Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

BÖLN
Bundesprogramm Ökologischer Landbau
und andere Formen nachhaltiger
Landwirtschaft

Schlussbericht zum Thema

Verbesserung der Protein- und Energieversorgung bei Wiederkäuern und Monogastriern durch Gemengeanbau von Mais mit Stangen- oder Feuerbohnen

FKZ: 2813NA006; 2813NA044; 2813NA045

Projektnehmer: Johann Heinrich von Thünen-Institut; Julius Kühn-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

Gefördert durch:

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

BÖLN
Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Abschlussbericht des Verbundprojektes

Verbesserung der Protein- und Energieversorgung bei Wiederkäuern und Monogastriern durch Gemengeanbau von Mais mit Stangen- oder Feuerbohnen

Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2014 bis 30.09.2020

Zuwendungsempfänger / ausführende Stellen

Dr. Herwart Böhm (Koordination Gesamtvorhaben)
Dr. Karen Aulrich
Dr. Kerstin Barth
Ralf Bussemas
Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI) – Bundes
forschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei
Thünen-Institut für Ökologischen Landbau (TI-OL)
Trenthorst 32, 23847 Westerau
Email: herwart.boehm@thuenen.de
FKZ 2813NA006

Dr. Frank Höppner
Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde (JKI-PB)
Bundesallee 58, 38116 Braunschweig
Email: frank.hoeppner@julius-kuehn.de
FKZ 2813NA040

Dr. Ulrich Meyer
Friedrich-Loeffler-Institut –
Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit
Institut für Tierernährung (FLI-TE)
Bundesallee 37, 38116 Braunschweig
Email: ulrich.meyer@fli.de
FKZ 2815NA045

Autoren des Abschlussberichts: Herwart Böhm, Karen Aulrich, Kerstin Barth, Ralf Bussemas, Sinje Büttner, Jenny Fischer, Frank Höppner, Ulrich Meyer

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis I
Tabellenverzeichnis III
Abbildungsverzeichnis VIII
Kurzfassung 1
Abstract 2
1 Einführung 3
1.1 Gegenstand des Vorhabens 3
1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts 3
1.3 Planung und Ablauf des Projekts 4
2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde 6
3 Material und Methoden 9
3.1 Pflanzenbauliche Bewertung 9
3.1.1 Standorte und Witterung 9
3.1.1.1 Standort Trenthorst 9
3.1.1.2 Standort Braunschweig 10
3.1.2 Versuchsaufbau und -durchführung 11
3.1.2.1 Sortenversuch Trenthorst 12
3.1.2.2 Aussaatstärkenversuch Trenthorst 13
3.1.2.3 Untersaatenversuch Trenthorst 13
3.1.2.4 Saatzeitenversuch Braunschweig 14
3.1.3 Bodenprobenahme und –untersuchungen 15
3.1.4 Pflanzenbauliche Parameter 15
3.1.4.1 Feldaufgang 15
3.1.4.2 Unkrautbonitur 15
3.1.4.3 Unkraut- und Untersaatbiomasse 16
3.1.4.4 Bonitur der Bohnenblattmasse 16
3.1.4.5 Messung der Wuchshöhe von Mais und Bohne 16
3.1.4.6 Bestimmung der Ertragsanteile von Mais und Bohne am Gesamtertrag 16
3.1.4.7 Parzellenernte und Ertragserfassung 16
3.1.4.8 Bestimmung der N-Fixierleistung 16
3.1.5 Statistische Auswertung 17
3.2 Probenaufbereitung 18
3.2.1 Trocknung der Ernteproben 18
3.2.2 Vermahlung 18

3.3 Laboranalysen **18**
3.3.1 Erweiterte Rohnährstoffanalyse 18
3.3.2 Sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe 18
3.3.2.1 Lektine 18
3.3.2.2 Tannine 19
3.3.2.3 α-Galactoside 19
3.3.2.4 Fettsäuren in Futtermitteln, Milch und Fleisch 19
3.3.3 Statistische Auswertung 19
3.3.4 NIRS-Kalibrationen 20
NIRS-Messung 20
Kalibrationsentwicklung 20
3.4 Silierung **20**
3.4.1 Silierung im Labormaßstab 22
3.4.1.1 Statistische Auswertung 22
3.4.2 Silierung in Tonnen 22
3.4.3 Bestimmung der Gäreigenschaften und der Silagequalität 22
3.4.3.1 Mikroorganismenbesatz 22
3.4.3.2 Pufferkapazität 23
3.4.3.3 Gärgasverluste 23
3.4.3.4 Aerobe Stabilität 23
3.4.3.5 Flüchtige organische Verbindungen 23
3.4.3.6 Wasserlösliche Kohlenhydrate 23
3.5 Fütterungsversuche **24**
3.5.1 Praxisanbau und -silierung, Standort Trenthorst 24
3.5.2 Einsatz von Mais-Bohnen-Silage in der Milchviehfütterung 24
3.5.2.1 Tiere und Management 24
3.5.2.2 Fütterung 25
3.5.2.3 Versuchsdesign, Probengewinnung sowie Analyse 26
3.5.2.4 Statistische Auswertung 27
3.5.3 Einsatz von Mais-Bohnen-Silage in der Mastschweinefütterung 28
3.5.3.1 Haltung 28
3.5.3.2 Datenerfassung 29
3.5.3.3 Statistische Auswertung 30
3.5.4 Verdaulichkeitsuntersuchungen an Hammeln 31
3.5.4.1 Verdaulichkeitsprüfung im Hammelversuch 31
3.5.4.2 Statistische Auswertung 33

3.6 Praxisbefragungen 33
3.6.1 Akquise der Betriebe 33
3.6.2 Interviewleitfaden 33
3.6.3 Statistische Auswertung 34
4 Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse 34
4.1 Optimierung des Mais-Bohnen-Gemengeanbaus 34
4.1.1 Sortenversuch am Standort Trenthorst 34
4.1.1.1 Pflanzenbauliche Ergebnisse 35
4.1.1.2 Gäreigenschaften und Silagequalität 41
4.1.1.3 Rohnährstoffe, Stärke, Gerüstsubstanzen und ELOS 46
4.1.1.4 Sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe 50
4.1.2 Aussaatstärkenversuch am Standort Trenthorst 55
4.1.2.1 Pflanzenbauliche Ergebnisse 56
4.1.2.2 Rohnährstoffe 62
4.1.3 Untersaatenversuch am Standort Trenthorst 65
4.1.3.1 Pflanzenbauliche Ergebnisse 65
4.1.4 Saatzeitenversuch am Standort Braunschweig 68
4.1.4.1 Pflanzenbauliche Ergebnisse 69
4.1.4.2 Gäreigenschaften und Silagequalität 74
4.1.4.3 Rohnährstoffe 79
4.2 Modellsilagen 81
4.2.1 Modellsilagen im Labormaßstab, Standort Trenthorst 81
4.2.1.1 Gäreigenschaften und Silagequalität 81
4.2.1.2 Rohnährstoffe 88
4.2.1.3 Sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe 91
4.2.2 Modellsilagen im Labormaßstab, Standort Braunschweig 92
4.2.2.1 Rohnährstoffe 92
4.2.2.2 Gäreigenschaften und Silagequalität 93
4.2.3 Modellsilage zur Prüfung unterschiedlicher Siliermittel 95
4.3 NIR-Kalibrationen 98
4.4 Fütterungsversuche 98
4.4.1 Einsatz von Mais-Bohnen-Silage in der Milchviehfütterung 98
4.4.1.1 Akzeptanz der MBS und Auswirkungen auf die Leistung 99
4.4.1.2 Auswirkungen der MBS auf die Tiergesundheit 101
4.4.1.3 Fettsäuremuster der verabreichten Futterrationen 102
4.4.1.4 Auswirkungen der MBS auf das Fettsäuremuster der Milch 103

4.4.2 Einsatz von Mais-Bohnen-Silage in der Mastschweinefütterung 104
4.4.2.1 Mastleistung 104
4.4.2.2 Schlachtkörperqualität 105
4.4.2.3 Fleischqualität 106
4.4.2.4 Integumentbonitur 107
4.4.2.5 Teilauswertung 109
4.4.3 Verdaulichkeitsprüfung 109
4.4.3.1 Verdaulichkeitsprüfung 2014 109
4.4.3.2 Verdaulichkeitsprüfung 2015 111
4.4.3.3 Verdaulichkeitsprüfung 2016 112
4.4.3.4 Verdaulichkeitsprüfung 2018 114
4.5 Praxisbefragungen 115
4.5.1 Betriebsstruktur 116
4.5.2 Anbau von Mais und Stangenbohnen im Gemenge 116
4.5.2.1 Pflanzenbauliche Aspekte im Anbaujahr 2018 117
4.5.2.2 Ernte und Konservierung 2018 118
4.5.2.3 Einsatz der MBS in der Fütterung 119
4.5.2.4 Erfahrungen im Einsatz der MBS und Leistung der Tiere 119
4.5.2.5 Bewertung der MBS durch die Landwirte 120
5 Diskussion der wichtigsten Ergebnisse 121
5.1 Optimierung des Mais-Bohnen-Gemengeanbaus 121
5.1.1 Sortenversuch am Standort Trenthorst 121
5.1.1.1 Pflanzenbauliche Ergebnisse 121
5.1.1.2 Gäreigenschaften und Silagequalität 123
5.1.1.3 Rohnährstoffe 126
5.1.1.4 Sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe 126
5.1.1.5 Rohprotein und sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe in den Pflanzenorganen 127
5.1.2 Aussaatstärkenversuch am Standort Trenthorst 129
5.1.2.1 Pflanzenbauliche Ergebnisse 130
5.1.2.2 Rohnährstoffe 132
5.1.3 Untersaatenversuch am Standort Trenthorst 132
5.1.3.1 Pflanzenbauliche Ergebnisse 132
5.1.4 Saatzeitenversuch am Standort Braunschweig 135
5.1.4.1 Pflanzenbauliche Ergebnisse 135
5.1.4.2 Gäreigenschaften und Silagequalität 136

5.1.4.3 Rohnährstoffe 137
5.2 Modellsilagen 139
5.2.1 Modellsilagen im Labormaßstab, Standort Trenthorst 139
5.2.1.1 Gäreigenschaften und Silagequalität 139
5.2.1.2 Rohnährstoffe 140
5.2.2 Modellsilagen im Labormaßstab, Standort Braunschweig 142
5.2.2.1 Gäreigenschaften und Silagequalität 142
5.2.2.2 Rohnährstoffe 143
5.2.3 Modellsilage zur Prüfung unterschiedlicher Siliermittel 143
5.3 Fütterungsversuche 144
5.3.1 Einsatz von Mais-Bohnen-Silage in der Milchviehfütterung 144
5.3.1.1 Chemische Zusammensetzung der Futtermittel 145
5.3.1.2 Akzeptanz der MBS und Leistung 145
5.3.1.3 Auswirkungen der MBS auf die Tiergesundheit 146
5.3.1.4 Fettsäuremuster in der Milch 147
5.3.2 Einsatz von Mais-Bohnen-Silage in der Mastschweinefütterung 147
5.3.3 Verdaulichkeitsprüfung 148
6 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse 153
7 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten und tatsächlich erreichten Ziele 155
8 Zusammenfassung 157
9 Literaturverzeichnis 162
10 Verbreitung der Ergebnisse 167
10.1 Veröffentlichungen 167
10.2 Bisherige und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse 169
Anhang 170
Kurz gefasster Erfolgskontrollbericht 171
1. Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen, z.B. des Förderprogramms ... 171
2. Wissenschaftliche und technische Ergebnisse des Vorhabens 171
3. Erfindungen und Schutzrechtsanmeldungen 174
4. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten 174
5. Wissenschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende 175
6. Wissenschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase ... 175
7. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer 176
8. Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung 176

Abkürzungsverzeichnis

Ergänzend zu den allgemein gebräuchlichen Abkürzungen des internationalen SI-Systems werden folgende Abkürzungen verwendet:

ADF	Acid(Säure)-Detergenzien-Faser
ADL	Acid(Säure)-Detergenzien-Lignin
ANF	Anti-Nutritive Faktoren
ANOVA	Varianzanalyse
AS	Aminosäuren
ASTA	Aerobe Stabilität
AV	Aussaatstärkenversuch, Standort Trenthorst
BD	2,3-Butandoil
BS	Buttersäure
Bs	Braunschweig
C_t	Gesamt-Kohlenstoffgehalt
cv.	Sorte (*cultivar*)
d	Tag
DG	Deckungsgrad
ELOS	Enzymlösliche Organische Substanz
ES	Essigsäure
ETH	Ethanol
EULOS	Enzymunlösliche Organische Substanz
FLI-TE	Friedrich-Loeffler-Institut, Institut für Tierernährung
FM	Frischmasse
FME	Frischmasse-Ertrag
FS	Fettsäure
GF	Grundfutter
IMF	Intramuskulärer Fettgehalt
JKI-PB	Julius-Kühn-Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Standort Braunschweig
KbE	Koloniebildende Einheiten
KF	Kraftfutter
KGS	Kleegrassilage
lfm	Laufender Meter
LM	Lebendmasse
LSM	Least square means, kleinste Quadrate Mittelwert
Lys	Lysin
MBS	Mais-Bohnen-Silage
ME	Umsetzbare Energie
MS	Milchsäure
MSB	Milchsäurebakterien
MUFA	Einfach ungesättigte Fettsäuren
N	Stickstoff
n	Stichprobenumfang
Na	Natrium
NDF	Neutral-Detergenzien-Faser
NDFA	nitrogen derived from the atmosphere
NEL	Netto-Energie Laktation
NfE	Stickstofffreie Extraktstoffe
NH_4-N	Ammoniak-Stickstoff
N_{min}	Gehalt des Bodens an mineralisiert verfügbaren Stickstoffs
NO_3-N	Nitrat-Stickstoff

N_t	Gesamt-Stickstoffgehalt
n.v.	Nicht vorhanden
ADFom	Säure-Detergenzien-Faser, nach Veraschung
aNDFom	Neutrale-Detergenzien-Faser, nach Veraschung
OS	Organische Substanz
Pc	*Phaseolus coccineus* (Feuerbohne)
PD	1,2-Propandiol
pH4	pH-Wert der Silage nach 4 Tagen
pH14	pH-Wert der Silage nach 14 Tagen
pH90	pH-Wert der Silage am Versuchsende, 90 Tage Lagerungsdauer
PK	Pufferkapazität
p.m.	Post mortem
PS	Propionsäure
PUFA	Mehrfach ungesättigte Fettsäuren
Pv	*Phaseolus vulgaris* (Stangenbohne)
RS	Rückenspeck
SEM	Standardfehler des Mittelwertes
SFA	Gesättigte Fettsäuren
SG	Schlachtgewicht
Sil90K	Silage am Versuchsende (Silierdauer ≥ 90 Tage), Kontrolle (ohne Silierhilfsmittel)
Sil90Z	Silage am Versuchsende (Silierdauer ≥ 90 Tage), Zusatz (mit Silierhilfsmittel)
SV	Sortenversuch, Standort Trenthorst
TI-OL	Thünen-Institut für Ökologischen Landbau, Standort Trenthorst
tgz	Tägliche Zunahmen
Th	Trenthorst
TME	Trockenmasse-Ertrag
TMR	Totale-Mischration
TS	Trockensubstanzgehalt
TSn	Trockensubstanzgehalt, normal
TSk	Trockensubstanzgehalt, korrigiert nach Weißbach und Strubelt (2008)
UN	Unkraut
US	Untersaat
UV	Untersaatenversuch, Standort Trenthorst
VK	Vergärbarkeitskoeffizient
WR	Wirkungsrichtung
XA	Rohasche
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein
XPE	Rohprotein-Ertrag
XS	Stärke
XSE	Stärke-Ertrag
WSC	Wasserlösliche Kohlenhydrate
ZV	Saatzeitenversuch, Standort Braunschweig
Z/PK	Zucker-Pufferkapazitäts-Quotient
α	Irrtumswahrscheinlichkeit
DTM	Verdauliche Trockenmasse
DXL	Verdauliches Rohfett
DXF	Verdauliche Rohfaser
DOS	Verdauliche Organische Substanz

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Monatlicher Niederschlag [mm] und Temperatur [°C] im langjährigen Mittel (1986-2016) und deren Abweichungen in den Versuchsjahren 2014–2018 (Daten vom DWD, Wetterstation Lübeck). 10

Tab. 2: Bodenchemische Kennwerte der Versuchsflächen sowie Einordnung in die Gehaltsklassen A – E nach Richtwerten der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Stand Februar 2018). 10

Tab. 3: Aussaat- und Erntetermine in den Versuchsjahren 2014-2018. 12

Tab. 4: Versuchsdurchführung mit Behandlungsmaßnahmen. 15

Tab. 5: Angesetzte Silierversuche. 21

Tab. 6: Einsatz der Siliermittel beim Siliermitteltest (2015). 21

Tab. 7: Charakterisierung der Versuchstiere entsprechend der Laktationsnummer und der Behornung. ...24

Tab. 8: Zusammensetzung der Kontroll (KON)- bzw. Versuchsration (EXP) sowie der Ration, die vor Versuchsbeginn (PRE) in den Versuchsjahren verabreicht wurde. 25

Tab. 9: Kraftfutterkurve Endmast. 29

Tab. 10: Zusammenstellung der durchgeführten Untersuchungen zur Bestimmung der Nährstoffverdaulichkeit an Hammeln Nährstoffverdaulichkeit an Hammeln. 32

Tab. 11: Bodenkennwerte im Oberboden (0–30 cm Tiefe) zum Versuchsbeginn des Sortenversuches. Die Angabe der Gehaltsklassen für die Parameter Phosphor, Kalium, Magnesium und pH-Wert basiert auf den ‚Empfehlungen zur Grunddüngung' der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Stand Februar 2018). 34

Tab. 12: Ertragsanteile der Bohnen (in % bezogen auf die Trockensubstanz) getrennt nach Hülsen, Blattmasse und Stängel im Sortenversuch. LSMeans (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)) (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen). 38

Tab. 13: Bonitur der Blattmasse der Bohnen (Boniturnoten 1–5) im Sortenversuch zur Maisblüte. Dargestellt sind die Mittelwerte der einzelnen Jahre sowie der Gesamtmittelwert der Versuchsjahre mit den ermittelten Signifikanzen (SAS 9.4, npar1way ($p < 0,05$), Kruskal-Wallis Test mit anschließendem Einzelvergleich über den Wilcoxon-Rangsummen-Test): Means ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen), n.a.=nicht angebaut. 38

Tab. 14: Gäreigenschaften des Ernteguts der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge im Sortenversuch der Versuchsjahre 2015, 2016 und 2018, Zusatz = Einsatz eines Siliermittels. 42

Tab. 15: Silagequalität nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge im Sortenversuch der Versuchsjahre 2015, 2016 und 2018, Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel. 43

Tab. 16: Gärprodukte in den Silagen nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge im Sortenversuch der Versuchsjahre 2015, 2016 und 2018 (MS=Milchsäure, ES=Essigsäure, PS=Propionsäure, ETH=Ethanol, PD=1,2-Propandiol, BD=2,3-Butandiol, BS=Buttersäure), Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel. 44

Tab. 17: Aerobe Stabilität (ASTA) von Silagen nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge im Sortenversuch der Versuchsjahre 2015, 2016 und 2018 sowie deren Qualitätsbewertung nach ASTA, Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel. 45

Tab. 18: Rohnährstoffgehalte inkl. Stärke, ADFom, NDFom, ELOS von Erntegut und Silagen der Mais-Reinsaat (M11) und der Mais-Bohnen-Gemenge (TE=Terli, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) im Sortenversuch des Jahres 2014. 46

Tab. 19: Rohnährstoffgehalte inkl. Stärke, ADFom, NDFom, ELOS von Erntegut und Silagen der Mais-Reinsaat (M11) und der Mais-Bohnen-Gemenge (CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, AV=Anellino verde, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) im Sortenversuch des Jahres 2015. 48

Tab. 20: Rohnährstoffgehalte inkl. Stärke, ADFom, NDFom, ELOS von Erntegut und Silagen der Mais-Reinsaat (M11) und der Mais-Bohnen-Gemenge (CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, AV=Anellino verde, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) und im Sortenversuch des Jahres 2016. 48

Tab. 21: Rohnährstoffgehalte inkl. Stärke, ADFom, NDFom, ELOS von Erntegut und Silagen der Mais-Reinsaat (M11) und der Mais-Bohnen-Gemenge (CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, AV=Anellino verde, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) und im Sortenversuch des Jahres 2018. 49

Tab. 22: Bodenkennwerte im Oberboden (0–30 cm Tiefe) zum Versuchsbeginn des Aussaatstärkenversuches. Die Angabe der Gehaltsklassen für die Parameter Phosphor, Kalium, Magnesium und pH-Wert basiert auf den ‚Empfehlungen zur Grunddüngung' der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Stand Februar 2018). 55

Tab. 23: Unkrautdeckungsgrade in reinem Mais und unterschiedlichen Mais-Bohnen-Gemengen im Aussaatstärkenversuch in den Versuchsjahren 2014, 2015, 2016 und 2018. 61

Tab. 24: Rohnährstoffgehalte inkl. Stärke und Zucker der Mais-Reinsaaten (M11=Maiskontrolle, 11 Körner m^{-2}, M8=Mais, reduziert, 8 Körner m^{-2}) und der Mais-Bohnen-Gemenge (TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, 6=6 Körner m^{-2}, 9=9 Körner m^{-2}, 12=12 Körner m^{-2}) im Aussaatstärkenversuch...63

Tab. 25: Bodenkennwerte im Oberboden (0–30 cm Tiefe) zum Versuchsbeginn des Untersaatenversuches. Die Angabe der Gehaltsklassen für die Parameter Phosphor, Kalium, Magnesium und pH-Wert basiert auf den ‚Empfehlungen zur Grunddüngung' der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Stand Februar 2018). 65

Tab. 26: Stadium der Vollblüte (EC 65) des Mais-Stangenbohnen-Anbaus im Saatzeitenversuch der Versuchsjahre 2016 bis 2018. 69

Tab. 27: Mikroorganismenbesatz des Mais-Stangenbohnen-Anbaus im Saatzeitenversuch der Versuchsjahre 2016 bis 2018, Zusatz = Einsatz eines Siliermittels. 76

Tab. 28: Silagequalität nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge im Saatzeitenversuch der Versuchsjahre 2016 bis 2018, Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel. 77

Tab. 29: Gärprodukte in den Silagen nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge im Saatzeitenversuch der Versuchsjahre 2016 bis 2018 (MS=Milchsäure, ES=Essigsäure, PS=Propionsäure, ETH=Ethanol, PD=1,2-Propandiol, BD=2,3-Butandiol, BS=Buttersäure), Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel. 78

Tab. 30: Aerobe Stabilität (ASTA) von Silagen nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge im Saatzeitenversuch der Versuchsjahre 2016 bis 2018 sowie deren Qualitätsbewertung nach ASTA, Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel. 79

Tab. 31: Rohnährstoffe von Erntegut und Silagen nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge im Saatzeitenversuch der Versuchsjahre 2016 bis 2018 (XP=Rohprotein, XL=Rohfett, XA=Rohasche, XF=Rohfaser, XS=Stärke, XZ=Zucker), Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel. 80

Tab. 32: ELOS und Gerüstsubstanzen von Erntegut und Silagen nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge im Saatzeitenversuch der Versuchsjahre 2016 bis 2018 (ELOS=Enzymlösliche Organische Substanz, ADFom=Säure-Detergentien-Faser, aNDFom= Neutrale-Detergentien-Faser), Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel. 81

Tab. 33: Gäreigenschaften des Ernteguts der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge in den Modellsilagen von Trenthorst der Versuchsjahre 2014 bis 2016 u. 2018, Zusatz = Einsatz eines Siliermittels. 83

Tab. 34: Silagequalität nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge in den Modellsilagen von Trenthorst der Versuchsjahre 2014 bis 2016 u. 2018, Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel. 84

Tab. 35: Gärprodukte in den Silagen nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge in den Modellsilagen von Trenthorst der Versuchsjahre 2014 bis 2016 u. 2018 (MS=Milchsäure, ES=Essigsäure, PS=Propionsäure, ETH=Ethanol, PD=1,2-Propandiol, BD=2,3-Butandiol, BS=Buttersäure), Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel. 85

Tab. 36: Aerobe Stabilität (ASTA) von Silagen nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge in den Modellsilagen von Trenthorst der Versuchsjahre 2014 bis 2016 u. 2018 sowie deren Qualitätsbewertung nach ASTA, Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel. 86

Tab. 37: Aerobe Stabilität (ASTA) von Silagen nach 49 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge in den Modellsilagen von Trenthorst der Versuchsjahre 2014 bis 2016 unter Luftstressbedingungen sowie deren Qualitätsbewertung nach ASTA, Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel, n.e. = nicht ermittelt wegen hoher Schimmelbelastung. 87

Tab. 38: Rohnährstoffgehalte inkl. Stärke, ADFom, NDFom, ELOS von Erntegut und Silagen der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge (TA15=15% Tarbais, TA30=30% TA, TA45=45% TA, PG15=15% Preisgewinner, PG30=30% PG, PG45=45% PG) der Modellsilagen des Jahres 2014, Standort Trenthorst. 88

Tab. 39: Rohnährstoffgehalte inkl. Stärke, ADFom, NDFom, ELOS von Erntegut und Silagen der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge (CO15=15% Cobra, CO30=30% CO, CO45=45% CO, WR15=15% Weiße Riesen, WR30=30% WR, WR45=45% WR) der Modellsilagen des Jahres 2015, Standort Trenthorst. 89

Tab. 40: Rohnährstoffgehalte inkl. Stärke, ADFom, NDFom, ELOS von Erntegut und Silagen der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge (TA15=15% Tarbais, TA30=30% TA, TA45=45% TA, AV15=15% Anellino Verde, AV30=30% AV, AV45=45% AV) der Modellsilagen des Jahres 2016, Standort Trenthorst. 90

Tab. 41: Rohnährstoffgehalte inkl. Stärke, ADFom, NDFom, ELOS von Erntegut und Silagen der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge (TA15=15% Tarbais, TA30=30% TA) der Modellsilagen des Jahres 2018, Standort Trenthorst. 90

Tab. 42: Rohnährstoffgehalte inkl. Stärke, ADFom, NDFom, ELOS von Erntegut und Silagen der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge (TA15=15% Tarbais, TA30=30% TA) der Modellsilagen des Jahres 2018, Standort Braunschweig. 92

Tab. 43: Gäreigenschaften des Ernteguts der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge in den Modellsilagen von Braunschweig des Versuchsjahres 2018, Zusatz = Einsatz eines Siliermittels. 93

Tab. 44: Silagequalität nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge in den Modellsilagen Braunschweig des Versuchsjahres 2018, Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel. 94

Tab. 45: Gärprodukte in den Silagen nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge in den Modellsilagen Braunschweig des Versuchsjahres 2018 (MS=Milchsäure, ES=Essigsäure, PS=Propionsäure, ETH=Ethanol, PD=1,2-Propandiol, BD=2,3-Butandiol, BS=Buttersäure), Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel. 94

Tab. 46: Aerobe Stabilität (ASTA) von Silagen nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge in den Modellsilagen von Braunschweig des Versuchsjahres 2018 sowie deren Qualitätsbewertung nach ASTA, Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel. 95

Tab. 47: Gäreigenschaften des Ernteguts der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge in den Modellsilagen der Siliermittelprüfung von Braunschweig (Bs) und Trenthorst (Th) des Versuchsjahres 2018, Bohnenanteil 30% der Sorte Tarbais. 96

Tab 48: Silagequalität nach 90 Tagen Silierdauer des Ernteguts der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge in den Modellsilagen der Siliermittelprüfung von Braunschweig (Bs) und Trenthorst (Th) des Versuchsjahres 2018, Bohnenanteil 30% der Sorte Tarbais. 96

Tab. 49: Gärprodukte in den Silagen nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge in den Modellsilagen der Siliermittelprüfung von Braunschweig (Bs) und Trenthorst (Th) des Versuchsjahres 2018, Bohnenanteil 30% der Sorte Tarbais (MS=Milchsäure, ES=Essigsäure, PS=Propionsäure, ETH=Ethanol, PD=1,2-Propandiol, BD=2,3-Butandiol, BS=Buttersäure), Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel. 97

Tab. 50: Aerobe Stabilität (ASTA) von Silagen nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge in den Modellsilagen der Siliermittelprüfung von Braunschweig (Bs) und Trenthorst (Th) des Versuchsjahres 2018, Bohnenanteil 30% der Sorte Tarbais. 97

Tab. 51: Statistische Kennzahlen der NIRS-Kalibrationen zur Schätzung der Rohnährstoffgehalte inkl. Stärke im Erntegut und den Silagen der Sorten-, Aussaatstärken- und Modellsilagenversuche (SEE=Standardfehler der Kalibration (Estimation), SEP=Standardfehler der Validation (Prediction), R_{Kal}=Regressionskoeffizient der Kalibration, R_{Val}=Regressionskoeffizient der Validation, n_{Kal}=Probenanzahl im Kalibrationsdatensatz, n_{Val}=Probenanzahl im Kalibrationsdatensatz). 98

Tab. 52: Chemische Zusammensetzung der Kontroll (KON)- und Versuchsration (EXP) in den Versuchsjahren; KON enthielt Maissilage, die in EXP durch MBS ersetzt wurde. 99

Tab. 53: Nährstoffaufnahme, Milchmenge und Milchzusammensetzung, sowie Körpergewichtsentwicklung und Änderung des BCS (alle Angaben als LSM) bei der Verfütterung von Maissilage (KON) oder MBS (EXP) in der Ration in den Versuchsjahren. 100

Tab. 54: Anteile an Kühen mit verschmutzten Körperteilen oberhalb des definierten Grenzwerts während der Verfütterung der Kontrollration (KON) mit Maissilage und der Versuchsration (EXP) mit MBS. ..101

Tab. 55: Mittlere Mengenanteile (%) der Fettsäureklassen in der Milch in den einzelnen Fütterungsphasen der Versuchsjahre (Basis: vier Milchproben je Phase). 103

Tab. 56: Signifikanzlevel der fixen Effekte und der Kovariablen für die statistische Überprüfung der Kriterien der Mastleistung. 104

Tab. 57: Tageszunahmen (g) von Mastschweinen in unterschiedlichen Mastabschnitten in Abhängigkeit vom Grundfutter (LS Means, SEM). 105

Tab. 58: Signifikanzlevel der fixen Effekte und der Kovariablen für die statistische Überprüfung der Kriterien der Schlachtkörperqualität. 106

Tab. 59: Kriterien der Schlachtkörperqualität von Mastschweinen in Abhängigkeit vom Grundfutter (LS Means, SEM). 106

Tab. 60: Signifikanzlevel der fixen Effekte für die statistische Überprüfung der Kriterien der Fleischqualität (physikalisch basierte Parameter). 106

Tab. 61: Signifikanzlevel der fixen Effekte für die statistische Überprüfung der Kriterien der Fleischqualität (chemisch basierte Parameter). 107

Tab. 62: Kriterien der Fleischqualität von Mastschweinen in Abhängigkeit vom Grundfutter (LS Means, SEM). 107

Tab. 63: Relative Häufigkeiten von Beobachtungen (%) ohne bzw. mit Verletzungen in Abhängigkeit vom Grundfutter. 108

Tab. 64: Signifikanzlevel der fixen Effekte für die statistische Überprüfung der Verletzungshäufigkeiten. 108

Tab. 65: Gehalt an Weender Rohnährstoffen, Gerüstsubstanzen und Stärke in den zur Bestimmung der Nährstoffverdaulichkeit an Hammeln aus dem Erntejahr 2014 verwendeten Rationen. 109

Tab. 66: An Hammeln ermittelte Verdaulichkeit der Trockenmasse, der organischen Substanz, des Rohfetts und der Rohfaser von Maissilage und Mais-Bohnen-Silagen aus dem Erntejahr 2014 (Mittelwert, Standardabweichung). 110

Tab. 67: Anhand der an Hammeln ermittelten Verdaulichkeit der organischen Substanz, des Rohfetts und der Rohfaser kalkulierter Gehalt an metabolischer Energie und Nettoenergie-Laktation von Maissilage und Mais-Bohnen-Silagen aus dem Erntejahr 2014 (Mittelwert, Standardabweichung). 110

Tab. 68: Gehalt an Weender Rohnährstoffen, Gerüstsubstanzen und Stärke in den zur Bestimmung der Nährstoffverdaulichkeit an Hammeln aus dem Erntejahr 2015 verwendeten Rationen. 111

Tab. 69: An Hammeln ermittelte Verdaulichkeit der Trockenmasse, der organischen Substanz, des Rohfetts und der Rohfaser von Maissilage und Mais-Bohnen-Silagen aus dem Erntejahr 2015 (Mittelwert, Standardabweichung). 111

Tab. 70: Anhand der an Hammeln ermittelten Verdaulichkeit der organischen Substanz, des Rohfetts und der Rohfaser kalkulierter Gehalt an metabolischer Energie und Nettoenergie-Laktation von Maissilage und Mais-Bohnen-Silagen aus dem Erntejahr 2015 (Mittelwert, Standardabweichung). 112

Tab. 71: Gehalt an Weender Rohnährstoffen, Gerüstsubstanzen und Stärke in den zur Bestimmung der Nährstoffverdaulichkeit an Hammeln aus dem Erntejahr 2016 verwendeten Rationen. 112

Tab. 72: An Hammeln ermittelte Verdaulichkeit der Trockenmasse, der organischen Substanz, des Rohfetts und der Rohfaser von Maissilage und Mais-Bohnen-Silagen aus dem Erntejahr 2016 (Mittelwert, Standardabweichung). 113

Tab. 73: Anhand der an Hammeln ermittelten Verdaulichkeit der organischen Substanz, des Rohfetts und der Rohfaser kalkulierter Gehalt an metabolischer Energie und Nettoenergie-Laktation von Maissilage und Mais-Bohnen-Silagen aus dem Erntejahr 2016 (Mittelwert, Standardabweichung). 113

Tab. 74: Gehalt an Weender Rohnährstoffen, Gerüstsubstanzen und Stärke in den zur Bestimmung der Nährstoffverdaulichkeit an Hammeln aus dem Erntejahr 2018 verwendeten Rationen. 114

Tab. 75: An Hammeln ermittelte Verdaulichkeit der Trockenmasse, der organischen Substanz, des Rohfetts und der Rohfaser von Maissilage und Mais-Bohnen-Silagen aus dem Erntejahr 2018 (Mittelwert, Standardabweichung). 114

Tab. 76: Anhand der an Hammeln ermittelten Verdaulichkeit der organischen Substanz, des Rohfetts und der Rohfaser kalkulierter Gehalt an metabolischer Energie und Nettoenergie-Laktation von Maissilage und Mais-Bohnen-Silagen aus dem Erntejahr 2018 (Mittelwert, Standardabweichung). 115

Tab. 77: Vergleich der Gehalte an metabolischer Energie und Nettoenergie-Laktation von Maissilage und Mais-Bohnen-Silagen der Anbauorte Trenthorst und Braunschweig aus dem Erntejahr 2018 (LS-means). 115

Tab. 78: Charakteristika der interviewten Betriebe, die Mais und Stangenbohnen im Gemenge anbauen und zur Milchviehfütterung einsetzen. 116

Tab. 79: Düngung und Pflegemaßnahmen im Mais-Stangenbohnenbestand im Anbaujahr 2018. 118

Tab. 80: Übersicht über die Darreichungsform, die Futterkomponenten und deren Rationsanteile sowie die Dauer der Fütterung von MBS auf den Praxisbetrieben. 119

Tab. 81: Vergleich der an Hammeln ermittelten Verdaulichkeit der Trockenmasse, der organischen Substanz, des Rohfetts und der Rohfaser und des kalkulierten Gehalts an metabolischer Energie und Nettoenergie-Laktation von Mais-Bohnen-Silagen aus unterschiedlichen Bohnenarten gegenüber Maissilage (als Kontrolle) aus allen Erntejahren. 150

Tab. 82: Vergleich der an Hammeln ermittelten Verdaulichkeit der Trockenmasse, der organischen Substanz, des Rohfetts und der Rohfaser und des kalkulierten Gehalts an metabolischer Energie und Nettoenergie-Laktation von Mais-Bohnen-Silagen mit einem Bohnenanteil von 15 bis 45% in der TM aus unterschiedlichen Bohnenarten gegenüber Maissilage (als Kontrolle) aus allen Erntejahren. ... 151

Tab. 83: Vergleich der an Hammeln ermittelten Verdaulichkeit der Trockenmasse, der organischen Substanz, des Rohfetts und der Rohfaser und des kalkulierten Gehalts an metabolischer Energie und Nettoenergie-Laktation von Mais-Bohnen-Silagen mit einem Bohnenanteil von 15 bis 45% in der TM aus unterschiedlichen Bohnensorten gegenüber Maissilage (als Kontrolle) aus allen Erntejahren. .. 152

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Arbeitspakete im Verbundvorhaben „Mais-Bohne“ mit Zuordnung der beteiligten Partner [TI-OL: Thünen-Institut für Ökologischen Landbau, JKI-PB: Julius Kühn-Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, FLI-TE: Friedrich-Loeffler-Institut für Tierernährung]. 4

Abb. 2: Lufttemperatur (Monatsmittel in °C) und Niederschlag (Monatssumme in mm) in den Versuchsjahren 2015 bis 2018 der DWD-Wetterstation Braunschweig-Völkenrode (DWD 2018). 11

Abb. 3: Übersicht der im Sortenversuch (SV) geprüften Bohnenarten und –sorten in den Jahren 2015-2018 mit deren wesentlichen Merkmalen. 13

Abb. 4: Körperbereiche Integumentbonitur (eigene Grafik). 30

Abb. 5: N_{min}-Gehalte in den Tiefen 0–30 cm und 30–60 cm nach der Ernte des Sortenversuches in Abhängigkeit der Varianten (links, M11=Maiskontrolle, 11 Körner m^{-2}, M8=Mais, reduziert, 8 Körner m^{-2}, AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) und der Jahre (rechts). LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)), innerhalb derselben Tiefenstufe: LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren. n.s. = nicht signifikant. 35

Abb. 6: Gesamtertrag der Mais-Reinsaaten (M11=Maiskontrolle, 11 Körner m^{-2}, M8=Mais, reduziert, 8 Körner m^{-2}) und der Mais-Bohnen-Gemenge (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) im Sortenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren, n.s. = nicht signifikant. 36

Abb. 7: Mais-Ertrag der Mais-Reinsaaten (M11=Maiskontrolle, 11 Körner m^{-2}, M8=Mais, reduziert, 8 Körner m^{-2}) und der Mais-Bohnen-Gemenge (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) im Sortenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten, LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren. 37

Abb. 8: Bohnen-Ertrag der Mais-Bohnen-Gemenge (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) im Sortenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten, LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren. 37

Abb. 9: Wuchshöhe der Bohnen zur Maisblüte in Abhängigkeit der Bohnenvariante im Gemengeanbau (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) und der Jahre im Sortenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb desselben Jahres. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren innerhalb derselben Variante. 40

Abb. 10: N_2-Fixierleistung der Bohnen zur Ernte in Abhängigkeit der Bohnenvariante im Gemengeanbau (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) und der Jahre im Sortenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb desselben Jahres. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren innerhalb derselben Variante. 41

Abb. 11: Rohproteingehalte der Mais-Reinsaat (M11) und der Mais-Bohnen-Gemenge (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) im Sortenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten

innerhalb desselben Jahres. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren innerhalb derselben Variante. 47

Abb. 12: Stärkegehalte der Mais-Reinsaat (M11) und der Mais-Bohnen-Gemenge (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) im Sortenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb desselben Jahres. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren innerhalb derselben Variante. 47

Abb. 13: Stärke-Ertrag der Mais-Bohnen-Gemenge (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) und der Mais-Reinsaat (M11) im Sortenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten, LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren, M8=nicht analysiert. 50

Abb. 14: Phytohaemagglutiningehalte der Mais-Bohnen-Gemenge (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) und der Mais-Reinsaat (M11) im Ausgangsmaterial des Sortenversuchs. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb desselben Jahres. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren innerhalb derselben Variante. 51

Abb. 15: Rohproteingehalte der Pflanzenorgane der Bohnenvarianten (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) des Sortenversuchs 2015. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb desselben Pflanzenorgans. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Organen innerhalb derselben Variante. 52

Abb. 16: Rohproteingehalte der Samen der reinen Bohnenvarianten (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) des Sortenversuchs. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb desselben Jahres. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren innerhalb derselben Variante. 53

Abb. 17: Phytohaemagglutiningehalte der Pflanzenorgane der Bohnenvarianten (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) des Sortenversuchs 2015. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb desselben Pflanzenorgans. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Organen innerhalb derselben Variante. 53

Abb. 18: Tanningehalte der Pflanzenorgane der Bohnenvarianten (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) des Sortenversuchs 2016. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb desselben Pflanzenorgans. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Organen innerhalb derselben Variante. 54

Abb. 19: Oligosaccharidgehalte der Pflanzenorgane der Bohnenvarianten (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) des Sortenversuchs 2016. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb desselben Pflanzenorgans. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Organen innerhalb derselben Variante. 55

Abb. 20: N_{min}-Gehalte im Aussaatstärkenversuch in den Tiefen 0–30cm und 30–60cm nach der Ernte des Aussaatstärkenversuches in Abhängigkeit der Varianten (links: M11=Maiskontrolle, 11 Körner m^{-2}, M8=Mais, reduziert, 8 Körner m^{-2}, PG=Preisgewinner, TA=Tarbais, 6=6 Körner m^{-2}, 9=9 Körner m^{-2}, 12=12 Körner m^{-2}) und der Jahre (rechts). LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben. kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren. n.s. = nicht signifikant. 56

Abb. 21: Gesamtertrag in den Mais-Reinsaaten (M11=Maiskontrolle, 11 Körner m^{-2}, M8=Mais, reduziert, 8 Körner m^{-2}) und den Mais-Bohnen-Gemengen (PG=Preisgewinner, TA=Tarbais, 6=6 Körner m^{-2}, 9=9 Körner m^{-2}, 12=12 Körner m^{-2}) im Aussaatstärkenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): n.s. = nicht signifikant, LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren. 57

Abb. 22: Maisertrag in den Mais-Reinsaaten (M11=Maiskontrolle, 11 Körner m^{-2}, M8=Mais, reduziert, 8 Körner m^{-2}) und den Mais-Bohnen-Gemengen (PG=Preisgewinner, TA=Tarbais, 6=6 Körner m^{-2}, 9=9 Körner m^{-2}, 12=12 Körner m^{-2}) im Aussaatstärkenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren. 58

Abb. 23: Bohnenertrag im Gemengeanbau des Aussaatstärkenversuchs in Abhängigkeit der Wechselwirkung Bohnenart x Jahr (link) und der Saatdichte der Bohnen (rechts). LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Bohnenarten innerhalb desselben Jahres (links) bzw. den Saatdichten (rechts). LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren innerhalb derselben Bohnenart. 59

Abb. 24: Bohnenertrag in den Reinsaaten des Aussaatstärkenversuchs in Abhängigkeit der Wechselwirkung Bohnenart x Jahr (links) und der Saatdichte der Bohnen (rechts). LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Bohnenarten innerhalb desselben Jahres (links) bzw. den Saatdichten (rechts). LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren innerhalb derselben Bohnenart. 60

Abb. 25: N-Fixierung der Bohnen im Gemengeanbau mit Mais im Aussaatstärkenversuch. Vergleich zwischen den Bohnen-Arten (links: Pv = *P. vulgaris*, PC = *P. coccineus*) bzw. Saatdichten (rechts: 6 Kö = 6 Körner m^{-2}, 9 Kö = 9 Körner m^{-2}, 12 Kö = 12 Körner m^{-2}) der Bohnen im Mittel der Jahre 2015 und 2016. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Arten. LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Saatdichten. 62

Abb. 26: Rohproteingehalte der Mais-Reinsaaten (M11=Maiskontrolle, 11 Körner m^{-2}, M8=Mais, reduziert, 8 Körner m^{-2}) und der Mais-Bohnen-Gemenge (TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, 6=6 Körner m^{-2}, 9=9 Körner m^{-2}, 12=12 Körner m^{-2}) im Aussaatstärkenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren. 62

Abb. 27: Rohproteinertrag der Mais-Bohnen-Gemenge im Aussaatstärkenversuch (M=Mais, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, RS=Reinsaat, 8,11=Anzahl Körner Mais m^{-2}, 6,9,12=Anzahl Körner Bohnen m^{-2}). LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten im jeweiligen Jahr, LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren einer Variante. 64

Abb. 28: Stärkeertrag der Mais-Bohnen-Gemenge im Aussaatstärkenversuch (M=Mais, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, RS=Reinsaat, 8,11=Anzahl Körner Mais m^{-2}, 6,9,12=Anzahl Körner Bohnen m^{-2}). LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen

Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten im jeweiligen Jahr, LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren einer Variante. 64

Abb. 29: Gesamtertrag der Maiskontrolle (M11) und der Mais-Bohnen-Gemenge mit der Feuerbohne Preisgewinner (PG) und der Stangenbohne Tarbais (TA) im Untersaatenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Hauptfrüchten innerhalb desselben Jahres. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren innerhalb derselben Hauptfrucht. 66

Abb. 30: Unkraut-Biomasse im Untersaatenversuch in Abhängigkeit der Jahre und Untersaatvarianten (ohne = keine Untersaat, US1 = Welsches Weidelgras + Erdklee, US2 = W. Weidelgras + Futterchicoree). LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Untersaatvarianten innerhalb desselben Jahres. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren innerhalb derselben Untersaatvariante, n.s.=nicht signifikant. ...67

Abb. 31: Untersaat-Biomasse im Untersaatenversuch in Abhängigkeit der Jahre und der Hauptfrüchte (M11=Maiskontrolle, PG = Mais-Preisgewinner, TA = Mais-Tarbais. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Hauptfrüchten innerhalb desselben Jahres. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren innerhalb derselben Hauptfrucht. 67

Abb. 32: Deckungsgrade der Untersaaten (links) und Unkräuter (rechts) im Untersaatenversuch in Abhängigkeit der Jahre bzw. Untersaatvarianten. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Untersaatvarianten. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren. 68

Abb. 33: Gesamtertrag des Mais-Stangenbohnen-Anbaus im Saatzeitenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Prüfgliedern, n.s. = nicht signifikant. 70

Abb. 34: Maisertrag des Mais-Stangenbohnen-Anbaus im Saatzeitenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Prüfgliedern, n.s. = nicht signifikant. 71

Abb. 35: Bohnenertrag des Mais-Stangenbohnen-Anbaus im Saatzeitenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Prüfgliedern, n.s. = nicht signifikant. 72

Abb. 36: Hülsenertrag des Mais-Stangenbohnen-Anbaus im Saatzeitenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Prüfgliedern, LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren. 72

Abb. 37: Rohproteinertrag des Mais-Stangenbohnen-Anbaus im Saatzeitenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Prüfgliedern, n.s. = nicht signifikant. 73

Abb. 38: Stärkeertrag des Mais-Stangenbohnen-Anbaus im Saatzeitenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Prüfgliedern, n.s. = nicht signifikant. 73

Abb. 39: Z/PK-Quotient des Mais-Stangenbohnen-Anbaus im Saatzeitenversuch, Richtwert mindestens 2,0. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Prüfgliedern, LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren. 74

Abb. 40: Vergärbarkeitskoeffizient (VK) des Mais-Stangenbohnen-Anbaus im Saatzeitenversuch, Richtwert mindestens 45. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Prüfgliedern, LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren. 75

Abb. 41: Phytohaemagglutiningehalte von Erntegut und Silagen der Mais- (M100) und Bohnen-Reinsaaten (AV100, TA100) und der Mais-Bohnen-Gemenge (TA15=15% Tarbais, TA30=30% TA, TA45=45% TA, AV15=15% Anellino Verde, AV30=30% AV, AV45=45% AV im Gemenge mit Mais) der Modellsilagen des Jahres 2016, Standort Trenthorst. Für Silagen: LSMeans (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb desselben Typs. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Typen innerhalb derselben Variante. 91

Abb. 42: Protein- und Energieversorgungssituation im Versuchsjahr 2016. 100

Abb. 43: Fettsäuremuster der in 2016 eingesetzten Maissilage und MBS (Fettsäuren mit Gewichtsanteilen < 5 %, Datenbasis: Mittelwert aus zwei Proben im Datenerhebungszeitraum). 102

Abb. 44: Fettsäuremuster in den 2017 verabreichten TMR in den Phasen der Datenerhebung mit Maissilage bzw. MBS in der Ration (Fettsäuren mit < 5 % Gewichtsanteil, Datenbasis: Mittelwert aus zwei Futterproben). 103

Abb. 45: Gewichtsanteile der untersuchten Fettsäuren mit <5% Gewichtsanteil in den Phasen der Datenerhebung während der Verfütterung von Maissilage und MBS in den Versuchsjahren(Datenbasis je Säule: Mittelwert aus vier Milchproben). 104

Kurzfassung

Verbesserung der Protein- und Energieversorgung bei Wiederkäuern und Monogastrieren durch Gemengeanbau von Mais mit Stangen- oder Feuerbohnen

Jenny Fischer[1], Karen Aulrich[1], Kerstin Barth[1], Ralf Bussemas[1], Sinje Büttner[1], Frank Höppner[2], Ulrich Meyer[3] und Herwart Böhm[1]

[1] Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Institut für Ökologischen Landbau (TI-OL), Trenthorst 32, 23847 Westerau, Deutschland

2 Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde (JKI-PB), Bundesallee 58, 38116 Braunschweig, Deutschland

3 Friedrich-Loeffler-Institut, Institut für Tierernährung (FLI-TE), Bundesallee 37, 38116 Braunschweig

Mehrjährige Versuche zur Optimierung des Mais-Bohnen-Gemengeanbaus hinsichtlich Bohnenart und -sorte, Saatzeit und -dichte der Bohnen sowie Untersaaten wurden durchgeführt. Es wurden Silagen erstellt, die Qualitäten anhand von Inhaltsstoffen und Verdaulichkeiten bestimmt und der Einsatz von Mais-Bohnen-Silagen in der Fütterung von Milchkühen und Mastschweinen geprüft.

Während am Standort Trenthorst die Gesamterträge der Mais-Reinsaaten und der Mais-Bohnen-Gemenge auf gleichem Niveau lagen, fielen die Gemengerträge am Standort Braunschweig niedriger aus als die der Mais-Reinsaaten. Die Stangenbohnen *Tarbais* zeigte die höchsten Bohnenerträge gefolgt von den Sorten *Anellino verde* und *Grünes Posthörnchen*. Eine gleichzeitige Saat von Mais und Bohnen führte zu höheren Bohnenanteilen. Auch eine Mischsaat beider Partner in einer Reihe bewährte sich.

Bei der Silageerzeugung wurde trotz nicht immer erfüllter Ausgangsvoraussetzungen beim Erntegut stets eine gute Ansäuerung erreicht. Die Silierbarkeit und Gärqualität von Mais und Mais-Bohnen-Silagen war gleichermaßen gegeben. Mais-Bohnen-Silagen zeigten sortenabhängig höhere Rohproteingehalte als Maissilagen. Die höchsten Rohproteingehalte wurden mit der Stangenbohne *Tarbais* erzielt, mit Ausnahme der Modellsilagen mit *Anellino verde* in 2016. Die Silierung führte zur starken Reduktion der antinutritiven Inhaltsstoffe (Lektine, α-Galactoside). Die Verdaulichkeitsuntersuchungen ergaben für die Silagen mit *Tarbais* und *Weiße Riesen* signifikant höhere Energiegehalte als für die Maissilagen. Silagen mit *Preisgewinner*, *Cobra* und *Anellino verde* wiesen keine signifikanten Differenzen zu den Maissilagen auf.

Bei der Verfütterung von Mais-Stangenbohnen-Silage (< 9% *Tarbais*) im Vergleich zu Maissilage an Milchkühe zeigte bis auf einen leicht erhöhten Milchharnstoffgehalt keiner der geprüften Indikatoren einen Effekt. Die on-top Fütterung der Mais-Bohnen-Silage (15% *Tarbais*) hat sich als Grundfutter für Mastschweine als geeignet erwiesen.

Kontakt:
Thünen-Institut für Ökologischen Landbau
Dr. Herwart Böhm
Trenthorst 32
23847 Westerau
herwart.boehm@thuenen.de

Abstract

Improving the supply of protein and energy in ruminants and monogastric animals by inter-cropping maize with runner or scarlet runner beans

Jenny Fischer[1], Karen Aulrich[1], Kerstin Barth[1], Ralf Bussemas[1], Sinje Büttner[1], Frank Höppner[2], Ulrich Meyer[3] und Herwart Böhm[1]

[1] Johann Heinrich von Thünen-Institut, Federal Research Institute for Rural Areas, Forestry and Fisheries, Institute of Organic Farming (TI-OL), Trenthorst 32, 23847 Westerau, Germany

2 Julius Kühn-Institut, Federal Research Centre for Cultivated Plants (JKI-PB), Bundesallee 58, 38116 Braunschweig, Germany

3 Friedrich-Loeffler-Institut, Institute of Animal Nutrition, Federal Research Institute for Animal Health (FLI-TE), Bundesallee 37, 38116 Braunschweig, Germany

Field trials of several years were carried out to optimize the maize-bean-intercropping in terms of bean type and variety, sowing time and density of the beans and undersown crops. Silages were produced, the quality determined on the basis of ingredients and digestibility and the use of maize-bean silages in the feeding of dairy cows and fattening pigs was examined.

While the total yield of the sole cropped maize and intercropped maize-bean at the Trenthorst site were at the same level, total yield of intercropped maize-bean was lower compared to sole cropped maize in Braunschweig. The runner bean cv. *Tarbais* showed the highest bean yield, followed by the varieties *Anellino verde* and *Grünes Posthörnchen*. Simultaneously sowing of maize and beans resulted in higher proportions of beans. Moreover, a mixed sowing of both partners in a row was successful.

In silage production, good acidification was achieved in the harvest material although the initial requirements were not always met. The ensilability and fermentation quality of maize and maize-bean silages were given. Depending on the variety, maize-bean silages showed higher crude protein contents than maize silages. The highest crude protein content was achieved by the runner bean cv. *Tarbais*, with the exception of the model silages of cv. *Anellino verde* in 2016. The antinutrients (lectins, α-galactosides) were heavily reduced by ensiling. The digestibility studies showed significantly higher energy contents for the silages with cv. *Tarbais* and cv. *Weiße Riesen* than for pure maize silages. The silages with cv. *Preisgewinner*, cv. *Cobra* and cv. *Anellino verde* showed no significant differences compared to maize silage.

The feeding of maize-runner-bean silage (< 9% cv. *Tarbais*) in comparison to maize silage to dairy cows had no effect on the tested indicators, except a slight increase of the milk urea content. On-top feeding of maize bean silage (15% cv. *Tarbais*) has proven to be suitable as basic feed for fattening pigs.

Contact:
Thünen Institute of Organic Farming
Dr. Herwart Böhm
Trenthorst 32
23847 Westerau
Germany
herwart.boehm@thuenen.de

1 Einführung

1.1 Gegenstand des Vorhabens

Das Vorhaben sollte einen Beitrag zum Erreichen des Ziels einer 100%-Öko-Fütterung leisten. Vor dem Hintergrund, dass Gemengeanbausysteme oftmals leistungsfähiger sind als der Anbau der jeweiligen Reinsaaten (Li et al., 2020), sollte das Gemengeanbausystem von Mais mit Bohnen weiterentwickelt werden. Hierzu wurden verschiedene Fragestellungen zu Sortenwahl, Saatdichte, Saatzeit und Untersaaten im Rahmen von Feldversuchen bearbeitet. Gleichzeitig kann das Anbausystem einen Beitrag zur regionalen Erzeugung von Futtermitteln leisten. Hierfür wurden die Siliereignung und Silagequalität, die Futterbewertung inklusive der Bestimmung der Verdaulichkeiten und der Einsatz von Mais-Bohnen-Silagen in der Fütterung von Milchkühen und Mastschweinen geprüft und beurteilt.

Maissilage ist auch in der ökologischen Milcherzeugung ein wertvolles Futtermittel, das insbesondere für seine Energiekonzentration geschätzt wird. Nachteilig ist der geringere Proteingehalt, der dann durch andere Futtermittel ausgeglichen werden muss. Eine Anreicherung der Maissilage mit einem proteinhaltigen Raufuttermittel hätte den Vorteil, dass der Einsatz von Kraftfuttermitteln zum Ausgleich des Proteinbedarfs zugunsten des Grobfuttereinsatzes reduziert werden könnte. Bisher ist allerdings nur wenig über die Verträglichkeit und die Akzeptanz von Stangenbohnen als Ganzpflanzen in der Rinderfütterung bekannt.

Maissilage ist ebenso ein von Schweinen gerne aufgenommenes, energiereiches, aber mineralien- und proteinarmes Futtermittel. Im Gemenge mit Bohnen siliert, bietet es sich geradezu als Basis für die Entwicklung einer T (-otal) M (-isch) R (-ation) für Schweine an.

1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts

Ziel des Projektes ist es, einen Beitrag zur regional-basierten Protein- und Energieversorgung landwirtschaftlicher Nutztiere auf der Grundlage des Anbaus von Mais im Gemenge mit Stangen- bzw. Feuerbohnen (Phaseolus vulgaris bzw. P. coccineus) zu leisten. Damit werden die Schwerpunkte des Förderprogramms im Bereich Pflanzenbau zur Entwicklung von Anbaukonzepten zu bislang für den ökologischen Landbau wenig wissenschaftlich bearbeiteten bzw. in der Praxis des ökologischen Landbaus wenig verbreiteten landwirtschaftlichen Kulturen (z.B. Mais) sowie Entwicklung von Mischkultursystemen für den ökologischen Landbau aufgegriffen. Dazu soll der Gemengeanbau selbst optimiert, die Silierfähigkeit überprüft sowie der Beitrag zu einer verbesserten Protein- und Energieversorgung von Wiederkäuern und Monogastriern getestet werden. Hierbei wird Bezug genommen zu den Förderschwerpunkten im Bereich Tierproduktion „Optimierung der Futterrationen verschiedener Tierarten unter den Bedingungen des Öko-Landbaus“ als auch „Optimierung von Fütterungs- und Haltungsverfahren“.

Der Gemengeanbau von Mais mit Stangen- bzw. Feuerbohnen (im Folgendem als „Mais-Bohnen-Gemenge“ bezeichnet) leistet aus ackerbaulicher Sicht sowohl einen Beitrag zur Integration einer weiteren Leguminose in das Anbausystem als auch zur Erhöhung der Biodiversität, da die Kulturpflanzenvielfalt ausgedehnt wird. Damit wird der Zielsetzung des Forschungsprogrammes, die biologische Vielfalt aufgrund vielfältigerer Fruchtfolgesysteme zu erhöhen, entsprochen. Auf Grund der guten Rankeigenschaften passen Stangen- und Feuerbohnen in besonderer Weise in ein

Mischfruchtsystem mit Mais. In seinem Ursprungsgebiet wird Mais seit jeher in Mischfruchtanbausystemen, auch mit Stangenbohnen kultiviert. In Österreich hat der Anbau von Käferbohnen (P. coccineus) ebenfalls eine lange Tradition.

Für die Tierernährung sind der Mais-Bohnen-Gemengeanbau und dessen Konservierung als Silage von besonderem Interesse, da in einem Arbeitsgang ein Futter gewonnen werden kann, das gegenüber der reinen energiereichen Maissilage einen erhöhten Proteingehalt aufweist. Dies ist insbesondere bei der Fütterung von Milchkühen in der Frühlaktation von Interesse, da die bedarfsgerechte Versorgung dieser Tiere mit wirtschaftseigenem Futter eine Herausforderung im ökologischen Landbau darstellt. Dies trifft gleichermaßen für die Fütterung von Mastschweinen zu, wobei hier der Einsatz der Mais-Bohnen-Silage als Grundfutter im Rahmen des Projektes geprüft wurde. Ziel der Fütterungsversuche mit Milchkühen und Mastschweinen war mit dem Einsatz der Mais-Bohnen-Silage eine verbesserte Protein- und Energieversorgung zu erreichen.

1.3 Planung und Ablauf des Projekts

Das Gesamtvorhaben wurde in der Laufzeit von Mai 2014 bis Ende September 2020 durchgeführt. Dabei wurde das Vorhaben in unterschiedlichen, aber inhaltlich miteinander verbundenen Teilprojekten an der gesamten Produktionskette, d.h. vom Anbau bis zur Fütterung bearbeitet. Hierzu wurden die in Abb. 1 dargestellten Arbeitspakete konzipiert und inhaltlich ausgestaltet.

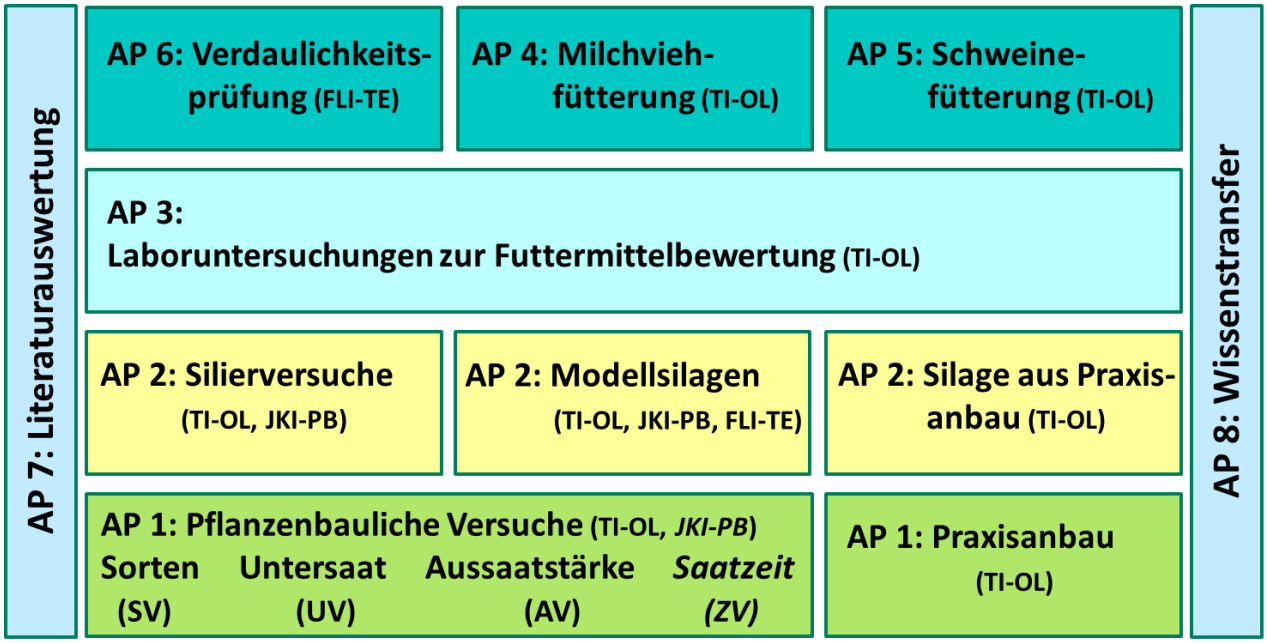


Abb. 1: Arbeitspakete im Verbundvorhaben „Mais-Bohne“ mit Zuordnung der beteiligten Partner [TI-OL: Thünen-Institut für Ökologischen Landbau, JKI-PB: Julius Kühn-Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, FLI-TE: Friedrich-Loeffler-Institut für Tierernährung].

Die zu bearbeitenden Themenschwerpunkte wurden in die Bereiche Anbau (AP 1), Silierung (AP 2), Futterbewertung (AP 3 und 6) und Fütterung von Wiederkäuern (AP 4) sowie Monogastriern (AP 5) sowie Literaturauswertung (AP 7) und Wissenstransfer (AP 8) unterteilt, waren aber aufgrund der übergeordneten Fragestellung sehr eng miteinander verzahnt. Damit wurde eine umfassende Bewertung von Mais-Bohnen-Gemengen – vom Anbau bis zur Verfütterung – gewährleistet.

Die pflanzenbaulichen Untersuchungen fanden an zwei Standorten in den Jahren 2014 bis 2018 statt. Von ausgewählten Versuchen wurde die Siliereignung geprüft. Der Einsatz der Mais-Bohnen-Silage in der Fütterung erfolgte bei Milchvieh in den Jahren 2016 und 2017 und bei den Mastschweinen in insgesamt acht Durchgängen in den Jahren 2015 bis 2018. Die Untersuchungen zur Verdaulichkeit konnten an speziell erstellten Modellsilage aus Ernteproben der Anbaujahre 2014 bis 2016 sowie 2018 durchgeführt werden. Die Futterbewertung wurde an Proben der pflanzenbaulichen Versuche, an silierten Proben sowie an Proben aus den Fütterungsversuchen über die gesamte Projektlaufzeit vorgenommen.

Folgende Fragestellungen standen im Vordergrund des Forschungsvorhabens:

- Welche Stangen- bzw. Feuerbohnensorten sind hinsichtlich ihrer Eigenschaften wie Ertrag, gebildete Blattmasse, Zeitpunkt des Blattfalls während der Abreife sowie Kornreife besonders für den Gemengeanbau mit Mais geeignet?
- Unterscheiden sich Stangen- und Feuerbohnen in den Gehalten wertgebender und antinutritiver Inhaltsstoffe?
- Welchen Einfluss hat die Blüten- bzw. die Samenfarbe auf den Gehalt, insbesondere der sekundären Inhaltsstoffe?
- Welche Aussaatstärken der Stangen- bzw. Feuerbohnen führen zu einer optimalen Bestandeszusammensetzung hinsichtlich der Optimierung des Ertrages und der Qualitätseigenschaften im Gemengeanbau mit Mais?
- Hat der Anteil an Stangen- bzw. Feuerbohnen im Gemenge eine Auswirkung auf die Silierfähigkeit, Silagequalität und die Futteraufnahme?
- Werden die sekundären Inhaltsstoffe durch den Prozess der Silierung abgebaut?
- Kann die Silagequalität durch den Einsatz von im ökologischen Landbau zugelassenen Silierhilfsmitteln verbessert werden?
- Zu welchen Anteilen können Stangenbohnen in einer Mais-Bohnen-Silage (MBS) in der Wiederkäuer-Fütterung eingesetzt werden?
- Welche Auswirkungen hat der Einsatz einer MBS in der Frühlaktation von Milchkühen verglichen mit dem Einsatz reiner Maissilage?
- Wie schneidet MBS im Vergleich zu Klee-Gras-Silage beim Mastschwein ab als bisher unbekannter Vertreter einer im Öko-Landbau auch für Monogastrier obligatorischen Rau- bzw. Grundfuttergabe?

Biannuelle Treffen dienten dem regelmäßigen internen Austausch zwischen den Projektpartnern, wobei die Treffen im Sommer auch zur Besichtigung der Feldversuche genutzt wurden. Die Treffen im Winterhalbjahr waren der Vorstellung und Diskussion der Ergebnisse vorbehalten.

Während der Projektlaufzeit wurden drei spezielle Mais-Bohnen-Feldtage in den Jahren 2014, 2015 und 2016 am Standort Trenthorst für die landwirtschaftliche Praxis, Beratung und Forschung angeboten. Zusätzlich wurden die Feldversuche auch an den Pflanzenbau-Feldtagen am Standort Trenthorst in den Jahren 2016 und 2018 präsentiert. Weiterhin wurden die Ergebnisse auf zahlreichen praxisnahen und wissenschaftlichen Tagungen vorgestellt sowie in der landwirtschaftlichen Fachpresse und in wissenschaftlichen Veröffentlichungen publiziert.

Detaillierte Angaben zum Ablauf und zur Durchführung des Projektes sind in dem Kapitel 3 „Material & Methoden“ beschrieben.

2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Der ökologische Landbau ist per Definition ein sogenanntes „Low-External-Input-System“ bei dem der Import von Betriebsmitteln von außen in das System hinein zu minimieren ist (Conway, 1987). Im Umkehrschluss leitet sich daraus für die ökologische Tierhaltung die Forderung u. a. einer Maximierung der innerbetrieblichen Futterproduktion ab. Da in diesem System auch der Import von betriebsfremden Produktionsfaktoren in den ökologischen Pflanzenbau (v. a. Dünger) sehr restriktiv geregelt ist, erlangen die betriebsindividuellen Standortfaktoren bei der pflanzlichen Erzeugung eine sehr viel höhere Bedeutung als im konventionellen Landbau (Delwiche, 1983). Vom positiv-additiven Effekt der Förderung der Biodiversität ganz abgesehen, leuchtet es unmittelbar ein, dass dabei eine höhere Futterpflanzenvielfalt, auf die zurückgegriffen werden kann, sowohl aus standort- als auch fruchtfolgebasierten Gründen positiv zu bewerten ist. Die ökosystemare Begründung liegt in der Tatsache, dass ein System umso stabiler und anpassungsfähiger ist, je höher die Anzahl seiner verfügbaren Einzelkomponenten ist (Dürr, 1993). Daher ist die Identifikation und Bewertung neuer bzw. alternativer Futterpflanzen bzw. Anbauformen von grundsätzlicher Bedeutung, wie z.B. im Fall von Stangen- bzw. Feuerbohnen und deren Anbau im Gemenge mit Mais.

Der Gemengeanbau von Mais mit Stangenbohnen wird in dem Ursprungsgebiet des Mais traditionell betrieben (Schmidt, 2013). Über einen langen Zeitraum haben sich entsprechende Landsorten sowohl für den Mais als auch für die Stangenbohnen herausselektiert, so dass dieser Gemengeanbau sehr gut an die dortigen Bedingungen angepasst ist. Genutzt werden der Mais und die Bohnen als Körner für die menschliche Ernährung. Auch in Europa, insbesondere in Österreich hat sich ein entsprechendes Anbausystem entwickelt. Hier ist bereits seit dem 19. Jahrhundert in dem süd-östlichen Teil der Steiermark die Käferbohne (Phaseolus coccineus L.) heimisch und wird dort als Gemüsekultur ebenfalls zum Zweck der menschlichen Ernährung in Reinsaat mit Gerüststangen, in den letzten Jahrzehnten jedoch verstärkt im Gemengeanbau mit Mais kultiviert und vermarktet (Sommer und Höbaus, 2009). Nach Angaben von Schmidt (2013) werden in Österreich ca. 600 bis 1.000 ha Käferbohnen im Gemengeanbau mit Mais angebaut. Für diesen Zweck werden die Bohnen bei einer Restfeuchte von ca. 40% zusammen mit dem Mais nach Frosteinwirkung gedroschen und anschließend sofort getrennt, damit der Mais keine Druckstellen an den Bohnen verursacht. Die Trennung erfolgt hierbei durch Flachsiebe oder Zentrifugieren. Eine Trocknung der Käferbohnen schließt sich an, um eine Verpilzung zu vermeiden. Beim Mischanbau werden ca. 0,8 – 2,0 t/ha Bohnen geerntet (Sommer und Höbaus, 2009). Die Saat von Mais und Käferbohnen erfolgt in der Regel gleichzeitig in einem Arbeitsgang mit Einzelkorngeräten. Wissenschaftliche Arbeiten zur Anbauoptimierung des Gemengeanbaus von Mais mit Käferbohnen in Österreich liegen nicht vor.

Ein erster Ansatz, den Gemengeanbau von Mais mit Bohnen in Deutschland zu betreiben und als Silage in der Fütterung einzusetzen, geht auf Praxisversuche der Fa. RAGT zurück, die im Jahr 2008 durchgeführt wurden (Georg, 2009). Als Optimierungsbedarf für den Anbau wurden die Sätechnik, der Saatzeitpunkt, die Standfestigkeit des Mais sowie die Unkrautunterdrückung bzw. –bekämpfung identifiziert.

Weitere Arbeiten zum Anbau und zur Nutzung von Mais-Bohnen-Gemengen wurden in Europa von Dawo (2011) durchgeführt. In Deutschland liegen ebenfalls weitere Ergebnisse aus dem konventionellen Anbau vor, die eine vergleichbare Ertragsleistung der Gemengevarianten zu den Mais-Reinsaaten zeigen (Pekrun et al., 2012). Diese Untersuchungen wurden zwischenzeitlich vor dem Hintergrund intensiviert, dass der Gemengeanbau von Mais mit Stangenbohnen eine Alternative für die Erzeugung von Biogassubstraten darstellen könnte. So werden für diesen Bereich speziell

auf den Anbau von Energie-Maissorten mit Stangenbohnen ausgerichtete Untersuchungen durchgeführt (Pekrun et al., 2013a, b), die in diesem Jahr auch mehrortig in Deutschland durchgeführt wurden. Zum anderen wurde ein Züchtungsprojekt gestartet, an dem die Universität Göttingen (Prof. Becker) und die KWS beteiligt sind, indem speziell Maissorten für den Gemengeanbau mit Stangenbohnen selektiert und gezüchtet werden sollen (Hoppe et al., 2013).

Im Rahmen des EU-Projektes „Legume Futures“, gefördert im Rahmen des FP 7, wurde der Anbau von Mais-Stangen- bzw. Feuerbohnen-Gemengen in den Jahren 2009 – 2011 in einer ersten Versuchsserie am Standort Trenthorst des Thünen-Institut für Ökologischen Landbau unter den Anbaubedingungen des ökologischen Landbaus etabliert. Hierbei wurden unterschiedliche Stangen- und Feuerbohnensorten im Gemenge mit Mais im Vergleich zu einem Ackerbohnen-Maisgemenge sowie entsprechenden Kontrollvarianten mit Mais in Reinsaat bei zwei unterschiedlichen Saatzeiten der Bohnen geprüft. Eine zeitlich verzögerte Aussaat der Bohnen zum 3-4-Blattstadium des Mais ermöglichte eine gute Unkrautregulierung im Mais und sicherte gleichzeitig eine Entwicklung der Bohnen, die an das Wachstum des Mais gut angepasst war. Im Gemengeanbau wurde die Saatstärke des Mais mit dem Ziel reduziert, die intraspezifische Kulturartenkonkurrenz zu reduzieren, so dass sich beide Kulturarten gut entwickeln konnten. Dieses Anbausystem führte zu Erträgen der Gemengevarianten, die auf vergleichbarem Niveau der Mais-Reinsaaten lagen, wobei der Proteingehalt in den Mais-Bohnen-Gemengen (MBG) von 7% auf bis zu 10% Rohprotein, d.h. bis zu 40% gesteigert werden konnte (Fischer and Böhm, 2012, 2013a, b; Fischer et al., 2020). Bisher durchgeführte Silierversuche zeigten im ersten Jahr zum Teil gute Ergebnisse. Allerdings war die Silierfähigkeit des proteinreicheren Materials bei einigen Varianten eingeschränkt, so dass im zweiten Versuchsjahr zusätzliche Silieransätze mit einem im ökologischen Landbau zugelassenen Siliermittel durchgeführt wurden.

Auf die Nutzung von Silagen aus einem Gemenge von Mais mit einer anderen proteinreichen Futterpflanze (z. B. Bohnen, Sonnenblumen) in der Wiederkäuerfütterung wird in der Literatur wiederholt verwiesen (u. a. Anil et al., 2000; Maasdorp and Titterton, 1997), jedoch liegen kaum Informationen zum praktischen Einsatz vor. Anil et al. (2000) verglichen reine Maissilage mit Mais-Kohl-, Mais-Stangenbohnen- und Mais-Sonnenblumen-Silagen und fanden die erwarteten erhöhten Rohproteingehalte in den Mischsilagen und einen leicht verminderten Gehalt an umsetzbarer Energie. Hinsichtlich der an Hammeln getesteten Trockensubstanzaufnahme unterschieden sich die Silagen nicht signifikant, jedoch wiesen reine Mais und die Mais-Sonnenblumen-Mischung die höchsten Werte auf (Anil et al., 2000). Contreras-Govea et al. (2009) ermittelten in vitro den Futterwert von Mais-Bohnen-Silagen basierend auf drei Kletterbohnenarten und fanden eine Zunahme des Rohproteingehaltes sowie des Rohfasergehaltes, die sie für die Reduktion der in-vitro-Verdaulichkeit verantwortlich machten. Hinweise auf Auswirkungen antinutritiver Inhaltsstoffe von Mais-Bohnen-Silagen (MBS) in der Wiederkäuerfütterung wurden in der verfügbaren Literatur nicht gefunden. Ergebnisse zur positiven Wirkung kondensierter Tannine aus Bohnen hinsichtlich der Herabsetzung der Proteinverdaulichkeit im Pansen und die dadurch erhöhte Verfügbarkeit von Aminosäuren im Dünndarm (Review: Frutos et al., 2004) weisen auf gute Einsatzmöglichkeiten von MBS in der Wiederkäuerfütterung hin.

Zur Beurteilung des Futterwerts ist neben der Kenntnis des analytisch zu bestimmenden Nährstoffgehalts der entsprechenden Silagen auch die Ermittlung der Verdaulichkeit der Nährstoffe von großer Bedeutung. Die aus Untersuchungen an Tieren hervorgehenden Ergebnisse zur Nährstoffverdaulichkeit gelten in der Wiederkäuerernährung als Standard für die zur Kalkulation des Energiegehalts von Einzelfuttermitteln oder gesamten Rationen. Die hierfür allgemein anerkannte Methodik ist die Prüfung der Futtermittel in Fütterungsversuchen mit Hammeln (GfE, 1991). Auf

Grundlage der in diesen Versuchen ermittelten Ergebnisse wird der energetische Futterwert der untersuchten Futtermittel bestimmt (GfE, 2001).

Die Verwendung tiergerechter Fütterungsstrategien bei maximaler Nutzung betriebseigener Nährstoffressourcen und Schonung fossiler Energien sind Zielsetzungen der ökologischen Landwirtschaft und subsumieren sich in der Entwicklung einer kombinierten Fütterung für Schweine analog zur TMR im Rinderbereich (Schubbert et al., 2011).

Im Gegensatz zu Wiederkäuern, für die bereits Berichte zur Verfütterung von Gemengen von Mais mit einer anderen proteinreichen Futterpflanze (z. B. Bohnen, Sonnenblumen) vorlagen, waren zu Projektbeginn keinerlei Arbeiten zur Verfütterung an Schweine bekannt. Auch im Verlauf des Projekts sind keine Arbeiten anderer Autoren dazu bekannt geworden. Bei der Verfütterung der kombinierten energiereichen Maissilage mit den proteinreichen Bohnen an Monogastrier muss beachtet werden, dass Stangen- bzw. Feuerbohnen sekundäre Inhaltsstoffe wie z. B. Tannine (kondensierte und hydrolysierbare Tannine), Lektine und Galactoside (vor allem Stachyose, Raffinose) in unterschiedlicher Konzentration enthalten. Werden Lektine in zu hoher Konzentration aufgenommen, können sie unter anderem morphologische Schädigungen der Dünndarmschleimhaut beim Schwein verursachen (King et al., 1983). Bezüglich der Tannin- und Lectingehalte sind Unterschiede zwischen den Arten (Grant et al., 1983) als auch Sorten (Shimelis & Rakshit 2005) bekannt. Bei Letzteren sollen die Gehalte, vergleichbar zu Ackerbohnen oder Erbsen, an die Blüten- bzw. Schalenfarbe gekoppelt sein (Ranilla et al., 2007; Reddy et al., 1985; Ma & Bliss, 1978). Daher wurde für den Fütterungsversuch mit Mastschweinen die weißblühende Sorte Tarbais gewählt, in der ein geringerer Gehalt an antinutritiven Faktoren vermutet wurde (Van der Poel, 1990). Die vorliegenden Ergebnisse aus der Literatur sind jedoch nicht einheitlich. Ranilla et al. (2007) wiesen eine Abhängigkeit der Tanningehalte von der Samenfarbe nach, wohingegen in Untersuchungen von Díaz et al. (2010) die Farbe größere Differenzen in den Anthocyaningehalten manifestierte. Schofield et al. (2001) machen in ihrem Übersichtsartikel auf die Komplexität der Tannine aufmerksam und die aus der strukturellen Komplexität resultierenden Schwierigkeiten bei der Analyse. Insofern sind die Ergebnisse auch hinsichtlich der angewandten Analysemethoden zu bewerten.

Ob und in wie weit eine Silierung gehäckselter Stangen- bzw. Feuerbohnen zur Reduzierung der sekundären Inhaltsstoffe beitragen kann, ist nicht bekannt. Untersuchungen von Shimelis & Rakshit (2007) an Phaseolus-Bohnen zeigten jedoch, dass sekundäre Inhaltsstoffe je nach Verarbeitungsschritt (Kochen, Keimung, Autoklavieren), aber auch durch extrudieren (Kelkar et al., 2012) unterschiedlich stark abgebaut werden können. In Untersuchungen zur Fermentation von drei Phaseolus-Bohnensorten konnten Shimelis & Rakshit (2008) eine deutliche Reduktion der unerwünschten Galactoside Raffinose und Stachyose feststellen. Auch die Gehalte an Tanninen wurden signifikant reduziert, was andererseits zur Erhöhung der Proteinverdaulichkeit (in vitro) führte. Dies lässt die Hypothese zu, dass sich die Silierung in unterschiedlichem Maße auf die Gehalte an sekundären Pflanzeninhaltsstoffen auswirkt.

Daher wird zu klären sein, wie hoch der Anteil an Stangen- bzw. Feuerbohnen im Gemenge sein darf. Diesbezüglich liegen bislang weder für Wiederkäuer noch für Monogastrier Ergebnisse vor.

3 Material und Methoden

3.1 Pflanzenbauliche Bewertung

Die pflanzenbauliche Bewertung umfasste Versuche mit den Schwerpunkten Prüfung ausgewählter Phaseolus-Bohnensorten, Saatdichte der Bohnen, Aussaatzeitpunkt der Bohnen sowie die Integration von Untersaaten in das Anbausystem.

3.1.1 Standorte und Witterung

Die Feldversuche erfolgten an den beiden Standorten Trenthorst (Thünen-Institut für Ökologischen Landbau) und Braunschweig (Julius Kühn-Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde). Die Versuche am Standort Trenthorst wurde unter Anbaubedingungen des ökologischen Landbaus und die am Standort Braunschweig unter konventionell Bewirtschaftung durchgeführt.

3.1.1.1 Standort Trenthorst

Die Mais-Bohnen-Gemenge des Thünen-Institutes für Ökologischen Landbau wurden auf Flächen des Versuchsbetriebes (Schleswig-Holstein, 53° 46'N, 10 ° 30'E, 40 m ü. NN) angebaut. Der Versuchsbetrieb wird nach der EU-Verordnung für den ökologischen Landbau (Verordnung (EG) Nr. 889/2008, 2008) geführt. Die Braun- und Parabraunerden mit Pseudovergleyung haben eine durchschnittliche Ackerzahl von 53 und sind als schwer bis sehr schwer einzustufen.

