die übrigen Sorten nahmen hierzu eine Mittelstellung ein. Keine signifikanten Unterschiede wurden für die 75 %-Gemenge ausgewiesen. Die signifikante Hauptwirkung Gemengepartner zeigte einen höheren HEB-Index für Sommertriticale im Vergleich zu Sommerweizen.

Im Jahr 2019 wies die statistische Auswertung nur signifikante Unterschiede für die drei Hauptfaktoren aus. So zeigte der Hauptfaktor Wickensorte, dass die Gemenge mit der wüchsigeren Wickensorte Slovena einen signifikant niedrigeren HEB-Index aufwies als die Gemenge mit den weniger wüchsigen Wickensorten Ina und Berninova. Eine Mittelstellung nahmen die Sorten Jaga (0,47) und Toplesa (0,38) ein, die aber auch signifikant verschieden voneinander waren. Weiterhin nahm der HEB-Index mit steigendem Wickenanteil in der Aussaatmischung signifikant mit jeder Stufe ab. Der Hauptfaktor Gemengepartner zeigte in 2019 einen signifikant höheren HEB-Index für die Gemenge mit Sommerweizen als für die mit Sommertriticale.

Tabelle 33 HEB-Indices für die Wicken- Gemenge in den Jahren 2017 bis 2019 mit Sommerweizen (SW), Sommerroggen (SR, Jahr 2017) sowie Sommertriticale (ST, Jahre 2018 und 2019) (P < 0,05)

		Wickensorte															
		Berninova		Ina		Jaga		Slovena		Toplesa							
2017	Wicken [%] in der Aussaatmischung	25	0,39	B	ab	0,60	C	c	0,35	A	a	0,48	B	b	0,41	B	ab
		50	0,22	A	a	0,35	B	b	0,30	A	ab	0,32	A	b	0,28	A	ab
		75	0,29	A	a	0,25	A	a	0,31	A	a	0,27	A	a	0,23	A	a
	Gemengepartner	SR	0,33	A	a	0,43	A	b	0,28	A	a	0,33	A	a	0,31	A	a
		SW	0,27	A	a	0,37	A	c	0,36	B	bc	0,38	A	c	0,30	A	ab
2018	Wicken [%] in der Aussaatmischung	25	1,14	B	c	0,77	A	a	0,94	A	b	0,87	A	ab	0,96	A	b
		50	1,02	B	b	0,85	A	a	1,01	A	ab	0,93	A	ab	0,89	A	ab
		75	0,85	A	a	0,89	A	a	0,88	A	a	0,99	A	a	0,90	A	a
	Gemengepartner	ST							0,98								B
		SW							0,88								A
2019	Wickensorte		0,51	cd	0,59	d	0,47	c	0,29	a	0,38	b					
	Wicken [%] in der Aussaatmischung	25						0,63									C
		50						0,43									B
		75						0,29									A
Gemengepartner	ST							0,43									A
	SW							0,47									B

25, 50, 75 sind die jeweiligen Prozentzahlen für die Wickenanteile in der Aussaatmischung, Werte ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede für die jeweiligen Jahre für die Hauptfaktoren Wickensorte, Wickenanteil in der Aussaatmischung und Gemengepartner, für die Wechselwirkung Sorte x Wickenanteil für die Wickenanteile innerhalb einer Sorte bzw. für die Wechselwirkung Gemengepartner x Wickenanteil für die Gemengepartner innerhalb einer Sorte; Werte ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede für die Wechselwirkung Sorte x Wickenanteil für die Sorte innerhalb eines Wickenanteils bzw. für die Wechselwirkung Gemengepartner x Wickensorte für die Sorte innerhalb eines Gemengepartners

Insgesamt war die Bestandeshöhe der Wicken im Gemenge im niederschlagsreichen Jahr 2017 zur Blüte auf einem hohen Niveau. So lag die Höhe beim Gemengepartner Sommerweizen zwischen 83,9 cm und 99,0 cm und für Sommerroggen zwischen 75,6 cm und 80,2 cm, je nach Wickenanteil in der Aussaatmischung. Die Sommerroggen-Gemenge sackten um bis zu 71,2 % zusammen, während die Sommerweizen-Gemenge zwar auch um bis zu 75,2 % zusammenfielen, jedoch aufgrund der höheren Wuchshöhe zu Beginn der Blüte auf einem besseren Niveau blieben.

Im Jahr 2018 war der Getreideanteil sehr hoch, aber aufgrund des Wassermangels blieben die Bestände zur Blüte mit 54,4 cm bis 59,9 cm (Sommerweizen) und 50,2 cm bis 61,2 cm (Sommertriticale) auf einem niedrigeren Niveau im Vergleich zum Vorjahr. Die Bestände sackten aber, aufgrund der geringen Biomasseentwicklung der Wicken, auch nur geringfügig zusammen.

Im Jahr 2019 waren die Gemenge beider Gemengepartner ähnlich hoch, jedoch sackten die Gemenge mit Sommertriticale mehr zusammen im Vergleich zu den Sommerweizen-Gemengen.

Im Mittel der Jahre, mit Ausnahme von 2018, konnten Sommerweizen-Wicken-Gemenge Bestandeshöhen um 75 cm erreichen. Ein Zusammensinken des Bestandes um die Hälfte (HEB-Index 0,5) wäre eine Wuchshöhe von 37,5 cm zur Abreife, die sich noch gut maschinell dreschen lassen würde. Eine Verringerung der Höhe des Bestandes auf einen HEB-Index von 0,3 würde jedoch nur noch eine Bestandeshöhe von 22 cm zur Abreife bedeuten, was Probleme bei der maschinellen Ernte sowie beim Abtrocknen des Bestandes hervorrufen kann.

Extreme Witterungsbedingungen, wie Trockenheit oder hoher Niederschlag, beeinflussten den Bestand und die Bestandeshöhe. Die Unterschiede zwischen den beiden Gemengepartnern Sommerweizen und Sommertriticale waren dabei gering. Zusammenfassend kann im Hinblick auf die Fragestellung 5 („Welche Saatwickenanteile in der Aussaatmischung des Gemenges ermöglichen einen sicheren Mähdrusch hinsichtlich der Bestandeshöhe zur Ernte und zeigen eine geringe Verunkrautung mit niedrigem Stickstoffentzug durch die Unkrautbiomasse mit möglichst hohen Saatwickenerträgen?“) festgehalten werden, dass die Wahl der Wickensorte und das Saatstärkenverhältnis für einen erfolgreichen Mähdrusch der Gemenge äußerst wichtig sind. Wickenanteile von 25 % bis 50 % in der Aussaatmischung sind dabei für wüchsige Wickensorten, wie Slovena und Toplesa, zu empfehlen. Kürzere und weniger wüchsige Sorten, wie Ina, sowie Gemenge mit Wickenanteilen bis zu 50 % lassen sich problemlos dreschen.

4.2.2 Keimungs- und Silierversuch

Der Keimungs- und Silierversuch wurde 2019 und 2020 mit Erntegut aus den Parzellenversuchen der Jahre 2018 und 2019 durchgeführt. Ziel des Versuches war die Herstellung definierter Proben der in Reinsaat und im Gemenge mit Sommerweizen und -triticale angebauten fünf Wickensorten, sowohl in roher als auch in gekeimter und siliierter Form. Da die Analyse der Proben im Rahmen des Teil-Arbeitspakets 3.1, "Analyse der Inhaltsstoffe" erfolgte, sind die Ergebnisse in Kapitel 4.3 dargestellt.

4.3 Futtermittelbewertung

Das Arbeitspaket 3 „Futtermittelbewertung“ umfasste sowohl die Analyse der Inhaltsstoffe der Proben aus den Fütterungsversuchen, den Parzellenversuchen und dem Keimungs- und Silierversuch, als auch die Erhebung der *in vivo* Verdaulichkeit von rohen, gekeimten und silierten Saatwickenkörnern bei Masthühnern und Vormastschweinen, und die Berechnung der *in vitro* Verdaulichkeit bei Masthühnern. Die Ergebnisse der Analysen der in den Fütterungsversuchen eingesetzten Futtermischungen wurden bereits im Unter-Kapitel 4.1 „Fütterungsversuche“ dargestellt. Die Ergebnisse der Rohprotein-Analysen der Ernte aus den Parzellenversuchen sind Teil des Unter-Kapitels 4.2.1 „Parzellenversuche“. Im Folgenden werden die Analysenergebnisse des Keimungs- und Silierversuchs sowie die Ergebnisse der Verdaulichkeitsversuche dargestellt.

4.3.1 Analyse der Inhaltsstoffe

Die im Rahmen des Keimungs- und Silierversuchs erzeugten rohen, gekeimten und silierten Proben der fünf Saatwickensorten in Reinsaat und im Gemenge mit Sommerweizen und -triticale wurden einer umfassenden Analyse der wertgebenden und -mindernden Inhaltsstoffe unterzogen.

Rohnährstoffe

Der Rohprotein (XP)-gehalt lag im Mittel der fünf geprüften Sorten über zwei Anbaujahre mit $328,2 \text{ g kg}^{-1}$ unter dem in der Literatur angegebenen Wert von 339 g kg^{-1} (Ott et al. 2005). Allerdings wurden Sortenunterschiede festgestellt, die von $319,2 \text{ g kg}^{-1}$ bei der Sorte Jaga bis zu mit $337,8 \text{ g kg}^{-1}$ bei der Toplesa reichten. Für Slovena wurden $330,5 \text{ g kg}^{-1}$ XP analysiert. Aus Abbildung 11 wird ersichtlich, dass mit der Keimung ein Anstieg der XP-Gehalte auf 340 g kg^{-1} einherging, dargestellt als Mittelwerte der Sorten. Für die Sorte Slovena wurde durch die Keimung ein Anstieg des XP-Gehaltes auf 346 g kg^{-1} analysiert. Die XP-Gehalte der Gemenge von Wicken mit Sommerweizen (SW) und Sommertriticale (ST) erhöhten sich durch die Keimung von 232 auf 250 g kg^{-1} bzw. von 222 auf 247 g kg^{-1} . Bei den reinen Wickensilagen gab es keine Veränderungen im XP-Gehalt durch den Siliierprozess. Die Wicken-Getreide-Silagen wiesen dagegen höhere XP-Gehalte auf als die rohen Wicken-Getreide-Gemenge.



Abbildung 11 Rohproteingehalte der Wicken (W), Wicken-Sommerweizen (W/SW)- und Wicken-Sommertriticale (W/ST)-Gemenge in roher, gekeimter und siliertes Form – Mittelwerte der Sorten und Jahre

Die Stärkegehalte der Sorten variierten von den niedrigsten Gehalten mit 469 g kg^{-1} bei der Sorte Berninova zu den höchsten mit 496 g kg^{-1} bei der Sorte Ina. Durch den Prozess der Keimung kam es zu einem deutlichen Stärkeabbau von, im Mittel aller Sorten, 481 g kg^{-1} auf 417 g kg^{-1} . Die Stärkegehalte der Silagen befanden sich auf dem Niveau der rohen Wicken. In den Wicken-Getreide-Gemengen führte die Keimung zu einem noch deutlicheren Stärkeabbau, der bei den Gemengen mit Weizen auf 79 % des Ausgangsniveaus im Vergleich zu den rohen Gemengen absank, in den Gemengen mit Triticale sogar auf 76 % (Abbildung 12).