Das Klima ist gemäßigt maritim mit einem mittleren jährlichen Niederschlag von 693 mm und einer mittleren Temperatur von 9,0°C im langjährigen Durchschnitt (Tab. 1). Während die Temperaturen in allen Versuchsjahren nur geringfügig vom langjährigen Mittel abgewichen sind, zeigte die Niederschlagsmenge und –verteilung eine starke Variation zwischen den Versuchsjahren. Im Jahr 2014 gab es während der Vegetationsperiode monatliche Defizite im Bereich von 20 mm, während das Jahresdefizit bei 61 mm lag. Im Jahr 2015 war der Mai etwas trockener als üblich, während es im Juni ein starkes Niederschlagsdefizit von 50 mm gab. Im Gegensatz dazu fielen im Juli 30 mm mehr Niederschlag, während die Niederschläge in der verbliebenen Vegetationsperiode etwas unter dem langjährigen Mittel lagen. Das Jahr 2016 war insgesamt etwas trockener als üblich mit einem Niederschlagsdefizit von 100 mm im Zeitraum Juli-September. Im Gegensatz zu den vorangegangenen Versuchsjahren, gab es 2017 sehr starke Niederschläge, wodurch das Jahresmittel um 168 mm überschritten wurde. Bereits der Mai war es mit einem Überschuss von 16 mm feuchter als üblich, während im Juni ein extremer Überschuss von 89 mm aufgetreten ist. Infolgedessen war die Befahrbarkeit der Versuchsflächen extrem beeinträchtigt, da auch die restliche Vegetationsperiode deutlich nasser war als üblich. Im August/September gab es zudem noch zwei Sturmereignisse mit orkanartigen Böen, die dazu geführt haben, dass die Mais-Bohnen-Bestände abgeknickt sind. Das Jahr 2018 zeichnete sich dagegen durch starke Trockenheit, mit einem Jahresdefizit von 225 mm, aus, wobei die größten Defizite von Mai bis November aufgetreten sind.

Tab. 1: Monatlicher Niederschlag [mm] und Temperatur [°C] im langjährigen Mittel (1986-2016) und deren Abweichungen in den Versuchsjahren 2014–2018 (Daten vom DWD, Wetterstation Lübeck).

	Niederschlag [mm]						Temperatur [°C]					
	Mittel	Abweichung					Mittel	Abweichung				
Jahr / Monat	1986-2016	2014	2015	2016	2017	2018	1986-2016	2014	2015	2016	2017	2018
Jan	59,2	-11,8	22,7	-8,8	-14,0	28,9	1,2	-0,1	1,9	-0,9	-0,7	2,0
Feb	48,2	-18,8	-33,3	43,0	-7,7	-16,1	1,6	3,2	0,4	1,6	0,5	-3,1
Mär	49,0	-26,6	9,6	-31,9	2,8	17,3	4,1	2,6	1,4	0,3	2,4	-3,0
Apr	39,8	49,8	-12,7	0,5	-0,1	-12,5	8,1	1,9	-0,2	-0,6	-1,1	2,5
Mai	50,3	9,2	-16,5	-18,5	16,5	-20,5	12,5	-0,1	-1,3	1,5	1,2	3,2
Jun	67,2	-20,1	-50,0	30,5	89,1	-42,2	15,3	0,3	-0,5	1,9	1,1	2,0
Jul	71,7	-16,7	30,0	-19,7	26,5	-38,4	17,9	2,3	-0,1	0,2	-1,1	2,3
Aug	77,6	-24,9	-13,2	-40,1	-26,3	-35,1	17,3	-1,0	1,3	-0,1	-0,3	1,9
Sep	55,7	-20,8	-5,7	-39,9	31,8	-33,8	13,7	1,8	-0,6	3,4	-0,1	1,3
Okt	52,9	-18,2	-13,7	14,1	44,3	-32,2	9,2	3,4	-0,8	-0,2	2,5	1,9
Nov	56,7	-37,9	64,2	-2,7	13,3	-44,3	5,0	1,9	2,8	-1,4	0,9	0,4
Dez	65,1	75,2	-21,2	-12,7	-8,3	3,2	2,2	1,0	5,5	2,0	1,7	2,8
Jahr	693,2	-61,4	-39,6	-86,0	168,1	-225,5	9,0	1,4	0,8	0,6	0,6	1,2

3.1.1.2 Standort Braunschweig

Am Versuchsstandort in Braunschweig-Völkenrode (Julius Kühn-Institut, Niedersachsen) handelt es sich beim Boden im Durchschnitt um Bänderparabraunerden mit einer Deckschichtmächtigkeit von 40–60 cm bestehend aus sandigem Sandlöss (8% Ton, 30% Schluff, 62% Sand). Die Verteilung von Schluff und Sand ist in der Deckschicht weitgehend homogen. Bodenchemische Kenndaten sowie Einordnung in Gehaltsklassen A – E nach Richtwerten der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Stand Februar 2018) sind in Tab. 2 aufgeführt (Niedersachsen 2018). Das langjährige Mittel der Temperatur liegt bei 9,1°C und der langjährige Jahresniederschlag bei 613 mm.

Tab. 2: Bodenchemische Kennwerte der Versuchsflächen sowie Einordnung in die Gehaltsklassen A – E nach Richtwerten der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Stand Februar 2018).

	Parameter	pH-Wert	P (bis 30 cm) [mg/100g]	K (bis 30 cm) [mg/100g]	Nmin (bis 60 cm) [kg/ha]
2015		5,9	25,4	32,0	20,3
	Gehaltsklasse	D	E	E	
2016		6,0	23,3	20,7	13,8
	Gehaltsklasse	D	E	D	
2017		5,8	14,8	18,0	19,5
	Gehaltsklasse	D	D	D	
2018		6,0	23,8	22,0	18,6
	Gehaltsklasse	D	E	D	

Die Feldversuche wurden auf vor der Aussaat gepflügten Schlägen mit folgenden Vorfrüchten etabliert: Phacelia (2015), Hafer (2016 und 2017) und Sommerweizen (2018).

Die Witterung war in den vier Versuchsjahren sehr unterschiedlich (Abb. 2) mit zum Teil deutlichen Abweichungen vom langjährigen Mittel (DWD 1962–2005), welches für die mittlere Jahrestemperatur 9,1°C und 617 mm Jahresniederschlag ausweist. In allen 4 Versuchsjahren war es mit 10,4°C (2015) 10,3°C (2016 und 2017) und 11,1°C (2018) immer wärmer. Im Jahr 2015 lag der Jahresniederschlag mit 610 mm auf vergleichbarem Niveau mit dem langjährigen Mittel. Die Jahre 2016 (505 mm) und 2018 (373 mm) waren dagegen teilweise deutlich trockner. Lediglich das Jahr 2017 war mit 825 mm und regelmäßig auftretenden Niederschlägen sehr feucht.

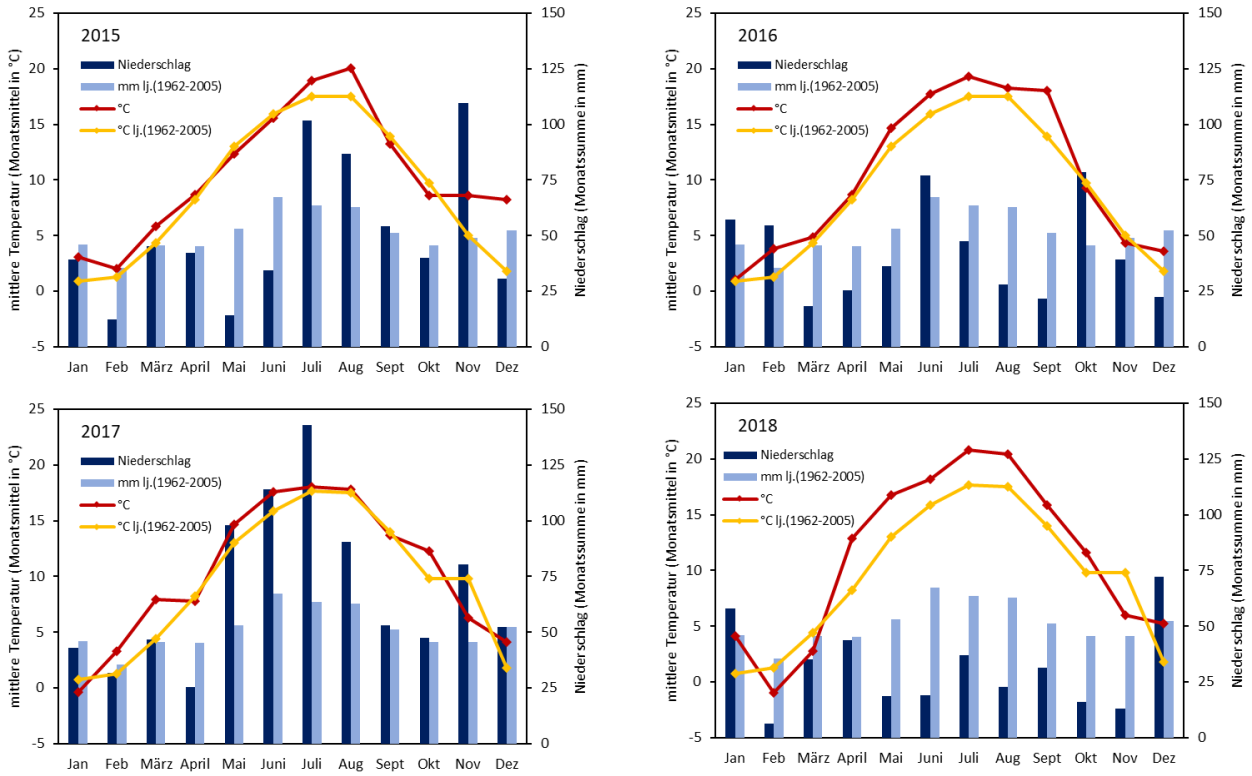


Abb. 2: Lufttemperatur (Monatsmittel in °C) und Niederschlag (Monatssumme in mm) in den Versuchsjahren 2015 bis 2018 der DWD-Wetterstation Braunschweig-Völkenrode (DWD 2018).

3.1.2 Versuchsaufbau und -durchführung

Die Parzellenversuche (AV, SV, UV) am Standort Trenthorst wurden als vollständig randomisierte Blockanlagen mit 4 Feldwiederholungen angelegt. Die Parzellen hatten eine Breite von 3 m und eine Länge von 6 m. Zur Entnahme von Pflanzenproben gab es im AV und SV zudem einen Handbeerntungsbereich von 2 m Länge. Aufgrund der schweren Böden und der kurzen Vegetationsperiode am Standort wurde eine frühe Silomaissorte (S210) eingesetzt. Der Reihenabstand vom Mais betrug 75 cm, während die Saattiefe bei ca. 6 cm lag. Im Jahr 2014 wurde die Sorte Fabregas genutzt, die sich bereits in früheren Versuchen bewährt hatte. Zum Jahr 2015 musste dann ein Sortenwechsel zu Saludo erfolgen, da Fabregas in Deutschland nicht weiter ökologisch vermehrt wurde. Der Mais wurde in der Kontrollvariante (AV, SV, UV) mit der praxisüblichen Saatdichte von 11 Körnern (Kö) m^{-2}, sowie einer reduzierten Saatdichte von 8 Kö m^{-2} (AV, SV) ausgebracht, wie sie auch in den Gemengevarianten zum Einsatz kam, um hier die interspezifische Konkurrenz zu minimieren. Die Bestände wurden zum Zweiblattstadium vom Mais (EC12) gestriegelt und zum Vierblattstadium (EC14) gehackt. Nach Abschluss der Pflegemaßnahmen wurde die Aussaat der

Bohnen durchgeführt. Dabei wurden die Bohnen in alternierenden Reihen mit einem Abstand von 15 cm zum Mais, in einer Saattiefe von 3–4 cm abgelegt. Die Maisaussaat erfolgte standortüblich Anfang bis Mitte Mai, wobei es 2014 aufgrund der mangelnden Befahrbarkeit des Standortes und 2017 infolge von Starkniederschlägen (Tab. 1) zu Verzögerungen kam. Die Bohnenaussaat erfolgte 3–4 Wochen nach der Maisaussaat, während die Untersaaten, mit Ausnahme von 2014, zeitnah zu den Bohnen ausgebracht wurden. Die Erntetermine variierten stark in Abhängigkeit der Witterung. 2016 konnte die Ernte durch den trockenen Spätsommer etwas früher als üblich durchgeführt werden, während im Jahr 2017 aufgrund der extremen Nässe und der Sturmschäden lediglich eine Handernte im Untersaatenversuch möglich war. Infolge der extremen Trockenheit im Jahr 2018 musste die Ernte dagegen über einen Monat früher als üblich durchgeführt werden. Die genauen Aussaat- und Erntetermine können Tab. 3 entnommen werden.

Tab. 3: Aussaat- und Erntetermine in den Versuchsjahren 2014-2018.

Jahr	2014	2015	2016	2017	2018
Mais-Aussaat (AV, SV, UV):	27. Mai	15. Mai	09. Mai	20. Jun	08. Mai
Bohnen-Aussaat (AV, SV, UV):	17. Jun	15. Jun	31. Mai	07. Jul	30. Mai
Untersaat-Aussaat (UV)	04. Jul	17. Jun	01. Jun	08. Jul	-
Ernte (AV, SV, UV):	14. Okt	26. Okt	05. Okt	- (UV: 26. Okt)	12. Sep

3.1.2.1 Sortenversuch Trenthorst

Im Sortenversuch (SV) wurde geprüft, welche Stangen- (*Phaseolus vulgaris*) bzw. Feuerbohnen (*P. coccineus*) sich hinsichtlich Ertrag, Abreife und Futterwert besonders für den Gemengeanbau mit Mais eignen. Hierzu wurden vier Stangenbohnen und zwei Feuerbohnensorten im Gemenge mit Mais geprüft (Abb. 3). Da die Zulassung der Stangenbohne Terli, welche im Jahr 2014 angebaut wurde, auslief, wurde diese in den folgenden Versuchsjahren durch die Stangenbohne Anellino verde ersetzt, welche sich im Anbau des FNR-Projektes (Paul, 2016) bewährt hat. Von beiden Arten wurden jeweils weißkörnige als auch buntkörnige Sorten angebaut, da es einen Zusammenhang zwischen der Samenfarbe und den Gehalten an antinutritiven Inhaltsstoffen geben soll.

Da sich die Parzellenversuche des Jahres 2014 aufgrund des Sortenwechsels beim Mais und des Wechsels von der Stangenbohne Terli zu Anellino verde stark von denen der Folgejahre unterscheiden, wurde das Jahr 2014 separat ausgewertet, während für die Jahre 2015, 2016 und 2018 eine gemeinsame Auswertung durchgeführt wurde.

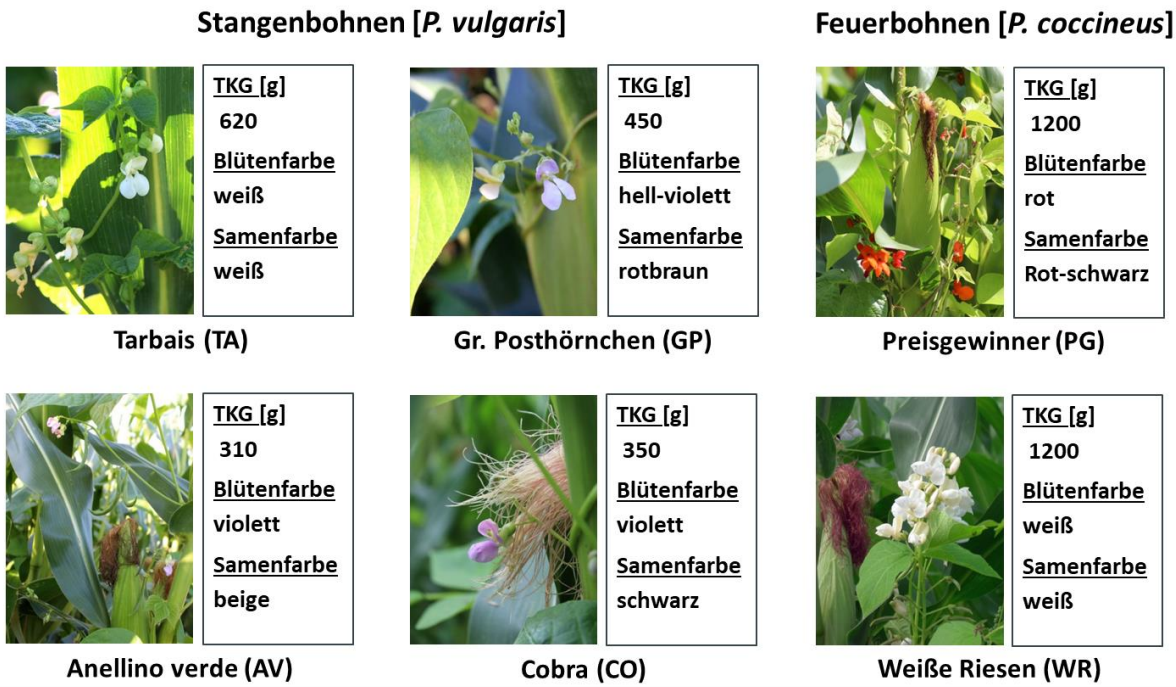


Abb. 3: Übersicht der im Sortenversuch (SV) geprüften Bohnenarten und –sorten in den Jahren 2015-2018 mit deren wesentlichen Merkmalen.

3.1.2.2 Aussaatstärkenversuch Trenthorst

Im Aussaatstärkenversuch (AV) wurde geprüft, wie die Bestandeszusammensetzung der Mais-Bohnen-Gemenge, im Hinblick auf den Ertrag und die Qualitätseigenschaften, durch variierte Aussaatstärken der Bohnen optimiert werden kann. Hierzu wurde jeweils eine Stangenbohne (cv. Tarbais) und eine Feuerbohne (cv. Preisgewinner) in drei unterschiedlichen Saatdichten von 6, 9 und 12 Körnern (Kö) m^{-2} geprüft. Zusätzlich wurden beide Bohnensorten in den drei Saatdichten an Bohnenzelten angebaut, um das Ertragsniveau der Bohnen in Reinsaat abschätzen zu können.

3.1.2.3 Untersaatenversuch Trenthorst

Im Untersaatenversuch (UV) wurde geprüft, ob der Unkrautdruck durch die Etablierung einer zusätzlichen Untersaat in Mais-Bohnen-Gemengen nachhaltig reduziert werden kann. Hierzu wurden zwei Untersaatmischungen geprüft, die zeitnah nach der Bohnenaussaat in den Reihenzwischenräumen ausgebracht wurden. In beiden Untersaatmischungen kam Welsches Weidelgras (*Lolium multiflorum*, *cv*. Gersimi, Saatdichte: 15 kg ha^{-1}) zum Einsatz, das in Untersaat 1 (US1) mit Erdklee (*Trifolium subterraneum, cv*. Seaton Park, Saatdichte: 30 kg ha^{-1}) und in Untersaat 2 (US2) mit Futterchicorée (*Cichorium intybus*, cv. Puna II, Saatdichte: 7,5 kg ha^{-1}) kombiniert wurde. Die Auswahl der Untersaaten erfolgte unter Berücksichtigung der Ergebnisse von Jung and Rauber (2013), die durch den Einsatz von Futterchicorée und Erdklee eine hohe Unkrautunterdrückung bis zur Ernte erzielten. Als Hauptfrüchte wurden Mais in Reinsaat (11 Körner m^{-2}) sowie zwei Mais-Bohnen-Gemenge, mit reduzierter Mais-Saatdichte von 8 Kö m^{-2} geprüft. Als Gemengepartner kamen die Stangenbohne (*P. vulgaris*) *cv*. Tarbais, sowie die Feuerbohne (*P. coccineus*) *cv*. Preisgewinner mit einer Saatdichte von 6 Kö m^{-2} zum Einsatz. In allen Varianten wurde vor der Aussaat der Bohnen und Untersaaten, einmalig eine mechanische Unkrautbekämpfung mit Striegel (EC12) und Hacke (EC14) durchgeführt. Um das Potential der Unkrautreduktion durch die Untersaaten zu

bewerten, wurden alle Hauptfruchtvarianten sowohl mit beiden Untersaatmischungen als auch ohne Untersaat geprüft.

Aufgrund der sehr späten Aussaat im Jahr 2017 sowie der verzögerten Bestandesentwicklung infolge der extremen Witterung und der Sturmschäden konnte lediglich eine Handbeerntung der Hauptkulturen durchgeführt werden. Da die Erträge als auch die TS-Gehalte sehr gering waren, wurden diese in der Auswertung nicht berücksichtigt.

3.1.2.4 Saatzeitenversuch Braunschweig

Die Stangenbohnen könnten beim Gemengeanbau von Mais und Bohne aufgrund der langsameren Jugendentwicklung des Mais diesen bei einer synchronen Aussaat im Wachstum unterdrücken. Somit war Ziel des Saatzeitenversuches (SZV) unter konventionellen Anbaubedingungen zu prüfen, ob eine gegenüber des Mais verzögerte Aussaat der Stangenbohne hinsichtlich einer optimalen Bestandsführung erforderlich ist.

Hierzu wurden in den Jahren 2015 bis 2018 in 4-facher Feldwiederholung die Maissorte Logo mit die Bohnensorten Tarbais (TA) und Grünes Posthörnchen (GP) in einer randomisierten Blockanlage angelegt. Die Parzellen hatten eine Breite von 3 m und eine Länge von 11 m. Zur Entnahme von Pflanzenproben gab es zudem einen Handbeerntungsbereich von 2 m Länge. Die Aussaat beider Gemengepartner erfolgte mit der Maisdrille Multicorn der Fa. Kleine. Die Saatzeitpunkte der Bohnen fanden einerseits gemeinsam mit dem üblichen Maissaattermin (Anfang Mai, früh) und andererseits zum 4- bis 5 Blattstadium des Mais (Ende Mai/Anfang Juni, spät) statt. Jeweils in einer zweiten Überfahrt wurden die Bohnen ca. 15 cm alternierend im Abstand zur der Maisreihe (Abstand: 0,75 m) abgelegt. Zusätzlich wurde ab 2016 zum frühen Saattermin mit der Bohnensorte Tarbais eine Aussaat beider Gemengepartner in einem Arbeitsgang durchgeführt, d. h. Mischung der Saat in der gleichen Saatreihe (Mischanbau). Dazu wurde das angestrebte Saatmengenverhältnis von Mais und Bohne gut durchmischt in die Drillaggregate gegeben, letztlich geschah die Verteilung des Saatgutes beider Pflanzengattungen in der Reihe dann zufällig. Als Kontrolle diente Mais in Reinsaat mit der praxisüblichen Saatdichte von 11 Körnern (Kö) m^{-2}, sowie einer reduzierten Saatdichte von 8 Kö m^{-2}. Eine Behandlung zur Unkrautregulierung erfolgte kurz nach der Aussaat. Zur Stickstoffversorgung wurden die Gemengeparzellen gegenüber den Mais-Reinsaaten nur moderat gedüngt, da Bohnen als Leguminose Luftstickstoff binden. Der Bestand wurde nach Bedarf bewässert, die Ernte erfolgte zur Silierreife des Gemenges. Alle exakten Angaben zur Versuchsdurchführung können aus der Tab. 4 entnommen werden. Im Jahr 2015 machte ein sehr schlechter Feldaufgang der Bohnen aufgrund von Pilzbefall eine Nachsaat erforderlich.

Tab. 4: Versuchsdurchführung mit Behandlungsmaßnahmen.

Jahr	2015*	2016	2017	2018
Silomais (S230)	Logo (Reinsaat: 8 u. 11 Kö m^{-2} / Gemenge : 8 Kö m^{-2} (5-6 cm tief))			
Aussaat:	05. Mai	09. Mai	08. Mai	03./04. Mai
Unkrautregulierung:	Herbizidgemisch: Stomp (2,8 l/ha) + Spectrum (1,4 l/ha) vor Aufgang			
Stangenbohnen	Tarbais u. Grünes Posthörnchen (6 Kö m^{-2}, ca. 15 cm neben Mais, 5-6cm tief)			
frühe Aussaat:	05./22. Mai*	09. Mai	08. Mai	03./04. Mai
späte Aussaat:	02. Jun	31. Mai	01. Jun	24. Mai
Misch:	-	09. Mai	08. Mai	03. Mai
Düngung:	Reinsaat: 150 kg/ha N, Gemenge 100 kg/ha N (Kalkammonsalpeter)			
Beregnung:	3x (Σ80mm)	6x (Σ180mm)	-	6x (Σ180mm)
Ernte:	13. Okt	21. Sep	04. Okt	05. Sep

*Bohnensaatgut musste ein zweites Mal gelegt werden, da schlechter Feldaufgang aufgrund von Pilzbefall

3.1.3 Bodenprobenahme und –untersuchungen

Im Frühjahr wurden zu Versuchsbeginn blockweise Bodenproben zur Bestimmung der Grundnährstoffe und des pH-Wertes (P, K, Mg, C_t, N_t, pH) im Oberboden (0–30 cm) und des N_{min}-Gehaltes (0–90 cm) entnommen.

Zur Anwendung kamen die Untersuchungsmethoden des VDLUFA (VDLUFA, 1991), wobei Kalium und Magnesium im DL-Auszug mittels Atomabsorptionsspektralphotometrie und Phosphor im CAL-Auszug mittels Photometrie bestimmt wurden. C_t und N_t wurden mittels der Verbrennungsmethode nach Dumas analysiert.

Aufgrund der mangelnden Befahrbarkeit infolge der extremen Nässe konnte die Beprobung im Jahr 2017 erst Mitte Juli durchgeführt werden. Im Herbst erfolgte in den Versuchen SV und AV eine parzellenweise Beprobung zur Bestimmung der N_{min}-Gehalte nach der Ernte. Die Probenahmen erfolgten mit einem Bohrstock in den Tiefen 0–30cm, 30–60cm und 60–90cm, wobei die Herbstbeprobung in 60–90cm Tiefe in einigen Fällen aufgrund des hohen Eindringwiderstandes bei Trockenheit nicht durchgeführt werden konnte. Daher werden die Ergebnisse für die Bodentiefen 0–30 cm und 30–60 cm dargestellt.

3.1.4 Pflanzenbauliche Parameter

3.1.4.1 Feldaufgang

Das Datum des Feldaufganges (AV, UV, SV, SZV) wurde erfasst, sobald über 75% der Pflanzen aufgelaufen waren. Zur Bestimmung der Feldaufgangsrate (AV, UV, SV) wurde pro Parzelle eine Pflanzenzählung auf einer Länge von drei Metern mit zweifacher Wiederholung durchgeführt. Aus dem Mittelwert wurde die Anzahl Pflanzen pro Quadratmeter berechnet und durch die Anzahl der ausgebrachten keimfähigen Körner geteilt.

3.1.4.2 Unkrautbonitur

Die Unkrautbonitur (AV - ohne Bohnen-Reinsaat, UV, SV) wurde parallel zur Maisblüte durchgeführt. Hierzu wurden je Parzelle zwei Flächen von 0,50 m x 0,75 m in den beiden mittleren Reihen bonitiert. Erfasst wurden die Anzahl der Unkrautarten sowie die Deckungsgrade der Unkräuter (AV, SV, UV) und der Untersaaten (UV).

3.1.4.3 Unkraut- und Untersaatbiomasse

Die Erfassung der Unkraut- (SV, UV) und Untersaatbiomasse (UV) erfolgte zur Ernte. Hierzu wurden die vorhandenen Unkräuter bzw. Untersaaten in der Parzellenmitte auf einer Fläche von 1 m x 0,75 m bodennah (ca. 1 cm über dem Boden) abgeschnitten. Anschließend wurde die Trockenmasse nach Trocknung bei 105°C für 24 h erfasst.

3.1.4.4 Bonitur der Bohnenblattmasse

Die Erfassung der Bohnenblattmasse (SV, SZV) wurde parallel zur Maisblüte durchgeführt. Die Bonitur erfolgte nach einem eigenen Boniturschema (Anhang 1) mit einer Skala von 1 (keine Bohnen) bis 9 (sehr hohe Blattmasse bis in die Maisspitzen, Reihenzwischenraum über 40cm Höhe vollständig mit Bohnen bedeckt).

3.1.4.5 Messung der Wuchshöhe von Mais und Bohne

Die Messung der Wuchshöhe (AV, UV, SV, SZV) von Mais und Bohne wurde parallel zur Maisblüte durchgeführt. Hierzu wurden je Parzelle drei repräsentative Pflanzenpaare vermessen.

3.1.4.6 Bestimmung der Ertragsanteile von Mais und Bohne am Gesamtertrag

Für die Bestimmung der Ertragsanteile (AV, SV, SZV) wurde je Parzelle eine Fläche von 1 m^2 Mais mit den dazugehörigen Bohnen auf Häckselhöhe (ca. 15 cm) geerntet. Anschließend erfolgte die Trennung der Proben in Mais und Bohnenpflanzen. Im Sortenversuch wurde ab 2015 zudem eine weitere Trennung der Bohnen in die Pflanzenorgane (Blatt inkl. Blattstiel, Stängel, Hülse, Korn) vorgenommen. Von allen Proben wurde die Gesamt-Frischmasse von Mais und Bohne erfasst und eine Bestimmung des Trockensubstanzgehaltes nach Trocknung bei 105°C für 48 h durchgeführt, um die Verhältnisse von Mais zu Bohne in der Frisch- und Trockenmasse zu berechnen. Anhand der prozentualen Anteile von Mais und Bohne und der Parzellenerträge wurden schließlich die Mais- und Bohnenerträge ermittelt.

3.1.4.7 Parzellenernte und Ertragserfassung

Die Parzellenernte in Trenthorst wurde zur Siloreife in den beiden mittleren Reihen mit einem Exaktfeldhäcksler (Champion C 1200, Fa. Kemper, Stadtlohn, Deutschland) durchgeführt und das Gewicht über eine Wägeeinheit mit Rotationsprobenehmer (Cibus TRM, Wintersteiger AG, Österreich) erfasst. In Braunschweig erfolgte die Ernte bis 2017 mit einem einreihigen Maishäcksler (Fa. Pöttinger, Grieskirchen, Deutschland), ab 2018 mit einem Exaktfeldhäcksler (Champion 1200, Fa. Kemper, Stadtlohn, Deutschland). Das geerntete Material wurde in einem Big Pack-Sack aufgefangen und das Gewicht mit einer Kranwaage aufgezeichnet. Unter Berücksichtigung des TS-Gehaltes (Trocknung bei 105°C für 48 h) wurde der Trockenmasseertrag ermittelt. Darüber hinaus wurden die Rohprotein- und Stärkeerträge (AV/SZV) unter Berücksichtigung der Nährstoffgehalte berechnet.

3.1.4.8 Bestimmung der N-Fixierleistung

Für die Bestimmung der N-Fixierleistung wurden zur Ernte Pflanzenproben aus den beiden mittleren Reihen auf Häckselhöhe (ca. 15 cm) entnommen und die Gemenge in Mais- und Bohnenpflanzen getrennt. Anschließend wurden die zerkleinerten Pflanzen bei 60°C für mindestens 48 h getrocknet. Die getrockneten Proben wurden mit einer Schwingmühle (Retsch®, MM400, Retsch

GmbH, Haan, Deutschland) vermahlen und gemäß den Vorgaben der UCDavis (Stable Isotope Facility) in Zinnkapseln eingewogen und verschlossen. Die ^{15}N-Isotopenanalyse wurde an der UCDavis mit einem Elementaranalysator (PDZ Europa ANCA), der an ein Massenspektrometer (PDZ Europa 20–20 mit Isotopenverhältnis, Sercon Ltd., Cheshire, UK) angeschlossen ist, durchgeführt. Vor der Verrechnung wurden die Datensätze auf ungültige Werte geprüft. Diese liegen vor, wenn der **δ**15N-Wert der Referenzpflanze zwischen dem **δ**15N-Wert der Bohne und dem B-Wert liegt, oder wenn der **δ**15N-Wert der Bohne kleiner ist als der B-Wert (Unkovich, 2008).

Die Berechnung der symbiotischen N_2-Fixierung der Bohnen basiert auf dem Ertrag der Bohnen [dt TM ha^{-1}], dem N-Gehalt [%] der Bohnen, den **δ**^{15}N-Werten der Bohnen, den **δ**^{15}N-Werten der Referenzpflanze (=Maiskontrolle) und dem B-Wert zur Korrektur der Isotopenfraktionierung.

Der aus der symbiotischen N_2-Fixierung stammende N-Anteil (NDFA = nitrogen derived from the atmosphere) wurde anhand der **δ**^{15}N-Werte der Bohnen sowie der Referenzpflanze und dem B-Wert (= **δ**^{15}N-Wert von *P. vulgaris*, die auf N-freiem Medium gewachsen sind und somit ausschließlich N_2 aus der Luft aufgenommen haben) berechnet. Da es nicht möglich war einen eigenen B-Wert zu ermitteln, wurde der B-Wert von -1,97 nach Mariotti et al. (1980) für die Berechnung des Ndfa verwendet:

$$Ndfa(\%) = \frac{(\delta^{15}N_{Maiskontrolle} - \delta^{15}N_{Bohne})}{(\delta^{15}N_{Maiskontrolle} - B)}$$

Die N-Menge der Bohnen-Sprossmasse wurde aus dem N-Gehalt [%] der Bohnen und dem Bohnen-Ertrag [kg TM ha^{-1}] ermittelt:

$$N - Menge_{Bohnen-Sprossmasse}\ (kg\ ha^{-1})\ = N - Gehalt_{Bohne}\ (\%)\ \times Bohnenertrag\ (kg\ TM\ ha^{-1})$$

Die symbiotisch fixierte Stickstoffmenge in der Bohnen-Sprossmasse wurde anhand des Ndfa-Wertes [%] und der N-Menge in der Bohnen-Sprossmasse [kg ha^{-1}] berechnet:

$$N_{fix}(kg\ ha^{-1}) = \frac{\left(Ndfa\ (\%) \times N - Menge_{Bohnen-Sprossmasse}\ (kg\ ha^{-1})\ \right)}{(100)}$$

3.1.5 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mit SAS 9.4 und der Prozedur Mixed durchgeführt. Die Auswertung vom AV und SV erfolgte mittels einfaktorieller ANOVA für die fixen Faktoren Jahr und Variante, sowie deren Wechselwirkung (Jahr x Variante). Um einen direkten Vergleich zwischen den beiden Bohnenarten in den drei unterschiedlichen Saatdichten im AV zu ermöglichen, wurden diese nochmals separat mit einer zweifaktoriellen ANOVA für die fixen Faktoren Jahr, Art, Saatdichte und deren Wechselwirkungen (Jahr x Art x Saatdichte, Jahr x Art, Jahr x Saatdichte, Art x Saatdichte) verrechnet. Die Auswertung des UV erfolgte ebenfalls mit einer zweifaktoriellen ANOVA für die fixen Faktoren Jahr, Hauptfrucht, Untersaat und deren Wechselwirkungen Jahr x Hauptfrucht x Untersaat, Jahr x Hauptfrucht, Jahr x Untersaat, Hauptfrucht x Untersaat). Die Feldwiederholungen gingen als zufällige Variable in die Modelle ein. Die Normalverteilung der Residuen wurde mit dem Shapiro-Wilk-Test- und QQ-Plots überprüft, während die Varianzhomogenität mittels Residuen-Diagrammen und dem von Brown-Forsythe modifizierten Leventest überprüft wurde. Paarweise Vergleiche wurden mit dem Tukey-Kramer-Test (α = 0,05) durchgeführt, während die Signifikanzbuchstaben mit dem %mult-Makro generiert wurden (Piepho, 2012).

Die statistische Auswertung der Bohnen-Blattmasse erfolgte über eine einfaktorielle, nicht-parametrische Varianzanalyse mit dem Kruskal-Wallis-Test (α = 0,05). Da es im Jahr 2014 bei einigen Sorten zu Schäden durch Hasenfraß kam, wurden Parzellen mit starken Fraßschäden von der Auswertung ausgeschlossen. Beim Auftreten signifikanter Unterschiede wurden anschließend Einzelvergleiche der Sorten mit dem Wilcoxon-Rangsummen-Test durchgeführt.

3.2 Probenaufbereitung

3.2.1 Trocknung der Ernteproben

Aufgrund der großen Probenanzahl und der recht hohen Probenmengen wurde ein Teil des Erntematerials zunächst tiefgefroren. Zur Bestimmung der Trockensubstanz wurden ca. 1000 g für 48 h bei 105°C getrocknet. Für die Bestimmung der Rohnährstoffe wurde das Probenmaterial bei 60°C für mindestens 48 h getrocknet. Probenmaterial zur Bestimmung der sekundären Pflanzeninhaltsstoffe wurde mittels Gefriertrocknung oder schonend bei 40°C für 16 h getrocknet.

3.2.2 Vermahlung

Das vorhandene Probenmaterial wurde bei Bedarf mit einer Schneidmühle (Retsch®, SM2000, Retsch GmbH, Haan, Deutschland) vorvermahlen. Zur Bestimmung der Rohnährstoffe wurde das Probenmaterial mit einer Cylotec-Mühle (Foss®, Cyclotec 1093, Foss Deutschland GmbH) durch ein 1 mm Sieb vermahlen, während Probenmaterial zur Bestimmung der sekundären Pflanzeninhaltsstoffe mit einer Schwingmühle (Retsch®, MM400, Retsch GmbH, Haan, Deutschland) vermahlen wurde. Für die Analyse der Faserbestandteile wurde eine Brabender Rotormühle (Brabender GmbH & Co KG) mit einem 1 mm Sieb eingesetzt.

3.3 Laboranalysen

3.3.1 Erweiterte Rohnährstoffanalyse

Die auf 1 mm vermahlenen Proben des Erntegutes bzw. der Silagen wurden der Weender-Futtermittelanalyse zur Bestimmung von Trockensubstanz, Rohprotein, Rohfett, Rohfaser und Rohasche nach den Methoden des VDLUFA (VDLUFA, 2012) unterzogen. Weiterhin wurden die Kohlenhydrate Stärke polarimetrisch und Zucker gewichtsanalytisch bestimmt (VDLUFA, 2012). Die Gerüstsubstanzen ADF und NDF sowie ELOS wurden ebenfalls nach VDLUFA (2012) bestimmt.

Beim Trocknungsprozess von Silagen gehen flüchtige organische Bestandteile (s. Kap. 3.4.3.5) verloren. Insofern muss deren Trockenmasse zur Brechnung aller trockenmassebezogenen Inhaltsstoffparameter zuvor korrigiert werden (Weißbach und Strubelt, 2008).

3.3.2 Sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe

3.3.2.1 Lektine

Aktive Lektine, die im tierischen Organismus antinutritive Effekte hervorrufen, wurden mit Hilfe eines Sandwich-ELISA (Enzyme Linked Immuno Sorbent Assay) in Anlehnung an Boniglia et al. (2003) mit dem Mikrotiterplatten-Reader Multiscan FC (Fa. Thermo Fisher Scientific, Langenselbold) bei 405 nm gemessen. Wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse des ELISA hatte die verwendete Standardsubstanz. Während Boniglia et al. (2003) das Lektin PHA-P aus der roten Gartenbohne der Firma (Fa.) Sigma nutzten, mussten wir feststellen, dass starke Schwankungen in

der Qualität dieser Standardsubstanz vorlagen und somit die Testergebnisse massiv beeinflusst wurden. Daher verwendeten wir das Phytohemagglutinin PHA-P der Fa. USB (Salem, USA) als Standard in allen ELISA und konnten damit über den gesamten Untersuchungszeitraum vergleichbare Ergebnisse erzielen.

3.3.2.2 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 (Fa. 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.

3.3.2.3 α-Galactoside

Für die Bestimmung der α-Galactoside (Raffinose, Stachyose, Verbascose) kam die Methode von Ekvall et al. (2007) zur Anwendung. Nach Extraktion mit 50%igem Ethanol konnten die Oligosaccharide mittels HPLC (1260 Infinity, Fa. Agilent Technologies) an einer Umkehrphasensäule (Sphere-Clone, Fa. Phenomenex) getrennt und durch Kopplung mit einem Refraktionsindexdetektor (1260 RID, Fa. Agilent Technologies) quantifiziert werden.

3.3.2.4 Fettsäuren in Futtermitteln, Milch und Fleisch

Zur Bestimmung der Fettsäuren wurde das Fett aus den unterschiedlichen Matrizes mittels Kaltextraktion unter Verwendung verschiedener Lösungsmittel herausgelöst. In Kraftfutter-, TMR- oder Silage-Proben erfolgte die Extraktion mittels n-Hexan. Milchproben wurde vorab schonend das Wasser durch Gefriertrocknung (Christ Alpha 1-4 LSC plus, Fa. Christ, Osterode) entzogen. Die Fettextraktion erfolgte anschließend mittels eines Lösungsmittelgemisches aus 66,7% Chloroform und 33,3% Methanol. Auch für Fleischproben kam dieses Lösungsmittelgemisch zur Anwendung nachdem sie in einer Moulinette homogenisiert wurden.

Die Veresterung der Fettsäuren aller Extrakte wurde mittels TMSH (Trimethysulfoniumhydroxid) vorgenommen. Die Trennung der Fettsäuremethylester erfolgte gaschromatographisch an einer CP-Sil 88-Säule (Fa. Agilent Technologies) und die Quantifizierung mittels Flammenionisationsdetektion (GC 7890 A, Fa. Agilent Technologies). Die Ergebnisse der einzelnen Fettsäuren entsprechen ihrem Anteil an den Gesamtfettsäuren.

3.3.3 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mit SAS 9.4 und der Prozedur Mixed durchgeführt. Die Auswertung der wertgebenden und antinutritiven Inhaltsstoffe des SV erfolgte mittels mehrfaktorieller ANOVA für die fixen Faktoren Jahr, Variante und Typ, sowie deren Wechselwirkung (Jahr x Variante x Typ). Im AV wurde die mehrfaktorielle ANOVA für die fixen Faktoren Variante, Art und deren Wechselwirkungen (Jahr x Art) verrechnet. Die Auswertung der wertgebenden und antinutritiven Inhaltsstoffe der Modellsilagen erfolgte ebenfalls mit einer mehrfaktoriellen ANOVA für die fixen Faktoren Typ, Variante und deren Wechselwirkungen. Die Feldwiederholungen gingen als zufällige

Variable in die Modelle ein. Die Normalverteilung der Residuen wurde mit dem Shapiro-Wilk-Test- und QQ-Plots überprüft, während die Varianzhomogenität mittels Residuen-Diagrammen und dem von Brown-Forsythe modifizierten Leventest überprüft wurde. Paarweise Vergleiche wurden mit dem Tukey-Kramer-Test (α=0,05) durchgeführt, während die Signifikanzbuchstaben mit dem %mult-Makro generiert wurden (Piepho, 2012).

Die Daten wurden mittels Ausreissertest (nach Munzert) geprüft sowie einer Plausibilitätsprüfung und einem Abgleich mit den NIRS-Ergebnissen unterzogen. Bei größeren Abweichungen zwischen NIRS- und Referenzwerten bzw. nichtgegebener Plausibiität wurde NIRS-Wert für die Verrechnung verwendet.

3.3.4 NIRS-Kalibrationen

NIRS-Messung

Die Aufnahme der Spektren erfolgte am FT-NIR-Polarisationsinterferometer N500 (Fa. Büchi, Essen) im Spektralbereich von 1000–2500 nm in diffuser Reflexion. Die Proben wurden nach Vermahlung auf 1,0 mm doppelt vermessen und beide Spektren jeder Probe anschließend in die Chemometrie-Software NIRCal (Fa. Büchi, Essen) überführt.

Kalibrationsentwicklung

Die Weiterverarbeitung der spektralen Daten erfolgte unter Zuhilfenahme chemometrischer Verfahren. Hierfür war es erforderlich, die Referenzdaten für die zu schätzenden Inhaltsstoffe einzubeziehen. Als Referenzdaten für die Kalibrationsentwicklung kamen die Ergebnisse der Rohnährstoffanalytik des Sortenversuchs, des Aussaatstärkenversuchs und der Modellsilagen zur Anwendung. Es wurden getrennte Kalibrationen für jeden Nährstoff, getrennt für Ausgangsmaterialien und Silagen, erstellt. Für die Kalibrationsentwicklung wurden jeweils ca. zwei Drittel der Spektren genutzt. Die Validierung erfolgte an ca. einem Drittel der Proben. Es kamen verschiedene mathematische Verfahren zum Einsatz, die im Einzelnen mit dem Ziel getestet wurden, das beste mathematische Modell für die Vorhersage des jeweiligen Nährstoffs zu finden, das den geringsten Fehler der Vorhersage aufweist.

Die erreichten Schätzgenauigkeiten wurden anhand statistischer Kennzahlen bewertet, dies waren vorrangig der Standardfehler der Kalibrierung (SEE: standard error of estimation), der Standardfehler der Validierung (SEP: standard error of prediction) und die Regressionskoeffizienten von Kalibration und Validation. Das Ziel waren möglichst kleine SEE- und SEP-Werte. Diese können allerdings nie kleiner sein als der Fehler der Referenzmethode. Statistisch gesehen ist der erwartete Fehler einer Applikation mit einer Wahrscheinlichkeit von 68 % in einem Intervall von +/- SEP und mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % in einem Intervall von +/- 2 SEP. Die Regressionskoeffizienten sollen so nahe wie möglich bei 1 liegen. Sind diese Forderungen erfüllt, kann von einer guten Kalibration gesprochen werden.

3.4 Silierung

Zur Prüfung der Ganzpflanzenkonservierung des Bohnen-Gemengeanbaus wurden Silagen erzeugt. Um den Gärverlauf zu verfolgen sowie die Silierfähigkeit und Silagequalität zu prüfen, erfolgte die Abwicklung im Labormaßstab. Zum Erreichen einer stabilen Silage wurde dem Silierprozess eine Zeit von mindestens 90 Tagen gegeben, bevor dann die Entnahme zur Qualitätsprüfung erfolgte

(DLG, 2013). Um den Gärverlauf zu verfolgen, wurden Zwischenentnahmen am 5. und 14. Tag durchgeführt. In die Prüfung der Silageerzeugung wurden zwei Feldversuche (SV, SZV) einbezogen. Ebenfalls wurden Modellsilagen (Kunstgemenge) angesetzt, um im Mais-Bohnen-Gemenge über die Steigerung von Bohnenanteilen mit 15, 30 und 45% bezogen auf TS zu testen, ob es Grenzen für eine Siliereignung gibt. Nur bei den Modellsilagen wurden ergänzend am 49. Tag nicht ganz optimal verdichtete Silagen entnommen, die einem vorhergehenden Luftstress (nach dem 28. u. 42. Tag, jeweils für 24 Stunden) ausgesetzt waren. Möglicherweise in der landwirtschaftlichen Praxis ungünstig auftretende Silierbedingungen sollten damit simuliert werden. Eine Übersicht aller Silieransätze ergibt sich aus Tab. 5.

Tab. 5: Angesetzte Silierversuche.

Jahr	2014	2015	2016	2017	2018
Sortenversuch Trenthorst	Prüfglieder vergl. Kapitel 3.1.2.1				~
Saatzeitenversuch Braunschweig		Prüfglieder vergl. Kapitel 3.1.2.4			
Modellsilage Trenthorst					
Bohnenanteile: 15%, 30%, 45%	Mais: Fabregas Bohne: TA u. PG	Mais: Saludo Bohne: CO u. WR	Mais: Saludo Bohne: TA u. AV		
Modellsilage Trenthorst und Braunschweig					
Bohnenanteile: 15%, 30%					Mais: Saludo (Th), Logo (Bs) Bohne: TA
Siliermitteltest					
Bohnenanteile: 30%					
Trenthorst		Mais: Saludo Bohne: TA			
Braunschweig		Mais: Logo Bohne: TA			

Um qualitativ gute Silagen zu erzielen, kann es von Vorteil sein dem Siliergut ein Siliermittel hinzuzufügen. Insofern wurde jeder Silierversuch ohne (Kontrolle) und mit Siliermittel (Zusatz) angesetzt, wobei die Substanz unmittelbar vor dem Einsilieren auf das Siliergut gesprüht wurde. Ein wesentlicher Qualitätsparameter nach Öffnung von Silagen ist, dass diese eine gute aerobe Stabilität aufweisen. Folglich wurde ein Siliermittel mit entsprechender Wirkrichtung und Zulassung für den ökologischen Landbau gewählt. Im Jahr 2014 kam das Siliermittel *Bonsilage Mais* (1 g t^{-1}) zum Einsatz, welches homo- und heterofermentative Milchsäurebakterien (MSB) enthält. In allen folgenden Untersuchungsjahren wurde *BioCool* (6 g t^{-1}) eingesetzt. Der Wechsel des Siliermittels wurde in 2015 durch eine einmalige Prüfung weiterer Siliermittel begleitet (Siliermitteltest, Tab. 6).

Tab. 6: Einsatz der Siliermittel beim Siliermitteltest (2015).

Siliermittel	Hersteller	Art	Wirkstoff	Wirkungsweise
Kofasil*, (2 l t^{-1})	Addcon	chemisch	Natriumbenzoat und Kaliumsorbat	effektiv gegen Hefen und Schimmelpilze
BioCool, (6 g t^{-1})	Agravis	biologisch	heterofermentative Milchsäurebakterien plus Enzyme	verbessert aerobe Haltbarkeit
Bonsilage Twin MF, (1 g t^{-1})	Schaumann	biologisch	2 homofermentative/ 1 heterofermentativer Milchsäurebakterienstamm	verbessert aerobe Haltbarkeit

*keine Zulassung für den ökologischen Landbau

3.4.1 Silierung im Labormaßstab

Die Erzeugung aller Silagen erfolgte im Labormaßstab. Als Laborsilos dienten 1,5 l Weckgläser für die 49 und 90 Tage-Entnahme und für Zwischenentnahmen 0,5 l-Gläser, in welche geerntetes Probenmaterial eingefüllt und mit einem Stopfer verdichtet wurde. Nach der Befüllung wurden die Gläser sofort verschlossen und anschließend in einer Klimakammer bei 20°C gelagert. Die Füllmenge wurde entsprechend des TS-Gehalts zur Ernte kalkuliert (DLG, 2013).

3.4.1.1 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mit SAS 9.4 und der Prozedur Mixed durchgeführt, insofern diese als sinnvoll erschien bzw. möglich war. Paarweise Vergleiche wurden mit dem Tukey-Kramer-Test (α=0,05) durchgeführt, während die Signifikanzbuchstaben mit dem %mult-Makro generiert wurden (Piepho, 2012).

3.4.2 Silierung in Tonnen

Für die Verdaulichkeitsuntersuchungen an Hammeln und die Fütterungsversuche an Mastschweinen wurden Silagen in blauen Plastiktonnen (Inhalt 120 Liter) erzeugt. Für die Verdaulichkeitsuntersuchungen an Hammeln wurden Modellsilagen mit 15, 30 und 45% Bohnenanteil bezogen auf TS aus in Reinsaat angebautem Mais und Stangen- bzw. Feuerbohnen gemischt. Für den Einsatz in der Schweinefütterung wurden Silagen mit einem Bohnenanteil von 15% bezogen auf die TS hergestellt, wobei ausschließlich die Stangenbohnensorte Tarbais zum Einsatz kam.

Die Bohnen und der Mais wurden gehäckselt, anschließend die Mais- und Bohnenanteile abgewogen und während des Mischvorganges zusätzlich mit Siliermittel versetzt. Hierzu kamen die gleichen Mittel zum Einsatz wie in Kap. 3.4 beschrieben. Die Mais-Bohnen-Gemenge wurden portionsweise in blaue Tonnen gefüllt und für eine gute Verdichtung entsprechend gestampft. Die Silierzeit betrug mindestens 90 Tage. Entstehende Gase während der Silierung konnten über ein Röhrchen entweichen.

3.4.3 Bestimmung der Gäreigenschaften und der Silagequalität

Die Güte der Konservierungseignung kann anhand chemischer, physikalischer und biologischer Eigenschaften des Ernteguts eingeordnet werden. Insofern wurde dieses im Vorfeld der Silageerzeugung auf ausgewählte Parameter untersucht, welche die Gäreigenschaften beschreiben. Diese sind: Trockenstubstanzgehalt (TS%), wasserlösliche Kohlenhydrate (WSC), Pufferkapazität (PK), MSB und Schadkeime (Hefen und Schimmel). Nach Öffnung der Gläser nach 49 und 90 Tagen wurde die Silagequalität durch folgende Parameter bestimmt: pH-Wert, Gärsäuren und Alkohole sowie Schadkeime Hefen und Schimmel. Weiterhin fand eine Prüfung der aeroben Stabilität (ASTA) statt mit anschließender Parameterhebung von pH-Wert, Hefen und Schimmel (Bonitur: 0 = keine bis 4 = sehr hohe Ausprägung) sowie Bestimmung von Trockenmasseverlusten.

3.4.3.1 Mikroorganismenbesatz

Im Rahmen des Mikroorganismenbesatzes wurden MSB sowie die Gärschädlinge Hefen und Schimmel nach Methoden von Pahlow bestimmt (DLG, 2013).

3.4.3.2 Pufferkapazität

Die Pufferkapazität (PK) ist der Bedarf an Milchsäure in 100 g^{-1} TM zur Absenkung des pH-Wertes auf 4,0. Deren Bestimmung erfolgte nach Weißbach (1967 und 1992).

3.4.3.3 Gärgasverluste

Methodisch bedingt konnten nur die Gärgasverluste als Silierverluste erfasst werden. Diese ergaben sich aus der Massendifferenz der Glasfüllgewichte vor der Einlagerung sowie dem Trockenmassegehalt und einem gelösten Anteil CO_2 in der Silage (Weißbach und Kuhla, 1995; Berg, 1971). Die Berechnung auf Trockenmassebasis erfolgte folgendermaßen:

$$GV\ [\%\ TM] = 100 * \frac{FM\ Differenz}{TM\ Einwaage} + 2{,}5$$

3.4.3.4 Aerobe Stabilität

Eine Silage wird nach ihrer Öffnung an ihrem Anschnitt verfahrensbedingt dem Luftsauerstoff ausgesetzt. Unter diesen aeroben Bedingungen resultiert aus mikrobiellen Stoffwechselvorgängen eine Erwärmung. Diese sollte jedoch möglichst lange hinausgezögert werden, da ansonsten damit hohe Stoffverluste verbunden sind. Optimierte Silagen bleiben über einen längeren Zeitraum aerob stabil und erwärmen sich somit weniger schnell. Die Prüfung der aeroben Stabilität (ASTA) der Laborsilagen erfolgte für 7 Tage über die Messung des Temperaturverlaufs (Honig, 1986).

3.4.3.5 Flüchtige organische Verbindungen

Während des Silierprozesses werden Gärsäuren und Alkohole gebildet, die sich bei Trocknung des Silagematerials verflüchtigen. Bestimmt wurden diese nach den jeweiligen Glasentnahmen im frischen Silagematerial, welches bis zu Analyse eingefroren war. Die Bestimmung erfolgte mit dem HPLC nach Siegfried et al. (1984). Es erfolgte anschließend eine Trockenmassekorrektur um die gemessenen flüchtigen Substanzen mit folgender Formel (Weißbach und Strubelt, 2008):

$$TSk\ [\%] = TS + 1{,}05NFS + 0{,}08MS + 0{,}77PD + 0{,}87BD + 1{,}0AA$$

wobei:

NFS = Summe der Gehalte an niederen Fettsäuren (C_2….C_6)

MS = Gehalt an Milchsäure

PD = Gehalt an 1,2-Propandiol

BD = Gehalt an 2,3-Butandiol

AA = Summe der Gehalte an Alkoholen (C_2….C_4)

3.4.3.6 Wasserlösliche Kohlenhydrate

Die Bestimmung der wasserlöslichen Kohlenhydrate (WSC) erfolgte im Kaltwasserextrakt mittels Anthron als Summe der monomeren Hexosen nach Whistler und Wolfram (1962).

3.5 Fütterungsversuche

3.5.1 Praxisanbau und -silierung, Standort Trenthorst

In den Jahren 2015 und 2016 wurde der Mais (*Zea mays* cv. Saludo) Anfang Mai entweder in Reinsaat (11 Körner m^{-2}) oder im Gemenge mit Stangenbohnen (*P. vulgaris* cv. Tarbais, 8 Körner Mais + 8 Körner Bohnen m^{-2}) ohne Düngergabe ausgesät. Die Beerntung erfolgte im Teigreifestadium des Maises. Der Anteil der Bohnen im Gemenge erreichte 73 bzw. 90 g kg^{-1} TM.

Die Silierung erfolgte über einen Mindestzeitraum von 90 Tagen und unter Zusatz von heterofermentativen Milchsäurebakterien (BioCool HC, Lallemand Animal Nutrition S.A., Blagnac Cedex, France) entsprechend der Herstellervorgaben.

3.5.2 Einsatz von Mais-Bohnen-Silage in der Milchviehfütterung

Leider konnten die geplanten Versuche zur Verfütterung der MBS an Milchkühe nicht in dem geplanten Umfang durchgeführt werden. Die Silierung der Ernte 2014 verlief nicht in der erwarteten Qualität und witterungsbedingt waren die Erträge in den Jahren 2017 und 2018 nicht ausreichend. So wurden zwei Versuche 2016 und 2017 durchgeführt, in denen entsprechend die Ernte der Jahre 2015 und 2016 als Futtermittel eingesetzt wurde.

Die Untersuchungen fanden im Versuchsbetrieb des TI-OL in Trenthorst statt und wurden jeweils in der Winterfütterungsperiode von Januar bis April durchgeführt.

3.5.2.1 Tiere und Management

Der Versuchsstall ist spiegelsymmetrisch aufgebaut und es wurden zwei Herden unterschiedlicher Genetik (Herde1: Deutsche Holstein schwarzbunt – behornt, Herde2: Deutsche Holstein schwarzbunt – behornte und genetisch hornlose Tiere) gehalten. Bedingt durch Abkalbungen, Abgänge und die Integration neuer Tiere schwankte die Größe der beiden Teilherden: 2016 Herde1 = 36–41 Tiere, Herde2 = 36–41 Tiere; 2017 Herde1 = 34–43 Tiere, Herde2 = 35–46 Tiere).

Aufgrund der Behornung werden die Tiere einer Teilherde im Liegebereich alle in einer Gruppe gehalten und durch respondergesteuerte Selektionstore erst am Zugang zum Fütterungsbereich in zwei Fütterungsgruppen getrennt (Gruppe 1: frisch laktierende Kühe, Kühe in einem höheren Laktationsstadium mit einer Tagesmilchleistung von mehr als 20 kg, tragende Färsen/Kühe in der Transitphase; Gruppe 2: Altmelker, Trockensteher, niederleistende Tiere). Nur Tiere der Fütterungsgruppe 1 wurden in den Versuchen genutzt: 2016: n = 70; 2017: n = 69. Ein Drittel der Tiere befand sich in der ersten Laktation (Tab. 7). Das Laktationsstadium lag im Mittel bei 125 ± 75 (2016) und 102 ± 58 Laktationstagen.

Tab. 7: Charakterisierung der Versuchstiere entsprechend der Laktationsnummer und der Behornung.

		Laktationsnummer					
Jahr	**Hornstatus**	**0[a]**	**1**	**2**	**3**	**4**	**>4**
2016	Behornt	0	22	10	12	4	9
	Hornlos	2	2	7	1	1	0
	Total	2	24	17	13	5	9
2017	Behornt	1	17	12	9	6	9
	Hornlos	0	8	7	0	0	0
	Total	1	25	19	9	6	9

[a] Färsen kurz vor der Abkalbung

Alle Tiere wurden zweimal täglich in einem 2x4 Tandemmelkstand (Automatische Stimulation, Nachmelk- und Abnahmeautomatik, GEA Farm Technologies, Bönen, Deutschland) gemolken.

Die mittlere 305-Tage-Leistung der Kühe vor Versuchsbeginn war in 2015 und 2016 annähernd gleich hoch (2016: 7.855 kg bei 4,28% Fett und 3,10% Eiweiß; 2017: 7.917 kg bei 4,16% Fett und 3,15% Eiweiß).

3.5.2.2 Fütterung

Die Frischfuttervorlage erfolgte zweimal täglich, wobei das Restfutter vor der Nachmittagsfütterung entfernt wurde. Fünfmal pro Tag wurde das Futter herangeschoben.

Während der Versuche wurde eine Kontrollration (KON) verfüttert, die 2016 aus Maissilage, KGS, Heu, Kraftfutter und einer Mineralfuttermischung (Panto R 81 Ö, HL Hamburger Leistungsfutter GmbH, Hamburg, Deutschland) bestand; 2017 hatte sie die gleichen Komponenten, allerdings wurde kein Heu, aber Grassilage angeboten. In der Versuchsration (EXP) wurde die Maissilage durch MBS ersetzt (Tab. 8). Bis auf die Mineralfuttermischung wurden alle Futtermittel auf dem Versuchsbetrieb am Standort erzeugt. In 2016 wurde ein Teil des Kraftfutters über eine respondergesteuerte Futterabrufstation angeboten. Dabei betrug diese Menge leistungsbezogen maximal 4,5 kg je Tier und Tag. Das Kraftfutter wurde in der institutseigenen Mahl- und Mischanlage erzeugt.

Die Rationen wurden auf der Basis der erwarteten täglichen Milchmenge, die je 25 bzw. 28 kg in den beiden Versuchsjahren 2016/2017 betrug, und der analysierten Nährstoffzusammensetzung der Inhaltsstoffe kalkuliert.

Tab. 8: Zusammensetzung der Kontroll (KON)- bzw. Versuchsration (EXP) sowie der Ration, die vor Versuchsbeginn (PRE) in den Versuchsjahren verabreicht wurde.

	2016			2017		
Anteile der Futtermittel (g kg^{-1}	**KON**	**EXP**	**PRE**	**KON**	**EXP**	**PRE**
Maissilage	366	-	203	297	-	236
Mais-Bohnen-Silage	-	367	-	-	297	-
Grassilage	-	-	-	157	157	349
Kleegrassilage	298	297	583	326	326	229
Heu	117	117	-	-	-	-
Weizen	31,4	31,6	30,9	59,9	59,9	27,6
Triticale	41,5	41,4	40,8	57,4	57,4	36,4
Gerste	16	15,7	15,7	13,0	13,0	13,5
Ackerbohne	81,3	80,9	79,5	76,3	76,3	70,2
Körnererbse	10,7	10,7	10,5	13,0	13,0	9,4
Erbsen-Gersten-Gemenge	32,0	31,9	31,4	-	-	28,1
Mineralfuttermittel[a]	6,0	6,2	5,8	0,5	0,5	0,5

[a]Panto R 81 Ö; HL Hamburger Leistungsfutter GmbH, Hamburg, Deutschland

3.5.2.3 Versuchsdesign, Probengewinnung sowie Analyse

Jedes Experiment umfasste einen Zeitraum von 12 Wochen, unterteilt in drei Abschnitte zu je 4 Wochen. Die ersten zwei Wochen jedes dieser drei Abschnitte galt als Adaptationszeitraum, in dem sich die Tiere an die neue Ration anpassen konnten bevor die eigentliche Datenerhebung erfolgte:

	Versuchsabschnitt											
	I				**II**				**III**			
Woche	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Adaptation												
Datenerhebung												
Ration	KON				EXP				KON			

Während der Datenerhebungswochen wurden täglich – unmittelbar nach der Futtervorlage – Proben der Mischration gewonnen. Teilproben von sieben Probentagen wurden gemischt und im institutseigenen Labor untersucht. Das Kraftfutter wurde immer dann untersucht, wenn eine neue Mischung eingesetzt wurde. Die Untersuchung der Inhaltsstoffe folgte den Standards der VDLUFA (2012). OS und NfE wurden berechnet. Der Energiegehalt (NEL) wurde entsprechend der GfE (1997) ermittelt.

Um die Futteraufnahme auf Gruppenebene zu ermitteln, wurden die Futterreste jeweils montags, mittwochs und freitags zurückgewogen.

In jeder Woche wurden tierindividuell Gesamtgemelksproben in vier aufeinanderfolgenden Melkzeiten gewonnen, mit 0,2 g Bronopol konserviert und im Labor des Landeskontrollverbandes Schleswig-Holstein in Kiel auf den Fett-, Protein-, Laktose- und Harnstoffgehalt mittels Infrarot-Spektroskopie (Milkoscan FT plus, FOSS, Hillerød, Denmark) untersucht.

Des Weiteren wurde je eine Milchprobe als Mischprobe aller Versuchstiere zur Bestimmung des Fettsäuremusters vorbereitet. Da das Fettsäuremuster der Milch durch die Fütterung beeinflusst wird und dieses für den Verbraucher von Interesse ist, sollten Veränderungen gerade im Hinblick auf die Gehalte an n-3 und n-6 Fettsäuren bzw. ihr Verhältnis untersucht werden. Die Analyse der Milchproben erfolgte im institutseigenen Labor.

Die Milchmenge wurde in jeder Melkzeit im Melkstand erfasst (Metatron P21, GEA Farm Technologies GmbH, Bönen, Deutschland). Basierend auf der Menge und der ermittelten Inhaltsstoffe wurde die Energie korrigierte Milchmenge errechnet:

EKM = Milchmenge in kg * (0,383*Fettgehalt in % + 0,242*Proteingehalt in % + 0,7832) /3,1138)

Nach jedem Melken wurde das Gewicht der Kühe mittels Durchlaufwaage erfasst (Taxatron 5000, GEA Group AG, Düsseldorf, Deutschland). Die Messgenauigkeit wurde mit 1% angegeben, der Gewichtsbereich erstreckte sich von 0 bis 1000 kg. Neben dem Gewicht wurde der BCS der Tiere nach Metzner et al. (1993) an jedem Ende eines Versuchsabschnitts bestimmt. Gleichzeitig wurden der Lahmheitsscore (Sprecher et al., 1997), Integumentschäden sowie die Sauberkeit der Tiere (Faye and Barnouin, 1985) bestimmt. Für die Sauberkeit der Bauch-Euterregion wurde ein Score < 2, für die der Hinterbeine und der Anogenitalregion ein Score < 3 als akzeptabel definiert. Die Scala reichte dabei von 0 (sehr sauber) bis 4 (sehr schmutzig).

Um den Eutergesundheitsstatus der Tiere zu bewerten, wurden verschiedene Methoden verwendet. Bei der Analyse der Hauptmilchbestandteile durch den LKV SH wurde im Gesamtgemelk auch der Zellgehalt fluoreszenzoptisch bestimmt (Fossomatic 5000 cell counter, FOSS, Hillerød, Denmark). Um auch die Viertelebene zu berücksichtigen, wurde am Ende jedes Versuchsabschnitts die elektrische Leitfähigkeit im Viertelvorgemelk mit Hilfe eines Handmessgerätes (Mastitron plus V, MILKU, Neukirchen-Vlyn, Deutschland) gemessen und anschließend die gleiche Probe für einen California-Mastitis-Test (CMT, ProfilacReagent, GEA Group AG, Düsseldorf, Deutschland, Reaktionsstufen von 0 bis 3) zur Abschätzung der zytologischen Veränderungen genutzt. Die Leitfähigkeitsmessung diente der Erkennung möglicher Permeabilitätsänderungen der Blut-Milch-/Milch-Blut-Schranke, die mechanisch, bakteriologisch, aber auch chemisch-physikalisch bedingt sein kann. Euterviertel mit einer Leitfähigkeitsvierteldifferenz >15% wurden als auffällig angesehen.

3.5.2.4 Statistische Auswertung

Alle statistischen Auswertungen erfolgten in R (R Core Team (2017), version 3.5.1 (2018-07-02) -- "Feather Spray”).

Aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzungen der Grundrationen wurden die beiden Versuchsjahre 2016 und 2017 getrennt ausgewertet.

Die Futteraufnahme wurde gruppenbasiert für die Tage der Futterrückwage kalkuliert. Für die Berechnung der Nährstoffaufnahme wurden die Analysenergebnisse der Futtermittelproben herangezogen. Der Effekt der MBS im Vergleich zur Maissilage auf die Futteraufnahme wurde anhand linearer Regressionsmodelle abgeschätzt, wobei die Ration, die Milchmenge, das Gewicht und die Zahl der Laktationstage (quadriert) als fixe Effekte eingingen.

Lineare gemischte Modelle wurden für die Untersuchung der Effekte der MBS auf die Milchmenge, die Milchzusammensetzung und das Gewicht der Tiere genutzt, die als zufälliger Effekt geschachtelt in den Versuchsabschnitt eingingen, um die Messwiederholung zu berücksichtigen. Die Ration, die Teilherde, das Gewicht, die Laktationstage (quadriert) und die Laktationsnummer wurden als fixe Effekte berücksichtigt.

Die Gewichtsveränderungen im Versuchsverlauf wurden ebenfalls mit einem linearen gemischten Modell untersucht, wobei die Ration, die Teilherde und die Laktationsnummer als fixe Effekte berücksichtigt wurden, das Tier als zufälliger Effekt. Gleiches galt für die Untersuchung der Veränderungen im BCS. Um die Effektstärke der Modelle zu ermitteln, wurde das Verfahren nach Nakagawa & Schielzeth (2013) angewandt und Cohen’s d and Hedges’ g berechnet.

Generalisierte lineare gemischte Modelle wurden für die Analyse der Lahmheitsscores, der Anzahl der Verletzungen und der Sauberkeit der Tiere genutzt, wobei die gleichen fixen und zufälligen Effekte berücksichtigt wurden, die auch bei der BCS-Veränderung einbezogen wurden. Da die geprüften Kriterien aber auch in Zusammenhang mit dem Hornstatus des Tieres stehen können, wurde dieser ebenfalls als fixer Effekt berücksichtigt.

Der viertelspezifischen Erhebung der Leitfähigkeit wurde durch die Einbeziehung des Euterviertels geschachtelt in der Kuh als zufälliger Effekt in die angewandten linearen gemischten Modelle Rechnung getragen.

Das Auftreten einer Mastitis (Euterviertel differenz > 15%, CMTscore ≥ 2 oder klinische Anzeichen in Form sichtbarer Milchveränderungen) wurde mittels generalisierter linearer gemischter Modelle untersucht. Die Ration, die Teilherde, die Zahl der Laktationstage (quadriert) sowie die Laktationsnummer gingen dabei als fixe Effekte in die Modelle ein, während das Euterviertel geschachtelt in der Kuh wieder als zufälliger Effekt berücksichtigt wurde.

Alle Modelle wurden einer schrittweisen Anpassung der fixen Effekte unterzogen, wobei ein p-Wert von < 0,05 angesetzt wurde. Zeigten sich signifikante Effekte im Modell so wurden post-hoc-Tests (Wilcoxon Rangsummen-Test) durchgeführt und auch die odds ratio berechnet.

3.5.3 Einsatz von Mais-Bohnen-Silage in der Mastschweinefütterung

Es wurde mit Hilfe von 2 Fütterungsregimen überprüft, ob die Wahl des Raufutters Futteraufnahme, Mastleistung, Schlachtkörperqualität, Fleischqualität und Tierwohl von Mastschweinen beeinflusst.

Der Versuch wurde auf dem nach EU-Öko-Verordnung (EU-Öko-VO 834/2007 & EU-Öko-VO 889/2008) zertifizierten Versuchsbetrieb des Thünen-Instituts für Ökologischen Landbau in Wulmenau/Trenthorst durchgeführt. Die Datenerhebungsphase reichte von Juni 2015 bis August 2019 und umfasst für die Auswertung 144 männliche und weibliche Mastschweine, die sich zahlenmäßig wie folgt auf die zwei Behandlungen verteilen:

Versuch (Mais-Bohnen-Silage): 72 Kontrolle (Klee-Gras-Silage): 72

Das Verhältnis von Börgen und Sauen in den beiden Versuchsgruppen war pro Durchgang gleich. Insgesamt wurden 8 Durchgänge durchgeführt.

3.5.3.1 Haltung

Für die Mast stand ein Hüttenstall in aufgelöster Bauweise mit 2 Buchten für jeweils max. 9 Endmasttiere zur Verfügung. Der Auslauf beinhaltet einen überdachten Längstrog, Tränke und selbstentwickelten Raufutterautomat. Sowohl der Auslauf (1,1 m^2/Tier) als auch die Hütten (1,5 m^2/Tier) wurden mit Stroh eingestreut. Der Außenbereich wurde zweimal pro Woche gereinigt und frisch eingestreut. Die Zielgröße der Lebendmasse zum Mastende betrug 122 kg.

Die Fütterung gliederte sich in eine für alle Tiere gleiche Vormast (Vormastfutter: 18,2% XP in der Trockenmasse (TM), 14,7 MJ ME kg^{-1} TM, 10,8 g Lysin kg^{-1} TM) und Endmast (Endmastfutter: 16,9% XP in der TM, 14,3 MJ ME kg^{-1} TM, 9,6 g Lysin kg^{-1} TM). Die Umstellung des Futters erfolgte, sobald das durchschnittliche Gewicht der Tiere einer Bucht 50 kg betrug.

Die Futtermengen wurden in der Vormast semi ad libitum bemessen, d.h. nach Einschätzung des bestandsbetreuenden Personals wurden die Futtermengen so angepasst, dass keine Restmengen entstanden. In der Endmast wurden entlang einer vorgegebenen Futterkurve die Futtermengen zugeteilt. Daraus ergaben sich für den Vormastabschnitt durchschnittliche Futtermengen von 1,61 kg Kraftfutter (KF) pro Tier und Tag. Diese teilten sich auf in 1,59 kg KF pro Tier und Tag im Mittel für die Tiere der Mais-Bohnen-Silage Gruppe und 1,63 kg für die Tiere der Klee-Gras-Silage-Gruppe. Die zugeteilten Futtermengen in der Endmast unterschieden sich nicht zwischen den Gruppen (Tab. 9).

Während der gesamten Mastphase wurde den Tieren der Versuchsgruppe durchgehend Mais-Bohnen-Silage (7,5 % XP, 9,5 MJ ME kg^{-1} TM) und der Kontrollgruppe Klee-Gras-Silage (15,4 % XP,

6,1 MJ ME kg^{-1} TM) als on-top-Futter in Raufutterautomaten im Auslauf angeboten. Die täglichen Silage-Mengen wurde von 0,5 kg Frischmasse (FM) pro Tier in der Vormast und zu Beginn der Endmast auf 1,0 kg FM pro Tier gesteigert.

Alle für den Versuch vorgesehenen Ferkel bekamen in der Aufzucht ausschließlich Stroh vorgelegt, um für beide Raufutter eine gleiche Ausgangslage zu schaffen.

Insgesamt kamen 16 individuelle Endstufeneber zur Erzeugung der Mastschweine zum Einsatz. Die Muttergrundlage besteht aus Kreuzungssauen aus der Wechselkreuzung mit Deutschem Edelschwein und Deutscher Landrasse.

Tab. 9: Kraftfutterkurve Endmast.

Mastwoche	Lebendmasse (kg)/ Tier	tägl. Futtermenge (kg FM)/ Tier
Endmastwoche 1	50	2,2
Endmastwoche 2	56	2,3
Endmastwoche 3	61	2,4
Endmastwoche 4	67	2,5
Endmastwoche 5	72	2,6
Endmastwoche 6	78	2,7
Endmastwoche 7	84	2,7
Endmastwoche 8	89	2,8
Endmastwoche 9	95	2,8
Endmastwoche 10	100	2,8
Endmastwoche 11	106	2,9
Endmastwoche 12	112	2,9
Endmastwoche 13	117	2,9

3.5.3.2 Datenerfassung

Die **Mastleistung** umfasste die Lebendmasseentwicklung und die Futterverwertung. Die Lebendmasseentwicklung wurde durch wöchentliche Wiegungen auf Einzeltierbasis vom Mastbeginn (im Mittel 28,8 kg, SD: 3,5 kg) bis Mastende (im Mittel 121 kg, SD: 5,2 kg) erfasst. Die Futterverwertung errechnete sich auf Buchtenbasis aus dem Lebendmassezuwachs und dem Futterangebot einer gewählten Zeiteinheit. Die Futterreste wurden täglich zurück gewogen und notiert.

Am Schlachttag wurde das Schlachtgewicht der warmen und später der abgekühlten Schlachtkörper ermittelt und festgehalten.

Die Erfassung der **Schlachtkörperqualität** erfolgte an der linken Schlachtkörperhälfte. Die Erfassung der Fleisch- und Fettmaße zur Charakterisierung der Verfettung und die Ermittlung des Muskelfleischanteils über die Bonner Formel folgten dem Prozedere der deutschen Leistungsprüfungsanstalten (ZDS, 2007) am Folgetag der Schlachtung.

Die Kriterien bzw. Proben zur Beschreibung der **Fleischqualität** wurden ebenfalls 24 h *post mortem* erfasst. Auch hier wurde im Wesentlichen der Vorgehensweise der Leistungsprüfungsanstalten gefolgt. Der Intramuskuläre Fettgehalt (IMF) wurde nass-chemisch ermittelt, das Fettsäuremuster (FS-Muster) gaschromatographisch.

Das **Tierwohl** wurde durch Integumentbonituren auf Hautläsionen (Kratzer) an den lebenden Tieren 14-tägig in der Endmast beschrieben. Bei den Tieren wurde jeweils nur die linke Körperseite, die in fünf Körperbereiche („Kopf bis Schulter“, „Schulter bis Flanke“, „Schinken“, „Beine“,

„Schwanz“) eingeteilt wurde, mit einem Abstand von 0,5 m auf frische Kratzer und Wunden hin untersucht (Abb. 4).

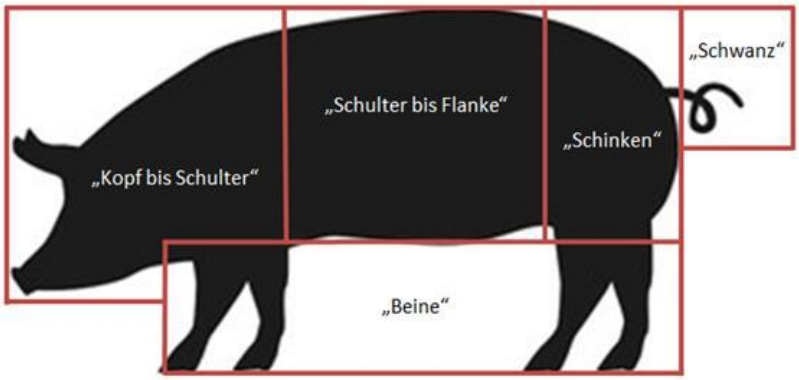


Abb. 4: Körperbereiche Integumentbonitur (eigene Grafik).

3.5.3.3 Statistische Auswertung

Die statistische Überprüfung der Fragestellungen erfolgte mithilfe des Statistikprogramms SAS 9.4.

Für die Auswertung der Mastleistung in Form der Lebendmasse (LM) und der täglichen Lebendmassezunahmen (TGZ) wurde die Prozedur GLIMMIX verwendet. Ins Modell für die Lebendmasse gingen das Grundfutter (KGS, MBS) und der Durchgang (1,2,3,4,5,6,7,8) als fixe Effekte und der Wurf als zufälliger Effekt ein; in das Modell für die täglichen Zunahmen zusätzlich als Kovariable die Gewichte zu Beginn (Startgewicht) der jeweiligen Mastphasen (Vor- und Endmast):

$Y = \mu + GF + Durchgang + Wurf + \varepsilon$ bzw. $Y = \mu + GF + Durchgang + Wurf + Startgewicht + \varepsilon$

Der Futteraufwand wurde ebenfalls mithilfe der Prozedur GLIMMIX untersucht. In das Modell ging das Grundfutter als fixer Effekt ein:

$Y = \mu + GF + \varepsilon$

Auch die Parameter der Schlachtkörper- und der Fleischqualität (inkl. IMF und FS-Muster) wurden mithilfe der Prozedur GLIMMIX untersucht. In das Modell gingen das Grundfutter und der Durchgang als fixe Effekte ein. Der Wurf ging als zufälliger Effekt ein und das Schlachtgewicht (SGwarm) als Kovariable bei sämtlichen Parametern der Schlachtkörperqualität mit Ausnahme der Ausschlachtung:

$Y = \mu + GF + Durchgang + Wurf + \varepsilon$ bzw. $Y = \mu + GF + Durchgang + Wurf + SGwarm + \varepsilon$

Die Häufigkeiten der Boniturnoten wurden mit der Prozedur GLIMMIX je nach Körperregion unter Zugrundelegung einer multi- oder binomialen Verteilung verglichen. Das Modell enthielt den fixen Effekt des Grundfutters sowie den zufälligen Effekt des Wurfes:

$Y = \mu + GF + Wurf + \varepsilon$

Zudem wurde eine Teilauswertung durchgeführt in der die Mastleistung der zwei Durchgänge mit dem höchsten bzw. niedrigsten Raufutterverbrauch miteinander verglichen wurde. Das Modell enthielt den fixen Effekt des Grundfutters sowie den zufälligen Effekt des Wurfes:

$Y = \mu + GF + Wurf + \varepsilon$

Ein p-Wert $< 0,05$ wurde als signifikanter Unterschied interpretiert.

3.5.4 Verdaulichkeitsuntersuchungen an Hammeln

3.5.4.1 Verdaulichkeitsprüfung im Hammelversuch

Die Versuche zur Ermittlung der Nährstoffverdaulichkeit wurden auf Grundlage der vom Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie herausgegebenen Leitlinien für die Bestimmung der Verdaulichkeit an Wiederkäuern durchgeführt (GfE, 1991). Für jede Untersuchung zur Bestimmung der Verdaulichkeit von Rohnährstoffen waren jeweils vier Schafe vorgesehen.

Die Versuchsperioden gliederten sich in eine vierzehntägige Vorbereitungsperiode und eine sich direkt daran anschließende Sammelperiode zur quantitativen Erfassung der Futteraufnahme und der Ausscheidungen der Hammel. Während der Vorbereitungsperiode werden die Tiere einzeln in mit nicht von ihnen als Futtermittel nutzbarem Material eingestreuten Stallabteilen gehalten. Die Tiere erhielten zweimal täglich die zu prüfende Ration in rationierter Menge und hatten ständig die Möglichkeit zur Wasseraufnahme. Die wurden dabei so gehalten, dass die Aufnahme der den einzelnen Tieren zugeteilten Futtermenge nachvollziehbar war. Während der Sammelperiode befanden sich die Tiere in Stoffwechselständen mit planebenen Standflächen und einem Harnablauf. Der Kot wurde durch eine über der Schulter befestigte, hinter dem Tier hängende Schürze in einen Sammelbehälter geleitet. Die erforderliche quantitative Erfassung der Futteraufnahme und die quantitative Sammlung des Kotes sind damit sicher gewährleistet. Alle geprüften Silagen wurden als alleiniges Futtermittel eingesetzt.

Mit Hilfe der Verdaulichkeitsversuche an Hammeln wurden über vier Anbaujahre Silagen mit insgesamt fünf unterschiedliche Bohnensorten geprüft, zu denen sowohl Stangenbohnen als auch Feuerbohnen gehörten. Die zum Einsatz gekommenen Silagen wurden als Modellsilagen mit definierten Anteilen Bohnen von 15, 30 und 45% bezogen auf die TM hergestellt. Weiterhin kamen drei Maissorten zum Einsatz. Der Anbau fand in den ersten drei Jahren vollständig am Standort Trenthorst, im letzten Jahr aus Vergleichsgründen jeweils zur Hälfte in Trenthorst und in Braunschweig statt (Tab. 10).

Während der Versuche wurden repräsentative Proben der eingesetzten Futtermittel und der Kotausscheidungen der Hammel gewonnen und zur Bestimmung der Trockenmasse sowie des Gehalts an Rohnährstoffen und Gerüstsubstanzen verwendet. Die Untersuchung der Proben erfolgte entsprechend der von Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten im Methodenbuch Band III (Die chemische Untersuchung von Futtermitteln) herausgegebenen Methoden (VDLUFA, 1976). Die Korrektur des Trockensubstanzgehalts der Silagen um die bei der Trocknung mit warmer Luft verlorengehenden flüchtigen Substanzen wurde nach den Vorgaben von Weißbach and Strubelt (2008) vorgenommen.

Tab. 10: Zusammenstellung der durchgeführten Untersuchungen zur Bestimmung der Nährstoffverdaulichkeit an Hammeln Nährstoffverdaulichkeit an Hammeln.

Lfd. Nr.	Versuch	Erntejahr	Anbauort	Bohnensorte	Maissorte	Bohnenanteil (%)
1	TA15	2014	Trenthorst	Tarbais*	Fabregas	15
2	TA30	2014	Trenthorst	Tarbais	Fabregas	30
3	TA45	2014	Trenthorst	Tarbais	Fabregas	45
4	PG15	2014	Trenthorst	Preisgewinner**	Fabregas	15
5	PG30	2014	Trenthorst	Preisgewinner	Fabregas	30
6	PG45	2014	Trenthorst	Preisgewinner	Fabregas	45
7	Mais	2014	Trenthorst		Fabregas	0
8	CO15	2015	Trenthorst	Cobra*	Saludo	15
9	CO30	2015	Trenthorst	Cobra	Saludo	30
10	CO45	2015	Trenthorst	Cobra	Saludo	45
11	WR15	2015	Trenthorst	Weiße Riesen**	Saludo	15
12	WR30	2015	Trenthorst	Weiße Riesen	Saludo	30
13	WR45	2015	Trenthorst	Weiße Riesen	Saludo	45
14	Mais	2015	Trenthorst		Saludo	0
15	TA15	2016	Trenthorst	Tarbais	Saludo	15
16	TA30	2016	Trenthorst	Tarbais	Saludo	30
17	TA45	2016	Trenthorst	Tarbais	Saludo	45
18	AV15	2016	Trenthorst	Anellino verde*	Saludo	15
19	AV30	2016	Trenthorst	Anellino verde	Saludo	30
20	AV45	2016	Trenthorst	Anellino verde	Saludo	45
21	Mais	2016	Trenthorst		Saludo	0
22	Mais JKI	2018	Braunschweig		Logo	0
23	Mais TI	2018	Trenthorst		Saludo	0
24	TA15 JKI	2018	Braunschweig	Tarbais	Logo	15
25	TA15 TI	2018	Trenthorst	Tarbais	Saludo	15
26	TA30 JKI	2018	Braunschweig	Tarbais	Logo	30
27	TA30 TI	2018	Trenthorst	Tarbais	Saludo	30

* Stangenbohne ** Feuerbohne

Die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe wurde wie folgt kalkuliert (GfE, 1991):

Rohnährstoff im Futter (g Tag^{-1}) = Futtermenge (kg Tag^{-1}) x Rohnährstoffgehalt im Futter (g kg^{-1})

Rohnährstoff im Kot (g Tag^{-1}) = Kotmenge (kg Tag^{-1}) Rohnährstoffgehalt im Kot (g kg^{-1})

Verdauter Rohnährstoff (g Tag^{-1}) = Rohnährstoff im Futter (kg Tag^{-1}) – Rohnährstoff im Kot (g kg^{-1})

Verdaulichkeitsquotient (%) = Verdauter Rohnährstoff (kg Tag^{-1}) x gefressener Rohnährstoff (g kg^{-1})$^{-1}$

Entsprechend der Vorgaben der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE, 2001) wurde mittels der nachfolgend aufgeführten Gleichungen die Konzentration an Bruttoenergie (GE), Umsetzbarer

Energie (ME) und Nettoenergie-Laktation (NEL) sowie die Umsetzbarkeit (q) der im Versuch eingesetzten Rationen kalkuliert:

Bruttoenergie (MJ) = 0,0239 g XP + 0,0398 g XL + 0,0201 g XF + 0,0175 g XX

Umsetzbare Energie (MJ) = 0,0312 g DXL + 0,0136 g DXF + 0,0147 g (DOM − DXL − DXF) + 0,00234 g XP

Umsetzbarkeit = (Umsetzbare Energie Bruttoenergie^{-1}) 100

Nettoenergie-Laktation (MJ) = 0,6 [1 + 0,004 (q-57)] ME (MJ)

3.5.4.2 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Versuchsergebnisse erfolgte mit dem Programm SAS for Windows 9.4 TS Level 1M5 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) durch Anwendung der Prozeduren MIXED und GLM. Die Prüfung der ermittelten Ergebnisse aus der Untersuchung von Silagen unterschiedlicher Bohnensorten, Bohnenarten sowie mit unterschiedlichen Bohnenanteilen gegenüber den Ergebnissen der Maissilagen wurde mit Hilfe des Dunnett-Tests vorgenommen. Bei Vorliegen von p-Werten $p \leq 0,05$ wird von signifikanten Differenzen zwischen den untersuchten Parametern ausgegangen.

3.6 Praxisbefragungen

Da die Versuche zur Verfütterung der MBS an Milchkühe nicht in dem geplanten Umfang umgesetzt werden konnten und bekannt war, dass auch Praxisbetriebe bereits mit dem Anbau von Mais-Stangenbohnen-Gemenge zur Fütterung der Milchkühe experimentierten, sollte versucht werden, auch deren Erfahrungen in die Bewertung einzubeziehen.

3.6.1 Akquise der Betriebe

Die Erzeugung von MBS wird bisher nur von wenigen Betrieben praktiziert. Um diese zu identifizieren wurden zuerst die führenden Saatgutunternehmen angesprochen. Zudem wurden die Ackerbauberater bei den Landwirtschaftskammern kontaktiert und gebeten, Kontaktdaten von ihnen bekannten Betrieben mit Mais-Stangenbohnengemengeanbau zu nennen. Im gleichen Zeitraum erschienen in verschiedenen regionalen landwirtschaftlichen Fachblättern erste Berichte zu Ergebnissen aus dem Projekt. Diese Veröffentlichungen wurden dann auch mit einem Aufruf verknüpft, dass sich Praxisbetrieb bitte aktiv melden sollten.

3.6.2 Interviewleitfaden

Der Leitfaden für das Telefoninterview wurde in Absprache mit dem Projektpartner aus dem Pflanzenbau konzipiert und umfasste Fragen zu den Bereichen:

1) Allgemeine Fragen zum Betrieb
2) Zugang zu Mais-(Stangen-) Bohnen-Gemengeanbau
3) Pflanzenbauliche Aspekte im Anbaujahr 2018
4) Bodenbearbeitung nach der Hauptkultur 2017
5) Ernte und Konservierung 2018
6) Fütterung
7) Verträglichkeit des Futtermittels und Leistung der Tiere
8) Einschätzung der Landwirte zu Mais-Stangenbohnen-Gemenge

Nach Fertigstellung des Interviewleitfadens wurde mit dem Betriebsleiter des institutseigenen Versuchsbetriebes und der Herdenmanagerin der Milchviehherde ein Testinterview durchgeführt und der Leitfaden noch einmal angepasst.

3.6.3 Statistische Auswertung

Da nur sehr wenige Betriebe interviewt werden konnten, war eine Auswertung der Befragungsergebnisse lediglich deskriptiv möglich.

4 Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

4.1 Optimierung des Mais-Bohnen-Gemengeanbaus

4.1.1 Sortenversuch am Standort Trenthorst

Die Bodenkennwerte des Sortenversuches (SV) im Frühjahr sind in Tab. 11 dargestellt. Die Phosphorgehalte lagen, mit Ausnahme des Jahres 2015, in der Gehaltsklasse C. Die Kaliumgehalte waren in den Jahren 2015 und 2016 der Gehaltsklasse B sowie in den Jahren 2014 und 2018 der Gehaltsklasse C zuzuordnen. Die Magnesiumgehalte lagen 2015 in der Gehaltsklasse C, während in den anderen Jahren die Gehaltsklasse D erreicht wurde. Der pH-Wert lag in allen Jahren in der Gehaltsklasse C und zeigte, ebenso wie der C_t- und N_t-Gehalt keine relevanten Unterschiede zwischen den Jahren. Im Jahr 2018 war der N_{min}-Gehalt im Oberboden (0–30 cm) mit 27 kg ha^{-1} sowie in 60–90 cm (2 kg ha^{-1}) deutlich geringer als in den beiden anderen Versuchsjahren (0–30 cm: 77–79 kg ha^{-1}, 60–90 cm: 13–16 kg ha^{-1}).

Tab. 11: Bodenkennwerte im Oberboden (0–30 cm Tiefe) zum Versuchsbeginn des Sortenversuches. Die Angabe der Gehaltsklassen für die Parameter Phosphor, Kalium, Magnesium und pH-Wert basiert auf den ‚Empfehlungen zur Grunddüngung' der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Stand Februar 2018).

Merkmal	Einheit	Tiefe	2014		2015		2016		2018	
			Boden	Klasse	Boden	Klasse	Boden	Klasse	Boden	Klasse
P	[mg P kg^{-1} Boden]	0–30cm	59,6	C	30,2	B	58,4	C	76,0	C
K	[mg K kg^{-1} Boden]	0–30cm	124,6	C	86,0	B	87,3	B	130,7	C
Mg	[mg Mg kg^{-1} Boden]	0–30cm	102,8	D	56,5	C	118,0	D	106,5	D
pH		0–30cm	6,7	C	6,4	C	6,8	C	6,5	C
C_t	[%]	0–30cm	1,3	.	1,2	.	1,4	.	1,4	.
N_t	[%]	0–30cm	0,1	.	0,1	.	0,1	.	0,1	.
N_{min}	[kg ha^{-1}]	0–30cm	.	.	76,8	.	79,2	.	27,1	.
		30–60cm	.	.	19,1	.	23,0	.	18,8	.
		60–90cm	.	.	16,5	.	13,0	.	2,4	.

<u>Herbst-N_{min}</u>

Bei den N_{min}-Proben zur Ernte wurden im Jahr 2014 keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten gefunden. Während der Oberboden (0–30 cm) einen N_{min}-Gehalt von 12,5 kg ha^{-1} aufwies, lagen die Gehalte im Unterboden (30–60 cm) bei 2,5 kg ha^{-1}.

In den Jahren 2015, 2016 und 2018 wurden in den Tiefen 0–30cm und 30–60cm signifikante Unterschiede zwischen den Jahren (Abb. 5, rechts: $p<0,0001$) gefunden, während signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Abb. 5, links: $p=0,0126$) nur im Unterboden (30–60 cm)

nachgewiesen werden konnten. Im Jahr 2015 wurden die signifikant höchsten N_{min}-Gehalte (0–30 cm: 29,9 kg ha^{-1}, 30–60 cm: 11,5 kg ha^{-1}) gefunden, während die Gehalte in den Jahren 2016 und 2018 deutlich geringer ausfielen.

Im Unterboden (30–60 cm, Abb. 5, links) wurde der höchste N_{min}-Gehalt in dem Gemenge mit der Stangenbohne Cobra gefunden, die sich signifikant von den Varianten M11, AV, TA und PG unterschied.

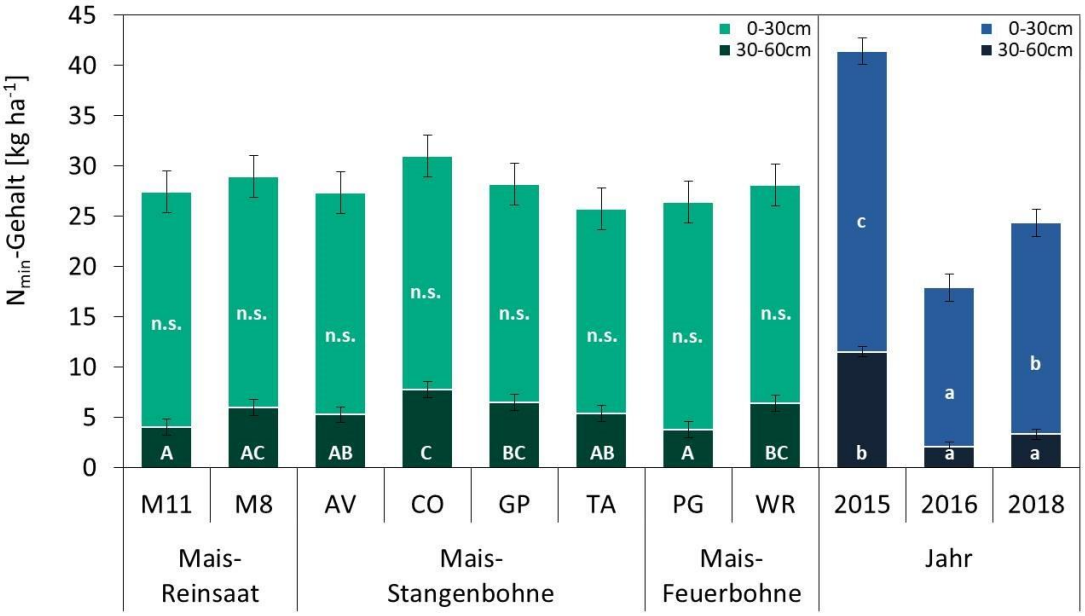


Abb. 5: N_{min}-Gehalte in den Tiefen 0–30 cm und 30–60 cm nach der Ernte des Sortenversuches in Abhängigkeit der Varianten (links, M11=Maiskontrolle, 11 Körner m^{-2}, M8=Mais, reduziert, 8 Körner m^{-2}, AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) und der Jahre (rechts). LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)), innerhalb derselben Tiefenstufe: LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren. n.s. = nicht signifikant.

4.1.1.1 Pflanzenbauliche Ergebnisse

Die Maiskontrolle erzielte einen Feldaufgang vom Mais von 97%, wohingegen die Gemenge mit der reduzierten Saatdichte einen etwas geringeren Feldaufgang von 87% zeigten.

Der Feldaufgang der Bohnen lag überwiegend bei 90–100%, wobei die Stangenbohne Grünes Posthörnchen in allen Jahren einen geringeren Feldaufgang von 80% aufwies. Ebenso zeigten die Stangenbohne Anellino verde mit 80% im Jahr 2014, sowie die Feuerbohnen Preisgewinner und Weiße Riesen mit 70% im Jahr 2018 einen geringeren Feldaufgang.

In den Jahren 2014 und 2015 lagen die TS-Gehalte zur Ernte in dem für die Silierung empfohlenen Bereich von 30–37% TS (Spiekers, 2011), wohingegen in den Jahren 2016 und 2018 etwas höhere TS-Gehalte von 38% bzw. 40% erreicht wurden.

Für den Gesamtertrag konnten weder für 2014 (150 dt TM ha^{-1}) noch für die Jahre 2015, 2016 und 2018 signifikante Unterschiede zwischen den Varianten nachgewiesen werden (Abb. 6). Im Gegensatz dazu wurden signifikante Unterschiede zwischen den Jahren ($p<0,0001$) 2015, 2016 und 2018 gefunden. Dabei wurde der signifikant geringste Ertrag von 135 dt TM ha^{-1} im Jahr 2018

erfasst, während der signifikant höchste Ertrag von 163 dt TM ha^{-1} im Jahr 2016 ermittelt wurde. In den Jahren 2014 und 2015 lagen die Gesamterträge bei 150 dt TM ha^{-1} (Abb. 6).

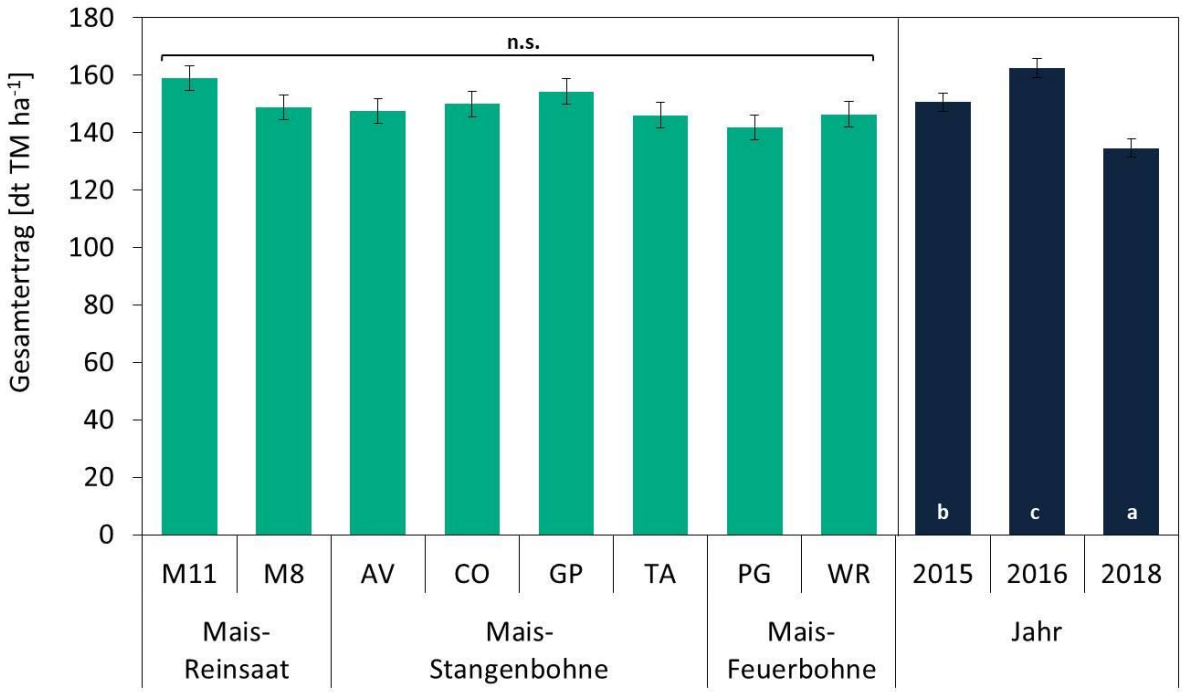


Abb. 6: Gesamtertrag der Mais-Reinsaaten (M11=Maiskontrolle, 11 Körner m^{-2}, M8=Mais, reduziert, 8 Körner m^{-2}) und der Mais-Bohnen-Gemenge (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) im Sortenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren, n.s. = nicht signifikant.

Der Maisertrag war in allen Mais-Bohnen-Gemengen signifikant geringer als in der Reinsaat M11, wobei die Gemenge mit Tarbais und Preisgewinner die niedrigsten Maiserträge aufwiesen (Abb. 7). Der Maisertrag in der Reinsaat mit reduzierter Saatstärke (M8) war zwar geringer, aber nicht signifikant niedriger als der Ertrag der Reinsaat M11. Die Maiserträge der Bohnengemenge mit Anellino verde, Cobra, Grünes Posthörnchen und Weiße Riesen lagen auf vergleichbarem Niveau zu dem Maisertrag der Reinsaat-Kontrolle M8 (Abb. 7). Signifikant unterschiedlich fielen die Maiserträge zwischen den Jahren aus, wobei sich die Unterschiede wie bei dem Gesamtertrag darstellten (Abb. 6).

Die Bohnenerträge (Abb. 8) zeigten im 1. Versuchsjahr 2014 mittlere Erträge in Höhe von 5,7 dt TM ha^{-1}, wobei die Bohnensorten Tarbais (12,3 dt TM ha^{-1}) und Grünes Posthörnchen (9,7 dt TM ha^{-1}) die höchsten Erträge aufwiesen. Die Verrechnung der drei weiteren Versuchsjahre zeigten ebenfalls den höchsten Bohnenertrag für die Stangenbohne Tarbais (12,2 dt TM ha^{-1}), gefolgt von Anellino verde (8,1 dt TM ha^{-1}). Signifikant geringere Erträge im Vergleich zu Tarbais wiesen die Stangenbohnen Cobra und Grünes Posthörnchen sowie die Feuerbohnen Preisgewinner und Weiße Riesen auf (Abb. 8). Von den drei Versuchsjahren wurde der durchschnittlich und signifikant geringste Bohnenertrag im Jahr 2018 mit 2,8 dt TM ha^{-1} erzielt und im Jahr 2015 der signifikant höchste (11,6 dt TM ha^{-1}). Im Jahr 2015 konnte mit der Sorte Tarbais ein Bohnenertrag in Höhe von 19,7 dt TM ha^{-1} erzielt werden, was einem prozentualen Anteil von 13,4% des Gesamtertrages entspricht.

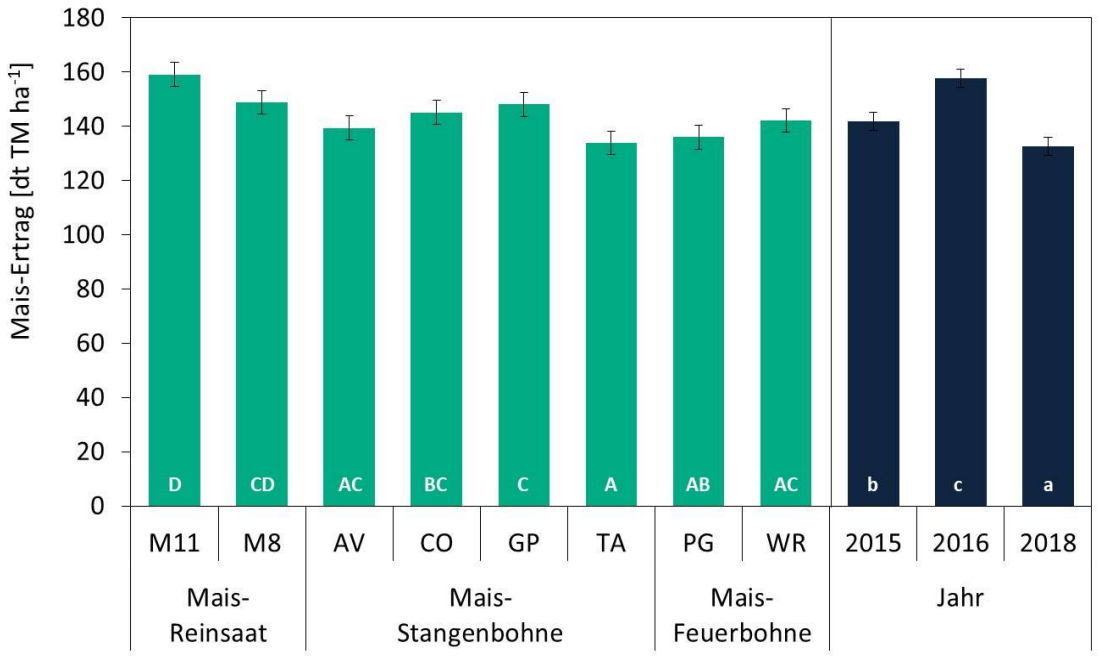


Abb. 7: Mais-Ertrag der Mais-Reinsaaten (M11=Maiskontrolle, 11 Körner m^{-2}, M8=Mais, reduziert, 8 Körner m^{-2}) und der Mais-Bohnen-Gemenge (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) im Sortenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten, LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren.

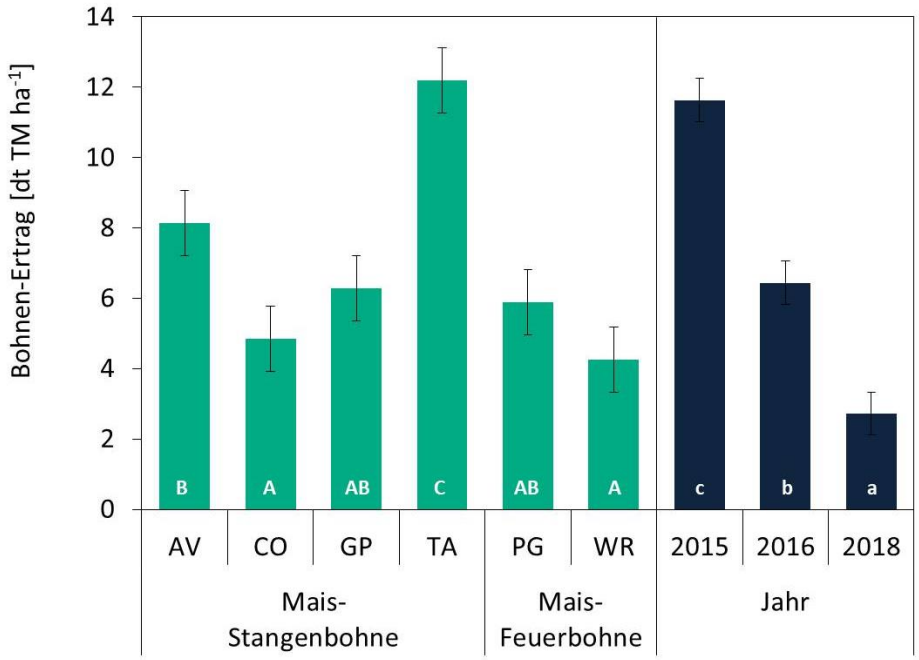


Abb. 8: Bohnen-Ertrag der Mais-Bohnen-Gemenge (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) im Sortenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten, LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren.

Der Bohnenertrag wurde weiter dahingehend analysiert, welche Anteile die jeweiligen Bohnen-Organe, d.h. Hülsen, Blattmasse und Stängel vom Ertrag ausmachen (Tab. 12). Für die Hülsen und

die Blattmasse lagen Wechselwirkungen zwischen Sorte und Jahr vor, nicht aber bei den Stängeln. Der Anteil an Hülsen war bei Cobra in allen 3 Jahren am höchsten, gefolgt von Tarbais. Die beiden Feuerbohnen wiesen durchgehend sehr niedrige Ertragsanteile an Hülsen auf. Cobra zeigte niedrige Blattmassen- und Stängelanteile, wohingegen der Stängelanteil bei den Feuerbohnen am höchsten war.

Tab. 12: Ertragsanteile der Bohnen (in % bezogen auf die Trockensubstanz) getrennt nach Hülsen, Blattmasse und Stängel im Sortenversuch. LSMeans (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)) (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen).

Variante / Jahr	Hülsen (%)			Blattmasse (%)			Stängel (%)
	2015	2016	2018	2015	2016	2018	Ø 2015 - 2018
AV	35,92 b	25,42 b	2,68 a	39,82 bc	42,05 c	65,42 c	28,36 b
CO	60,44 c	63,66 d	62,29 c	21,51 a	12,34 a	15,63 a	21,06 a
GP	32,19 ab	42,79 c	0,00 a	43,56 c	30,63 b	61,51 bc	28,85 b
TA	44,40 b	58,28 d	17,97 b	33,99 b	9,40 a	54,17 b	26,63 ab
PG	19,30 a	0,14 a	4,08 a	45,89 c	53,43 d	59,94 bc	38,36 c
WR	22,11 a	1,11 a	0,00 a	46,57 c	53,99 d	57,08 b	39,24 c

Charakterisierung der Bohnensorten

Die Bonitur der Tage bis zur Vollblüte der Bohne zeigt, dass die Stangenbohne Cobra bereits nach 53 Tagen und somit signifikant früher blühte, als die anderen Stangenbohnen. Die Sorte Tarbais erreichte die Vollblüte, ebenso wie die beiden Feuerbohnen eine Woche später (60 Tage), während die signifikant späteste Bohnenblüte bei den Sorten Anellino verde und Grünes Posthörnchen nach 73 bzw. 70 Tagen erfasst wurde.

Die ausgebildete Blattmasse der Bohnen (Tab. 13) zur Maisblüte wurde bonitiert. Sie variierte zwischen den Jahren und den Bohnensorten. Während im Jahr 2015 die höchsten Bohnenblattmassen bonitiert wurden, erzielten die Bohnen im Jahr 2018 deutlich geringere Blattmassen. Im Mittel der Jahre erzielte die Stangenbohne Tarbais die höchste Boniturnote von 4,4, während die Stangenbohnen Anellino verde (3,7) und Grünes Posthörnchen (3,7) sowie die Feuerbohne Weiße Riesen (3,4) signifikant geringere Blattmassen aufwiesen.

Tab. 13: Bonitur der Blattmasse der Bohnen (Boniturnoten 1–5) im Sortenversuch zur Maisblüte. Dargestellt sind die Mittelwerte der einzelnen Jahre sowie der Gesamtmittelwert der Versuchsjahre mit den ermittelten Signifikanzen (SAS 9.4, npar1way (p < 0,05), Kruskal-Wallis Test mit anschließendem Einzelvergleich über den Wilcoxon-Rangsummen-Test): Means ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen), n.a.=nicht angebaut.

Art	Sorte	2014	2015	2016	2018	Ø 2014, 2015, 2016, 2018	
Stangenbohne	**AV**	n.a.	4,5	3,5	3,0	3,7	AB
	CO	2,5	5,5	3,5	2,5	4,2	BC
	GP	3,8	3,3	4,3	3,3	3,1	A
	TA	4,0	5,3	3,5	3,5	4,4	C
Feuerbohne	**PG**	3,5	5,5	3,5	2,3	3,8	ABC
	WR	3,5	4,5	3,0	2,5	3,4	AB

Im Jahr 2014 wurde der beginnende Blattverlust der Bohnen bei den Feuerbohnen Preisgewinner und Weiße Riesen bereits 77 bzw. 79 Tage nach der Aussaat erfasst, während die Stangenbohnen erst drei Wochen später die ersten Blätter abgeworfen haben. Im Jahr 2015 wurde der früheste Blattverlust bei der Stangenbohne Tarbais (89 Tage) und der Feuerbohne Preisgewinner (84 Tage) beobachtet, wohingegen die Stangenbohne Anellino verde bis zur Ernte keine Blätter abgeworfen hat. Im Jahr 2016 zeigten die Stangenbohnen Anellino verde (76 Tage), Cobra (84 Tage) und Grünes Posthörnchen (76 Tage) den frühesten Blattverlustbeginn, während die Feuerbohnen Preisgewinner und Weiße Riesen mit 100 bzw. 137 Tagen den spätesten Blattverlust zeigten.

Wuchshöhe Mais und Bohne zur Maisblüte

Für die Wuchshöhe vom Mais konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Varianten nachgewiesen werden. Die signifikant größte Wuchshöhe von 297 cm wurde im Jahr 2016 erfasst, während der Mais im Jahr 2018 eine signifikant geringere Wuchshöhe von 236 cm erreichte.

Die Wuchshöhe der Bohne wurde im Jahr 2014 durch die Bohnenvariante ($p=0{,}0281$) beeinflusst. Dabei wies die Stangenbohne Cobra mit 74 cm eine signifikant geringere Wuchshöhe auf, als die anderen Bohnen, die zur Maisblüte 103–119 cm hoch waren. In den Jahren 2015, 2016 und 2018 wurde die Wuchshöhe der Bohnen durch die Wechselwirkung Jahr x Variante (0,0045) beeinflusst (Abb. 9). Im Vergleich der Jahre, wiesen die Bohnen innerhalb derselben Variante im Jahr 2018 die signifikant geringste Wuchshöhe auf, während die Stangenbohnen Anellino verde und Grünes Posthörnchen im Jahr 2016 die signifikant größten Bohnen ausbildeten. Die größten Wuchshöhen von 184 bzw. 180 cm wurden im Jahr 2015 von der Stangenbohne Tarbais und der Feuerbohne Preisgewinner erreicht, die signifikant höher waren, als die Stangenbohnen Anellino verde (159 cm) und Grünes Posthörnchen (148 cm). Im Jahr 2016 wurden die größten Wuchshöhen (181 cm) von den Stangenbohnen Tarbais, Anellino verde und Grünes Posthörnchen sowie der Feuerbohne Weiße Riesen erreicht, die signifikant höher waren, als die Stangenbohne Cobra (157 cm). Im Jahr 2018 erreichten die Stangenbohne Anellino verde und die Feuerbohne Preisgewinner die größten Wuchshöhen von 120 cm bzw. 126 cm, während die signifikant geringste Wuchshöhe von 70 cm bei der Stangenbohne Cobra erfasst wurde.

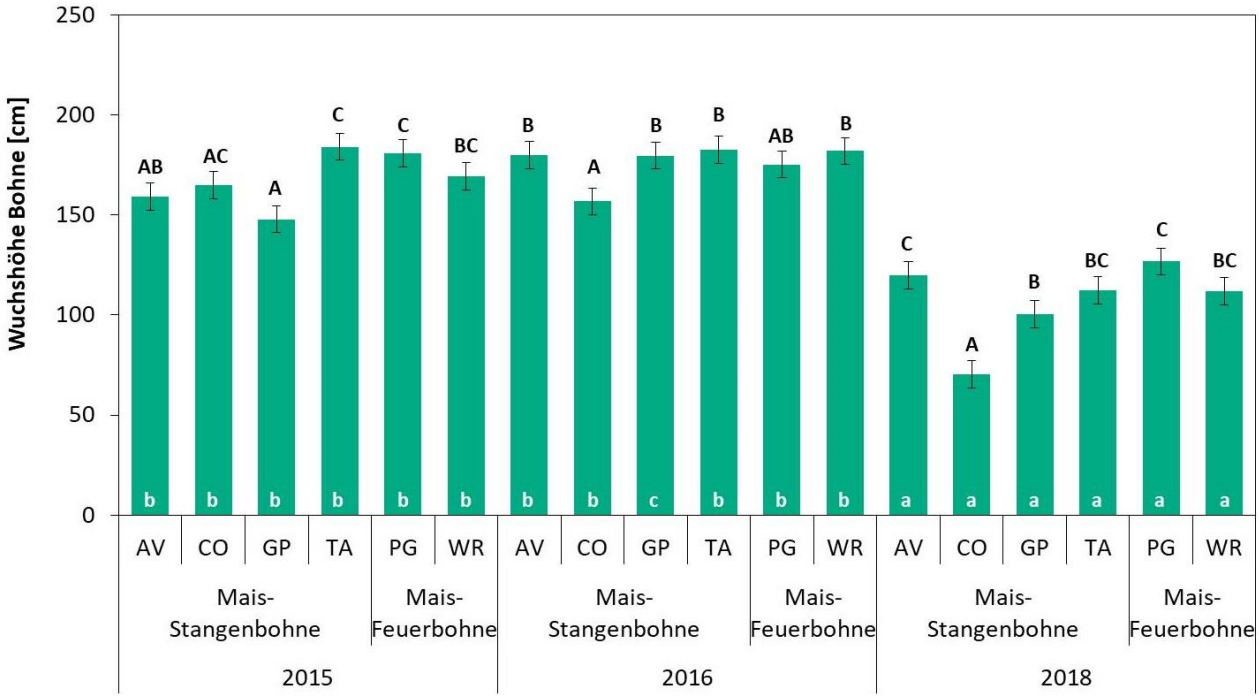


Abb. 9: Wuchshöhe der Bohnen zur Maisblüte in Abhängigkeit der Bohnenvariante im Gemengeanbau (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) und der Jahre im Sortenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb desselben Jahres. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren innerhalb derselben Variante.

Erfassungen zum Unkrautbesatz

Im Jahr 2014 konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Unkrautdeckungsgraden, den Unkrautarten und der Unkrautbiomasse nachgewiesen werden.

Im Gegensatz dazu ergaben sich für die Jahre 2015, 2016 und 2018 sowohl signifikante Unterschiede zwischen der Anzahl der Unkrautarten in Abhängigkeit der Jahre ($p<0,0001$) und der Varianten ($p=0,0389$). Dabei wurde die signifikant geringste Anzahl von 1,6 Unkrautarten im Jahr 2018 erfasst, wohingegen in den Jahren 2015 und 2016 etwa 4 Unkrautarten mehr nachgewiesen wurden. Der Vergleich zwischen den Varianten zeigte, dass im reduzierten Mais mit 5,0 Unkrautarten die höchste Anzahl gefunden wurde. Die anderen Varianten, mit Ausnahme der Feuerbohne Preisgewinner, wiesen eine signifikant geringere Artenzahl von 3,9 auf.

Die Unkrautdeckungsgrade wurden durch die Jahre ($p<0,0001$) und die Varianten ($p<0,0001$) beeinflusst. Der signifikant höchste Unkrautdeckungsgrad von 38,8% wurde im Jahr 2016 bonitiert, während im Jahr 2018 der signifikant geringste Unkrautdeckungsgrad von 20,1% erfasst wurde. Im Vergleich zwischen den Varianten wurde der signifikant höchste Unkrautdeckungsgrad von 34% im reduzierten Mais gefunden, während die Deckungsgrade in der Maiskontrolle und den Gemengen mit den Stangenbohnen Anellino verde und Grünes Posthörnchen bei 25–27% lagen. Die geringsten Unkrautdeckungsgrade von 19% wurden dagegen in den Gemengen mit den Stangenbohnen Cobra und Tarbais sowie der Feuerbohne Weiße Riesen gefunden.

Ebenso ergaben sich für die Unkraut-Biomasse signifikante Unterschiede zwischen den Jahren ($p=0,0455$) und den Varianten ($p=0,0046$). Vergleichbar zum Unkrautdeckungsgrad wurde die signifikant geringste Unkrautbiomasse von 19,5 g m^{-2} im Jahr 2018 erfasst, während mit 46,4 g m^{-2}

die höchste Unkrautbiomasse im reduzierten Mais gefunden wurde, der sich signifikant von allen Varianten mit Ausnahme der Stangenbohne Anellino verde unterschied. Die geringsten Unkrautbiomassen wurden in der Maiskontrolle (11,7 g m^{-2}) und den Gemengen mit der Feuerbohne Weiße Riesen (17,7 g m^{-2}) und der Stangenbohne Cobra (21,4 g m^{-2}) erfasst.

Die N_2-Fixierung der Bohnen im Gemengeanbau zeigt deutliche Unterschiede zwischen den Jahren und den Sorten (Abb. 10). In dem sehr trockenen Jahr 2018 war die N_2-Fixierleistung am geringsten. Dennoch lagen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Feuerbohnen Preisgewinner und Weiße Riesen zu den Werten der Jahre 2015 und 2016 vor, sodass diese eine sehr geringe N-Fixierleistung in allen Jahren aufwiesen. Auch die N_2-Fixierleistung der Stangenbohne Cobra wies in 2015 vergleichbar niedrige Werte wie 2018 auf; nur in 2016 waren die Werte signifikant höher. Die beiden Stangenbohnensorten Tarbais und Anellino verde wiesen in den beiden Jahren 2015 und 2016 die höchste N_2-Fixierleistung auf, wobei diese bei der Sorte Tarbais im Jahr 2015 signifikant höher ausfiel als bei Anellino verde.

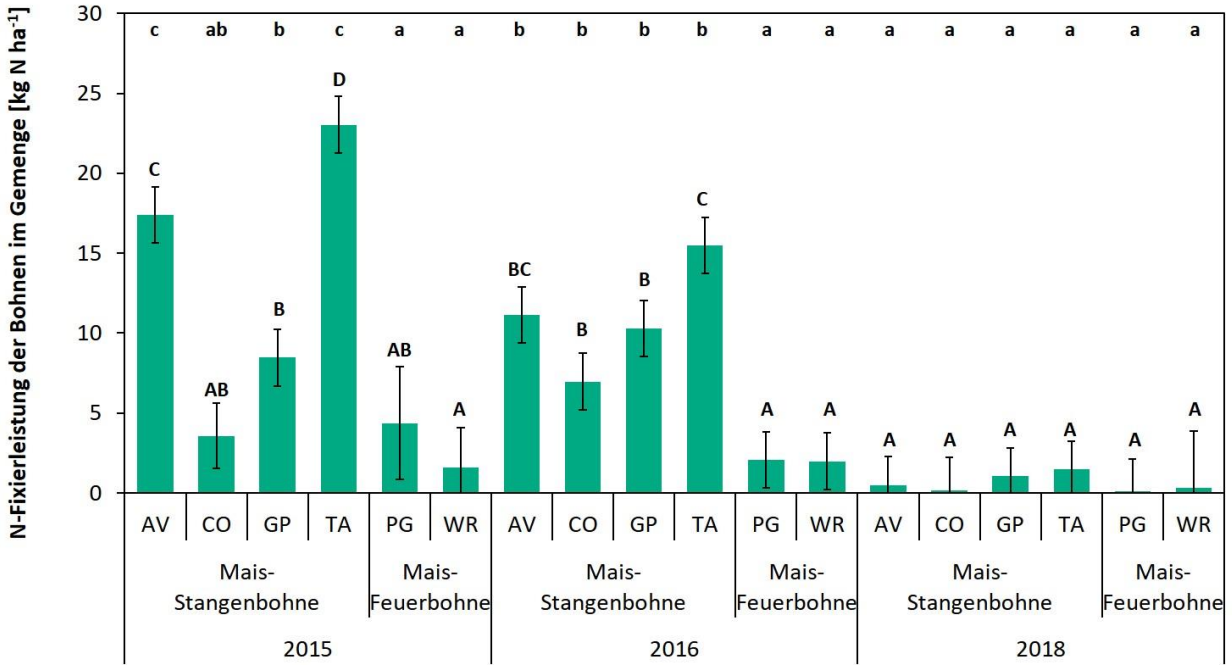


Abb. 10: N_2-Fixierleistung der Bohnen zur Ernte in Abhängigkeit der Bohnenvariante im Gemengeanbau (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) und der Jahre im Sortenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb desselben Jahres. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren innerhalb derselben Variante.

4.1.1.2 Gäreigenschaften und Silagequalität

Im Vorfeld der Silierung lassen sich die Gäreigenschaften des Ernteguts durch den Quotienten aus wasserlöslichen Kohlenhydraten und Pufferkapazität (Z/PK), den Vergärbarkeitskoeffizienten (VK = TM% + (8 x Z/PK), durch die Keimbelastung von Gärschädlingen wie Hefen und Schimmel als auch den Besatz von Milchsäurebakterien (MSB) beschreiben (Jänicke, 2011).

Der Z/PK-Quotient lag bei der Reinsaat mit 0,9 im Untersuchungsjahr 2015 am niedrigsten und am höchsten mit 4,0 bei TA im Jahr 2016 (Tab. 14). Zwischen den Jahren und Prüfgliedern waren signfikante Wechselwirkungen zu beobachten (p=0,0010). Im Jahr 2016 wurden von den

Prüfgliedern meist die höchsten Quotienten erzielt. Lediglich im Jahr 2015 wurden bei fast allen Prüfgliedern ein niedrigerer Wert als der Richtwert von 2,0 erreicht.

Den höchsten Vergärbarkeitskoeffizienten erzielte TA mit 70 im Untersuchungsjahr 2016 (Tab. 14). Zwischen den Jahren und Prüfgliedern gab es signifikante Wechselwirkungen (p= <0,0001). In den Jahren 2016 und 2018 lagen die Werte durchschnittlich mit 64 bzw. 61 gleich auf und deutlich über dem Richtwert von 45.

Der Besatz der Gärschädlinge von Hefen und Schimmel im Erntegut erreichte in allen Untersuchungsjahren bei fast allen bzw. allen Prüfgliedern in der Regel Werte, die größer als 1,0E+05 bzw. größer als 1,0E+04 KbE g FM^{-1} lagen und damit immer höher als die Richtwerte von <1,0E+05 bzw. <1,0E+04 KbE g FM^{-1} (Tab. 14). Im Vergleich der Untersuchungsjahre lag lediglich der durchschnittliche Schimmelbesatz im Jahr 2016 eine Zehnerpotenz niedriger.

Bei den Milchsäurebakterien (MSB) wurden in allen Untersuchungsjahren im Erntegut aller Prüfglieder Mengen mit mehr als 1,0E+04 KbE g FM^{-1} bzw. mehr als 1,0E+05 KbE g FM^{-1} vorgefunden. Mit Hinzugabe des Siliermittels war eine Steigerung der Werte auf mehr als 1,0E+05 bzw. 1,0E+06 KbE g FM^{-1} zu beobachten.

Tab. 14: Gäreigenschaften des Ernteguts der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge im Sortenversuch der Versuchsjahre 2015, 2016 und 2018, Zusatz = Einsatz eines Siliermittels.

Prüfglied	Z/PK	VK	Hefen [KbE/g FM]	Schimmel [KbE/g FM]	MSB [KbE/g FM]	MSB Zusatz [KbE/g FM]
				2015		
Reinsaat M11	0,9	41	9,3E+04	1,6E+05	3,0E+04	1,1E+05
CO	1,6	46	1,4E+05	1,5E+05	2,5E+05	7,0E+05
GP	1,9	48	1,3E+05	2,3E+05	5,0E+04	4,2E+05
TA	1,2	43	7,0E+04	2,0E+05	1,6E+05	2,6E+05
AV	1,6	45	1,1E+05	1,1E+05	6,3E+04	1,5E+05
PG	2,0	47	3,7E+05	1,5E+05	3,6E+04	2,4E+05
WR	1,4	42	7,7E+04	1,7E+05	3,8E+05	2,4E+05
				2016		
Reinsaat M11	2,7	60	4,7E+05	3,0E+04	9,8E+04	2,3E+06
CO	3,6	67	1,7E+05	1,3E+04	4,3E+04	3,2E+06
GP	3,0	63	2,1E+05	1,0E+04	7,4E+04	3,2E+06
TA	4,0	70	2,5E+05	2,0E+04	1,1E+05	2,3E+06
AV	2,9	62	1,6E+05	2,0E+04	7,1E+04	2,6E+06
PG	3,0	61	3,0E+05	2,0E+04	1,3E+05	2,3E+06
WR	3,0	63	7,8E+04	1,3E+04	3,7E+04	2,4E+06
				2018		
Reinsaat M11	2,7	62	2,7E+05	1,4E+05	1,8E+05	2,9E+05
CO	2,4	60	3,4E+05	2,3E+05	2,4E+05	7,5E+05
GP	2,7	62	3,2E+05	1,2E+05	2,6E+05	3,4E+05
TA	2,2	56	2,8E+05	7,2E+05	3,4E+05	6,4E+05
AV	2,6	60	2,6E+06	8,4E+04	1,2E+05	2,5E+05
PG	2,7	62	1,7E+05	3,5E+04	9,6E+04	3,2E+05
WR	2,5	60	3,0E+05	4,9E+04	1,9E+05	5,2E+05

Richtwerte (Jänicke 2011)

Z/PK Quotient: mind. 2 — Hefen: <1,0E+05

VK = Vergärbarkeitskoeffizient : mind. 45 — Schimmel: <1,0E+04

In den Silagen stellte sich der pH-Wert aller Prüfglieder eindeutig im sauren Milieu ein (Tab. 15). Bei der Kontrolle lag der Wert der jeweiligen Prüfglieder zwischen minimal 3,7 (2016) und maximal 4,0 (2018), beim Zusatz zwischen 3,9 (2018) und 4,3 (2015).

Tab. 15: Silagequalität nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge im Sortenversuch der Versuchsjahre 2015, 2016 und 2018, Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel.

Prüfglied	pH	Hefen* [%]	Schimmel* [%]	Gärverluste [% TM]	pH	Hefen* [%]	Schimmel* [%]	Gärverluste [% TM]
		Kontrolle				Zusatz		
				2015				
Reinsaat M11	3,8	62,5	0,0	3,9	4,1	0,0	0,0	7,6
CO	3,8	100,0	0,0	4,2	4,1	0,0	0,0	7,6
GP	3,8	62,5	0,0	4,3	4,2	0,0	0,0	8,2
TA	3,8	62,5	0,0	4,3	4,3	0,0	0,0	7,9
AV	3,8	75,0	0,0	4,5	4,1	0,0	0,0	7,9
PG	3,8	75,0	0,0	4,1	4,3	0,0	0,0	8,4
WR	3,8	62,5	0,0	4,4	4,2	0,0	0,0	7,8
				2016				
Reinsaat M11	3,9	100,0	0,0	4,5	4,2	0,0	0,0	6,5
CO	3,9	83,3	0,0	4,7	4,1	0,0	0,0	7,2
GP	3,9	83,3	0,0	4,5	4,1	0,0	0,0	6,6
TA	3,8	91,7	0,0	4,6	4,1	0,0	0,0	6,8
AV	3,7	66,7	0,0	4,5	4,1	0,0	0,0	7,1
PG	3,7	91,7	0,0	4,5	4,1	0,0	0,0	7,2
WR	3,8	100,0	0,0	4,5	4,1	0,0	0,0	7,0
				2018				
Reinsaat M11	3,9	100,0	0,0	5,3	3,9	0,0	0,0	5,4
CO	3,9	100,0	8,3	5,8	3,9	41,7	0,0	5,8
GP	3,9	100,0	0,0	5,4	3,9	33,3	0,0	5,5
TA	3,9	100,0	0,0	5,8	3,9	8,3	0,0	5,8
AV	4,0	91,7	0,0	5,3	4,0	0,0	0,0	5,5
PG	3,9	100,0	0,0	5,2	4,0	8,3	0,0	5,3
WR	3,9	100,0	0,0	5,6	4,0	8,3	0,0	5,6

*Anteil untersuchter Laborsilagen mit einer Keimdichte >1,0E+03 KbE g FM^{-1}

Die Gärschädlinge Hefen konnten in den Silagen in allen Untersuchungsjahren vor allem nicht bei der Kontrolle gänzlich unterdrückt werden (Tab. 15). Der Anteil untersuchter Laborsilagen mit einem Hefenbesatz größer 1,0E+03 KbE g FM^{-1} lag bei TA, PG und WR im Jahr 2015 mit 62,5% am niedrigsten. Maximal wurden in allen Jahren 100% erzielt. Insbesondere im Jahr 2018 hatten fast alle Prüfglieder einen Hefenbesatz von größer 1,0E+03 KbE g FM^{-1} aufzuweisen. Beim Zusatz wiesen nur im Jahr 2018 einige Prüfglieder einen Hefenbesatz von größer 1,0E+03 KbE g FM^{-1} auf. Maximal wurden 41,7% bei CO erzielt, die Reinsaat M11 und AV lagen bei 0%. Die Gärschädlinge Schimmel wurden gut unterdrückt. Bei Kontrolle als auch Zusatz lagen alle Prüfglieder in allen Untersuchungsjahren unterhalb eines Besatzes von 1,0E+03 KbE g FM^{-1}, somit alle Anteile bei 0,0% (Tab. 15).

Aufgrund des Silierprozesses lassen sich Gärverluste nicht vermeiden. Diese lagen bei der Kontrolle Reinsaat M11 mit 3,9% im Jahr 2015 am geringsten und mit 5,8% bei CO und TA im Jahr 2018 am höchsten (Tab. 15). Im Vergleich der Jahre waren die Verluste durchschnittlich mit 5,5% im Jahr 2018 am höchsten. Bei allen Prüfgliedern des Zusatzes wurden insbesondere in den Jahren 2015

mit maximal 8,4% (PG) und 2016 mit maximal 7,2% (CO u. PG) höhere Verluste im Vergleich zur Kontrolle erzielt (Tab. 15). Durchschnittlich waren die Verluste im Jahr 2015 mit 7,9% am höchsten.

Während des Silierprozesses werden als Gärprodukte verschiedene Gärsäuren und Alkohole gebildet (Tab. 16). Nach 90 Tagen Silierdauer wurden bei der Kontrolle im Vergleich der Gärprodukte bei allen Prüfgliedern in allen Versuchsjahren vor allem ein hoher Gehalt an MS mit maximal 6,7% im Jahr 2015 (PG) vorgefunden. Dagegen hatte beim Zusatz die ES den höchsten Gehalt mit maximal 5,6% (AV u.PG) im gleichen Jahr aufzuweisen. Vergleichsweise dazu hatte ebenfalls noch PD einen hohen Gehalt mit maximal 4,5% (AV) im Jahr 2015 erreicht. Die Werte von ETH wiesen im Durchschnitt der Prüfglieder bei der Kontrolle 1,0% (2015) bis 2,0% (2018) sowie beim Zusatz 1,6% (2015, 2016) bis 1,8% (2018), somit meist leicht höher liegend, auf. PS wurde nur bei der Kontrolle im Jahr 2015 mit maximal 0,3% bei TA festgestellt. BD wurde ausschließlich mit 0,1% bei WR im Jahr 2018 beobachtet. Auffällig war, dass es im Jahr 2018 zwischen Kontrolle und Zusatz bei den Prüfgliedern keine wesentlichen Unterschiede im Gärproduktemuster gab und beim Zusatz im Vergleich zu den anderen Jahren die ES gegenüber MS niedrigere Werte auswies. Hervorzuheben ist, dass bei allen Prüfgliedern sowie bei Kontrolle und Zusatz keine schädliche BS (0,0%) gebildet wurde.

Tab. 16: Gärprodukte in den Silagen nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge im Sortenversuch der Versuchsjahre 2015, 2016 und 2018 (MS=Milchsäure, ES=Essigsäure, PS=Propionsäure, ETH=Ethanol, PD=1,2-Propandiol, BD=2,3-Butandiol, BS=Buttersäure), Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel.

Prüfglied	MS	ES	PS	ETH	PD	BD	BS	MS	ES	PS	ETH	PD	BD	BS
				[% TM]							[% TM]			
				Kontrolle							Zusatz			
							2015							
Reinsaat M11	5,6	0,9	0,2	0,8	0,1	0,0	0,0	0,8	5,0	0,1	1,5	3,1	0,0	0,0
CO	6,0	1,0	0,2	1,0	0,1	0,0	0,0	1,0	4,9	0,0	1,5	3,5	0,0	0,0
GP	5,8	1,0	0,1	1,1	0,1	0,0	0,0	1,1	5,2	0,0	1,7	3,3	0,0	0,0
TA	6,6	1,2	0,3	1,3	0,2	0,0	0,0	1,2	5,4	0,0	1,5	4,1	0,0	0,0
AV	6,3	1,1	0,2	1,1	0,1	0,0	0,0	1,0	5,6	0,3	1,5	4,5	0,0	0,0
PG	6,7	1,2	0,2	0,7	0,2	0,0	0,0	1,0	5,6	0,0	1,6	3,6	0,0	0,0
WR	6,6	1,4	0,5	1,1	0,3	0,0	0,0	1,2	5,2	0,0	1,6	2,8	0,0	0,0
							2016							
Reinsaat M11	4,0	1,1	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	1,4	3,4	0,0	1,4	2,6	0,0	0,0
CO	4,1	1,2	0,0	1,3	0,1	0,0	0,0	1,3	3,8	0,0	1,8	3,3	0,0	0,0
GP	4,2	1,2	0,0	1,2	0,1	0,0	0,0	1,6	3,8	0,0	1,7	3,2	0,0	0,0
TA	4,2	1,1	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	1,5	3,7	0,0	1,5	3,1	0,0	0,0
AV	4,2	1,2	0,0	1,2	0,1	0,0	0,0	1,2	4,0	0,0	1,8	3,1	0,0	0,0
PG	4,3	1,1	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	1,3	4,2	0,0	1,7	3,1	0,0	0,0
WR	4,3	1,2	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	1,3	3,9	0,0	1,6	3,0	0,0	0,0
							2018							
Reinsaat M11	4,3	0,9	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	4,2	1,3	0,0	1,8	0,3	0,0	0,0
CO	4,2	0,9	0,0	2,4	0,0	0,0	0,0	4,0	1,0	0,0	2,2	0,1	0,0	0,0
GP	4,4	0,8	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	4,0	1,1	0,0	1,8	0,2	0,0	0,0
TA	4,6	1,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,0	4,3	1,1	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0
AV	4,2	0,8	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	4,1	1,5	0,0	1,6	0,5	0,0	0,0
PG	4,1	0,9	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	3,6	1,6	0,1	1,3	0,6	0,0	0,0
WR	3,6	0,9	0,0	1,7	0,0	0,1	0,0	3,8	1,0	0,0	1,6	0,1	0,0	0,0

Die Aerobe Stabilität (ASTA) wurde für einen Zeitraum von 7 Tagen gemessen (vergl. Kap. 3.4.3.4). Bei den Kontrollen erwärmten sich die Silagen aller Prüfglieder in allen Untersuchungsjahren vor dem Prüfende (Tab. 17). Am schnellsten trat die Erwärmung mit 2,4 Tagen bei WR im Jahr 2018 ein und am langsamsten mit 5,6 Tagen bei WR im Jahr 2015. In der Erwärmungsgeschwindigkeit gab es zwischen den Jahren Unterschiede. Während im Durchschnitt der Prüfglieder diese in den Jahren 2016 mit 3,5 Tagen und 2018 mit 3,1 Tagen etwa gleichauf lag, war diese mit 5,1 Tagen im Jahr 2015 etwas langsamer. Beim Zusatz konnte beobachtet werden, dass nur im Jahr 2018 eine Erwärmung bei den Prüfgliedern Reinsaat M11, CO, GP, TA und WR stattfand, welche erst gegen Ende der Prüfdauer eintrat. Im Durchschnitt der Prüfglieder war die ASTA gegenüber der Kontrolle 2,9 Tage länger gegeben.

Auslöser für die Erwärmung sind, bedingt durch Luftzutritt, Aktivitäten der Gärschädlinge Hefen und Schimmel mit folglich ansteigendem pH-Wert gegenüber der Silageentnahme, die wiederum zu erhöhten Trockenmasseverlusten führen. Bei allen Prüfgliedern mit geringerer ASTA als 7 Tage waren die Effekte insbesondere bei der Kontrolle zu beobachten (Tab. 17). Nur wenn die ASTA erst kurz vor dem Prüfdauerende abbrach, wie bei den Prüfgliedern Reinsaat M11 und WR des Zusatzes, waren noch keine Effekte sichtbar. Schimmel ist gänzlich unerwünscht. Sehr ausgeprägt mit Boniturwerten zwischen 1,4 bei TA und 3,5 bei der Reinsaat M11 und GP trat dieser nur bei den Kontrollen im Jahr 2015 auf. Die Trockenmasseverluste lagen bei allen Prüfgliedern in allen Jahren bei der Kontrolle gegenüber dem Zusatz höher.

Tab. 17: Aerobe Stabilität (ASTA) von Silagen nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge im Sortenversuch der Versuchsjahre 2015, 2016 und 2018 sowie deren Qualitätsbewertung nach ASTA, Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel.

Prüfglied	ASTA [Tage]	pH	Hefen [Bonitur]	Schimmel [Bonitur]	Verluste [% TM]	ASTA [Tage]	pH	Hefen [Bonitur]	Schimmel [Bonitur]	Verluste [% TM]
	Kontrolle					Zusatz				
					2015					
Reinsaat M11	5,5	5,2	1,0	3,5	18,9	7,0	4,4	0,0	0,0	7,3
CO	5,0	6,0	1,6	2,8	13,5	7,0	4,4	0,0	0,0	8,8
GP	5,0	5,4	1,4	3,5	15,4	7,0	4,4	0,0	0,0	11,9
TA	5,3	4,9	1,1	1,4	9,9	7,0	4,4	0,2	0,0	7,8
AV	4,4	6,0	1,6	2,6	18,4	7,0	4,4	0,0	0,0	9,2
PG	4,6	5,2	1,1	2,4	14,3	7,0	4,4	0,0	0,0	9,5
WR	5,6	4,8	1,5	1,6	10,5	7,0	4,4	0,0	0,0	8,5
					2016					
Reinsaat M11	2,9	6,2	1,6	0,0	12,2	7,0	4,2	0,0	0,0	4,7
CO	3,7	5,2	1,0	0,0	7,8	7,0	4,2	0,0	0,0	7,0
GP	4,5	5,7	1,3	0,2	9,6	7,0	4,2	0,0	0,0	5,4
TA	3,3	6,8	2,1	0,3	10,4	7,0	4,3	0,0	0,0	4,5
AV	3,7	5,1	0,6	0,0	8,0	7,0	4,3	0,0	0,0	4,8
PG	3,2	6,2	1,0	0,0	11,4	7,0	4,3	0,0	0,0	4,9
WR	3,5	5,3	1,3	0,3	8,4	7,0	4,2	0,0	0,0	4,3
					2018					
Reinsaat M11	2,8	6,1	1,6	0,0	12,4	6,4	4,1	0,1	0,0	7,7
CO	3,1	6,3	1,8	0,0	11,3	4,8	5,2	0,7	0,0	10,9
GP	3,7	6,0	2,3	0,0	11,9	5,6	4,7	0,9	0,0	8,2
TA	3,8	6,3	2,9	0,0	9,9	5,3	4,7	0,8	0,0	10,1
AV	2,6	6,4	1,9	0,1	12,6	7,0	3,9	0,0	0,0	8,1
PG	3,2	6,2	1,8	0,0	10,3	7,0	4,0	0,0	0,0	7,0
WR	2,4	6,5	1,6	0,2	13,4	6,0	4,3	0,0	0,1	6,6

4.1.1.3 Rohnährstoffe, Stärke, Gerüstsubstanzen und ELOS

Die Rohnährstoffe, Stärke, die Gerüstsubstanzen ADF_{om} und $aNDF_{om}$ und die enzymlösliche organische Substanz (ELOS) der Sortenversuche der 4 Untersuchungsjahre wurden sowohl im Erntegut vor der Silierung als auch in den Kontrollsilagen ohne Silierhilfsmittel (Silage-Kontrolle: Sil-K) und den Silagen mit Silierhilfsmittel (Silage-Zusatz: Sil-Z) bestimmt (Tab. 18 - Tab. 21). Im Sortenversuch des Jahres 2014 unterschieden sich die Rohprotein (XP)-Gehalte der Mais-Bohnen-Gemenge aller Varianten signifikant vom reinen Mais (4,98%). Die höchsten XP-Gehalte (6,22%) wurden im Gemenge mit der Sorte Tarbais gemessen. Die Stärke (XS)-Gehalte wurden von der Wechselwirkung zwischen Bohnenvariante und Typ beeinflusst (p<0,0001). Dies traf auch für den reinen Mais zu. Die Mais-Bohnen-Gemenge des Erntegutes wiesen signifikant höhere XS-Gehalte auf als die der beiden Silagevarianten. Die geringsten XS-Gehalte wurden für die Gemenge mit der Stangenbohne Tarbais analysiert. Auch die Rohfett (XL)- (2,7–3,1%) und Rohfaser (XF)-Gehalte (18,1–22,6%) wurden von der Wechselwirkung zwischen Bohnenvariante und Typ (Erntegut, Sil-K, Sil-Z) beeinflusst (p=0,0325 und <0,0001). Die Rohasche (XA)-Gehalte variierten in den Gemengen signifikant von 3,7% (Cobra) bis 4,0% (Tarbais). ADF_{om} und $aNDF_{om}$ wurden ebenso wie ELOS signifikant vom Typ beeinflusst. Die höchsten Gehalte wurden jeweils im Erntegut analysiert mit 22,6%, 45,1% und 68,8% vs. 21,5%, 39,4% und 65,5% in Sil-K und 21,3%, 39,1% und 62,7% in Sil-Z (Tab. 18).

Tab. 18: Rohnährstoffgehalte inkl. Stärke, ADFom, NDFom, ELOS von Erntegut und Silagen der Mais-Reinsaat (M11) und der Mais-Bohnen-Gemenge (TE=Terli, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) im Sortenversuch des Jahres 2014.

Typ		Variante	XP	XA	XS	XL	XF	ADFom	aNDFom	ELOS
						[%TSk]				
						2014				
Erntegut	Mais-Reinsaat	M11	5,1	3,9	35,8	2,7	18,5	23,6	46,3	68,3
	Mais-Stangenbohne	TE	5,3	3,7	35,9	2,8	18,4	22,5	45,2	68,5
		CO	5,5	3,7	35,4	2,9	18,5	23,2	45,3	67,9
		GP	5,7	3,8	35,9	2,7	18,1	22,5	44,1	69,7
		TA	6,3	4,2	32,8	2,8	19,7	23,3	44,7	69,4
	Mais-Feuerbohne	PG	5,4	4,0	35,2	2,9	18,3	23,3	45,8	69,0
		WR	5,5	4,1	35,0	2,6	18,9	22,5	44,2	68,7
Silage-Kontrolle	Mais-Reinsaat	M11	5,0	3,9	27,2	2,9	22,6	22,0	40,4	65,6
	Mais-Stangenbohne	TE	5,3	3,7	29,7	3,0	19,5	21,4	38,6	66,0
		CO	5,3	3,8	27,3	2,7	21,4	21,3	39,6	65,2
		GP	5,7	3,9	28,0	2,8	22,3	21,9	39,4	65,2
		TA	6,3	4,0	28,2	2,7	19,8	22,3	39,3	64,9
	Mais-Feuerbohne	PG	5,3	3,8	32,1	2,9	18,8	22,0	39,8	65,7
		WR	5,4	3,8	33,2	3,2	18,6	21,9	38,6	66,0
Silage-Zusatz	Mais-Reinsaat	M11	4,8	3,7	32,3	2,9	18,9	22,2	40,0	63,0
	Mais-Stangenbohne	TE	5,3	3,8	31,8	2,8	18,7	21,4	38,5	63,5
		CO	5,3	3,5	32,8	3,1	18,2	20,8	38,6	62,4
		GP	5,6	3,8	31,8	2,7	18,3	21,8	38,7	61,4
		TA	6,1	3,9	30,6	2,7	18,6	22,3	39,4	62,6
	Mais-Feuerbohne	PG	5,3	3,9	31,5	2,8	19,6	21,5	38,7	63,0
		WR	5,4	3,6	31,1	2,9	18,7	21,6	38,9	63,2

Der Vergleich der Jahre 2015, 2016 und 2018 zeigt, dass sich die XP-Gehalte der drei Jahre signifikant unterschieden (Abb. 11). Die höchsten Gehalte wurden im Jahr 2015 analysiert, die geringsten im Jahr 2016, sowohl beim Mais als auch in den Mais-Bohnen-Gemengen. Die Gemenge aller Varianten mit Stangen- oder Feuerbohnen wiesen signifikant höhere XP-Gehalte auf als reiner Mais

mit Ausnahme des Gemenges mit der Feuerbohne Preisgewinner im Jahr 2016. Mit der Variante Tarbais wurden in allen drei Jahren die höchsten XP-Gehalte erzielt, wobei im Jahr 2015 auch der höchste XP-Zuwachs durch das Gemenge mit dieser Stangenbohne beobachtet werden konnte, von 7,4% im reinen Mais auf 8,9% im Gemenge. Bei Betrachtung der XS-Gehalte der drei Jahre (Abb. 12) wird deutlich, dass diese sowohl in der Mais-Reinsaat als auch in allen Gemengevarianten im Jahr 2015 signifikant niedriger waren als 2016 und 2018. Sowohl das Jahr als auch der Typ beeinflusste die XS-Gehalte. Die Gemenge mit Tarbais wiesen 2015 und 2016 die geringsten XS-Gehalte auf. Die Gehalte an XL, XF, XA und ELOS wurden durch 3-fach Wechselwirkungen aus Typ x Variante x Jahr beeinflusst. Die ADF_{om}- und $aNDF_{om}$-Gehalte der drei Jahre waren signifikant unterschiedlich, wobei 2015 die höchsten ADF_{om}- und $aNDF_{om}$-Gehalte analysiert wurden (Tab. 19 - Tab. 21).

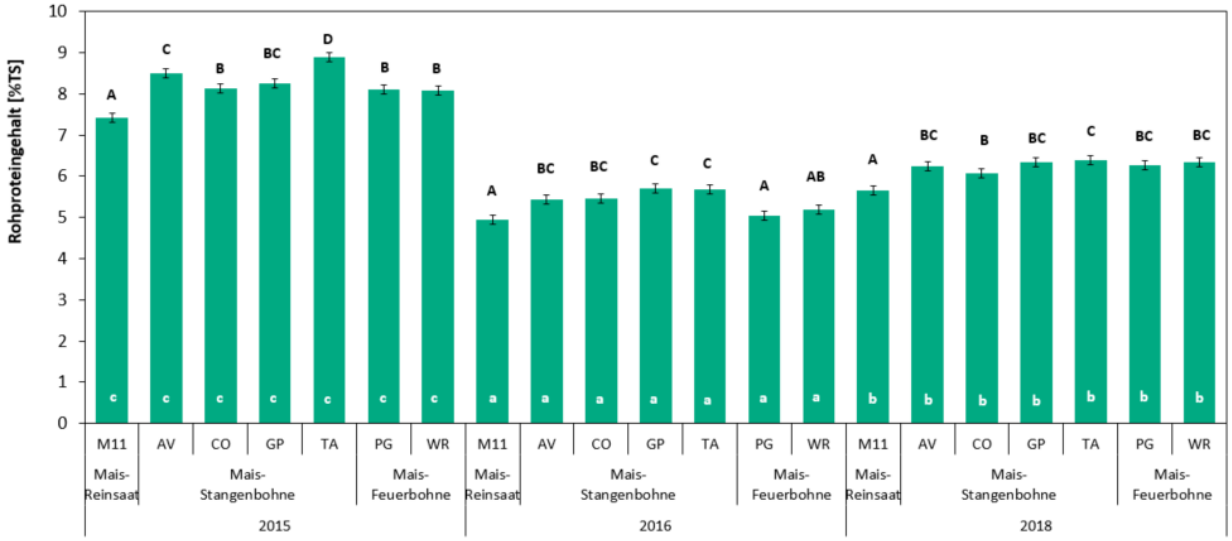


Abb. 11: Rohproteingehalte der Mais-Reinsaat (M11) und der Mais-Bohnen-Gemenge (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) im Sortenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb desselben Jahres. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren innerhalb derselben Variante.

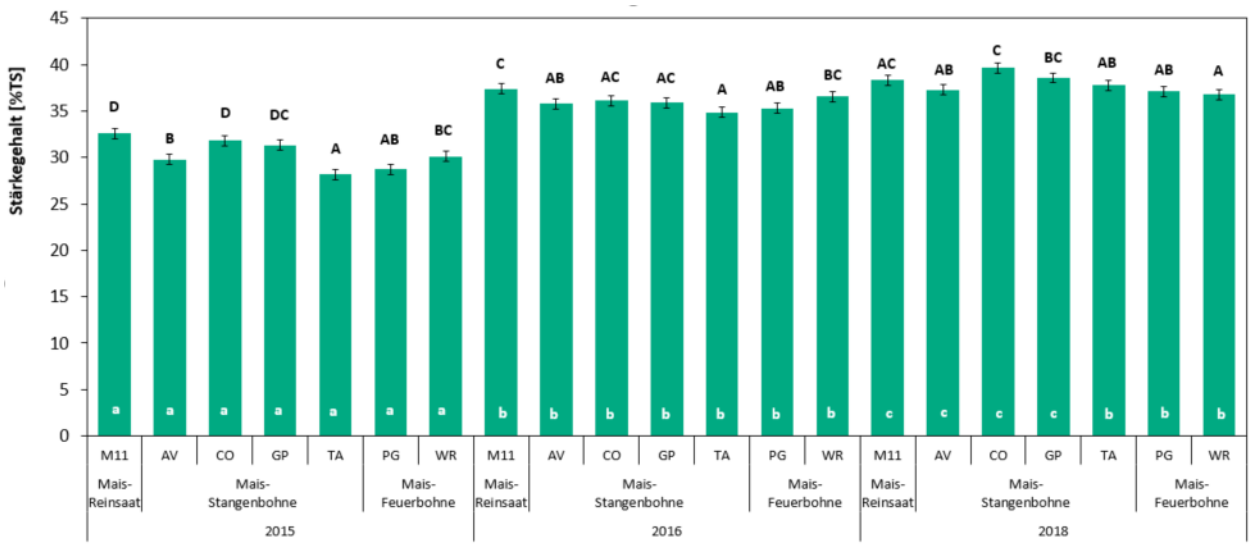


Abb. 12: Stärkegehalte der Mais-Reinsaat (M11) und der Mais-Bohnen-Gemenge (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) im Sortenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb desselben Jahres. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren innerhalb derselben Variante.

Tab. 19: Rohnährstoffgehalte inkl. Stärke, ADFom, NDFom, ELOS von Erntegut und Silagen der Mais-Reinsaat (M11) und der Mais-Bohnen-Gemenge (CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, AV=Anellino verde, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) im Sortenversuch des Jahres 2015.

Typ		Variante	XP	XA	XS	XL	XF	ADFom	aNDFom	ELOS
						[%TSk]				
						2015				
Erntegut	Mais-Reinsaat	M11	7,5	3,5	33,6	2,4	19,8	25,1	48,1	64,6
	Mais-Stangenbohne	CO	8,2	3,7	32,9	2,6	18,1	24,0	45,8	64,6
		GP	8,2	3,6	33,3	2,6	17,5	23,0	44,1	65,3
		TA	9,0	4,0	29,7	2,4	20,4	25,7	47,0	64,6
		AV	8,7	3,8	32,5	2,4	18,5	23,5	44,2	65,4
	Mais-Feuerbohne	PG	8,2	3,7	31,7	2,7	18,7	23,7	44,4	65,8
		WR	8,3	3,9	29,3	2,3	20,6	26,0	49,0	62,8
Silage-Kontrolle	Mais-Reinsaat	M11	7,3	3,4	32,4	2,6	18,1	23,5	42,5	63,4
	Mais-Stangenbohne	CO	8,0	3,8	31,7	2,9	17,5	23,5	41,6	63,6
		GP	8,1	3,8	31,4	2,9	19,4	23,0	40,3	65,0
		TA	8,9	4,2	26,3	2,6	19,6	24,8	42,3	63,7
		AV	8,6	3,8	28,2	2,6	19,0	23,0	41,2	64,1
	Mais-Feuerbohne	PG	8,1	3,8	28,1	2,5	19,9	24,2	41,5	65,1
		WR	7,9	3,6	30,1	2,7	18,4	23,1	40,6	64,7
Silage-Zusatz	Mais-Reinsaat	M11	7,4	3,2	31,7	2,7	19,1	22,1	40,0	59,7
	Mais-Stangenbohne	CO	8,2	3,4	30,8	3,0	19,2	22,0	39,2	59,6
		GP	8,5	3,7	29,2	3,1	17,8	23,4	41,0	57,0
		TA	8,7	3,8	28,5	2,9	17,4	24,1	41,1	54,2
		AV	8,2	3,7	28,5	2,7	18,3	22,3	39,4	57,0
	Mais-Feuerbohne	PG	8,0	3,7	26,4	2,7	20,4	24,7	42,7	52,9
		WR	8,0	3,6	30,9	2,9	17,8	23,9	40,8	56,0

Tab. 20: Rohnährstoffgehalte inkl. Stärke, ADFom, NDFom, ELOS von Erntegut und Silagen der Mais-Reinsaat (M11) und der Mais-Bohnen-Gemenge (CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, AV=Anellino verde, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) und im Sortenversuch des Jahres 2016.

Typ		Variante	XP	XA	XS	XL	XF	ADFom	aNDFom	ELOS
						[%TSk]				
						2016				
Erntegut	Mais-Reinsaat	M11	5,0	3,2	38,4	3,0	18,4	22,1	42,2	70,4
	Mais-Stangenbohne	CO	5,3	3,1	39,2	3,0	16,7	21,0	39,9	69,9
		GP	5,8	3,2	39,4	3,3	16,3	21,5	41,0	70,2
		TA	5,7	3,2	37,1	2,7	17,2	21,5	41,1	72,2
		AV	5,5	3,4	37,5	2,9	16,4	21,1	40,4	72,1
	Mais-Feuerbohne	PG	5,1	3,5	36,7	3,0	17,4	22,0	42,3	72,6
		WR	5,3	3,4	37,8	3,0	17,2	20,4	39,1	72,2
Silage-Kontrolle	Mais-Reinsaat	M11	5,0	3,2	38,4	3,1	19,8	22,0	39,9	65,7
	Mais-Stangenbohne	CO	5,4	3,6	35,2	3,5	19,0	22,0	42,2	66,3
		GP	5,6	3,6	34,5	3,2	18,8	22,3	41,4	65,5
		TA	5,8	3,9	33,6	2,9	18,9	22,1	40,8	65,0
		AV	5,5	3,8	35,2	3,1	18,2	21,9	41,1	64,6
	Mais-Feuerbohne	PG	5,1	3,6	35,8	3,3	18,0	22,0	41,4	64,8
		WR	5,2	3,7	36,5	3,4	18,3	21,8	40,5	64,2
Silage-Zusatz	Mais-Reinsaat	M11	4,9	3,5	35,3	3,3	18,1	22,4	39,8	59,0
	Mais-Stangenbohne	CO	5,5	3,7	33,9	3,2	18,6	20,4	37,5	60,8
		GP	5,7	3,6	33,8	3,0	18,1	20,1	37,0	61,4
		TA	5,6	3,7	33,8	3,1	17,4	20,9	38,0	60,4
		AV	5,4	3,7	34,6	3,0	17,8	21,2	37,7	61,5
	Mais-Feuerbohne	PG	5,0	3,5	33,4	3,0	18,4	21,9	39,3	59,6
		WR	5,1	3,5	35,3	3,1	17,3	21,8	38,8	59,0

Tab. 21: Rohnährstoffgehalte inkl. Stärke, ADFom, NDFom, ELOS von Erntegut und Silagen der Mais-Reinsaat (M11) und der Mais-Bohnen-Gemenge (CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, AV=Anellino verde, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) und im Sortenversuch des Jahres 2018.

Typ		Variante	XP	XA	XS	XL	XF	ADFom	aNDFom	ELOS
						[%TSk]				
						2018				
Erntegut	Mais-Reinsaat	M11	5,5	3,3	38,4	3,0	15,5	17,8	36,4	69,5
	Mais-Stangenbohne	CO	5,9	3,3	38,8	3,2	15,7	16,8	36,5	69,7
		GP	6,6	3,4	38,8	3,2	14,8	17,6	37,6	70,1
		TA	6,2	3,7	37,4	2,9	16,4	19,0	39,5	67,9
		AV	6,2	3,7	34,6	2,9	16,8	18,0	37,0	70,8
	Mais-Feuerbohne	PG	6,1	3,4	35,6	3,0	16,3	18,0	36,9	72,4
		WR	6,2	3,4	36,5	3,1	15,5	18,6	38,4	69,5
Silage-Kontrolle	Mais-Reinsaat	M11	5,7	3,3	37,1	3,4	16,2	18,1	36,6	68,5
	Mais-Stangenbohne	CO	6,0	3,1	40,7	3,6	15,0	19,1	37,6	67,8
		GP	6,2	3,3	38,0	3,4	16,0	19,6	38,0	68,1
		TA	6,6	3,6	37,2	3,2	16,0	19,5	38,4	67,3
		AV	6,4	3,4	39,4	3,3	15,8	18,6	37,0	69,7
	Mais-Feuerbohne	PG	6,3	3,2	38,8	3,3	15,9	19,7	38,4	68,3
		WR	6,5	3,5	37,5	3,3	16,0	19,1	37,4	69,2
Silage-Zusatz	Mais-Reinsaat	M11	5,7	3,3	39,4	3,4	15,3	19,3	38,4	67,4
	Mais-Stangenbohne	CO	6,3	3,3	39,4	3,5	15,6	19,4	38,2	67,7
		GP	6,3	3,3	38,9	3,5	16,0	19,9	37,9	67,5
		TA	6,4	3,4	38,7	3,5	15,8	20,2	39,1	67,7
		AV	6,1	3,3	37,9	3,5	15,7	19,4	37,0	69,5
	Mais-Feuerbohne	PG	6,3	3,4	37,0	3,3	15,8	19,9	37,6	69,1
		WR	6,3	3,4	36,3	3,2	16,0	21,3	40,0	68,2

Der Rohprotein-Ertrag zeigte weder im Jahr 2014 noch für die Verrechnung der Folgejahre signifikante Unterschiede zwischen den Varianten. Dagegen variierte der Rohproteinertrag signifikant zwischen den Jahren mit dem höchsten Wert 12,7 dt XP ha^{-1} im Jahr 2015. Im Jahr 2016 lag dieser bei 8,86 dt XP ha^{-1} und im Jahr 2018 bei 8,14 dt XP ha^{-1} und damit auf vergleichbarem Niveau wie 2014 (8,27 dt XP ha^{-1}).

Der Stärke-Ertrag (Abb. 13) wies sowohl signifikante Unterschiede zwischen den Varianten als auch zwischen den Versuchsjahren auf. Die Mais-Bohnen-Gemenge mit Cobra und Grünem Posthörnchen wiesen vergleichbar hohe Stärke-Erträge auf wie die Reinsaat Mais (M11), die mit 58,6 dt XP ha^{-1}) den höchsten Stärke-Ertrag zeigte. Signifikant geringere Stärke-Erträge zeigten die Gemenge mit den Sorten Anellino verde, Tarbais, Preisgewinner und Weiße Riesen.

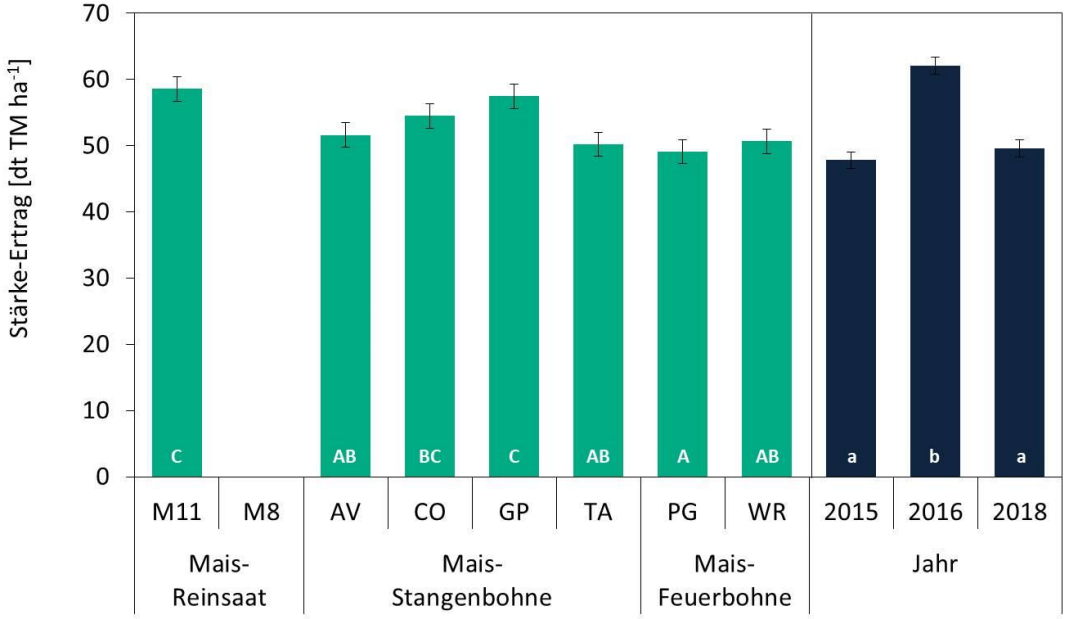


Abb. 13: Stärke-Ertrag der Mais-Bohnen-Gemenge (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) und der Mais-Reinsaat (M11) im Sortenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten, LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren, M8=nicht analysiert.