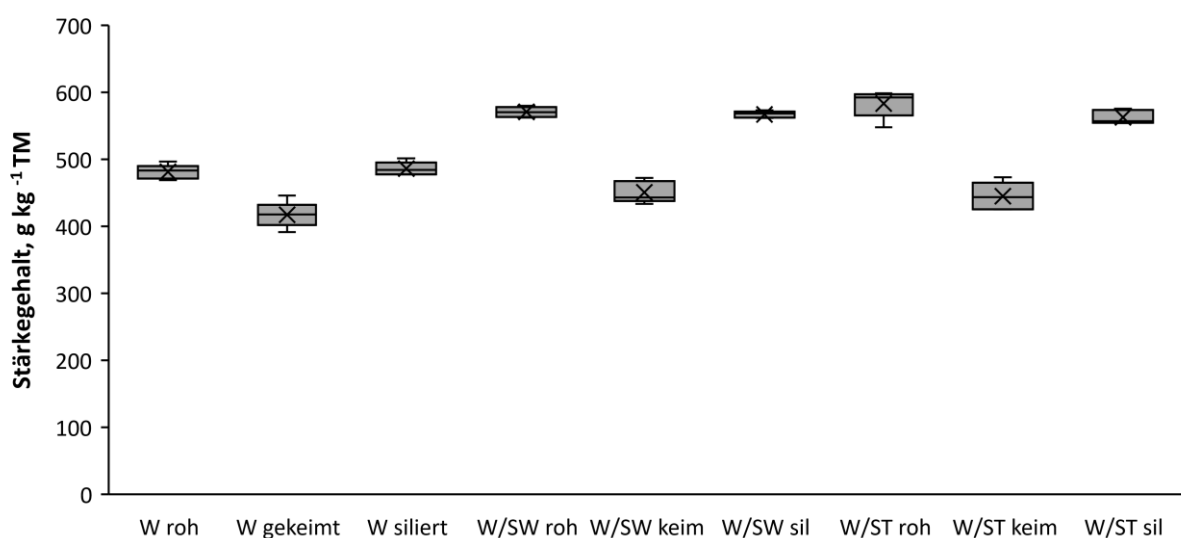


Abbildung 12 Stärkegehalte der Wicken (W), Wicken-Sommerweizen (W/SW)- und Wicken-Sommertriticale (W/ST)-Gemenge in roher, gekeimter und siliertes Form – Mittelwerte der Sorten und Jahre

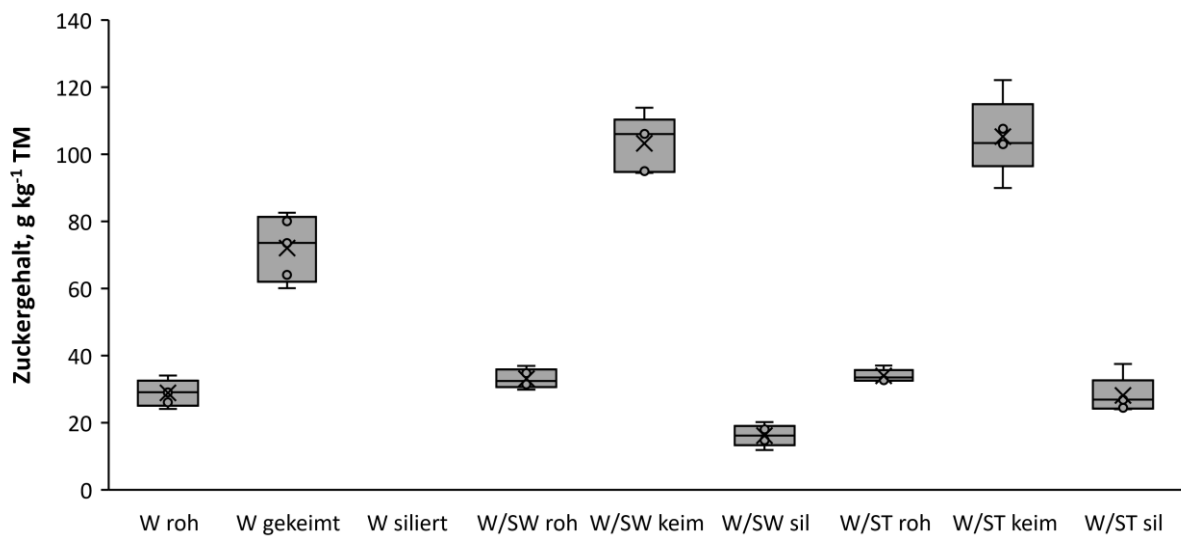


Abbildung 13 Zuckergehalte der Wicken (W), Wicken-Sommerweizen (W/SW)- und Wicken-Sommertriticale (W/ST)-Gemenge in roher, gekeimter und siliierter Form – Mittelwerte der Sorten und Jahre

Die Zuckergehalte der Wicken stiegen durch die Keimung im Mittel von 29 auf 72 g kg⁻¹ an, was durch den Stärkeabbau zu erklären ist. Nach der Silierung konnte, wie zu erwarten, kein Zucker analysiert werden. Der deutlichere Stärkeabbau in den Wicken-Getreide-Gemengen spiegelt sich auch in den höheren Zuckergehalten wieder, die sowohl mit Weizen als auch mit Triticale von 33 auf 104 g kg⁻¹ anstiegen (Abbildung 13). Auch die Rohfasergehalte, die sortenabhängig zwischen 45 und 51 g kg⁻¹ lagen, stiegen von 46,9 auf 53 g kg⁻¹ im Mittel aller Sorten durch den Keimprozess an (Abbildung 14). In den Wicken-Getreide-Gemengen stiegen die Rohfasergehalte noch deutlicher an als in den reinen Wicken, von 35,9 auf 46,6 g kg⁻¹ in den Gemengen mit Weizen und von 37,6 auf 43,3 g kg⁻¹ in denen mit Triticale.



Abbildung 14 Rohfasergehalte der Wicken (W), Wicken-Sommerweizen (W/SW)- und Wicken-Sommertriticale (W/ST)-Gemenge in roher, gekeimter und siliertes Form – Mittelwerte der Sorten und Jahre

Die Fettgehalte der Wickensorten variierten kaum und lagen zwischen 14 und 16 g kg⁻¹. In den Wicken-Getreide-Gemengen wurden Fettgehalte von 17,5 bis 21,5 g kg⁻¹ analysiert. Durch die Behandlungen gab es keine gerichteten Veränderungen. Die Rohaschegehalte der Wicken lagen zwischen 33 und 38 g kg⁻¹, in den Gemengen mit Getreide zwischen 29 und 32 g kg⁻¹. Ein Einfluss der Behandlungen auf die Rohaschegehalte konnte nicht festgestellt werden.

Mineralstoffe

Bei differenzierter Analyse der Mineralstoffe zeigte sich, dass die Phosphorgehalte durch die Keimung anstiegen, von 5,5 auf 5,9 g kg⁻¹ im Mittel der Sorten. Auch in den Wicken-Getreide-Gemengen konnte dieser Anstieg beobachtet werden, der jeweils 7 % betrug. Eine damit einhergehende Senkung des Phytin-Phosphorgehaltes, die zu erwarten wäre, konnte nicht zweifelsfrei nachgewiesen werden. An dieser Stelle wären weitere Untersuchungen mit einer empfindlicheren Analysenmethode angebracht. Noch deutlich ausgeprägter als beim Phosphor war der Behandlungseffekt durch die Keimung beim Calcium zu beobachten, der Ca-Gehalt stieg von 0,89 auf 1,8 g kg⁻¹ bei den Wicken an. Ein Anstieg in ähnlicher Deutlichkeit konnte auch in den Wicken-Getreide-Gemengen beobachtet werden, von 0,6 auf 1,2 g kg⁻¹, unabhängig vom Getreidepartner.

Aminosäuren

Die Methionin- und Cysteingehalte (M+C, Summe beider) schwankten zwischen 5,2 g kg⁻¹ bei der Sorte Slovena und 5,8 g kg⁻¹ bei der Sorte Berninova. Nach der Keimung stiegen die M+C-Gehalte im Mittel um 0,3 g kg⁻¹ an. Auch in den Gemengen aller Sorten mit SW und ST wurden leicht erhöhte M+C-Gehalte nachgewiesen. Die Silierung dahingegen hatte keinen Einfluss auf die M+C-Gehalte.

Die Sorte Toplesa wies mit 19,7 g kg⁻¹ die höchsten Lysingehalte auf, die Sorte Slovena mit 17,4 g kg⁻¹ die geringsten. Auch für Lysin wurde durch den Prozess der Keimung eine Erhöhung für alle Sorten und auch für die Gemenge mit den Getreidepartnern nachgewiesen, die im Mittel 0,6 g kg⁻¹ betrug. Durch die Silierung waren die Gehalte nicht beeinflusst. Die Arginingehalte lagen zwischen 25,1 g kg⁻¹ und 28,0 g kg⁻¹ für die Sorte Slovena. Hier konnte kein Einfluss der Behandlung festgestellt werden. Die Threoningehalte bewegten sich zwischen 17,4 g kg⁻¹, gemessen bei der Sorte Slovena und 19,7 g kg⁻¹ bei der Sorte Toplesa. Durch die Keimung stiegen die Threoningehalte im Mittel von 18,6 g kg⁻¹ auf 19,3 g kg⁻¹. Diese Erhöhung um 0,7 g kg⁻¹ wurde auch für die Gemenge mit den Getreidepartnern SW und ST analysiert. Eine Beeinflussung der Threoningehalte durch die Silierung wurde nicht festgestellt. Die Tryptophangehalte variierten mit den geringsten von 3,1 g kg⁻¹ bei der Sorte Ina und den höchsten mit 3,4 g kg⁻¹ bei der Sorte Berninova geringfügig zwischen den Sorten. Die Keimung bewirkte eine Erhöhung um 0,3 g kg⁻¹, die sowohl bei den reinen Wicken als auch bei den Gemengen mit SW und ST nachgewiesen wurde.

Sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe

Pyrimidinglycoside

Die Pyrimidinglycoside Vicin und Convicin zählen zu den wichtigsten antinutritiven Faktoren (ANF) der Wickenspecies *V. sativa* (Enneking und Wink 2000).

Die *Vicingehalte* der geprüften Sorten lagen zwischen 6,7 g kg⁻¹ (Sorte Jaga) und 8,2 g kg⁻¹ (Sorte Ina) auf einem ähnlich hohen Niveau. Die Behandlungen führten zum Abbau des Vicins in allen Sorten, wobei durch den Silierprozess eine weitaus stärkere Reduzierung des Vicins beobachtet wurde (Abbildung 15) als durch die Keimung. Im Vergleich zur Keimung, bei der das Vicin auf 76 % des Ausgangsniveaus bei reinen Wicken abgebaut wurde, konnten die Vicingehalte während der Silierung auf 60 % des Ausgangsniveaus abgesenkt werden. Noch deutlicher wurde dieser Effekt in den Wicken-Getreidegemengen beobachtet. So sanken die Vicingehalte in den Gemengen mit SW von 4,0 auf 0,94 g kg⁻¹ und damit auf 23 % des Ausgangsniveaus ab. In den Gemengen mit ST sanken die Vicingehalte auf 28 % des Ausgangsniveaus.

Die *Convicingehalte* der Sorten unterschieden sich deutlich. So wurden in den hellsamigen Sorten Toplesa und Ina mit 0,23 und 0,30 g kg⁻¹ sehr geringe Gehalte im Vergleich zu den dunkelsamigen Sorten

gemessen. Die höchsten Gehalte wies die dunkelsamige Sorte Slovena mit $1,1 \text{ g kg}^{-1}$ auf. Während der Keimung stiegen die Convicingehalte im Mittel aller Sorten geringfügig an, dies wurde auch für die Gemenge mit Getreide beobachtet. Die Silierung dahingegen führte zum Abbau der Convicingehalte auf 71 % des Ausgangsniveaus in den reinen Wicken. In den Gemengen mit Getreide wurde ein deutlich stärkerer Abbau des Convicins beobachtet, der mit SW bei einem Abbau auf 27-37 % des Ausgangsniveaus lag. Mit ST wurden Convicingehalte gemessen, die zwischen 33 und 45 % des Ausgangsniveaus betragen.

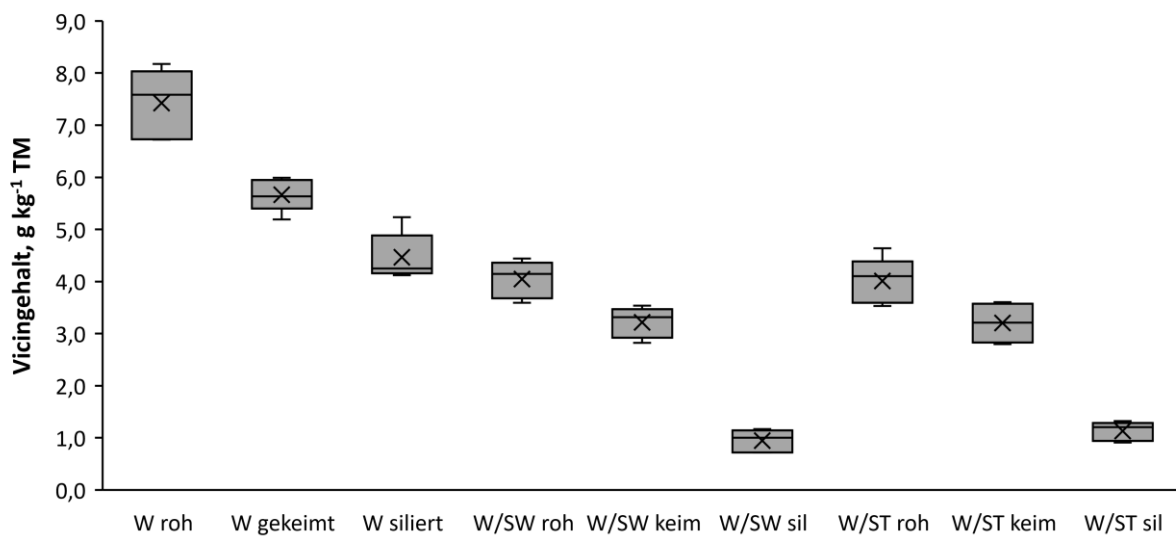


Abbildung 15 Vicinergehalte der Wicken (W), Wicken-Sommerweizen (W/SW)- und Wicken-Sommertriticale (W/ST)-Gemenge in roher, gekeimter und siliert Form – Mittelwerte der Sorten und Jahre

Untersuchungen von Rizello et al. (2016) zeigten einen 90 %igen Abbau der Pyrimidinglycoside in Ackerbohnenmehl nach Fermentation mit *Lactobacillus plantarum* durch die schnelle Absenkung des pH-Wertes. Die Versuchsanstellung ist mit der Herstellung der Modellsilagen im hier beschriebenen Projekt zwar nicht direkt vergleichbar, zeigt aber den Mechanismus auf, der bei der Hydrolyse stattfindet, nämlich im ersten Schritt den Abbau des Vicins und Convicins zu ihren Aglyconen Divicin und Isouramil durch die β -Glucosidase-Aktivität des Milchsäurebakteriums, die dann im zweiten Schritt aufgrund ihrer chemischen Instabilität zerfallen. Als Silierhilfsmittel kam im Projekt ebenfalls ein *Lactobacillus plantarum* zum Einsatz, was aufgrund der vergleichbaren Ergebnisse zu Rizello et al. (2016) darauf schließen lässt, dass in den hier dargestellten Untersuchungen der gleiche Mechanismus des Abbaus stattfand. Dass eine saure Hydrolyse, wie sie bei der Silierung eintritt, zu einem starken Abbau der Pyrimidinglycoside führt, wurde auch von Pulkkinen et al. (2019) für Ackerbohnen beschrieben.