4.1.1.4 Sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe

<u>Lektine</u>

Die Gehalte an Phytohaemagglutininen (PHA) oder auch umgangssprachlich Lektine, wurden maßgeblich vom Typ beeinflusst, aber auch vom Jahr und der Variante (Dreifachwechselwirkung, $p=0,0014$). So waren sie im Erntegut signifikant höher als in den Silagen (Sil-K und Sil-Z) aller Varianten. Allerdings lagen sie insgesamt auf einem sehr niedrigen Niveau mit den auffällig geringsten Gehalten aller Gemenge-Varianten in den Jahren 2014 und 2018. 2014 wiesen die Gemenge im Erntegut mit der Stangenbohne Grünes Posthörnchen mit 0,08 g kg^{-1} die höchsten PHA-Gehalte auf. 2015 wurden mit der Variante Cobra (0,47 g kg^{-1}) und 2016 wiederum mit der Variante Grünes Posthörnchen (0,44 g kg^{-1}) die höchsten Gehalte gemessen. 2018 lagen die Gehalte aller Gemenge unter 0,1 g kg^{-1} (Abb. 14). In den Silagen wurden noch geringere PHA-Gehalte gemessen, die von 0,02 bis zum höchsten Wert von 0,3 g kg^{-1} variierten, wobei dies der höchste gemessene Wert aller Jahre war und im Gemenge mit der Stangenbohne Cobra 2015 analysiert wurde.

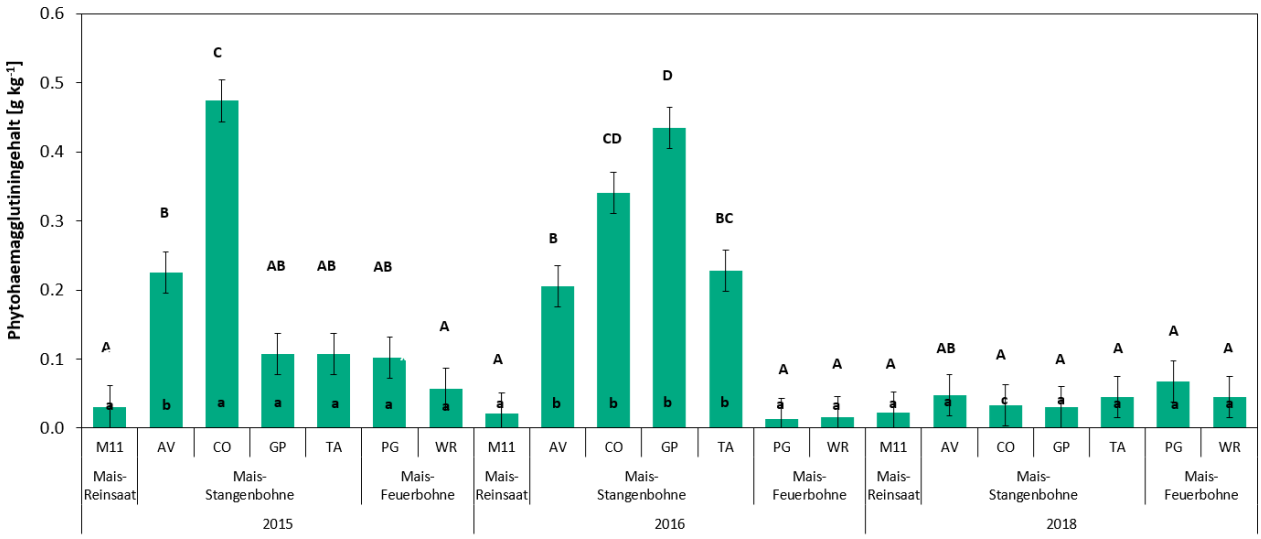


Abb. 14: Phytohaemagglutiningehalte der Mais-Bohnen-Gemenge (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) und der Mais-Reinsaat (M11) im Ausgangsmaterial des Sortenversuchs. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb desselben Jahres. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren innerhalb derselben Variante.

Tannine

Die Tanningehalte der vier Anbaujahre variierten auf ähnlichem Niveau, jeweils von 3,5 bis zu 6,1 g kg^{-1} TS. Sie wurden vom Jahr, der Variante und dem Typ beeinflusst, zeigten aber keine signifikanten Unterschiede.

α-Galactoside

Die α-Galactoside Raffinose, Stachyose und Verbascose, auch Oligosaccharide der Raffinosefamilie (RFO) genannt, konnten sowohl im Erntegut als auch in den Silagen nur in Spuren nachgewiesen werden bzw. lagen oftmals unterhalb der Nachweisgrenze.

4.1.1.5. Rohprotein und sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe in den Pflanzenorganen

Da es von großem Interesse ist, wo zum einen das Rohprotein aber auch die sekundären Pflanzeninhaltsstoffe lokalisiert sind, wurden aus den Sortenversuchen der Jahre 2014 bis 2018 die Pflanzenorgane Blatt, Hülse, Samen und Stängel gewonnen. Werden die Organe im Vergleich betrachtet, so wird deutlich, dass die Samen die höchsten XP-Gehalte aufwiesen, wie Abb. 15 exemplarisch für das Jahr 2015 zeigt. Dieser Fakt bestätigt sich für alle weiteren geprüften Jahre. Auch in Blättern und Hülsen wurden jahresabhängig relativ hohe XP-Gehalte analysiert, mit den höchsten Gehalten im Jahr 2015 (Blätter: Tarbais 21,8%, Grünes Posthörnchen 20,4%; Hülsen: Grünes Posthörnchen 21,4%, Anellino verde 19,3%). 2014 wurden deutlich niedrigere Gehalte analysiert: mit 15,7% und 12,1% wiesen Blätter und Hülsen des Grünen Posthörnchens die höchsten Gehalte auf. 2016 lagen die XP-Gehalte der Blätter und Hülsen auf dem niedrigsten Niveau aller geprüften Jahre mit 12,3% in Blättern der Cobra bis 8,1% in Weißen Riesen und bei den Hülsen von 9,8 bei Anellino verde bis 4,5% bei Tarbais. 2018 wurden in den Blättern Gehalte von 15,5 (Tarbais) bis 17,3% gemessen. In den Hülsen schwankten die Gehalte von 5,6% (Weiße Riesen) bis

8,4% (Tarbais). Die geringsten XP-Gehalte wurden in allen Jahren in den Stängeln analysiert. 2014 und 2016 waren sie auf dem niedrigsten Niveau aller Jahre mit 3,7 bis 5,9%. 2015 wiesen die Stängel des Grünen Posthörnchens mit 9,7% deutlich höhere Werte auf, der geringste Gehalt wurde mit 6,4% für die Weißen Riesen gemessen. 2018 variierten die Gehalte von 6,8% (Tarbais) bis 9,9% (Cobra).

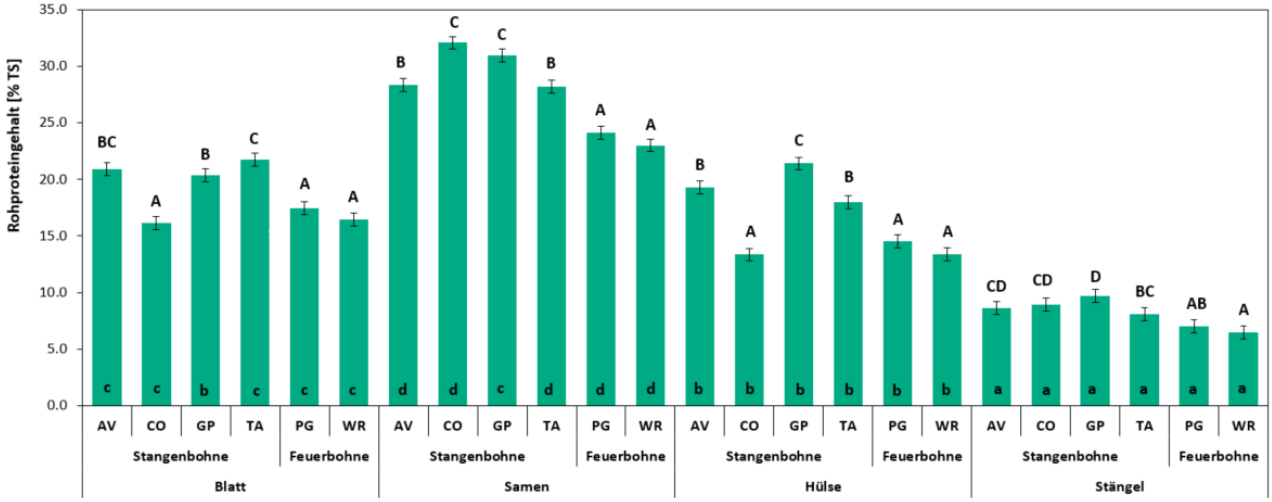


Abb. 15: Rohproteingehalte der Pflanzenorgane der Bohnenvarianten (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) des Sortenversuchs 2015. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb desselben Pflanzenorgans. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Organen innerhalb derselben Variante.

Auch die XP-Gehalte der Samen der untersuchten Jahre variierten stark, wie Abb. 16 für die Jahre 2015, 2016 und 2018 zeigt. Es konnten leider nicht von allen Varianten in allen Jahren Samen in ausreichender Menge gewonnen werden, so dass kein umfassender Vergleich möglich ist. 2015 wiesen die Stangenbohnen Cobra und Grünes Posthörnchen die höchsten XP-Gehalte mit 32% und 31% auf, 2018 wiederum Cobra mit 32% und die Feuerbohnen Weiße Riesen mit 31%. 2014 und 2016 fielen die XP-Gehalte deutlich niedriger aus, mit den höchsten Gehalten von 26% in den Samen des Grünen Posthörnchen (2014) bzw. mit 25,5% in den Samen der Cobra2016.

Die Gehalte an <u>sekundären Pflanzeninhaltsstoffen</u> variierten stark von Jahr zu Jahr und auch in den Organen. Wie Abb. 17 anschaulich für das Jahr 2015 zeigt, waren die signifikant höchsten Lektin-Gehalte (PHA) in den Samen nachzuweisen. Die Samen der Stangenbohne Cobra wiesen mit 66 g kg^{-1} TS den signifikant höchsten PHA-Gehalt auf, gefolgt vom Grünen Posthörnchen mit 28 g kg^{-1} TS und Weiße Riesen mit 25 g kg^{-1} TS. 2014 wurden in den Samen des Grünen Posthörnchen die insgesamt höchsten Gehalte mit 134 g kg^{-1} TS gemessen. Auch 2016 wurden mit 25 g kg^{-1} TS die signifikant höchsten PHA-Gehalte in den Samen des Grünen Posthörnchen analysiert, gefolgt von Cobra mit 18 g kg^{-1} TS. 2018 wiesen Cobrasamen mit 35 g kg^{-1} TS die signifikant höchsten PHA-Gehalte auf, Weiße Riesen mit 28 g kg^{-1} TS die zweithöchsten. Die PHA-Gehalte von Blättern, Hülsen und Stängeln unterschieden sich nicht signifikant und lagen im Bereich von 0,03 bis 0,3 g kg^{-1} TS über die vier untersuchten Jahre.

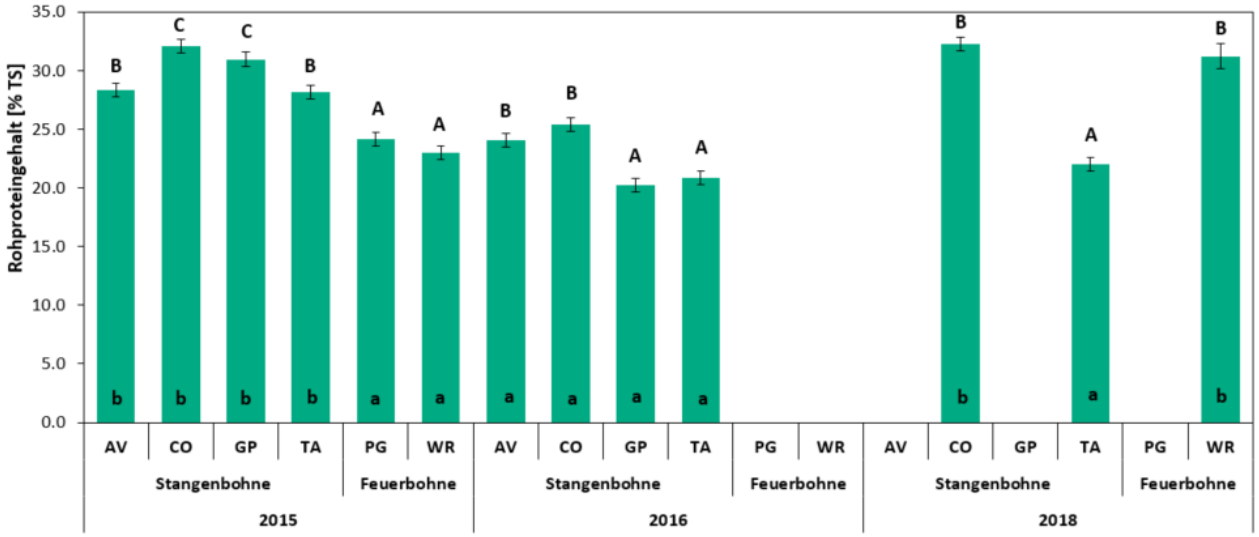


Abb. 16: Rohproteingehalte der Samen der reinen Bohnenvarianten (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) des Sortenversuchs. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb desselben Jahres. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren innerhalb derselben Variante.

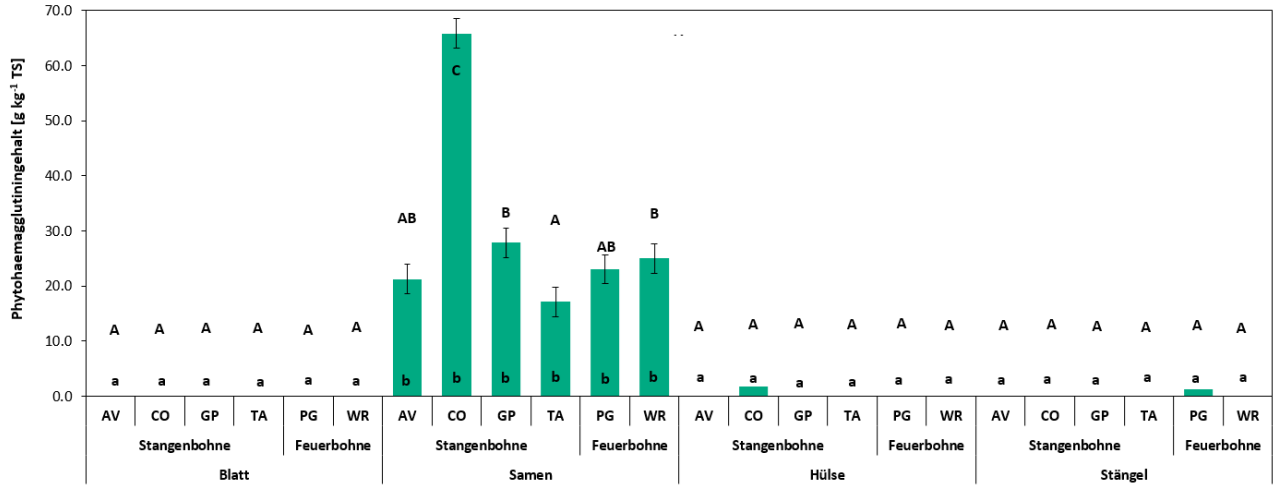


Abb. 17: Phytohaemagglutiningehalte der Pflanzenorgane der Bohnenvarianten (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) des Sortenversuchs 2015. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb desselben Pflanzenorgans. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Organen innerhalb derselben Variante.

Die Tanningehalte in den Organen unterschieden sich signifikant, dies trifft für die vier untersuchten Jahre zu. In den Blättern wurden jeweils die höchsten Gehalte gemessen mit Ausnahme der Feuerbohne Preisgewinner, für die 2014 und 2015 in den Samen signifikant höhere Gehalte analysiert wurden und der Stangenbohne Anellino verde 2016, die ebenso in den Samen signifikant höhere Gehalte aufwies (30,6 vs. 16,8 g kg^{-1} TS). In Blättern wurden Gehalte zwischen 7 bis 20 g kg^{-1} TS gemessen. In den Blättern der Weißen Riesen wurde 2014 mit 53 g kg^{-1} TS der höchste Gehalt aller Jahre und aller Varianten analysiert, wohingegen 2015 bei dieser Variante der geringste Gehalt mit 7 g kg^{-1} TS festgestellt wurde. In den Samen variierten die Gehalte zwischen 0,4 bis 30 g kg^{-1} TS, wobei 2014 (0,1 Weiße Riesen – 2,3 g kg^{-1} TS Preisgewinner) und 2018 (0,6

Tarbais – 3 g kg^{-1} TS Cobra) die geringsten Gehalte gemessen wurden. Die Hülsen wiesen Gehalte von 0,1 bis 0,3 g kg^{-1} TS in 2014, 3,8 bis 7 g kg^{-1} TS in 2015, 1,9 bis 4,6 g kg^{-1} TS in 2016 und 1,8 bis 3,0 g kg^{-1} TS in 2018 auf. Abb. 18 zeigt beispielhaft die Tannin-Gehalte der Pflanzenorgane für das Jahr 2016, wobei deutlich wird, dass die Hülsen und die Stängel die geringsten Tanningehalte aufwiesen, die sich zwischen den Varianten nicht signifikant unterschieden.

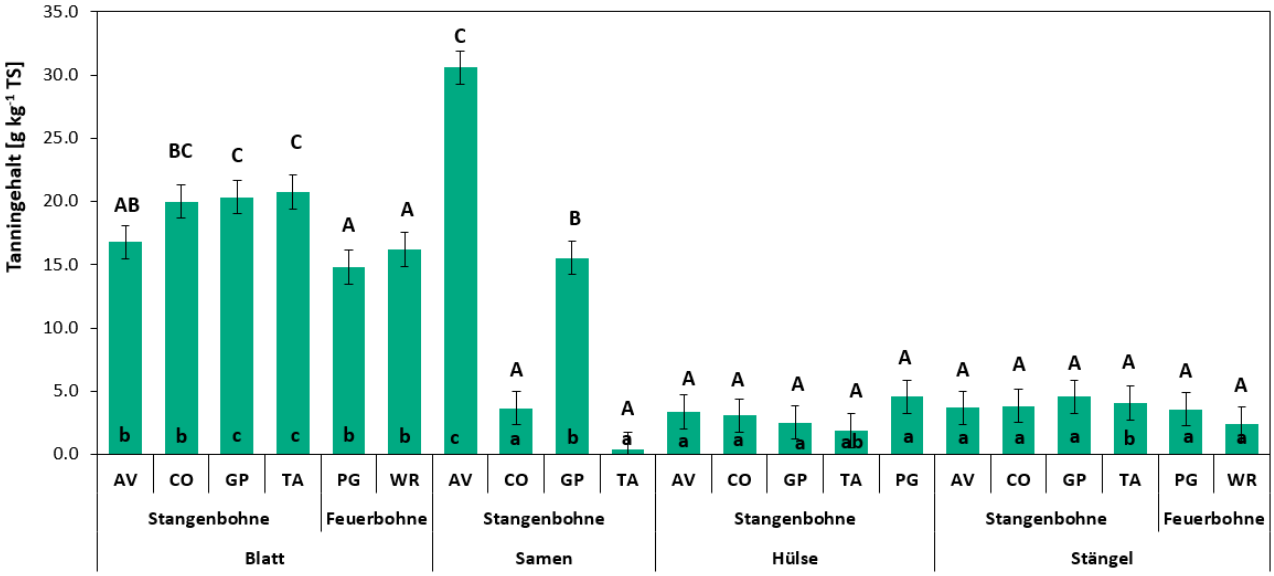


Abb. 18: Tanningehalte der Pflanzenorgane der Bohnenvarianten (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) des Sortenversuchs 2016. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb desselben Pflanzenorgans. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Organen innerhalb derselben Variante.

α-Galactoside

Die Untersuchungen zu den α-Galactosiden zeigen, dass der Fünffachzucker Verbascose nur in den Samen der Stangenbohne Cobra 2016 mit 1,2 g kg^{-1} TS nachgewiesen werden konnte. In allen anderen Pflanzenorganen aller Varianten der weiteren Untersuchungsjahre lagen die Gehalte unterhalb der Nachweisgrenze (NWG: 0,3 g kg^{-1}). Die Stachyose-Gehalte lagen in den Samen signifikant höher als in Blättern, Hülsen und Stängeln. Wie Abb. 19 für 2016 zeigt, wurden die signifikant höchsten Gehalte mit 24,6 g kg^{-1} TS in den Samen der Stangenbohne Cobra analysiert, die geringsten Gehalte in den Samen von Anellino verde mit 1,1 g kg^{-1} TS, die sich auch nicht signifikant vom Gehalt in Stängeln unterschieden. Hülsen und Blätter wiesen Gehalte unterhalb der NWG (0,4 g kg^{-1}) auf. Auch in den Jahren 2014 und 2015 lagen die Stachyose-Gehalte in Hülsen und Blättern unterhalb der NWG, in 2018 wurde Stachyose lediglich in Spuren nachgewiesen. Auch das Oligosaccharid Raffinose wurde in Hülsen und Stängeln entweder nur in sehr geringen Konzentrationen nachgewiesen (2016: Anellino verde 1,3 g kg^{-1} TS) oder lag unterhalb der NWG (0,5 g kg^{-1}) (2014, 2015). In den Blättern wurden 2016 Konzentrationen von 0,5 (Preisgewinner) bis 6,3 g kg^{-1} TS (Anellino verde) analysiert. 2015 variierten die Gehalte in den Blättern zwischen 0,7 (Weiße Riesen, Preisgewinner) und 4 g kg^{-1} TS (Grünes Posthörnchen). Die Gehalte in den Samen lagen zwischen 0,6 (Tarbais 2015) und 14,5 g kg^{-1} TS (Grünes Posthörnchen 2014), wobei sie in den untersuchten Jahren stark schwankten.

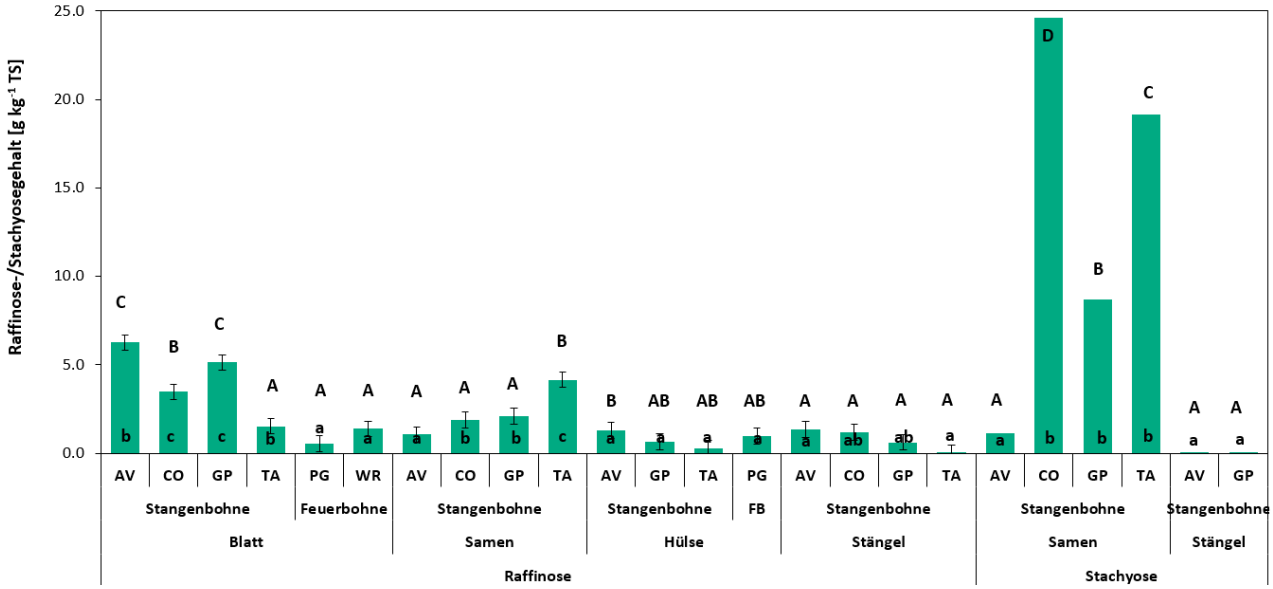


Abb. 19: Oligosaccharidgehalte der Pflanzenorgane der Bohnenvarianten (AV=Anellino verde, CO=Cobra, GP=Grünes Posthörnchen, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, WR=Weiße Riesen) des Sortenversuchs 2016. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb desselben Pflanzenorgans. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Organen innerhalb derselben Variante.

4.1.2 Aussaatstärkenversuch am Standort Trenthorst

Im Frühjahr lagen die Phosphorgehalte in allen Versuchsjahren in der Gehaltsklasse C. Im Gegensatz dazu lagen die Kaliumgehalte, mit Ausnahme des Jahres 2018, in der Gehaltsklasse B. Die Magnesiumgehalte lagen in der Gehaltsklasse C (2014, 2015) bis D (2016, 2018). Der pH-Wert lag in allen Jahren in der Gehaltsklasse C und zeigte, ebenso wie der C_t- und N_t-Gehalt keine relevanten Unterschiede zwischen den Jahren. Im Frühjahr 2018 waren die N_{min}-Gehalte in allen drei Bodenschichten etwas geringer als in den Vorjahren (Tab. 22).

Tab. 22: Bodenkennwerte im Oberboden (0–30 cm Tiefe) zum Versuchsbeginn des Aussaatstärkenversuches. Die Angabe der Gehaltsklassen für die Parameter Phosphor, Kalium, Magnesium und pH-Wert basiert auf den ‚Empfehlungen zur Grunddüngung' der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Stand Februar 2018).

Merkmal	Einheit	Tiefe	2014		2015		2016		2018	
			Boden	Klasse	Boden	Klasse	Boden	Klasse	Boden	Klasse
P	[mg P kg^{-1} Boden]	0–30cm	64,7	C	48,1	C	53,5	C	80,7	C
K	[mg K kg^{-1} Boden]	0–30cm	104,9	B	77,4	B	77,8	B	131,8	C
Mg	[mg Mg kg^{-1} Boden]	0–30cm	64,6	C	64,4	C	108,1	D	101,7	D
pH		0–30cm	6,6	C	6,4	C	6,6	C	6,5	C
C_t	[%]	0–30cm	1,4	.	1,2	.	1,5	.	1,4	.
N_t	[%]	0–30cm	0,1	.	0,1	.	0,1	.	0,1	.
N_{min}	[kg ha^{-1}]	0–30cm	.	.	74,4	.	63,7	.	53,1	.
		30–60cm	.	.	22,4	.	27,7	.	12,5	.
		60–90cm	.	.	17,2	.	10,5	.	4,1	.

Herbst-N_{min}

Bei den N_{min}-Proben zur Ernte zeigte sich für den Oberboden (0–30cm) ein signifikanter Einfluss der Variante (Abb. 20, links: p<0,0001) sowie der Jahre (Abb. 20, rechts: p<0,0001), wohingegen im Unterboden (30–60cm) nur ein signifikanter Jahreseffekt (p<0,0001) nachgewiesen werden konnte. Der höchste N_{min}-Gehalt von 23 kg ha^{-1} zur Ernte wurde in der Maiskontrolle gefunden, die sich signifikant von den anderen Varianten, mit Ausnahme von TA6 unterschied. Im Gegensatz dazu wurden die geringsten Gehalte von 15-16 kg ha^{-1} in den Gemengevarianten mit der Feuerbohne Preisgewinner gefunden, deren Gehalte signifikant geringer waren, als die der Varianten TA6, TA9 und der Maiskontrolle. Die N_{min}-Gehalte der Gemenge mit der Stangenbohne Tarbais lagen bei 17-20 kg ha^{-1}. Vergleichbar zu den Gemengen mit der Feuerbohne konnten auch hier keine Unterschiede zwischen den Saatdichten nachgewiesen werden. Der Vergleich der Jahre zeigte, dass die höchsten Gehalte von 28 kg ha^{-1} im Jahr 2015 gefunden wurden, während die signifikant geringsten Gehalte von 13-14 kg ha^{-1} in den Jahren 2014 und 2016 erfasst wurden. In der Tiefe 30–60cm wurde der signifikant höchste Gehalt ebenfalls im Jahr 2015 erfasst, während die Werte in den anderen Jahren bei 2 kg ha^{-1} lagen.

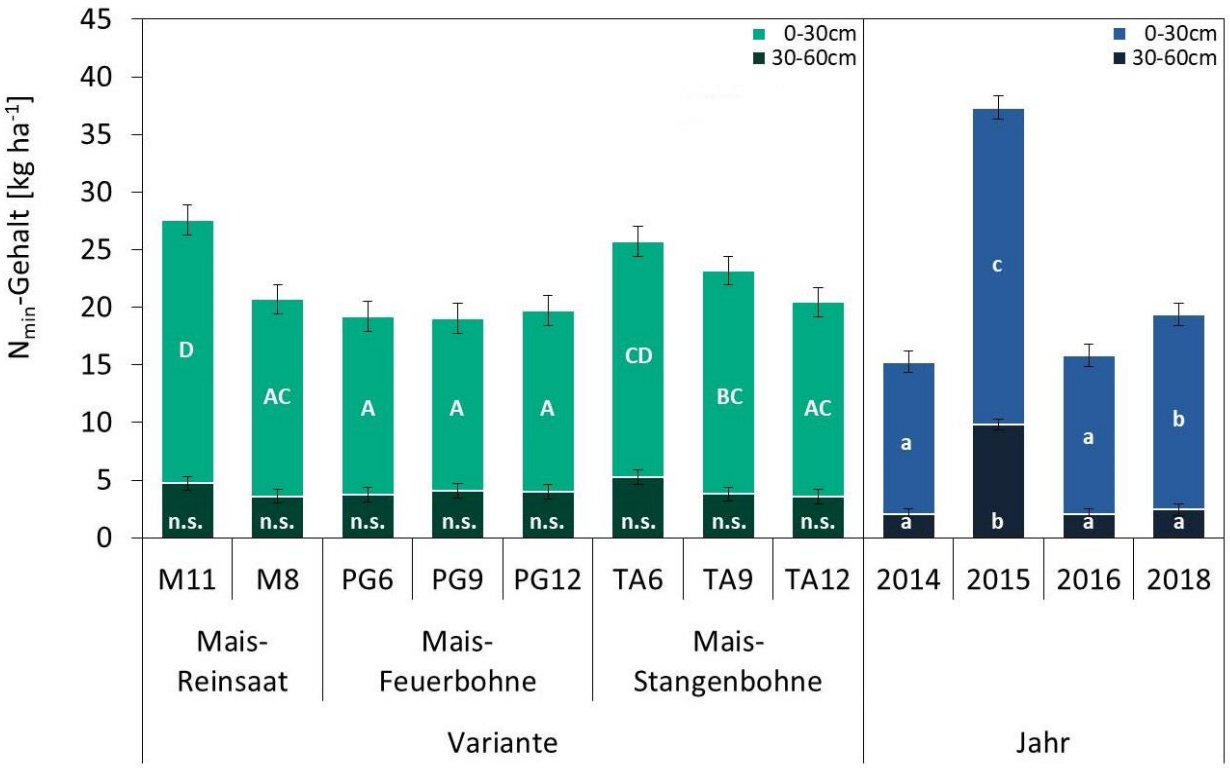


Abb. 20: N_{min}-Gehalte im Aussaatstärkenversuch in den Tiefen 0–30cm und 30–60cm nach der Ernte des Aussaatstärkenversuches in Abhängigkeit der Varianten (links: M11=Maiskontrolle, 11 Körner m^{-2}, M8=Mais, reduziert, 8 Körner m^{-2}, PG=Preisgewinner, TA=Tarbais, 6=6 Körner m^{-2}, 9=9 Körner m^{-2}, 12=12 Körner m^{-2}) und der Jahre (rechts). LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben.

4.1.2.1 Pflanzenbauliche Ergebnisse

Der Feldaufgang vom Mais lag in allen Jahren und Varianten in einem Bereich von 90–100%. Im Vergleich hierzu lag auch der Feldaufgang der Bohnen in den Jahren 2014–2016 in diesem Bereich, während 2018 ein etwas geringerer Feldaufgang der Bohnen von 80% erfasst wurde.

In den Jahren 2014 und 2015 lagen die TS-Gehalte zur Ernte in dem für die Silierung empfohlenen Bereich von 30–37% TS (Spiekers, 2011), wohingegen in den Jahren 2016 und 2018 etwas höhere TS-Gehalte von 40% erreicht wurden.

Gesamtertrag

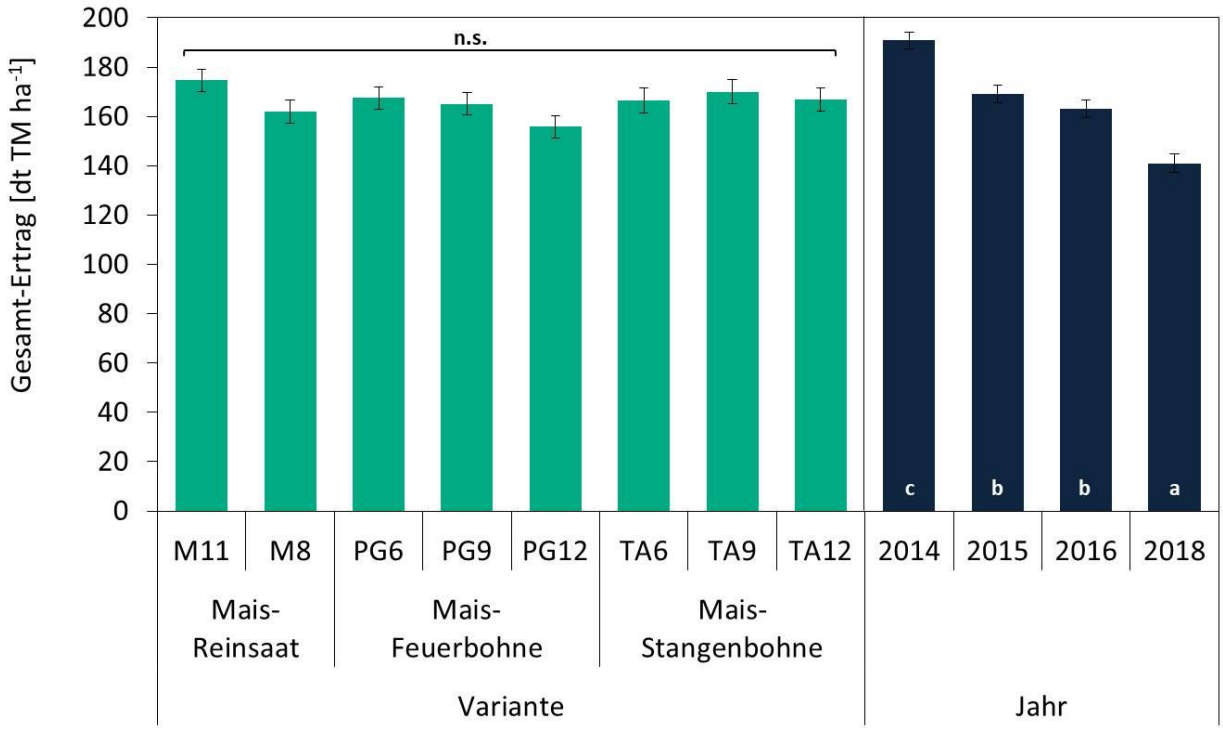


Abb. 21: Gesamtertrag in den Mais-Reinsaaten (M11=Maiskontrolle, 11 Körner m^{-2}, M8=Mais, reduziert, 8 Körner m^{-2}) und den Mais-Bohnen-Gemengen (PG=Preisgewinner, TA=Tarbais, 6=6 Körner m^{-2}, 9=9 Körner m^{-2}, 12=12 Körner m^{-2}) im Aussaatstärkenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): n.s. = nicht signifikant, LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren.

Der Gesamtertrag (Abb. 21) lag bei durchschnittlich 166 dt TM ha^{-1}, wobei keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten gefunden wurden. Im Gegensatz dazu ergaben sich jedoch signifikante Jahreseffekte ($p<0,0001$). Der höchste Gesamtertrag von 191 dt TM ha^{-1} wurde im Jahr 2014 erzielt, wohingegen der geringste Gesamtertrag von 141 dt TM ha^{-1} im Jahr 2018 erfasst wurde.

Maisertrag

Im Gegensatz zum Gesamtertrag ergaben sich für den Maisertrag sowohl signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Abb. 22, links: $p<0,0001$), als auch zwischen den Jahren (Abb. 22, rechts: $p<0,0001$).

Der signifikant höchste Maisertrag von 175 dt TM ha^{-1} wurde von der Maiskontrolle erzielt, während der Mais in reduzierter Saatdichte und den Gemengen um 15 dt TM ha^{-1} geringer ausfiel. Der geringste Maisertrag von 141 dt TM ha^{-1} wurde im Gemenge mit der Stangenbohnenvariante TA12 erfasst, der signifikant unter den Erträgen der anderen Varianten, mit Ausnahme von TA9, lag. Vergleichbar zum Gesamtertrag wurde im Jahr 2014 der höchste Maisertrag von 181 dt TM ha^{-1} erzielt, wohingegen der geringste Maisertrag von 138 dt TM ha^{-1} im Jahr 2018 erfasst wurde.

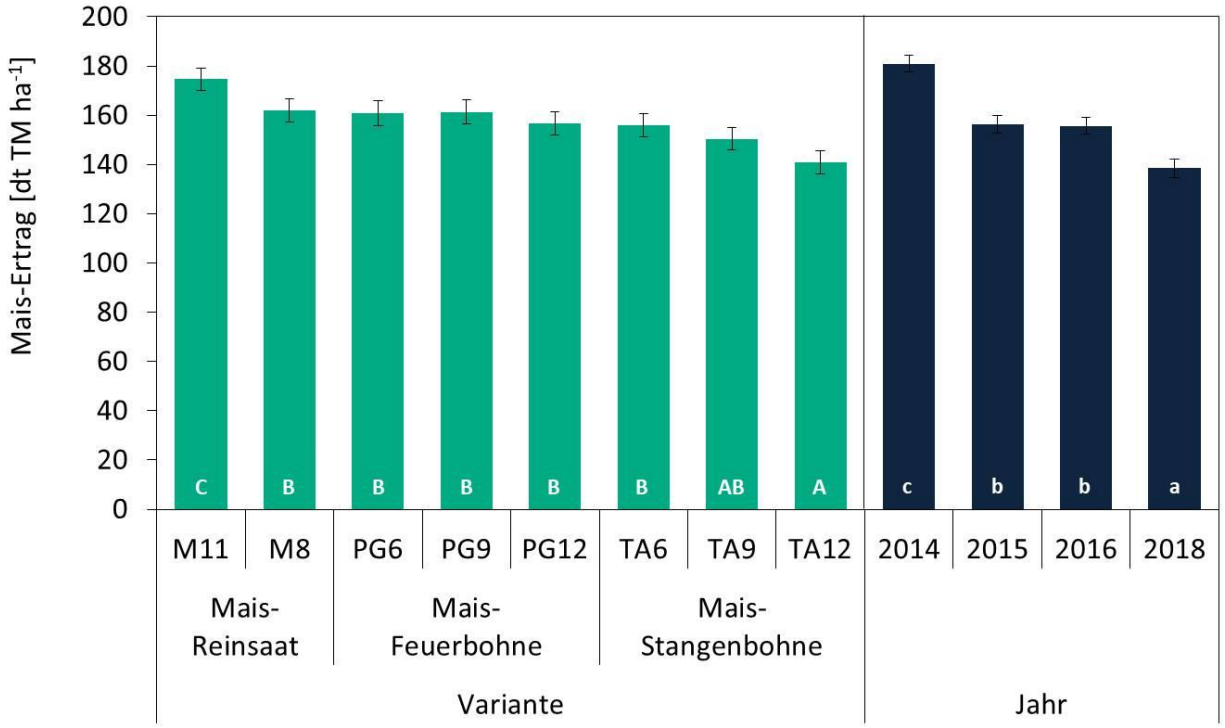


Abb. 22: Maisertrag in den Mais-Reinsaaten (M11=Maiskontrolle, 11 Körner m^{-2}, M8=Mais, reduziert, 8 Körner m^{-2}) und den Mais-Bohnen-Gemengen (PG=Preisgewinner, TA=Tarbais, 6=6 Körner m^{-2}, 9=9 Körner m^{-2}, 12=12 Körner m^{-2}) im Aussaatstärkenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren.

Vergleich zwischen den Bohnenarten unter Berücksichtigung der Saatdichte

Während der direkte Vergleich zwischen den beiden Bohnengemengen für den Gesamtertrag nur signifikante Jahreseffekte ergeben hat, wurden für den Maisertrag signifikante Unterschiede zwischen den Bohnenarten (p=0,0019), den Saatdichten (p=0,0433) und den Jahren (p <0,0001) gefunden. Im Gemenge mit der Feuerbohne wurde ein signifikant höherer Mais-Ertrag (159 dt TM ha^{-1}) erzielt als im Gemenge mit der Stangenbohne (149 dt TM ha^{-1}). Gleichermaßen führte die Erhöhung der Saatdichte von 6 Kö m^{-2} auf 12 Kö m^{-2} zu einer signifikanten Minderung des Maisertrages um 10 dt TM ha^{-1}.

Der Bohnen-Ertrag im Gemenge wurde signifikant durch die Wechselwirkung Bohnenart x Jahr (Abb. 23, links: p=0,0206) sowie durch die Saatdichte der Bohne (Abb. 23, rechts: p=0,0035) beeinflusst. In den Jahren 2014 und 2015 erzielte die Stangenbohne einen signifikant höheren Ertrag von 19-20 dt TM ha^{-1} als die Feuerbohne (8 bzw. 14 dt TM ha^{-1}), wohingegen in den Jahren 2016 und 2018 kein signifikanter Unterschied der Bohnenerträge in Abhängigkeit der Bohnenart gefunden wurde. Die Feuerbohne erzielte den signifikant höchsten Bohnenertrag von 14 dt TM ha^{-1} im Jahr 2015, während der signifikant geringste Ertrag von 2 dt TM ha^{-1} im Jahr 2018 erfasst wurde. Ebenso wurde der geringste Bohnenertrag der Stangenbohne im Jahr 2018 erfasst, während die signifikant höchsten Bohnenerträge in den Jahren 2014 und 2015 gefunden wurden. In der geringsten Saatdichte der Bohnen von 6 Körnern m^{-2} war der Bohnenertrag 4-5 dt TM ha^{-1} geringer als in den Saatdichten von 9 bzw. 12 Körnern m^{-2}.

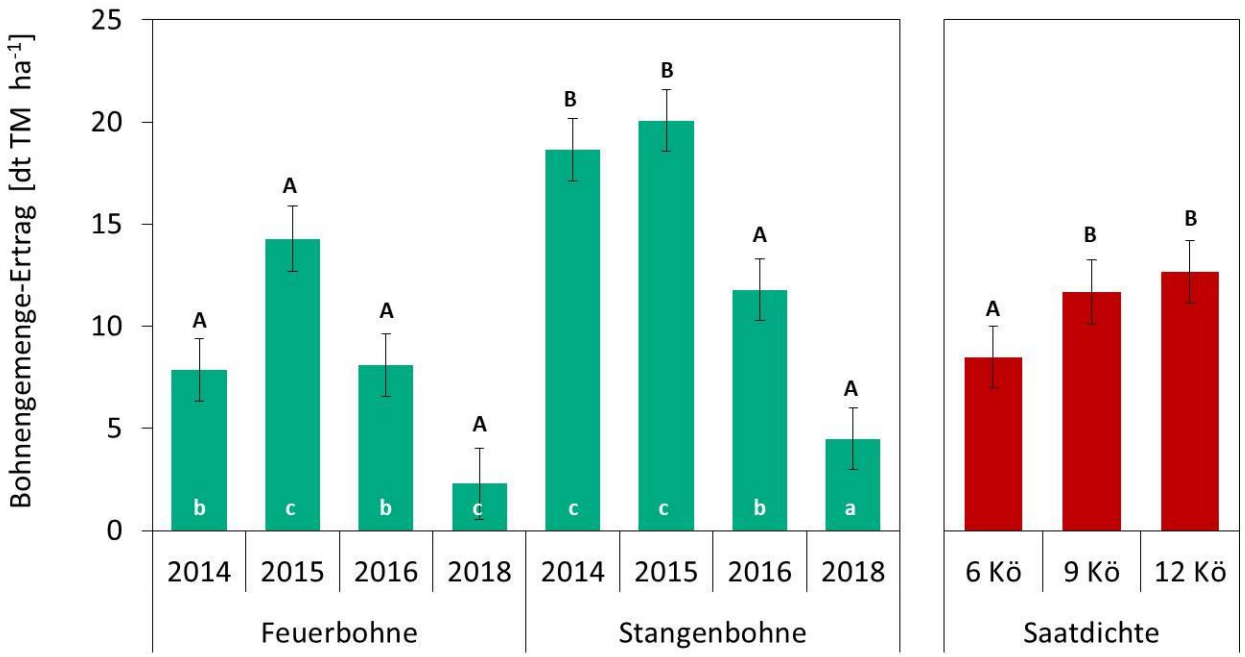


Abb. 23: Bohnenertrag im Gemengeanbau des Aussaatstärkenversuchs in Abhängigkeit der Wechselwirkung Bohnenart x Jahr (link) und der Saatdichte der Bohnen (rechts). LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Bohnenarten innerhalb desselben Jahres (links) bzw. den Saatdichten (rechts). LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren innerhalb derselben Bohnenart.

Der Bohnen-Ertrag in den Reinsaaten wurde signifikant durch die Wechselwirkung Bohnenart x Jahr (Abb. 24, links: p=0,0087) sowie durch die Saatdichte der Bohne (Abb. 24, rechts: p=0,0163) beeinflusst. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Erträgen der beiden Bohnenarten wurde nur im Jahr 2018 festgestellt. Die Stangenbohne erzielte einen Bohnenertrag von 57 dt TM ha^{-1}, während der Ertrag der Feuerbohne bei 46 dt TM ha^{-1} lag. Beide Bohnenreinsaaten erzielten die signifikant höchsten Erträge in den Jahren 2015 und 2016, wobei die Feuerbohne mit 83 bzw. 89 dt TM ha^{-1} einen höheren Ertrag realisierte als die Stangenbohne, deren Erträge bei 73 bzw. 81dt TM ha^{-1} lagen. Der Ertrag der Stangenbohne in Reinsaat im Jahr 2018 war um 20 dt TM ha^{-1} und im Jahr 2014 um 30 dt TM ha^{-1} geringer als in den Jahren 2015 und 2016. Bei der Feuerbohne lag die Ertragsminderung in den Jahren 2014 und 2018 bei 40 dt TM ha^{-1}. Die Erhöhung der Saatdichte führte auch in Reinsaat zu höheren Bohnenerträgen, wobei in der höchsten Saatdichte von 12 Körner m^{-2} mit 69 dt TM ha^{-1} ein signifikant höherer Ertrag erzielt wurde als in der geringsten Saatdichte von 6 Körner m^{-2} (60 dt TM ha^{-1}).

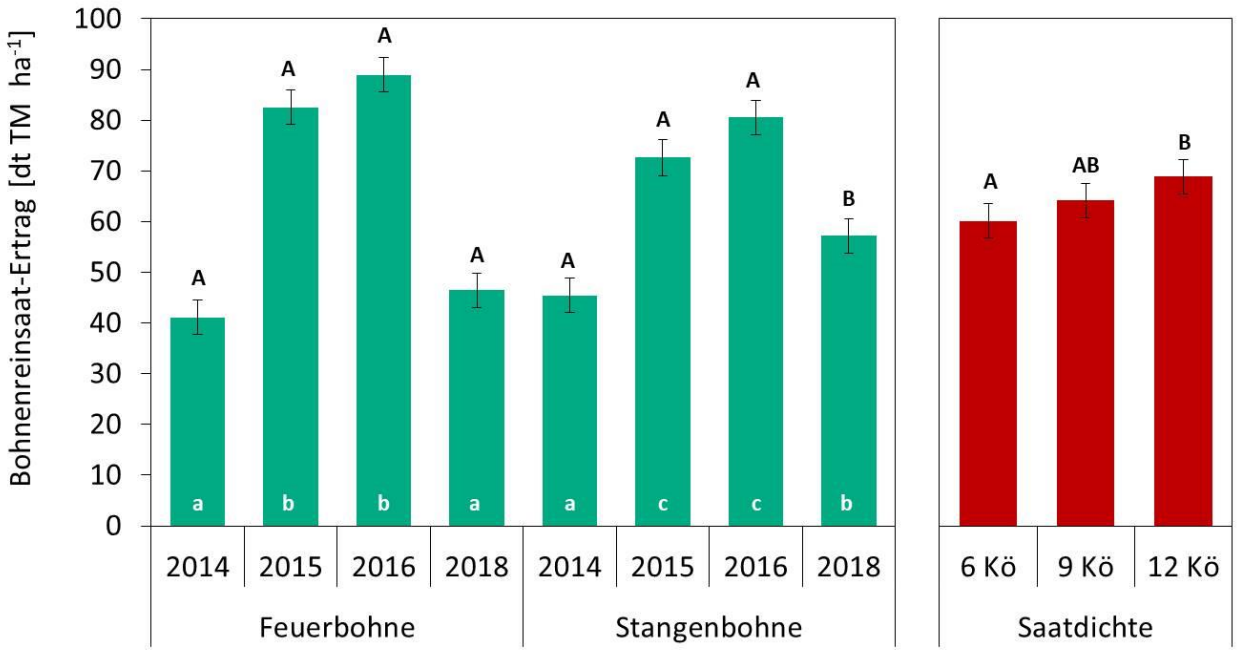


Abb. 24: Bohnenertrag in den Reinsaaten des Aussaatstärkenversuchs in Abhängigkeit der Wechselwirkung Bohnenart x Jahr (links) und der Saatdichte der Bohnen (rechts). LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Bohnenarten innerhalb desselben Jahres (links) bzw. den Saatdichten (rechts). LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren innerhalb derselben Bohnenart.

Blattmasse der Bohnen

Während keine Unterschiede zwischen den Blattmassen der Feuerbohnengemenge in den drei Saatdichten gefunden wurden, ergaben sich signifikante Unterschiede bei den Stangenbohnengemengen. Die höchste Blattmasse wurde für die Stangenbohne in der höchsten Saatdichte (TA12: 5,5) erfasst, die sich signifikant von den Feuerbohnen (PG6: 4,1/PG9: 4,3/PG12: 4,7) unterschied. In der mittleren Saatdichte von 9 Kö m^{-2} erzielte die Stangenbohne eine signifikant höhere Blattmasse (5,3) als die Feuerbohnenvarianten PG6 und PG9. Die Stangenbohne in der geringsten Saatdichte von 6 Kö m^{-2} hatte eine signifikant geringere Blattmasse von 4,6 als die Stangenbohnen in den beiden höheren Saatdichten.

Wuchshöhe Mais und Bohne

Die Wuchshöhen von Mais und Bohne zur Maisblüte zeigten keine Unterschiede zwischen den Varianten, während sich die Wuchshöhen zwischen den Jahren signifikant unterschieden ($p<0,0001$). Der Mais erreichte eine durchschnittliche Wuchshöhe von 268 cm mit einer Spanne von 233 cm (2018) bis 290 cm (2016). Im Gegensatz dazu lag die durchschnittliche Wuchshöhe der Bohnen bei 150 cm mit einer Spanne von 105 cm (2018) bis 172 cm (2014).

Unkrautdeckungsgrad

Der Unkrautdeckungsgrad (Tab. 23) wurde signifikant durch die Wechselwirkung Variante x Jahr ($p=0,0048$) beeinflusst. Im Jahr 2014 wurde der höchste Unkraut-Deckungsgrad im Mais mit reduzierter Saatdichte (M8: 30%) erfasst, der signifikant höher war als der Unkraut-Deckungsgrad der Maiskontrolle (M11: 14%). Im Gegensatz dazu konnten keine signifikanten Unterschiede

zwischen den Gemengen (21%) und den Mais-Reinsaaten nachgewiesen werden. Im Jahr 2015 erzielten die Gemenge einen signifikant geringeren Unkraut-Deckungsgrad (27%) gegenüber den Mais-Reinsaaten (M11: 54%, M8: 62%). Im Jahr 2016 waren die Unkrautdeckungsgrade der Stangenbohnengemenge TA9 und TA12 signifikant geringer als die Deckungsgrade der Mais-Reinsaaten (M11: 56%, M8: 55%). Dabei war der Unkraut-Deckungsgrad der Variante TA9 ebenfalls signifikant zu den übrigen Gemengevarianten, mit Ausnahme der Variante TA12. Im Gegensatz dazu konnten im Jahr 2018, aufgrund des sehr geringen Unkrautvorkommens (4-14%), keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten nachgewiesen werden. Die Unkraut-deckungsgrade in diesem Jahr waren zudem signifikant geringer als in den anderen Versuchs-jahren, mit Ausnahme der Variante PG6 in den Jahren 2014 und 2015 sowie PG12 und M11 im Jahr 2014.

Tab. 23: Unkrautdeckungsgrade in reinem Mais und unterschiedlichen Mais-Bohnen-Gemengen im Aussaatstärkenversuch in den Versuchsjahren 2014, 2015, 2016 und 2018.

		2014			**2015**			**2016**			**2018**		
	Variante	LSM ± SEM	Var.	Jahr	LSM ± SEM	Var.	Jahr	LSM ± SEM	Var.	Jahr	LSM ± SEM	Var.	Jahr
Mais-Reinsaat	M11	14% ± 5%	A	a	54% ± 5%	B	b	56% ± 5%	C	b	10% ± 5%	A	a
	M8	30% ± 5%	B	b	62% ± 5%	B	c	55% ± 5%	C	c	10% ± 5%	A	a
Mais-Feuerbohne	PG6	20% ± 5%	AB	b	31% ± 5%	A	b	49% ± 5%	BC	c	5% ± 6%	A	a
	PG9	23% ± 5%	AB	a	26% ± 5%	A	a	50% ± 5%	BC	b	14% ± 6%	A	a
	PG12	19% ± 5%	AB	ab	24% ± 5%	A	b	44% ± 5%	BC	c	6% ± 6%	A	a
Mais-Stangenbohne	TA6	22% ± 5%	AB	b	32% ± 5%	A	bc	44% ± 5%	BC	c	8% ± 5%	A	a
	TA9	22% ± 5%	AB	b	27% ± 5%	A	b	28% ± 5%	A	b	7% ± 5%	A	a
	TA12	20% ± 5%	AB	b	24% ± 5%	A	b	40% ± 5%	AB	c	4% ± 5%	A	a

N_2-Fixierung der Bohnen im Gemengeanbau

Die N-Fixierleistung (Abb. 25) der Bohnen im Gemengeanbau der Jahre 2015 und 2016 wurde signifikant durch die Art ($p<0,0001$) sowie die Saatdichte ($p=0,0438$) beeinflusst. Während die Stangenbohne (Pv) zur Ernte eine Fixierleistung von 16,75 kg ha^{-1} aufwies, lag die Fixierleistung der Feuerbohne (Pc) bei 3,66 kg ha^{-1}. Bei den Saatdichten von 6 bzw. 9 Körnern m^{-2} lag die N-Fixierung bei 7,46 kg ha^{-1} bzw. 8,65 kg ha^{-1}, während in der höchsten Saatdichte eine Fixierleistung von 14,51 kg ha^{-1} erzielt wurde.

Die NDFA wies für die beiden Phaseolus-Arten (P_C 0,29 (A), P_V 0,50 (B)) sowie die Jahre (2015 0,24 (A), 2016 0,55 (B)) signifikante Unterschied auf. Die höhere N-Fixierleistung liegt somit an dem höheren Bohnenertrag.

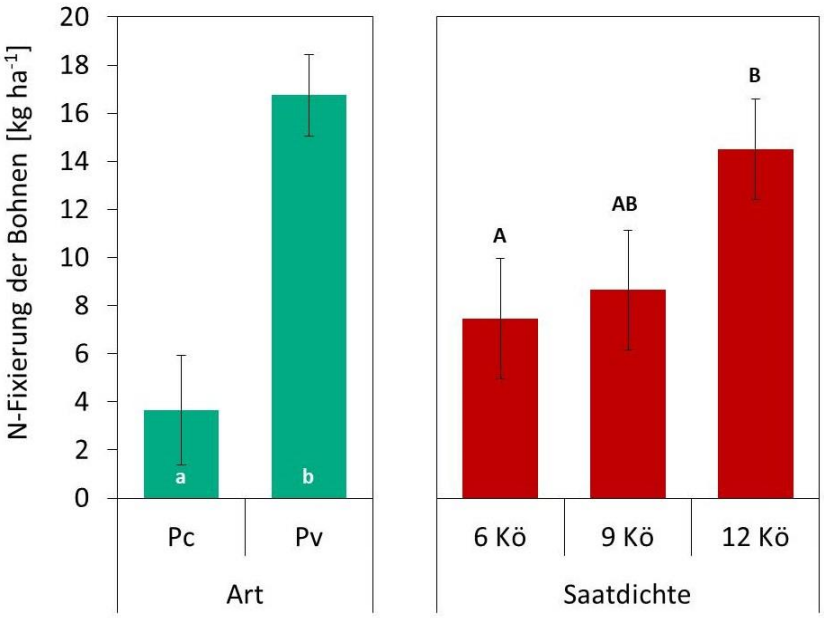


Abb. 25: N-Fixierung der Bohnen im Gemengeanbau mit Mais im Aussaatstärkenversuch. Vergleich zwischen den Bohnen-Arten (links: Pv = *P. vulgaris*, PC = *P. coccineus*) bzw. Saatdichten (rechts: 6 Kö = 6 Körner m^{-2}, 9 Kö = 9 Körner m^{-2}, 12 Kö = 12 Körner m^{-2}) der Bohnen im Mittel der Jahre 2015 und 2016. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Arten. LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Saatdichten.

4.1.2.2 Rohnährstoffe

Die XP-Gehalte der untersuchten Jahre unterschieden sich signifikant, wobei 2015 mit 8,5% die höchsten Gehalte gemessen wurden im Vergleich zu 6,1% 2016 und 5,4% 2018. Auch die Saatdichte hatte einen signifikanten Einfluss auf die XP-Gehalte (Abb. 26).

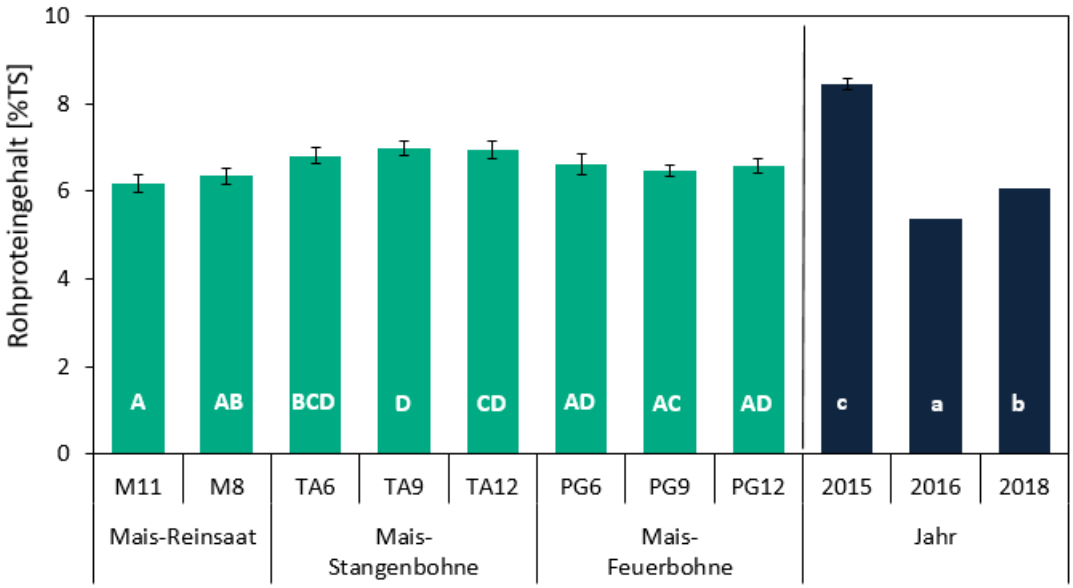


Abb. 26: Rohproteingehalte der Mais-Reinsaaten (M11=Maiskontrolle, 11 Körner m^{-2}, M8=Mais, reduziert, 8 Körner m^{-2}) und der Mais-Bohnen-Gemenge (TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, 6=6 Körner m^{-2}, 9=9 Körner m^{-2}, 12=12 Körner m^{-2}) im Aussaatstärkenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren.

Die XA-Gehalte wurden ebenso wie die XL- und die XF-Gehalte signifikant von der Wechselwirkung zwischen Jahr und Variante beeinflusst. Die XS-Gehalte in den Untersuchungsjahren unterschieden sich signifikant Tab. 24. Die höchsten Gehalte wurden 2016 mit 36,5% erzielt, 2018 waren es 35,7% und 2015 32,5%. Auch die XZ-Gehalte der Jahre unterschieden sich signifikant mit 3,3% im Jahr 2015, 6,0% 2016 und 7,5% 2018.

Tab. 24: Rohnährstoffgehalte inkl. Stärke und Zucker der Mais-Reinsaaten (M11=Maiskontrolle, 11 Körner m^{-2}, M8=Mais, reduziert, 8 Körner m^{-2}) und der Mais-Bohnen-Gemenge (TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, 6=6 Körner m^{-2}, 9=9 Körner m^{-2}, 12=12 Körner m^{-2}) im Aussaatstärkenversuch.

	Variante	XP	XA	XL	XF	XS	XZ
				%TS			
			2015				
Mais-Reinsaat	M11	7,8	3,4	2,6	18,9	34,1	3,7
	M8	8,1	3,4	2,8	17,5	34,6	2,6
Mais-Stangenbohne	TA6	8,9	3,8	2,5	21,6	31,7	3,1
	TA9	8,8	3,9	2,6	20,7	32,1	3,5
	TA12	9,0	3,9	2,5	19,3	31,2	3,4
Mais-Feuerbohne	PG6	8,3	3,9	2,5	18,2	32,9	2,1
	PG9	8,4	3,9	2,7	19,0	31,4	4,1
	PG12	8,3	3,8	2,3	20,2	32,2	3,7
			2016				
Mais-Reinsaat	M11	5,3	3,5	2,9	17,6	36,7	5,6
	M8	5,2	3,7	2,9	18,1	34,8	6,1
Mais-Stangenbohne	TA6	5,5	3,3	2,8	16,9	36,9	6,0
	TA9	5,7	3,8	2,4	17,8	35,8	5,0
	TA12	5,5	3,7	2,4	16,7	37,5	6,1
Mais-Feuerbohne	PG6	5,2	3,5	2,9	18,0	36,3	6,4
	PG9	5,2	3,7	2,6	18,2	36,0	6,1
	PG12	5,3	3,7	2,9	18,0	34,8	6,5
			2018				
Mais-Reinsaat	M11	5,5	3,2	2,8	16,4	36,8	6,7
	M8	5,8	3,1	3,1	16,4	37,3	6,8
Mais-Stangenbohne	TA6	6,0	3,4	2,8	17,2	34,6	7,8
	TA9	6,5	3,5	2,9	15,6	38,0	7,5
	TA12	6,4	3,5	2,9	15,7	36,2	7,4
Mais-Feuerbohne	PG6	6,4	3,6	2,7	16,4	34,7	9,2
	PG9	5,9	3,3	3,0	16,9	36,0	6,6
	PG12	6,2	3,4	2,7	17,5	31,9	8,4

Für den Rohprotein-Ertrag lagen Wechselwirkungen von Variante x Jahr vor. Die Ergebnisse sind in Abb. 27 dargestellt sind. Im Jahr 2014 waren die Rohproteinerträge in den Gemengevarianten oftmals höher als in der Mais-Kontrolle. In 2015 konnte dies nur für die Gemenge mit Tarbais beobachtet werden, während in 2016 die Mais-Kontrolle den höchsten Rohproteinertrag aufwies. 2018 waren keine signifikanten Unterschiede vorhanden.

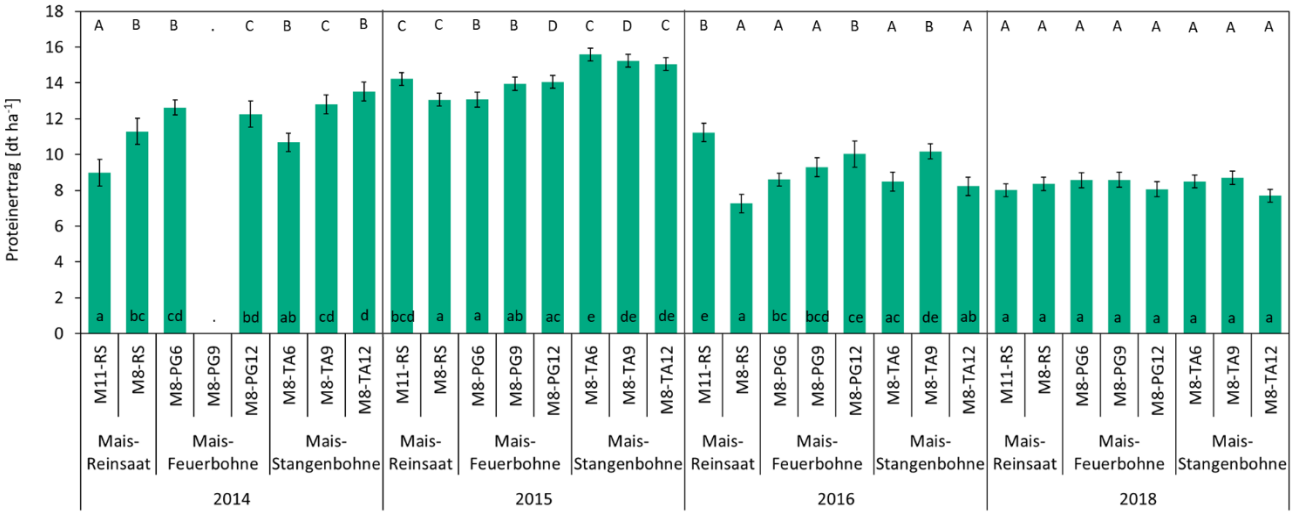


Abb. 27: Rohproteinertrag der Mais-Bohnen-Gemenge im Aussaatstärkenversuch (M=Mais, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, RS=Reinsaat, 8,11=Anzahl Körner Mais m^{-2}, 6,9,12=Anzahl Körner Bohnen m^{-2}). LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten im jeweiligen Jahr, LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren einer Variante.

Für den Stärke-Ertrag (Abb. 28) wurden ebenfalls Wechselwirkungen zwischen Variante und Jahr ausgewiesen. In 2014 zeigten die Varianten mit der Feuerbohne Preisgewinner höhere Stärkeerträge im Vergleich zur Kontrolle M11-RS, nicht aber die Gemenge mit der Stangenbohne Tarbais. In den Jahren 2015 und 2016 war der Stärkeertrag in der Kontrolle M11-RS am höchsten, wohingegen in 2018 keine signifikanten Unterschiede vorhanden waren. Unterschiede zwischen den Aussaatdichten der Bohnen wurden in keinem Jahr ausgewiesen.

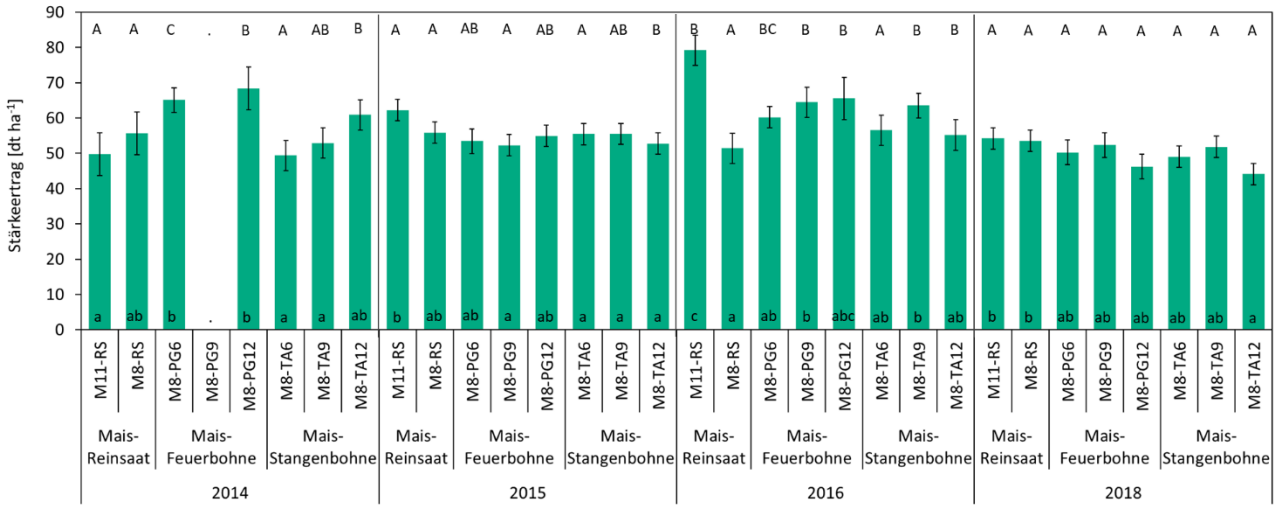


Abb. 28: Stärkeertrag der Mais-Bohnen-Gemenge im Aussaatstärkenversuch (M=Mais, TA=Tarbais, PG=Preisgewinner, RS=Reinsaat, 8,11=Anzahl Körner Mais m^{-2}, 6,9,12=Anzahl Körner Bohnen m^{-2}). LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten im jeweiligen Jahr, LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren einer Variante.

4.1.3 Untersaatenversuch am Standort Trenthorst

Im Frühjahr lagen die Phosphorgehalte im Untersaatenversuch (UV) in der Gehaltsklasse C, während die Kaliumgehalte in der Gehaltsklasse B lagen. Im Jahr 2015 lag der Magnesiumgehalt in der Gehaltsklasse C, während in den anderen Jahren die Gehaltsklasse D erreicht wurde. Der pH-Wert lag in allen Jahren in der Gehaltsklasse C und zeigte, ebenso wie der C_t- und N_t-Gehalt keine relevanten Unterschiede zwischen den Jahren. Der höchste N_{min}-Gehalt im Frühjahr wurde 2015 gefunden, während 2017 der N_{min}-Gehalt im Oberboden gegenüber den Vorjahren reduziert war. Im Unterboden (30–90 cm) waren die Gehalte gegenüber den Vorjahren etwas erhöht.

Tab. 25: Bodenkennwerte im Oberboden (0–30 cm Tiefe) zum Versuchsbeginn des Untersaatenversuches. Die Angabe der Gehaltsklassen für die Parameter Phosphor, Kalium, Magnesium und pH-Wert basiert auf den ‚Empfehlungen zur Grunddüngung' der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Stand Februar 2018).

Merkmal	**Einheit**	**Tiefe**	**2014**		**2015**		**2016**		**2017**	
			Boden	Klasse	Boden	Klasse	Boden	Klasse	Boden	Klasse
P	[mg P kg^{-1} Boden]	0–30cm	.	.	55,1	C	57,0	C	75,8	C
K	[mg K kg^{-1} Boden]	0–30cm	.	.	74,5	B	71,9	B	87,5	B
Mg	[mg Mg kg^{-1} Boden]	0–30cm	.	.	82,4	C	112,1	D	137,9	D
pH		0–30cm	.	.	6,6	C	6,7	C	6,6	C
C_t	[%]	0–30cm	.	.	1,3	.	1,4	.	1,4	.
N_t	[%]	0–30cm	.	.	0,1	.	0,1	.	0,1	.
N_{min}	[kg ha^{-1}]	0–30cm	.	.	74,6	.	53,5	.	43,1	.
		30–60cm	.	.	27,7	.	23,9	.	44,4	.
		60–90cm	.	.	18,3	.	11,5	.	24,4	.

4.1.3.1 Pflanzenbauliche Ergebnisse

Die Maiskontrolle erzielte einen Feldaufgang von 100%, wohingegen der Mais im Gemenge mit der reduzierten Saatdichte einen etwas geringeren Feldaufgang von 90% zeigte. Im Gegensatz dazu lag der Feldaufgang der Bohnen in allen Varianten bei 100%.

In den Jahren 2014 und 2015 lagen die TS-Gehalte zur Ernte in dem für die Silierung empfohlenen Bereich von 30–37% TS (Spiekers, 2011), wohingegen im Jahr 2016 ein etwas höherer TS-Gehalt von 40% erreicht wurden. Im Gegensatz dazu lag der TS-Gehalt der Handernteproben 2017 bei nur 18%.

Gesamtertrag

Für den Gesamtertrag ergab sich eine signifikante Wechselwirkung zwischen den Faktoren Hauptfrucht x Jahr (p=0,0331, Abb. 29). Die Maiskontrolle erzielte Erträge von 179–197 dt TM ha^{-1}, wobei keine signifikanten Unterschiede zwischen den Jahren gefunden wurden. Die Erträge des Gemenges mit der Feuerbohne Preisgewinner lagen, mit Ausnahme von 2016, auf einem vergleichbaren Niveau zur Maiskontrolle. Während das Gemenge Mais-Preisgewinner 2016 eine signifikante Ertragsminderung von 40 dt TM ha^{-1} gegenüber der Maiskontrolle aufwies, führte der Gemengeanbau mit der Stangenbohne Tarbais in allen Versuchsjahren zu signifikanten Ertragsminderungen von 20–30 dt TM ha^{-1} im Vergleich zur Maiskontrolle. In beiden Gemengevarianten wurden die signifikant geringsten Erträge im Jahr 2016 erzielt.

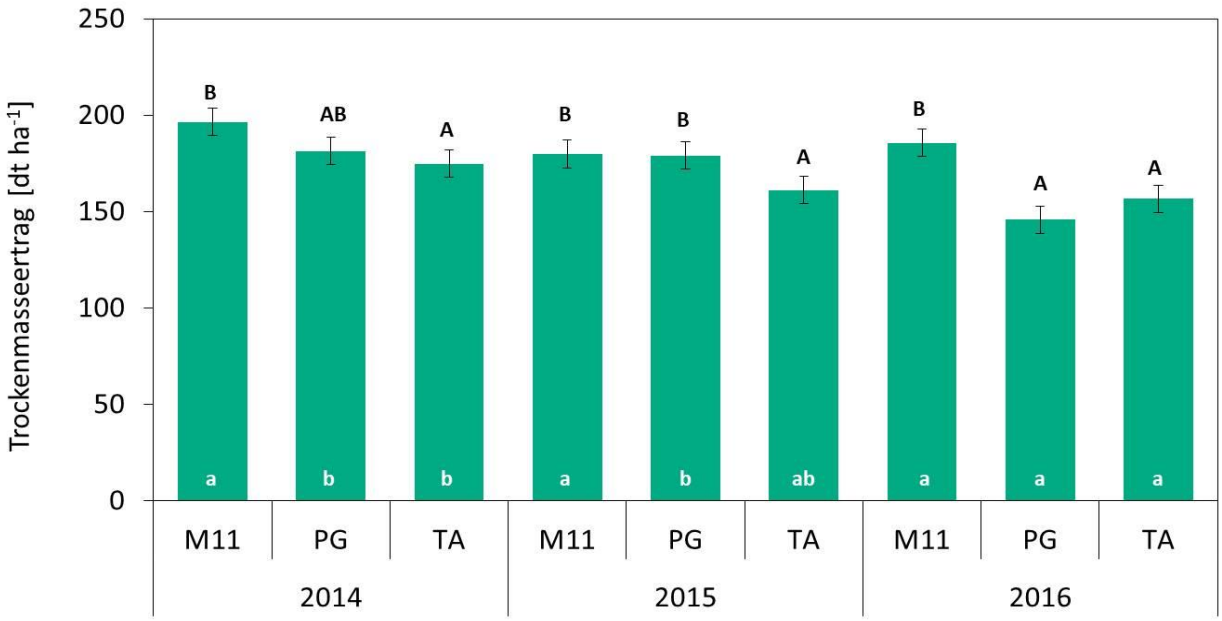


Abb. 29: Gesamtertrag der Maiskontrolle (M11) und der Mais-Bohnen-Gemenge mit der Feuerbohne Preisgewinner (PG) und der Stangenbohne Tarbais (TA) im Untersaatenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Hauptfrüchten innerhalb desselben Jahres. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren innerhalb derselben Hauptfrucht.

Aufgrund der schlechten Bestandesentwicklung infolge der extremen Witterung und der Sturmschäden konnte im Jahr 2017 lediglich eine Handbeerntung der Hauptkulturen durchgeführt werden. Da die Erträge mit 73–106 dt TM ha^{-1}, ebenso wie die TS-Gehalte, außergewöhnlich gering waren, wurden diese in der Auswertung nicht berücksichtigt.

<u>Untersaat-Biomasse</u>

Die Untersaat-Biomasse war signifikant für die Wechselwirkung Hauptfrucht x Jahr ($p=0,0182$, Abb. 31) sowie die Untersaatvarianten ($p<0,0001$) beeinflusst. In allen Varianten wurde die signifikant höchste Untersaat-Biomasse von durchschnittlich 87 g TM m^{-2} im Jahr 2017 erzielt. Im Gegensatz dazu wurde die signifikant geringste Untersaat-Biomasse von durchschnittlich 20 g TM m^{-2} im Jahr 2015 in allen drei Hauptfrüchten nachgewiesen. Im Jahr 2014 war der Biomasseaufwuchs der Untersaaten mit durchschnittlich 41 g TM m^{-2} ebenfalls deutlich geringer als 2017. Im Gegensatz dazu erzielten die Untersaaten im Jahr 2016 eine höhere Biomasse von 64 g TM m^{-2}. Während in allen anderen Jahren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Untersaatbiomassen in Abhängigkeit der Hauptfrucht nachgewiesen werden konnte, war die Untersaatbiomasse des Gemenges mit der Stangenbohne Tarbais (47 g TM m^{-2}) in diesem Jahr signifikant geringer als die der Maiskontrolle (66 g TM m^{-2}) und des Gemenges mit der Feuerbohne Preisgewinner (78 g TM m^{-2}).

Der Vergleich der beiden Untersaatvarianten zeigte, dass die Untersaat 1 mit 62g TM m^{-2} eine signifikant höhere Biomasse erzielte, als die Untersaat 2 (45g TM m^{-2}).

Unkraut-Biomasse

Die Unkrautbiomasse wurde signifikant durch die Wechselwirkung Untersaatvariante x Jahr (p<0,0001) beeinflusst. In den Jahren 2014 und 2017 konnte die Unkrautbiomasse durch beide Untersaatvarianten signifikant reduziert werden, während im Jahr 2016 nur die Untersaat 1 eine signifikante Reduktion gegenüber der Kontrollvariante ohne Untersaat erzielte. Im Gegensatz dazu konnten im Jahr 2015 keine signifikanten Unterschiede zwischen den Untersaatvarianten nachgewiesen werden. Die signifikant höchste Unkrautbiomasse in der Variante ohne Untersaat wurde

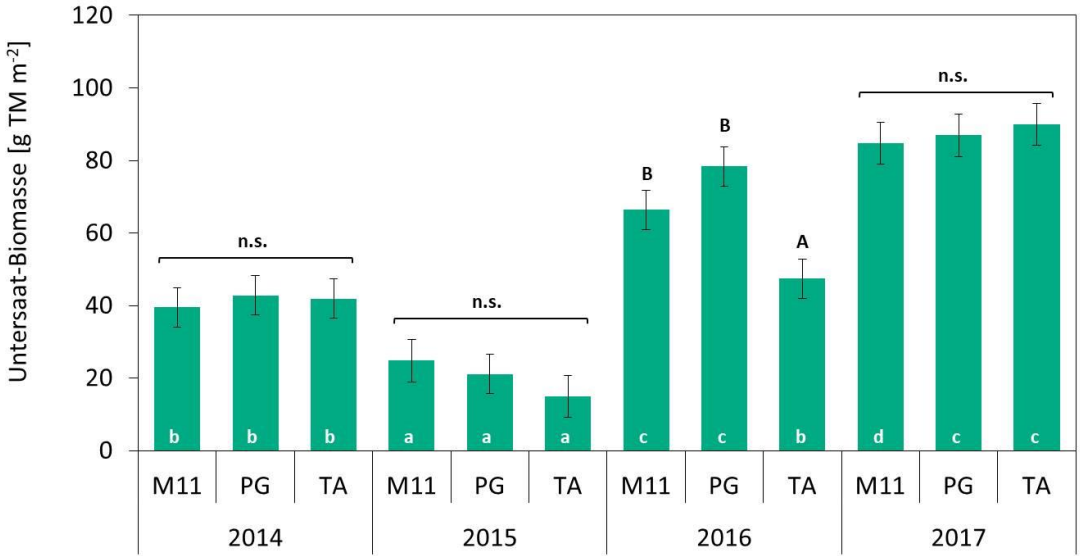


Abb. 31: Untersaat-Biomasse im Untersaatenversuch in Abhängigkeit der Jahre und der Hauptfrüchte (M11=Maiskontrolle, PG = Mais-Preisgewinner, TA = Mais-Tarbais. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Hauptfrüchten innerhalb desselben Jahres. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren innerhalb derselben Hauptfrucht.

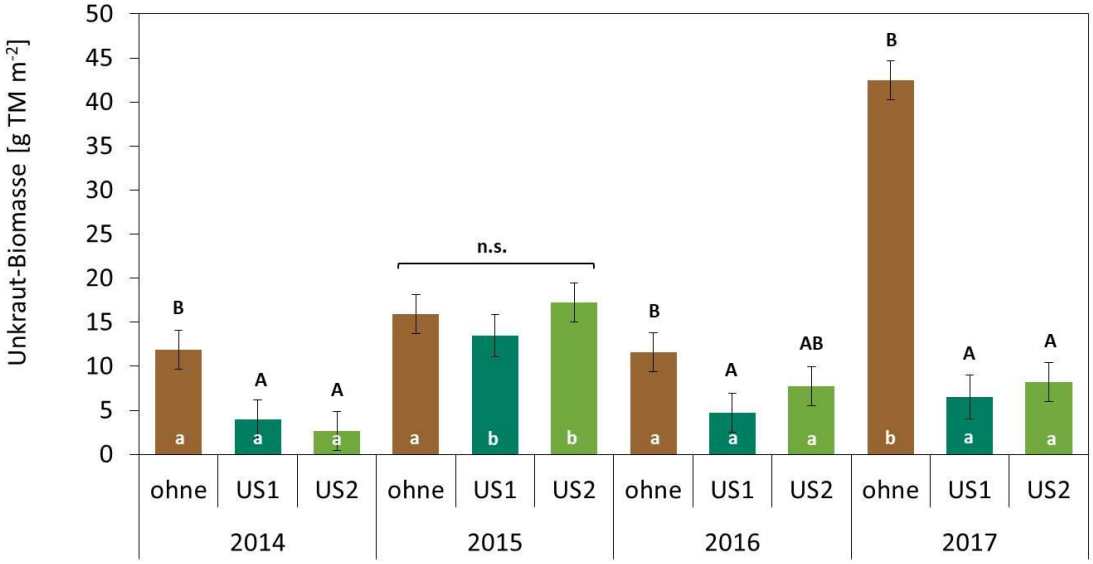


Abb. 30: Unkraut-Biomasse im Untersaatenversuch in Abhängigkeit der Jahre und Untersaatvarianten (ohne = keine Untersaat, US1 = Welsches Weidelgras + Erdklee, US2 = W. Weidelgras + Futterchicoree). LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Untersaatvarianten innerhalb desselben Jahres. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren innerhalb derselben Untersaatvariante, n.s.=nicht signifikant.

im Jahr 2017 (43g TM m^{-2}) erzielt. Im Gegensatz dazu wurde die signifikant höchste Unkrautbiomasse (US1: 12g TM m^{-2}, US2: 15g TM m^{-2}) in den beiden Untersaaten im Jahr 2015 gefunden.

Untersaat- und Unkraut-Deckungsgrad

Die Untersaat-Deckungsgrade (Abb. 32, links) zeigten signifikante Jahreseffekte (p<0,0001), wohingegen kein Einfluss der Hauptfrüchte oder Untersaatvarianten auf die Untersaat-Deckungsgrade nachgewiesen werden konnte. Im Jahr 2016 erzielten die Untersaaten die höchsten Deckungsgrade von 52% während im Jahr 2015 deutlich geringere Deckungsgraden von 35% bonitiert wurden. Die Unkrautdeckungsgrade (Abb. 32, rechts) wurden signifikant durch die Jahre, aber auch durch die Untersaatvarianten beeinflusst. Der höchste Unkraut-Deckungsgrad von 32% wurde im Jahr 2015 bonitiert, während der geringste Unkrautdeckungsgrad von 10% im Jahr 2014 erfasst wurde.

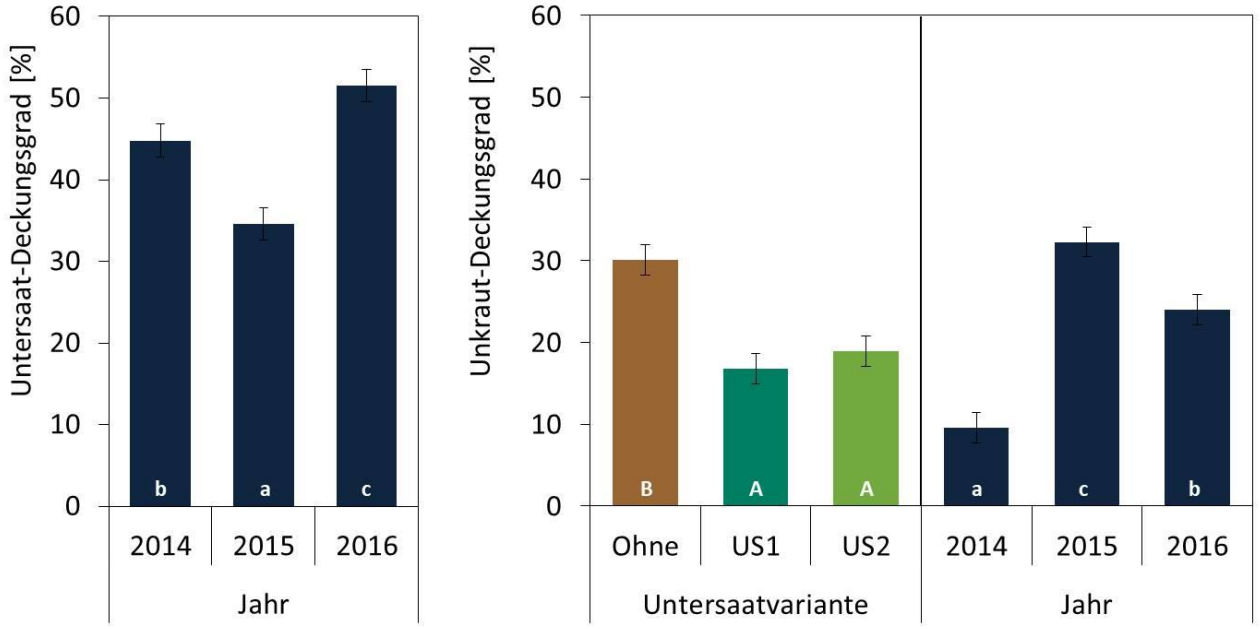


Abb. 32: Deckungsgrade der Untersaaten (links) und Unkräuter (rechts) im Untersaatenversuch in Abhängigkeit der Jahre bzw. Untersaatvarianten. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Untersaatvarianten. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren.

4.1.4 Saatzeitenversuch am Standort Braunschweig

Aufgrund der im Jahr 2015 erforderlichen Bohnennachsaat (vergl. Kapitel 3.1.2.4) lagen die variierten Saatzeiten der Bohnen früh/spät zu dicht beieinander. Auch hatte der Mais vergleichsweise zu den anderen Untersuchungsjahren einen nicht üblichen Entwicklungsvorsprung. Deshalb wurde das Jahr 2015 aus der gemeinsamen statistischen Auswertung herausgenommen. Somit werden im Folgenden die Ergebnisse der dreijährigen Auswertung (2016, 2017 u. 2018) dargestellt und beschrieben.

4.1.4.1 Pflanzenbauliche Ergebnisse

Die geplante Saatdichte des Mais konnte bei der Maiskontrolle als auch im Gemenge nach dem Feldaufgang mit 112% im Mittel der Jahre realisiert werden. Ebenso lag der Aufgang der beiden Bohnensorten TA und PG bei 106%. Eine Ausnahme verzeichnete die Bohnenfrühsaat mit 48% im Jahr 2017, welches wohl durch ein stärkeres Niederschlagsereignis während der Keimphase nach der Aussaat verursacht wurde. Bei dem Prüfglied TA Früh Misch konnte die geplante Saatdichte nach dem Feldaufgang nur im Jahr 2016 (Mais: 108%, Bohne TA: 99%) erreicht werden. Im Jahr 2017 dominierte der Mais (Mais: 144%, Bohne TA: 40%) und im Jahr 2018 die Bohne (Mais: 58%, Bohne TA: 133%). Obwohl das Saatgut von Bohne und Mais im Vorfeld der Aussaat gut durchmischt wurde, fand auf der gemeinsamen Saatscheibe der Einzelkorn-Säaggregate letztlich eine Zufallsbelegung des Saatgutes statt, welches wohl die Unterschiede in der Saatausbringung mit verursachte.

Die Keimdauer des Mais betrug im Schnitt der Jahre 10 Tage. Bei der Frühsaat war die Keimphase der Bohnen gegenüber dem Mais 4 Tage länger. Bei der späteren Zusaat der Bohnen verkürzte sich deren Keimphase im Vergleich zur Frühsaat durchschnittlich um 4 Tage.

Der Mais erreichte im Durchschnitt der Jahre seine Vollblüte 74 Tage nach der Saat (Tab. 26). Bei den Bohnen gab es Unterschiede zwischen den beiden Sorten und Saatterminen. TA Früh und TA Früh Misch blühten fast zeitgleich mit dem Mais (76 Tage), während GP früh mit durchschnittlich 83 Tagen eine Woche länger für das Erreichen der Vollblüte benötigte. GP Spät und TA Spät benötigten dagegen weniger Tage. Im Durchschnitt der Jahre ist es nur für TA Spät mit 76 Tagen (10 Tage früher) darstellbar, weil GP Spät im Jahr 2018 aufgrund von Hitzestress alle Blütenknospen abgeworfen hatte. So kam es dann auch zu keiner Hülsen- und Kornbildung. Im Jahr 2018 zeigten alle anderen Prüfglieder, dass sie deutlich weniger Tage bis zur Vollblüte benötigten als in den beiden anderen Jahren. Der Zeitraum des Erreichens der Vollblüte erstreckte sich im Jahr 2018 von Mitte bis Ende Juli, während dieser in den anderen beiden Jahren von Ende Juli bis Mitte August stattfand.

Tab. 26: Stadium der Vollblüte (EC 65) des Mais-Stangenbohnen-Anbaus im Saatzeitenversuch der Versuchsjahre 2016 bis 2018.

Prüfglied	**2016**	**2017**	**2018**	**2016**	**2017**	**2018**	**Ø**
	Jahrestag (Datum)			**Tage nach Saat**			
Reinsaat M11	24.07.	24.07.	10.07.	77	77	67	74
GP Früh	02.08.	05.08.	17.07.	86	89	75	83
TA Früh	24.07.	30.07.	12.07.	77	84	69	76
GP Spät	17.08.	18.08.	-*	78	78	-*	n.ber.
TA Spät	06.08.	08.08.	25.07.	67	69	62	66
TA Früh Misch	24.07.	01.08.	10.07.	77	86	67	76

*Blütenknospen komplett abgefallen; n.ber. = nicht berechnet

Die Wuchshöhe des Mais zur Ernte lag durchschnittlich bei den Prüfgliedern nicht signifikant zwischen 258 und 273 cm, wobei der Mais im Gemenge gegenüber der Maisreinsaat 10 cm weniger auswies. Signifikante Unterschiede gab es zwischen den Jahren ($p<0,0001$) mit dem

längsten Mais von 291 cm im Jahr 2017, gefolgt von 278 cm (2016). Am kürzesten war er mit 231 cm Jahr 2018.

Bei der Wuchshöhe der Bohnen ergab sich ein gleiches Bild auf geringerem Niveau. Sie lag bei den Bohnenprüfgliedern nicht signifikant zwischen 216 und 227 cm. Zwischen den Jahren war deren Höhe in gleicher Jahresreihenfolge wie beim Mais signifikant (p<0,0001): 254 cm (2017), 208 cm (2016) und 197 cm (2018).

Die Bonitur zu den Blattmasseverlusten der Bohnen zur Ernte unterschied sich zwischen den Prüfgliedern nicht. Basipetal des Stängels waren sie abgefallen, weiter akropetal vergilbt bis teilweise noch grün. Im feuchtkühleren Jahr 2017 war die Bonitur mit 0,8 etwas schlechter ausgefallen als in den anderen beiden Jahren mit 1,2 (2018) und 1,5 (2016).

In den Jahren 2016 und 2017 lagen die TS-Gehalte zur Ernte im Mittel der Prüfglieder bei 35 bzw. 32,8% und damit im optimalen Bereich der Silierung. Dagegen war der Gehalt im Jahr 2018 von 42,8% etwas zu hoch. Die Gemengeprüfglieder waren in Abhängigkeit des Bohnenertragsanteils meist etwas feuchter als die Maisreinsaat.

Für den Gesamtertrag wurden zwischen den Prüfgliedern signifikante Unterschiede (p<0,0001) beobachtet (Abb. 33). Die im Mittel der Versuchsjahre signifikant höchsten Erträge erzielte mit 218,8 dt ha^{-1} die Reinsaat M11. Davon unterschied sich signifikant die Reinsaat M8. Alle Gemengesaaten wiesen mit 163,4 bis 184,4 dt ha^{-1} gegenüber beiden Reinsaatprüfgliedern signifikant geringere Gesamterträge auf, wobei der signifikant geringste Ertrag bei TA Früh Misch (163,4 dt ha^{-1}) auftrat. Zwischen den Jahren lagen die Erträge mit 183,5 bis 189,7 dt ha^{-1} auf einem vergleichbaren Niveau und waren nicht signifikant.

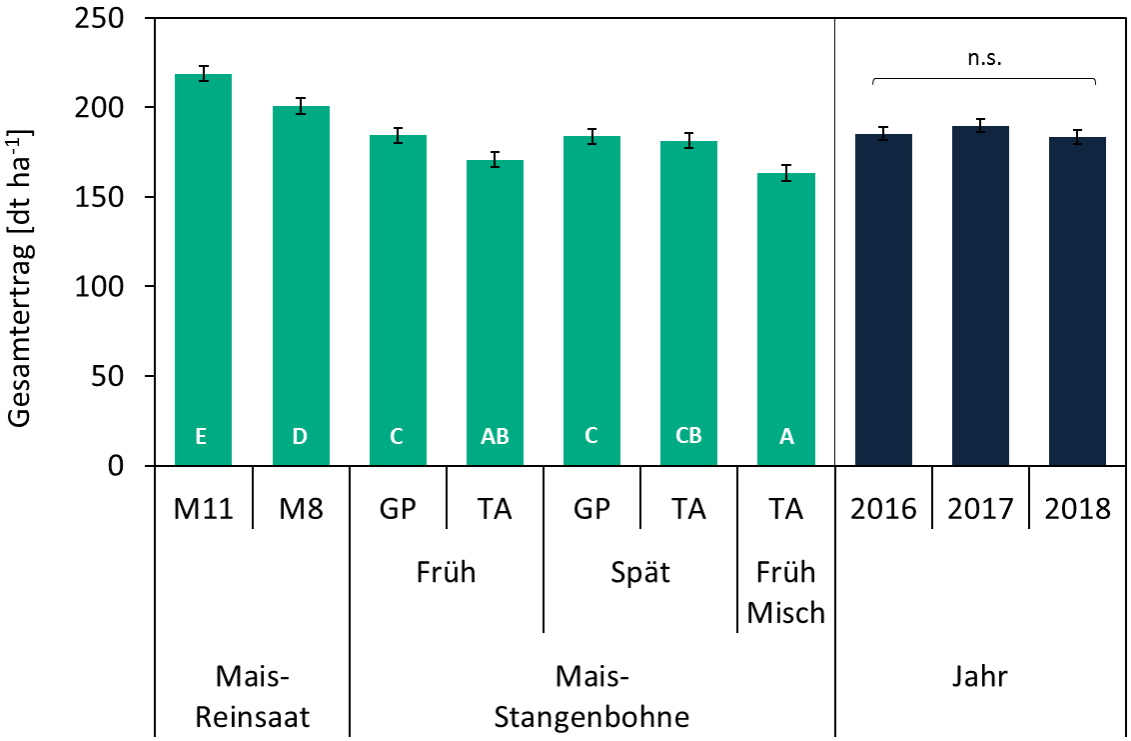


Abb. 33: Gesamtertrag des Mais-Stangenbohnen-Anbaus im Saatzeitenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Prüfgliedern, n.s. = nicht signifikant.

Der Maisertrag fiel durchschnittlich bei allen Gemengeprüfgliedern wie schon beim Gesamtertrag gegenüber beiden Reinsaaten, die mehr als 200 dt ha^{-1} auswiesen, signifikant (p<0,0001) niedriger aus (Abb. 34). Beide Saattermine mit GP sowie TA Spät erzielten dabei vergleichbare Erträge (164,5/174,3/163,7 dt ha^{-1}). Die signifikant geringsten Erträge wurden von den Prüfgliedern TA Früh und TA Früh Misch erreicht (145,9 und 139,4 dt ha^{-1}). Ebenfalls gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Jahren zu verzeichnen.

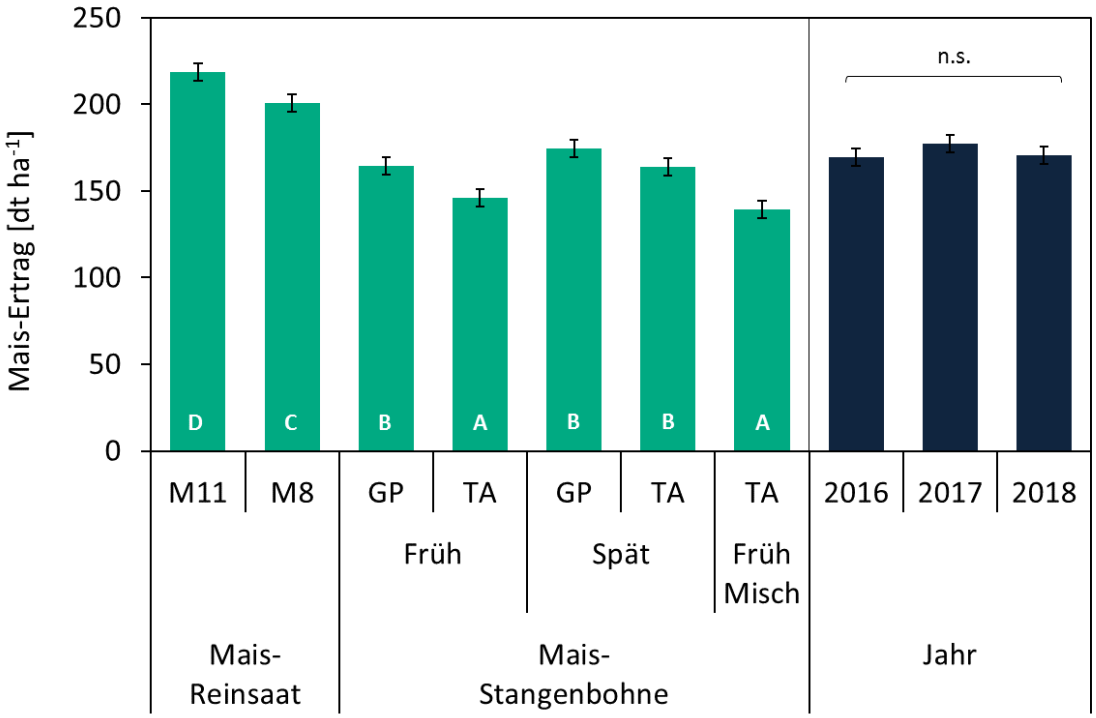


Abb. 34: Maisertrag des Mais-Stangenbohnen-Anbaus im Saatzeitenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Prüfgliedern, n.s. = nicht signifikant.

Die im Mittel der Jahre signifikant (p=0,0002) höchsten Bohnenerträge erzielten die Prüfglieder TA Früh und TA Früh Misch mit 24,9 bzw. 23,9 dt ha^{-1} (Abb. 35). Anschließend folgte GP Früh mit 19,8 dt ha^{-1}, welche sich allerdings nicht signifikant von TA Spät mit 17,7 dt ha^{-1} unterschied. Der mit Abstand signifikant geringste Ertrag mit 9,5 dt ha^{-1} wurde von GP Spät erlangt. Auch wenn die Erträge der 3 Versuchsjahre nicht signifikant verschieden waren, wies das Jahr 2016 den durchschnittlich höchsten Ertrag mit 22,3 dt ha^{-1} auf. In den Jahren 2017 und 2018 lagen die Erträge mit 17,2 und 18,0 dt ha^{-1} niedriger, aber auf gleicher Höhe. Im Jahr 2016 fiel insbesondere TA Früh mit einer Ertragshöhe von 32,0 dt ha^{-1} auf, welches einem Ertragsanteil von 19,1% entsprach. Im Durchschnitt der Jahre gab es bei den Ertragsanteilen der Prüfglieder signifikante Unterschiede (p<0,0001) mit folgendem Ergebnis: 10,7 B (GP früh), 14,9 C (TA früh), 5,1 A (GP spät) 9,8 B (TA früh) und 15,1 C (TA früh Misch).

Einen wichtigen Anteil zum Bohnenertrag steuern die angesetzten Hülsen mit den darin enthaltenen Körnern bei. Beim Hülsenertrag (Abb. 36) ergaben sich im Mittel der Jahre bei allen Prüfgliedern gleiche Tendenzen mit ähnlichen signifikanten Unterschieden (p=0,0014) wie beim Bohnenertrag. Es zeigte sich jedoch, dass im Jahr 2018 der Ertrag durchschnittlich mit 5,5 dt ha^{-1}

signifikant (p=0,0005) am niedrigsten ausfiel. In dem Jahr konnte ein geringerer Hülsenertrag bei fast allen Prüfgliedern beobachtet werden. Von GP Spät wurden aufgrund des Verlustes aller Blüten gänzlich keine Hülsen ausgebildet und auch GP Früh erzielte mit 0,9 dt ha^{-1} nur einen sehr geringen Ertrag.

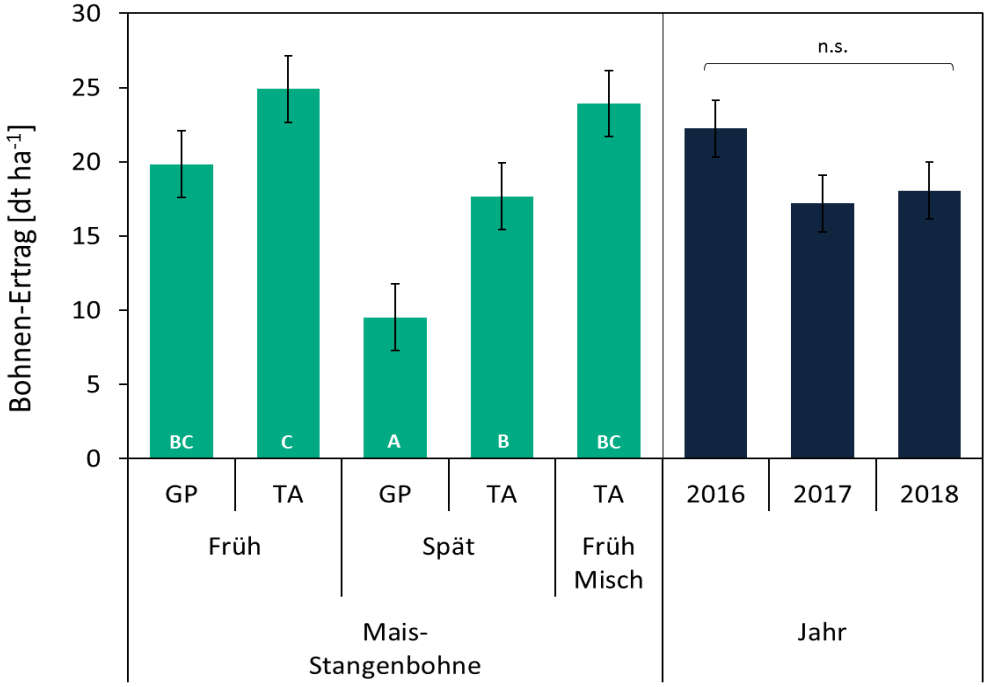


Abb. 35: Bohnenertrag des Mais-Stangenbohnen-Anbaus im Saatzeitenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Prüfgliedern, n.s. = nicht signifikant.

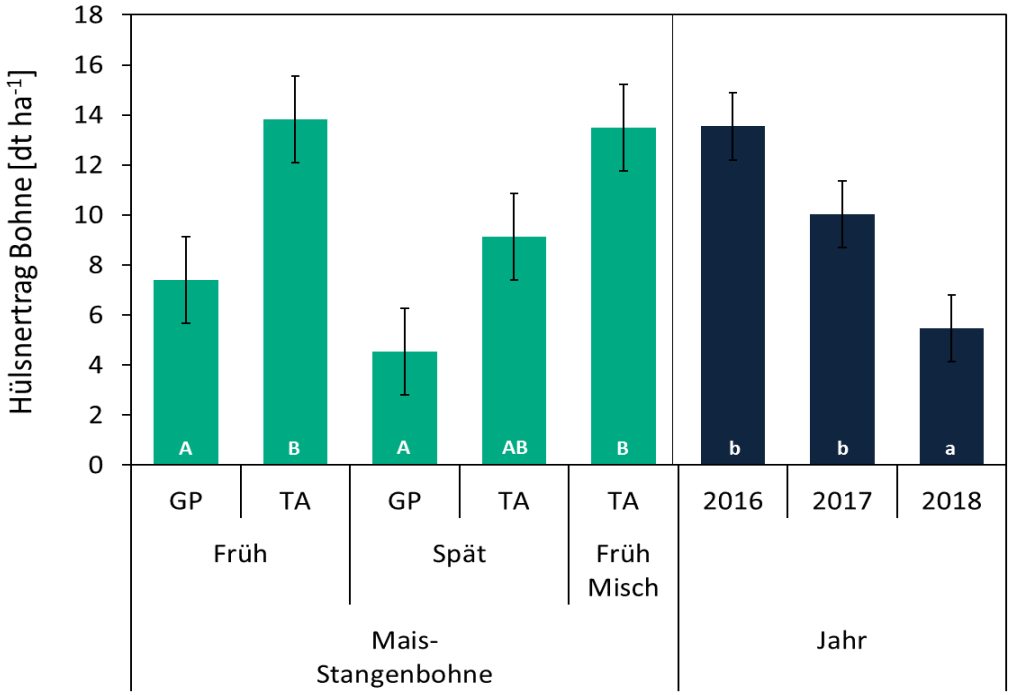


Abb. 36: Hülsenertrag des Mais-Stangenbohnen-Anbaus im Saatzeitenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Prüfgliedern, LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren.

Beim Rohproteinertrag gab es zwischen den Prüfgliedern signifikante Unterschiede (p=0.0251) (Abb. 37). Die Reinsaat M11 erzielte mit 14,6 dt ha^{-1} den höchsten Ertrag, dieser unterschied sich aber nicht signikant von den Prüfgliedern GP Früh und TA Spät, welche unter den Gemengeprüfgliedern den höchsten Gesamtertrag (vergl. Abb. 37) erzielten, allerdings mit geringeren Bohnenertragsanteilen als die anderen Gemengeprüfglieder. Zwischen den Jahren lagen die Erträge mit 12,9 bis 13,9 dt ha^{-1} auf einem vergleichbaren Niveau und waren nicht signifikant.

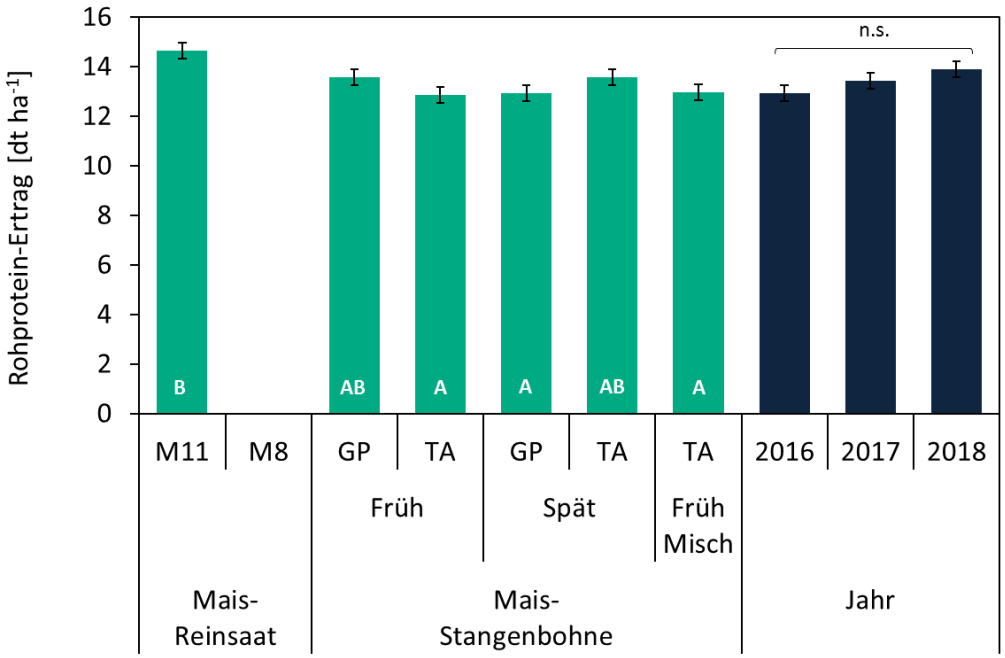


Abb. 37: Rohproteinertrag des Mais-Stangenbohnen-Anbaus im Saatzeitenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Prüfgliedern, n.s. = nicht signifikant.

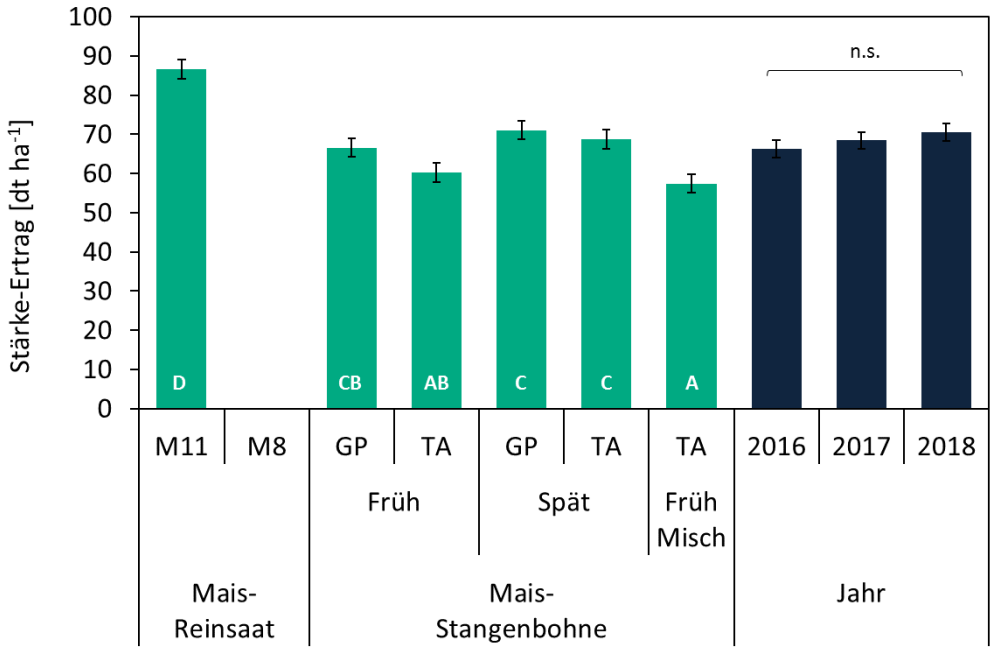


Abb. 38: Stärkeertrag des Mais-Stangenbohnen-Anbaus im Saatzeitenversuch. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Prüfgliedern, n.s. = nicht signifikant.

Der Stärkeertrag wies ebenfalls zwischen den Prüfgliedern signifikante (p<0,0001) und zwischen den Jahren keine signifikanten Unterschiede auf (Abb. 38). Die Reinsaat M11 erreichte mit Abstand den höchsten Ertrag (86,6 dt ha^{-1}). Unter den Gemengeprüfgliedern waren diejenigen am ertragsreichsten, welche die geringsten Bohnenertragsanteile enthielten, GP Früh, GP Spät und TA Spät.

4.1.4.2 Gäreigenschaften und Silagequalität

Der Z/PK-Quotient fiel durchschnittlich bei der Reinsaat mit 2,7 signifikant (p=0,0189) am höchsten aus (Abb. 39). Die niedrigsten Werte mit 1,9 erzielten die Prüfglieder GP Früh und TA Früh Misch. Zwischen allen Untersuchungsjahren gab es ebenfalls signifikante Unterschiede (p<0,0001). Der höchste Wert mit 2,8 wurde durchschnittlich 2017 erreicht. Das Jahr 2016 mit einem Durchschnittswert von 1,7 lag unterhalb des Richtwertes von 2,0.

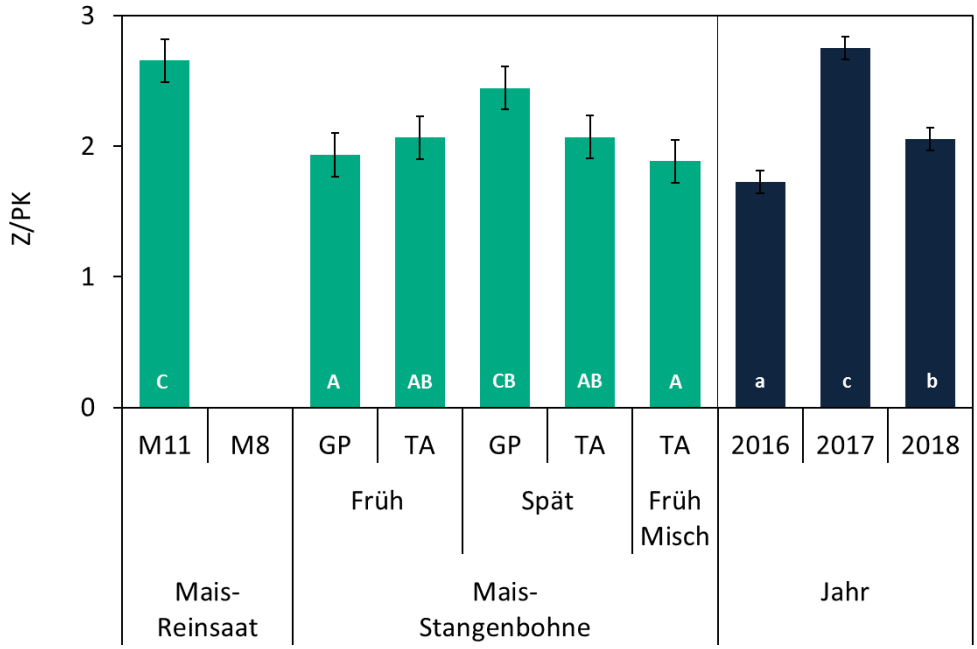


Abb. 39: Z/PK-Quotient des Mais-Stangenbohnen-Anbaus im Saatzeitenversuch, Richtwert mindestens 2,0. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer (p < 0,05)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Prüfgliedern, LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren.

Den höchsten signifikanten (p=0,0002) Vergärbarkeitskoeffizienten erzielte durchschnittlich mit einem Wert von 61 wie schon beim Z/PK-Quotienten die Reinsaat (Abb. 40). Die Werte der Gemengeanbauten lagen zwischen 50 und 56 mit ebenfalls gleichen signifikanten Unterschieden (p<0,0001). Im Jahr 2018 wurde der signifikant (p<0,0001) höchste Wert mit 59 ermittelt. Der Richtwert von mindestens 45 wurde aber in allen Untersuchungsjahren erreicht.

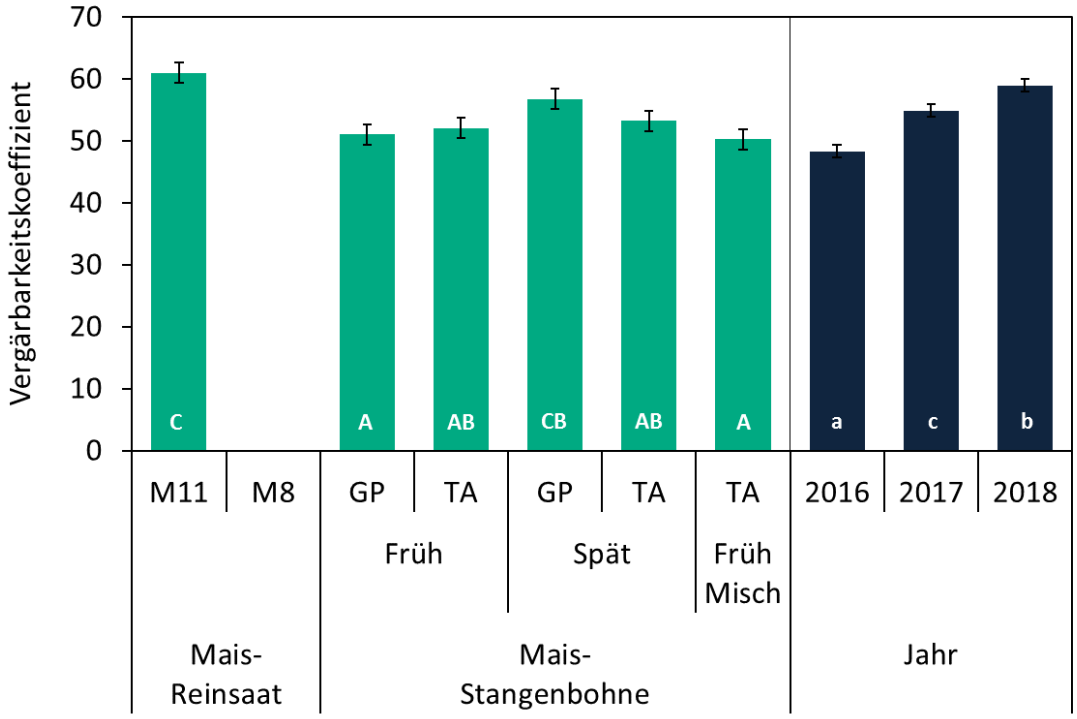


Abb. 40: Vergärbarkeitskoeffizient (VK) des Mais-Stangenbohnen-Anbaus im Saatzeitenversuch, Richtwert mindestens 45. LSMeans ± SEM (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Prüfgliedern, LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren.

Der Besatz der Gärschädlinge von Hefen und Schimmel im Erntegut erreichte in allen Untersuchungsjahren bei allen Prüfgliedern in der Regel Werte, die größer als 1,0E+04 bzw. größer als 1,0E+03 KbE g FM^{-1} lagen (Tab. 27). Nur im Jahr 2017 erzielten die Hefen um eine Zehnerpotenz höher liegende Werte und überschritten damit den Richtwert. Ebenfalls war der Schimmelbesatz in den Jahren 2017 und 2018 bei meist allen Prüfgliedern um eine Zehnerpotenz höher und lag somit über dem Richtwert.

Bei den Milchsäurebakterien (MSB) konnten im Jahr 2017 mit oft mehr als 1,0E+05 KbE G FM^{-1} schon sehr hohe Werte bei den Prüfgliedern im Erntegut gefunden werden (Tab. 27). In den anderen beiden Jahren fielen die Werte mit um 1,0E+03 KbE g FM^{-1} liegend deutlich niedriger aus. Mit Hinzugabe des Siliermittels war in allen Untersuchungsjahren eine Steigerung der Zahlen auf mehr als 1,0E+05 bzw. 1,0E+06 KbE g FM^{-1} zu beobachten.

Tab. 27: Mikroorganismenbesatz des Mais-Stangenbohnen-Anbaus im Saatzeitenversuch der Versuchsjahre 2016 bis 2018, Zusatz = Einsatz eines Siliermittels.

	2016				2017				2018			
Prüfglied	**Hefen**	**Schimmel**	**MSB**	**MSB Zusatz**	**Hefen**	**Schimmel**	**MSB**	**MSB Zusatz**	**Hefen**	**Schimmel**	**MSB**	**MSB Zusatz**
	[KbE/g FM]				[KbE/g FM]				[KbE/g FM]			
Sorten												
Reinsaat M11	2,7E+04	2,5E+04	2,9E+04	3,2E+06	6,5E+05	1,4E+04	6,5E+05	2,8E+05	3,7E+04	6,3E+04	<1,0E+03	2,3E+05
GP Früh	2,3E+04	4,7E+03	1,0E+03	1,3E+06	4,0E+05	1,1E+05	5,9E+05	2,3E+05	3,6E+04	<1,0E+04	<1,0E+03	1,9E+05
TA Früh	1,8E+04	6,7E+03	1,3E+03	fehlt	3,8E+04	1,3E+04	5,8E+04	2,0E+05	6,9E+04	1,2E+04	<1,0E+03	3,3E+05
GP Spät	5,9E+04	2,7E+03	3,3E+03	3,1E+06	5,9E+05	1,3E+04	4,4E+05	2,0E+05	5,6E+04	1,1E+04	<1,0E+03	2,5E+05
TA Spät	7,7E+04	1,5E+03	6,3E+03	3,5E+06	5,3E+05	7,7E+03	3,2E+05	1,4E+05	4,2E+04	<1,0E+04	<1,0E+03	<1,0E+05
TA Früh Misch	4,3E+04	5,7E+03	6,7E+02	3,5E+06	1,9E+05	8,3E+03	4,6E+04	4,7E+05	7,7E+04	1,6E+04	<1,0E+03	2,5E+05

Richtwerte (Jänicke 2011)
Hefen: <1,0E+05
Schimmel: <1,0E+04

In den Silagen stellte sich der pH-Wert aller Prüfglieder eindeutig im sauren Milieu ein (Tab. 28). Bei der Kontrolle lag der Wert der jeweiligen Prüfglieder zwischen minimal 3,7 (2017) und maximal 4,3 (2018), beim Zusatz zwischen minimal 4,1 (2017) und maximal 4,6 (2018). Im Durchschnitt der Prüfglieder wurden bei der Kontrolle im Jahr 2017 der niedrigste pH-Wert mit 3,6 erzielt, gefolgt von 2016 mit 3,9 und 2018 mit 4,2. Beim Zusatz war die Reihenfolge gleich mit 4,2 (2017), 4,4 (2016) und 4,6 (2018), allerdings auf einen etwas höheren Niveau.

Die Gärschädlinge Hefen konnten in den Silagen bei der Kontrolle nicht immer unterdrückt werden (Tab. 28). Insbesondere im Jahr 2018 waren bei allen Prüfgliedern noch Hefen feststellbar. Der Anteil untersuchter Laborsilagen mit einem Hefenbesatz >1,0E+03 KbE g FM^{-1} lag zwischen 25,0 und 50,0%. Der Maximalwert von 50,0% trat bei der Reinsaat M11 auf. Im Jahr 2015 hatte lediglich die Reinsaat M11 einen geringen Anteil von 16,7% aufzuweisen, im Jahr 2017 lagen die Anteile aller Prüfglieder bei 0,0%. Beim Zusatz wurde ausschließlich im Jahr 2018 ein niedriger Anteil von 8,3% bei GP Früh beobachtet. Die Gärschädlinge Schimmel wurden gut unterdrückt. Bei der Kontrolle als auch beim Zusatz lagen alle Prüfglieder in allen Untersuchungsjahren unterhalb eines Besatzes von 1,0E+03 KbE g FM^{-1}, somit alle Anteile bei 0,0% (Tab. 28).

Aufgrund des Silierprozesses lassen sich Gärverluste nicht vermeiden. Diese lagen bei der Kontrolle Reinsaat M11 mit 3,8% im Jahr 2016 am geringsten und mit 4,6% bei GP Spät im Jahr 2018 am höchsten (Tab. 28). Im Vergleich der Jahre waren die Verluste durchschnittlich mit 4,4% im Jahr 2018 am höchsten. Bei allen Prüfgliedern des Zusatzes wurden höhere Verluste als bei den Kontrollen erzielt (Tab. 28). Durchschnittlich aller Prüfglieder waren diese beim Zusatz im Jahr 2016 mit 6,4% am höchsten. Den größten Verlust erzielte TA Spät mit 6,8% im Jahr 2017.

Tab. 28: Silagequalität nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge im Saatzeitenversuch der Versuchsjahre 2016 bis 2018, Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel.

Prüfglied	pH	Hefen* [%]	Schimmel* [%]	Gärverluste [% TM]	pH	Hefen* [%]	Schimmel* [%]	Gärverluste [% TM]
		Kontrolle				Zusatz		
				2016				
Reinsaat M11	3,9	16,7	0,0	3,8	4,4	0,0	0,0	5,7
GP Früh	3,9	0,0	0,0	4,0	4,4	0,0	0,0	6,2
TA Früh	4,0	0,0	0,0	4,0	4,4	0,0	0,0	6,4
GP Spät	3,9	0,0	0,0	4,1	4,3	0,0	0,0	6,2
TA Spät	3,9	0,0	0,0	4,0	4,4	0,0	0,0	6,3
TA Früh Misch	3,9	0,0	0,0	4,1	4,4	0,0	0,0	6,7
				2017				
Reinsaat M11	3,7	0,0	0,0	3,8	4,2	0,0	0,0	6,0
GP Früh	3,7	0,0	0,0	3,9	4,2	0,0	0,0	6,5
TA Früh	3,6	0,0	0,0	3,9	4,1	0,0	0,0	6,4
GP Spät	3,7	0,0	0,0	4,0	4,2	0,0	0,0	6,4
TA Spät	3,7	0,0	0,0	3,9	4,2	0,0	0,0	6,8
TA Früh Misch	3,6	0,0	0,0	3,9	4,2	0,0	0,0	6,4
				2018				
Reinsaat M11	4,2	50,0	0,0	4,3	4,5	0,0	0,0	5,6
GP Früh	4,1	25,0	0,0	4,2	4,6	8,3	0,0	5,8
TA Früh	4,2	25,0	0,0	4,4	4,6	0,0	0,0	5,7
GP Spät	4,3	29,2	0,0	4,6	4,5	0,0	0,0	5,7
TA Spät	4,2	25,0	0,0	4,4	4,6	0,0	0,0	5,6
TA Früh Misch	4,1	25,0	0,0	4,5	4,5	0,0	0,0	6,0

*Anteil untersuchter Laborsilagen mit einer Keimdichte >1,0E+03 KbE g FM^{-1}

Im Vergleich der Gärprodukte wurde bei allen Prüfgliedern der Kontrolle in allen Versuchsjahren vor allem ein hoher Gehalt an MS mit maximal 7,1% (TA Spät) im Jahr 2017 vorgefunden (Tab. 29). Dagegen hatte beim Zusatz die ES den höchsten Gehalt mit maximal 5,2% (TA Früh Misch) im Jahr 2016 aufzuweisen. Durchschnittlich aller Prüfglieder lag bei der Kontrolle die MS mit 6,6% und die ES beim Zusatz mit 4,3% im Jahr 2017 am höchsten. PD wies beim Zusatz ebenfalls noch einen höheren Gehalt mit maximal 2,8% (TA Früh Misch) im Jahr 2018 auf. Bei den Kontrollen lag PD in allen Jahren unter 1,0%. Der Wert von ETH wies im Durchschnitt der Prüfglieder bei der Kontrolle 0,7% (2016) bis 1,0% (2018) sowie beim Zusatz 0,9% (2017) bis 1,3% (2016), somit leicht höher liegend, auf. PS wurde nur im Jahr 2016 mit maximal 0,7% bei der Reinsaat M11 und TA Früh der Kontrolle als auch bei der Reinsaat M11 des Zusatzes festgestellt. BD wurde bei der Kontrolle ausschließlich mit 0,1% und nicht regelmäßig beobachtet. Auch beim Zusatz gab es keine Regelmäßigkeit, doch lagen die Werte mit maximal bis 1,1% (TA Früh Misch) im Jahr 2016 leicht höher. Hervorzuheben ist, dass bei allen Prüfgliedern sowie bei Kontrolle und Zusatz keine schädliche BS (0,0%) gebildet wurde.

Tab. 29: Gärprodukte in den Silagen nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge im Saatzeitenversuch der Versuchsjahre 2016 bis 2018 (MS=Milchsäure, ES=Essigsäure, PS=Propionsäure, ETH=Ethanol, PD=1,2-Propandiol, BD=2,3-Butandiol, BS=Buttersäure), Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel.

Prüfglied	MS	ES	PS	ETH	PD	BD	BS	MS	ES	PS	ETH	PD	BD	BS
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
	Kontrolle							Zusatz						
							2016							
Reinsaat M11	3,9	1,2	0,0	0,6	0,2	0,0	0,0	1,0	3,2	0,0	1,2	2,0	0,0	0,0
GP Früh	5,0	1,7	0,0	0,7	0,2	0,0	0,0	0,8	4,0	0,0	1,3	0,2	0,7	0,0
TA Früh	5,6	1,7	0,0	0,7	0,1	0,0	0,0	1,1	4,2	0,0	1,3	1,0	0,5	0,0
GP Spät	4,8	1,9	0,0	0,7	0,2	0,1	0,0	0,9	4,2	0,0	1,3	1,8	0,5	0,0
TA Spät	5,3	1,6	0,0	0,7	0,1	0,0	0,0	1,0	4,2	0,0	1,4	0,8	0,5	0,0
TA Früh Misch	6,4	2,1	0,0	0,7	0,3	0,1	0,0	1,1	5,2	0,0	1,5	0,8	1,1	0,0
							2017							
Reinsaat M11	6,1	1,5	0,7	0,4	0,1	0,0	0,0	1,4	4,1	0,7	0,9	2,2	0,3	0,0
GP Früh	6,6	1,5	0,5	0,4	0,1	0,0	0,0	1,2	4,4	0,5	0,9	1,5	0,5	0,0
TA Früh	6,5	1,5	0,7	0,4	0,1	0,0	0,0	1,8	4,3	0,6	1,0	2,0	0,3	0,0
GP Spät	6,6	1,7	0,6	0,5	0,2	0,0	0,0	1,4	4,4	0,5	0,9	2,3	0,2	0,0
TA Spät	7,1	1,6	0,4	0,4	0,1	0,0	0,0	1,4	4,8	0,5	1,0	2,4	0,4	0,0
TA Früh Misch	6,6	1,5	0,4	0,4	0,1	0,0	0,0	1,6	4,2	0,5	0,8	2,3	0,3	0,0
							2018							
Reinsaat M11	2,7	1,1	0,0	0,9	0,3	0,1	0,0	1,1	2,6	0,0	0,9	2,2	0,0	0,0
GP Früh	3,9	1,0	0,0	0,8	0,3	0,1	0,0	1,0	2,9	0,0	1,0	2,3	0,0	0,0
TA Früh	3,6	1,1	0,0	0,9	0,4	0,1	0,0	1,0	2,8	0,0	1,0	2,3	0,0	0,0
GP Spät	2,7	1,1	0,0	1,1	0,4	0,1	0,0	1,0	2,7	0,0	1,1	2,3	0,0	0,0
TA Spät	3,3	1,1	0,0	1,1	0,3	0,1	0,0	1,0	2,7	0,0	1,0	2,3	0,0	0,0
TA Früh Misch	3,8	1,2	0,0	1,0	0,3	0,1	0,0	1,3	3,3	0,0	1,0	2,8	0,0	0,0

Die Aerobe Stabilität (ASTA) wurde für einen Zeitraum von 7 Tagen gemessen (vergl. Kap. 3.4.3.4). Bei der Kontrolle erwärmten sich in allen Untersuchungsjahren jeweils nur die Silagen einiger Prüfglieder und das erst frühestens mit gut 6 Tagen zu schon einem späten Zeitpunkt kurz vor dem Prüfende (Tab. 30). Von den sich erwärmten Prüfgliedern erzielte im Jahr 2016 GP Früh mit 6,2 Tagen die niedrigste ASTA gefolgt von TA Früh im Jahr 2018 mit 6,4 Tagen. Beim Zusatz wurde beobachtet, dass bei allen Prüfgliedern in allen Jahren die ASTA über den Messzeitraum von 7 Tagen gewährleistet war.

Auslöser für die Erwärmung sind, bedingt durch Luftzutritt, Aktivitäten der Gärschädlinge Hefen und Schimmel mit folglich ansteigendem pH-Wert gegenüber der Silageentnahme, die wiederum zu erhöhten Trockenmasseverlusten führen. Aufgrund der bei der Kontrolle erst spät auftretenden Erwärmung vereinzelter Prüfglieder, waren diese Effekte nur in geringem Ausmaß erkennbar (Tab. 30). Bei GP Früh (2016) war ein leichter pH-Wert Anstieg auf 4,6 zu beobachten. Ebenfalls traten beim Hefenbesatz nur Boniturwerte bis maximal 0,3 auf. Der unerwünschte Schimmel wurde weitgehend mit niedrigen Werten bonitiert. Lediglich GP Früh (2016) mit 1,9 und TA Spät mit 1,0 (2018) lagen etwas höher. Bei allen Prüfgliedern des Zusatzes gab es in allen Jahren keinen Anstieg des pH-Wertes sowie keinen Schimmel zu beobachten. Ausschließlich bei TA Früh Misch (2015) wurde ein allerdings geringer Hefenbesatz bonitiert. Die Trockenmasseverluste zwischen Kontrolle und Zusatz differierten in ihrer Höhe meist geringfügig verschieden.

Tab. 30: Aerobe Stabilität (ASTA) von Silagen nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge im Saatzeitenversuch der Versuchsjahre 2016 bis 2018 sowie deren Qualitätsbewertung nach ASTA, Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel.

Prüfglied	ASTA [Tage]	pH	Hefen [Bonitur]	Schimmel [Bonitur]	Verluste [% TM]	ASTA [Tage]	pH	Hefen [Bonitur]	Schimmel [Bonitur]	Verluste [% TM]
	Kontrolle					Zusatz				
					2016					
Reinsaat M11	7,0	3,9	0,0	0,1	5,4	7,0	4,4	0,0	0,0	7,2
GP Früh	6,2	4,6	0,2	1,9	9,5	7,0	4,4	0,0	0,0	6,8
TA Früh	7,0	3,9	0,0	0,1	6,6	7,0	4,3	0,0	0,0	7,8
GP Spät	7,0	3,9	0,0	0,2	6,1	7,0	4,4	0,0	0,0	7,3
TA Spät	7,0	4,0	0,1	1,0	7,2	7,0	4,5	0,0	0,0	9,4
TA Früh Misch	7,0	3,8	0,0	0,0	7,3	7,0	4,3	0,2	0,0	8,3
					2017					
Reinsaat M11	6,7	3,9	0,0	0,2	6,8	7,0	4,2	0,0	0,0	7,8
GP Früh	6,9	3,9	0,0	0,0	6,1	7,0	4,3	0,0	0,0	6,4
TA Früh	6,4	3,8	0,3	0,1	7,8	7,0	4,2	0,0	0,0	6,5
GP Spät	7,0	3,7	0,0	0,2	6,3	7,0	4,2	0,0	0,0	6,3
TA Spät	7,0	3,7	0,0	0,4	8,4	7,0	4,2	0,0	0,0	7,7
TA Früh Misch	7,0	3,7	0,0	0,0	4,3	7,0	4,3	0,0	0,0	5,3
					2018					
Reinsaat M11	6,5	4,3	0,2	0,2	5,7	7,0	4,5	0,0	0,0	5,4
GP Früh	6,7	4,2	0,3	0,0	5,9	7,0	4,6	0,0	0,0	5,9
TA Früh	7,0	4,2	0,0	0,0	5,4	7,0	4,6	0,0	0,0	6,4
GP Spät	7,0	4,3	0,1	0,3	6,8	7,0	4,5	0,0	0,0	6,2
TA Spät	6,8	4,3	0,3	0,0	5,2	7,0	4,5	0,0	0,0	5,1
TA Früh Misch	7,0	4,1	0,1	0,1	5,7	7,0	4,5	0,0	0,0	5,5

4.1.4.3 Rohnährstoffe

Der Gehalt an Rohprotein der Gemengeprüfglieder war vorwiegend in den Jahren 2016 und 2018 erwartbar höher als bei der Reinsaat M11 (Tab. 31). Es gab signifikante Wechselwirkungen zwischen den Jahren und Prüfglied ($p<0,0001$). Keine signifikanten Unterschiede gab es zwischen der Behandlung (Erntegut/Silage, Kontrolle/Silage, Zusatz). Die Reinsaat M11 erzielte den geringsten Gehalt bei der Silage Zusatz mit 5,8% (2016), TA Früh Misch den höchsten Gehalt mit 9,3 im Erntegut (2018). Unter den Gemengeprüfgliedern erzielte GP Spät sowohl im Erntegut als auch in den Silagen meist die geringsten Gehalte.

Beim Rohfett- ($p<0,0001$) und Rohaschegehalt ($p=0,0105$) gab es eine signifikante 3-fache Wechselwirkung zwischen Jahr, Prüfglied und Behandlung (Tab. 31). Die Rohfettgehalte lagen mit 2,0% am niedrigsten im Erntegut von den Gemengen TA Früh, TA Spät und TA Früh Misch und am höchsten mit 3,1% in der Silage der Reinsaat Mais11 und TA Spät im Jahr 2016. In den Silagen Kontrolle und Zusatz waren die Werte der einzelnen Prüfglieder im Vergleich zum Erntegut meist höher. Der Rohaschegehalt lag minimal bei 3,2% (Reinsaat Mais11, Erntegut 2017) und maximal bei 4,8% diverser Prüfglieder von Erntegut und Silagen. Gegenüber der Reinsaat M11 wiesen die Gemengeprüfglieder meist höhere Rohaschegehalte auf.

Beim Rohfasergehalt gab es signifikante Wechselwirkungen zwischen Jahr und Prüfglied ($p=0,0043$) als auch zwischen Jahr und Behandlung ($p<0,0001$). Gleiche Wechselwirkungen traten

beim Stärkegehalt auf (p=0,0041 bzw. p=0,0015) (Tab. 31). Die Spanne lag beim Rohfasergehalt zwischen 15,1% (Reinsaat M11, Erntegut 2016; TA Spät, Erntegut 2018) und 21,6% (TA Früh Misch, Silage Zusatz 2017), beim Stärkegehalt zwischen 32,0% (TA Früh Misch, Silage Zusatz 2016) und 42,2% (Reinsaat M11, Silage Zusatz 2018). In den Jahren 2016 und 2018 wurden bei meist allen Prüfgliedern im Erntegut sowie in beiden Silagebehandlungen ein höherer Stärkegehalt beobachtet als 2017. Dabei lag der Gehalt in der Reinsaat M11 erwartbar immer höher als bei den Gemengeprüfgliedern. In beiden Silagebehandlungen insbesondere des Zusatzes wurden meist gegenüber dem Erntegut geringere Stärkegehalte ermittelt.

Der Zuckergehalt lag minimal bei 1,8% (TA Früh, Erntegut 2016) und maximal bei 6,4% (Reinsaat M11, Erntegut 2017) (Tab. 31). Es gab signifikante Wechselwirkungen zwischen Jahr und Prüfglied (p=0,0004). Im Jahr 2017 wurden von allen Prüfgliedern bis auf TA Früh Misch höhere Gehalte erzielt als in den beiden anderen Jahren.

Tab. 31: Rohnährstoffe von Erntegut und Silagen nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge im Saatzeitenversuch der Versuchsjahre 2016 bis 2018 (XP=Rohprotein, XL=Rohfett, XA=Rohasche, XF=Rohfaser, XS=Stärke, XZ=Zucker), Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel.

Prüfglied	XP	XL	XA	XF	XS	XZ*	XP	XL	XA	XF	XS	XP	XL	XA	XF	XS
			[% TS]						[% TSk]					[% TSk]		
			Erntegut						Silage Kontrolle					Silage Zusatz		
									2016							
Reinsaat M11	6,3	2,6	3,8	15,1	40,4	2,7	6,0	2,8	3,5	15,8	40,8	5,8	3,1	3,8	16,2	40,4
GP Früh	7,0	2,1	4,6	17,8	34,6	2,5	6,7	2,6	4,2	18,3	35,2	6,6	2,7	4,3	17,5	37,5
TA Früh	7,7	2,0	4,7	17,7	33,9	1,8	7,4	2,7	4,7	18,6	32,3	7,2	2,7	4,7	19,4	31,6
GP Spät	6,9	2,4	4,0	17,4	38,1	2,4	6,7	2,8	3,9	16,1	39,5	6,4	2,6	4,1	17,4	35,9
TA Spät	7,2	2,0	4,3	18,2	35,8	1,9	7,2	2,6	4,2	18,0	35,9	6,8	3,1	4,5	17,5	36,6
TA Früh Misch	7,7	2,0	4,6	18,8	34,3	3,3	7,7	2,7	4,6	17,9	33,7	7,5	2,8	4,8	18,4	32,0
									2017							
Reinsaat M11	6,9	2,5	3,2	16,7	37,3	6,4	6,8	2,4	3,4	18,8	35,5	6,6	2,7	4,0	19,8	32,8
GP Früh	6,9	2,6	3,9	18,0	36,2	5,1	7,1	2,6	3,9	17,7	34,9	7,3	2,5	4,3	19,0	32,7
TA Früh	6,9	2,1	3,9	18,5	34,8	6,2	6,9	2,5	3,7	17,8	35,0	7,0	2,7	4,2	19,7	31,9
GP Spät	7,0	2,4	3,8	16,8	37,1	6,7	7,0	2,3	3,8	17,7	33,4	6,9	2,4	3,9	19,7	32,1
TA Spät	7,8	2,4	4,0	17,6	37,1	5,3	7,8	2,6	4,3	19,2	30,5	7,6	2,5	4,4	20,3	29,7
TA Früh Misch	7,0	2,3	4,7	20,1	33,6	4,3	7,0	2,4	4,4	19,5	32,2	6,8	2,5	4,4	21,6	30,4
									2018							
Reinsaat M11	6,9	2,6	4,0	15,4	41,3	4,2	7,0	2,9	3,9	15,6	42,5	6,9	2,9	3,9	14,6	42,2
GP Früh	8,1	2,5	4,5	16,0	37,4	2,7	8,2	2,7	4,4	16,7	38,6	8,0	2,8	4,2	16,1	38,3
TA Früh	7,9	2,7	4,8	16,6	36,7	3,1	7,5	2,8	4,4	16,2	40,4	7,5	2,6	4,6	17,2	36,6
GP Spät	7,1	2,5	4,0	15,8	40,4	3,9	7,2	3,0	3,9	15,6	40,9	7,2	3,0	3,8	15,9	40,0
TA Spät	7,5	2,5	4,1	15,1	40,4	3,5	7,5	2,9	4,2	16,1	38,6	7,6	2,8	4,0	16,5	38,4
TA Früh Misch	9,3	2,6	4,6	15,5	37,8	4,5	9,4	2,6	4,6	15,6	37,3	9,0	2,5	4,8	17,2	33,9

*nur im Erntegut analysiert

Beim Gehalt an ELOS gab es eine signifikante 3-fache Wechselwirkung zwischen Jahr, Prüfglied und Behandlung (p=0,0415) (Tab. 32). Die Gehalte lagen mit 59,2% am niedrigsten in der Silage Zusatz TA Früh (2016) und TA Spät (2017) sowie am höchsten mit 71,2% im Erntegut TA Früh (2018). Der Gehalt in den Silagen Zusatz fiel bei allen Prüfgliedern immer niedriger aus als im Erntegut und den Silagen Kontrolle.

Der Gehalt an den Gerüstsubstanzen ADFom (p<0,0138) und aNDFom (p=0,0033) wies signifikante Wechselwirkungen zwischen Jahr und Prüfglied auf (Tab. 32). Die Spanne lag beim ADFom-Gehalt zwischen 18,6% (Reinsaat M11, Silage Zusatz 2018) und 25,9% (TA Früh, Erntegut 2016), beim aNDFom-Gehalt zwischen 34,0% (Reinsaat M11, Silage Kontrolle 2017) und 49,0% (GP Früh, Erntegut 2016). Des Weiteren wurden für beide Inhaltsstoffparameter signifikante Unterschiede beim jeweiligen Gehalt zwischen der Behandlung beobachtet: ADFom (p=0,0029) und aNDFom (p<0,0001). Im Durchschnitt der Prüfglieder und Jahre war jeweils im Erntegut der ADFom-Gehalt mit 22,1% sowie der aNDFom-Gehalt mit 44,3% signifikant am höchsten. Zwischen Silage Kontrolle und Silage Zusatz und beider zum Erntegut gab es jeweils keine signifikanten Unterschiede. Die Gehalte lagen für ADFom bei 20,9 bzw. 21,2% und für aNDFom bei 38,5 bzw. 38,3%.

Tab. 32: ELOS und Gerüstsubstanzen von Erntegut und Silagen nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge im Saatzeitenversuch der Versuchsjahre 2016 bis 2018 (ELOS=Enzymlösliche Organische Substanz, ADFom=Säure-Detergentien-Faser, aNDFom= Neutrale-Detergentien-Faser), Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel.

Prüfglied	ELOS	ADFom	aNDFom	ELOS	ADFom	aNDFom	ELOS	ADFom	aNDFom
		[% TS]			[%TSk]			[%TSk]	
		Erntegut			Silage Kontrolle			Silage Zusatz	
					2016				
Reinsaat M11	66,1	20,7	42,9	69,0	19,5	37,2	62,9	21,0	38,7
GP Früh	63,9	24,8	49,0	64,2	22,4	40,5	60,7	22,3	39,7
TA Früh	64,7	25,9	48,1	63,0	24,7	43,2	59,2	24,8	43,8
GP Spät	66,2	22,2	45,3	65,6	21,0	39,7	57,8	22,1	40,8
TA Spät	63,1	24,0	46,5	64,3	23,1	40,5	59,5	23,3	41,2
TA Früh Misch	67,2	23,2	45,6	64,1	22,8	40,1	60,5	22,9	39,4
					2017				
Reinsaat M11	65,6	21,3	40,8	67,9	19,0	34,0	60,6	19,8	34,3
GP Früh	62,9	22,6	42,3	65,4	21,2	37,1	60,3	22,3	35,5
TA Früh	64,5	22,3	41,7	68,2	20,3	35,8	60,9	21,4	36,8
GP Spät	66,6	21,3	41,2	66,4	20,1	35,8	61,6	19,9	35,1
TA Spät	66,0	21,7	42,1	65,8	21,2	35,7	59,2	21,2	35,7
TA Früh Misch	61,6	23,9	44,6	64,1	21,1	36,8	60,2	20,7	35,6
					2018				
Reinsaat M11	68,8	20,2	43,6	68,8	20,2	40,3	66,9	18,6	38,2
GP Früh	68,9	21,3	44,1	68,2	19,2	37,6	63,9	20,1	37,8
TA Früh	71,2	20,2	43,6	64,2	21,8	40,3	60,8	22,0	40,0
GP Spät	69,1	20,3	44,8	70,2	19,3	39,0	67,8	19,5	39,0
TA Spät	69,2	20,6	45,2	67,6	20,6	40,2	65,1	20,2	38,7
TA Früh Misch	68,9	21,3	45,5	67,6	19,2	39,0	62,5	20,0	38,9

4.2 Modellsilagen

4.2.1 Modellsilagen im Labormaßstab, Standort Trenthorst

4.2.1.1 Gäreigenschaften und Silagequalität

Beim Ansetzen der Modellsilagen mit Mais und den Mais-Bohnen-Gemengen hatte in den jeweiligen Untersuchungsjahren in der Regel der Mais gegenüber den Gemengeprüfgliedern mit minimal 32,9% (2014) und maximal 38,9% (2018) den höheren TS-Gehalt aufzuweisen (Tab. 33). Je

höher der bei den Mais-Bohnen-Gemengen zugemischte Bohnenanteil und je weniger die Abreife der Bohnen fortgeschritten war, umso stärker sank gegenüber dem Mais der TS-Gehalt in den Gemengen. Den niedrigsten TS-Gehalt wies dabei das Prüfglied WR45 im Jahr 2015 mit 21,8% auf. Eine Ausnahme bildeten die Gemengeprüfglieder TA15, TA30 und TA45 im Untersuchungsjahr 2018, deren Werte gleichauf mit dem Mais lagen. Ursache hierfür war ein im Vergleich zu Mais mit 38,6% leicht höherer TS-Gehalt der Sorte Bohnensorte TA. Insbesondere in den Jahren 2014 und 2015 erfüllten die erzeugten Gemengeprüfglieder meist nicht den für eine Silierung empfohlenen TS-Gehalt von 30–37% (Spiekers, 2011).

Der Z/PK-Quotient lag bei der TA45 mit 0,6 im Untersuchungsjahr 2014 am niedrigsten und am höchsten bei Mais mit 3,9% im Jahr 2018 (Tab. 33). Bei den Gemengeprüfgliedern sanken die Quotienten in den Jahren 2014, 2016 und 2018 mit steigenden Bohnenanteilen, im Jahr 2015 erfolgte ein leichter Anstieg. Der Richtwert von 2,0 wurde im Jahr 2016 von Mais, TA15, und AV15, im Jahr 2018 von allen Prüfgliedern überschritten.

Den höchsten Vergärbarkeitskoeffizienten erzielte in allen Untersuchungsjahren Mais, jeweils 46 in den Jahren 2014 und 2015, 66 im Jahr 2016 und 70 im Jahr 2018. Bei den Gemengeprüfgliedern fiel der Koeffizient gegenüber Mais immer geringer aus und sank in der Regel in allen Jahren mit steigenden Bohnenanteilen. Der Richtwert von 45 wurde von Mais immer und von den Gemengeprüfgliedern nur in den Jahren 2016, außer AV45, und 2018 übertroffen.

Der Besatz der Gärschädlinge von Hefen und Schimmel im Erntegut erreichte in den Untersuchungsjahren 2015, 2016 und 2018 bei vielen bzw. allen Prüfgliedern in der Regel Werte, die größer als 1,0E+05 bzw. größer als 1,0E+04 KbE g FM^{-1} lagen und damit immer höher als die Richtwerte (Tab. 33). Im Vergleich der Untersuchungsjahre lag lediglich der durchschnittliche Schimmelbesatz im Jahr 2016 eine Zehnerpotenz niedriger. Im Jahr 2014 fanden zu beiden Gärschädlingen keine Untersuchungen statt. Es wurde eine vergleichbare Belastung wie im Sortenversuch angenommen, die in dem Jahr für beide Gärschädlinge auch über den Richtwerten lag.

Bei den Milchsäurebakterien (MSB) wurden in allen Untersuchungsjahren im Erntegut aller Prüfglieder Mengen mit mehr als 1,0E+04 KbE g FM^{-1} bzw. mehr als 1,0E+05 KbE g FM^{-1} vorgefunden. Mit Hinzugabe des Siliermittels war eine Steigerung der Werte auf mehr als 1,0E+05 bzw. 1,0E+06 KbE g FM^{-1} zu beobachten.

Tab. 33: Gäreigenschaften des Ernteguts der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge in den Modellsilagen von Trenthorst der Versuchsjahre 2014 bis 2016 u. 2018, Zusatz = Einsatz eines Siliermittels.

Prüfglied	TS	Z/PK	VK	Hefen	Schimmel	MSB	MSB Zusatz
	[%]			[KbE/g FM]	[KbE/g FM]	[KbE/g FM]	[KbE/g FM]
				2014			
Mais	32,9	1,6	46			7,4E+04	4,9E+05
TA15	30,7	1,3	41			1,5E+05	9,4E+05
TA30	27,7	1,1	36			3,1E+05	5,1E+05
TA45	25,6	0,6	31	nicht ermittelt		9,9E+04	4,6E+05
PG15	30,2	1,4	42			2,4E+05	1,4E+06
PG30	28,2	1,0	37			1,8E+05	4,8E+05
PG45	26,0	0,8	32			2,5E+05	7,6E+05
				2015			
Mais	35,1	1,3	46	8,7E+04	2,0E+05	6,3E+04	9,1E+05
CO15	31,9	1,5	44	1,1E+05	1,5E+05	8,1E+04	2,5E+05
CO30	28,1	1,7	41	8,3E+04	1,1E+05	1,1E+05	4,9E+05
CO45	26,5	1,9	41	5,3E+04	1,7E+05	4,2E+04	3,8E+05
WR15	29,8	1,5	42	8,7E+04	2,9E+05	1,1E+05	4,5E+05
WR30	25,7	1,7	39	1,0E+05	1,0E+05	1,2E+05	3,2E+05
WR45	21,8	1,9	37	2,8E+04	5,2E+04	4,7E+04	2,7E+05
				2016			
Mais	38,1	3,5	66	2,1E+05	5,0E+04	7,2E+05	3,4E+06
TA15	38,5	2,4	58	1,3E+05	4,0E+04	2,9E+05	1,7E+06
TA30	39,0	1,9	55	1,1E+05	1,7E+04	4,0E+05	1,6E+06
TA45	39,5	1,6	52	9,0E+04	4,0E+04	3,4E+05	1,2E+06
AV15	35,4	2,5	55	1,7E+05	2,7E+04	3,4E+05	8,7E+05
AV30	32,5	1,9	48	5,7E+05	4,7E+04	8,7E+05	9,1E+05
AV45	30,3	1,7	44	4,2E+04	1,0E+04	1,9E+05	5,6E+05
				2018			
Mais	38,9	3,9	70	1,5E+05	5,4E+05	2,0E+05	2,4E+05
TA15	35,4	2,7	57	1,8E+05	4,7E+05	1,2E+05	1,5E+05
TA30	32,0	2,2	50	2,1E+05	3,6E+05	1,3E+05	1,4E+05

Richtwerte (Jänicke 2011)

Z/PK Quotient: mind. 2	Hefen:	<1,0E+05
VK = Vergärbarkeitskoeffizient : mind. 45	Schimmel:	<1,0E+04

In den Silagen stellten sich die pH-Werte aller Prüfglieder eindeutig im sauren Milieu ein (Tab. 34). Bei der Kontrolle lag der Wert der jeweiligen Prüfglieder zwischen minimal 3,8 (alle Jahre) und maximal 4,0 (2016), beim Zusatz zwischen 3,8 (2014, 2015 u. 2018) und 4,1 (2015).

Die Gärschädlinge Hefen konnten in den Silagen bei der Kontrolle nicht immer unterdrückt werden (Tab. 34). Dies betraf allerdings nur das Untersuchungsjahr 2015, in welchem bei allen Prüfgliedern in allen Silagen noch Hefenmengen größer 1,0E+03 KbE g FM^{-1} feststellbar waren. Somit lag der Anteil untersuchter Laborsilagen bei dem maximal zu erreichenden Wert von 100,0%. Beim Zusatz lagen die gemessenen Mengen in allen Jahren und bei allen Prüfgliedern immer unterhalb 1,0E+03 KbE g FM^{-1}, also anteilsmäßig bei 0,0%. Die Gärschädlinge Schimmel wurden immer gut

unterdrückt. Bei Kontrolle als auch Zusatz lagen alle Prüfglieder in allen Untersuchungsjahren unterhalb eines Besatzes von 1,0E+03 KbE g FM^{-1}, somit alle Anteile bei 0,0% (Tab. 34).

Aufgrund des Silierprozesses lassen sich Gärverluste nicht vermeiden. Diese lagen bei der Kontrolle TA30 und TA45 mit 3,8% im Jahr 2014 am geringsten und mit 7,2% bei CO30 und TA im Jahr 2015 am höchsten (Tab. 34). Im Vergleich der Jahre waren die Verluste durchschnittlich mit 5,7% im Jahr 2015 am höchsten. Bei allen Prüfgliedern des Zusatzes wurden in den Jahren 2014 bis 2016 immer höhere Verluste ermittelt (Tab. 34). Maximal wurden 9,2% bei CO45 im Jahr 2015 beobachtet. Nur im Jahr 2018 waren die Verluste von Mais und TA30 mit 5,2 bzw. 4,8% gleichwertig zur Kontrolle. Durchschnittlich waren die Verluste im Jahr 2015 mit 7,5% am höchsten.

Tab. 34: Silagequalität nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge in den Modellsilagen von Trenthorst der Versuchsjahre 2014 bis 2016 u. 2018, Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel.

Prüfglied	pH	Hefen* [%]	Schimmel* [%]	Gärverluste [% TM]	pH	Hefen* [%]	Schimmel* [%]	Gärverluste [% TM]
		Kontrolle				Zusatz		
				2014				
Mais	3,8	0,0	0,0	4,5	3,8	0,0	0,0	4,9
TA15	3,8	0,0	0,0	3,9	3,9	0,0	0,0	4,4
TA30	3,9	0,0	0,0	3,8	3,9	0,0	0,0	4,5
TA45	3,9	0,0	0,0	3,8	4,0	0,0	0,0	4,6
PG15	3,8	0,0	0,0	4,1	4,0	0,0	0,0	4,8
PG30	3,9	0,0	0,0	4,0	4,0	0,0	0,0	5,0
PG45	3,9	0,0	0,0	4,0	4,1	0,0	0,0	4,9
				2015				
Mais	3,8	100,0	0,0	4,9	3,9	0,0	0,0	5,0
CO15	3,8	100,0	0,0	6,2	3,8	0,0	0,0	6,9
CO30	3,8	100,0	0,0	7,2	3,8	0,0	0,0	8,4
CO45	3,8	100,0	0,0	7,1	3,9	0,0	0,0	9,2
WR15	3,6	100,0	0,0	4,8	4,1	0,0	0,0	7,0
WR30	3,6	100,0	0,0	4,5	4,1	0,0	0,0	7,6
WR45	3,6	100,0	0,0	4,8	4,1	0,0	0,0	8,0
				2016				
Mais	3,9	0,0	0,0	5,1	3,9	0,0	0,0	5,5
TA15	3,9	0,0	0,0	4,7	3,9	0,0	0,0	5,1
TA30	3,9	0,0	0,0	4,5	3,9	0,0	0,0	4,8
TA45	4,0	0,0	0,0	4,6	4,0	0,0	0,0	6,0
AV15	3,9	0,0	0,0	4,9	4,0	0,0	0,0	5,4
AV30	3,9	0,0	0,0	4,9	4,0	0,0	0,0	5,5
AV45	3,9	0,0	0,0	5,0	3,9	0,0	0,0	5,9
				2018				
Mais	3,8	0,0	0,0	5,2	3,8	0,0	0,0	5,2
TA15	3,8	0,0	0,0	4,6	3,9	0,0	0,0	4,7
TA30	3,9	0,0	0,0	4,8	4,0	0,0	0,0	4,8

*Anteil untersuchter Laborsilagen mit einer Keimdichte >1,0E+03 KbE g FM^{-1}

Im Vergleich der Gärprodukte wurden bei der Kontrolle bei allen Prüfgliedern in allen Versuchsjahren vor allem ein hoher Gehalt an MS mit minimal 3,3% (Mais, 2015) und maximal 9,3% (AV45, 2016) vorgefunden (Tab. 35). Gegenüber den Gemengeprüfgliedern wurde in den

jeweiligen Jahren bei Mais immer ein niedrigerer Gehalt beobachtet. Je höher der bei den Mais-Bohnen-Gemengen zugemischte Bohnenanteil war, umso stärker stieg der MS-Gehalt. Im Vergleich der Jahre wurden 2015 bei allen Prüfgliedern die niedrigsten Messwerte erzielt. Beim Zusatz wurden fast gleiche Tendenzen auf einem geringeren Gehaltsniveau beobachtet. Die ES wies beim Zusatz mit minimal 1,3% (Mais, 2015) und maximal 3,9% (CO45, 2015) leicht höhere Werte als die Kontrolle auf. Ansonsten verhielt sie sich annähernd gleichermaßen wie MS. Der Wert von ETH wies bei der Kontrolle minimal 0,6% (WR30, 2015) bis maximal 2,2% (2015) sowie beim Zusatz 0,5% (Mais, 2015) bis 2,0% (2014) auf. Somit gab es bei ETH weitgehend keine großen Unterschiede zwischen Kontrolle und Zusatz. PD trat bei den Prüfgliedern der Kontrolle 2016 und 2018 nur in Spuren auf. Beim Zusatz wurde ein höherer PD-Gehalt mit bis zu 2,3% (WR30 u. WR45) im Jahr 2015 gefunden. Dagegen gab es für PD im Jahr 2016 bei keinem Prüfglied einen messbaren Wert. Hervorzuheben ist, dass bei allen Prüfgliedern sowie bei Kontrolle und Zusatz keine schädliche BS (0,0%) gebildet wurde. Ebenso lagen die Werte für PS und BD komplett bei 0,0%.

Tab. 35: Gärprodukte in den Silagen nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge in den Modellsilagen von Trenthorst der Versuchsjahre 2014 bis 2016 u. 2018 (MS=Milchsäure, ES=Essigsäure, PS=Propionsäure, ETH=Ethanol, PD=1,2-Propandiol, BD=2,3-Butandiol, BS=Buttersäure), Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel.

Prüfglied	MS	ES	PS	ETH	PD	BD	BS	MS	ES	PS	ETH	PD	BD	BS
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
	Kontrolle							Zusatz						
							2014							
Mais	5,3	2,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	4,4	2,1	0,0	1,3	0,5	0,0	0,0
TA15	6,0	2,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	3,9	2,7	0,0	1,2	1,5	0,0	0,0
TA30	7,2	2,1	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	5,8	2,8	0,0	2,0	0,8	0,0	0,0
TA45	8,5	2,2	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	6,0	3,1	0,0	1,7	1,2	0,0	0,0
PG15	5,5	1,8	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	4,7	2,0	0,0	1,5	0,3	0,0	0,0
PG30	7,1	1,7	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	6,1	2,5	0,0	1,5	0,6	0,0	0,0
PG45	8,9	1,9	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	6,1	2,6	0,0	1,4	0,8	0,0	0,0
							2015							
Mais	3,3	0,7	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	2,6	1,3	0,0	0,5	0,9	0,0	0,0
CO15	4,4	0,8	0,0	1,8	0,1	0,0	0,0	3,5	2,3	0,0	1,0	1,9	0,0	0,0
CO30	5,1	0,9	0,0	2,2	0,1	0,0	0,0	3,5	3,2	0,0	1,0	2,8	0,0	0,0
CO45	5,7	1,1	0,0	1,9	0,1	0,0	0,0	3,9	3,9	0,0	1,2	3,2	0,0	0,0
WR15	4,4	0,8	0,0	0,8	0,1	0,0	0,0	1,7	2,5	0,0	0,8	2,2	0,0	0,0
WR30	5,6	0,9	0,0	0,6	0,1	0,0	0,0	2,1	3,0	0,0	0,8	2,3	0,0	0,0
WR45	7,1	1,3	0,0	0,7	0,2	0,0	0,0	2,4	3,6	0,0	0,6	2,3	0,0	0,0
							2016							
Mais	4,5	1,4	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	4,7	2,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0
TA15	5,5	1,5	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	5,6	1,7	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0
TA30	5,8	1,5	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	6,0	1,9	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0
TA45	6,1	1,5	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	5,9	2,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0
AV15	6,4	1,8	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	5,9	2,2	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0
AV30	8,2	2,1	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	6,9	2,4	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0
AV45	9,3	2,2	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	7,5	2,8	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0
							2018							
Mais	5,2	1,4	0,0	1,5	0,3	0,0	0,0	5,5	1,6	0,0	1,7	0,5	0,0	0,0
TA15	6,5	1,6	0,0	0,9	0,3	0,0	0,0	6,8	2,0	0,0	0,8	0,7	0,0	0,0
TA30	7,8	2,1	0,0	0,8	0,6	0,0	0,0	8,8	2,5	0,0	1,0	0,9	0,0	0,0

Die Aerobe Stabilität (ASTA) wurde für einen Zeitraum von 7 Tagen gemessen (vergl. Kap. 3.4.3.4). Eine Erwärmung der Silage sowohl von Mais als auch der Gemengeprüfglieder erfolgte ausschließlich bei der Kontrolle im Untersuchungsjahr 2015 (Tab. 36). Die geringste ASTA wurde mit 2,4 Tagen bei WR15 gemessen. Nach spätestens 3,1 Tagen waren mit Mais und WR30 dann alle anderen Prüfglieder ebenfalls warm.