Cyanoalanintoxine

Die nicht-proteinogenen Aminosäuren, zu denen auch die Cyanoalanintoxine gehören, zählen neben den Pyrimidinglycosiden zu den wichtigsten antinutritiven Faktoren (ANF) der Wickenspecies *V. sativa* (Enneking und Wink 2000). In den geprüften Sorten wurden γ -Glutamyl- β -Cyanoalanin (GCA)-Gehalte von 9,6 (Slovena) bis 12,9 (Jaga) g kg^{-1} gemessen. Diese Werte befinden sich im oberen Bereich der bei Berger et al. (2003) beschriebenen Gehalte für *Vicia sativa*, die im Mittel bei 8,1 g kg^{-1} lagen (4,1-13,6 g kg^{-1}), wobei keine Sortendifferenzierung vorgenommen wurde. Ressler et al. (1997) fanden GCA-Gehalte in *V. sativa* von 4,2 bis 7,4 g kg^{-1} , wobei auch nicht auf die geprüften Sorten zurückzuschließen ist. Durch die Keimung wurde ein geringfügiger Abbau des GCA von, im Mittel, 11 % beobachtet. Die Silierung führte zu einem Abbau des GCA auf 42 % des Ausgangsniveaus bei reinen Wicken. Bei Betrachtung der GCA-Gehalte der Wicken-Getreide-Gemenge wurde deutlich, dass, ebenso wie bei den Pyrimidinglycosiden, ein sehr viel stärkerer Abbau während des Silierprozesses im Vergleich zur Keimung stattfand (Abbildung 16). Die GCA-Gehalte betrug nach der Silierung 0,9 – 2,3 g kg^{-1} . Ein Abbau durch saure Hydrolyse, wie sie bei der Silierung stattfindet, wurde auch von anderen Autoren beschrieben (Enneking und Wink 2000). Eine Ursache dafür, dass der Abbau dieser ANF (Pyrimidinglycoside und GCA) während der Silierung in den Gemengen mit Getreide deutlich stärker ausfällt, könnte mit der Pufferwirkung des Proteins zu erklären sein. Die hohen Rohproteingehalte der Wicken mit über 30 % verhindern ein schnelles Absinken des pH-Wertes im Gegensatz zu den Wicken-Getreide-Gemengen, die deutlich niedrigere Rohproteingehalte aufweisen.

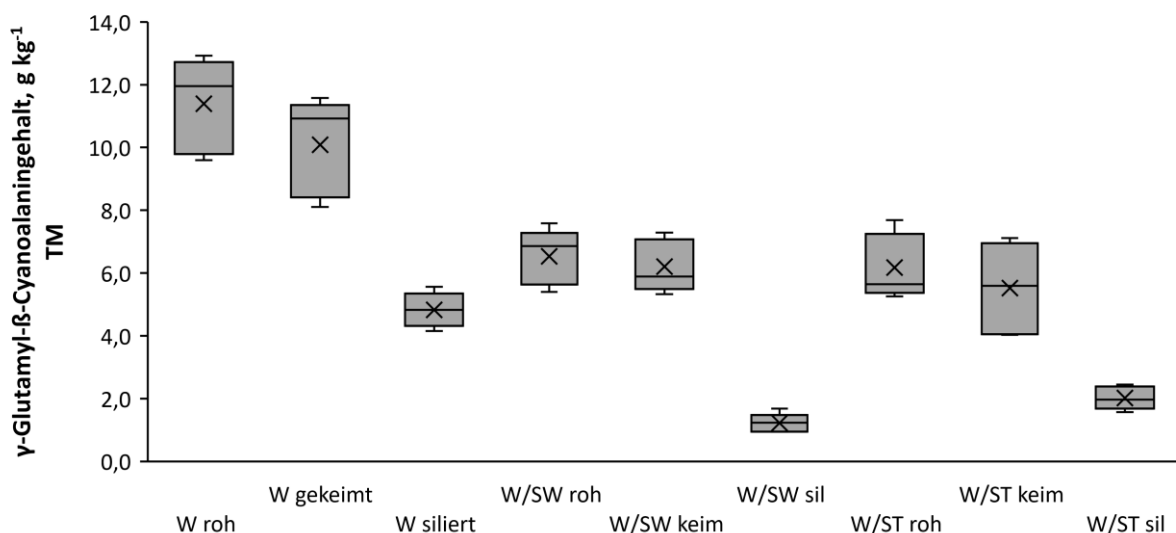


Abbildung 16 γ -Glutamyl- β -Cyanoalaningehalte der Wicken (W), Wicken-Sommerweizen (W/SW)- und Wicken-Sommertriticale (W/ST)-Gemenge in roher, gekeimter und siliert Form – Mittelwerte der Sorten und Jahre

Die nichtproteinogene Aminosäure β -Cyanoalanin (BCA) kommt im Vergleich zu dem Dipeptid GCA in den geprüften Sorten in deutlich geringeren Konzentrationen vor. So lagen die Gehalte mit 0,03-0,06 g kg⁻¹ im unteren Bereich der von Megias et al. (2014) publizierten Daten (0,03-0,22 g kg⁻¹), aber deutlich unter denen von Ressler et al. (1997), die Gehalte von 0,1-0,3 g kg⁻¹ angaben. Wie aus Abbildung 17 ersichtlich wird, führte die Keimung lediglich zu marginalen Veränderungen des BCA-Gehaltes. Durch den Silierprozess hingegen kam es zu einem deutlichen Anstieg des BCA, von im Mittel 0,03 auf 0,35 g kg⁻¹. Dieser Anstieg könnte auf den Abbau des Dipeptids GCA zurückzuführen sein.

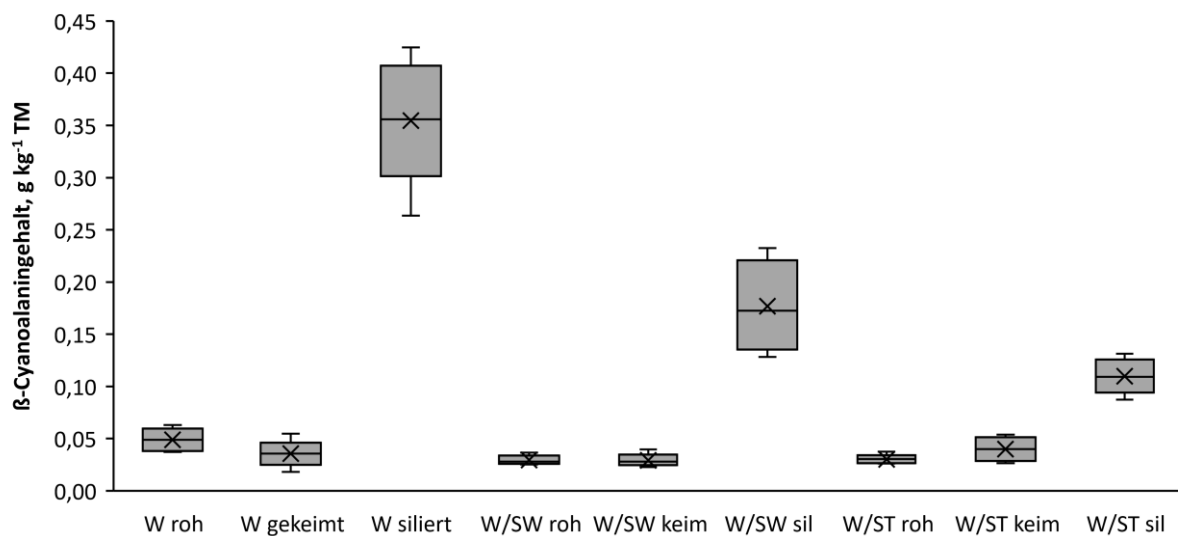


Abbildung 17 β -Cyanoalanin Gehalte der Wicken (W), Wicken-Sommerweizen (W/SW)- und Wicken-Sommertriticale (W/ST)-Gemenge in roher, gekeimter und siliert Form – Mittelwerte der Sorten und Jahre.

Tannine

Die geprüften Sorten wiesen stark variierende Tanningehalte auf, die von 1 g kg⁻¹ bei der hellsamigen Sorte Ina bis zu 8,3 g kg⁻¹ bei der dunkelsamigen Sorte Slovenia reichten. Während der Keimung verhielten sich die Sorten in Abhängigkeit der Samenfarbe unterschiedlich, wurden die Tannine bei den dunkelsamigen Sorten (Berninova, Jaga, Slovenia) deutlich abgebaut (auf ca. 50 %), stiegen sie bei den hellsamigen Sorten (Ina, Toplesa) an. Ähnliche Ergebnisse wurden für die Tanningehalte nach der Silierung erhalten, in den dunkelsamigen Sorten wurden die Tannine abgebaut, in den hellsamigen stiegen sie an. Wobei für die Bewertung unbedingt das Niveau zu beachten ist: der Anstieg bei den hellsamigen Sorten findet von 1,0 auf 1,8 g kg⁻¹ während der Keimung und auf 2,1 g kg⁻¹ während der Silierung statt. Die Tanningehalte bei den dunkelsamigen Sorten betragen zwar auch ca. 50 % des Ausgangsniveaus, dies bedeutet aber immer noch, dass doppelt so hohe Gehalte in den dunkelsamigen

Sorten gemessen wurden, auch nach den Behandlungen, im Vergleich zu den hellsamigen. Diese Beobachtungen bestätigten sich auch in den Wicken-Getreide-Gemengen. Sowohl in den Gemengen dunkelsamiger Wicken mit SW als auch mit ST wurden die Tannine während der Behandlungen reduziert. In den Gemengen mit den hellsamigen Sorten stiegen die Tanningehalte dagegen an. So wurden nach den Behandlungen in den dunkelsamigen Sorten ähnliche Tanningehalte gemessen wie in den hellsamigen Sorten. Ob dies Auswirkungen beim Tier hat, kann nicht abschließend beurteilt werden. Tannine interagieren mit Proteinen und setzen u.a. die Proteinverdaulichkeit beim Monogastrier herab, wie Jansmann et al. (1993) für Ackerbohnen beschrieben. Sie stellten bereits bei Gehalten von 1,0 bis 2,3 g kg⁻¹ an kondensierten Tanninen (aus Ackerbohnen) verringerte scheinbare Proteinverdaulichkeiten beim Ferkel fest. Dahingegen konnten Flies et al. (1999) bei wachsenden Schweinen (25-63 kg) keine negativen Effekte bei Verfütterung von Diäten mit 0,59 g kg⁻¹ kondensierten Tanninen feststellen. Die möglichen Tanninaufnahmen aus den geprüften Sorten würden bei Einsatz von 15 % Wicken in der Ration für Mastschweine zwischen 0,15 g kg⁻¹ bei Einsatz der Sorte Ina und 1,2 g kg⁻¹ bei Einsatz der Sorte Slovena liegen. Damit wäre eine Beeinflussung der Proteinverdaulichkeit nicht auszuschließen. Beachtet werden muss allerdings, dass in diesem Projekt die Gesamttannine analysiert wurden und in den zitierten Arbeiten die Gehalte kondensierter Tannine angegeben waren.