Auslöser für die Erwärmung sind, bedingt durch Luftzutritt, Aktivitäten der Gärschädlinge Hefen und Schimmel mit folglich ansteigendem pH-Wert gegenüber der Silageentnahme, die wiederum zu erhöhten Trockenmasseverlusten führen. Diese Effekte waren wie schon bei der ASTA-Messung nur bei allen Prüfgliedern der Kontrolle im Untersuchungsjahr 2015 zu beobachten (Tab. 36). Alle pH-Werte stiegen auf über 7 mit einem Maximalwert von 7,6 bei CO15 und CO45 an. Die Boniturwerte der Hefen erreichten den Höchstwert von 4,0 (CO30 u. CO45. Ebenso trat unerwünschter Schimmel mit Boniturwerten zwischen 0,5 und 1,5 liegend in Erscheinung. Alle Prüfglieder verzeichneten hohe Trockenmasseverluste. Dabei erzielte den höchsten Verlust CO15 mit 36,8%, den niedrigsten der Mais mit 18,4%.

Tab. 36: Aerobe Stabilität (ASTA) von Silagen nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge in den Modellsilagen von Trenthorst der Versuchsjahre 2014 bis 2016 u. 2018 sowie deren Qualitätsbewertung nach ASTA, Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel.

Prüfglied	ASTA [Tage]	pH	Hefen [Bonitur]	Schimmel [Bonitur]	Verluste [% TM]	ASTA [Tage]	pH	Hefen [Bonitur]	Schimmel [Bonitur]	Verluste [% TM]
	Kontrolle					Zusatz				
2014										
Mais	7,0	3,8	0,0	0,0	7,2	7,0	3,8	0,0	0,0	7,0
TA15	7,0	3,9	0,0	0,0	7,0	7,0	3,9	0,0	0,0	9,3
TA30	7,0	3,9	0,0	0,0	7,1	7,0	3,9	0,0	0,0	5,6
TA45	7,0	3,9	0,0	0,0	8,4	7,0	4,0	0,0	0,0	6,1
PG15	7,0	3,9	0,0	0,0	8,4	7,0	4,0	0,0	0,0	6,9
PG30	7,0	3,9	0,0	0,0	8,4	7,0	4,2	0,0	0,0	10,6
PG45	7,0	3,9	0,0	0,0	7,2	7,0	4,0	0,0	0,0	9,8
2015										
Mais	3,1	7,4	1,0	1,0	18,4	7,0	3,9	0,0	0,0	6,3
CO15	2,9	7,6	3,0	0,5	36,8	7,0	3,9	0,0	0,0	11,7
CO30	2,9	7,3	4,0	1,0	24,4	7,0	3,9	0,0	0,0	10,8
CO45	3,0	7,6	4,0	1,0	33,9	7,0	4,0	0,0	0,0	10,5
WR15	2,4	7,4	2,0	1,5	28,9	7,0	4,2	0,0	0,0	10,5
WR30	3,1	7,1	2,0	1,5	25,6	7,0	4,1	0,0	0,0	10,8
WR45	2,6	7,4	2,0	1,0	27,9	7,0	4,1	0,0	0,0	12,6
2016										
Mais	7,0	3,9	0,0	0,0	4,5	7,0	3,7	0,0	0,0	4,3
TA15	7,0	3,9	0,0	0,0	4,7	7,0	3,8	0,0	0,0	3,8
TA30	7,0	4,0	0,0	0,0	4,8	7,0	3,8	0,0	0,0	4,9
TA45	7,0	4,0	0,0	0,0	5,8	7,0	3,9	0,0	0,0	4,4
AV15	7,0	3,9	0,0	0,0	5,5	7,0	3,7	0,0	0,0	4,7
AV30	7,0	4,0	0,0	0,0	4,9	7,0	3,8	0,0	0,0	5,6
AV45	7,0	4,0	0,0	0,0	4,6	7,0	3,9	0,0	0,0	6,6
2018										
Mais	7,0	3,9	0,0	0,0	6,9	7,0	3,8	0,0	0,0	7,0
TA15	7,0	3,9	0,0	0,0	8,5	7,0	3,9	0,0	0,0	8,5
TA30	7,0	3,9	0,0	0,0	7,9	7,0	4,0	0,0	0,0	8,7

Unter Luftstressbedingungen erfolgte die Entnahme der Silage am 49.Tag. Eine genügende ASTA war bei den Kontrollen nicht gegeben (Tab. 37). Minimal erwärmten sich die Silagen schon nach einem Tag (CO15, 2015). Spätestens nach 3,1 Tagen (PG45, 2014) hatten sich alle Silagen erwärmt. Auch beim Zusatz fand weitgehend eine Erwärmung der Silagen in der Spannbreite 1,2 (Mais, 2016) bis 4,7 (TA45, AV45, 2016) Tage statt. Die Reaktionstage bis zur Erwärmung war gegenüber der Kontrolle teilweise langsamer (z. Bsp. TA45, 2016), schneller (z. Bsp. TA45, 2014) sowie gleich (z. Bsp. AV15, 2016). Allerdings gab es im Jahr 2015 viele Gemengeprüfglieder, welche eine ASTA von 7 Tagen erreichten (Tab. 37) und sich somit während Prüfdauer nicht erwärmten.

Bei allen sich erwärmten Prüfgliedern war ein gestiegener pH-Wert, bei der Kontrolle bis zu 8,2 (AV45, 2016) sowie beim Zusatz bis zu 7,5 (Mais, 2016), zu beobachten (Tab. 37). Ebenfalls waren die Gärschädlinge Hefen und Schimmel vorhanden (Tab. 37). Insbesondere im Jahr 2015 wurde bei allen Prüfgliedern eine hohe Hefenbelastung bonitiert. Alle Gemengeprüfglieder der Kontrolle als auch des Zusatzes erhielten den Maximalwert 4,0. Schimmel trat vorwiegend bei den Gemengeprüfgliedern der Kontrolle in den Jahren 2015 und 2016 mit einem Boniturwert bis zu 3,0 verstärkt auf. Die Trockenmasseverluste lagen desgleichen bei der Kontrolle mit bis 33,7% (PG45, 2015) und beim Zusatz mit bis 41,9% (TA45, 2015) auf hohem Niveau (Tab. 37).

Tab. 37: Aerobe Stabilität (ASTA) von Silagen nach 49 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge in den Modellsilagen von Trenthorst der Versuchsjahre 2014 bis 2016 unter Luftstressbedingungen sowie deren Qualitätsbewertung nach ASTA, Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel, n.e. = nicht ermittelt wegen hoher Schimmelbelastung.

Prüfglied	ASTA [Tage]	pH	Hefen [Bonitur]	Schimmel [Bonitur]	Verluste [% TM]	ASTA [Tage]	pH	Hefen [Bonitur]	Schimmel [Bonitur]	Verluste [% TM]
	Kontrolle					Zusatz				
					2014					
Mais	2,0	6,7	3,0	0,0	19,2	2,3	7,3	3,0	0,0	20,3
TA15	2,3	6,8	4,0	0,0	25,4	2,2	7,4	4,0	0,0	27,7
TA30	2,6	6,9	4,0	0,7	26,7	2,3	7,6	4,0	0,0	32,5
TA45	3,0	7,2	4,0	0,0	20,6	1,9	6,6	4,0	0,0	41,9
PG15	2,8	7,2	4,0	0,0	18,6	3,8	4,7	4,0	0,0	16,8
PG30	2,8	6,5	4,0	0,0	20,5	3,5	5,5	4,0	0,2	22,9
PG45	3,1	7,0	4,0	0,0	33,7	3,8	5,1	4,0	0,0	21,9
					2015					
Mais	4,3	7,0	0,5	0,0	11,5	3,9	7,1	1,0	0,0	10,1
CO15	1,0	n.e	0,5	2,0	17,3	6,4	5,4	0,5	0,0	10,9
CO30	1,3	n.e	0,5	2,0	20,5	7,0	3,7	0,0	0,0	6,3
CO45	1,1	n.e	0,5	2,0	28,2	7,0	3,7	0,0	0,0	7,2
WR15	1,4	n.e	1,0	2,0	24,2	7,0	3,8	0,0	0,0	6,9
WR30	1,4	n.e	1,0	3,0	26,9	7,0	3,8	0,0	0,0	8,8
WR45	1,5	n.e	1,0	2,5	27,0	7,0	3,8	0,0	0,0	7,7
					2016					
Mais	1,6	7,5	3,0	0,0	30,4	1,2	7,5	3,7	0,0	32,3
TA15	2,2	7,8	1,0	3,0	13,3	3,5	7,1	0,7	4,0	9,5
TA30	2,0	8,1	1,7	3,0	19,6	2,3	6,8	2,0	0,7	12,2
TA45	2,0	7,1	2,0	2,0	10,6	4,7	5,7	1,2	0,0	12,4
AV15	2,1	7,7	2,7	1,7	26,3	2,1	7,6	2,7	0,0	21,1
AV30	2,3	7,9	2,3	1,7	20,9	2,1	7,6	2,5	0,2	16,0
AV45	2,3	8,2	2,3	1,7	20,9	4,7	4,8	1,0	0,0	9,6

4.2.1.2 Rohnährstoffe

Die XP-Gehalte in den gezielt hergestellten Modellsilagen aller geprüften Jahre waren in den Mais-Bohnen-Gemengen signifikant höher als in den Mais-Reinsaaten (Tab. 38 - Tab. 41), wobei die XP-Erhöhung in den vier untersuchten Jahren in Abhängigkeit der geprüften Varianten unterschiedlich ausfiel. 2014 und 2016 lagen die XP-Gehalte der Mais-Reinsaat mit 5,4% deutlich unter denen der Jahre 2015 und 2018 mit 7,6 und 6,1%. 2014 und 2015 wurde der XP-Gehalt signifikant von der Variante beeinflusst, 2016 und 2018 von der Wechselwirkung zwischen Variante und Typ. 2014 wurden in den Modellsilagen mit der Stangenbohne Tarbais höhere XP-Gehalte erzielt als mit der Feuerbohne Preisgewinner, sowohl in den Gemengen mit 15, 30 als auch 45% Bohnenanteil. 2015 wurden in den Gemengen mit der Stangenbohne Cobra höhere XP-Gehalte analysiert als in denen mit der Feuerbohne Weiße Riesen. 2016 konnten in den Gemengen beider Stangenbohnen deutliche XP-Erhöhungen gemessen werden, wobei sie mit Anellino Verde deutlich höher ausfielen als mit Tarbais. 2018 fielen die XP-Erhöhungen in den Gemengen mit Tarbais deutlich geringer aus als in 2014 und 2016.

Tab. 38: Rohnährstoffgehalte inkl. Stärke, ADFom, NDFom, ELOS von Erntegut und Silagen der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge (TA15=15% Tarbais, TA30=30% TA, TA45=45% TA, PG15=15% Preisgewinner, PG30=30% PG, PG45=45% PG) der Modellsilagen des Jahres 2014, Standort Trenthorst.

Typ		Variante	XP	XA	XS	XL	XF	ADFom	aNDFom	ELOS
							[%TSk]			
						2014				
Erntegut	Mais-Reinsaat	M100	5,4	3,3	35,4	3,1	24,4	25,3	48,1	66,0
	Mais-Stangenbohne	TA15	6,8	4,7	29,6	2,8	21,1	24,4	44,5	69,5
		TA30	7,8	5,3	28,8	2,7	21,5	24,8	43,2	70,2
		TA45	9,8	6,5	25,0	2,8	22,8	28,4	43,1	66,7
	Mais-Feuerbohne	PG15	6,5	4,5	31,1	2,8	21,6	25,0	44,9	67,6
		PG30	7,5	5,1	30,0	2,8	20,2	27,3	46,7	67,5
		PG45	8,2	5,8	27,9	2,5	22,7	30,3	47,3	65,6
Silage-Kontrolle	Mais-Reinsaat	M100	5,4	3,9	35,1	3,0	19,3	21,9	39,9	65,1
	Mais-Stangenbohne	TA15	6,5	4,5	33,3	2,7	18,3	20,6	42,0	62,1
		TA30	7,4	5,3	29,0	2,5	21,0	23,4	39,6	65,3
		TA45	8,8	6,2	29,5	2,5	20,1	25,5	38,2	64,2
	Mais-Feuerbohne	PG15	6,3	4,4	33,2	3,0	20,3	24,3	41,3	64,0
		PG30	6,8	4,7	33,4	2,6	21,8	23,7	40,3	64,7
		PG45	7,9	5,7	29,4	2,2	22,3	26,3	41,5	63,6
Silage-Zusatz	Mais-Reinsaat	M100	5,3	3,9	31,1	2,7	18,8	22,9	41,2	61,5
	Mais-Stangenbohne	TA15	6,8	4,6	32,2	2,9	20,4	22,7	38,8	62,4
		TA30	7,9	5,6	30,9	2,5	20,5	23,7	36,8	62,3
		TA45	8,7	6,4	28,8	2,3	20,4	23,6	35,9	63,3
	Mais-Feuerbohne	PG15	6,4	5,1	32,4	2,6	19,4	23,3	39,9	63,0
		PG30	7,2	5,4	30,8	2,5	20,1	23,0	38,3	64,4
		PG45	8,0	6,1	27,1	1,9	24,6	26,0	41,3	62,2

Die XA-Gehalte wurden 2014 und 2015 signifikant von der Variante und dem Typ beeinflusst. 2016 und 2018 gab es signifikante Wechselwirkungen zwischen Variante und Typ. In allen Mais-Bohnen-Gemengen der 4 Jahre wurden höhere XA-Gehalte analysiert als in den Mais-Reinsaaten. Die Stärkegehalte aller Versuchsjahre wurden signifikant von der Wechselwirkung zwischen Typ und Variante beeinflusst. 2014 wurden die XL-Gehalte signifikant von der Variante und dem Typ beeinflusst, 2015 von der Wechselwirkung zwischen Variante und Typ, 2016 nur von der Variante

und 2018 nur vom Typ. Die XF-Gehalte wurden 2014, 2015 und 2016 signifikant von der Wechselwirkung zwischen Variante und Typ beeinflusst, 2018 wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Die ADFom-Gehalte der Gemenge lagen in allen Jahren über denen der Mais-Reinsaat. Die aNDFom-Gehalte variierten zwischen den Jahren und den Gemengevarianten. Die Gehalte an ELOS unterlagen keiner gerichteten Veränderung.

Tab. 39: Rohnährstoffgehalte inkl. Stärke, ADFom, NDFom, ELOS von Erntegut und Silagen der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge (CO15=15% Cobra, CO30=30% CO, CO45=45% CO, WR15=15% Weiße Riesen, WR30=30% WR, WR45=45% WR) der Modellsilagen des Jahres 2015, Standort Trenthorst.

Typ		Variante	XP	XA	XS	XL	XF	ADFom	aNDFom	ELOS
							[%TSk]			
						2015				
Erntegut	Mais-Reinsaat	M100	7,6	3,4	36,9	2,9	19,8	23,0	43,3	69,2
	Mais-Stangenbohne	CO15	9,3	4,4	31,3	2,4	20,4	24,2	43,0	69,2
		CO30	10,4	4,8	29,2	2,5	19,6	25,0	41,3	70,6
		CO45	11,5	5,2	29,3	2,2	18,9	24,2	35,4	75,5
	Mais-Feuerbohne	WR15	8,3	3,9	35,6	2,5	20,1	23,7	41,7	70,9
		WR30	9,0	4,4	31,1	2,1	21,4	25,1	41,9	69,8
		WR45	9,5	5,1	27,6	1,7	22,9	26,4	41,1	70,4
Silage-Kontrolle	Mais-Reinsaat	M100	7,7	3,7	30,9	2,9	17,9	22,9	41,8	60,5
	Mais-Stangenbohne	CO15	9,1	4,3	27,1	2,8	18,8	24,6	41,2	60,1
		CO30	10,7	5,1	23,4	2,5	17,8	24,1	39,6	62,8
		CO45	12,3	5,7	21,7	2,5	19,3	25,6	39,3	62,5
	Mais-Feuerbohne	WR15	8,4	4,1	30,3	2,7	18,8	23,8	41,4	63,1
		WR30	9,1	4,9	25,6	2,5	20,6	25,6	41,5	61,8
		WR45	10,1	5,9	21,0	2,0	21,7	29,0	43,2	59,9
Silage-Zusatz	Mais-Reinsaat	M100	8,5	3,5	31,7	2,9	17,3	21,6	39,8	67,8
	Mais-Stangenbohne	CO15	9,4	4,5	21,2	2,2	22,4	26,6	43,9	57,0
		CO30	12,0	5,2	19,9	2,1	22,6	26,7	41,7	55,8
		CO45	12,6	5,9	14,6	2,2	23,3	27,7	41,9	55,5
	Mais-Feuerbohne	WR15	8,4	4,5	24,6	2,4	21,7	26,1	44,9	55,9
		WR30	9,5	5,2	21,2	2,2	24,1	29,1	45,2	50,0
		WR45	10,4	5,9	18,2	2,1	25,2	30,9	46,6	52,0

Tab. 40: Rohnährstoffgehalte inkl. Stärke, ADFom, NDFom, ELOS von Erntegut und Silagen der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge (TA15=15% Tarbais, TA30=30% TA, TA45=45% TA, AV15=15% Anellino Verde, AV30=30% AV, AV45=45% AV) der Modellsilagen des Jahres 2016, Standort Trenthorst.

Typ		Variante	XP	XA	XS	XL	XF	ADFom	aNDFom	ELOS
							[%TSk]			
						2016				
Erntegut	Mais-Reinsaat	M100	5,4	3,0	36,7	3,4	14,2	19,9	40,2	74,4
	Mais-Stangenbohne	TA15	7,3	3,6	35,0	3,0	15,6	21,6	43,2	73,8
		TA30	7,6	4,4	31,1	2,5	17,7	26,3	47,1	70,7
		TA45	9,0	4,7	31,3	2,3	17,8	26,4	41,7	71,5
		AV15	6,9	4,1	32,0	2,9	16,4	23,7	42,4	72,0
		AV30	8,9	4,6	30,2	2,3	16,6	24,8	47,2	72,1
		AV45	10,3	5,5	28,0	2,2	17,3	24,1	42,1	73,9
Silage-Kontrolle	Mais-Reinsaat	M100	5,9	3,3	37,3	3,1	17,3	21,5	40,6	64,7
	Mais-Stangenbohne	TA15	6,9	3,7	34,5	2,8	17,4	23,3	41,5	64,3
		TA30	7,7	3,9	30,7	2,4	19,8	25,2	43,0	62,6
		TA45	8,5	4,6	31,0	2,2	21,7	26,1	43,5	65,2
		AV15	7,4	4,1	33,9	2,8	17,0	22,0	41,0	62,8
		AV30	8,7	4,9	30,6	2,4	17,9	23,7	41,5	61,6
		AV45	10,1	5,7	29,3	2,4	18,4	24,0	40,0	61,3
Silage-Zusatz	Mais-Reinsaat	M100	5,7	5,0	33,5	3,2	18,3	21,7	40,3	63,7
	Mais-Stangenbohne	TA15	6,8	4,6	31,8	2,6	19,9	24,0	40,6	63,8
		TA30	7,3	4,5	30,4	2,3	23,1	24,7	41,1	61,4
		TA45	10,4	4,8	32,5	2,4	20,0	22,1	41,1	65,4
		AV15	7,2	4,3	33,2	2,8	19,9	21,8	40,2	63,8
		AV30	8,7	4,9	33,9	2,6	19,0	24,6	40,3	62,0
		AV45	11,3	5,5	31,2	2,3	18,4	21,8	38,9	65,5

Tab. 41: Rohnährstoffgehalte inkl. Stärke, ADFom, NDFom, ELOS von Erntegut und Silagen der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge (TA15=15% Tarbais, TA30=30% TA) der Modellsilagen des Jahres 2018, Standort Trenthorst.

Typ		Variante	XP	XA	XS	XL	XF	ADFom	aNDFom	ELOS
							[%TSk]			
						2018				
Erntegut	Mais-Reinsaat	M100	6,1	2,9	36,5	2,7	16,7	17,5	35,8	74,9
	Mais-Stangenbohne	TA15	6,5	3,2	33,6	2,8	18,6	19,5	38,7	72,8
		TA30	7,5	3,8	37,3	2,6	18,1	19,7	37,5	73,0
Silage-Kontrolle	Mais-Reinsaat	M100	6,3	3,0	35,03	3,2	17,5	19,4	37,9	70,0
	Mais-Stangenbohne	TA15	6,6	3,9	33,06	2,6	17,7	19,6	36,7	69,6
		TA30	7,6	4,7	33,76	2,9	16,7	18,9	34,3	68,8
Silage-Zusatz	Mais-Reinsaat	M100	6,2	2,9	39,44	3,3	15,8	17,9	35,4	69,9
	Mais-Stangenbohne	TA15	7,2	4,3	33,85	3,2	17,2	18,4	34,6	70,3
		TA30	8,4	5,6	31,70	3,0	17,1	19,8	33,8	66,8

4.2.1.3 Sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe

Lektine – Phytohaemagglutinine (PHA)

Die Gehalte an PHA des Erntegutes der untersuchten Jahre unterschieden sich deutlich. Die 2014 erstellten Modell-Gemenge des Erntegutes mit 45% der Stangenbohne Tarbais bzw. der Feuerbohne Preisgewinner wiesen mit 0,2 vs. 0,43 g kg^{-1} sehr geringe Gehalte an PHA auf. In den Modell-Silagen sanken die Gehalte dann auf 0,16 vs. 0,3 g kg^{-1}. 2015 wurden Gemenge mit der Stangenbohne Cobra und der Feuerbohne Weiße Riesen erstellt, deren PHA-Gehalte 3,3 vs. 0,9 g kg^{-1} bei 45% Bohnenanteil betrugen. Die PHA-Gehalte in den Silagen waren deutlich geringer. Sie unterschieden sich signifikant bei einem Bohnenanteil von 45% zwischen den Behandlungen: 0,9 g kg^{-1} mit Silierhilfsmittel (Silage-Zusatz: Sil-Z) vs. 0,2 g kg^{-1} ohne (Silage-Kontrolle: Sil-K) für Cobra und 0,2 vs. 0,1 g kg^{-1} für Weiße Riesen. 2016 wiesen die Gemenge mit Anellino Verde signifikant höhere PHA-Gehalte auf als die mit Tarbais (Abb. 41), wobei sich auch hier Sil-Z und Sil-K bei einem Bohnenanteil von 45% signifikant unterschieden. 2018 wurden die geringsten PHA-Gehalte aller untersuchten Jahre gemessen, mit 0,06 g kg^{-1} im Gemenge mit 30% Tarbais im Erntegut und 0,03 g kg^{-1} in den Silagen.

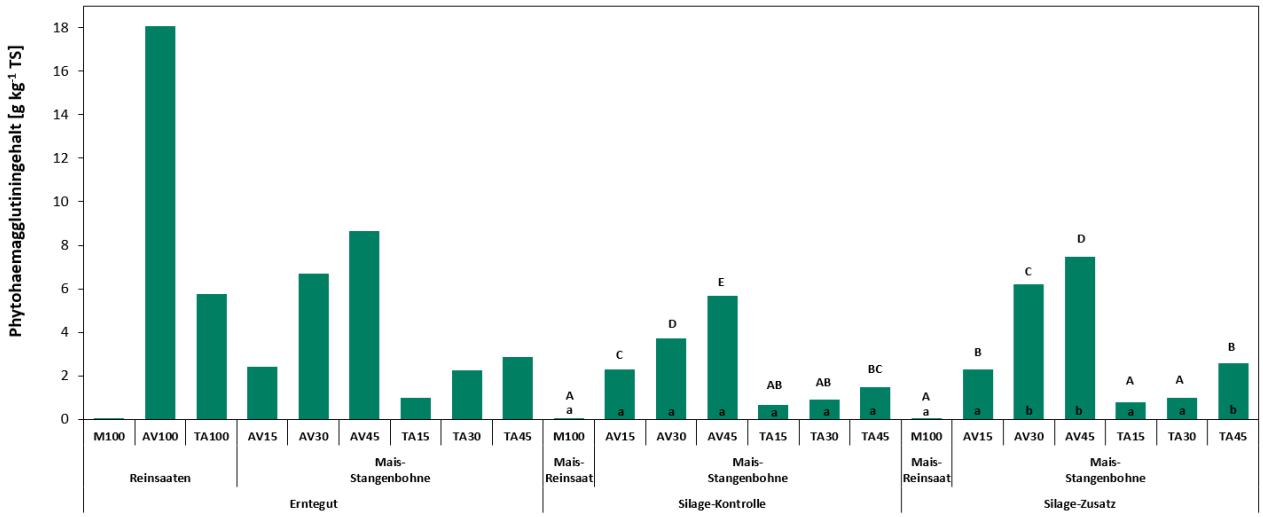


Abb. 41: Phytohaemagglutiningehalte von Erntegut und Silagen der Mais- (M100) und Bohnen-Reinsaaten (AV100, TA100) und der Mais-Bohnen-Gemenge (TA15=15% Tarbais, TA30=30% TA, TA45=45% TA, AV15=15% Anellino Verde, AV30=30% AV, AV45=45% AV im Gemenge mit Mais) der Modellsilagen des Jahres 2016, Standort Trenthorst. Für Silagen: LSMeans (SAS 9.4, Proc Mixed, Tukey-Cramer ($p < 0,05$)): LSMeans ohne gemeinsamen Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb desselben Typs. LSMeans ohne gemeinsamen Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Typen innerhalb derselben Variante.

Tannine

Die Tanningehalte der Mais-Reinsaat und der Modell-Gemenge des Erntegutes waren in den vier Anbaujahren geringer als in den Silagen. In der Mais-Reinsaat variierten sie von 2,2 g kg^{-1} 2015 bis 2,9 g kg^{-1} 2018 im Erntegut und in den Silagen von 3,8 bis 5,0 g kg^{-1}. In den Gemengen des Erntegutes mit 15, 30 und 45% Bohnen stiegen die Tanningehalte unterschiedlich stark an, 2014 von 2,7 g kg^{-1} in der Mais-Reinsaat auf 3,4 g kg^{-1} im Gemenge mit 45% Tarbais und auf 4,6 g kg^{-1} im Gemenge mit 45% Preisgewinner. 2015 erhöhte sich der Tanningehalt durch 45% Bohnen von 2,2 g kg^{-1} auf 3,1 im Gemenge mit Cobra und auf 2,4 g kg^{-1} im Gemenge mit Weiße Riesen. 2016 wurden im Gemenge mit 45% Tarbais geringere Gehalte als in der Mais-Reinsaat gemessen,

2,8 g kg^{-1} vs. 2,3 g kg^{-1}, im Gemenge mit 45% Anellino verde dann allerdings 4,8 g kg^{-1}. 2018 erhöhte sich der Tanningehalt von 2,9 in der Mais-Reinsaat auf 3,3 g kg^{-1} im Gemenge mit 30% Tarbias. In den Silagen aller Jahre wurden in den Mais-Bohnen-Gemengen mit ansteigenden Bohnenanteilen auch jeweils ansteigende Tanningehalte gemessen.

α-Galactoside

Die α-Galactoside Raffinose, Stachyose und Verbascose konnten bereits im Erntegut nicht nachgewiesen werden. Auch in den Silagen lagen sie unterhalb der Nachweisgrenze, die für Raffinose 0,05%, für Stachyose 0,04% und für Verbascose 0,03% betrug.

4.2.2 Modellsilagen im Labormaßstab, Standort Braunschweig

4.2.2.1 Rohnährstoffe

Die XP-Gehalte der Gemenge mit 15 und 30% der Stangenbohnen Tarbais waren signifikant höher als die der Mais-Reinsaaten, sie wurden allerdings auch vom Typ beeinflusst, wie Tab. 42 zeigt. Die XA-Gehalte stiegen mit höheren Bohnenanteilen an und wurden signifikant von der Wechselwirkung zwischen Variante und Typ beeinflusst. Auch die XL-Gehalte wurden signifikant von der Wechselwirkung zwischen Variante und Typ beeinflusst. Steigende Bohnenanteile führten zu einer Erhöhung der XF-Gehalte, was allerdings nicht für den Typ Silage-Kontrolle (ohne Zusatz von Silierhilfsmitteln) zutraf. Auch die ADFom-Gehalte stiegen signifikant mit höheren Bohnenanteilen. Sowohl die NDF- als auch die ELOS-Gehalte der Varianten und Typen unterschieden sich nicht signifikant. Anders hingegen die XS-Gehalte: die Mais-Reinsaat wies die höchsten XS-Gehalte auf. Steigende Bohnenanteile im Gemenge führte zu signifikant geringeren XS-Gehalten.

Tab. 42: Rohnährstoffgehalte inkl. Stärke, ADFom, NDFom, ELOS von Erntegut und Silagen der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge (TA15=15% Tarbais, TA30=30% TA) der Modellsilagen des Jahres 2018, Standort Braunschweig.

Typ		Variante	XP	XA	XL	XF	ADFom	aNDFom	XS	ELOS
					[%TSk]					
					2018					
Erntegut	Mais-Reinsaat	M100	8,2	3,8	2,8	14,8	17,9	42,5	39,4	73,5
	Mais-Stangenbohne	TA15	9,1	4,4	2,5	15,4	19,1	38,8	38,2	72,4
		TA30	10,3	5,5	2,3	17,3	21,4	41,1	34,4	69,2
Silage-Kontrolle	Mais-Reinsaat	M100	8,0	3,8	2,4	14,4	19,0	37,4	38,7	38,7
	Mais-Stangenbohne	TA15	9,1	3,7	2,1	14,8	19,3	37,3	37,9	37,9
		TA30	10,2	4,5	2,4	14,4	22,1	36,5	36,5	36,5
Silage-Zusatz	Mais-Reinsaat	M100	7,9	4,5	2,4	14,0	19,0	36,8	38,6	38,6
	Mais-Stangenbohne	TA15	8,9	5,1	2,6	14,9	20,0	37,2	35,4	35,4
		TA30	9,9	5,5	1,9	16,6	20,4	36,2	31,9	31,9

Vergleich der Modellsilagen der Standorte Trenthorst (TH) und Braunschweig (BS)

Die im Jahr 2018 an den Standorten TH und BS erstellten Modellsilagen unterschieden sich im XP-Gehalt mit 6,1% vs. 8,2% deutlich (Tab. 41, Tab. 42). Es wurde eine signifikante 3-fach-Wechselwirkung von Ort, Variante und Typ festgestellt. Die Gehalte an XA lagen am Standort BS mit 3,8% höher als in TH mit 2,9%. Sowohl die XL-Gehalte der Silagen als auch die XF-Gehalte lagen am Standort TH auf signifikant höherem Niveau als in BS. Die XS-Gehalte wiederum waren in den Silagen am Standort BS signifikant höher. XA-, XL-, XF- und XS-Gehalte wurden von der Wechselwirkung zwischen Ort und Typ als auch von der zwischen Variante und Typ beeinflusst. Bei den

ADF-Gehalten bestand eine 3-fache Wechselwirkung zwischen Variante, Ort und Typ ebenso wie bei den ELOS-Gehalten.

4.2.2.2 Gäreigenschaften und Silagequalität

Beim Ansetzen der Modellsilagen mit Mais und den Mais-Bohnen-Gemengen hatte der Mais gegenüber den beiden Gemengeprüfgliedern TA15 und TA30 mit 42,0% den höheren TS-Gehalt aufzuweisen (Tab. 43). Je höher der zugemischte Bohnenanteil war, umso stärker sank gegenüber dem Mais der TS-Gehalt in den Gemengen. Den niedrigsten TS-Gehalt wies dabei das Prüfglied TA30 mit 36,4% auf und entsprach dem empfohlenen TS-Gehalt für die Silierung von 30–37% (Spiekers, 2011).

Der Z/PK-Quotient lag zwischen 2,4 bei TA30 und 3,5 bei Mais (Tab. 43). Mit höheren Bohnenanteilen fiel er niedriger aus. Der Richtwert von 2,0 wurde von allen Prüfgliedern überschritten.

Den höchsten Vergärbarkeitskoeffizienten erzielte Mais mit 70, den niedrigsten TA30 mit 56. Bei den Gemengeprüfgliedern fiel der Koeffizient gegenüber Mais geringer aus und sank mit steigenden Bohnenanteilen. Der Richtwert von 45 immer übertroffen.

Der Besatz der Gärschädlinge von Hefen und Schimmel im Erntegut erreichte bei allen Prüfgliedern meist Werte, die größer als 1,0E+05 bzw. größer als 1,0E+04 KbE g FM^{-1} lagen und damit höher als die Richtwerte (Tab. 43). Lediglich bei Mais wurde der Richtwert knapp unterschritten.

Bei den Milchsäurebakterien (MSB) wurden im Erntegut aller Prüfglieder mit mehr als 1,0E+03 KbE g FM^{-1} nicht sehr hohe Mengen vorgefunden. Mit Hinzugabe des Siliermittels war eine Steigerung der Werte auf mehr als 1,0E+05 KbE g FM^{-1} zu beobachten.

Tab. 43: Gäreigenschaften des Ernteguts der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge in den Modellsilagen von Braunschweig des Versuchsjahres 2018, Zusatz = Einsatz eines Siliermittels.

Prüfglied	TS [%]	Z/PK	VK	Hefen [KbE/g FM]	Schimmel [KbE/g FM]	MSB [KbE/g FM]	MSB Zusatz [KbE/g FM]
Mais	42,0	3,5	70	7,7E+04	3,9E+04	3,6E+03	3,0E+05
TA15	39,1	3,1	64	1,1E+05	3,7E+04	3,9E+03	2,4E+05
TA30	36,4	2,4	56	1,1E+05	3,9E+04	2,8E+03	2,8E+05
Richtwerte (Jänicke 2011)							
Z/PK Quotient: mind. 2						Hefen:	<1,0E+05
VK = Vergärbarkeitskoeffizient : mind. 45						Schimmel:	<1,0E+04

In den Silagen stellte sich der pH-Wert aller Prüfglieder eindeutig im sauren Milieu ein (Tab. 44). Kontrolle und Zusatz lagen mit Werten von 3,9 bis 4,0 annähernd gleich.

Die Gärschädlinge Hefen und Schimmel konnten in den Silagen bei der Kontrolle als auch dem Zusatz immer gut unterdrückt werden. Alle Prüfglieder lagen unterhalb eines Besatzes von 1,0E+03 KbE g FM^{-1}, somit alle Anteile bei 0,0% (Tab. 44).

Aufgrund des Silierprozesses lassen sich Gärverluste nicht vermeiden. Bei der Kontrolle trat der höchste Verlust mit 4,4% beim Mais auf und beim Zusatz mit 5,3% bei TA30. Im Durchschnitt der

Prüfglieder lagen die Verluste der Kontrolle mit 4,0% gegenüber dem Zusatz mit 4,9% etwas niedriger.

Tab. 44: Silagequalität nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge in den Modellsilagen Braunschweig des Versuchsjahres 2018, Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel.

Prüfglied	pH	Hefen* [%]	Schimmel* [%]	Gärverluste [% TM]	pH	Hefen* [%]	Schimmel* [%]	Gärverluste [% TM]
		Kontrolle				Zusatz		
Mais	3,9	0,0	0,0	4,4	3,9	0,0	0,0	5,1
TA15	4,0	0,0	0,0	3,7	3,9	0,0	0,0	5,0
TA30	4,0	0,0	0,0	3,8	3,9	0,0	0,0	5,3

*Anteil untersuchter Laborsilagen mit einer Keimdichte >1,0E+03 KbE g FM^{-1}

Im Vergleich der Gärprodukte wurden bei der Kontrolle bei allen Prüfgliedern vor allem ein hoher Gehalt an MS mit minimal 4,7% (Mais) und maximal 7,2% (TA30) vorgefunden (Tab. 45). Je höher der bei den Mais-Bohnen-Gemengen zugemischte Bohnenanteil war, umso stärker stieg der MS-Gehalt. Gleiches Ergebnis auf niedrigerem Niveau tritt beim Zusatz auf. ES wies beim Zusatz mit minimal 2,7% (Mais) und maximal 3,3% (TA30) höhere Werte als die Kontrolle auf. Die Werte von ETH lagen bei Kontrolle und Zusatz immer unterhalb 1,0%. Den höchsten Wert erzielte noch die Mais Kontrolle mit 0,9%. PD trat bei den Prüfgliedern des Zusatzes mit minimal 2,3% (TA15) und maximal 2,6% (TA30) auf, dagegen bei der Kontrolle nur mit weniger als 1%. Hervorzuheben ist, dass bei allen Prüfgliedern von Kontrolle und Zusatz keine schädliche BS (0,0%) gebildet wurde. Ebenso lagen die Werte für PS und BD komplett bei 0,0%.

Tab. 45: Gärprodukte in den Silagen nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge in den Modellsilagen Braunschweig des Versuchsjahres 2018 (MS=Milchsäure, ES=Essigsäure, PS=Propionsäure, ETH=Ethanol, PD=1,2-Propandiol, BD=2,3-Butandiol, BS=Buttersäure), Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel.

Prüfglied	MS [%]	ES [%]	PS [%]	ETH [%]	PD [%]	BD [%]	BS [%]	MS [%]	ES [%]	PS [%]	ETH [%]	PD [%]	BD [%]	BS [%]
	Kontrolle							Zusatz						
Mais	4,7	1,6	0,0	0,9	0,7	0,0	0,0	3,4	2,7	0,0	0,7	2,3	0,0	0,0
TA15	5,9	1,5	0,0	0,4	0,4	0,0	0,0	4,6	2,8	0,0	0,7	2,2	0,0	0,0
TA30	7,2	1,7	0,0	0,4	0,3	0,0	0,0	4,8	3,3	0,0	0,8	2,6	0,0	0,0

Die Aerobe Stabilität (ASTA) wurde für einen Zeitraum von 7 Tagen gemessen (vergl. Kap. 3.4.3.4). Von allen Prüfgliedern der Kontrolle und des Zusatzes wurde die ASTA über die Prüfdauer ohne des Eintretens einer Nacherwärmung aufrechterhalten (Tab. 46). Somit gab es gänzlich keine Gärschädlinge sowie keinen Anstieg des pH-Wertes und der Trockenmasseverluste (Tab. 46). Durchschnittlich der Prüfglieder lagen die Trockenmasseverluste bei 7,2% (Kontrolle) und 6,7% (Zusatz).

Tab. 46: Aerobe Stabilität (ASTA) von Silagen nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge in den Modellsilagen von Braunschweig des Versuchsjahres 2018 sowie deren Qualitätsbewertung nach ASTA, Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel.

Prüfglied	ASTA [Tage]	pH	Hefen [Bonitur]	Schimmel [Bonitur]	Verluste [% TM]	ASTA [Tage]	pH	Hefen [Bonitur]	Schimmel [Bonitur]	Verluste [% TM]
	Kontrolle					Zusatz				
Mais	7,0	3,9	0,0	0,0	6,4	7,0	3,8	0,0	0,0	6,2
TA15	7,0	3,9	0,0	0,0	7,7	7,0	4,0	0,0	0,0	7,4
TA30	7,0	3,9	0,0	0,0	7,4	7,0	4,1	0,0	0,0	6,5

4.2.3 Modellsilage zur Prüfung unterschiedlicher Siliermittel

Für die Prüfung der verschiedenen Siliermittel an den Prüforten Braunschweig (Bs) und Trenthorst (Th) wurde als Grundlage aller Prüfglieder jeweils das gleiche Erntegut verwendet. Somit waren die Gäreigenschaften aller Prüfglieder standortbezogen identisch. Lediglich bei der Anwendung der biologischen Siliermittel BioCool und BS Twin gab es eine Steigerung der Werte des MSB-Besatzes im Erntegut von Mais und Gemenge beider Prüforte zu beobachten (Tab. 47). Allerdings wurden im jeweiligen Erntegut mit meist mehr als 1,0E+05 KbE g FM^{-1} schon hohe Mengen vorgefunden.

Beim Ansetzen der Modellsilagen hatte der Mais an beiden Versuchsorten einen vergleichbaren TS-Gehalt mit 36,7% (Bs) und 35,3% (Th) aufzuweisen (Tab. 47). Bei den Gemengeprüfgliedern lag dieser dagegen in Th mit 29,6% bedingt durch geringer abgereifte Bohnen wesentlich niedriger als in Bs mit 35,5%. Der empfohlene TS-Gehalt für die Silierung von 30–37% (Spiekers, 2011) wurde damit beim Gemenge von Th knapp verfehlt.

Der Z/PK-Quotient lag in Bs bei Mais und Gemenge mit 2,4 bzw. 2,8 oberhalb und in Th mit 1,3 bzw. 1,4 unterhalb des Richtwertes von 2,0 (Tab. 47).

Einen geringeren Vergärbarkeitskoeffizienten als den Richtwert von 45 gab es nur beim Gemenge in Th mit 41 (Tab. 47).

Der Besatz der Gärschädlinge von Hefen und Schimmel im Erntegut unterschied sich zwischen Bs und Th. In Anbetracht der Richtwerte war in Bs der Hefenbesatz bei Mais und Gemenge mit mehr als 1,0E+05 KbE g FM^{-1} sowie in Th der Schimmelbeatz mit mehr als 1,0E+04 KbE g FM^{-1} zu hoch (Tab. 47). Ebenfalls lag der Schimmelbesatz des Gemenges in Bs etwas oberhalb des Richtwertes.

In den Silagen stellte sich der pH-Wert aller Prüfglieder beider Orte eindeutig im sauren Milieu ein (Tab 48). Die Werte lagen im Bereich von 3,7 (Bs) bis 3,9 (Bs, Th).

Die Gärschädlinge Hefen und Schimmel konnten in den Silagen von Bs immer gut unterdrückt werden. Alle Prüfglieder lagen unterhalb eines Besatzes von 1,0E+03 KbE g FM^{-1}, somit alle Anteile bei 0,0% (Tab 48). Gleichermaßen betraf es den Schimmelbesatz in Th. Nur der Hefenbesatz der Prüfglieder Mais-Kontrolle und Gemenge-Kontrolle lag in Th mit 100,0% sowie Mais-Kofasil und Gemenge-Kofasil mit 33,3% oberhalb von 1,0E+03 KbE g FM^{-1}.

Aufgrund des Silierprozesses lassen sich Gärverluste nicht vermeiden. Diese lagen in Bs zwischen 3,5% (Mais-Kofasil) und 5,8% (Gemenge-BS Twin) sowie in Th leicht höher zwischen 3,6% (Mais-Kofasil und 6,4% (Gemenge-Kontrolle) (Tab 48). Die Prüfglieder mit den biologischen Siliermitteln

hatten an beiden Orten sowie bei Mais und Gemenge in der Regel etwas höhere Verluste gegenüber den Prüfgliedern Kontrolle und Kofasil aufzuweisen.

Tab. 47: Gäreigenschaften des Ernteguts der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge in den Modellsilagen der Siliermittelprüfung von Braunschweig (Bs) und Trenthorst (Th) des Versuchsjahres 2018, Bohnenanteil 30% der Sorte Tarbais.

Prüfglied	TS	Z/PK	VK	Hefen	Schimmel	MSB	TS	Z/PK	VK	Hefen	Schimmel	MSB
	[%]			[KbE/g FM]	[KbE/g FM]	[KbE/g FM]	[%]			[KbE/g FM]	[KbE/g FM]	[KbE/g FM]
				Braunschweig						Trenthorst		
Mais												
Kontrolle	36,7	2,4	56	1,4E+05	2,3E+03	1,2E+05	35,3	1,3	46	8,7E+04	2,0E+05	6,3E+04
Kofasil	36,7	2,4	56	1,4E+05	2,3E+03	1,2E+05	35,3	1,3	46	8,7E+04	2,0E+05	6,3E+04
BioCool	36,7	2,4	56	1,4E+05	2,3E+03	6,0E+05	35,3	1,3	46	8,7E+04	2,0E+05	4,2E+05
BS Twin	36,7	2,4	56	1,4E+05	2,3E+03	7,7E+05	35,3	1,3	46	8,7E+04	2,0E+05	4,3E+05
Gemenge Mais-Bohne												
Kontrolle	35,5	2,8	58	4,7E+05	4,3E+04	2,0E+05	29,6	1,4	41	7,0E+04	1,4E+05	1,7E+05
Kofasil	35,5	2,8	58	4,7E+05	4,3E+04	2,0E+05	29,6	1,4	41	7,0E+04	1,4E+05	1,7E+05
BioCool	35,5	2,8	58	4,7E+05	4,3E+04	9,0E+05	29,6	1,4	41	7,0E+04	1,4E+05	4,3E+05
BS Twin	35,5	2,8	58	4,7E+05	4,3E+04	5,7E+05	29,6	1,4	41	7,0E+04	1,4E+05	6,6E+05

Richtwerte (Jänicke 2011)
Z/PK Quotient: mind. 2 — Hefen: <1,0E+05
VK = Vergärbarkeitskoeffizient : mind. 45 — Schimmel: <1,0E+04

Tab 48: Silagequalität nach 90 Tagen Silierdauer des Ernteguts der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge in den Modellsilagen der Siliermittelprüfung von Braunschweig (Bs) und Trenthorst (Th) des Versuchsjahres 2018, Bohnenanteil 30% der Sorte Tarbais.

Prüfglied	pH	Hefen*	Schimmel*	Gärverluste	pH	Hefen*	Schimmel*	Gärverluste
		[%]	[%]	[% TM]		[%]	[%]	[% TM]
		Braunschweig				Trenthorst		
Mais								
Kontrolle	3,7	0,0	0,0	3,8	3,8	100,0	0,0	4,3
Kofasil	3,7	0,0	0,0	3,5	3,8	33,3	0,0	3,6
BioCool	3,8	0,0	0,0	4,5	3,9	0,0	0,0	4,8
BS Twin	3,9	0,0	0,0	5,5	3,9	0,0	0,0	5,1
Gemenge Mais-Bohne								
Kontrolle	3,8	0,0	0,0	3,9	3,9	100,0	0,0	6,4
Kofasil	3,8	0,0	0,0	3,7	3,9	33,3	0,0	4,6
BioCool	3,8	0,0	0,0	5,3	3,9	0,0	0,0	6,2
BS Twin	3,8	0,0	0,0	5,8	3,9	0,0	0,0	6,2

*Anteil untersuchter Laborsilagen mit einer Belastung >1,0E+03 KbE g FM^{-1}

Im Vergleich der Gärprodukte wurden bei allen Prüfgliedern von Mais und Gemenge vor allem meist ein hoher Gehalt an MS vorgefunden (Tab. 49). In Bs lag der Gehalt maximal bei 6,1% (Mais-Kofasil) und in Th maximal bei 11,2% (Mais-Kontrolle). Auffällig war, dass sich in Th der MS-Gehalt der Gemengeprüfglieder mit über 10% liegend stark von allen anderen Prüfgliedern abhob.

Zweithöchste Gehalte erzielte die ES. Die Prüfglieder mit den biologischen Siliermitteln hatten an beiden Orten sowie bei Mais und Gemenge höhere Gehalte gegenüber den Prüfgliedern Kontrolle und Kofasil aufzuweisen. ETH trat in Bs mit weniger als 1,0% auf. Unterschiede zwischen Mais und Gemenge gab es nicht. In Th gab es nur bei der Mais-Kontrolle eine ETH-Bildung von 1,0%. Dagegen wurde PD nur in Bs bei den Prüfgliedern der biologischen Siliermittel von Mais und Gemenge beobachtet. Hervorzuheben ist, dass bei allen Prüfgliedern beider Prüforte durchweg keine schädliche BS (0,0%) auftrat. Ebenso lagen die Werte für PS und BD komplett bei 0,0%.

Tab. 49: Gärprodukte in den Silagen nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge in den Modellsilagen der Siliermittelprüfung von Braunschweig (Bs) und Trenthorst (Th) des Versuchsjahres 2018, Bohnenanteil 30% der Sorte Tarbais (MS=Milchsäure, ES=Essigsäure, PS=Propionsäure, ETH=Ethanol, PD=1,2-Propandiol, BD=2,3-Butandiol, BS=Buttersäure), Kontrolle: ohne Siliermittel, Zusatz: mit Siliermittel.

Prüfglied	MS [%]	ES [%]	PS [%]	ETH [%]	PD [%]	BD [%]	BS [%]	MS [%]	ES [%]	PS [%]	ETH [%]	PD [%]	BD [%]	BS [%]
	Braunschweig							Trenthorst						
Mais														
Kontrolle	5,5	1,4	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	3,3	0,7	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
Kofasil	6,1	1,3	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	6,3	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BioCool	4,0	2,4	0,0	0,6	1,3	0,0	0,0	5,5	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BS Twin	2,6	3,7	0,0	0,7	3,2	0,0	0,0	4,9	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gemenge Mais-Bohne														
Kontrolle	5,6	1,3	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	11,2	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kofasil	5,5	1,2	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	10,9	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BioCool	5,2	3,4	0,0	0,6	2,0	0,0	0,0	10,9	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BS Twin	4,2	3,0	0,0	0,7	3,1	0,0	0,0	11,1	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Die Aerobe Stabilität (ASTA) wurde für einen Zeitraum von 7 Tagen gemessen (vergl. Kap. 3.4.3.4). Von allen Prüfgliedern des Mais und der Gemenge wurde die ASTA in Bs über die Prüfdauer ohne des Eintretens einer Nacherwärmung aufrechterhalten (Tab. 50). In Th erwärmten sich nur die jeweiligen Kontrollen, bei welchen dieser Prozess mit einem Auftreten der Gärschädlinge Hefen und teilweise Schimmel sowie einem Anstieg des pH-Wertes und der Trockenmasseverluste einherging (Tab. 50). Eine Schimmelbildung gab es auch bei beiden Kontrollen in Bs zu beobachten.

Tab. 50: Aerobe Stabilität (ASTA) von Silagen nach 90 Tagen Silierdauer der Mais-Reinsaat und der Mais-Bohnen-Gemenge in den Modellsilagen der Siliermittelprüfung von Braunschweig (Bs) und Trenthorst (Th) des Versuchsjahres 2018, Bohnenanteil 30% der Sorte Tarbais.

Prüfglied	ASTA [Tage]	pH	Hefen [Bonitur]	Schimmel [Bonitur]	Verluste [% TM]	ASTA [Tage]	pH	Hefen [Bonitur]	Schimmel [Bonitur]	Verluste [% TM]
	Braunschweig					Trenthorst				
Mais										
Kontrolle	7,0	3,9	0,0	1,0	8,5	3,1	7,4	1,0	1,0	18,4
Kofasil	7,0	3,8	0,0	0,0	9,1	7,0	3,7	0,0	0,0	6,5
BioCool	7,0	3,9	0,0	0,0	6,5	7,0	3,8	0,0	0,0	7,6
BS Twin	7,0	4,1	0,0	0,0	8,3	7,0	3,8	0,0	0,0	6,6
Gemenge Mais-Bohne										
Kontrolle	7,0	3,9	0,0	0,3	7,6	3,5	7,6	2,0	0,0	21,2
Kofasil	7,0	3,9	0,0	0,0	6,6	7,0	3,8	0,0	0,0	9,0
BioCool	7,0	3,9	0,0	0,0	6,5	7,0	3,8	0,0	0,0	7,9
BS Twin	7,0	3,9	0,0	0,0	7,5	7,0	3,8	0,0	0,0	9,1

4.3 NIR-Kalibrationen

Die Kalibrationsentwicklung wurde für zwei getrennte Datensätze vorgenommen, einmal für die Proben des Erntegutes und zum anderen für die der Silagen. Die statistischen Kennzahlen zur Beurteilung der Güte der Kalibrierungen (Tab. 51) zeigen, dass für XP perfekte Kalibrationen erstellt werden konnten. So lag der Fehler der Vorhersage im Erntegut und in den Silagen mit 0,25 vs. 0,19% im Bereich des erlaubten Fehlers der Referenzanalytik (0,2 %). Die Regressionskoeffizienten von Kalibration und Validation sind mit jeweils 1,0 im Erntegut vs. 0,99 in den Silagen nahezu ideal. Auch der XA-Gehalt konnte zufriedenstellend geschätzt werden, wobei der Standardfehler mit 0,31% im Erntegut recht hoch ist. Die Vorhersage von XL ist mit einem Schätzfehler von ca. 0,2% als zufriedenstellend einzuschätzen, der erlaubte Fehler der Referenzanalytik liegt ebenfalls bei 0,2%. Die Güte der Kalibration für die Vorhersage der Rohfasergehalte im Erntegut ist mit Regressionskoeffizienten von 0,97 für Kalibration und Validation deutlich besser als für die Vorhersage in den Silagen mit 0,93, auch der Schätzfehler ist für die Silagen höher. Dennoch kann das Kalibrationsmodell als zufriedenstellend eingestuft werden. Besonders für hohe XF-Gehalte liegt der Schätzfehler im Bereich des erlaubten Fehlers der Referenzanalytik (4% relativ). Die Kalibration für die Vorhersage der XS-Gehalte ist für beide Datensätze als gut einzuschätzen.

Tab. 51: Statistische Kennzahlen der NIRS-Kalibrationen zur Schätzung der Rohnährstoffgehalte inkl. Stärke im Erntegut und den Silagen der Sorten-, Aussaatstärken- und Modellsilagenversuche (SEE=Standardfehler der Kalibration (Estimation), SEP=Standardfehler der Validation (Prediction), R_{Kal}=Regressionskoeffizient der Kalibration, R_{Val}=Regressionskoeffizient der Validation, n_{Kal}=Probenanzahl im Kalibrationsdatensatz, n_{Val}=Probenanzahl im Kalibrationsdatensatz).

Typ	Rohnährstoff	n_{Kal} / n_{val}	Spannweite (% TS)	SEE	R_{Kal}	SEP	R_{Val}
Erntegut	Rohprotein	596 / 288	4,4 - 25,4	0,25	1,00	0,24	1,00
	Rohasche	586 / 280	2,9 - 12,5	0,29	0,99	0,31	0,99
	Rohfett	578 / 270	1,0 - 3,4	0,18	0,93	0,18	0,94
	Rohfaser	584 / 272	13,6 - 31,0	0,88	0,97	0,82	0,97
	Stärke	580 / 314	2,6 - 44,5	0,95	1,00	0,95	1,00
Silage	Rohprotein	748 / 374	4,6 - 13,0	0,19	0,99	0,19	0,99
	Rohasche	762 / 380	3,0 - 6,8	0,18	0,97	0,19	0,97
	Rohfett	774 / 374	1,8 - 4,1	0,21	0,87	0,20	0,87
	Rohfaser	770 / 384	13,6 - 27,8	0,96	0,93	0,93	0,93
	Stärke	700 / 348	19,5 - 48,0	0,92	0,98	1,05	0,97

4.4 Fütterungsversuche

4.4.1 Einsatz von Mais-Bohnen-Silage in der Milchviehfütterung

Das im Praxisanbaujahr 2015 angebaute Mais-Stangenbohnen-Gemenge wies einen auf die Trockenmasse bezogenen Bohnenpflanzenanteil von 7 % auf, im Jahr 2016 waren es 9 %. Ziel der Untersuchung war zu klären, ob der Ersatz der Maissilage durch MBS zu Akzeptanzproblemen und Beeinträchtigungen des Tierwohls bei Milchkühen sowie Änderungen der Produktqualität der Milch führt, deshalb erfolgte ein mengenmäßiger Austausch (auf Basis der TM) von Maissilage durch MBS. Dies führte zu einer geringfügigen Erhöhung des XP-Gehaltes in der Versuchsration, während der Energiehalt der Kontroll- und Versuchsration auf gleichem Niveau blieb (Tab. 52).

Tab. 52: Chemische Zusammensetzung der Kontroll (KON)- und Versuchsration (EXP) in den Versuchsjahren; KON enthielt Maissilage, die in EXP durch MBS ersetzt wurde.

	2016		2017	
	KON	**EXP**	**KON**	**EXP**
TM (g kg^{-1} FM)	407	423	338	334
Inhaltsstoffe der TMR (g kg^{-1} TM)				
OS	916	913	911	906
XP	146	154	149	154
XL	19	22	27	28
XF	196	207	200	199
NfE	555	529	535	525
NDF	347	358	378	373
ADF	244	267	243	249
NEL (MJ kg^{-1} TM)	6,5	6,5	7,1	7,1

4.4.1.1 Akzeptanz der MBS und Auswirkungen auf die Leistung

Das Angebot von MBS in der Ration hatte in beiden Versuchsjahren keinen signifikanten Effekt auf die Futteraufnahme (Tab. 53). In 2016 ergab sich aber eine signifikant höhere XP-Aufnahme im Zeitraum der MBS-Fütterung und auch die Aufnahme an aNDF und ADF war erhöht. Diese Unterschiede traten in 2017 nicht auf.

Die Milchleistung der Tiere wurde ebenfalls nicht signifikant beeinträchtigt, allerdings lagen die Milchmengenerträge sowohl 2016 als auch 2017 unter denen, welche die kalkulierte Futteraufnahme ermöglicht hätte. Im Model für das Jahr 2017 konnte eine signifikante Interaktion zwischen Ration und Körpergewicht in Bezug auf die erbrachte Milchmenge beobachtet werden ($F_{1,96}$ = 4,9, p = 0,029): Kühe mit durchschnittlichem oder höherem Körpergewicht reagierten auf die MBS-Fütterung mit einer Reduktion der Milchmenge, während Kühe mit unterdurchschnittlichem Körpergewicht keine Änderung der Milchmenge zeigten.

Die Anteile an den Hauptmilchinhaltsstoffe Fett und Protein veränderten sich durch die unterschiedliche Rationszusammensetzung nicht, allerdings war der Laktosegehalt in der Phase der MBS-Fütterung signifikant niedriger bzw. höher. Nach Betrachtung der Effektstärke (2016: R^2 = 0,04; Cohen's d = 0,05, 2017: R^2 = 0,1; Cohen's d = -0,07) zeigte sich aber, dass dieser Unterschied vernachlässigbar ist. Im Gegensatz dazu lag der Harnstoffgehalt der Milch bei Vorlage der MBS signifikant über dem Wert der Maissilagefütterung.

Widersprüchliche Ergebnisse zeigen die Veränderungen des Gewichts bzw. des BCS: Während in 2016 eine signifikante Abnahme des Körpergewichts in der Phase mit MBS registriert wurde, zeigt sich dies nicht in der Veränderung des BCS, während in 2017 eine Gewichtsreduktion durch beide Rationen beobachtet wurde, aber die BCS-Änderung signifikant unterschiedlich war (Tab. 53). Allerdings ergab die Prüfung der Effektstärke, dass die Gewichtsveränderung als nicht relevant zu bewerten ist (2016: R^2 = 0,161, Cohen´s d = 0,03; 2017: R^2 = 0,22, Cohen´s d = -0,17). Dies gilt insbesondere wenn die Genauigkeit der Waage berücksichtigt wird (1 % Toleranz führt bei 600 kg Gewicht zu Abweichungen von ± 6 kg).

Tab. 53: Nährstoffaufnahme, Milchmenge und Milchzusammensetzung, sowie Körpergewichtsentwicklung und Änderung des BCS (alle Angaben als LSM) bei der Verfütterung von Maissilage (KON) oder MBS (EXP) in der Ration in den Versuchsjahren.

	KON	EXP	SEM	p	KON	EXP	SEM	p
Aufnahme (kg TM Tag^{-1})								
TM	18,7	19,0	0,55	0,615	20,1	20,6	0,46	0,798
OS	17,2	17,3	0,50	0,760	18,6	18,7	0,75	0,796
XP	2,77	2,99	0,09	0,021	3,06	3,09	0,12	0,805
aNDF	6,15	6,55	0,20	0,050	7,64	7,71	0,31	0,820
ADF	5,92	6,32	0,19	0,047	5,10	5,12	0,22	0,920
Milchmenge err. (kg ECM Tag^{-1})	33,0	35,0			34,0	33,6		
Milchmenge (kg ECM Tag^{-1})	31,7	31,5	0,26	0,609	28,7	27,8	3,33	0,054
Milchzusammensetzung (g kg^{-1})								
Fett	41,5	41,5	0,38	0,925	40,4	40,2	0,40	0,516
Protein	31,8	31,8	0,14	0,733	28,5	28,6	0,15	0,756
Laktose	48,8	48,6	0,07	0,009	48,4	48,6	0,06	0,023
Harnstoff (mg l^{-1})	187	192	1,97	0,016	155	176	1,81	<0,001
Gewichtsänderung (kg)	2,1	-10,1	3,47	0,001	- 11,8	- 14,4	4,03	0,524
BCS Änderung	0,04	0,02	0,06	0,767	0,06	- 0,08	0,05	0,009

Anhand der Milchprobenanalyse lässt sich die Versorgungslage der Tiere ungefähr abschätzen. Sowohl in 2016 als auch in 2017 deutet die Einordnung der Kühe entsprechend des Protein- und Harnstoffgehaltes der Milch auf eine energetische Unterversorgung vieler Kühe hin (Beispiel 2016, Abb. 42).

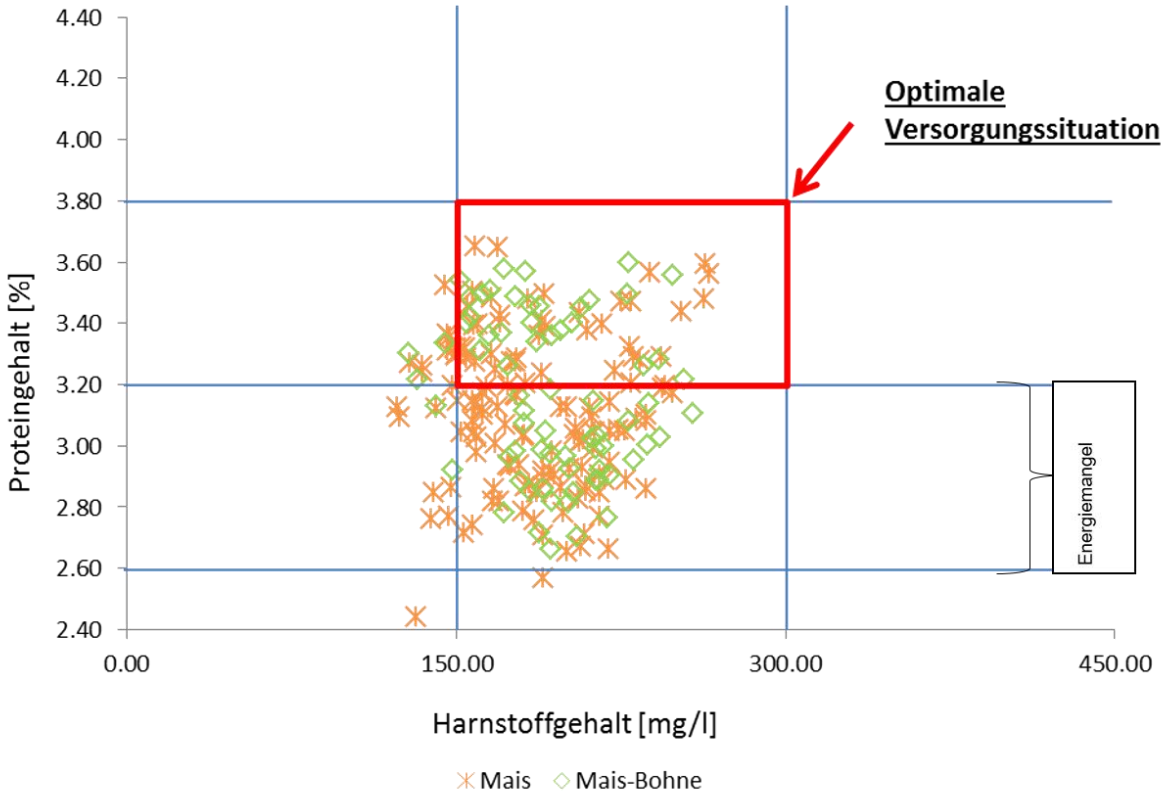


Abb. 42: Protein- und Energieversorgungssituation im Versuchsjahr 2016.

4.4.1.2 Auswirkungen der MBS auf die Tiergesundheit

Die Futteränderung hatte keinen Effekt auf das Auftreten von Lahmheiten in beiden Versuchsjahren. In 2016 zeigten 19 von 68 Tieren, die über 12 Wochen beobachtet wurden Anzeichen einer moderaten Lahmheit, wobei 17 dieser Tiere einen Score von 2 aufwiesen (Skala 1–5), also als leicht lahm bezeichnet wurden. Eine ähnliche Situation zeigte sich auch 2017 als 10 von 78 Tieren, die in der Maisfütterungsphase beurteilt wurden und 8 von den 51 in der MBS-Fütterungsphase mit dem Score 2 registriert wurden. Keines der Tiere zeigte einen Score ≥ 3, so dass davon ausgegangen werden kann, dass keine Beziehung zu den verabreichten Futterrationen bestand.

Bezüglich des Auftretens neuer Integumentschäden ergab sich ein signifikanter Effekt der Fütterungsphase ($F_{1,67} = 27,53$; $p < 0,001$) wobei 2016 mehr neue Verletzung während der Fütterung der MBS auftraten (KON: 112 von 129 gescorten Tieren (86,8 %), EXP: 55 von 62 gescorten Tieren (88,7 %). Die Berechnungen des odds ratio ergab allerdings den Hinweis, dass in der Kontrollphase das Risiko für das Auftreten von Verletzungen leicht erhöht war. In 2017 wurden dagegen mehr neue Verletzungen bei Verfütterung der Maissilage im Vergleich zur MBS registriert ($F_{1,62} = 11,8953$; $p < 0,001$)., allerdings war die Effektstärke sehr klein ($R^2 = 0,01$), so dass auch in diesem Fall keine bedeutsame Wirkung der Fütterung festgestellt werden konnte. Das gilt auch für die Verschmutzung der Tiere in den beiden Versuchsjahren, wobei in 2017 generell häufiger Tiere mit stark verschmutzten Köperregionen beobachtet wurden (Tab. 54).

Tab. 54: Anteile an Kühen mit verschmutzten Körperteilen oberhalb des definierten Grenzwerts während der Verfütterung der Kontrollration (KON) mit Maissilage und der Versuchsration (EXP) mit MBS.

		Definierter Grenzwert	2016 KON	2016 EXP	2017 KON	2017 EXP
Anogenitalregion	[%]	< 3	29	27	61	62
Hinterbeine	[%]	< 3	24	27	41	46
Bauchregion	[%]	< 2	71	69	88	93
Euter	[%]	< 2	67	61	90	92

Die Fütterung hatte 2016 einen signifikanten Effekt auf die gemessene Leitfähigkeit im Viertelanfangsgemelk ($F_{1,67} = 17,4$; $p < 0,001$) sowie die CMT-Scores ($F_{1,67} = 8,9$; $p < 0,001$). Die Leitfähigkeit war höher in der Kontrollphase (6,4 ± 0,07 mS cm^{-1}) als in der MBS-Phase (6,0 ± 0,07 mS cm^{-1}). Ebenso wurde das Risiko für das Auftreten von Eutervierteln mit mehr als 15% Vierteldifferenz erhöht (OR = 1,6; $p < 0.001$). Dagegen wurde ein erhöhter CMT-Score für 185 von 951 Eutervierteln (19,4 %) festgestellt, die während der Kontrollfütterung beurteilt wurden. In der MBS-Fütterungsphase waren es 113 von 470 Vierteln (24 %). Die Fütterungsphasen hatten keinen Effekt auf das Auftreten von klinischen Veränderungen des Vorgemelks ($F_{1,67} = 0,11$; $p = 0,703$) und auch der Zellgehalt des Gesamtgemelks wurde nicht beeinflusst ($F_{1,60} = 0,137$; $p = 0,664$). Der Median des Zellgehaltes in den Phasen betrug 55.000 Zellen je ml in der Kontrolle und 56.000 Zellen je ml in der MBS-Fütterung.

Das Versuchsjahr 2017 erbrachte keinen Hinweis auf einen Effekt der Fütterung auf die Eutergesundheit. Die Leitfähigkeit unterschied sich nicht zwischen den Versuchsphasen (KON: 5,8 ± 0,05 mS cm^{-1}; EXP: 5,7 ± 0,06 mS cm^{-1}) und es wurden jeweils 9 % der gemessenen Viertel als auffällig klassifiziert ($F_{1, 59} = 3,5$; $p = 0,202$). Auch der CMT wies auf keine Unterschiede hin ($F_{1, 59} = 4,0$; $p = 0,511$). Veränderungen des Vorgemelks wurden in 25 von 1204 Vierteln (2 %) in der

Kontrollphase und in 9 von 444 Vierteln (2 %) der MBS-Fütterung festgestellt ($F_{1,59}$ = 0,04; p = 0,831). Wie schon in 2016 befand sich der Zellgehalt der Milch auf einem sehr niedrigen Niveau (Median: KON = 38.000 Zellen je ml, EXP = 35.000 Zellen je ml) und unterschied sich zwischen den Phasen nicht ($F_{1,56}$ = 4,00; p = 0,2).

4.4.1.3 Fettsäuremuster der verabreichten Futterrationen

Da die Zusammensetzung des Fettsäuremusters der Milch auch durch die im Futter angebotenen Fettsäuren beeinflusst werden kann, wurden auch die angebotenen Futtermittel (2016) und die TMR (2017) in dieser Hinsicht untersucht. Beim Vergleich der reinen Maissilage mit der MBS zeigten sich 2016 lediglich deutliche Unterschiede bei den Anteilen an C18:0 und C20:0 (Abb. 43).

Auch die in 2017 untersuchten TMR wiesen keine großen Unterschiede bezüglich des Fettsäuremusters auf (Abb. 44). Im Vergleich zur TMR mit Maissilage enthielt die TMR mit MBS mehr C15:0, C20:1 und C22:1n9.

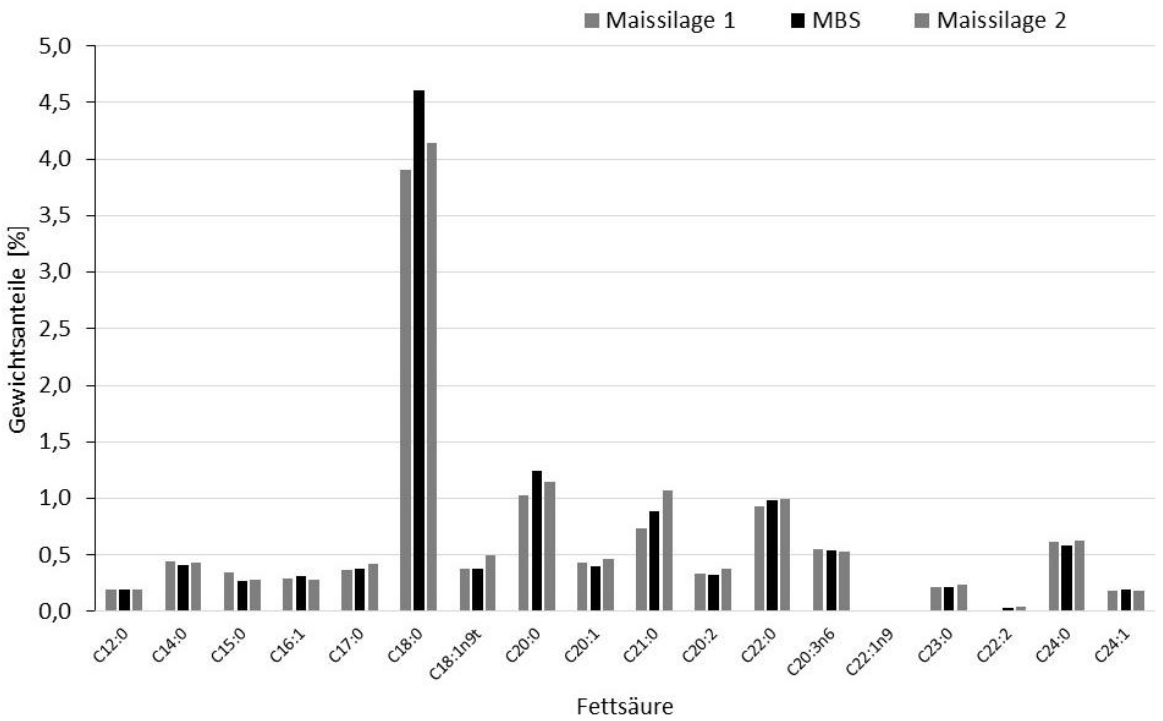


Abb. 43: Fettsäuremuster der in 2016 eingesetzten Maissilage und MBS (Fettsäuren mit Gewichtsanteilen < 5 %, Datenbasis: Mittelwert aus zwei Proben im Datenerhebungszeitraum).

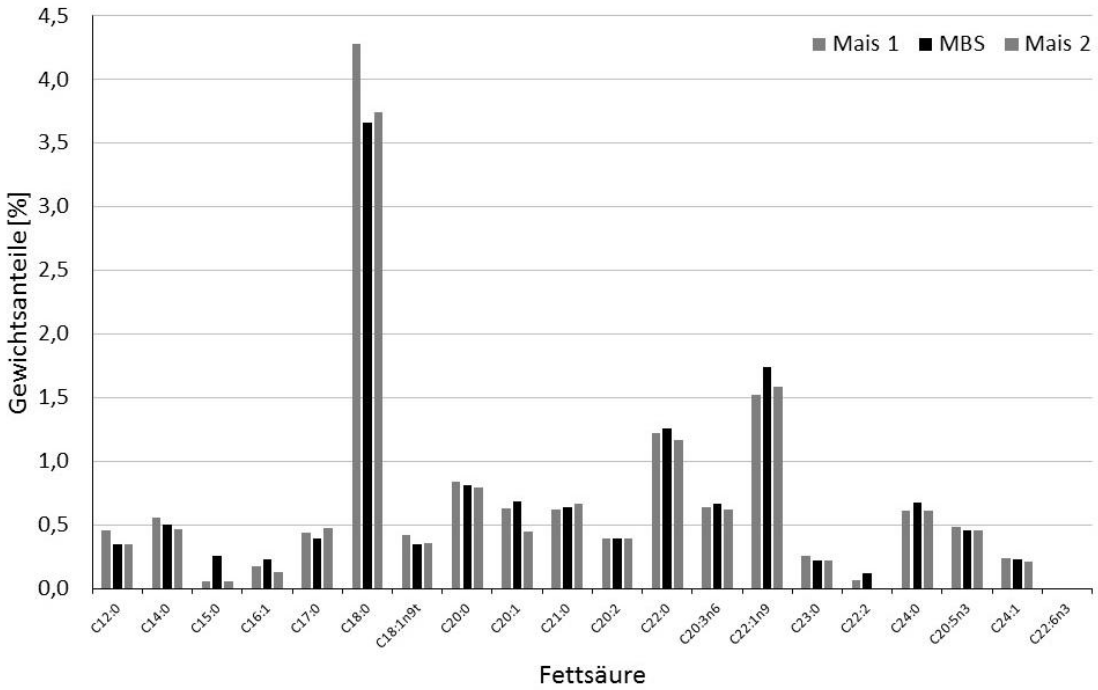


Abb. 44: Fettsäuremuster in den 2017 verabreichten TMR in den Phasen der Datenerhebung mit Maissilage bzw. MBS in der Ration (Fettsäuren mit < 5 % Gewichtsanteil, Datenbasis: Mittelwert aus zwei Futterproben).

4.4.1.4 Auswirkungen der MBS auf das Fettsäuremuster der Milch

Der Austausch der Maissilage durch MBS führte nur bedingt zu Anteilsänderungen bei einigen Fettsäuren in der Milch (Abb. 45). Zudem stellte sich dies in den Versuchsjahren ganz unterschiedlich dar. Bezüglich der Anteile einfach- und mehrfach ungesättigter Fettsäuren ergab sich kein Vorteil durch den MBS-Einsatz in der TMR (Tab. 55).

Tab. 55: Mittlere Mengenanteile (%) der Fettsäureklassen in der Milch in den einzelnen Fütterungsphasen der Versuchsjahre (Basis: vier Milchproben je Phase).

		2016			**2017**	
	Mais_1	**MBS**	**Mais_2**	**Mais_1**	**MBS**	**Mais_2**
SFA	74,60	77,13	77,37	74,02	74,97	74,83
MUFA	21,55	19,37	19,15	23,54	22,64	22,84
PUFA	3,79	3,44	3,41	2,44	2,39	2,33
n-3	1,24	1,14	1,13	0,00	0,00	0,00
n-6	2,53	2,29	2,28	2,08	2,12	1,97
n-3/n-6	0,49	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00

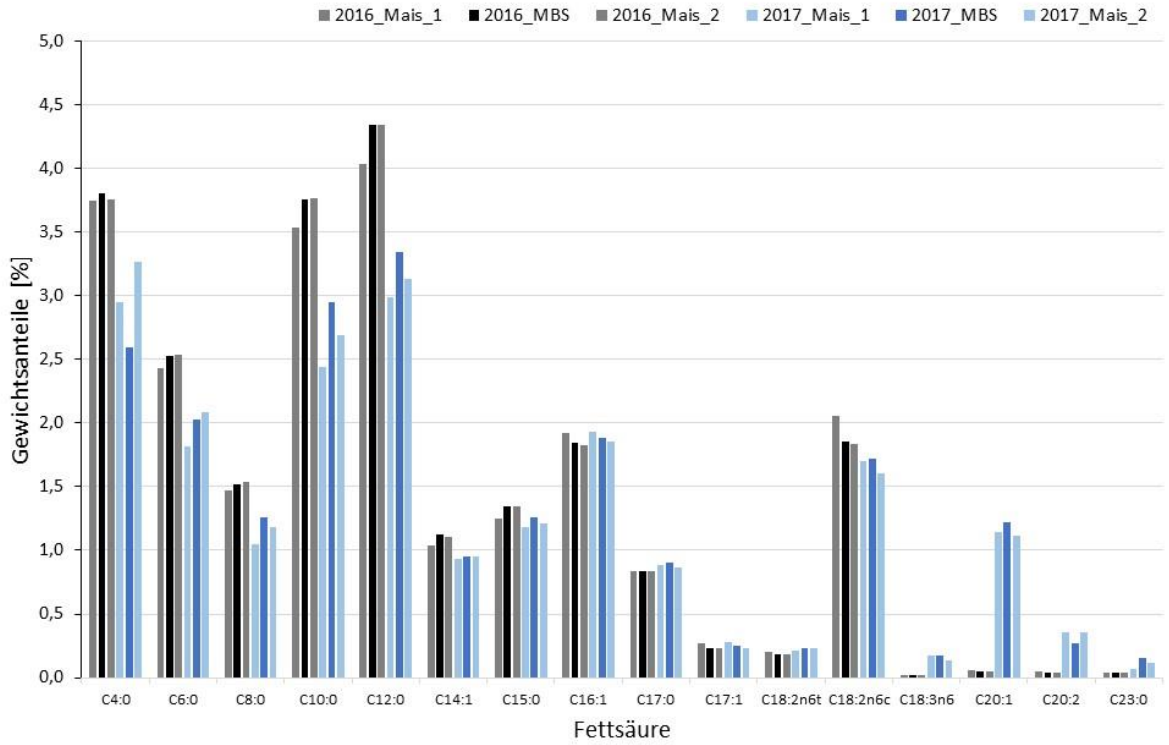


Abb. 45: Gewichtsanteile der untersuchten Fettsäuren mit <5% Gewichtsanteil in den Phasen der Datenerhebung während der Verfütterung von Maissilage und MBS in den Versuchsjahren(Datenbasis je Säule: Mittelwert aus vier Milchproben).

4.4.2 Einsatz von Mais-Bohnen-Silage in der Mastschweinefütterung

4.4.2.1 Mastleistung

Die Mastschweine wurden mit einer durchschnittlichen Lebendmasse von 28,8 kg (SD: 3,5 kg) in den Versuchsstall eingestallt. Die Schlachtung der Tiere erfolgte bei einem mittleren Mastendgewicht von 121 kg (SD: 5,2 kg). Das Alter der Mastschweine betrug dabei im Mittel 191 Tage (SD: 17 d).

Die Signifikanzlevel der fixen Effekte und der Kovariablen für die Tageszunahmen in den einzelnen Abschnitten der Mastperiode werden in Tab. 56 dargestellt. Das Grundfutter hatte keinen Effekt auf die durchschnittlichen täglichen Zunahmen.

Tab. 56: Signifikanzlevel der fixen Effekte und der Kovariablen für die statistische Überprüfung der Kriterien der Mastleistung.

	Fixe Effekte		**Kovariablen**	
			Lebendmasse zu Beginn	
	Grundfutter	**Durchgang**	**Vormast**	**Endmast**
Tageszunahmen				
Vormast	ns	***	***	--
Endmast	ns	**	--	***
Gesamte Mast	ns	ns	*	--
Lebendmasse				
Vormast	ns	**	--	--
Endmast	ns	ns	--	--
Schlachtung	ns	**	--	--
Lebensalter	ns	***	***	--

*** p < 0,001 höchst signifikant, ** p < 0,01 hoch signifikant, * p < 0,05 signifikant, ns nicht signifikant, - - nicht im Modell

Tab. 57 gibt die Tageszunahmen für den Zeitraum der Vor-, End- und Gesamtmast auf Einzeltierbasis wieder. Die durchschnittlichen Tageszunahmen (LS Means) in der gesamten Mast betrugen bei den Tieren der Klee-Gras-Silage-Gruppe 832 g und lagen nicht signifikant (p=0,465) über denen der Mais-Bohne-Silage-Gruppe in Höhe von 820 g. Auch die durchschnittlichen Tageszunahmen während der Vormast (p=0,850) und Endmast (p=0,243) unterschieden sich nicht signifikant zwischen den Gruppen.

Tab. 57: Tageszunahmen (g) von Mastschweinen in unterschiedlichen Mastabschnitten in Abhängigkeit vom Grundfutter (LS Means, SEM).