Zusammenfassend können die dem Projekt vorangestellten Forschungsfragen des AP Futtermittelbewertung, Teil 3.1 folgendermaßen beantwortet werden:

1. Einfluss der Behandlung auf die Inhaltsstoffe von Saatwickenkörnern der Sorte Slovena? Die Rohnährstoffe der Sorte Slovena wurden durch die Keimung in gleicher Weise beeinflusst wie die der anderen geprüften Sorten, der Rohprotein- und der Rohfasergehalt wurde erhöht, der Stärkegehalt sank ab, die anderen Rohnährstoffe blieben unbeeinflusst. Bei den Aminosäuren wurde für Methionin+Cystein, Lysin, Threonin und Tryptophan ein geringfügiger Anstieg verzeichnet, bei Arginin waren keine Veränderungen sichtbar. Die Silierung hatte keinen Einfluss auf Rohnährstoff- und Aminosäuregehalte. Die Behandlungen Keimung und Silierung führten auch bei der Sorte Slovena zum Abbau der ANF Vicin, Convicin, γ -Glutamyl- β -Cyanoalanin und der Tannine. Das β -Cyanoalanin wurde durch die Keimung abgebaut und stieg durch die Silierung an.

2. Bestehen Sortenunterschiede und Wechselwirkungen zwischen Saatwickensorte und Gemengepartner und der Veränderung der Inhaltsstoffe durch die Behandlung? Ausgeprägte Sortenunterschiede bestehen bei den geprüften Sorten hinsichtlich der Rohnährstoffe nicht. Allerdings gibt es bei den ANF Sortenunterschiede, die sich vor allem in den Convicin- und Tanningehalten manifestierten. So waren diese in den hellsamigen Sorten deutlich geringer als in den dunkelsamigen. Ein deutlicher Einfluss der

Getreidepartner in den Gemengen wurde hinsichtlich des Abbaus der Pyrimidinglycoside und des γ -Glutamyl- β -Cyanoalanins während der Silierung beobachtet. So sanken deren Gehalte in den Gemengen mit Getreide weitaus stärker ab als während der Silierung der reinen Wicken. Die Gehalte an β -Cyanoalanin stiegen allerdings durch die Silierung an, was aus dem Abbau des γ -Glutamyl- β -Cyanoalanins resultiert. Die Keimung hatte deutlich geringere Effekte auf den Abbau der ANF als die Silierung.

3. Unterscheidet sich der Effekt der Keimung von dem der Silierung hinsichtlich der Veränderung der Inhaltsstoffe? Die Unterschiede der Behandlung wurden sowohl bei den Rohnährstoffen als auch bei den ANF deutlich. So stiegen die Rohprotein- und Rohfasergehalte während der Keimung an, die Stärkegehalte sanken, wohingegen alle Rohnährstoffe von der Silierung unbeeinflusst waren. Die Keimung hatte deutlich geringere Auswirkungen auf den Abbau der ANF als die Silierung.

4.3.2 *In vivo* Verdaulichkeit Mastschwein

Für die Ergebnisse des Arbeitspakets 3.2 (Bestimmung der *praecaecalen* Verdaulichkeit von Saatwickenkörnern der Sorte Slovena beim Mastschwein, *in vivo*) sei auf den Endbericht des Teilprojekts FKZ 2815OE106 verwiesen (Projektlaufzeit 01.03.2017 – 28.02.2018), der von Dr. Andreas Berk vom Institut für Tierernährung des Friedrich-Loeffler-Instituts, Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit eingereicht und bereits begutachtet wurde.

4.3.3 *In vivo* Verdaulichkeit Masthuhn

Tabelle 34 zeigt die standardisierte *praecaecale* Verdaulichkeit (SID) des Rohproteins und der Aminosäuren in rohen, gekeimten und silierten Saatwickenkörnern beim Masthuhn. Die Keimung der Saatwickenkörner führte bei fast allen Aminosäuren zu den höchsten standardisierten *praecaecalen* Verdaulichkeiten, mit Werten zwischen 0,66 (Cystein) und 1,12 (Methionin). Im Vergleich zur SID der rohen Saatwickenkörner war die der Gekeimten um 0,01 (Arginin) bis 0,16 (Methionin) höher. Die SID-Werte der silierten Saatwickenkörner waren durchwegs niedriger und lagen in einem Bereich zwischen 0,42 (Threonin) und 0,89 (Valin). Der Unterschied zu den rohen Saatwickenkörnern betrug -0,10 (Arginin) bis -0,20 (Threonin). Die SID-Werte der Aminosäuren in den rohen Saatwickenkörnern lagen überwiegend zwischen denen der gekeimten und silierten Saatwickenkörner und reichten von 0,57 (Valin) bis 0,96 (Methionin). Der größte Unterschied zwischen den beiden Behandlungen wurde für Threonin gefunden, welcher nach der Keimung einen SID-Wert von 0,66 aufwies, während die standardisierte *praecaecale* Verdaulichkeit nach der Silierung auf nur 0,41 sank.

Tabelle 34 Standardisierte *praecaecale* Verdaulichkeit (SID ± SE) des Rohproteins und der Aminosäuren in rohen, gekeimten und silierten Saatwickenkörnern beim Masthuhn

	Saatwicken, Behandlung			R ²		
	roh	gekeimt	siliert	roh	gekeimt	siliert
Rohprotein	0,86 ± 0,07	0,87 ± 0,07	0,68 ± 0,07	0,90	0,89	0,85
Lysin	0,91 ± 0,08	0,90 ± 0,07	0,76 ± 0,76	0,89	0,90	0,93
Methionin	0,96 ± 0,11	1,12 ± 0,10	0,77 ± 0,11	0,82	0,88	0,76
Cystein	0,61 ± 0,16	0,66 ± 0,15	n.s. ¹	0,45	0,52	n.s. ¹
Methionin + Cystein	0,77 ± 0,13	0,89 ± 0,12	0,41 ± 0,14	0,66	0,75	0,30
Threonin	0,61 ± 0,16	0,66 ± 0,15	0,41 ± 0,10	0,45	0,52	0,50
Tryptophan	0,83 ± 0,15	0,91 ± 0,10	0,60 ± 0,12	0,64	0,83	0,63
Leucin	0,88 ± 0,07	0,93 ± 0,07	0,72 ± 0,06	0,89	0,92	0,90
Isoleucin	0,85 ± 0,08	0,91 ± 0,07	0,66 ± 0,66	0,87	0,92	0,87
Valin	0,57 ± 0,16	0,89 ± 0,07	0,89 ± 0,06	0,40	0,91	0,85
Arginin	0,89 ± 0,05	0,90 ± 0,03	0,79 ± 0,03	0,96	0,98	0,97
Histidin	0,80 ± 0,07	0,93 ± 0,07	0,63 ± 0,05	0,87	0,91	0,91
Phenylalanin	0,86 ± 0,08	0,91 ± 0,08	0,70 ± 0,07	0,88	0,90	0,87
Tyrosin	0,85 ± 0,07	0,91 ± 0,08	0,70 ± 0,09	0,90	0,88	0,77
Alanin	0,89 ± 0,09	0,91 ± 0,08	0,70 ± 0,07	0,84	0,88	0,84
Glycin	0,77 ± 0,10	0,83 ± 0,10	0,48 ± 0,09	0,77	0,81	0,63
Serin	0,83 ± 0,08	0,89 ± 0,08	0,60 ± 0,08	0,88	0,87	0,76
Prolin	0,83 ± 0,08	0,89 ± 0,09	0,58 ± 0,08	0,86	0,87	0,76
Asparaginsäure	0,79 ± 0,08	0,81 ± 0,04	0,60 ± 0,06	0,86	0,86	0,87
Glutaminsäure	0,91 ± 0,06	0,94 ± 0,06	0,74 ± 0,06	0,93	0,94	0,91

¹n.s. = nicht signifikant

4.3.4 *In vitro* Verdaulichkeit Masthuhn

Die *in vitro* Verdaulichkeit der rohen, gekeimten und silierten Saatwicken wurde mit Hilfe der Formel aus Witten & Aulrich (in Begutachtung 2021) für 21 und 42 Tage alte Masthühner aus der *in vitro* Verschwindensrate des Rohproteins berechnet (Tabelle 35).

Tabelle 35 *In vitro* Verschwindensrate und *in vitro* Verdaulichkeitskoeffizienten des Rohproteins in rohen, gekeimten und silierten Saatwickenkörnern bei 21 und 42 Tage alten Masthühnern (nach Witten & Aulrich (in Begutachtung 2021))

	<i>In vitro</i> Verschwindensrate			<i>In vitro</i> Verdaulichkeitskoeffizient		
	roh	gekeimt	siliert	roh	gekeimt	siliert
21 Tage				0,85 ± 0,003	0,84 ± 0,005	0,87 ± 0,000
42 Tage	0,70 ± 0,003	0,69 ± 0,007	0,72 ± 0,000	0,83 ± 0,003	0,82 ± 0,006	0,85 ± 0,000

Es ist zu beachten, dass in der Entwicklung der Regressionsgleichung für die Bestimmung der Verdaulichkeitskoeffizienten aus der Verschwindensrate des Rohproteins keine Wicken genutzt wurden. Dennoch entspricht die Größenordnung der *in vitro* Verdaulichkeitskoeffizienten mit 0,85 und 0,84 bei der rohen und gekeimten Saatwicke in etwa der der *in vivo* Verdaulichkeitskoeffizienten mit 0,86 und 0,87, die bei 21 Tage alten Mastbroilern erhoben wurden. Die silierte Saatwicke hatte mit 0,87 die höchste *in vitro* Verdaulichkeit, mit 0,68 jedoch die geringste *in vivo* Verdaulichkeit. Das heißt, dass während der Behandlung mit Verdauungsenzymen mehr Rohprotein aus der Probe gelöst wurde. Im Verdauungsversuch wurde das gelöste Protein jedoch nicht bis zum Ende des Ileums resorbiert. Wie diese Diskrepanz zustande kommt, muss weiter untersucht werden.

5 Nutzen und Verwertbarkeit

Das vorliegende Verbundprojekt trägt dazu bei, Wissenslücken zum Einsatz von Saatwickenkörnern als eiweißreiche Futterkomponente in der Fütterung monogastrischer Nutztiere zu schließen. Parzellenversuche mit fünf verschiedenen Saatwickensorten, sowohl in Reinsaat als auch im Gemenge mit Sommerweizen und -triticale, liefern Grundlagenwissen zum Anbau von Saatwicken als Körnerleguminose für interessierte Landwirte. Die Analyse der Inhaltsstoffe der fünf getesteten Saatwickensorten zeigte bisher nicht bekannte und teilweise deutliche Sortenunterschiede, welche sowohl hinsichtlich des Einsatzes dieser Sorten in der Fütterung als auch hinsichtlich einer möglichen züchterischen Bearbeitung der Saatwicke von Bedeutung sind. Die Analytik der beim Einsatz von Saatwicken als Futtermittel besonders bedeutsamen ANF Pyrimidinglucoside und Cyanoalanintoxine wurde im Rahmen des Projekts im Labor des Thünen-Instituts etabliert, wodurch eine wesentliche Kompetenz für die weitere Bearbeitung der Saatwicke als Futterressource geschaffen wurde. Die Sortenunterschiede zeigen Optionen auf, durch eine gezielte Nutzung hellere und dadurch Convicin- und Tannin-ärmerer Wicken auch höhere Rationsanteile in der Hühnerfütterung zu realisieren. Die Analyse der ANF und ihrer Veränderung durch die Keimung bzw. Silierung zeigte interessante Möglichkeiten auf, ANF durch eine Behandlung zu reduzieren, was sowohl für eine mögliche zukünftige überbetriebliche Verwertung von Saatwickenkörnern als Futtermittel als auch für die Behandlung verwandter Körnerleguminosen von Bedeutung sein kann. Die Fütterungsversuche mit Körnern der Saatwickensorte Slovena ergaben eine Präferenz für behandelte Wicken im Vergleich zu rohen, wobei diese bei gekeimten Wicken für Masthühnern besonders ausgeprägt war. Diese Beobachtung deckte sich mit dem Ergebnis des *in vivo* Verdaulichkeitsversuchs mit Masthühnern, der im Keimgut eine leicht erhöhte Verdaulichkeit zeigte, aber zu einem erhöhten Futteraufwand führte. Für Masthühner kann auf Basis des mit rohen Saatwickenkörnern durchgeführten Fütterungsversuchs die Empfehlung für die Praxis abgeleitet werden, dass ein Einsatz von Wicken der Sorte Slovena bis zum einem Rationsanteil von 12,5 % problemlos möglich ist. In Summe wurden im Rahmen des Projekts also sowohl unmittelbar für Landwirte umsetzbare Empfehlungen abgeleitet, als auch Ansatzpunkte und Grundlagenwissen für eine zukünftige züchterische und wissenschaftliche Bearbeitung der Nutzung der Saatwicke als Körnerleguminose geschaffen.