	Grundfutter		
	MBS (Versuch)	**KGS (Kontrolle)**	**SEM**
Anzahl Tiere (n)	**72**	**72**	
Vormast	708	711	14,5-14,7
Endmast	863	881	12,1-12,2
Gesamte Mast	820	832	12,8-13,0

[a,b] ungleiche Indices zeigen signifikante Unterschiede (p < 0,05)

Sämtliche Futterverbräuche werden im Folgenden in Trockenmasse angegeben.

Der Kraftfutterverbrauch bei den Tieren der MBS-Gruppe lag in der Vormast bei 1,45 kg Tag^{-1} und in der Endmast bei 2,38 kg Tag^{-1}. Die mit Klee-Gras-Silage gefütterten Tieren hatten einen Kraftfutterverbrauch in der Vormast von 1,48 kg Tag^{-1} und in der Endmast 2,34 kg Tag^{-1}. Der Verbrauch unterschied sich zwischen den Gruppen weder in der Vormast (p=0,747) noch in der Endmast (p=0,324) signifikant.

Über die gesamte Mast betrachtet lag der Grundfutterverbrauch bei den Mais-Bohnen-Silage Gruppen mit 0,17 kg Tag^{-1} unter dem der Klee-Gras-Silage Gruppen, die einen Verbrauch von 0,20 kg Tag^{-1} hatten.

Dagegen unterschied sich der Grundfutterverbrauch in der Vormast signifikant zwischen den Gruppen (p < 0,001). Der Verbrauch der mit Mais-Bohnen-Silage gefütterten Tiere lag mit 0,07 kg Tag^{-1} unter dem der mit Klee-Gras-Silage gefütterten Schweine, deren Verbrauch bei 0,13 kg Tag^{-1} lag. Der Grundfutterverbrauch in der Endmast unterschied sich nicht signifikant (p=0,499), wie auch der gesamte Futterverbrauch während der Mast (MBS: 2,27 kg Tag^{-1}; KGS: 2,30 kg Tag^{-1}; p=0,669).

Der Futteraufwand der Mastschweine auf Buchtenebene während der Vormast betrug bei ausschließlicher Betrachtung der Kraftfuttermengen in der Mais-Bohnen-Silage-Gruppe 2,04 kg Futter kg^{-1} Zuwachs und in der Klee-Gras-Silage-Gruppe 2,08 kg Futter kg^{-1} Zuwachs. In der Endmast lag der Kraftfutteraufwand in der Mais-Bohnen-Silage-Gruppe bei 2,75 kg Futter kg^{-1} Zuwachs und in der Klee-Gras-Silage-Gruppe 2,67 kg Futter kg^{-1} Zuwachs. Unter zusätzlicher Berücksichtigung der MBS- und KGS-Mengen betrug der Futteraufwand über die gesamte Mast betrachtet sowohl bei den MBS-Tieren als auch bei den KGS-Tieren 2,77 kg Futter kg^{-1} Zuwachs.

4.4.2.2 Schlachtkörperqualität

Sämtliche Kriterien der Schlachtkörperqualität wurden einzeltierbezogen erfasst. Das mittlere Warm-Schlachtgewicht betrug 97,0 kg (SD: 4,7 kg).

Tab. 58 zeigt die Signifikanzlevel der im statistischen Modell verwendeten fixen Effekte und Kovariablen zur Überprüfung der Schlachtkörperqualität. Das Grundfutter hatte bei keinem der betrachteten Schlachtkörperqualitätsparameter einen statistisch signifikanten Effekt auf die Ausprägung.

Tab. 59 zeigt die Schlachtkörperqualität der Mastschweine. Es konnten keinerlei Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden.

Tab. 58: Signifikanzlevel der fixen Effekte und der Kovariablen für die statistische Überprüfung der Kriterien der Schlachtkörperqualität.

	Fixe Effekte		Kovariable
	Grundfutter	**Durchgang**	**Schlachtgewicht**
Ausschlachtung	ns	ns	- -
Rückenspeckdicke (RSD)			
Kamm	ns	***	*
Mitte	ns	***	*
Lende	ns	ns	***
Seitenspeckdicke	ns	***	***
Speckmaß B	ns	ns	***
Fleischfläche	ns	***	***
Fettfläche	ns	ns	***
Muskelfleischanteil			
Bonner Formel	ns	*	**

*** p < 0,001 höchst signifikant, ** p < 0,01 hoch signifikant, * p < 0,05 signifikant, ns nicht signifikant, - - nicht im Modell

Tab. 59: Kriterien der Schlachtkörperqualität von Mastschweinen in Abhängigkeit vom Grundfutter (LS Means, SEM).

	Grundfutter		
	MBS	**KGS**	**SEM**
Anzahl Tiere (n)	**72**	**72**	
Ausschlachtung (%)	80,1	79,9	0,24
Rückenspeckdicken (cm)			
Kamm, dickste Stelle	4,00	4,00	0,070
Mitte, dünnste Stelle	1,90	1,87	0,037
Lende, dünnste Stelle	1,42	1,39	0,050
Seitenspeckdicke, 13 Rippe (cm)	2,81	2,73	0,063-0,064
Speckmaß B, 13. Rippe (cm)	1,28	1,20	0,040
Fleischfläche, 13. Rippe (cm^2)	49,3	50,2	0,67-0,68
Fettfläche, 13. Rippe (cm^2)	13,4	13,0	0,52-0,53
Muskelfleischanteil (%)	56,4	56,9	0,43

4.4.2.3 Fleischqualität

Sowohl Tab. 60 als auch Tab. 61 zeigen die Signifikanzlevel der im statistischen Modell verwendeten fixen Effekte zur Überprüfung der Fleischqualität. Das Grundfutter hatte keinen statistisch signifikanten Effekt auf die Ausprägung ausgewählter physikalisch (Tab. 60) basierter Merkmale.

Tab. 60: Signifikanzlevel der fixen Effekte für die statistische Überprüfung der Kriterien der Fleischqualität (physikalisch basierte Parameter).

	Fixe Effekte	
	Grundfutter	**Durchgang**
Physikalisch basierte Parameter		
Leitfähigkeit 24 h p.m.	ns	***
pH-Wert 24 h p.m.	ns	***
L-Wert	ns	***
a-Wert	ns	***
b-Wert	ns	***
Tropfsaftverlust, 48h p.m.	ns	***

*** p < 0,001 höchst signifikant, ** p < 0,01 hoch signifikant, * p < 0,05 signifikant, ns nicht signifikant

Der Tab. 61 ist zu entnehmen, dass das Grundfutter einen signifikanten Einfluss auf den intramuskulären Fettgehalt hatte, wohingegen das Fettsäuremuster im Rückenspeck vom Grundfutter nicht signifikant beeinflusst wurde.

Tab. 61: Signifikanzlevel der fixen Effekte für die statistische Überprüfung der Kriterien der Fleischqualität (chemisch basierte Parameter).

	Fixe Effekte	
	Grundfutter	**Durchgang**
Chemisch basierte Parameter		
Intramuskulärer Fettgehalt	*	*
Gehalt an		
- SFA im Rückenspeck	ns	**
- MUFA im Rückenspeck	ns	***
- PUFA im Rückenspeck	ns	***

*** p < 0,001 höchst signifikant, ** p < 0,01 hoch signifikant, * p < 0,05 signifikant, ns nicht signifikant

Tab. 62 zeigt die physikalisch und chemisch basierten Fleischqualitäten. Der IMF-Gehalt der Mais-Bohnen-Silage-Gruppe lag mit 3,16 % über dem der Klee-Gras-Silage-Gruppe in Höhe von 2,83 % (p=0,042). Ansonsten konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Grundfutter-Gruppen festgestellt werden.

Tab. 62: Kriterien der Fleischqualität von Mastschweinen in Abhängigkeit vom Grundfutter (LS Means, SEM).

	Grundfutter		
	MBS	**KGS**	**SEM**
Physikalisch basierte Parameter			
Anzahl Tiere (n)	72	72	
Leitfähigkeit 24 h p.m. (14./15. Rippe)	3,34	3,45	0,144
pH-Wert 24 h p.m. (M.l.d., 13. Rippe)	5,54	5,55	0,008
L-Wert (M.l.d., 13. Rippe)	51,0	51,5	0,31
a-Wert (Fleischfarbe) (M.l.d., 13. Rippe)	10,7	10,4	0,17
b-Wert (Fleischfarbe) (M.l.d., 13. Rippe)	3,18	3,16	0,131
Tropfsaftverlust 48h p.m. (M.l.d., 14. Rippe) (%)	3,87	3,92	0,263-0,271
Chemisch basierte Parameter			
Anzahl Tiere (n)	72	72	
Intramuskulärer Fettgehalt (M.l.d., 13. Rippe) (%)	3,16[a]	2,83[b]	0,124-0,123
SFA im Rückenspeck (RS) (%)	37,0	36,9	0,30
MUFA im RS (%)	45,9	45,9	0,19
PUFA im RS (%)	17,1	17,1	0,22

a, b ungleiche Indices einer Zeile zeigen signifikante Unterschiede (p < 0,05)

4.4.2.4 Integumentbonitur

Die Integumentbonituren in der Endmast zeigten Unterschiede zwischen den Gruppen. Die Mais-Bohnen-Gruppen wiesen öfters Verletzungen auf (Tab. 63). Besonders in den Bereichen „Kopf bis

Schulter“ und „Schulter bis Flanke“ waren die MBS-Tiere häufiger verletzt als die KGS-Tiere. Bei beiden Gruppen wurden Verletzungen am häufigsten im Bereich Schwanz festgestellt. Allerdings handelte es sich hier ausschließlich um leichte Kratzer. Es gab weder tiefe noch blutige Wunden.

Tab. 63: Relative Häufigkeiten von Beobachtungen (%) ohne bzw. mit Verletzungen in Abhängigkeit vom Grundfutter.

	Grundfutter		**Gesamt**
	MBS	**KGS**	
Anzahl Beobachtungen (n)	**295**	**285**	**580**
Gesamt			
Keine Verletzungen	65,8	72,6	69,1
Verletzungen	34,2	27,4	30,9
Kopf bis Schulter			
Keine Verletzungen	66,8	81,0	73,8
Verletzungen	33,2	19,0	26,2
Schulter bis Flanke			
Keine Verletzungen	84,4	92,3	88,3
Verletzungen	15,6	7,7	11,7
Schinken			
Keine Verletzungen	95,6	98,3	96,9
Verletzungen	4,4	1,7	3,1
Beine			
Keine Verletzungen	95,3	96,5	95,9
Verletzungen	4,7	3,5	4,1
Schwanz			
Keine Verletzungen	43,7	47,4	45,5
Verletzungen	56,3	52,6	54,5

Das Grundfutter hatte einen signifikanten Effekt auf das Auftreten von Verletzungen in den Bereichen „Kopf bis Schulter“ und „Schulter bis Flanke“ (

Tab. 64). Die Verletzungshäufigkeit war in beiden Bereichen bei den mit Mais-Bohnen-Silage gefütterten Tieren signifikant höher ($p < 0,001$ und $p=0,004$). Die Verletzungshäufigkeiten der anderen Bereiche wurden durch das Grundfutter nicht signifikant beeinflusst.

Tab. 64: Signifikanzlevel der fixen Effekte für die statistische Überprüfung der Verletzungshäufigkeiten.

	Fixe Effekte
	Grundfutter
Gesamt	ns
Kopf bis Schulter	***
Schulter bis Flanke	**
Schinken	ns
Beine	ns
Schwanz	ns

*** $p < 0,001$ höchst signifikant, ** $p < 0,01$ hoch signifikant, * $p < 0,05$ signifikant, ns nicht signifikant

4.4.2.5 Teilauswertung

Zusätzlich wurde ein eingeschränkter Datensatz mit den zwei Mais-Bohnen-Silage Gruppen und den zwei Klee-Gras-Gruppen, die den höchsten bzw. niedrigsten Rauhfutterverbrauch hatten separat ausgewertet. Auch hier konnten keine signifikanten Effekte gefunden werden.

Die zwei Mais-Bohnen-Silage Gruppen mit dem höchsten Grundfutterverbrauch über die gesamte Mast (0,23 kg Tag^{-1}) zeigten in der Endmast durchschnittliche Tageszunahmen in Höhe von 856 g, und über die gesamte Mast betrachtet in Höhe von 813 g. Die zwei Mais-Bohnen-Silage Gruppen mit dem niedrigsten Grundfutterverbrauch (0,09 kg Tag^{-1}) zeigten in der Endmast durchschnittliche Tageszunahmen in Höhe von 865 g, und über die gesamte Mast betrachtet in Höhe von 796 g.

Die zwei Klee-Gras-Silage Gruppen mit dem höchsten Grundfutterverbrauch über die gesamte Mast (0,23 kg Tag^{-1}) zeigten in der Endmast durchschnittliche Tageszunahmen in Höhe von 863 g, und über die gesamte Mast betrachtet in Höhe von 859 g. Die zwei Klee-Gras-Silage Gruppen mit dem niedrigsten Grundfutterverbrauch Mast (0,17 kg Tag^{-1}) zeigten in der Endmast durchschnittliche Tageszunahmen in Höhe von 812 g, und über die gesamte Mast betrachtet in Höhe von 818 g.

4.4.3 Verdaulichkeitsprüfung

Die Bestimmung der Nährstoffverdaulichkeit von verschiedenen Silagen als alleiniges Futtermittel an Hammeln wurde im Rahmen des Projekts in 27 einzelnen Versuchen vorgenommen. In 22 Versuchen bestand die Ration aus Mais-Bohnen-Silagen mit Bohnenanteilen von 15 bis 45% bezogen auf die Trockenmasse sowie in weiteren fünf Versuchen mit den dazu korrespondierenden Maissilagen. Die Ergebnisse der vier Anbaujahre werden zunächst einzeln dargestellt und abschließend gemeinsam bewertet.

4.4.3.1 Verdaulichkeitsprüfung 2014

Der TSk lag mit Werten zwischen 238 und 293 g kg^{-1} in einem für Silagen relativ geringen Bereich (Tab. 65). Der XP-Gehalt der Silagen stieg mit höheren Bohnenanteilen von 55 g kg^{-1} für Maissilage auf 95 g kg^{-1} für Mais-Bohnen Silage mit einem Bohnenanteil von 45% im Versuch Nr. 4 (TA45). Der Proteingehalt unterschied sich dabei nur zwischen der Maissilage und den Silagen mit einem Bohnenanteil von 45% (p=0,037).

Tab. 65: Gehalt an Weender Rohnährstoffen, Gerüstsubstanzen und Stärke in den zur Bestimmung der Nährstoffverdaulichkeit an Hammeln aus dem Erntejahr 2014 verwendeten Rationen.

Lfd. Nr.	Versuch	Erntejahr	TSk	OS	XP	XL	XF	NDF	ADF	XS
			g kg^{1} FM				g kg^{1} TSk			
1	TA15	2014	278	954	60	25	202	434	237	310
2	TA30	2014	257	943	70	25	207	452	245	272
3	TA45	2014	238	934	95	24	210	422	247	270
4	PG15	2014	285	953	67	31	206	445	241	304
5	PG30	2014	252	939	81	30	200	405	231	309
6	PG45	2014	229	926	82	20	227	485	266	298
7	Mais	2014	293	956	55	27	213	483	251	313

Die für den Energiegehalt der Silagen bedeutsame Verdaulichkeit der organischen Substanz lag sowohl für einen Bohnenanteil von 15% (p=0,039), von 30% (p=0,003) als auch von 45% (p=0,050) signifikant oberhalb der DOS der Maissilage mit 639 g kg^{-1} (Tab. 66). Dabei variierte die DOS der Mais-Bohnen-Silagen in einem Bereich von 665 bis 729 g kg^{-1}, ohne dass ein Zusammenhang mit dem Bohnenanteil in den Silagen erkennbar war. Sowohl für die DXL als auch für die DXF zeigten sich im Vergleich zwischen der Maissilage und den Silagen mit Bohnenanteilen keine statistisch zu sichernden Differenzen.

Tab. 66: An Hammeln ermittelte Verdaulichkeit der Trockenmasse, der organischen Substanz, des Rohfetts und der Rohfaser von Maissilage und Mais-Bohnen-Silagen aus dem Erntejahr 2014 (Mittelwert, Standardabweichung).

Lfd. Nr.	Versuch	Erntejahr	n	DTM		DOS		DXL		DXF	
				g kg^{1}							
1	TA15	2014	4	646	19	665	17	666	19	459	36
2	TA30	2014	4	702	5	724	7	687	5	572	14
3	TA45	2014	4	704	14	729	14	634	25	548	44
4	PG15	2014	4	690	21	712	20	747	40	547	52
5	PG30	2014	4	678	67	703	64	723	46	495	148
6	PG45	2014	4	669	39	688	38	595	44	510	87
7	Mais	2014	4	620	36	639	33	726	16	469	56

Die Ergebnisse der DOS spiegeln sich in den Werten für den Gehalt an ME und NEL wider. Die Energiegehalte aller Mais-Bohnen-Silagen lagen signifikant oberhalb der Werte der Maissilage mit 9,3 MJ ME kg^{-1} und 5,5 MJ NEL kg^{-1}, wobei diese Ergebnisse unterhalb des Wertes für eine energiereiche Maissilage lagen (

Tab. 67). Die ME- und die NEL-Gehalte der Mais-Bohnen-Silagen variierten im einem Bereich von 9,6 bis 10,4 und 5,7 bis 6,2 MJ kg^{-1}, ohne dass auch hier ein Zusammenhang mit dem Bohnenanteil in den Silagen erkennbar war.

Tab. 67: Anhand der an Hammeln ermittelten Verdaulichkeit der organischen Substanz, des Rohfetts und der Rohfaser kalkulierter Gehalt an metabolischer Energie und Nettoenergie-Laktation von Maissilage und Mais-Bohnen-Silagen aus dem Erntejahr 2014 (Mittelwert, Standardabweichung).

Lfd. Nr.	Versuch	Erntejahr	n	ME		NEL	
				MJ kg^{1} TSk			
1	TA15	2014	4	9,6	0,2	5,7	0,2
2	TA30	2014	4	10,4	0,1	6,2	0,1
3	TA45	2014	4	10,4	0,2	6,2	0,1
4	PG15	2014	4	10,4	0,3	6,2	0,2
5	PG30	2014	4	10,1	0,9	6,1	0,6
6	PG45	2014	4	9,6	0,5	5,7	0,4
7	Mais	2014	4	9,3	0,5	5,5	0,3

4.4.3.2 Verdaulichkeitsprüfung 2015

Der TSk lag mit Werten zwischen 220 und 282 g kg^{-1} erneut in einer für Silagen relativ geringen Größenordnung (Tab. 68). Der XP-Gehalt der Silagen lagt mit 93 g kg^{-1} bei der Maissilage auf einem hohen Niveau und zeigte mit steigenden Bohnenanteilen mit Ausnahme des Versuchs Nr. 11 (WR15) höhere Ergebnisse. Im gesamten Anbaujahr gab es bei keinem der Untersuchungsergebnisse zur Bestimmung der Nährstoffe zwischen der Maissilage und den Silagen mit Bohnenanteilen statistisch zu sichernde Differenzen.

Tab. 68: Gehalt an Weender Rohnährstoffen, Gerüstsubstanzen und Stärke in den zur Bestimmung der Nährstoffverdaulichkeit an Hammeln aus dem Erntejahr 2015 verwendeten Rationen.

Lfd. Nr.	Versuch	Erntejahr	TSk	OS	XP	XL	XF	NDF	ADF	XS
			g kg^{1} FM				g kg^{1} TSk			
8	CO15	2015	264	953	102	30	217	416	255	262
9	CO30	2015	220	942	118	28	234	414	270	193
10	CO45	2015	228	948	115	22	189			
11	WR15	2015	266	955	91	28	208	430	243	285
12	WR30	2015	234	952	98	27	259	455	297	215
13	WR45	2015	261	940	109	25	272	469	308	176
14	Mais	2015	282	960	93	26	205	427	244	326

Die DOS lag sowohl bei allen Silagen mit Bohnenanteil deutlich ($p<0,001$) oberhalb der DOS der Maissilage, die einen Wert von 522 g kg^{-1} aufwies (Tab. 69). Die DOS der Mais-Bohnen-Silagen umfasste einen Bereich von 653 bis 734 g kg^{-1}, wobei die Silagen mit einem Bohnenanteil von 30% jeweils die geringsten Werte aufwiesen. Auch für die DXL und die DXF zeigten sich im Vergleich zwischen der Maissilage und den Silagen mit Bohnenanteilen statistisch zu sichernden Differenzen ($p<0,001$). Die DXF wies dabei die größten Differenzen zwischen Maissilage (320 g kg^{-1}) und den Mais-Bohnen-Silagen (475 bis 635 g kg^{-1}) auf.

Tab. 69: An Hammeln ermittelte Verdaulichkeit der Trockenmasse, der organischen Substanz, des Rohfetts und der Rohfaser von Maissilage und Mais-Bohnen-Silagen aus dem Erntejahr 2015 (Mittelwert, Standardabweichung).

Lfd. Nr.	Versuch	Erntejahr	n	DTM		DOS		DXL		DXF	
				g kg^{1}							
8	CO15	2015	2	693	1	715	1	751	19	595	2
9	CO30	2015	3	631	29	653	27	676	33	524	42
10	CO45	2015	3	665	13	702	13	628	8	475	31
11	WR15	2015	4	692	26	708	25	742	28	557	36
12	WR30	2015	4	679	17	697	17	745	3	583	24
13	WR45	2015	4	719	32	734	32	765	16	635	56
14	Mais	2015	4	522	32	548	30	600	53	320	46

Sämtliche Energiegehalte der Mais-Bohnen-Silagen lagen signifikant oberhalb der Werte der Maissilage mit 9,3 MJ ME kg^{-1} und 5,5 MJ NEL kg^{-1}, die eine sehr geringe Energiekonzentration aufwies (Tab. 70). Die ME- und die NEL-Gehalte der Mais-Bohnen-Silagen variierten zwischen 9,5 bis 10,5 und 5,6 bis 6,3 MJ kg^{-1}. Auch hier zeigten die Mais-Bohnen-Silagen mit dem mittleren Bohnenanteil (30%) geringere Werte gegenüber Silagen mit Bohnenanteilen von 15 und 45%.

Tab. 70: Anhand der an Hammeln ermittelten Verdaulichkeit der organischen Substanz, des Rohfetts und der Rohfaser kalkulierter Gehalt an metabolischer Energie und Nettoenergie-Laktation von Maissilage und Mais-Bohnen-Silagen aus dem Erntejahr 2015 (Mittelwert, Standardabweichung).

Lfd. Nr.	Versuch	Erntejahr	n	ME		NEL	
				MJ kg^{1} TSk			
8	CO15	2015	2	10,5	0,0	6,3	0,0
9	CO30	2015	3	9,5	0,4	5,6	0,3
10	CO45	2015	3	10,2	0,2	6,1	0,1
11	WR15	2015	4	10,4	0,3	6,2	0,3
12	WR30	2015	4	10,2	0,2	6,0	0,2
13	WR45	2015	4	10,5	0,4	6,3	0,3
14	Mais	2015	4	8,1	0,4	4,6	0,3

4.4.3.3 Verdaulichkeitsprüfung 2016

Der TSk lag mit Werten zwischen 248 und 346 g kg^{-1} überwiegend in einer für Silagen anzustrebenden Größenordnung (Tab. 71). Der XP-Gehalt der Silagen zeigte mit steigenden Bohnenanteilen höhere Ergebnisse. Die Mais-Bohnen-Silagen hatten sowohl mit einem Bohnenanteil von 15% (p=0,039), von 30% (p=0,012) als auch von 45% (p=0,004) im Vergleich zur Maissilage einen signifikant höheren XP-Gehalt.

Tab. 71: Gehalt an Weender Rohnährstoffen, Gerüstsubstanzen und Stärke in den zur Bestimmung der Nährstoffverdaulichkeit an Hammeln aus dem Erntejahr 2016 verwendeten Rationen.

Lfd. Nr.	Versuch	Erntejahr	TSk	OS	XP	XL	XF	NDF	ADF	XS
			g kg^{1} FM				g kg^{1} TSk			
15	TA15	2016	319	952	82	29	224	424	243	321
16	TA30	2016	332	945	95	30	211	386	248	330
17	TA45	2016	346	946	119	25	210	366	242	318
18	AV15	2016	279	954	90	36	196	382	224	341
19	AV30	2016	253	947	103	30	202	369	237	320
20	AV45	2016	248	948	112	25	192	234	346	330
21	Mais	2016	313	960	62	39	195	390	216	386

Die DOS zeigte für einen Bohnenanteil von 15% (p=0,282) keine signifikante Differenz zur DOS der Maissilage. Bei Bohnenanteilen von 30% (p=0,029) und von 45% (p=0,003) lagen die Ergebnisse

signifikant oberhalb der DOS der Maissilage mit 638 g kg^{-1} (Tab. 72). Die DOS der Mais-Bohnen-Silagen variierten im Bereich von 648 bis 723 g kg^{-1}, mit steigenden Werten bei einem Anstieg des Bohnenanteils in den Silagen. Für die DXL zeigten sich im Vergleich zwischen der Maissilage und den Silagen mit Bohnenanteilen keine statistisch zu sichernden Differenzen, für die DXF nur zwischen Maissilage und den Silagen mit 45% Bohnenanteil (p=0,029).

Tab. 72: An Hammeln ermittelte Verdaulichkeit der Trockenmasse, der organischen Substanz, des Rohfetts und der Rohfaser von Maissilage und Mais-Bohnen-Silagen aus dem Erntejahr 2016 (Mittelwert, Standardabweichung).

Lfd. Nr.	Versuch	Erntejahr									
			n	DTM		DOS		DXL		DXF	
				g kg^{1}							
15	TA15	2016	4	656	58	671	58	653	60	434	151
16	TA30	2016	4	677	45	697	43	669	67	547	67
17	TA45	2016	4	690	20	711	20	615	26	539	53
18	AV15	2016	3	627	40	648	41	693	27	459	72
19	AV30	2016	2	655	20	675	18	680	0	509	16
20	AV45	2016	3	695	18	723	19	562	17	556	45
21	Mais	2016	4	614	25	638	24	696	29	432	37

Die Energiegehalte aller Mais-Bohnen-Silagen lagen signifikant oberhalb der Werte der Maissilage, deren Energiegehalt mit 9,3 MJ ME kg^{-1} und 5,5 MJ NEL kg^{-1} weiterhin ein vergleichsweise geringes Niveau aufwies (Tab. 73). Die ME- und die NEL-Gehalte der Mais-Bohnen-Silagen lagen in einem Bereich von 9,6 bis 10,4 und 5,8 bis 6,3 MJ kg^{-1} mit steigenden Werten bei höheren Bohnenanteilen. Signifikante Differenzen im Vergleich zur Maissilage zeigte nur der ME-Gehalt (p=0,013) und der NEL-Gehalt (p=0,011) der Silage mit 45% Bohnenanteil.

Tab. 73: Anhand der an Hammeln ermittelten Verdaulichkeit der organischen Substanz, des Rohfetts und der Rohfaser kalkulierter Gehalt an metabolischer Energie und Nettoenergie-Laktation von Maissilage und Mais-Bohnen-Silagen aus dem Erntejahr 2016 (Mittelwert, Standardabweichung).

Lfd. Nr.	Versuch	Erntejahr					
			n	ME		NEL	
				MJ kg^{1} TSk			
15	TA15	2016	4	9,8	0,8	5,8	0,6
16	TA30	2016	4	10,1	0,6	6,0	0,4
17	TA45	2016	4	10,3	0,3	6,1	0,2
18	AV15	2016	3	9,6	0,6	5,6	0,4
19	AV30	2016	2	9,9	0,3	5,8	0,2
20	AV45	2016	3	10,4	0,3	6,3	0,2
21	Mais	2016	4	9,5	0,3	5,6	0,2

4.4.3.4 Verdaulichkeitsprüfung 2018

Der TSk zeigte im letzten Anbaujahr weiter steigende Werte, wobei die Ergebnisse am Anbauort Trenthorst im Bereich zwischen 280 bis 356 g kg^{-1} und in Braunschweig zwischen 359 und 393 g kg^{-1} variierten (Tab. 74). Die XP-Gehalte der Mais-Bohnen-Silagen wiesen an beiden Anbauorten mit von 15 auf 30% steigendem Bohnenanteil in den Silagen jeweils eine Steigerung von 82 bis auf 112 g kg^{-1} auf, wobei weder die Ergebnisse von Silagen mit 15 als auch mit 30% Bohnenanteil sich signifikant vom XP-Gehalt der Maissilage unterschieden.

Tab. 74: Gehalt an Weender Rohnährstoffen, Gerüstsubstanzen und Stärke in den zur Bestimmung der Nährstoffverdaulichkeit an Hammeln aus dem Erntejahr 2018 verwendeten Rationen.

Lfd. Nr.	Versuch	Erntejahr	TSk	OS	XP	XL	XF	NDF	ADF	XS
			g kg^{1} FM				g kg^{1} TSk			
22	Mais JKI	2018	393	968	82	25	164	365	150	380
23	Mais TI	2018	356	966	75	37	180	380	209	357
24	TA15 JKI	2018	359	948	100	29	184	354	210	355
25	TA15 TI	2018	291	952	82	43	176	352	192	346
26	TA30 JKI	2018	363	946	112	28	160	345	195	350
27	TA30 TI	2018	280	941	90	35	194	420	227	305

Die DOS lag im letzten Anbaujahr der Versuchsreihe auf einem deutlich höheren Niveau, wobei an beiden Anbauorten die Mais-Bohnen-Silage mit dem höchsten geprüften Bohnenanteil von 30% die höchsten Werte vom im Mittel 765 g kg^{-1} aufwies (

Tab. 75). Diese waren zur DOS der Maissilage von im Mittel 729 g kg^{-1} signifikant verschieden (p=0,029). Für die DXL und auch die DXF zeigte der Vergleich zwischen der Maissilage und den Silagen mit Bohnenanteilen keine statistisch zu sichernden Differenzen.

Tab. 75: An Hammeln ermittelte Verdaulichkeit der Trockenmasse, der organischen Substanz, des Rohfetts und der Rohfaser von Maissilage und Mais-Bohnen-Silagen aus dem Erntejahr 2018 (Mittelwert, Standardabweichung).

Lfd. Nr.	Versuch	Erntejahr	n	DTM		DOS		DXL		DXF	
				g kg^{1}							
22	Mais JKI	2018	4	732	25	753	24	663	60	765	35
23	Mais TI	2018	4	688	20	705	19	773	7	525	42
24	TA15 JKI	2018	4	727	49	745	50	692	58	567	162
25	TA15 TI	2018	4	703	25	722	24	725	20	546	74
26	TA30 JKI	2018	4	750	10	770	11	609	57	543	29
27	TA30 TI	2018	4	738	29	760	28	717	37	615	71

Die Energiegehalte der Maissilagen und aller Mais-Bohnen-Silagen lagen auf vergleichbar hohem Niveau und befanden sich in einem Bereich von 10,5 bis 11,1 MJ kg^{-1} TSk (Tab. 76). Statistisch abzusichernde Differenzen im Vergleich zu den Maissilagen lagen nicht vor.

Tab. 76: Anhand der an Hammeln ermittelten Verdaulichkeit der organischen Substanz, des Rohfetts und der Rohfaser kalkulierter Gehalt an metabolischer Energie und Nettoenergie-Laktation von Maissilage und Mais-Bohnen-Silagen aus dem Erntejahr 2018 (Mittelwert, Standardabweichung).

Lfd. Nr.	Versuch	Erntejahr	n	ME		NEL	
				MJ kg^{1} TSk			
22	Mais JKI	2018	4	10,9	0,3	6,6	0,3
23	Mais TI	2018	4	10,6	0,3	6,3	0,2
24	TA15 JKI	2018	4	10,8	0,7	6,6	0,5
25	TA15 TI	2018	4	10,7	0,3	6,4	0,2
26	TA30 JKI	2018	4	11,1	0,2	6,8	0,1
27	TA30 TI	2018	4	11,0	0,4	6,7	0,3

Der Vergleich der ME- und NEL-Gehalte der Silagen beider Anbauorte zeigte hinsichtlich des Anbauorts keine signifikanten Differenzen. Auch Steigerung der Bohnenanteile in den Silagen blieb ohne signifikante Auswirkungen auf den ME- und NEL-Gehalt (Tab. 77).

Tab. 77: Vergleich der Gehalte an metabolischer Energie und Nettoenergie-Laktation von Maissilage und Mais-Bohnen-Silagen der Anbauorte Trenthorst und Braunschweig aus dem Erntejahr 2018 (LS-means).

Anbauort	Bohnenanteil (% in der TM)			p-Wert		
	0	15	30	Bohnenanteil	Anbauort	Bohnenanteil x Anbauort
	MJ kg^{1} TSk					
ME						
gesamt	10,8	10,8	10,8	0,245	0,214	0,719
Trenthorst	10,6	10,7	11,0			
Braunschweig	10,9	10,8	11,1			
NEL						
gesamt	6,5	6,5	6,5	0,173	0,189	0,767
Trenthorst	6,3	6,4	6,7			
Braunschweig	6,6	6,6	6,8			

4.5 Praxisbefragungen

Es stellte sich heraus, dass die meisten der den Saatgutfirmen bekannten Betriebe bereits in andere wissenschaftliche Projekte zum Thema Mais-Stangenbohnen-Gemengeanbau eingebunden waren und somit ihre Daten in anderen Projekten verwertet werden sollten. Auch über die Berater bei den Landwirtschaftskammern und den Bio-Verbänden konnten keine Kontakte zu Landwirten hergestellt werden, da den meisten Beratern auch nur die Betriebe bekannt waren, die in die oben genannten Projekte eingebunden waren.

Durch die Veröffentlichung erster Ergebnisse aus den Fütterungsversuchen 2016 und 2017 im Bioland Fachmagazin und dem damit verknüpften Aufruf, sich an einem Interview zu beteiligen, konnten ebenfalls keine Landwirte akquiriert werden. Deshalb wurden weitere Veröffentlichungen in den landwirtschaftlichen Wochenblättern im gesamten Bundesgebiet durchgeführt. Als Reaktion auf diese Veröffentlichungen meldeten sich ein Landwirt aus Deutschland und eine Beraterin aus der Schweiz, die bereit waren an einem Interview teilzunehmen oder einen Betrieb zu vermitteln. Ein weiterer Artikel in der Fachzeitschrift BDM aktuell Ausgabe 06 + 07/2018 erbrachte die Angaben zu weiteren Betrieben.

4.5.1 Betriebsstruktur

Am Ende waren sieben Betriebe in Deutschland und ein Betrieb in der Schweiz zu einem Interview bereit (Tab. 78). Von den acht Betrieben wirtschafteten sechs konventionell und zwei Betriebe nach den Richtlinien des ökologischen Landbaus. Die Annahme, dass der Anbau von Mais-Stangenbohnengemenge zur besseren Proteinversorgung vor allem auf ökologisch wirtschaftenden Betrieben eine Rolle spielt, konnte damit nicht bestätigt werden. Allerdings ist nicht auszuschließen, dass es noch weitere Betriebe gibt, die Mais-Stangenbohnengemenge anbauen und die aufgrund der Einbindung in andere Projekte nicht an der Umfrage teilgenommen haben oder durch den Aufruf in den Fachzeitschriften nicht erreicht oder motiviert werden konnten, an einem Interview teilzunehmen.

Nach Terminabsprache mit den Betriebsleitern erfolgte ein einstündiges Telefoninterview (n = 7) anhand eines am Jahresanfang 2018 ausgearbeiteten Fragebogens. Ein Betrieb wollte nicht am Telefon interviewt werden und bat um Zusendung des Fragebogens.

Tab. 78: Charakteristika der interviewten Betriebe, die Mais und Stangenbohnen im Gemenge anbauen und zur Milchviehfütterung einsetzen.

Nr.	Wirtschaftsweise	Größe (ha)	Betriebs-zweige	Ackerfläche (ha)	Anzahl Milchkühe	305-Tage-Leistung (kg)
1	konventionell	87	1	17	80	8.600
2	konventionell	42	1	33	55	10.500
3	ökologisch	76	2	14	65	8.800
4	konventionell	180	4	168	75	10.600
5	konventionell	118	4	84	52	9.500
6	konventionell	60	1	25	7	7.300
7	ökologisch	41	3	8	30	6.000
8	konventionell	13	1	2,6	12	5.500

Die Betriebe unterschieden sich deutlich in ihrer Größe. Der kleinste Betrieb, der im Nebenerwerb wirtschaftete, umfasste 13 ha Fläche wohingegen der größte Betrieb 180 ha bewirtschaftete. Die Hälfte der Betriebe gab an, nur Milchviehhaltung zu betreiben, während auf einem Betrieb der Betriebszweig Direktvermarktung, auf einem anderen Ackerbau und Streuobstanbau, auf einem weiteren Ackerbau, Kartoffeldirektvermarktung und eine Milchtankstelle, und auf einem vierten Ackerbau, Pferdeheuproduktion und Direktvermarktung als Betriebszweige genannt wurden. Auf drei Betrieben war die Größe der Ackerfläche größer als die Größe des Dauergrünlandes.

Die Anzahl der Milchkühe auf dem Betrieb lag im Durchschnitt bei 56 Tieren. Der kleinste Betrieb hielt 12 Milchkühe und der größte 80 Milchkühe. Die Milchleistung lag im Herdendurchschnitt bei 8.350 kg (305-Tage Leistung laut MLP). Ein Betrieb nahm nicht an der MLP teil und schätze seine Herdenleistung auf 5.500 kg, welches der geringsten Leistung im Vergleich mit den anderen Betrieben entsprach. Zwei Betriebe gaben eine Herdenleistung über 10.000 kg an.

4.5.2 Anbau von Mais und Stangenbohnen im Gemenge

Der erste Anbau von Mais-Stangenbohnengemenge erfolgte bei den meisten Betrieben ein Jahr nachdem sie von dem Anbausystem erfahren hatten. Nur ein Betrieb baute erst drei Jahre nach Kenntnis zum ersten Mal Mais-Stangenbohnen-Gemenge an. Drei Betriebe gaben an, durch einen Artikel in der Zeitschrift „top-agrar“ zum ersten Mal über den Anbau von Mais-Stangenbohnenge-

menge etwas erfahren zu haben, drei Betriebe hatten auf einem Vortrag etwas über den Mischanbau erfahren und jeweils ein Betrieb erfuhr durch einen Kollegen oder durch einen Arbeitskreis davon. Der Betrieb mit der meisten Erfahrung im Mischanbau begann 2013 das Gemenge einzusetzen und der Betrieb mit der geringsten Erfahrung kultivierte Mais-Stangenbohnen Gemenge 2018 das erste Mal. Die Beweggründe der Betriebsleiter reichten von dem Wunsch die Biodiversität auf dem Acker zu steigern und die Fruchtfolge zu erweitern, über den Anspruch, mehr Protein auf dem eigenen Betrieb zu produzieren bis hin zu der Neugier „mal etwas Neues aus[zu]probieren“.

4.5.2.1 Pflanzenbauliche Aspekte im Anbaujahr 2018

Die Anbaufläche des Mais-Stangenbohnen-Gemenges lag im Anbaujahr 2018 bei durchschnittlich 5,33 ha je Betrieb. Die kleinste Anbaufläche bestand aus 0,18 ha und wurde in einen reinen Maisschlag integriert (Streifenversuch). Die größte Anbaufläche war 12 ha groß und wurde auf zwei Schläge mit maximal 35 Bodenpunkten aufgeteilt. Nur fünf der acht befragten Betriebe konnten Auskunft über die Bodenpunkte, die Bodenart und den Bodentyp geben.

Fünf der acht Betriebe bauten eine Zwischenfrucht an, auf die in vier Fällen der Maisanbau folgte. Die meisten Betriebe bauten nur eine Maissorte an (n = 5), jedoch gab es einen Betrieb, der zwei und einen Betrieb der acht Sorten auf dem gleichen Schlag anbaute. Bei den Bohnen wurde vorwiegend die Sorte WAV 512 (n = 6) angebaut; ein Betrieb baute die Mischung der Firma Freudenberger (BG 110, aus zwei Bohnensorten) an und ein Betrieb mischte die Sorten Anellino verde und Anellino giallo. Zwei Betriebe bauten zwei verschiedene Bohnensorten (Anellino giallo und WAV 512; Weinländerin und WAV 512) auf zwei unterschiedlichen Schlägen an, um die Sorten auf ihrem Standort vergleichen zu können.

Der Gemengeanbau erfolgte auf den meisten Betrieben in der gleichen Reihe (n = 7); von diesen Betrieben bauten aber zwei auch einen Schlag an, in welchem sie Mais und Bohne nebeneinander säten. Der Abstand, in welchem die Bohnen zur Maisreihe gelegt wurden, betrug bei einem Betrieb nur 5 cm, bei einem zweiten 10 bis 15 cm und bei dem dritten, welcher nur versetzt anbaute, 37,5 cm.

Die Aussaat der Bohnen erfolgte bei zwei dieser Betriebe am gleichen Tag wie die Maissaat. Nur ein Betrieb säte die Bohnen zum 4-Blattstadium des Maises. Das Verhältnis der Mais- zu den Bohnenkörnern war in zwei Fällen 3:1, in drei Fällen 2:1 in einem Fall 1,5:1 und in zwei Fällen 1:1. Die Ablagetiefe reichte von 3 bis hin zu 6 cm und nur ein Betrieb säte die Bohne flacher als den Mais. Auf allen anderen Betrieben wurden die Bohnen in der gleichen Tiefe wie der Mais abgelegt.

Die früheste Aussaat erfolgte am 22.04.2018. Die meisten Betriebe brachten das Saatgut Mitte Mai in die Erde und nur ein Betrieb säte relativ spät Mitte Juni 2018. Die Düngung der Anbaufläche erfolgte bei allen Betrieben vor der Aussaat entweder kurz vor dem Pflügen (n = 4), am Tag vor dem Säen (n = 1) oder bei der Aussaat (n = 3). Nur ein Betrieb düngte während der Vegetationsphase im 4–5 Blattstadium des Maises ein zweites Mal (Tab. 79).

Nur drei der Betriebe führten mechanische Pflegemaßnahmen durch. Eine chemische Unkrautregulierung wurde auf allen konventionell wirtschaftenden Betrieben durchgeführt (Tab. 79). Als weitere Pflanzenschutzmaßnahme wurde von einem Betrieb das Ausbringen von Schneckenkorn zwei Tage vor der Aussaat genannt.

Tab. 79: Düngung und Pflegemaßnahmen im Mais-Stangenbohnenbestand im Anbaujahr 2018.

Nr.	Zeitpunkt der Düngung	Düngemittel	Menge	Pflegemaßnahmen
1	Zur Saat; Unterfußdüngung	Gülle	40 m³ ha^{-1}	Nein
2	Zur Saat; breitflächig	Granulat (Zn, N, P)		Nein
3	Zur Saat; Unterfußdüngung	G18 Algenkalk	175 kg ha^{-1}	Zum 3–4 Blattstadium des Maises Striegeln und Hacken
4	Vor dem Pflügen	Gülle o. Festmist Kalkammonsalpeter	80 kg ha^{-1}	nein
5	Vor dem Pflügen	Gärreste	30 m³ ha^{-1}	zum 3-Blattstadium 2 x Striegeln und 2 x Hacken, nach 14 Tagen Grünlandstriegel
6	Einen Tag vor der Aussaat	Gülle		Nein
7	Nach Kleegrasumbruch im 4–5 Blattstadium - Mais	Mist Rindergülle, angereichert mit Hühnermist		2 x Hacken, bei versetzter Saat nur bis zur Aussaat der Bohne
8	Vor dem Pflügen	Gülle		Nein

4.5.2.2 Ernte und Konservierung 2018

Die Ernte erfolgte ausschließlich durch Lohnunternehmer. Ein Betrieb erntete am 30. August, drei Betriebe in der ersten Septemberwoche, ein Betrieb Ende September und ein Betrieb Mitte Oktober. Das Gemenge wurde von der Hälfte der Lohnunternehmer in einer Höhe von 20 cm geschnitten (n = 4), zwei Betriebe ließen in einer Höhe > 30 cm und ein Betrieb in einer Höhe zwischen 10 und 15 cm häckseln.

Nur drei der acht Betriebe konnten eine Angabe zum Ertrag machen. Der geringste Flächenertrag wurde mit 340 dt ha^{-1} erzielt, was 115 dt unter dem Höchstertrag (455 dt ha^{-1}) lag. Der dritte Betrieb erntete 400 dt ha^{-1}. Ein Betriebsleiter schätze seinen Ertrag auf 230 dt ha^{-1} und ein weiterer gab an, gegenüber einem „normalen“ Jahr die Hälfte weniger Ernte eingebracht zu haben. Den Bohnenanteil in der Frischmasse schätzten die Hälfte der Landwirte um die 10 %; ein Betrieb schätze den Anteil auf 15 % und zwei Betriebe auf 20 %. Ein Betrieb konnte hierzu keine Aussage treffen.

Auf sechs Betreiben wurde das Erntegut in Fahrsilos siliert. Ein Betrieb ließ Rundballen pressen und ein Betrieb machte keine Angabe zum Silotyp. Fünf der Betriebe silierten das Maus-Stangenbohnengemenge separat ein, bei drei Betrieben wurde das Silo mit reinem Mais aufgefüllt. Silierhilfsmittel kamen nur bei drei Betrieben zum Einsatz (CMT von Schaumann, CFT und Stabilizer von Pioneer und BonSilage Forte sowie BonSilage Speed).

Die Dauer der Silierung richtete sich im Jahr 2018 vor allem nach den Bedingungen auf dem jeweiligen Betrieb. Bei Futterknappheit wurden die Silos schon früh wieder aufgemacht; ein Silo wurde schon nach drei Tagen wieder geöffnet, 21 Tage lang daraus verfüttert, danach mit Grasschnitt aufgefüllt und wieder verschlossen. Ein Betrieb wollte das Silo voraussichtlich bis Februar 2019 geschlossen halten. Drei Betriebe ließen eine Probe vom Silo nehmen.

Betriebe, die zum Zeitpunkt des Interviews bereits die Silage aus dem Anbaujahr 2018 verfüttertet, berichteten von einer relativ trockenen Silage (n = 1), obwohl sich das Erntegut besser festfahren lies als bei reiner Maissilage (n = 2). Ein Unterschied bezüglich des Geruchs im Vergleich zur reinen

Maissilage wurde von drei Betriebsleitern erwähnt: eine Person sprach von einem eher alkoholischen Geruch; zwei Personen betonten einen Bohnengeruch festzustellen, der in einem Fall als „erbsenartig“ beschrieben wurde.

4.5.2.3 Einsatz der MBS in der Fütterung

Auf nur einem Betrieb wurde ein Fütterungsprogramm zur Rationsgestaltung verwendet. Sonst erfolgte die Rationsgestaltung durch den Berater (n = 2), anhand der Milchinhaltsstoffe (n = 2) oder nach der Verfügbarkeit der Futtermittel (n = 2). Die Hälfte der Betriebe lies eine Untersuchung der Futtermittel vornehmen. Die Kühe bekamen das Futter bei der Hälfte der Betriebe als Teil-TMR vorgelegt. Zwei Betriebe fütterten eine Voll-TMR, wobei ein Betrieb ganz auf die Gabe von Getreide verzichtete. Auf einem Betrieb wurde das Futter separat vorgelegt (Tab. 80).

Tab. 80: Übersicht über die Darreichungsform, die Futterkomponenten und deren Rationsanteile sowie die Dauer der Fütterung von MBS auf den Praxisbetrieben.

Nr.	Angeboten als	Komponenten	Anteil MBS	Tiergruppe	Beginn
1	k. A.	Grassilage, Mais, Ausgleichsmischung (Getreide, Raps, Mais), Mineralfutter	k. A.	Alle Rinder	2. Woche im November
2	Teil-TMR	MBS, KGS, Heu, Stroh, Getreide, Eiweißfutter (Rapsschrot)	35 % der FM	Milchvieh, JR < 1 Jahr	Seit 2016
3	TMR	MBS, Grassilage	27 % der FM	Milchvieh JR < 1 Jahr	13. 9.18
4	TMR	Grassilage, MBS, Stroh, Wintergerste, Erbsen, Rapsschrot, Körnermais, Fett, Mineral, Kohlensaurer Kalk	35% der TM	Milchvieh	28.02.18
5	Teil-TMR	MBS, Heulage, Rapsschrot, Stroh, Harnstoff, Mineral, Kalk	79 % der FM	Alle Rinder	Ernte 2017 4 Monate
6	Teil-TMR	Grassilage, Maissilage	33 % der FM	Alle Rinder	Seit 2016
7	Teil-TMR	Heu, Grassilage, Mais-Mais-Stangenbohne	5 kg FM $Tier^{-1}$ Tag^{-1}	Milchvieh	2016
8	separat	Grassilage, Maissilage, Heu Rapsschrot	20 % der FM	Milchvieh	2017

4.5.2.4 Erfahrungen im Einsatz der MBS und Leistung der Tiere

Nach dem subjektiven Eindruck der Akzeptanz durch die Milchkühe gefragt, berichteten sechs der Betriebe, dass sie keinen Unterschied hinsichtlich der Akzeptanz im Vergleich zur Ration ohne MBS beobachtet hätten. Ein Betrieb hatte den Eindruck, dass seine Tiere während der Verfütterung von MBS mehr Futter aufgenommen hätten. Ein Betrieb stellte fest, dass die Tiere in den ersten Tagen der Umstellung auf eine Fütterung mit MBS das Futter erst etwas verschmähten, dann jedoch etwas mehr Futter aufnahmen als während der Fütterung mit Maissilage. Der Betriebsleiter erklärte sich dies dadurch, dass die Ration mit MBS etwas feuchter war.

Zwei Betriebe berichteten von einer flüssigeren Kotkonsistenz während der MSB-Fütterung. Der Harnstoffgehalt der Milch stieg während der Verfütterung von MBS bei zwei der Betriebe an. Einer dieser Betriebe schilderte, dass in dieser Zeit mehr Klauenprobleme auftraten und sich die Fruchtbarkeit durch das Entstehen von Zysten verminderte. Ganz im Gegensatz dazu berichtete ein Betrieb von einer besseren Klauengesundheit während der Verfütterung der MBS. Am Ende der Fütterung von MBS wurde auf einem Betrieb weniger Brunstverhalten beobachtet.

Drei der Betriebe eine registrierten eine Leistungssteigerung. Diese äußerte sich zum einen in einer höheren Milchleistung (n=2), als auch in einem höheren Fett- (n=1) oder Proteingehalt (n=1) in der Milch.

4.5.2.5 Bewertung der MBS durch die Landwirte

Die Hälfte der Betriebe war mit dem Anbau zufrieden, da ihre Erwartungen erfüllt wurden. Ein Betrieb hatte etwas höhere Erträge erwartet, die annähernd das Ertragsniveau aus dem reinen Maisanbau erreichen sollten. Ein Betrieb war positiv überrascht, dass der Anbau an seinem Standort funktionierte, hätte jedoch eine deutlichere Steigerung des Proteingehalts in Vergleich zu reinem Mais erwartet.

Ungeachtet der nicht voll erfüllten Erwartungen wollten alle acht Betriebe auch 2019 wieder Mais-Stangenbohnengemenge anbauen, obwohl fünf Betriebe die Ernte des dichten Bestandes als problematisch ansahen. Unsicherheit in Bezug auf die Tiergesundheit wurde nur von einem Betrieb geäußert, jedoch wünschte sich die Hälfte der Betriebe mehr Forschungsergebnisse zum Thema „Phasin“ und zur Verträglichkeit der Bohnen. Aber auch Maßnahmen zum Pflanzenschutz und eine weitere züchterische Verbesserung, so dass durch die Bohnen eine deutlichere Steigerung des Proteingehaltes erreicht werden kann, wünschten sich die Betriebe.

Da die Interviews zu Ende des dritten und im vierten Quartal 2018 durchgeführt wurden, konnten keine Betriebe für einen Fütterungsversuch mehr gewonnen werden. Grundsätzlich wären jedoch sechs von den acht Betrieben bereit gewesen, sich an einer Feldstudie zu beteiligen.

5 Diskussion der wichtigsten Ergebnisse

5.1 Optimierung des Mais-Bohnen-Gemengeanbaus

5.1.1 Sortenversuch am Standort Trenthorst

Im Sortenversuch wiesen die Versuchsflächen im Frühjahr optimale Phosphorgehalte auf. Lediglich im Jahr 2015 wurde ein niedriger P-Gehalt der Klasse B gefunden. Im Gegensatz dazu waren die Kaliumgehalte in den Jahren 2015 und 2016 niedrig, während in den anderen Versuchsjahren die anzustrebende Gehaltsklasse C erreicht wurde. Im Jahr 2015 lag der Magnesiumgehalt im optimalen Bereich, während in den anderen Jahren hohe Gehalte der Klasse D erfasst wurden. Die pH-Werte lagen in allen Jahren im optimalen Bereich und zeigten nur geringe Unterschiede zwischen den Versuchsflächen. Die standorttypischen C_t- und N_t-Gehalte zeigten ebenfalls nur geringe Unterschiede. Die deutlich geringeren N_{min}-Gehalte im Frühjahr 2018 können wahrscheinlich auf eine hohe Auswaschung durch die extreme Nässe des Vorjahres zurückgeführt werden.

Die höheren N_{min}-Gehalte im Herbst 2015 können möglicherweise auf die gute Entwicklung der Bohnen infolge der günstigen Wachstumsbedingungen in diesem Jahr zurückgeführt werden, die zu einer höheren N_2-Fixierung und somit höheren N-Mengen in den Wurzelrückständen geführt haben können. Im Gegensatz dazu waren die N_{min}-Gehalte infolge der Spätsommertrockenheit 2016 um 23 kg ha^{-1} reduziert. schlechten Entwicklung der Bohnen infolge Die extreme Trockenheit 2018 führte insgesamt zu einer geringeren N-Mineralisierungsleistung mit insgesamt geringeren Niveau der Gesamterträge. Entsprechend niedrig waren auch die N_{min}-Gehalte zu Herbstbeprobung.

5.1.1.1 Pflanzenbauliche Ergebnisse

In allen Varianten konnte der für die Silierung erforderliche TS-Gehalt von mindestens 30% erreicht werden, wobei die Gehalte 2016 und 2018 infolge der Trockenheit leicht erhöht waren.

Für den Gesamt-Trockenmasseertrag konnten in allen Versuchsjahren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten nachgewiesen werden (Abb. 6). Somit waren die Erträge der Mais-Bohnen-Gemenge, trotz geringer Schwankungen, mit dem Ertrag der Maiskontrolle in praxisüblicher Saatdichte vergleichbar. Die Ertragsunterschiede zwischen den Jahren können auf die Witterung während der Vegetationsperiode zurückgeführt werden. So hat die extreme Trockenheit im Jahr 2018 zu einer deutlichen Reduktion des Gesamtertrages geführt.

Der Maisertrag (Abb. 7) war in den Gemengen im Vergleich zu der Reinsaat M11 signifikant reduziert. Am deutlichsten fiel die Reduzierung des Maisertrages in der Gemengevariante Tarbais aus, die den höchsten Bohnenertrag aufwies (Abb. 8). Die Bohnenerträge schwankten stark zwischen den Versuchsjahren. Insbesondere im Jahr 2018 mit ausgeprägter Trockenheit in der Vegetationsperiode lagen sie mit durchchnittlich 2,8 dt TM ha^{-1} auf einem sehr niedrigen Niveau. Im Jahr 2015 wurde der höchste Bohnenertrag mit durchschnittlich 11,6 dt TM ha^{-1} erreicht. Tarbais erzielte mit 19,7 dt TM ha^{-1} den höchsten Bohnenertrag, was einem Ertragsanteil von 13,4% vom Gesamtertrag entsprach. Die Höhe des Bohnenertrages wird somit deutlich von der Sortenwahl beeinflusst, zusätzlich aber auch von der Wasserversorgung während der Vegetatoionsperiode. Dies bestätigt die Ergebnisse von Nurk et al. (2017) sowie Fischer et al. (2020). Unter norddeutschen Versuchsbedingungen konnten sowohl sehr frühreife Sorten wie Cobra oder die Feuerbohnensorten Preisgewinner und Weiße Riesen keine hohen Bohnenerträge realisieren. Dagegen wies insbesondere die

frühe Sorte Cobra die höchsten Anteile an Hülsen (> 60%, Tab. 12) am Bohnenertrag aus, während die Feuerbohnen die niedrigsten Anteile an Hülsen zeigten. Die Sorte Tarbais hatte in den Jahren 2015 und 2016 mit recht guter Wasserversorgung Hülsenanteile von 44 – 58%; in dem sehr trockenem Jahr 2018 jedoch nur 18%. Niedrige Hülsenanteile wiesen im Jahr 2018 alle Sorten mit Ausnahme von Cobra auf.

Charakterisierung der Bohnensorten

Das signifikant frühere Erreichen der Vollblüte bei der Stangenbohne Cobra zeigt, dass diese Sorte eine mittelfrühe Reife aufweist, wohingegen die Stangenbohne Tarbais als mittelspät eingeordnet werden kann. Im Gegensatz dazu sind die beiden Stangenbohnen Grünes Posthörnchen und Anellino verde, aufgrund des späten Erreichens der Vollblüte, als spätreif einzustufen. Die Feuerbohnen Preisgewinner und Weiße Riesen erreichten die Vollblüte zum selben Zeitpunkt wie die Stangenbohne Tarbais, jedoch benötigen diese mehr Zeit zum Ausbilden der Hülsen und Samen, wodurch sie ebenfalls als spätreif einzuordnen sind.

Die Bonitur der Blattmasse der Bohnen hat gezeigt, dass die Entwicklung der Bohnenpflanzen in besonderem Maße von den Wetterbedingungen (Tab. 1) über den Sommer bis zur Ernte abhängen. So wurden die höchsten Blattmassen im Jahr 2015 erfasst, in dem es ab Juli regelmäßige Niederschlagsereignisse gab, wodurch die Bohnen bis zur Ernte eine gute Entwicklung zeigten. Lediglich die Stangenbohne Grünes Posthörnchen wurde in ihrer Entwicklung aufgrund eines stärkeren Bohnenfliegen-Befalls gehemmt. Im Jahr 2016 konnten sich die Bohnen nach den größeren Niederschlägen im Juni zwar gut entwickeln, jedoch kam es infolge der Spätsommer-trockenheit zu einer vorzeitigen Abreife der Bohnen. Bei der frühreifen Stangenbohne Cobra kam es infolgedessen zu einem früheren Verlust der Blattmasse, während die spätreifen Stangen-bohnen Anellino verde und Grünes Posthörnchen sowie die Feuerbohne Weiße Riesen aufgrund ihrer langsamen Jugendentwicklung keinen ausreichenden Massezuwachs realisieren konnten. Die Stangenbohne Anellino verde zeigte 2016 zudem starke Schäden an den Blättern durch einen Befall mit dem Bakterium *Pseudomonas syringae* an Saatgut und Pflanzen, der sich ebenfalls nachteilig auf die Blattmasse auswirkte.

Der frühere Blattverlust der Feuerbohnen im Jahr 2014 ist möglicherweise auf eine stärkere Konkurrenz durch die andere Maissorte Fabregas zurückzuführen. Im Gegensatz dazu setzte der Blattverlust im Jahr 2015 etwa zwei Wochen später ein. Dabei haben die spätreifen Stangenbohnen ihre Blätter am längsten gehalten, während der Blattverlust bei der mittelspäten Stangenbohne Tarbais etwa 13 Wochen nach Aussaat begann. Im Gegensatz zum Vorjahr, führte die Spätsommer-trockenheit 2016 dazu, dass die spätreife Stangenbohne Grünes Posthörnchen einen vorzeitigen Blattverlust zeigte, der noch vor dem der frühreiferen Stangenbohne Cobra einsetzte. Gleicher-maßen wurde bei der Stangenbohne Anellino verde ein sehr früher Blattverlust beobachtet, der jedoch auf den Befall mit *Pseudomonas syringae* zurückzuführen ist. Im Gegensatz dazu trat der Blattverlust bei den Feuerbohnen trotz der Trockenheit erst nach 14 (PG) bzw. 19 (WR) Wochen ein, wobei die Feuerbohnen auf die geringe Luftfeuchtigkeit im Bestand mit einem Abwurf der Blüten und somit einem verminderten Hülsenansatz reagierten.

Wuchshöhe Mais und Bohne zur Maisblüte

Die Wuchshöhe vom Mais wurde lediglich durch die unterschiedlichen Wachstumsbedingungen in den Versuchsjahren beeinflusst. So konnte sich der Mais im Jahr 2016 bis zur einsetzenden

Spätsommertrockenheit sehr gut entwickeln, wohingegen das Wachstum im Jahr 2018 stark durch die anhaltende Trockenheit beeinträchtigt wurde.

Die signifikant geringste Wuchshöhe der Stangenbohne Cobra im Jahr 2014 (Abb. 9) ist auf sorten-selektive Fraßschäden durch Feldhasen zurückzuführen. Aufgrund der günstigeren Witterungsbedingungen im Jahr 2015, erzielten die Stangenbohne Tarbais und die Feuerbohne Preisgewinner die größten Wuchshöhen, die unter anderem auf die zügige Jugendentwicklung dieser Sorten zurückgeführt werden können. Im Gegensatz dazu erzielten die spätreifen Stangenbohnen Anellino verde und Grünes Posthörnchen aufgrund ihrer langsamen Jugendentwicklung deutlich geringere Wuchshöhen. Im Gegensatz zum Vorjahr konnten im Jahr 2016 auch die spätreifen Stangenbohnen Anellino verde und Grünes Posthörnchen Wuchshöhen von 180 cm erreichen, was wahrscheinlich auf die höhere Temperatursumme zurückgeführt werden kann. Im Gegensatz zu den Vorjahren, führte die anhaltende Trockenheit im Jahr 2018 zu einer stark reduzierten Wuchshöhe bei allen Bohnensorten.

Erfassungen zum Unkrautbesatz

Aufgrund der geringeren Spannweite wurden im Jahr 2014 keine Unterschiede im Unkrautbesatz (Deckungsgrad, Biomasse) nachgewiesen, wohingegen in den anderen Versuchsjahren signifikante Unterschiede zwischen den Varianten als auch den Jahren gefunden wurden. Durch die anhaltende Trockenheit im Jahr 2018 ergab die Bonitur zur Maisblüte nur eine sehr geringe Artenzahl (1,7) mit einem sehr geringen Unkraut-Deckungsgrad (2%). Im Gegensatz dazu wurde die signifikant geringste Unkraut-Trockenmasse im Jahr 2015 erfasst, in dem die Konkurrenz durch die Bohnen, aufgrund der günstigeren Wachstumsbedingungen, deutlich höher war.

Der Vergleich zwischen den Varianten hat gezeigt, dass der größte Unkrautbesatz (Biomasse, Deckungsgrad, Artenzahl) im Mais mit reduzierter Saatdichte zu finden ist. Durch den Gemengeanbau ist dagegen eine Reduktion um 1,3 Unkrautarten möglich, während der Unkraut-Deckungsgrad in Gemengen mit einer raschen Jugendentwicklung der Bohnen bis zu 15% reduziert werden konnte. Dagegen konnten die spätreifen Stangenbohnen (AV, GP), mit ihrer langsamen Jugendentwicklung, den Unkraut-Deckungsgrad um 7-8% gegenüber dem reduzierten Mais verringern. Die geringsten Unkraut-Biomassen wurden in der Maiskontrolle und den Gemengen mit der Stangenbohne Cobra sowie der Feuerbohne Weiße Riesen gefunden, obwohl diese nicht die höchsten Bohnenanteile enthielten. Dies ist möglicherweise auf eine andere Artenzusammensetzung oder das unterschiedliche Mikroklima im Bestand, infolge der unterschiedlichen Bohnenanteile und Blattmassen zurückzuführen.

5.1.1.2 Gäreigenschaften und Silagequalität

Für das Silieren sollte der Trockensubstanzgehalt des Mais bei 30–37% liegen (Spiekers, 2011). Bei der Verwendung von Leguminosen werden mit einer Spannweite 24-32% auch niedrigere Werte akzeptiert (Maasdorp and Titterton, 1997). Im Jahr 2015 lag der TS-Gehalt im Erntegut der Prüfglieder innerhalb der Zielgröße. In den Jahren 2016 und 2018 fielen die Werte etwas höher aus. 2016 erfolgte witterungsbedingt eine schnelle Reife der Pflanzen und 2018 war es während der gesamten Vegetationszeit sehr warm und trocken, welches auch zu einer beschleunigten Pflanzenreife führte.

Weitere beschreibende Gäreigenschaften für das Silieren sind der Z/PK-Quotient, der Vergärbarkeitskoeffizient und die Gärschädlinge Hefen und Schimmel (Jänicke, 2011). Der Z/PK-

Quotient sollte mindestens bei 2,0 liegen. Dieser Wert wurde im Jahr 2015 nur von der Feuerbohne Preisgewinner gerade so erreicht. Alle anderen Prüfglieder blieben darunter. Das Verfehlen der Zielgröße kann damit begründet werden, dass der Mais einen geringen WSC-Gehalt aufwies. Ein weiterer Aspekt ist, dass die Pufferkapazität im Wesentlichen von basischen Bestandteilen der Asche und vom Proteingehalt des Ernteguts abhängig ist (Jänicke, 2011). Beide Parameter sind bei Leguminosen gegenüber dem Mais stärker vorhanden und bewirken deshalb eine höhere PK. Insofern ist das Erreichen des Z/PK-Richtwertes insbesondere bei höheren Bohnenanteilen im Gemenge allein schon durch diese Konstellation erschwert. In den Jahren 2016 und 2018 konnten dann allerdings alle Prüfglieder den Z/PK-Zielwert überschreiten (Tab. 14). Der Vergärbarkeitskoeffizient, bei welchem in die Berechnung der Trockensubstanzgehalt und der Z/PK-Quotient einfließen, sollte mindestens den Wert von 45 erreichen. Wenn also der Trockensubstanzgehalt des Siliergutes genügend hoch liegt, kann diese Zielgröße trotz eines ungünstigen Z/PK-Quotienten noch erlangt bzw. übertroffen werden. Alle Prüfglieder konnten in allen Jahren weitgehend den Mindestwert einhalten (Tab. 14). Häufig lagen die Werte gerade in den Jahren 2016 und 2018 aber auch deutlich höher. Die Gärschädlinge Hefen mit einer Keimdichte >1,0E+05 KbE g FM^{-1} und Schimmel mit >1,0E+04 KbE g FM^{-1} waren im Erntegut bei allen Prüfgliedern in allen Jahren sehr hoch (Tab. 14). Da die Hefen in Silagen für eine Nacherwärmung des Siliergutes verantwortlich zeichnen und Schimmel generell Gifte enhalten, wären möglichst geringe Keimdichten im Erntegut wünschenswert. Jährliche Maissilagenuntersuchungen verschiedener Labore zeigen jedoch generell in der landwirtschaftlichen Praxis eine oft zu hohe Belastung beider Gärschädlinge im Erntegut (Schaumann, ohne Jahr).

Milchsäurebakterien kommen in Natur vor und sind bedeutsam für die Ansäuerung des Siliergutes im Fermentationsprozeß. Es ist üblich, dass deren Keimdichte in einem weiten Bereich schwanken kann (Spiekers et al., 2009). Für eine verlustarme Silierung sollten im Siliergut mindestens eine Keimdichte 1,0E+04 KbE g FM^{-1} vorhanden sein (Pahlow, 2011). Der Besatz an Milchsäurebakterien aller Prüfglieder lag mit >1,0E+04 KbE g FM^{-1} bzw. >1,0E+05 KbE g FM^{-1} schon hoch (Tab. 14). Mit Beimpfung des Siliermittels war durchweg noch ein Anstieg in der Keimdichte erfolgt.

Insgesamt betrachtet konnten in allen Versuchsjahren, ausgenommen der hohen Belastung von Gärschädlingen im Siliergut, die Gäreigenschaften aller Prüfglieder überwiegend als recht gut bezeichnet werden.

Für einen erfolgreichen Silierprozess ist erwünscht, dass Milchsäurebakterien den vergärbaren Zucker zur stark säurebildenden Milchsäure vergären. Milchsäure ist eine starke Säure, senkt den pH-Wert und wirkt somit konservierend. In feuchten Silagen (TS-Gehalt: 20%) sollte pH-Wert unter 4,0, in trockenen Silagen (TS-Gehalt: >45%) unter 5,0 liegen (Spiekers et al., 2009). In der Natur kommen homofermentative und heterofermentative MSB (z.B. *Lactobacillus buchneri*) vor. Homofermentative MSB vergären den Zucker relativ schnell mit geringen Trockenmasseverlusten. Bei der heterofermentativen Gärung entstehen neben der Milchsäure noch Essigsäure, Alkohole und CO_2. Es ist dann beim Silierprozeß mit leicht höheren Gewichtsverlusten zu rechnen, ebenfalls auch dann, wenn noch weitere Säuren auftreten. Die Essigsäure wirkt bei einem ausreichend sauren pH-Wert-Milieu insbesondere hemmend auf die Hefepilze. Auch die aerobe Stabilität von Silagen wird verbessert. Der Essigsäuregehalt sollte 2–3% betragen (Spiekers et al., 2009; Kalzendorf und Staudacher, 2011). Mit dem Ziel dieser positiven Wirkungen auf eine Silage, enthielt das im Versuchssiliergut eingesetzte Siliermittel heterofermentative MSB (Zusatz).

Nach Öffnung der Silagen war in allen Jahren bei allen Prüfgliedern immer die erwünschte pH-Wert Absenkung auf um 4,0 liegend erfolgt (Tab. 15). Bedingt durch geringere Milchsäuregehalte des Zusatzes gegenüber der Kontrolle lag der pH-Wert meist leicht höher (Tab. 15). Auffällige Unterschiede zwischen der Reinsaat Mais und den Mais-Bohne-Gemengeprüfgliedern gab es jeweils nicht, welches auch schon Dawo (2011) beobachtete. Die unvermeidbaren Gärverluste hatten bei der Kontrolle in allen Jahren bei allen Prüfgliedern mit einer Spannweite von 3,9 bis 5,8% niedrige Werte (Tab. 15). Beim Zusatz lagen diese erwartbar der einzelnen Jahre um 2 bis gut 4% höher. Vergleichbare Verlustzuwächse von 3 bis 5% hat Pahlow (2004) bei heterofermentativer Gärung gefunden. Nur im Jahr 2018 gab es beim pH-Wert und den Verlusten zwischen Kontrolle und Zusatz so gut wie keine Unterschiede, welches sich auch bei den gebildeteten Gärprodukten zeigte (Tab. 16). Beim Zusatz war eine Essigsäuregärung nur im Ansatz feststellbar gewesen. Ebenfalls gab es kaum 1,2-Propandiol, welches bei einer gut gelungenen Essigsäuregärung in einem Mengenbereich bis zu 5% vertreten sein kann (Nishino, 2003), es sei, der gebildete Alkohol wird von *Lactobacillus diolivorans* zu Propionsäure und Propanol umgesetzt (Krooneman et al., 2002), was hier jedoch nicht der Fall war. Die Gärschädlinge Hefen konnten bei der Kontrolle nicht gut unterdrückt werden. Der Anteil der Silagen mit einer Keimdichte >1,0E+03 KbE g FM^{-1} lag immer hoch (Tab. 15). Dieses kann daran gelegen haben, dass die Milchsäure nicht ausreichend wirksam gegen die Hefen war (Muck und Kung Jr, 1997). Weinberg et al. (1993) kamen in ihren Untersuchungen zu dem Ergebnis, dass selbst gut fermentierte Silagen mit hohem Milchsäuregehalt zu aerober Instabilität neigen. Dagegen war beim Zusatz eine gute Unterdrückung der Hefen erfolgt. Ein stärkere Depression der Hefen bei heterofermentativer Gärung ermittelteten auch Kleinschmidt und Kung Jr (2006) im Rahmen einer Metaanalyse. Nur im Jahr 2018 wurden beim Zusatz ebenfalls noch Hefen ermittelt. Es betraf die Prüfglieder CO, GP, TA, PG, WR, jedoch auf einem geringeren Anteilslevel gegenüber der Kontrolle. Die Gärschädlinge Schimmel wurden durchweg in allen Silagen gut unterdrückt. Aufgrund der bei den Kontrollen in allen Jahren noch hohen Hefenkeimdichte war die aerobe Stabilität sowohl bei der Maissilage als auch den Mais-Bohnen-Gemengesilagen nicht ausreichend gegeben (Tab. 17). Sie erwärmten sich alle innerhalb von 2 bis 5 Tagen nach der Öffnung. Während der aeroben Exposition kam es zu einer Vermehrung des epiphytischen Hefenbesatzes, welcher innerhalb von 2 Tagen um den Faktor 1000 ansteigen kann (Pahlow, 1985; Ranjit et al., 2002). Folglich stiegen der pH-Wert und die Trockenmasseverluste (Tab. 17). Die Prüfglieder des Zusatzes wiesen in den Jahren 2015 und 2016 eine hervoragende Aerobe Stabilität auf. Im Jahr 2018 war allerdings aufgrund der wohl nur geringen Wirkung des Siliermittels die aerobe Stabilität bei einigen Prüfgliedern etwas weniger vorhanden. Die Erwärmung fand jedoch gegenüber den Kontrollen 2,5 Tage später statt. Eine durch das Siliermittel verursachte zeitliche Verlängerung der aeroben Stabilität von mehr als 2 Tagen ist positiv zu sehen, da bei der Zulassungsprüfung eines Siliermittels mit der Wirkrichtung “Verbesserung der aeroben Stabilität” mindestens ein Unterschied von 2 Tagen zur Kontrolle verlangt wird (DLG, 2013). Die Mais-Bohnen-Gemengesilagen waren teilweise etwas länger aerob stabil als die Maissilage. Hülsenfrüchte scheinen eine natürliche Verbindung zu enthalten, die das Wachstum von verderblichen Mikroorganismen hemmen kann (Wilkinson und Davies, 2013), welches während des Silierens entwickelt wird (Muck und O’kiely, 1992).

5.1.1.3 Rohnährstoffe

Das Ziel der Erhöhung der Rohproteingehalte durch den Gemengeanbau von Mais mit Stangen- oder Feuerbohnen konnte in den vier geprüften Jahren mit allen geprüften Sorten erreicht werden, womit die Ergebnisse vorangegangener Studien bestätigt wurden (u.a. Anil et al., 2000; Qu et al., 2013). Das Niveau der Erhöhung fiel allerdings unterschiedlich stark aus. Die stärksten XP-Erhöhungen wurden in den Jahren 2014 und 2015 durch die Gemenge mit der Stangenbohne Tarbais verzeichnet, 25 vs. 20%. 2015 lag der XP-Gehalt der Mais-Reinsaat mit 7,5% allerdings auf einem deutlich höheren Niveau als in den drei weiteren Jahren mit 5,0 bis 5,5%. 2016 und 2018 fielen die Erhöhungen durch die Sorte Tarbais mit 15 vs. 13 % deutlich geringer aus als 2014 und 2015, waren dennoch signifikant. Die Gemenge mit der Sorte Tarbais zeichneten sich in den vier geprüften Jahren jeweils mit den signifikant höchsten XP-Gehalten aus, lediglich im Jahr 2016 konnte durch die Stangenbohne Grünes Posthörnchen ein ähnlicher Wert erzielt werden.

Die Stärkegehalte der Versuchsjahre unterschieden sich signifikant. 2015 wurden die geringsten Gehalte für alle Varianten, einschließlich der Mais-Reinsaat, gemessen. 2014, 2015 und 2016 wiesen die Gemenge mit der Stangenbohne Tarbais die geringsten Gehalte auf, 2018 die mit der Feuerbohne Weiße Riesen. Der durch den Anbau im Gemenge erwartete Stärkerückgang im Vergleich zur Mais-Reinsaat wurde nicht für alle Varianten beobachtet. So wurden 2015 im Gemenge mit Cobra und 2018 in den Gemengen mit Cobra und Grünem Posthörnchen sogar höhere Stärkegehalte gemessen als in der Mais-Reinsaat. Ursache hierfür könnten geringere Bohnenanteile oder auch weniger ausgebildete Hülsen einschließlich enthaltener Samen sein.

Die Gehalte an Rohasche, Rohfett, Rohfaser und enzymlöslicher organischer Substanz (ELOS) unterlagen keiner gerichteten Veränderung, sie wurden sowohl von der Behandlung (Erntematerial bzw. Silage mit oder ohne Sillierhilfsmittel), als auch der Sorte und dem Jahr beeinflusst. Die Gehalte der Gerüstsubstanzen ADFom und aNDFom der Versuchsjahre unterschieden sich signifikant, wobei 2015 die höchsten Gehalte gemessen wurden und 2016 die geringsten.

Während beim Rohprotein-Ertrag nur signifikante Unterschiede zwischen den Jahren vorlagen, zeigte der Stärke-Ertrag auch signifikante Unterschiede zwischen den Varianten: Die Gemenge mit Anellino verde und Tarbais sowie den beiden Feuerbohnensorten wiesen geringere Stärke-Erträge auf. Tarbais und Anellino verde waren die beiden Sorten mit den höheren Bohnenerträgen, die gleichzeitig zu geringeren Maiserträgen führten. Hieraus resultierend sind die geringeren Stärke-Erträge dieser Varianten abzuleiten.

5.1.1.4 Sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe

Die Lektingehalte der Mais-Bohnen-Gemenge der Versuchsjahre unterschieden sich signifikant. Auch der Sorteneinfluss war signifikant. Im Erntegut waren signifikant höhere Lektingehalte nachweisbar als in den Silagen, was für einen Abbau während der Silierung spricht. So lagen sie 2014 und 2018 bereits im Erntegut auf einem sehr niedrigen Niveau mit Werten von 0,02 g kg^{-1}, was dem Wert für die Mais-Reinsaat entsprach, bis zum höchsten Wert von 0,08 g kg^{-1} für das Gemenge mit der Stangenbohne Grünes Posthörnchen. In den Versuchsjahren 2015 und 2016 wurden die höchsten Lektingehalte im Gemenge mit den Stangenbohnen Cobra (0,47 g kg^{-1}) und Grünes Posthörnchen (0,44 g kg^{-1}) gemessen. In den Silagen konnte dann eine deutliche Reduzierung dieser PHA-Gehalte beobachtet werden, auf 0,27 g kg^{-1} mit der Sorte Cobra 2015 und auf 0,14 g kg^{-1} mit der Sorte Grünes Posthörnchen 2016. Diese Werte stellen die höchsten in Silagen gemessenen

Werte aller vier Versuchsjahre dar, in allen anderen Silagen lagen die Werte zwischen 0,01 und 0,09 g kg^{-1}. Wyss et al. (2019) berichten von Lektingehalten der Mais-Bohnen-Gemenge mit den Sorten Annellino Giallo von 0,8 bis 1,7 mg g^{-1} und mit der Sorte WAV 512 (Anbaujahr 2017) von 0,07 bis 0,09 mg g^{-1}. In Untersuchungen von Jilg et al. (2020) werden für Gemenge mit der Sorte WAV 512 des Erntejahres 2018 Lektingehalte von 0,01 mg g^{-1} im Erntematerial beschrieben, die in den Silagen auf Null sinken. Die Literaturdaten zeigen ebenso wie die eigenen, dass die Lektingehalte in Mais-Bohnen-Gemengen sehr gering und sortenabhängig sind. Im Gegensatz zu den eigenen Untersuchungen und denen von Jilg (2020) konnten Wyss et al. (2019) einen Abbau während Silierung nur in Laborsilagen, nicht aber in Silageballen feststellen, was auf die sehr geringen Gehalte und die Nachweisempfindlichkeit des ELISA-Testsystems zurückzuführen sein könnte, denn Bolduan et al. (2016) beschreiben für den bei Wyss et al. (2019) und Jilg (2020) genutzten Test, dass die Messwerte bereits ab einem Gehalt von 4 mg g^{-1} Schwankungen um bis zu 60% um den Mittelwert unterliegen.

Grenzwerte zum Einsatz von Phaseolus-Bohnen in der Tierfütterung liegen derzeit nicht vor. Wird anhand des „no-observed-adverse-effect level“ (NOAEL), der mit Extrakten aus Bohnen bestimmt wurde (Chokshi, 2007) und bei 2500 mg/Tag/kg Körpergewicht liegt, eine Modellrechnung für das Schwein vorgenommen, so wäre die Aufnahme von 250 g PHA bei einem 100 kg schweren Schwein ohne negative Effekte möglich. Auf die höchsten festgestellten PHA-Gehalte in Silagen (Cobra 2015: 0,27 g kg^{-1}) bezogen, bedeutet das, dass ein 100 kg schweres Schwein 100 kg dieser Silage aufnehmen könnte ohne das negative Effekte festgestellt würden.

Die Tanningehalte, die in den Mais-Bohnen-Gemengen mit 3,5 bis 6,1 g kg^{-1} auf einem sehr niedrigen Niveau im Vergleich mit Literaturdaten (z.B. Shimelis & Rhakshit, 2005) liegen, weisen keine gerichteten Einflüsse der Sorte oder des Versuchsjahres auf, so dass auch ein Einfluss der Samenfarbe, wie er in der Literatur für Phaseolus-Bohnen z.B. bei Caldas und Blair (2009) beschrieben ist, in den untersuchten Gemengen nicht nachgewiesen werden konnte. Da Tannine beim Monogastrier vorrangig die Proteinverdaulichkeit herabsetzen (Jansman et al., 1993), könnten die gefundenen Gehalte durchaus eine Rolle beim Schwein spielen. Bei einer durchschnittlichen Aufnahme von ca. 200 g dieses Grundfutters pro Tier und Tag könnten zwischen 0,7 und 3 g Tannine von den Schweinen aufgenommen werden, je nach eingesetzter Bohnensorte. Jansman et al. (1993) fanden eine herabgesetzte scheinbare ileale Proteinverdaulichkeit bei Ferkeln, deren Futtermischungen kondensierte Tannine aus Ackerbohnen in der Größenordnung zwischen 1 und 2,3 g kg^{-1} im Vergleich zu tanninfreien Bohnen enthielten. Bei wachsenden Schweinen (25–63 kg) fanden dagegen Flies et al. (1999) keine negativen Effekte von Dieten, die 0,59 g kg^{-1} kondensierte Tannine enthielten. In unseren Untersuchungen wurden die Gesamttannine bestimmt und nicht differenziert in kondensierte und hydrolisierbare Tannine, daher werden die Gehalte an kondensierten Tanninen niedriger liegen als die angegebenen Gesamttanningehalte.

Die α-Galactoside Raffinose, Stachyose und Verbascose konnten in den untersuchten Gemengen nur in Spuren nachgewiesen werden und spielen daher keine Rolle als antinutritive Faktoren.