6 Geplante und erreichte Ziele

Die im Projektantrag vom 09.03.2016 ausgeführten Projektarbeiten zum Anbau von fünf verschiedenen Saatwickensorten sowohl in Reinsaat als auch im Gemenge, der Verfütterung von rohen, gekeimten und silierten Saatwickenkörnern an Masthühner Legehennen und Vormastschweine, der Analyse der wertgebenden und -mindernden Inhaltsstoffe in rohen und behandelten Saatwickenkörnern inklusive Etablierung der Analytik für die ANF Pyrimidinglucoside (Vicin und Convicin) und Cyanoalanintoxine (β -Cyanoalanin und γ -Glutamyl- β -Cyanoalanin) sowie der Erhebung der *in vivo* Verdaulichkeit bei Masthühnern und -schweinen wurden plangemäß durchgeführt. Das Projekt sollte einen Beitrag zur regionalen Eiweißversorgung von monogastrischen Nutztieren im Ökologischen Landbau liefern, indem die Körner der Saatwicke durch eine Behandlung zu einer besser verträglichen und verdaulichen Futterkomponente veredelt werden. Die Verbesserung der Verdaulichkeit konnte im Fall der gekeimten Wicke für das Masthuhn gezeigt werden, die Silierung hingegen führte sowohl beim Masthuhn wie auch beim -schwein zu einer Verringerung der Verdaulichkeit. Die Analyse der antinutritiven Faktoren ergab leicht positive Effekte der Keimung (Reduktion der Tannine) und deutlich positive Effekte der Silierung in Form einer drastischen Verringerung der Gehalte an Vicin und γ -Glutamyl- β -Cyanoalanin. In den Fütterungsversuchen zeigten sowohl Masthühner als auch Legehennen und Vormastschweine eine Präferenz für behandelte Wicken, diese war aber unterschiedlich ausgeprägt und führte im Fall der gekeimten Wicken für Masthühner zu einer Erhöhung des Futteraufwands. Es lässt sich daher festhalten, dass die Verbesserung der Futtereigenschaften von Saatwickenkörnern durch eine Keimung oder Silierung teilweise erfolgreich war, aber einer differenzierten Betrachtung bedarf. Als unmittelbare Schlussfolgerung erlaubt der Fütterungsversuch zum Einsatz roher Saatwickenkörner für Masthühner die Empfehlung, dass Körner der Sorte Slovena bis zu einem Rationsanteil von 12,5 % problemlos eingesetzt werden können. Mögliche weiterführende Fragestellungen betreffen einen Einsatz roher und behandelter Wicken in höheren Rationsanteilen in der Mastschweinefütterung, die Nutzung der beobachteten positiven Effekte der Silierung für verwandte Körnerleguminosen, sowie eine Potentialabschätzung des Einsatzes der Behandlung für den überbetrieblichen Einsatz von Saatwicken in der Fütterung monogastrischer Nutztiere.

7 Zusammenfassung

Das Ziel des Projekts war es, den Einsatz der Körnerleguminose Saatwicke (*Vicia sativa* L.) als eiweißreiche Komponente in der ökologischen Fütterung monogastrischer Nutztiere zu fördern. Damit sollte die innerbetriebliche Nutzung einer Futterressource verbessert werden, die sich für den Anbau unter ökologischen Bedingungen in Deutschland eignet. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden dreijährige Anbauversuche, eine umfassende Analyse der Nährstoffe und antinutritiven Faktoren, sowie Fütterungsversuche mit Masthühnern, Legehennen und Vormastschweinen und ergänzende Verdaulichkeitsuntersuchungen mit Masthühnern und -schweinen durchgeführt.

In den Anbauversuchen wurden die fünf Saatwickensorten Berninova, Jaga, Ina, Slovena und Toplesa in Reinsaat und im Gemenge mit Sommerweizen, -triticale und -roggen angebaut. Im ersten Versuchsjahr 2017 zeigte sich, dass sich der verwendete Sommerroggen aufgrund der fehlenden Standfestigkeit und der zu frühen Abreife nicht für den Wicken-Gemengeanbau zur Kornnutzung eignete. Daher wurde ab 2018 eine Sommertriticale verwendet. Gemenge mit Sommertriticale erzielten dabei etwas geringere Gesamtkornerträge als die jeweiligen Gemenge mit Sommerweizen. Die drei Versuchsjahre unterschieden sich deutlich hinsichtlich der Witterungsbedingungen, trotzdem erzielten die Sommerweizen-Gemenge mit der Saatwickensorte Slovena die höchsten Gesamtkornerträge mit 34,2 bis 37,1 dt ha⁻¹. Diese Gesamtkornerträge wurden mit Wickenanteilen von 30-50 % in der Aussaatmischung erreicht. Auch die Wickenteilkornerträge waren stark abhängig von den Witterungsbedingungen in den Versuchsjahren. Es lässt sich ableiten, dass in Jahren mit besserer Wasserversorgung der Wickenanteil in der Aussaatmischung 50 bis 75 % betragen sollte, um möglichst hohe Gesamt- als auch Wickenteilkornerträge zu erreichen. Wüchsigeren Sorten wie Slovena und Toplesa können dabei mit geringeren Wickenanteilen in der Aussaatmischung gute Gesamtkornerträge mit recht hohen Wickenteilerträgen erzielen, während bei den weniger wüchsigen Sorten wie Ina höhere Anteile in der Aussaatmischung erforderlich sind. Hinsichtlich der Gesamtrohproteinträge der Gemenge lagen die Sommerroggen-Gemenge des ersten Versuchsjahrs 2017 auf einem niedrigeren Niveau als die Sommerweizen-Gemenge. Die, ab dem zweiten Versuchsjahr, angebauten Wicken-Gemenge mit Sommertriticale zeigten dagegen ähnlich hohe Gesamtrohproteinträge wie die Wicken-Gemenge mit Sommerweizen. Im Durchschnitt der Jahre wurden die höchsten Gesamtrohproteinträge in den Gemengen mit Slovena erreicht, die 2017 und 2019 mit 10,7 dt ha⁻¹ auf einem hohen Niveau lagen. Die Saatwickenanteile betragen dabei oftmals um 40 % in der Aussaatmischung, zum Teil aber auch deutlich darüber. Das Unkrautauflaufen war aufgrund der Trockenheit im Jahr 2018 sowohl in den Sommerweizen- als auch in den Sommertriticale-Wicken-Gemengen in 2019 höher als 2018. Im Jahr 2019 zeigte sich eine signi-

fikante Wirkung der Wickensorte in den Sommerweizen-Gemengen, wobei langwüchsige Saatwickensorten wie Slovena, Toplesa oder Jaga, die Unkräuter signifikant besser unterdrückten als niedrigwachsende Wickensorten wie z.B. die Sorte Ina. Für die Druschfähigkeit der Bestände bedeutsam ist die Bestandeshöhe zur Ernte. Die diesbezüglichen Unterschiede zwischen den beiden Gemengepartnern Sommerweizen und Sommertriticale waren gering. Die Wahl der Wickensorte und das Saatstärkenverhältnis sind jedoch wichtig für den Erfolg des Gemenges. Wickenanteile von 25 % bis 50 % in der Aussaatmischung sind dabei für langwüchsige Wickensorten wie Slovena und Toplesa zu empfehlen. Kürzere und niedrigwüchsige Sorten wie Ina, sowie Gemenge mit Wickenanteilen bis zu 50 % lassen sich problemlos dreschen.

Im Rahmen des Keimungs- und Silierversuchs wurden Ernteproben aus den Parzellenversuchen 2018 und 2019 in roher, gekeimter und siliierter Form analysiert, um Erkenntnisse zu Sortenunterschieden und zur Veränderung der Inhaltsstoffe durch die Behandlung zu gewinnen. Der Rohproteingehalt lag im Mittel der fünf geprüften Sorten (Berninova, Jaga, Ina, Slovena, Toplesa) über zwei Anbaujahre bei 328 g kg^{-1} , allerdings bestanden Sortenunterschiede, mit dem geringsten Gehalt von 319 g kg^{-1} bei der Sorte Jaga und dem höchsten von 338 g kg^{-1} bei Toplesa. Die in den Fütterungsversuchen eingesetzte Sorte Slovena enthielt 331 g kg^{-1} . Durch die Keimung kam es zu einem Anstieg des Rohproteingehalts auf 340 g kg^{-1} im Mittel der Sorten, während es bei den reinen Wickensilagen keine Veränderungen im Rohproteingehalt durch den Silierprozess gab. Die Rohproteingehalte der Gemenge von Wicken mit Sommerweizen und Sommertriticale erhöhten sich sowohl durch die Keimung als auch durch die Silierung.

Die Stärkegehalte der Sorten variierten von den niedrigsten Gehalten mit 469 g kg^{-1} bei der Sorte Berninova zu den höchsten mit 496 g kg^{-1} bei der Sorte Ina. Durch die Keimung kam es zu einem deutlichen Stärkeabbau von 481 g kg^{-1} auf 417 g kg^{-1} im Mittel aller Sorten. Die Stärkegehalte der Silagen befanden sich auf dem Niveau der rohen Wicken. In den Wicken-Getreide-Gemengen führte die Keimung zu einem noch deutlicheren Stärkeabbau, der bei den Gemengen mit Weizen auf 79 % des Ausgangsniveaus im Vergleich zu den rohen Gemengen absank, in den Gemengen mit Triticale sogar auf 76 %. Die Phosphorgehalte stiegen durch die Keimung von $5,5 \text{ g kg}^{-1}$ auf $5,9 \text{ g kg}^{-1}$ im Mittel der Sorten an. Eine damit einhergehende Senkung des Phytin-Phosphorgehaltes konnte nicht zweifelsfrei nachgewiesen werden. An dieser Stelle wären weitere Untersuchungen mit einer empfindlicheren Analysenmethode notwendig. Die Summe der Methionin- und Cysteingehalte schwankten zwischen $5,2 \text{ g kg}^{-1}$ bei der Sorte Slovena und $5,8 \text{ g kg}^{-1}$ bei der Sorte Berninova. Nach der Keimung stiegen die Methionin+Cystein-Gehalte im Mittel um $0,3 \text{ g kg}^{-1}$ an. Auch in den Gemengen mit Sommerweizen und -triticale wurde für alle

Sorten eine leichte Erhöhung nachgewiesen. Die Silierung dahingegen hatte keinen Einfluss auf die Methionin+Cystein-Gehalte.

Die wichtigsten antinutritiven Faktoren in Saatwicken sind die Pyrimidinglycoside Vicin und Convicin, die Cyanoalanintoxine γ -Glutamyl- β -Cyanoalanin und β -Cyanoalanin sowie die Tannine. Für die Vicin-gehalte zeigten sich nur geringe Sortenunterschiede, mit Gehalten von $6,7 \text{ g kg}^{-1}$ (Jaga) bis $8,2 \text{ g kg}^{-1}$ (Ina). Die Behandlungen führten zum Abbau des Vicins in allen Sorten, wobei während des Silierprozesses eine weitaus stärkere Reduzierung des Vicins im Vergleich zur Keimung beobachtet wurde. Die Convicingehalte der Sorten unterschieden sich deutlich. So wurden in den hellsamigen Sorten Toplesa und Ina mit $0,23$ und $0,30 \text{ g kg}^{-1}$ sehr geringe Gehalte im Vergleich zu den dunkelsamigen Sorten gemessen, mit dem höchsten Gehalt von $1,1 \text{ g kg}^{-1}$ in der Slovena. Während der Keimung stiegen die Convicingehalte geringfügig an, dies wurde auch für die Gemenge mit Getreide beobachtet. Die Silierung dahingegen führte zum Abbau der Convicingehalte auf 71 % des Ausgangsniveaus in den reinen Wickensilagen, und noch deutlich stärker auf 27-37 % bzw. 33-45 % in den Gemengensilagen mit Sommerweizen bzw. -triticale.

Die γ -Glutamyl- β -Cyanoalanin-Gehalte in den geprüften Sorten lagen zwischen $9,6$ (Slovena) und $12,9 \text{ g kg}^{-1}$ (Jaga). Durch die Keimung wurde ein geringfügiger Abbau des γ -Glutamyl- β -Cyanoalanin von durchschnittlich 11 % beobachtet. Die Silierung führte zu einem Abbau des γ -Glutamyl- β -Cyanoalanins auf 42 % des Ausgangsniveaus in reinen Wickensilagen. Das β -Cyanoalanin kommt im Vergleich zu γ -Glutamyl- β -Cyanoalanin in den geprüften Sorten in deutlich geringeren Konzentrationen von $0,03$ - $0,06 \text{ g kg}^{-1}$ vor. Die Keimung führte hier nur zu marginalen Veränderungen, während der Silierprozess zu einem deutlichen Anstieg von im Mittel $0,03$ auf $0,35 \text{ g kg}^{-1}$ führte. Dieser Anstieg könnte auf den Abbau des γ -Glutamyl- β -Cyanoalanin zurückzuführen sein.

Die geprüften Sorten wiesen stark variierende Tanningehalte auf, die von 1 g kg^{-1} bei der hellsamigen Sorte Ina bis zu $8,3 \text{ g kg}^{-1}$ bei der dunkelsamigen Sorte Slovena reichten. Sowohl während der Keimung als auch der Silierung verhielten sich die Sorten in Abhängigkeit der Samenfarbe unterschiedlich. Während die Tannine bei den dunkelsamigen Sorten (Berninova, Jaga, Slovena) deutlich abgebaut wurden (auf ca. 50 %), stiegen sie bei den hellsamigen Sorten (Ina, Toplesa) an. Wobei für die Bewertung unbedingt das Niveau zu beachten ist: der Anstieg bei den hellsamigen Sorten fand von $1,0$ auf $1,8 \text{ g kg}^{-1}$ während der Keimung und auf $2,1 \text{ g kg}^{-1}$ während der Silierung statt. Die Tanningehalte bei den dunkelsamigen Sorten betragen zwar auch ca. 50 % des Ausgangsniveaus, dies bedeutete aber immer noch, dass auch nach der Behandlung doppelt so hohe Gehalte in den dunkelsamigen Sorten gemessen wurden als in den hellsamigen.

In der Planungsphase des Projekts wurde auf Basis vorausgegangener Anbauversuche die dunkelsa-
mige Saatwickensorte Slovena für die Fütterungs- und Verdaulichkeitsversuche ausgewählt. Wie be-
reits ausgeführt, erwies diese sich auch in diesem Projekt als ertragsstark, und erzielte im Gemenge
mit Sommerweizen die höchsten Gesamtkornerträge und die höchsten Gesamtrohproteinträge. Mit
einem Rohproteingehalt von 331 g kg^{-1} lag sie im Mittelfeld der geprüften Sorten. Ihre Gehalte an Con-
vicin und Gesamttanninen waren von allen geprüften Sorten die höchsten, während ihr γ -Glutamyl- β -
Cyanoalanin-Gehalt der niedrigste war. Wie weiter oben beschrieben, führte die Keimung auch bei Slo-
vena zu einem geringfügigen Anstieg der Convicin-, und einer geringfügigen Abnahme der γ -Glutamyl-
 β -Cyanoalanin-Gehalte. Eine deutliche Reduktion wurde nur für die Gesamttannine erreicht. Durch die
Silierung hingegen konnten sowohl die Convicin-, die γ -Glutamyl- β -Cyanoalanin- und die Gesamttannin-
Gehalte deutlich reduziert werden, einzig das β -Cyanoalanin stieg in Gegenzug an. Auf Basis dieser
Veränderungen würde eine Behandlung der Wicken einen Vorteil gegenüber den rohen Wicken in den
Fütterungs- und Verdaulichkeitsversuchen erbringen. Weiterhin wäre ebenso ein Vorteil der silierten
im Vergleich zu den gekeimten Wicken zu erwarten gewesen.

Tatsächlich zeigten die gekeimten Wicken für Masthühner eine höhere Verdaulichkeit als die rohen, die
Silierung hingegen führte zu einer deutlichen Reduktion der Verdaulichkeit, welches den Analyse-Er-
gebnissen der antinutritiven Faktoren widerspricht. Im Fütterungsversuch wiederum zeigten die
Masthühner eine deutliche Präferenz für die gekeimten Wicken, was aber zu einem erhöhten Futter-
aufwand führte. Diese Beobachtung lässt sich möglicherweise auf die zwar hohe Attraktivität des Keim-
guts, aber seine im Vergleich zur rohen Variante nur geringfügig niedrigeren Gehalte an γ -Glutamyl- β -
Cyanoalanin zurückführen. Die Vorteile der Silage hinsichtlich der Reduktion der antinutritiven Fakto-
ren bestätigten sich weder im Verdaulichkeits- noch im Fütterungsversuch. Entscheidend für die Be-
wertung eines Futtermittels ist schlussendlich die Akzeptanz der Tiere und ihre Leistung. Trotz der im
Sortenvergleich hohen Gehalte an antinutritiven Inhaltsstoffen in der Sorte Slovena war ein Rationsan-
teil von 12,5 % rohen Wicken in Rationen für Masthühner problemlos möglich, weswegen die Verfüt-
terung ohne vorherige Behandlung bei Beachtung des Rationsanteils die einfachste Einsatzmöglichkeit
der Wicken zu sein scheint. Die Sorte Slovena erbringt also nicht nur hohe Erträge, sondern konnte bei
moderaten Rationsanteilen auch als eiweißreiche Komponente in der Fütterung von Masthühnern ein-
gesetzt werden. Ein Rückschluss auf den Futterwert der anderen angebauten und analysierten Sorten
ist leider nicht unmittelbar möglich, da sich wie bereits beschrieben die Gehalte an den einzelnen an-
tinutritiven Faktoren deutlich unterschieden und von Wechselwirkungen zwischen den Substanzen
ausgegangen werden muss.

Die Legehennen zeigten im Fütterungsversuch eine Präferenz für behandelte Wicken, was die Ergebnisse der Analysen der antinutritiven Inhaltsstoffe bestätigt. Das Ausbleiben von Unterschieden in Futtermittelverbrauch und Legeleistung zwischen den rohen, gekeimten und silierten Wicken lässt sich durch die bei freiwilliger Aufnahme geringen Rationsanteile von 4,6-9,0 % erklären.

Im Verdaulichkeitsversuch mit Vormastschweinen zeigte die Silage zwar die besten Werte für die Gesamtverdaulichkeit der Nährstoffe, die *praecaecalen* Verdaulichkeiten des Rohproteins und der Aminosäuren hingegen waren sowohl bei gekeimten als auch silierten Wicken deutlich niedriger als bei der rohen Variante. Im Fütterungsversuch hingegen bevorzugten die Vormastschweine die silierten vor den gekeimten vor den rohen Wicken, wenn auch bei geringen absoluten Unterschieden. Ein Effekt auf die Leistung der Tiere blieb aus. Es bestand also eine Diskrepanz zwischen den Ergebnissen der Analytik und des Fütterungsversuchs, welche einen Vorteil der Silierung zeigten, zu den Ergebnissen des Verdaulichkeitsversuchs, welcher deutlich schlechtere Werte für die behandelten Wicken ergab. Eine mögliche Erklärung dafür könnte darin liegen, dass die Methode der Verdaulichkeitserhebung mit fistulierten Schweinen für trockene Futtermittel wie Getreide und Ähnliches entwickelt wurde, und sich nicht für feuchte, voluminöse Futtermittel wie Keimgut und Silage eignet. Trotz dieser Einschränkungen konnte mithilfe der Gesamtverdaulichkeit, welche plausible Werte ergab, der ME-Gehalt der Wicken für Schweine ermittelt werden. Der errechnete ME-Gehalt lag mit 14,9, 15,0 und 14,6 MJ kg⁻¹ für die rohen, gekeimten und silierten Wicken in der Größenordnung von Erbsen und Ackerbohnen. Die Gesamtverdaulichkeit der Rohnährstoffe lag dabei etwas unter denen von Erbsen und Ackerbohnen, was möglicherweise durch die höheren Gehalte an antinutritiven Faktoren zu erklären ist.

Zusammenfassend zeigte sich, dass Saatwicken mit guten Erträgen und guter Unkrautunterdrückung im Gemenge mit Sommerweizen und -triticale angebaut werden konnten, also mit Gemengepartnern, die sich grundsätzlich für die Verfütterung an monogastrische Nutztiere eignen. Die dunkelsamige Sorte Slovena erwies sich im Verlauf dreier klimatisch sehr unterschiedlicher Anbaujahre erneut als ertragsstark. Im Vergleich mit den anderen angebauten und analysierten Sorten Berninova, Ina, Jaga und Toplesa lag ihr Rohproteingehalt mit 331 g kg⁻¹ im Mittelfeld, ihre Gehalte an Convicin und Gesamttanninen waren die höchsten, und ihr γ -Glutamyl- β -Cyanoalanin-Gehalt der niedrigste. Von den getesteten Behandlungen erzielte insbesondere die Silierung eine deutliche Reduktion der meisten antinutritiven Faktoren. Dieser positive Effekt führte aber nicht zu Vorteilen in den Verdaulichkeits- und Fütterungsversuchen. Auch erwies sich das Keimgut zwar als sehr attraktives Futter für Masthühner, und auch Legehennen und Vormastschweine bevorzugten die behandelten vor den rohen Wicken, aber die bei freiwilliger Aufnahme erreichten Rationsanteile waren zumeist gering. Für Masthühner konnten ergänzend unterschiedliche Rationsanteile von in die pelletierte Futtermischung inkludierten rohen Wicken

getestet werden, was die Schlussfolgerung ermöglicht, dass rohe Wicken der Sorte Slovena bis zu einem Rationsanteil von 12,5 % problemlos eingesetzt werden können. Auch für Schweine erwiesen sich die Wicken aufgrund ihres hohen Rohproteingehalts und der mithilfe des Verdaulichkeitsversuchs errechneten ME-Gehalte als grundsätzlich gut geeignetes Futtermittel für die Proteinlieferung. Auf Basis dieser Erkenntnisse kann der Einsatz von Saatwickenkörnern in der Fütterung ökologisch gehaltener monogastrischer Nutztiere bei moderaten Rationsanteilen empfohlen werden. Die Keimung oder Silierung vor der Verfütterung ergab zwar interessante Veränderungen in Verdaulichkeit und Gehalten antinutritiver Faktoren, die geringe freiwillige Aufnahme und die teilweise negative Wirkung auf die Fütterungseffizienz rechtfertigen den Aufwand nach aktuellem Erkenntnisstand aber nicht.

8 Literaturverzeichnis

- ABEL, H., ROTHENBERGER, L.G., MAINKA, S., 2002. Ackerbohnen in der Tierernährung. *Übersichten zur Tierernährung* 30, 109 - 133.
- ABEL, H., GERKEN, M., 2004. Ackerbohnen als Futterkomponente des ökologischen Landbaus für Masthühner-Elterntiere und verschiedene Mastbroilerherkünfte. Verfügbar online unter: <https://orgprints.org/8941/> (zuletzt aufgerufen am 27.12.2021).
- ALONSO, R., AGUIRRE, A., MARZO, F., 2000. Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. *Food Chemistry* 68:159-165.
- ANTELL, S., CISZUK, P., 2006. Forage consumption of laying hens – the crop content as an indicator of feed intake and AME content of ingested forage. *Archiv für Geflügelkunde*, 70, 154-160.
- ANDREWS, D. J. & KASSAM, A. H. 1976. The Importance of Multiple Cropping in Increasing World Food Supplies. *Multiple Cropping*.
- ANONYM 2018c. Toplesa, Saatbau Linz eGen, online unter <https://www.saatbau.com/saatgut/proteinpflanzen/wicke/toplesa/> (zuletzt aufgerufen am 1.12.2021).
- ANONYM, 2015a. Varieties, Danko Hodowla Roślin Sp. z o.o., online unter <http://danko.pl/odmiany/jaga/?lang=en> (zuletzt aufgerufen am 1.12.2021).
- ANONYM, 2015b. Varieties, Danko Hodowla Roślin Sp. z o.o., online unter <http://danko.pl/odmiany/ina/?lang=en> (zuletzt aufgerufen am 1.12.2021).
- ANONYM, 2018a. Berninova, Saatzucht Dr. Hege GbR, online unter <http://www.hegesaat.de/Berninova.html> (zuletzt aufgerufen am 1.12.2021).
- ANONYM, 2018b. Sorteninformationen, Saaten-Union, online unter https://www.saaten-union.de/varieties/343_QUINTUS (zuletzt aufgerufen am 1.12.2021).
- ANONYM, 2018d. Slovena, Saatbau Linz eGen, online unter <https://www.saatbau.com/saatgut/proteinpflanzen/wicke/slovena-bio/> (zuletzt aufgerufen am 1.12.2021).
- ANONYM, 2021a. Online unter <https://www.saatbau.com/wp-content/uploads/2020/12/saatgut-fruehjahr-ktn-2021-screen.pdf>, (zuletzt aufgerufen am 1.12.2021).
- ANONYM, 2021b. Online unter <https://danko.pl/en/odmiany-type/mamut-2/> (zuletzt aufgerufen am 1.12.2021).
- ANONYM, 2021c. Online unter <http://www.triticale-infos.de/neue-sorten/sommertriticale/mamut---seit-2019/index.html> (zuletzt aufgerufen am 1.12.2021).
- AOAC International. 2016. Official Methods of Analysis of AOAC International. Ed. LATIMER, G.W., 20th Edition, Method 986.11.
- ARSCOTT, G.H. and HARPER, J.A., 1963. Relationship of 2,5-Diamino-4,6-diketopyrimidine, 2,4-Diaminobutyric Acid and a Crude Preparation of β -Cyano-L-Alanine to the Toxicity of Common and Hairy Vetch Seed Fed to Chicks. *J. Nutr.*, 80, 251–254.
- AULRICH, K. 2021. Persönliche Mitteilung.
- BERGER, J.D., ROBERTSON, L.D., COCKS, P.S. (2003). Agricultural potential of Mediterranean grain and forage legumes: 2) Anti-nutritional factor concentrations in the genus *Vicia*. *Genetic Resources and Crop Evolution* 50, 201-212.
- BÖHM, H. & WEISSMANN, E. 2013. Körnerleguminosen anbauen und verwerten. *Körnerleguminosen anbauen und verwerten*. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), KTBL-Heft 100.
- BÖHM, H. 2013. Gemengeanbau von Saatwicken (*Vicia sativa*) als Alternative im Körnerleguminosenanbau. In: NEUHOFF, D., STUMM, C., ZIEGLER, S., RAHMANN, G., HAMM, U. & KÖPKE, U. (eds.) *Ideal und Wirklichkeit - Perspektiven ökologischer Landbewirtschaftung. Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*. Bonn: Berlin: Dr. Köster.

- BÖHM, H. 2014. Unkraut unterdrückende Wirkung von Saatwicken in Reinsaat und im Gemengeanbau mit Hafer in Abhängigkeit von Aussaatstärkenverhältnis und Wickensorte. *Julius-Kühn-Archiv*, 443, 493-497.
- BÖHM, H. 2015. Wicken können gut mit Hafer. *bioland Fachmagazin für den ökologischen Landbau*, 24.
- BOISEN, S., FERNÁNDEZ, J.A. 1995 Prediction of the apparent ileal digestibility of protein and amino acids in feedstuffs and feed mixtures for pigs by in vitro analyses. *Animal Feed Science and Technology*, 51, 29-43.
- BRANDT, M., ALLAM, S.M. 1987. Analytik von TiO₂ im Darminhalt und Kot nach Kjeldahlaufschluss. *Archiv für Tierernährung* 37, 453-454.
- BUNDESSORTENAMT, 2017. Beschreibende Sortenliste - Getreide, Mais, Öl- und Faserpflanzen, Leguminosen, Rüben, Zwischenfrüchte 2017.
- CHOWDHURY, D., TATE, M., MCDONALD, G. & HUGHES, R. 2001. Progress towards reducing seed toxin levels in common vetch (*Vicia sativa* L.). In: ROWE B, D. D., MENDHAM N (ed.) *10th Australian Agronomy Conference*
- COHEN, S.A., MICHAUD, D.P. 1993. Synthesis of a fluorescent derivatizing reagent, 6-aminoquinolyl-N-hydroxysuccinimidyl carbamate, and its application for the analysis of hydrolysate amino acids via high-performance liquid chromatography. *Analytical Biochemistry*, 211, 279-287.
- COLLINS, C.L., HENMAN, D.J., KING, R.H., DUNSHEA, F.R., 2002. Common vetch (*Vicia sativa* cv. Morava) is an alternative protein source in pig diets. In: *Proceedings of the Nutrition Society of Australia* 26:249.
- CORRE-HELLOU, G., DIBET, A., HAUGGAARD-NIELSEN, H., CROZAT, Y., GOODING, M., AMBUS, P., DAHLMANN, C., VON FRAGSTEIN, P., PRISTERI, A., MONTI, M. & JENSEN, E. S. 2011. The competitive ability of pea-barley intercrops against weeds and the interactions with crop productivity and soil N availability. *Field Crops Research*, 122, 264-272.
- DÖRING, T. F. 2015. Grain Legume Cropping Systems in Temperate Climates. In: DE RON, A. M. (ed.) *Grain Legumes*. 1 ed.: Springer.
- DARRE, M.J., MINIOR, D.N., TATAKE, J.G., RESSLER, C. 1998. Nutritional evaluation of detoxified and raw common vetch seed (*Vicia sativa* L.) using diets of broilers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 4675-4679.
- DUFNER, J., JENSEN, U. & SCHUMACHER, E. 2004. *Statistik mit SAS, 3. Auflage*, Wiesbaden, Teubner, B.G.
- DWD 2019. Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) der Jahre 1986 bis 2019.
- ENNEKING, D., 1994. The toxicity of *Vicia* species and their utilisation as grain legumes. Doktorarbeit and der Universität Adelaide. Online verfügbar unter <https://digital.library.adelaide.edu.au/dspace/handle/2440/37799> (zuletzt abgerufen am 28.12.2021)
- ENNEKING, D. & WINK, M. 2000. Towards the elimination of anti-nutritional factors in grain legumes. In: Knight, R. (ed.) *Linking Research and Marketing Opportunities for Pulses in the 21st Century*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. 671-683.
- EROL, A., KAPLAN, M. & KIZILSIMSEK, M. 2009. Oats (*Avena sativa*) - common vetch (*Vicia sativa*) mixtures grown on a low-input basis for a sustainable agriculture. *Tropical Grasslands*, 43, 191-196.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION 2009. Verordnung (EG) Nr. 152/2009 der Kommission vom 27. Januar 2009 zur Festlegung der Probenahmeverfahren und Analysemethoden für die amtliche Untersuchung von Futtermitteln.
- FARRAN, M., UWAYJAN, M.G., MISKI, A.M.A., SLEIMAN, F.T., ADADA, F.A., ASHKARIAN, V.M., THOMAS, O.P. 1995. Effect of feeding raw and treated common vetch seed (*Vicia sativa*) on the performance and egg quality parameters of laying hens. *Poultry Science*, 74, 1630-1635.
- FARRAN, M., DAKESSIAN, P., DARWISH, A., UWAYJAN, M., DBOUK, H., SLEIMAN, F., ASHKARIAN, V. 2001. Performance of broilers and production and egg quality parameters of laying hens fed 60% raw or treated common vetch (*Vicia sativa*) seeds. *Poultry Science*, 80, 203-208.

- FERNÁNDEZ-FIGARES, I., PÉREZ, L., NIETO, R., AGUILERA, J.F., PRIETO, C. 1995. The effect of heat treatment on ileal amino acid digestibility of growing broilers given vetch and bitter vetch meals. *Animal Science*, 60, 493-497.
- FINNEY, P. 1983. Effect of germination on cereal and legume nutrient changes and food or feed value: A comprehensive review. In: Nozzolillo C, Lea PJ, Loewus FA (eds.) *Mobilization of Reserves in Germination*. Plenum Press, New York and London, pp 229-305
- FIRINCIOĞLU, H. K., TATE, M., ÜNAL, S., DOĞRUYOL, L. & ÖZCAN, İ. 2007. A Selection Strategy for Low Toxin Vetches (*Vicia sativa* spp.). *Düflük Toksinli Fiğ (Vicia sativa spp.) Geliştirilmesinde Bir Seleksiyon Stratejisi.*, 31, 303-311.
- FLIS, M., SOBOTKA, W., PURWIN, C., ZDUNCZYK, Z., 1999. Nutritional value of diets containing field bean (*Vicia faba* L.) seeds with high or low proanthocyanidin levels for pig. *Journal of Animal and Feed Sciences* 8, 171-180.
- FÖLSCH, D.W., KNIERIM, U., STAACK, M., 2004. Einsatz von gekeimtem Getreide in der Geflügelfütterung. Universität Kassel - Ökologische Agrarwissenschaften. Schlußbericht zum Forschungsprojekt Nr. 02OE663.
- GEFROM, A., BALKO, C., ZEYNER, A., 2014. Silierung von feuchtem Körnerschrot von Ackerbohnen, Futtererbsen und Lupinen als Verfahren der Konservierung und zur Reduzierung antinutritiver Inhaltsstoffe. Online-Bericht auf <https://www.proteinmarkt.de/fileadmin/download/nachrichten/versuchsberichte/schwein/Proteinmarkt14.pdf>, zuletzt aufgerufen am 28.12.2021.
- GfE 1999. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Legehennen und Masthühnern (Broiler). DLG-Verlag, Frankfurt am Main, Deutschland.
- GfE 2008. Prediction of metabolisable energy of compound feeds for pigs. *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology* 17:199–204.
- GÓMEZ, A., 1983. Los granos de leguminosas como componentes proteicos para la alimentacion animal. In: *Leguminosas de grano. Cubero y Moreno*, 249-262.
- GRONLE, A. & BÖHM, H. 2014. The effect of intercropping winter peas and non-legumes on the weed suppressive ability in deep and short-term shallow ploughed soils. Proc. 4th ISOFAR Scientific Conference, 367-370.
- GRONLE, A., BÖHM, H. & HESS, J. 2014. Effect of intercropping winter peas of differing leaf type and time of flowering on annual weed infestation in deep and shallow ploughed soils and on pea pests. *Landbauforschung - Appl Agric Forestry Res*, 64, 31-44.
- GRONLE, A., HEB, J. & BÖHM, H. 2015. Weed suppressive ability in sole and intercrops of pea and oat and its interaction with ploughing depth and crop interference in organic farming. *Organic Agriculture*, 5, 39-51.
- HALLE, I., 2006. Vicin-Convicin. *Landbauforschung-vTI Agriculture and Forestry Research* 294:231-234.
- HAUGGAARD-NIELSEN, H., AMBUS, P. & JENSEN, E. S. 2001. Temporal and spatial distribution of roots and competition for nitrogen in pea-barley intercrops - a field study employing P-32 technique. *Plant and Soil*, 236, 63-74.
- HAUGGAARD-NIELSEN, H., ANDERSEN, M. K., JORNSGAARD, B. & JENSEN, E. S. 2006. Density and relative frequency effects on competitive interactions and resource use in pea-barley intercrops. *Field Crops Research*, 95, 256-267.
- HARPER, J.A., ARSCOTT, G.H., 1962. Toxicity of Common and Hairy Vetch Seed for Poults and Chicks. *Poultry Science* 41:1968-1974.
- HOEDTKE, S., ZEYNER, A. 2011. Comparative evaluation of laboratory-scale silages using standard glass jar silages or vacuum-packed model silages. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91:841-849.
- HORSTED, K., HAMMERSHØJ, M., HERMANSEN, J.E., 2006. Shortterm effects on productivity and egg quality in nutrient restricted versus non-restricted organic layers with access to different forage crops. *Acta Agriculturae Scand Section A*, 56, 42-54.

- HUANG, Y.F., GAO, X.L., NAN, Z.B., ZHANG, Z.X. 2017. Potential value of the common vetch (*Vicia sativa* L.) as an animal feedstuff: a review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 101, 807-823.
- HUSSEIN, L., MOTAWEI, H., NASSIB, A., KHALIL, S., MARQUARDT, 1986. The complete elimination of vicine and convicine from the faba beans by combinations of genetic selection and processing techniques. *Plant Foods for Human Nutrition* 36:231-242
- JAMALIAN, J., 1999. Removal of favism-inducing factors vicine and convicine and the associated effects on the protein content and digestibility of fababeans (*Vicia faba* L). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 79:1909-1914.
- JANSMAN, A.J.M., HUISMAN, J., van der POEL, A.F.B., 1993. Ileal and faecal digestibility in piglets of field beans (*Vicia faba* L.) varying in tannin content. *Animal Feed Science and Technology* 42, 83-96.
- JENSEN, E. S. 1996. Grain yield, symbiotic N₂ fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-barley intercrops. *Plant and Soil*, 182, 25-38.
- JENSEN, E. S., CARLSSON, G. & HAUGGAARD-NIELSEN, H. 2020. Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N: A global-scale analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 40, 5.
- JENSEN, E. S., BEDOUSSAC, L., CARLSSON, G., JOURNET, E.-P., JUSTES, E. & HAUGGAARD-NIELSEN, H. 2015. Enhancing Yields in Organic Crop Production by Eco-Functional Intensification. *Sustainable Agriculture Research*, 4.
- JENSEN, E. S., HAUGGAARD-NIELSEN, H., KINANE, J., ANDERSEN, M. K. & JØRNSGAARD, B. 2005. Intercropping - the practical application of diversity, competition and facilitation in arable organic cropping systems. *Researching sustainable systems. Proceedings of the First Scientific Conference of the International Society of Organic Agriculture Research (ISOFAR), held in Cooperation with the International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM) and the N*, 22-25.
- JEROCH, H., SIMON, A., ZENTEK, J., 2019. Geflügelernährung, Eugen Ulmer KG, Stuttgart.
- KARADA, Y. & BÜYÜKBURÇ, U. 2002. Effects of Seed Rates on Forage Production, Seed Yield and Hay Quality of Annual Legume-Barley Mixtures. *Turk J Agric For*, 27, 169-174.
- KAYA, H., ÇELEBI, Ş., MACIT, M., GEYIKOĞLU, F. 2011. The effects of raw and physical processed common vetch seed (*Vicia sativa*) on laying performance, egg quality, metabolic parameters and liver histopathology of laying hens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 24, 1425-1434.
- KEPPLER C, FETSCHER S, HILMES N und KNIERIM U (2017) Basiswissen Mtool© -eine Managementhilfe für die tiergerechte Aufzucht und Haltung. Universität Kassel.
- KLUTH, H., MEHLHORNH, K., RODEHUTSCORD, M., 2005. Studies on the intestine section to be sampled in broiler studies on precaecal amino acid digestibility. *Archives of Animal Nutrition*, 59:4, 271-279.
- KNIGHT, A. M., EVERMAN, W. J., JORDAN, D. L., HEINIGER, R. W. & SMYTH, T. J. 2017. Interactions of Nitrogen Source and Rate and Weed Removal Timing Relative to Nitrogen Content in Corn and Weeds and Corn Grain Yield. *International Scholarly Research Notices*, 2017, 8961367.
- KROSCHEWSKI, B. 27.02.2017 2017. RE: Persönliche Mitteilung
- LAUK, R., LAUK, E., LAURINGSON, E. & TALGRE, L. 2007. Vetch-wheat crops are superior to vetch-oat crops in terms of protein yield. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 57, 116-121.
- LWK Niedersachsen, 2018. Empfehlungen zur Grunddüngung. Hannover: Landwirtschaftskammer Niedersachsen.
- MAKKAR, H.P.S., BLÜMMEL, M., BOROWY, N.N., BECKER, K., 1993. Gravimetric determination of tannins and their correlations with chemical and protein precipitation methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 61, 161-165.

- MARQUARDT, D., OTT, E.M., DITTMANN, L., ZEYNER, A., 2008. Investigations on the ensilability of common vetch seeds (*Vicia sativa*). *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology* 17:133.
- MEGIAS, C., CORTES-GIRALDO, I., GIRON-CALLE, J., VIOQUE, J., ALAIZ, M. 2104. Determination of β -Cyano- L-alanine, γ -Glutamyl- β -cyano-L-alanine, and Common Free Amino Acids in *Vicia sativa* (Fabaceae) Seeds by Reversed-Phase High-Performance Liquid Chromatography. *Journal Analytical Methods in Chemistry* 2014, 409089.
- MEIER, U. 2001. *Growth stages of mono- and dicotyledonous plants - BBCH-Monograph*, Berlin, Braunschweig, Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry.
- NEMECEK, T., VON RICHTHOFEN, J.-S., DUBOIS, G., CASTA, P., CHARLES, R. & PAHL, H. 2008. Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations. *European Journal of Agronomy*, 28, 380-393.
- OFORI, F. & STERN, W. R. 1987. Cereal–Legume Intercropping Systems. In: BRADY, N. C. (ed.) *Advances in Agronomy*. Academic Press.
- OTT, E., FRIEDEL, K., GABEL, M. 2005. Untersuchungen zum Futterwert von Wicken (*Vicia sativa*). In: VDLUFA-Kongress, Bonn, 2005. S. 117.
- PEDDIE, J., DEWAR, W.A., GILBERT, A.B., WADDINGTON, D., 1982. The use of titanium dioxide for determining apparent digestibility in mature domestic fowls (*Gallus domesticus*). *The Journal of Agricultural Science* 99(1), 233-236.
- PIEPHO, H. P. 2012. A SAS macro for generating letter displays of pairwise mean comparisons. *Communications in Biometry and Crop Science*, 7, 4-13.
- PLUSCHKE H. 2020. Utilization of common vetch seeds (*Vicia sativa* L.) as protein-rich feed for laying hens in organic farming systems. 75 p, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Master of Science.
- PULKKINEN, M., CODA, R., LAMPI, A.-M., VARIS, J., KATINA, K., PIIRONEN, V. 2019. Possibilities of reducing amounts of vicine and convicine in faba bean suspensions and sourdoughs. *European Food Research and Technology* 245, 1507-1518.
- PULKKINEN, M., GAUTAM, M., LAMPI, A.-M., OLLILAINEN, V., STODDARD, F., SONTAG-STROHM, SALOVAARA, H., PIIRONEN, V. 2015. Determination of vicine and convicine from faba bean with an optimized high-performance liquid chromatographic method. *Food Research International* 76, 168-177.
- PUŻYŃSKA, K., SYNOWIEC, A., PUŻYŃSKI, S., BOCIANOWSKI, J., KLIMA, K. & LEPIARCZYK, A. 2021. The Performance of Oat-Vetch Mixtures in Organic and Conventional Farming Systems. 11, 332.
- RESSLER, C., TAKEAKE, J.G., KAIZER, E., PUTNAM, D.H. 1997. Neurotoxins in a Vetch Food: Stability to Cooking and Removal of γ -Glutamyl- β -cyanoalanine and β -Cyanoalanine and Acute Toxicity from Common Vetch (*Vicia sativa* L.) Legumes. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 45, 189-194.
- RIZELLO, C.G., LOSITO, I., FACCHINI, L., KATINA, K., PALMISANO, F., GOBBETTI, M., CODA, R. (2016). Degradation of vicine, convicine and their aglycones during fermentation of faba bean flour. *Scientific Reports* 6, 32452. doi: 10.1038/srep32452.
- RODEHUTSCORD, M., KAPOCIUS, M., TIMMLER, R., DIECKMANN, A., 2004. Linear regression approach to study amino acid digestibility in broiler chickens. *British Poultry Science*, 45, 85–92.
- RODRIGUEZ, C., CARLSSON, G., ENGLUND, J.-E., FLÖHR, A., PELZER, E., JEUFFROY, M.-H., MAKOWSKI, D. & JENSEN, E. S. 2020. Grain legume-cereal intercropping enhances the use of soil-derived and biologically fixed nitrogen in temperate agroecosystems. A meta-analysis. *European Journal of Agronomy*, 118, 126077.
- SADEGHI, G.H., TABELDIAN, S.A., TOGHYANI, M., 2011. Effect of processing on the nutritional value of common vetch (*Vicia sativa*) seed as a feed ingredient for broilers. *Journal of Applied Poultry Research*, 20, 498-505.
- SAKI, A.A, POURHESABI, G., YAGHOBFAR, A., MOSAVI, M.A., TABATABAI, M.M., ABBASINEZHAD, M., 2008. Effect of different levels of the raw and processed vetch seed (*Vicia sativa*) on broiler performance. *Journal of Biol. Science* 8, 663-666.

- ŠARŪNAITĖ, L., DEVEIKYTĖ, I. & KADŽIULIENĖ, Ž. 2010. Intercropping spring wheat with grain legume for increased production in an organic crop rotation. *Žemdirbystė= Agriculture*, 97, 51-58.
- SAUERMANN, W. 2007. Sichere Beurteilung von Standfestigkeit und Erntbarkeit bei Erbsen. *Bauernblatt Schleswig-Holstein und Hamburg*, 157, 35-38.
- SAUERMANN, W., GRONOW, J., SPECHT, M. & SASS, O. 2016. Anbauratgeber Körnerfuttererbse. *UFOP-Praxisinformation*, 16.
- SEABRA, M., CARVALHO, S., FREIRE, J., FERREIRA, R., MOURATO, M., CUNHA, L., CABRAL, F., TEIXEIRA, A., AUMAITRE, A., 2001. *Lupinus luteus*, *Vicia sativa* and *Lathyrus cicera* as protein sources for piglets: ileal and total tract apparent digestibility of amino acids and antigenic effects. *Animal Feed Science and Technology* 89, 1-16.
- SÖLLRADL, M., 2015. Mündliche Mitteilung am 9. Dezember 2015.
- TEIXEIRA, A.S.R., OLIVEIRA, O.E.R., RIBEIRO, J.M.C.R., COSTA, J.S.P., 1996. Vetch (*Vicia sativa*) as a national source of protein for feeding pigs. *Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias*, 91, 116–133.
- THAVARAJAH, P., THAVARAJAH, D., PREMAKUMARA, G.A.S., VANDENBERG, A., 2012. Detection of common vetch (*Vicia sativa* L.) in Lentil (*Lens culinaris* L.) using unique chemical fingerprint markers. *Food Chemistry* 135, 2203-2206.
- VDLUFA, 2012. Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Auflage, Gesamtwerk einschließlich 1.-8. Ergänzungslieferung (1983 - 2012). VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- WELFARE QUALITY® (2009) Welfare Quality® assessment protocol for poultry (broilers, laying hens). Welfare Quality® Consortium, Lelystad, Netherlands
- WILLEY, R. W. 1979. Intercropping-Its Importance and Research Needs: Part 1. Competition and Yield Advantages. *Field Crop Abstracts*, 32, 1-10.
- WITTEN, S., BÖHM, H., AULRICH, K., 2020. Effect of variety and environment on the contents of crude nutrients and amino acids in organically produced cereal and grain legumes. *Organic Agriculture* 10, 199-219.
- WITTEN, S., AULRICH, K. 2021. Conceptual Note: *In vitro* multi-enzyme approach to determine crude protein and amino acid digestibility in cereal and legume grains for broilers. *Organic Agriculture* (in Begutachtung).
- WPSA (World's Poultry Science Association), 1984. Mineral requirements and recommendations for adult birds. *World's Poult. Science Journal*, 40, 183-187.

9 Veröffentlichungen

Das Projekt und Ergebnisse daraus wurden bereits mehrfach und auf unterschiedlichen Ebenen publiziert, weitere Veröffentlichungen sind in Vorbereitung.

Begutachtete Artikel

Kemper R, Rinke N, Gerhards R, Böhm H. 2020. Weed suppression and crop yield performance in sole and intercrops of common vetch and spring wheat depending on seed density ratio in organic farming. *Journal für Kulturpflanzen* 72(1):12-24.

Konferenzbeiträge Vorträge

Höhne A, Baldinger L. 2018. Einsatz von behandelten Saatwickenkörnern in der Hühnermast. Vortrag bei der 22. Internationalen Bioland Geflügeltagung, 27.2.-1.3.2018, Malchin.

Rinke N, Böhm H. 2019. Höhere Erträge durch den Gemengeanbau von Wicken mit Sommerweizen und Sommerroggen. In: Mühlrath D, et al. (eds) 15. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Kassel, pp 50-51.

Höhne A, Bussemas R und Baldinger L. 2019. Einsatz von Saatwickenkörnern (*Vicia sativa* L.) in der Monogastrierfütterung: Masthühner. In: Innovatives Denken für eine nachhaltige Land- und Ernährungswirtschaft. Beiträge zur 15. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 5.-8.3.2019, Kassel.

Höhne A, Bussemas R und Baldinger L. 2019. Einsatz von Saatwickenkörnern (*Vicia sativa* L.) in der Monogastrierfütterung: Vormastschweine. In: Innovatives Denken für eine nachhaltige Land- und Ernährungswirtschaft. Beiträge zur 15. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 5.-8.3.2019, Kassel.

Populärwissenschaftliche Veröffentlichungen

Höhne A und Baldinger L. 2018. Saatwickenkörner in der Masthuhnfütterung – Ist die Zubereitung entscheidend? *Bionachrichten* Oktober 2018, 36-37.

Masterarbeiten im Rahmen des Projekts

Kemper R (2018) Weed suppression and crop biomass production in sole and intercrops of common vetch and spring wheat depending on seed density ratio and vetch cultivar in organic farming (Unkrautunterdrückung und Biomasse-Ertragsleistung in Reinsaat und Gemengen von Saatwicken mit Sommerweizen in Abhängigkeit von Saatstärkenverhältnis und Wickensorte im ökologischen Landbau). 81 p, University of Hohenheim, Master of Science.

Machner M. 2019. Saatwicke in der Broilermast – Effekte auf Leistung, Verhalten und tierbezogene Leistungsparameter. 58 p, Universität Kassel-Witzenhausen, Master of Science.

Pluschke H. 2020. Utilization of common vetch seeds (*Vicia sativa* L.) as protein-rich feed for laying hens in organic farming systems. 75 p, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Master of Science.

Sonstige Präsentationen des Projekts und der Ergebnisse

Als Teil des Messestands des Thünen-Instituts wurde das Projekt auf der Biofach von 14 - 17.02.2018 präsentiert, mit in Töpfen vorgezogenen Gemengen aus Wicken und Weizen, einer anschaulichen Ausstellung der verschiedenen Wickensorten, einem Modell des Mobilen Hühnerforschungszentrums in dem die Fütterungsversuche mit Masthühnern und Legehennen stattfanden, sowie zwei Postern zur Darstellung der Projektinhalte in den Bereichen Pflanzenbau und Tierfütterung.

Auf Einladung der BLE wurde das Projekt im BÖLN-Zelt der DLG Feldtage von 11. - 13.06.2018 präsentiert. Zusätzlich zur Gestaltung des Projektstands stellte die Koordinatorin Lisa Baldinger das Projekt in einem Vortrag vor, der in Gemeinschaftsarbeit mit Karen Aulrich, Herwart Böhm, Anja Höhne und Nadja Rinke erstellt worden war:

Baldinger L, Aulrich K, Böhm H, Höhne A und Rinke N. 2018. Saatwickenkörner als eiweißreiches Futtermittel für Monogastrier im ökologischen Landbau. Vortrag im Rahmen der DLG-Feldtage in Bernburg-Strenzfeld, 12.6.2018.

Böhm H. 2021. Leguminosen und Klimawandel: Auswirkungen und Anpassungsstrategien. Vortrag im Rahmen des Leguminosentag Ost, Online-Veranstaltung der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Gülzow in Kooperation mit dem Demonstrations-Netzwerk Erbse/Bohne und KleeLuzPlus, 08.12.2021.