5.1.1.5 Rohprotein und sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe in den Pflanzenorganen

Die Untersuchungen der Pflanzenorgane der Stangen- und Feuerbohnen zeigen, dass die Samen die höchsten Rohproteingehalte aufweisen, die Stängel die signifikant geringsten. Blätter und

Hülsen hingegen können auch recht hohe Gehalte an XP aufweisen, die sogar auf gleichem Niveau (20,4 vs. 21, 4%) liegen können, wie in Abb. 15 für das Grüne Posthörnchen im Versuchsjahr 2015 gezeigt. Pieltain et al. (1996) untersuchten Stangenbohnen der Sorte Andecha und stellten in den Hülsen lediglich XP-Gehalte von 4,2% fest. Die in Blättern analysierten Werte von 20,2% lagen ebenso wie die in Stängeln mit 8,3% im Bereich unserer Untersuchungen. Allerdings wird aus diesen Ergebnissen und unseren eigenen Untersuchungen deutlich, wie stark die XP-Gehalte in den Untersuchungsjahren und den Sorten variieren können. Abbildung 16 zeigt dies nochmal eindrücklich für die Samen der sechs geprüften Bohnensorten mit jeweils den höchsten XP-Gehalten in der Stangenbohnensorte Cobra.

Noch deutlicher als die XP-Gehalte variieren die Gehalte an sekundären Pflanzeninhaltsstoffen in den Pflanzenorganen, wobei die drei untersuchten Stoffgruppen nicht in den gleichen Organen mit den höchsten Gehalten zu finden sind. Lektine der Stangen- und Feuerbohnen, die Phytohaemagglutinine (PHA) sind vornehmlich in den Samen zu finden. Die höchsten Gehalte wurden 2014 mit 134 g kg^{-1} in den rotbraunen Samen des Grünen Posthörnchen gemessen, 2015 (66 g kg^{-1}) und 2018 (35 g kg^{-1}) in den schwarzen Samen der Stangenbohne Cobra. 2016 wiesen wiederum die rotbrauen Samen der Stangenbohne Grünes Posthörnchen mit 25 g kg^{-1} die höchsten Gehalte auf, gefolgt von der Sorte Cobra. 2015 und 2018 wurden allerdings auch in den weißen Samen der Feuerbohne Weiße Riesen recht hohe PHA-Gehalte gemessen, 25 vs. 28 g kg^{-1}. Auch wenn starke Schwankungen in den PHA-Gehalten von Jahr zu Jahr festgestellt wurden, so kann dennoch konstatiert werden, dass die rotbraunen Samen des Grünen Posthörnchen und die schwarzen Samen der Cobra die jeweils höchsten Gehalte aufwiesen. Ein Vergleich mit Literaturdaten kann nur für die Stangenbohnen Grünes Posthörnchen und Tarbais gezogen werden, die in Untersuchungen von Brugger et al. (2016) PHA-Gehalte von 61 mg g^{-1} und 6 mg g^{-1} aufwiesen. Unsere Untersuchungen zeigen, dass jahresabhängig sowohl höhere als auch niedrigere PHA-Werte im Vergleich zu Brugger et al. (2016) auftreten können. Dies trifft sowohl für Samen des Grünen Posthörnchen (25 – 134 g kg^{-1}) als auch für die Sorte Tarbais zu, für die Werte von 8 g kg^{-1} im Jahr 2016 bis 16 g kg^{-1} in den Jahren 2014, 2015 und 2018 analysiert wurden. Die PHA-Gehalte der weißen Tarbais-Samen liegen damit in allen Versuchsjahren auf niedrigem Niveau. Untersuchungen mit den anderen von uns geprüften Sorten sind aus der Literatur nicht bekannt. Brugger et al. (2016) hat 20 Sorten auf ihre PHA-Gehalte geprüft und dabei Gehalte zwischen 0,16 mg g^{-1} in der Sorte Nakolemac und 67,4 mg g^{-1} in Borlotto di Vigevano festgestellt. Wyss et al. (2019) fanden Werte von 16,4 mg g^{-1} für die Sorte Anellino Giallo und 0,94 mg g^{-1} für WAV 512. Eine große Schwiergkeit beim Vergleich mit Literaturdaten besteht in dem jeweils genutzten Testsystem. Klassisch wird der PHA-Gehalt mittels Haemagglutinationstest unter Verwendung von Erythrozyten verschiedener Spezies ermittelt. In der vergangenen Dekade wurden dann verschiedene ELISA-Tests publiziert, vom Sandwich-ELISA bis zum kompetitiven indirekten ELISA. Eine zuverlässige Umrechung der aus den verschiedenen Tests erhaltenen Ergebnisse ist bisher noch nicht publiziert. Daher wurden an dieser Stelle nur Daten verglichen, die mit dem von Boniglia et al. (2003) publizierten Sandwich-ELISA erarbeitet wurden. Die PHA-Gehalte der Blätter, Hülsen und Stängel lagen mit 0,03 bis 0,3 g kg^{-1} an der Grenze der Bestimmbarkeit, die bei Boniglia et al. (2003) mit 15 ng angegeben wird und in den eigenen ELISA-Tests bestätigt werden konnte.

Anders als die Lektine sind die Tannine vornehmlich in den Blättern lokalisiert, wobei auch hier ein deutlicher Einfluss der Versuchsjahre aufgezeigt wurde. So lagen die Tanningehalte 2015 und 2018 mit einer Spannbreite von 7 bis 15 g kg^{-1} unter denen der Jahre 2014 und 2016 mit 14 bis

53 g kg^{-1}. Auch in den Samen kommen teilsweise hohe Gehalte vor, wie z.B. 2016 bei der Stangenbohne Anellino verde mit 30,6 g kg^{-1}. Shimelis & Rakshit (2005) berichten von Tanningehalten in Samen verschiedener Sorten der Haricot-Bohnen von 5,4 bis 28,8 mg g^{-1} und weisen auf einen Zusammenhang zur Samenfarbe hin. In den eigenen Untersuchungen wurden 2014 und 2015 die höchsten Tanningehalte in den rot-schwarzen Samen der Feuerbohne Preisgewinner mit 23 vs. 16 g kg^{-1} gefunden, die zweithöchsten mit 7,7 vs. 4 g kg^{-1} in den rotbraunen der Stangenbohne Grünes Posthörnchen. Die geringsten Tanningehalte wiesen in den vier Versuchsjahren die Samen der Stangenbohne Tarbais auf, mit Werten von 0,3 bis 0,9 g kg^{-1}. Damit kann ein Zusammenhang zur Samenfarbe angenommen werden. Allerdings wurden 2016 in den beigen Samen von Anellino verde mit 30,6 g kg^{-1} die höchsten Gehalte gemessen, gefolgt von den rotbraunen des Grünen Posthörnchen mit 15,6 g kg^{-1}.

Das Vorkommen der α-Galactoside der Raffinosefamilie, Raffinose, Stachyose und Verbascose, die als Ursache für die Flatulenz beim Monogastrier gelten, ist sortenabhängig. So wurde Verbascose nur in den Samen der Stangenbohnen Cobra im Jahr 2016 mit einem Gehalt von 1,2 g kg^{-1} nachgewiesen. Granito et al. (2002) fanden in der Sorte Victoria 1,9 g kg^{-1} Verbascose. In der Übersichtsarbeit von Martinez-Villaluenga et al. (2008) wird von Verbascosegehalten zwischen 1 und 40 g kg^{-1} berichtet. In den anderen geprüften Sorten und den weiteren Pflanzenorganen konnte keine Verbascose nachgewiesen werden. Die Stachyosegehalte in den Samen waren in den vier Versuchsjahren signifikant von der Sorte beeinflusst, einen Einfluss der Samenfarbe konnte nicht festgestellt werden. So wiesen die Samen der Sorte Cobra (schwarz) 2015 und 2016 die höchsten Gehalte mit 15 und 25 g kg^{-1} auf, 2018 dagegen die Sorte Weiße Riesen mit 35 g kg^{-1} und 2014 die Sorte Grünes Posthörnchen (rotbraun) mit 6 g kg^{-1}. Martinez-Villaluenga et al. (2008) berichten von Stachyosegehalten von 2 bis 42 g kg^{-1}, in die sich unsere Daten einfügen. Blätter, Hülsen und Stängel wiesen geringste Gehalte in den Jahren 2014 und 2018 auf und konnten 2015 und 2016 gar nicht nachgewiesen werden. Die höchsten Raffinosegehalte wurden in Blättern und Samen gefunden. Ein gerichteter Sorteneinfluss auf die Raffinosgehalte in den Samen wurde nicht festgestellt, so wiesen 2014 die Sorten Preisgewinner und Weiße Riesen die höchsten Gehalte auf (14,5 vs. 9 g kg^{-1}), 2015 Weiße Riesen (6 g kg^{-1}), 2016 und 2018 Tarbais (4 vs. 4,5 g kg^{-1}). Die Samen der Sorte Tarbais wiesen allerdings 2015 die geringsten Gehalte (0,6 g kg^{-1}) auf. Bei Martinez-Villaluenga et al. (2008) wird von Raffinosegehalten in den Samen von 2–25 g kg^{-1} berichtet. Blätter weisen Gehalte von 0 bis 6 g kg^{-1} auf. In Hülsen wurden die geringsten Gehalte gemessen, die 2014 und 2015 unterhalb der Nachweisgrenze lagen und 2016 Werte von 1,3 g kg^{-1} bei Annellino verde erreichten. Der höchste gemessene Wert in Stängeln lag bei 2 g kg^{-1} für die Sorten Anellino verde und Cobra im Versuchsjahr 2018.

5.1.2 Aussaatstärkenversuch am Standort Trenthorst

Im Aussaatstärkenversuch lagen die Phosphorgehalte in allen Jahren im optimalen Bereich, während die Kaliumgehalte, mit Ausnahme des letzten Jahres, als niedrig einzustufen waren. Vergleichbar zum SV lagen die Magnesiumgehalte im optimalen (2014, 2015) bis hohen (2016, 2018) Bereich, während die pH-Werte in allen Jahren in der anzustrebenden Gehaltsklasse C lagen. Ebenso wie die pH-Werte, zeigten die standorttypischen C_t- und N_t-Gehalte nur geringe Unterschiede zwischen den Jahren. Die geringeren N_{min}-Gehalte im Frühjahr 2018 können wahrscheinlich auf eine höhere Auswaschung durch die extreme Nässe des Vorjahres zurückgeführt werden, wobei die Differenz zwischen den Jahren deutlich geringer ausfiel als im SV.

Die signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten bei den N_{min}-Gehalten nach der Ernte im Oberboden sind wahrscheinlich auf einen höheren Nährstoffentzug infolge der höheren Pflanzendichte im Gemengeanbau zurückzuführen. Dabei haben sich in den Gemengen mit der Feuerbohne keine Unterschiede zwischen den Saatdichten ergeben, wohingegen die N_{min}-Gehalte der Stangenbohne mit höherer Saatdichte gering abfallen. Dennoch konnte auch hier kein signifikanter Effekt nachgewiesen werden. Der N_{min}-Gehalt zur Ernte Jahr 2015 war, aufgrund der guten Wachstumsbedingungen für die Bohnen, mit 37 kg ha^{-1} (0–60cm) doppelt so hoch wie in den anderen Versuchsjahren.

5.1.2.1 Pflanzenbauliche Ergebnisse

In allen Varianten konnte der für die Silierung erforderliche TS-Gehalt von mindestens 30% erreicht werden, wobei die Gehalte 2016 und 2018 infolge der Trockenheit leicht erhöht waren.

Die Gesamterträge der Mais-Bohnen-Gemenge waren, trotz geringer Variationen, mit dem Ertrag der Maiskontrolle vergleichbar (Abb. 21). Im Gegensatz dazu führte die extreme Trockenheit im Jahr 2018 zu einer signifikanten Ertragsminderung um 22 dt TM ha^{-1} (2016) bis 50 dt TM ha^{-1} (2014) gegenüber den anderen Jahren. Der starke Ertragsunterschied zum Jahr 2014 ist dabei wahrscheinlich auf ein unterschiedliches Ertragspotential der Maissorte Fabregas im Vergleich zu Saludo zurückzuführen. Das Ertragsniveau des Versuches war grundsätzlich mit den durchschnittlichen Maiserträgen in Deutschland (Statistisches Jahrbuch) vergleichbar.

Infolge der höheren Saatdichte erzielte die Maiskontrolle den höchsten Mais-Trockenmasseertrag (Abb. 22). Die Reduzierung der Mais-Saatdichte führte hingegen zu einer geringen Ertragsminderung in der Variante M8 (13 dt TM ha^{-1}), und den Gemengevarianten. In den Gemengen mit der Stangenbohne Tarbais sank der Maisertrag mit steigender Saatdichte der Bohnen um 19–34 dt TM ha^{-1}, wobei die höchste Ertragsminderung in der Variante TA12 beobachtet wurde. Im Gegensatz dazu fiel die Ertragsminderung vom Mais in den Gemengen mit der Feuerbohne Preisgewinner mit 13–14 dt TM ha^{-1} geringer aus. Vergleichbar zum Gesamtertrag ist der höhere Ertrag im Jahr 2014 wahrscheinlich auf ein unterschiedliches Ertragspotential der Maissorte Fabregas im Vergleich zu Saludo zurückzuführen, während die Ertragsminderung 2018 durch die Trockenheit verursacht wurde.

Vergleich zwischen den Bohnenarten unter Berücksichtigung der Saatdichte

Der direkte Vergleich zwischen den beiden Bohnenarten im Gemenge mit dem Mais zeigte, dass die Stangenbohne eine höhere Reduktion des Maisertrages in Höhe von 10 dt TM ha^{-1} bewirkte, als die Feuerbohne. Dies ist wahrscheinlich auf eine höhere Konkurrenz infolge der höheren Blattmasse der Stangenbohne zurückzuführen. Die höhere Bestandesdichte der Bohnen in der höchsten Saatdichte von 12 Kö m^{-2} führte ebenfalls zu einer geringen Ertragsminderung von 10 dt TM ha^{-1}.

Der Bohnenertrag im Gemenge (Abb. 23) wurde durch die Wechselwirkung Bohnenart x Jahr beeinflusst. Die relativ guten Wachstumsbedingungen für die Bohnen über den Sommer in den Jahren 2014 und 2015 zeigten, dass die Stangenbohne einen höheren Bohnenertrag erzielen konnte als die Feuerbohne. Im Gegensatz dazu führte die extreme Trockenheit im Jahr 2018 zu einer deutlichen Reduktion der Bohnenerträge bei beiden Arten, so dass in trockenen Jahren kein Unterschied zwischen den Bohnenerträgen der Feuerbohne und der Stangenbohne nachgewiesen werden konnten. Darüber hinaus konnte die Feuerbohne aufgrund ihrer späten Reife ihr Ertragspotential bei der verkürzten Vegetationsperiode infolge der späteren Aussaat wie im Jahr 2014

nicht voll ausnutzen, wohingegen die Stangenbohne Tarbais auch bei einer kürzeren Vegetationsperiode hohe Blattmassen ausbilden kann. Während die Erhöhung der Saatdichte (Abb. 23, rechts) der Bohnen von 6 Körner m^{-2} auf 9 Körner m^{-2} zu einer signifikanten Erhöhung des Bohnenertrages führte, brachte die weitere Erhöhung auf 12 Körner m^{-2} keinen signifikanten Ertragsvorteil.

Vergleich zur Bohnen-Reinsaat

Vergleichbar zu den Bohnengemengen, wurde der Bohnen-Ertrag in den Reinsaaten ebenfalls signifikant durch die Wechselwirkung Bohnenart x Jahr (Abb. 24, links) sowie durch die Saatdichte der Bohne (Abb. 24, rechts) beeinflusst. Im Gegensatz zum Gemengeanbau wurde bei den Reinsaaten nur im Jahr 2018 ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Bohnenarten festgestellt. Der höhere Bohnenertrag der Stangenbohne in diesem Jahr deutet darauf hin, dass diese im Gegensatz zur Feuerbohne eine höhere Toleranz gegenüber Trockenheit aufweist. Im Gegensatz dazu reagierte die Feuerbohne auf die Trockenheit mit einer deutlichen Ertragsminderung um ca. 40 dt TM ha^{-1}. Die höchsten Bohnenerträge in Reinsaat wurden in den Jahren 2015 und 2016 erzielt, in denen nach der Bohnenaussaat ein Niederschlagsüberschuss von 30 mm im Juni bzw. Juli aufgezeichnet wurde. Während der geringe Reinsaatertrag der Stangenbohne im Jahr 2014 auf einen schlechteren Feldaufgang (10–15% geringer gegenüber den anderen Versuchsjahren) zurückgeführt werden kann, ist der geringe Ertrag der Feuerbohne in diesem Jahr wahrscheinlich auf die kürzere Vegetationsdauer oder eine stärkere Konkurrenz durch die Maissorte Fabregas zurückzuführen. Im Gegensatz zum Gemengeanbau, wo die Stangenbohne der Feuerbohne hinsichtlich des Bohnenertrages überlegen war, konnte die Feuerbohne in Reinsaat höhere Erträge als die Stangenbohne realisieren. Dies zeigt, dass die Feuerbohne stärker auf die Konkurrenz durch den Mais reagiert und somit weniger für den Gemengeanbau geeignet ist als die Stangenbohne. Während im Gemengeanbau bereits die Erhöhung von 6 auf 9 Körner m^{-2} zu einer signifikanten Steigerung des Bohnenertrages geführt hat, wurde in den Reinsaaten erst bei der Erhöhung auf 12 Körner m^{-2} ein signifikanter Unterschied von 9 dt TM ha^{-1} nachgewiesen.

Die Erhöhung der Saatdichte in den Gemengen führte zu einer Erhöhung der Bohnen-Blattmassen, wobei diese Unterschiede bei der Feuerbohne nicht signifikant waren. Im Gegensatz dazu erzielte die Stangenbohne etwas höhere Blattmassen, wodurch sich in den beiden höheren Saatdichten signifikante Unterschiede zur Feuerbohne ergaben.

Die Wuchshöhen der Mais- und Bohnenpflanzen zur Maisblüte wurden ausschließlich durch die Wachstumsbedingungen infolge der unterschiedlichen Witterung in den Versuchsjahren beeinflusst. Die größte Wuchshöhe erreichte der Mais im Jahr 2016, aufgrund der hohen Wasserverfügbarkeit nach der Aussaat (Tab. 1: 30 mm Niederschlagsüberschuss im Juni), die sich ebenfalls positiv auf die Wuchshöhe der Bohnen auswirkte. Im Gegensatz dazu führte die Trockenheit 2018 zu schlechten Wachstumsbedingungen und somit geringen Wuchshöhen der Bohnen.

Die Unkrautdeckungsgrade (Tab. 23) wurden durch die Wechselwirkung Variante x Jahr beeinflusst. Die hohe Wasserverfügbarkeit (+30 mm) im Juli 2015 und im Juni 2016 (Tab. 1) begünstigte die Unkrautentwicklung, wodurch in diesen Jahren die höchsten Unkrautdeckungsgrade erfasst wurden. Während die Reduzierung der Saatdichte vom Mais im Jahr 2014 zu deutlich höheren Unkrautdeckungsgraden führte, konnte in den übrigen Jahren kein Unterschied zwischen den beiden Maisvarianten nachgewiesen werden. Die guten Wachstumsbedingungen für die Bohnen im Jahr 2015 bewirkten eine signifikante Reduktion der Unkrautdeckungsgrade durch den

Gemengeanbau. Im Gegensatz dazu führte die Spätsommertrockenheit 2016 zu einer vorzeitigen Abreife der Bohnen, die sich auf die Blattmasse und somit das Unkrautunterdrückungsvermögen auswirkte. Daher konnte in diesem Jahr nur durch die Stangenbohnengemenge mit den hohen Saatdichten (TA9, TA12) eine signifikante Reduktion der Unkrautdeckungsgrade gegenüber den Mais-Reinsaaten erzielt werden. Infolge der extremen Trockenheit 2018 wurde die Entwicklung der Unkräuter stark beeinträchtigt, so dass hier nur geringe Unkrautdeckungsgrade erfasst wurden, die keine Unterschiede zwischen den Varianten zeigten.

Die zur Ernte ermittelte N_2-Fixierung der Bohnen im Gemengeanbau (Abb. 25) der Bohnen im Gemengeanbau hat gezeigt, dass die Stangenbohne (Pv) eine signifikant höhere Fixierleistung (+13 kg ha^{-1}) erbracht hat, als die Feuerbohne (Pc). Vergleichbar hierzu konnte die N-Fixierleistung der Bohnen durch die Erhöhung der Bohnensaatdichte auf 12 Körner m^{-2} gegenüber den geringeren Saatdichten von 6 bzw. 9 Körnern m^{-2} annähernd verdoppelt werden.

5.1.2.2 Rohnährstoffe

Die Rohproteingehalte der Versuchsjahre waren signifikant verschieden mit den höchsten Gehalten im Jahr 2015. Die Saatstärke hatte ebenso einen signifikanten Einfluss auf die Rohproteingehalte, so waren sie in der Mais-Reinsaat mit 8 Körnern m^{-2} höher als mit 11 Körnern m^{-2}. Im Gemenge mit der Stangenbohne Tarbais wurden mit 9 Körnern m^{-2} die höchsten Rohproteingehalte erzielt, mit der Feuerbohnen Preisgewinner in dieser Saatstärke dagegen die geringsten. Eine generelle Empfehlung lässt sich daraus sortenübergreifend nicht ableiten. Die Gehalte an Rohfett, Rohasche und Rohfaser wurden signifikant von der Wechselwirkung zwischen Jahr und Variante beeinflusst. Die Stärke- und Zuckergehalte der Varianten unterschieden sich nicht signifikant, aber die der Versuchsjahre, d.h. die Aussaatstärken hatten keinen Einfluss auf die erzielten Stärke- und Zuckergehalte.

Für den Rohprotein- und den Stärke-Ertrag lassen die Wechselwirkungen von Variante x Jahr keine klare Ableitung zu.

5.1.3 Untersaatenversuch am Standort Trenthorst

Die Bodenkennwerte zu Versuchsbeginn (Tab. 11) des Untersaatenversuches zeigten eine optimale Phosphorversorgung an, während die Kaliumversorgung in allen Jahren niedrig war. Im Gegensatz dazu lagen die Magnesiumgehalte im optimalen (2015) bis hohen (2016, 2017) Bereich. Die pH-Werte lagen in allen Jahren in der anzustrebenden Gehaltsklasse C und zeigten nur geringe Unterschiede zwischen den Versuchsjahren. Die standorttypischen C_t- und N_t-Gehalte zeigten ebenfalls nur geringe Unterschiede. Die geringeren N_{min}-Gehalte im Oberboden des Jahres 2017 sowie die etwas höheren Gehalte in 30–90cm Tiefe deuten darauf hin, dass es infolge der Starkniederschläge im Juni zu einer Verlagerung/Auswaschung in die tieferen Bodenschichten gekommen ist.

5.1.3.1 Pflanzenbauliche Ergebnisse

In den Jahren 2014-2016 erzielten alle Varianten den für die Silierung erforderlichen TS-Gehalt von mindestens 30%, wobei der Gehalt im Jahr 2016 infolge der Spätsommertrockenheit leicht erhöht war. Infolge der hohen Niederschlagsmengen (Tab. 1) und Sturmschäden des Jahres 2017 waren die TS-Gehalte mit 18% extrem gering, so dass die Pflanzen in diesem Jahr nicht ernte- und silierfähig waren.

Gesamtertrag

Die Maiskontrolle zeigte in allen Jahren ein hohes Ertragsniveau. Im Vergleich zu den durchschnittlichen Silomaiserträgen in Deutschland (Statistisches Jahrbuch), konnte in den Jahren 2014 und 2015 ein Zugewinn von 30% bzw. 22% erreicht werden, während die Erträge im Jahr 2016 infolge der Spätsommertrockenheit nur noch 8% über dem Durchschnitt lagen. Vergleichbar hierzu erzielte auch das Gemenge mit der Feuerbohne Preisgewinner in den Jahren 2014 und 2015 ein hohes Ertragsniveau (+20%, +28%), wohingegen die Spätsommertrockenheit 2016 zu einer signifikanten Ertragsminderung von 21% im Vergleich zur Maiskontrolle führte. Diese starke Ertragseinbuße führte auch im Vergleich zu den durchschnittlichen Silomaiserträgen in Deutschland zu einer Ertragsminderung um 11%. Obwohl das Gemenge mit der Stangenbohne in allen Jahren zu einer signifikanten Ertragsminderung von 10% bis 16% gegenüber der Maiskontrolle führte, was vermutlich auf eine stärkere Konkurrenz aufgrund der hohen Blattmasse dieser Sorte zurückzuführen ist, lagen die Erträge in den Jahren 2014 und 2015 noch 15% bzw. 12% über den durchschnittlichen Erträgen in Deutschland. Darüber hinaus können die Ertragsunterschiede auch durch den höheren Feldaufgang der Maiskontrolle sowie die etwas geringeren Feldaufgangsraten in den Jahren 2015 und 2016 beeinflusst worden sein. Die Ertragsminderung infolge der Spätsommertrockenheit fiel bei der Stangenbohne Tarbais zudem etwas geringer aus, als bei der Feuerbohne Preisgewinner, wodurch der Ertrag 2016 auf einem ähnlichen Niveau lag, wie die Durchschnittserträge auf Bundesebene.

Untersaat-Biomasse

Aufgrund der hohen Wasserverfügbarkeit sowie der geringen Konkurrenz durch die Hauptfrüchte infolge der schlechten Bestandesentwicklung, wurde im Jahr 2017 die signifikant höchste Untersaat-Biomasse erzielt. Im Gegensatz zu den Bohnen konnten sich die Untersaaten trotz der Spätsommertrockenheit im Jahr 2016, gut entwickeln, was wahrscheinlich auf eine reduzierte Evapotranspiration infolge der Beschattung und eine geringere Konkurrenz durch die zeitigere Abreife der Hauptfrüchte zurückzuführen ist. Im Gegensatz dazu wurde die signifikant geringste Untersaat-Biomasse im Jahr 2015 erfasst. Dies ist vermutlich die Folge einer erhöhten Konkurrenz durch die Bohnen, infolge der guten Wachstumsbedingungen über den Sommer dieses Jahres. Ebenso führte die stärkere Konkurrenz durch die Bohnen, infolge der verzögerten Aussaat der Untersaaten auch im Jahr 2014 zu einem geringeren Biomasseaufwuchs der Untersaaten. Grundsätzlich konnten die Untersaaten in allen Jahren erfolgreich etabliert wurden, wobei die Höhe der Untersaatbiomasse erwartungsgemäß stark durch die Witterung, aber auch durch die Konkurrenz der Hauptfrüchte beeinflusst wurde. Darüber hinaus waren die Untersaatbiomassen in den Gemengen, mit Ausnahme des trockenerem Jahres 2016, mit denen der Maiskontrollen vergleichbar. Hinsichtlich der Untersaatbiomasse war die Untersaat 1 mit dem Erdklee der Untersaat 2 mit der Wegwarte leicht überlegen.

Unkraut-Biomasse

Die höchsten Unkraut-Biomassen wurden erwartungsgemäß in der Kontrollvariante ohne Untersaat gefunden, wobei die höchste Unkrautbiomasse im Jahr 2017 erfasst wurde. Die gute Entwicklung der Unkräuter in diesem Jahr ist zum einen auf die hohe Wasserverfügbarkeit als auch auf die geringe Konkurrenz durch die Hauptfrüchte zurückzuführen, die infolge der späten Aussaat, der extremen Nässe und der Sturmschäden eine schlechte Bestandesentwicklung zeigten. Im Gegensatz dazu lag die Unkrautbiomasse in allen anderen Jahren auf einem deutlich geringeren

Niveau (12–16 g TM m^{-2}). Die geringen Untersaatbiomassen im Jahr 2015 führten dazu, dass in diesem Jahr keine signifikanten Unterschiede zwischen den Unkrautbiomassen der Varianten mit bzw. ohne Untersaat nachgewiesen werden konnten. Im Gegensatz dazu konnten beide Untersaatvarianten in den übrigen Jahren eine deutliche Reduktion der Unkraut-Biomasse erzielen. Mit Ausnahme der US2 im Jahr 2016 waren diese auch signifikant geringer war, als die Unkraut-Biomasse in der Kontrollvariante ohne Untersaat. Dies ist wahrscheinlich durch die Spätsommertrockenheit 2016 zu erklären, die nicht nur die Entwicklung der Untersaaten und Hauptfrüchte, sondern auch das Wachstum der Unkräuter beeinträchtigt hat.

Untersaat- und Unkraut-Deckungsgrad

Trotz der Spätsommertrockenheit konnten sich die Untersaaten im Jahr 2016 gut entwickeln, wodurch hohe Deckungsgrade erreicht wurden. Dies ist wahrscheinlich auf eine geringere Konkurrenz durch die zeitigere Abreife der Hauptkulturen sowie durch ein günstiges Mikroklima infolge der Beschattung zurückzuführen. Im Gegensatz dazu kam es im Jahr 2015, infolge der günstigen Wachstumsbedingungen für die Bohnen, zu einer stärkeren Konkurrenz durch die Hauptfrüchte, wodurch Deckungsgrade der Untersaaten deutlich geringer ausfielen.

Übereinstimmend mit dem geringeren Untersaat-Deckungsgrad im Jahr, hatten die Unkräuter in diesem Jahr gute Wachstumsbedingungen, wodurch hier die höchsten Deckungsgrade bonitiert wurden. Der geringe Deckungsgrad im Jahr 2014 ist im Gegensatz dazu wahrscheinlich auf den höheren Untersaatdeckungsgrad in diesem Jahr zurückzuführen. Darüber hinaus wird es aber auch einen Einfluss der verzögerten Aussaat der Untersaaten durch die Einarbeitung des Saatgutes in den Boden gegeben haben. Beide Untersaaten konnten erwartungsgemäß eine signifikante Reduktion des Unkrautdeckungsgrades um mindestens 10% bewirken.

Grundsätzlich konnten die Untersaaten sowohl im reinen Mais als auch in den beiden Mais-Bohnen-Gemengen erfolgreich etabliert werden. Während keine nachteiligen Effekte der Untersaatvarianten auf den Trockenmasseertrag nachgewiesen werden konnten, führte der Gemengeanbau mit den Bohnen jedoch teilweise zu Ertragsminderungen gegenüber dem Maisanbau in Reinsaat. Da die Erträge insgesamt auf einem recht hohen Niveau lagen, waren die Gemengeerträge aber dennoch mit dem Bundesdurchschnitt vergleichbar, während die Maiskontrolle diesen teilweise deutlich überschritten hat. Im Vergleich der beiden Untersaatmischungen hat sich gezeigt, daß die Untersaat 1 mit dem Erdklee eine signifikant höhere Untersaatbiomasse erzielte als die Untersaat 2 mit dem Futterchiroree. Für beide Untersaaten konnten eine signifikante Reduktion der Unkraut-Biomasse (mit Ausnahme von 2015) und der Unkraut-Deckungsgrade nachgewiesen werden. Die höhere Untersaatbiomasse der Untersaat 1 führte jedoch nicht nachweisbar zu einem besseren Unkrautunterdrückungs-vermögen im Vergleich zur Untersaat 2. Somit konnte nachgewiesen werden, dass der Einsatz von Untersaaten im Mais-Bohnen-Gemengeanbau zu einer nachhaltigen Reduktion des Unkrautdruckes beitragen kann. Entscheidend für den Erfolg ist jedoch eine ausreichende Wasserversorgung am Standort und eine zeitige Aussaat der Untersaaten, um eine möglichst hohe Untersaat-Biomasse und somit eine gute Unkrautunterdrückung zu erreichen. Bei ungünstigen Ausgangsbedingungen für die Untersaaten (späte Aussaat, hohe Konkurrenz durch die Hauptfrüchte) kann die unkrautunterdrückende Wirkung der Untersaaten jedoch nicht immer nachgewiesen werden. Darüber hinaus wird der Erfolg dieses Verfahrens auch durch die Artenzusammensetzung, den Zeitpunkt des Unkrautaufkommens sowie die Menge bzw. Deckungsgrade der Unkräuter beeinflusst.

5.1.4 Saatzeitenversuch am Standort Braunschweig

5.1.4.1 Pflanzenbauliche Ergebnisse

Der Pflanzenbestand von Mais und der Mais-Stangenbohnen-Gemenge konnten in allen Jahren sowohl bei der Früh- als auch der Spätsaat der Bohnen Tarbais und Grünes Posthörnchen in der Regel in allen Jahren gut etabliert werden. Die vorgegebene Saatdichte beider Pflanzenarten spiegelte sich im Feldaufgang wieder. Lediglich ein im Jahr 2017 nach der Frühsaat stärkeres Niederschlagsereignis während der Keimphase der Bohnen führte einmalig zu einem stärkeren Rückgang derer im Feldaufgang.

Die in den Jahren verschiedenen Witterungsverhältnisse hatten insbesondere Auswirkungen auf die Wachstumsbedingungen sowie Abreife der Pflanzen und somit auf deren Wuchshöhe. Unter den feucht-kühleren Bedingungen im Jahr 2017 waren Mais und Bohne signifikant am größten. Dagegen konnten sich die Pflanzen im sehr warmen Jahres 2018 schneller als in den anderen Jahren entwickeln und gingen generell viel früher in die Blüte. Für die Bohnen war allerdings in diesem Jahr der Hitzestress zur Blütezeit ungünstig mit der Folge, dass sie ihre Blüten teilweise bzw. die Spätsaat Grünes Posthörnchen komplett abwarfen. Für alle Bohnenprüfglieder war es damit das Jahr mit dem geringsten Hülsenertrag (Abb. 36). Hinsichtlich der Blattmassenverluste der Bohnen war wiederum das feucht-kühlere Jahr 2017 am ungünstigsten.

Für den Gesamtertrag gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Jahren (Abb. 33). Hier spielten die unterschiedlichen Witterungsverhältnisse insbesondere hinsichtlich der Wasserversorgung nur eine untergeordnete Rolle, da in den während der Vegetationszeit niederschlagsärmeren Jahren 2016 und 2018 auftretender Wassermangel durch entsprechende Beregnungsgaben weitgehend ausglichen werden konnte. Signifikante Unterschiede wurden aber zwischen den Prüfgliedern beobachtet. Dabei weichen die Erträge der beiden Maisreinsaatprüfglieder voneinander ab. Somit ergab schon allein die für den Gemengeanbau reduzierte Saatdichte des Mais von 11 auf 8 Kö m^{-2} einen Mindertrag von 8,1%. Darüber hinaus waren alle Erträge der Gemengeprüfglieder von den Maisreinsaaten signifikant verschieden als auch teilweise untereinander. Einerseits konnte der im Gemengeanbau reduzierte Maisertrag von dem Gemengepartner Bohne nicht kompensiert werden, welches auch Nurk et al. (2017) feststellten. Andererseits gab es noch Konkurrenzeffekte zwischen den Gemengepartnern. Der Ertrag fiel stärker geringer aus, wenn die Bohnenertragsanteile im Gemenge höher lagen, was vor allem bei den Frühsaaten Tarbais und Tarbais Misch der Fall war. Gegenüber der Reinsaat Mais 8 war es ein Ertragsrückgang um 14,9 bzw. 18,6%. Dies bedeutete aber auch, dass im Gemengeanbau die Maiserträge stärker signifikant sanken als die Bohnenerträge signifikant anstiegen. Die Sorte Grünes Posthörnchen war gegenüber dem Mais konkurrenzschwächer, welches sich zwar positiv auf den Gesamtertrag auswirkte, jedoch nicht auf die Bohnenertragsanteile und damit auch Bohnenerträge. Diese lagen gegenüber Tarbais bei beiden Saatterminen niedriger. Die mit dem Mais zeitgleich terminierte Saat der Bohnen war hinsichtlich höherer Bohnenertragsanteile und des Hülsenansatzes gegenüber der Spätsaat förderlich. Die Befürchtung, dass der Mais von der Bohne wegen seiner langsameren Jugendentwicklung überwachsen und unterdrückt werden könnte, war in allen Jahren nicht gegeben. Insofern kann für einen Gemengeanbau die zeitgleiche Aussaat von Mais und Bohnen empfohlen werden.

Bei der einreihigen Mischsaat von Mais und Bohne (Tarbais Früh Misch) sollte das zeit- und kostenaufwendigere zweistufige Saatverfahren mit alternierenden Saatreihen vermieden werden. Bei gleichbleibender Aussaatstärke von Mais mit 8 und Bohne mit 6 Kö m^{-2} wurde gegenüber dem zweistufigen Saatverfahren (Tarbais Früh) ein gleichhoher Ertrag mit auch gleichem Bohnenertragsanteil erzielt. Insofern wäre das zeitgleiche einreihige Saatverfahren von Mais und Bohne ebenfalls eine Option für die Umsetzung in die landwirtschaftliche Praxis. Die im Versuch teilweise ungleichmäßige Verteilung von Mais und Bohne in der Reihe war vermutlich dem verschiedenen TKG der Gemengepartner geschuldet, welches wohl teilweise zu einer Entmischung des Saatgutes führte. Dieses lässt sich bei einer Sortenwahl mit vergleichbaren TKG eventuell besser umsetzen, wie es schon mit einer Saatgutmischung von der KWS praktiziert werden kann (Niehoff, 2018).

Beim Rohproteinertrag gab es vergleichsweise zum Gesamtertrag teilweise keine signikanten Unterschiede zwischen der Reinsaat Mais und den Mais-Bohne-Gemengen (Abb. 37). Dies wurde gegenüber der Reinsaat Mais durch leicht höhere Rohproteingehalte erzielt, welche auch zu erwarten gewesen sind (Tab. 31). Allerdings lagen die Rohproteingehalte für die Reinsaat Mais in allen Jahren auf keinem sehr hohen Niveau (Spiekers, 2009; Schaumann, ohne Jahr). Auch wäre es vorteilhaft, bei den Gemengen noch höhere Gehalte zu realisieren. Dagegen fiel der Stärkeertrag der Mais-Bohnen-Gemenge gegenüber dem Mais signifikant niedriger aus und hohe Bohnenertragsanteile verstärkten den Effekt (Abb. 38).

5.1.4.2 Gäreigenschaften und Silagequalität

Für das Silieren sollte der Trockensubstanzgehalt des Mais bei 30–37% liegen (Spiekers, 2011). Der TS-Gehalt des Erntegutes aller Prüfglieder bewegte sich in allen Untersuchungsjahren weitgehend in diesem Rahmen. Aufgrund des warmen und trockenen Jahres 2018 war das Erntematerial dann durchweg mit mehr als 40% trockener als die Zielgröße.

Weitere beschreibende Gäreigenschaften für das Silieren sind der Z/PK-Quotient, der Vergärbarkeitskoeffizient und die Gärschädlinge Hefen und Schimmel (Jänicke, 2011). Der Z/PK-Quotient sollte mindestens bei 2,0 liegen (vergl. Kap. 5.1.1.2). Dieser Wert wurde von der Reinsaat Mais immer überschritten, jedoch nicht immer von den Gemengen. Insbesondere im Jahr 2016 lagen alle Gemenge mit durchschnittlich 1,6 unterhalb des Richtwertes (Abb. 39). Der Vergärbarkeitskoeffizient, bei welchem in die Berechnung der Trockensubstanzgehalt und der Z/PK-Quotient einfließen, sollte mindestens den Wert von 45 erreichen (vergl. Kap. 5.1.1.2). Alle Prüfglieder konnten durchschnittlich in allen Jahren den Zielwert übertreffen. Meist lagen die Werte einzelner Prüfglieder mit bis zu 70 aber auch deutlich höher (Abb. 40). Die Gärschädlinge Hefen erreichten bei fast allen Prüfgliedern ausschließlich im Erntegut des Jahres 2017 mit einer Keimdichte >1,0E+05 KbE g FM^{-1} und Schimmel mit >1,0E+04 KbE g FM^{-1} vor allem in den Jahren 2017 und 2018 zu hohe Werte (Tab. 27) (vergl. Kap. 5.1.1.2).

Milchsäurebakterien kommen in Natur vor und sind bedeutsam für die Ansäuerung des Siliergutes im Fermentationsprozeß (vergl. Kap. 5.1.1.2). Der Besatz an Milchsäurebakterien fast aller Prüfglieder lag einzig im Jahr 2017 >1,0E+05 KbE g FM^{-1}, ansonsten bei <1,0E+04 KbE g FM^{-1} (Tab. 27). Ein sehr geringer Besatz mit weniger 1,0E+02 KbE g FM^{-1} war insbesondere bei der Frühsaat Tarbais Misch im Jahr 2016 auffällig. Durch Beimpfung des Siliermittels war bei allen

Prüfgliedern in allen Jahren ein deutlicher Anstieg nachweisbar, im Jahr 2016 sogar durchweg auf mehr als 1,0E+06 KbE g FM^{-1}.

Insgesamt betrachtet konnten in allen Versuchsjahren, ausgenommen der partiell hohen Belastung der Gärschädlinge im Siliergut, die Gäreigenschaften aller Prüfglieder als weitgehend gut bezeichnet werden.

Nach Öffnung der Silagen war in allen Jahren bei allen Prüfgliedern immer die erwünschte pH-Wert Absenkung um 4,0 liegend erfolgt (Tab. 28). Als Folge eines höheren Trockensubstanzgehaltes im Erntegut, lag dieser im Jahr 2018 im Schnitt leicht höher als in den anderen Untersuchungsjahren. Bedingt durch geringere Milchsäuregehalte des Zusatzes lag der pH-Wert gegenüber der Kontrolle leicht höher (Tab. 28). Auffällige Unterschiede zwischen der Reinsaat Mais und den Mais-Bohne-Gemengeprüfgliedern gab es jeweils nicht, welches auch schon Dawo (2011) beobachtete. Die unvermeidbaren Gärverluste hatten bei der Kontrolle in allen Jahren bei allen Prüfgliedern mit einer Spannweite von 3,9 bis 5,8% niedrige Werte (Tab. 28). Beim Zusatz lagen diese erwartbar im Schnitt der einzelnen Jahre um 1,3 bis 2,5% höher. Leicht höhere Verlustzuwächse von 3 bis 5% hat Pahlow (2004) bei heterofermentativer Gärung gefunden. Von geringeren Verlustzuwächsen mit durchschnittlich 1,5% wird bei Kleinschmidt und Kung Jr (2006) im Rahmen einer Meta-Analyse berichtet. Beim Zusatz war in allen Jahren durch die Beimpfung die gewünschte Essigsäuregärung mit einer Spannweite von 2,6 bis 5,2% immer gut gelungen (Tab. 29). Die Gärschädlinge Hefen konnten bei der Kontrolle weitgehend gut unterdrückt werden. Nur im Jahr 2018 traten bei allen Prüfgliedern noch Hefen in den Silagen auf (Tab. 28). Der Anteil der Silagen mit einer Keimdichte >1,0E+03 KbE g FM^{-1} lag bei der Reinsaat Mais bei 50%, bei den Mais-Bohne-Gemengen lag der Anteil mit 25,0 bis 29,2% um etwa die Hälfte niedriger (Tab. 28). Der Milchsäuregehalt fiel im Jahr 2018 geringer als in den anderen beiden Untersuchungsjahren aus und kann Ursache für die in den Silagen noch höher liegende Keimdichte der Hefen sein (Muck und Kung Jr, 1997). Dagegen war beim Zusatz eine allgemein sehr gute Unterdrückung der Hefen erfolgt (Tab. 28). Ein stärkere Depression der Hefen bei heterofermentativer Gärung ermittelteten auch Kleinschmidt und Kung Jr (2006). Die Gärschädlinge Schimmel wurden durchgängig in allen Silagen gut unterdrückt. Auf die aerobe Stabilität übten die im Allgemeinen nur gering ermittelten Resthefen keine negative Wirkung aus. Sowohl bei der Kontrolle als auch beim Zusatz war von allen Prüfgliedern eine gute bis sehr gute aerobe Stabilität erzielt worden (Tab. 30). Wenn eine Erwärmung bei einigen Prüfgliedern der Kontrolle beobachtet wurden, so trat diese erst spät nach 6,2 bis 6,9 Tagen ein. Deshalb waren dann wohl ein Anstieg von pH-Wert, Trockenmasseverlust und Hefen, wenn überhaupt, auch erst nur ansatzweise erkennbar (Tab. 30). Generell ist eine aerobe Stabilität von mindestestens 3 Tagen anszustreben (Spiekers, 2011). Folglich wäre eine Siliermittelbeimpfung beim Saatzeitenversuch in Braunschweig für alle Prüglieder nicht erforderlich gewesen.

5.1.4.3 Rohnährstoffe

Der Rohproteingehalt lag bei allen Gemengeprüfgliedern gegenüber der Reinsaat Mais sowohl im Erntegut als auch den Silagen immer höher (Tab. 31). Den größten Zuwachs verzeichnete Tarbais Früh Misch mit im Mittel 33,4 im Jahr 2018. Im nassen und kühleren Jahr 2017 war die Steigerung bei den Gemengeprüfgliedern jedoch nur gering. Die Sorte Tarbais hatte in der Regel die größten Zuwächse. Eine Zunahme im Rohproteingehalt durch den Anbau von Mais mit Bohnen haben bereits mehrere Studien bestätigt (Anil et al., 2000; Dawo et al., 2007; Eskandari & Ghanbari,

2009; Mlakar et al., 2011; Qu et al., 2013), wobei Anil et al. (2000) auch eine signifikant erhöhte Stickstoffverdaulichkeit fanden.

Maissilagen von guter Qualität sollten einen Stärkegehalt von mehr als 30% aufweisen (H. Spiekers, 2009). Diese Zielgröße wurde vom Mais als auch den Mais-Bohne-Gemengen im Erntegut und den Silagen zwar fast ausschließlich erreicht, allerdings lag der Gehalt bei den Gemengeprüfgliedern gegenüber dem Mais bis zu 16,0% (Tarbais Früh, 2016) im Erntegut und bis zu 21,8% in der Silage Zusatz (Tarbais Früh, 2016) niedriger (Tab. 31). Anil et al (2000) und Denißen (2020) berichteten ebenfalls über verringerte Stärkegehalte beim Gemengeanbau von Mais mit Bohnen. Höhere Bohnenanteile können diesen Prozess noch verstärken (Armstrong et al, 2008). Die gegenüber des Erntegutes meist geringeren Stärkegehalte in den Silagen, deuten auf einen Stärkeabbau während des Silierprozesses hin.

Der Gehalt an Rohasche dient häufig als Indikator für die Kontamination von Futtermitteln mit Erde (Resch et al, 2010; Ward & de Ondarza, 2008) und sollte bei einer Maissilage 4,5% nicht überschreiten (Spiekers, 2009). Die Reinsaat Mais hatte in allen Jahren einen weit geringeren Rohaschegehalte aufzuweisen (Tab. 31). Die gegenüber der Reinsaat Mais in den Mais-Bohne-Gemengen höheren Gehalte sind auf die Bohnen zurückzuführen und stiegen bei höheren Bohnenertragsanteilen an. Ebenso fanden Qu et al. (2013) und Anil et al. (2000) in Mais-Bohne-Gemengen höhere Rohaschegehalte. Der höhere Rohaschegehalt der Mais-Bohnen-Mischungen wurde vermutlich durch die höheren Protein- und Mineralstoffgehalte verursacht (Deshpande et al, 1984), wie Eisen, Phosphor, Magnesium, Mangan und Zink (Broughton et al, 2003) und nicht durch die Kontamination während der Ernte.

Der Rohfasergehalt in Maissilagen hat einen Orientierungswert von 17 bis 21% (Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, ohne Jahr). Bei der Reinsaat Mais lag dieser Gehalt in den Silagen nur im Jahr 2017 innerhalb dieser Spannbreite. Die Mais-Bohnen-Gemenge erreichten fast immer den Orientierungswert und wiesen gegenüber der Reinsaat Mais meist höhere Werte auf, vermutlich, weil bei Leguminosen grundsätzlich höhere Rohfasergehalte vorgefunden werden (Jänicke, 2011).

Der Energiegehalt von Silagen wird im Wesentlichen durch den Gehalt der enzymlöslichen organischen Substanz (ELOS) bestimmt, der über 67% liegen sollte (Spiekers, 2011). Diese Zielgröße wurde von der Reinsaat Mais und den Mais-Bohne-Gemengen nur im Jahr 2018 sowohl beim Erntegut als auch der Silage Kontrolle überschritten (Tab. 32). Bei der Silage mit Zusatz lag der ELOS-Gehalt immer deutlich niedriger, was wohl auch auf die bei diesen Prüfgliedern geringeren Stärkegehalte zurückzuführen ist. Eine wesentliche Ursache hierfür könnte der durch die Beimpfung hervorgerufene heterofermentative Gärungsweg sein.

Der Orientierungswert des ADFom-Gehalts liegt für Maissilagen bei 21 bis 25, des aNDFom-Gehalts bei 35-40 (Spiekers, 2011). Innerhalb der jeweiligen Spannbreite lagen weitgehend die Werte bei den Silagen der Reinsaat Mais und den Mais-Bohne-Gemengen (Tab. 32). Zu vergleichbaren Ergebnissen mit anderen Stangenbohnensorten kam Denißen (2020) bei ihren Untersuchungen.

5.2 Modellsilagen

5.2.1 Modellsilagen im Labormaßstab, Standort Trenthorst

5.2.1.1 Gäreigenschaften und Silagequalität

Für das Silieren sollte der Trockensubstanzgehalt des Mais bei 30–37% liegen (Spiekers, 2011). Der TS-Gehalt der Prüfglieder erreichte im Erntegut in den Jahren 2014 und 2015 häufig nicht die Zielgröße (Tab. 33). Betroffen davon waren die Prüfglieder mit den höheren Bohnenanteilsstufen von 30 und 45%. In diesen beiden Jahren hätte für das Erreichen der Zielgröße mit der Ernte der Gemengepartner noch gewartet werden müssen. Dagegen lag in den Jahren 2016 und 2018 der TS-Gehalt teilweise höher als die Zielgröße.

Weitere beschreibende Gäreigenschaften für das Silieren sind der Z/PK-Quotient, der Vergärbarkeitskoeffizient und die Gärschädlinge Hefen und Schimmel (Jänicke, 2011). Der Z/PK-Quotient sollte mindestens bei 2,0 liegen. Dieser Wert konnte von den Prüfgliedern nur teilweise im Jahr 2016 und bei allen im Jahr 2018 überschritten werden (Tab. 33). Aufgrund der höheren Pufferkapazität der Bohnen können sich höhere Bohnenanteile im Gemenge stärker ungünstig auf den Wert des Quotienten auswirken (vergl. Kap. 5.1.1.2). Des Weiteren beeinträchtigte in den Jahren 2014 und 2015 der geringe WSC-Gehalt des Partners Mais das Erlangen des Richtwertes. Selbst der Mais erreichte dann auch die Zielgröße nicht. Der Vergärbarkeitskoeffizient, bei welchem in die Berechnung der Trockensubstanzgehalt und der Z/PK-Quotient einfließen, sollte mindestens den Wert von 45 erreichen (vergl. Kap. 5.1.1.2). Nur in den Jahren 2016 und 2018 wurde die Zielgröße von fast allen Prüfgliedern übertroffen (Tab. 33). Ansonsten betraf es lediglich den Mais. Die Gärschädlinge Hefen lagen bei allen Prüfgliedern in den Jahren 2016 und 2018 mit einer Keimdichte >1,0E+05 KbE g FM^{-1} sowie Schimmel mit >1,0E+04 KbE g FM^{-1} in allen Untersuchungsjahren zu hoch (Tab. 33) (vergl. Kap. 5.1.1.2).

Milchsäurebakterien kommen in Natur vor und sind bedeutsam für die Ansäuerung des Siliergutes im Fermentationsprozeß (vergl. Kap. 5.1.1.2). Der Besatz an Milchsäurebakterien aller Prüfglieder lag in den Jahren 2014 und 2015 häufig sowie 2016 und 2018 immer >1,0E+05 KbE g FM^{-1} (Tab. 33) Durch Beimpfung des Siliermittels war bei allen Prüfgliedern in allen Jahren ein Anstieg in der Keimdichte nachweisbar, im Jahr 2016 sogar teilweise auf mehr als 1,0E+06 KbE g FM^{-1}.

Insgesamt betrachtet konnten, ausgenommen der hohen Belastung von Gärschädlingen, die Gäreigenschaften des Siliergutes aller Prüfglieder der Modellsilagen nur in den Versuchsjahren 2016 und 2018 als gut bezeichnet werden.

Nach Öffnung der Silagen war in allen Jahren bei allen Prüfgliedern, unabhängig der Anteilshöhe der Bohnen, immer die erwünschte pH-Wert Absenkung auf um 4,0 liegend erfolgt (Tab. 34). Zwischen Kontrolle und Zusatz gab es keine wesentlichen Unterschiede im Milchsäuregehalt und somit auch keine beim pH-Wert. Nur die Prüfglieder WR15, WR30 und WR45 des Zusatzes im Jahr 2015 reagierten mit geringeren Milchsäure- als auch Essigsäuregehalten (Tab. 35) und leicht höhrem pH-Wert etwas abweichend davon. Auffällige Unterschiede zwischen der Reinsaat Mais und den Mais-Bohne-Gemengeprüfgliedern gab es jeweils nicht, welches auch schon Dawo (2011) beobachtete. Die unvermeidbaren Gärverluste erzielten bei der Kontrolle in allen Jahren bei allen Prüfgliedern mit einer Spannweite von 3,8 bis 7,2% niedrige Werte (Tab. 34). Beim Zusatz lagen diese erwartbar, allerdings durchschnittlich der einzelnen Jahre um 0,1 bis gut 1,8% nur leicht höher. Vergleichbare Verlustzuwächse von im Schnitt 1,5% haben Kleinschmidt und Kung Jr (2006)

im Rahmen einer Meta-Analyse bei heterofermentativer Gärung gefunden. Zur erfolgreichen Unterdrückung der Gärschädlinge Hefen reichte anscheinend die gebildete Essigsäure sowohl bei allen Silagen der Kontrolle und des Zusatzes in fast allen Untersuchungsjahren aus, obwohl diese den Mindestwert von 2% nicht immer überbot (Tab. 35). Lediglich im Jahr 2015 war der bei der Kontrolle im Mittel der Prüfglieder mit 0,9% liegende Wert sehr niedrig. Folglich lag der Anteil der Silagen mit einer Keimdichte der Hefen >1,0E+03 KbE g FM^{-1} dann bei 100% (Tab. 34). Der Milchsäuregehalt fiel ebenfalls leicht geringer aus als in den anderen Untersuchungsjahren und kann damit schon die Ursache für die in den Silagen noch höher liegende Keimdichte der Hefen sein (Muck und Kung Jr, 1997). Ein gute Depression der Hefen, wie beim Zusatz mit stärkerer heterofermentativer Gärung, fanden auch Kleinschmidt und Kung Jr (2006). Die Gärschädlinge Schimmel wurden durchgängig bei allen Silagen gut unterdrückt (Tab. 34). Aufgrund der im Jahr 2015 bei der Kontrolle noch sehr hohen Hefenkeimdichte war die aerobe Stabilität sowohl bei der Maissilage als auch den Mais-Bohnen-Gemengesilagen nicht hochwertig gegeben (Tab. 36). Sie erwärmten sich alle schon innerhalb von 2-3 Tagen nach der Öffnung. Während der aeroben Exposition kam es zu einer Vermehrung des epiphytischen Hefenbesatzes, welcher innerhalb von 2 Tagen um den Faktor 1000 ansteigen kann (Pahlow 1985, Ranjit et al., 2002). Folglich erhöhten sich drastisch der pH-Wert und die Trockenmasseverluste (Tab. 36). Alle weiteren Prüfglieder von Kontrolle und Zusatz aller Jahre wiesen eine hervoragende aerobe Stabilität auf. Eine Beimpfung des Silierguts hatte somit nur im Jahr 2015 einen Vorteil für die Modellsilagen ergeben.

Unter Luftstressbedingungen, bei nicht ganz optimal verdichtetem Siliergut, konnten nach deren Entnahme am 49. Tag nur im Jahr 2015 alle Gemengeprüfglieder bei Siliermittelbeimpfung mit mehr als 6 Tagen eine gute aerobe Stabilität erzielen (Tab. 37). In den anderen Untersuchungsjahren lag diese unabhängig von einer Beimpfung häufig unterhalb des Sollwertes von 3 Tagen (Spiekers et al., 2009). Wenn sich die Silagen mal etwas langsamer erwärmten, so waren es dann meist die Gemengeprüfglieder mit Beimpfung. Trotzdessen sollte immer für eine gute Verdichtung des Siliergutes gesorgt werden.

5.2.1.2 Rohnährstoffe

Die Rohproteingehalte in den gezielt hergestellten Modellsilagen aller Versuchsjahre mit 15, 30 oder 45% Bohnen im Gemenge mit Mais lagen wie erwartet signifikant über denen der Mais-Reinsaaten. Diese variierten innerhalb der Versuchsjahre allerdings deutlich mit den höchsten Rohproteingehalten im Jahr 2015, wie auch in den anderen Versuchen bereits dargestellt. Im Versuchsjahr 2014 wurden mit der Stangenbohne Tarbais in den jeweiligen Gemengen mit 15, 30 oder 45% höhere XP-Gehalte erzielt als mit der Feuerbohne Preisgewinner. Auch 2015 wurden mit den Stangenbohnen-Gemengen höhere XP-Gehalte erzielt als mit den Feuerbohnen-Gemengen, allerdings mit anderen Sorten, Cobra vs. Weiße Riesen. 2016 wurden Gemenge mit zwei Stangenbohnensorten erstellt, wobei die mit Anellino verde zu höheren XP-Gehalten führten als die mit Tarbais. In den 2018 erstellten Gemengen mit Tarbais wurden geringere XP-Erhöhungen verzeichnet als in den Versuchsjahren 2014 und 2016. Ursache hierfür könnten geringere Anteile an Samen und Blättern sein, da in diesen beiden Organen die höchsten XP-Gehalte nachzuweisen waren, wie die Untersuchungen aus dem Sortenversuch (Kap. 4.1.1.5 und Abb. 15) zeigen. Die Rohaschegehalte in den Mais-Bohnen-Gemengen waren in allen Versuchsjahren höher als die in der Mais-Reinsaat, was aus den höheren Mineralstoffgehalten der Bohnen im Vergleich zum Mais resultieren kann. Dies wurde in unseren Untersuchungen nicht geprüft, ist aber aus der Literatur

bekannt (z.B. Qu et al., 2013; Anil et al., 2000). Die Veränderungen der Rohfettgehalte der Gemenge der vier Versuchsjahre waren nicht gerichtet und lassen keine Schlußfolgerungen zu. Die Rohfasergehalte stiegen in den meisten Fällen durch höhere Bohnengehalte in den Gemengen an, was mit einzelnen Ausnahmen auch für die Gerüstsubstanzen ADFom und aNDFom zutrifft. Steigende Bohnenanteile in den Gemengen führten in allen Varianten und Jahren zu verringerten Stärkegehalten, was auch in der Literatur beschrieben wurde (Anil et al., 2000). Allerdings waren sie abhängig von der Wechselwirkung zwischen Variante und Typ und vornehmlich in den Silagen mit Silierzusatz niedriger als in den Kontrollsilagen ohne Zusatz. Ähnliche Beobachtungen wurden auch für die Silagen des Saatzeitenversuchs am Standort Braunschweig gemacht. Für die Gehalte an enzymlöslicher organischer Substanz lassen sich keine Schlußfolgerungen ableiten, sie sind 2016 und 2018 von der Variante abhängig, 2014 nur vom Typ und 2015 von der Wechselwirkung zwischen Typ und Variante.

5.2.1.3 Sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe

Die Gehalte an Lektinen (PHA) in den mit 15, 30 und 45% Bohnenanteil erstellten Gemengen stiegen wie erwartet mit steigenden Bohnenanteilen an. Der Anstieg war sortenabhängig. So waren die PHA-Gehalte im Jahr 2014 mit den Gemengen der Feuerbohne Preisgewinner höher als die mit der Stangenbohne Tarbais. 2015 lagen die PHA-Gehalte der Gemenge mit der Stangenbohne Cobra höher als die mit der Feuerbohne Weiße Riesen. 2016 wurden zwei Stangenbohnen verglichen, wobei die PHA-Gehalte in den Gemengen mit Anellino verde höher waren als die in denen mit Tarbais. 2018 wurde nur die Sorte Tarbais geprüft und wies in den Gemengen des Erntegutes bereits geringste PHA-Gehalte mit 0,06 g kg^{-1} auf. Nach der Silierung wurden in allen Modellsilagen geringere PHA-Gehalte festgestellt als im Erntegut, d.h. während des Silierprozesses werden PHA abgebaut. So konnten PHA-Gehalte von 0,03 (2018) bis höchstens 0,9 g kg^{-1} (45% Cobra, 2015) festgestellt werden. Wird die durchschnittliche Grundfutteraufnahme der Schweine von ca. 200 g pro Tag zugrunde gelegt (siehe Kapitel 4.4.2), so würden die Schweine maximal 180 mg PHA pro Tag aufnehmen. Das bedeutet bei Einbeziehung des von Chokshi (2007) ermittelten NOAEL („no-observed-adverse-effect level“), der bei 2500 mg/Tag/kg Körpergewicht liegt, das die Aufnahme von 250 g PHA bei einem 100 kg schweren Schwein ohne negative Effekte möglich wäre.

Die Tannin-Gehalte steigen mit steigenden Bohnenanteilen in den Modell-Silagen im Vergleich zu den reinen Maissilagen an. Sie nehmen Werte von 2,2 bis 4,8 g kg^{-1} in Abhängigkeit vom Versuchsjahr an und liegen deutlich unter den in reinen Bohnen gemessenen Gehalten. Da Tannine mit Proteinen interagieren, führen hohe Tanningehalte u.a. zu einer verminderten Proteinverdaulichkeit (Reddy et al., 1985; Jansman et al., 1993) beim Monogastrier. Wird auch hier die durchschnittliche Futteraufnahme von 200 g pro Tag zu Grunde gelegt, so kann mit einer Aufnahme an Tanninen von 0,44 bis 0,96 g gerechnet werden. Die Ergebnisse zur Wirkung derartiger Tanningehalte in der Literatur ist widersprüchlich; so stellten Jansman et al. (1993) verringerte scheinbare illeale Proteinverdaulichkeiten beim Ferkel nach Verfütterung von Ackerbohnen (30% der Ration) fest, die Gehalte an kondensierten Tanninen von 1,0 bis 2,3 g kg^{-1} enthielten. Flies et al. (1999) konnten dahingegen keinen Einfluss der Höhe der Tanningehalte auf die Wachstumsrate von Schweinen (25–63 kg) feststellen, wenn Diäten mit 0,59 g kg^{-1} oder 0,07 g kg^{-1} verfüttert wurden. Da in unseren Untersuchungen die Gesamttanningehalte und nicht die kondensierten Tannine bestimmt wurden, ist davon auszugehen, dass die Gehalte an kondensierten Tanninen unter den hier dargestellten Gehalten liegen.

Die α-Galactoside, die beim Monogastrier als eine Ursache für die Flatulenz gelten, konnten bereits in den Gemengen, die mit dem frischen Erntegut erstellt wurden, nicht mehr nachgewiesen werden. Auch in den Silagen lagen sie unterhalb der Nachweisgrenze. Somit stellt diese Stoffgruppe für die geprüften Bohnensorten Tarbais, Preisgewinner, Cobra, Weiße Riesen und Anellino verde kein antinutrives Potential dar und muss bei möglichen Empfehlungen zum Einsatz in der Monogastrierfütterung nicht berücksichtigt werden.

5.2.2 Modellsilagen im Labormaßstab, Standort Braunschweig

5.2.2.1 Gäreigenschaften und Silagequalität

Für das Silieren sollte der Trockensubstanzgehalt des Mais bei 30–37% liegen (Spiekers, 2011). Der TS-Gehalt des Erntegutes aller Prüfglieder bewegte sich weitgehend in diesem Rahmen (Tab. 43). Im warmen und trockenen Jahr 2018 war insbesondere das Erntematerial des Mais mit 42% wesentlich trockener als die Zielgröße.

Weitere beschreibende Gäreigenschaften für das Silieren sind der Z/PK-Quotient, der Vergärbarkeitskoeffizient und die Gärschädlinge wie Hefen und Schimmel (Jänicke, 2011). Der Z/PK-Quotient sollte mindestens bei 2,0 liegen, der Vergärbarkeitskoeffizient bei mindestens 45 (vergl. Kap. 5.1.1.2). Beide Zielgrößenwerte wurden von den Prüfgliedern überschritten. Nur die Gärschädlinge Hefen lagen mit einer Keimdichte >1,0E+05 KbE g FM^{-1} und Schimmel mit >1,0E+04 KbE g FM^{-1} bei fast allen Prüfgliedern sehr hoch (Tab. 43).

Milchsäurebakterien kommen in Natur vor und sind bedeutsam für die Ansäuerung des Siliergutes im Fermentationsprozeß (vergl. Kap. 5.1.1.2). Der Besatz an Milchsäurebakterien aller Prüfglieder lag nur mit maximal <1,0E+04 KbE g FM^{-1} auf einem niedrigen Niveau (Tab. 43). Durch Hinzufügen des Siliermittels konnten die Keimdichten bei allen Prüfgliedern deutlich auf >1,0E+05 KbE g FM^{-1} gesteigert werden.

Ausgenommen der hohen Belastung der Gärschädlinge, konnten die Gäreigenschaften des Siliergutes aller Prüfglieder als weitgehend gut bezeichnet werden.

Nach Öffnung der Silagen war in allen Jahren bei allen Prüfgliedern immer die erwünschte pH-Wert Absenkung auf um 4,0 liegend erfolgt (Tab. 44). Zwischen Kontrolle und Zusatz gab es keine wesentlichen Unterschiede im Milchsäuregehalt und somit auch keine beim pH-Wert (Tab. 45). Auffällige Unterschiede zwischen der Reinsaat Mais und den Mais-Bohne-Gemengeprüfgliedern gab es jeweils nicht, welches auch schon Dawo (2011) beobachtete. Die unvermeidbaren Gärverluste erzielten bei der Kontrolle bei allen Prüfgliedern mit einer Spannweite von 3,8 bis 4,4% niedrige Werte (Tab. 44). Beim Zusatz lagen diese erwartbar durchschnittlich der Prüfglieder um 1,1% leicht höher. Vergleichbare Verlustzuwächse von im Schnitt 1,5% hat Kleinschmidt und Kung Jr (2006) im Rahmen einer Meta-Analyse bei heterofermentativer Gärung gefunden. Zur erfolgreichen Unterdrückung der Gärschädlinge Hefen reichte die gebildete Essigsäure aus, obwohl sie bei den Prüfgliedern der Kontrolle den Mindestwert offensichtlich von 2% unterbot (Tab. 45). Ein gute Depression der Hefen, wie beim Zusatz mit stärkerer Essigsäuregärung, fanden auch Kleinschmidt und Kung Jr (2006) (Tab. 45). Die Gärschädlinge Schimmel wurden durchgängig bei allen Silagen gut unterdrückt. Bei allen Prüfgliedern der Kontrolle und des Zusatzes war folglich der guten Depression der Gärschädlinge die aerobe Stabilität hervorragend (Tab. 46). Der pH-Wert

veränderte sich nicht und es gab auch keine auffälligen Trockenmasseverluste (Tab. 46). Somit hatte die Beimpfung des Silierguts allerdings keine zusätzlich positiven Effekte erbracht.

5.2.2.2 Rohnährstoffe

Die Rohproteingehalte der Modellsilagen des Standortes Braunschweig stiegen mit steigenden Anteilen der Stangenbohne Tarbais, wie erwartet. Dies traf auch für die Rohaschegehalte zu, wie bereits bei den Modellsilagen am Standort Trenthorst beschrieben und aus der Literatur bekannt (Anil et al., 2000). Die Rohfettgehalte wurden signifikant von der Wechselwirkung zwischen Variante und Typ beeinflusst. Höhere Bohnenanteile führten zu höheren Rohfasergehalten, allerdings nicht in den Kontollsilagen ohne Silierzusatz. Auch die ADFom-Gehalte stiegen mit höheren Bohnenanteilen an. NDFom und ELOS-Gehalte wurden nicht signifikant verändert. Die Stärkegehalte sanken mit steigenden Bohnenanteilen und dies stärker in den Silagen mit Silierzusatz. Diese Beobachtung wurde auch für die Modellsilagen am Standort Trenthorst gemacht, ebenso wie für Silagen des Saatzeitenversuchs am Standort Braunschweig. Dies deutet auf einen Stärkeabbau während der Silierung unter dem Einfluss des Silierzusatzes hin.

Beim Vergleich der im Jahr 2018 an den Standorten Trenthorst und Braunschweig erstellten Modellsilagen wird deutlich, dass am Standort Braunschweig mit 8,2% deutlich höhere Rohproteingehalte erzielt wurden als am Standort Trenthorst mit 6,1%. Auch die Rohaschegehalte am Standort Braunschweig waren deutlich höher mit 3,8 vs. 2,9%, wobei die Ursachen nicht benannt werden können, da keine Mineralstoffuntersuchungen gemacht wurden. Sowohl die Rohfett- als auch die Rohfasergehalte am Standort Trenthorst lagen auf höherem Niveau als die am Standort Braunschweig. NDF-Gehalte hingegen waren am Standort Braunschweig signifikant höher. Für ADF und ELOS können keine Aussagen gemacht werden, da hier eine Dreifachwechselwirkung zwischen Variante, Ort und Typ vorlag. Die Stärkegehalte wurden von der Wechselwirkung zwischen Ort und Typ, aber auch von der zwischen Variante und Typ beeinflusst. Sie lagen am Standort Braunschweig höher und waren wie in Trenthorst in den Silagen mit Silierzusatz geringer als in den Kontrollsilagen ohne Silierzusatz.

5.2.3 Modellsilage zur Prüfung unterschiedlicher Siliermittel

Für das Silieren sollte der Trockensubstanzgehalt des Mais bei 30–37% liegen (Spiekers, 2011). Der TS-Gehalt des Erntegutes aller Prüfglieder von Braunschweig und Trenthorst bewegte sich weitgehend in diesem Rahmen (Tab. 47).

Weitere beschreibende Gäreigenschaften für das Silieren sind der Z/PK-Quotient, der Vergärbarkeitskoeffizient und die Gärschädlinge wie Hefen und Schimmel (Jänicke, 2011). Der Z/PK-Quotient sollte mindestens bei 2,0 liegen und Vergärbarkeitskoeffizient bei mindestens 45 (vergl. Kap. 5.1.1.2). Beide Zielgrößenwerte wurden nur bei dem Siliergut des Gemenges von Trenthorst verfehlt (Tab. 47). Die Keimdichte der Gärschädlinge Hefen und Schimmel lagen im Siliermaterial von beiden Prüforten hoch, überschritten im Einzelfall allerdings nicht immer die jeweiligen Richtwerte (Tab. 47).

Milchsäurebakterien kommen in Natur vor und sind bedeutsam für die Ansäuerung des Siliergutes im Fermentationsprozeß (vergl. Kap. 5.1.1.2). Die Keimdichte der Siliergüter von Braunschweig und Trenthorst lag mit >1,0E+05 KbE g FM^{-1}, schon recht hoch, konnte durch Beimpfung der beiden biologischen Testsiliermittel noch gesteigert werden (Tab. 47).

Nach Öffnung der Silagen war in allen Jahren bei allen Prüfgliedern (Mais u. Mais-Bohnen-Gemenge) von Braunschweig (Bs) und Trenthorst (Th) immer die erwünschte pH-Wert Absenkung unter knapp 4,0 liegend erfolgt (Tab 48). Unterschiede zwischen der Reinsaat Mais und den Mais-Bohne-Gemengeprüfgliedern gab es jeweils nicht, welches auch schon Dawo (2011) beobachtete. Die unvermeidbaren Gärverluste hatten bei der Kontrolle in allen Jahren bei allen Prüfgliedern des Mais und Gemenges mit einer Spannweite von 3,5 bis 5,8% in Braunschweig und 3,6 bis 6,4% in Trenthorst niedrige Werte (Tab 48). Bei den beiden Prüfgliedern mit den biolgischen Impfmittelzusätzen lagen diese gegenüber den jeweiligen Kontrollen erwartbar um durchschnittlich 1,2 bzw. 1,7% (Bs) und 1,2 bzw 1,5% (Th) höher. Mit dem chemischen Siliermittel verringerten sich sogar die Verluste, allerdings nur minimal. Leicht höhere Verlustzuwächse von 3 bis 5% hat Pahlow (2004) bei heterofermentativer Gärung gefunden. Von geringeren Verlustzuwächsen mit durchschnittlich 1,5% wird bei Kleinschmidt und Kung Jr (2006) im Rahmen einer Meta-Analyse berichtet. Bei beiden biologischen Zusätzen war durch die Beimpfung die gewünschte Essigsäuregärung gegenüber den Kontrollprüfgliedern gut gelungen. Die Essigsäuregehalte lagen an beiden Prüforten mit bis zu 3,9 immer oberhalb des Mindestwertes von 2% (Tab. 49). Aufällig sehr hohe Milchsäuregehalte mit mehr als 10% erzielten alle Gemengeprüfglieder von Th. Die hohe Feuchtigkeit der Bohnen kann dies verursacht haben. Die Gärschädlinge Hefen konnten in allen Silagen von Bs und den biologischen Siliermittelprüfgliedern von Th gut unterdrückt werden (Tab 48). Dagegen waren in beiden Kontrollsilagen von Th, Mais bzw. Gemenge, noch Keimdichten >1,0E+03 KbE g FM^{-1} mit einem Anteil von 100% nachweisbar. Ebenfalls hatte auch das chemische Impfmittel mit einem Anteil von 33,3% nicht alle Hefen unterdrücken können. Bei den Maisprüfgliedern könnten dafür geringe Milchsäure- bzw. Essigsäuregehalte verantwortlich gewesen sein (Muck und Kung Jr, 1997, Kleinschmidt und Kung Jr, 2006).

Die Gärschädlinge Schimmel wurden durchgängig in allen Silagen gut unterdrückt (Tab 48). Die aerobe Stabilität war bis auf die noch hefebelasteten Kontrollprüfglieder Mais und Gemenge von Th bei allen anderen Prüfgliedern an beiden Prüforten hervorragend (Tab. 50). Mit nur 3,1 (Mais) und 3,5 Tagen (Gemenge Mais-Bohne) an aerober Stabilität überschritten allerdings beide warm gewordenen Kontrollprüfglieder gerade noch knapp den Mindestzielwert zur Aufrechterhaltung der aeroben Stabilität von 3 Tagen (Spiekers, 2011). Alle Prüfglieder mit Beimpfung hatten mit 7 Tagen eine deutlich längere aerobe Stabilität aufzuweisen. Ein positiver Nachweis der Impfmittel konnte damit bestätigt werden. Die sich erwärmten Prüfglieder zeigten einen drastischen Anstieg im pH-Wert und Trockenmasseverlust sowie in der Hefenbelastung (Tab. 50).

5.3 Fütterungsversuche

5.3.1 Einsatz von Mais-Bohnen-Silage in der Milchviehfütterung

Bisher gibt es nur wenige Studien zur Verfütterung von MBS, so dass die Einordnung der Untersuchungsergebnisse nicht einfach ist. Zudem werden in den Studien die verwendeten Bohnensorten oft nicht genannt, was die Bewertung der Ergebnisse erschwert, da sich der Gehalt an antinutritiven Inhaltsstoffen zwischen den Sorten doch stark unterscheidet.

Problematisch an den eigenen Versuchen ist, dass die Futteraufnahme nicht tierindividuell, sondern nur auf Gruppenebene erfasst und die Erhebung nicht als Cross over-Versuch angelegt werden konnte. So wurde des Tier zwar als eigene Kontrolle in der Wiederholung verwendet, aber

die Gruppenzusammensetzung war im Versuchsverlauf variabel und kann die Ergebnisse beeinflusst haben.

Leider konnten auch nur zwei der angestrebten vier Versuche umgesetzt werden, wobei sich die Zusammensetzung der MBS in den verwertbaren Versuchsjahren weniger deutlich unterschied als es für weitreichende Schlussfolgerungen nötig gewesen wäre. Die Aussagen beziehen sich damit immer nur auf einen sehr engen begrenzten Beobachtungsbereich.

5.3.1.1 Chemische Zusammensetzung der Futtermittel

In beiden Versuchsjahren überstieg der Proteingehalt der MBS (2016: 90 g kg^{-1} TM, 2017: 68 g kg^{-1} TM) den der reinen Maissilage (2016: 77 g kg^{-1} TM, 2017: 60 g kg^{-1} TM) obwohl der Anteil der Bohnenpflanzen im Gemenge relativ gering gewesen ist. Ähnlich Anteile wurden auch von Mlakar et al. (2011) beobachtet, die 72,2 g XP kg^{-1} TM in MBS im Vergleich zu 65,6 g XP kg^{-1} TM in der reinen Maissilage auswiesen. Dagegen stehen die Anteile von 120 g XP kg^{-1} TM in der MBS der Untersuchung von Anil et al. (2000), die aufzeigen, dass deutlich höhere Gehalte erreichbar sind. Allerdings stand im Fokus unserer Untersuchungen ja die Akzeptanz des Futtermittels MBS und so wurden die Mengenanteile der Silagen in der Ration relativ gleich gehalten.

5.3.1.2 Akzeptanz der MBS und Leistung

Die vergleichbare TM-Aufnahme der Tiere in den Versuchsphasen lässt darauf schließen, dass die MBS in der Ration die Futteraufnahme nicht beeinträchtigt hat. Gleiches fanden auch Anil et al. (2000) bei der Verfütterung von MBS an Schafe. Auf diese wirkte sich auch die Gabe größerer Mengen an Bohnenkernen nicht aus (Paduano et. al., 1995). Dagegen registrierten Williams et al. (1984) negative Effekte auf die Futteraufnahme bei der Gabe von Kidneybohnen an Bullen. Bei diesen Beobachtungen gilt es allerdings immer zu beachten, dass die höchste Konzentration an antinutritiven Inhaltsstoffen in den Bohnenkernen gefunden wurden (Vasconcelos & Oliveira, 2004), was auch in den eigenen Untersuchungen (siehe Kapitel 4.1.1.5 Und 5.1.1.5) bestätigt werden konnte. Fütterungsversuche mit Bohnenkernen und der gesamten Bohnenpflanze sind deshalb nicht einfach vergleichbar. Dazu kommt, dass die Konzentration der antinutritiven Stoffe auch von der Bohnensorte beeinflusst wird (Brugger et al., 2016), wie auch die Ausführungen in Kapitel 4.1.1.5 und 5.1.1.5 bestätigen.

Die Milchleistung zeigte keine signifikanten Unterschiede, wenn die Maissilage durch MBS ersetzt wurde. In 2017 wurden aber 0,9 kg Milch $Tier^{-1}$ Tag^{-1} weniger im MBS-Zeitraum ermolken. Das steht im Gegensatz zu den Ergebnissen von Qu et al. (2013), die eine Zunahme der Milchmenge nach einem Umstellungszeitraum von 14 Tagen beobachteten, wenn Mais-Lablab (*Lablab purpureus*)-Silage verfüttert wurde. Die Autoren begründeten dies mit dem geringeren NDF-Gehalt dieser Silage. Zudem stieg in ihren Untersuchungen der Proteingehalt der Milch. Das wurde mit einer höheren XP-Konzentration und einer höheren Verdaulichkeit der geprüften Silage erklärt. Dagegen fand sich in unseren Erhebungen kein Anstieg des Proteingehalts in der Milch, wenn MBS verfüttert wurde. Aber es stieg die Harnstoffkonzentration in der Milch und dies auch in beiden Versuchsjahren. Der Harnstoffgehalt der Milch ist in Kombination mit dem Milchproteingehalt ein guter Indikator für die Versorgungslage der Tiere mit Energie und Protein. In den beiden Versuchsjahren lag der Proteingehalt in der Milch sowohl bei der Verfütterung von reiner Maissilage und MBS auf relativ niedrigem Niveau. Die Zunahme der Harnstoffkonzentration in der Milch zeigte somit eine Energiemangelsituation an, die dazu führte, dass der geringfügig höhere

Proteingehalt der MBS nicht verwertet werden konnte. Dies wurde insbesondere in 2017 deutlich als keine leistungsbezogene tierindividuelle Kraftfuttergabe mehr erfolgte.

Die Gewichtsveränderungen in der Phase der MBS-Fütterung deuten auf die Aktivierung von Körperreserven hin, allerdings konnte dies bei Betrachtung der BCS-Werte nur für die MBS-Fütterung in 2017 bestätigt werden. Zudem ist die Höhe der ermittelten Gewichtsreduktion bei Berücksichtigung der Messgenauigkeit der Waage – durch die Messung während der Bewegung des Tieres beim Durchlaufen der Waage ist der Fehler relativ groß – zu vernachlässigen. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die MBS keinen unmittelbaren Effekt auf die Gewichtsentwicklung hatte.

Die widersprüchlichen Aussagen, die sich aufgrund des Milchharnstoffgehaltes und der Entwicklung des BCS ergaben, wären in weiteren Untersuchungen abzuklären.

5.3.1.3 Auswirkungen der MBS auf die Tiergesundheit

Um die Auswirkungen der Verfütterung auf die MBS auf die Tiergesundheit in möglichst vielen Bereichen zu erfassen, wurden ganz unterschiedliche Indikatoren herangezogen:

Das Lahmheitsgeschehen kann in hohem Maße durch die Fütterung beeinflusst werden (Ulbrich et al., 2004), deshalb wurde das Laufverhalten der Tiere beurteilt. Obwohl die Tiere sich in einem leichten Energiedefizit befanden, wurden keine Auswirkungen auf die Klauengesundheit und damit das Lahmheitsgeschehen registriert.

Stehen Ressourcen nur eingeschränkt zur Verfügung kommt es zu agonistischem Verhalten zwischen den Tieren, das bei behornten Kühen auch zu einer Zunahme der Verletzungen führen kann. Auch bei besonders attraktiven Futtermitteln kann es zu verstärkten Auseinandersetzungen kommen (Huzzey et al., 2013). In unseren Versuchen kam es in den beiden Versuchsjahren zu unterschiedlichen Ergebnissen. Da die eigentliche Futteraufnahme aber nicht differierte, ist davon auszugehen, dass andere Faktoren die Auseinandersetzungen bedingt haben könnten. Die Herden waren ja nicht stabil, so dass es durch Ein- oder Umgruppierungen vermehrt Rangauseinandersetzungen gegeben haben kann, die ursächlich nichts mit der angebotenen Futterration zu tun hatten.

Stoffwechselstörungen, die zu Durchfallanzeichen führen, können eine stärkere Verschmutzung der Tiere herbeiführen. In den Versuchen von Williams et al. (1984) zeigten die Bullen, die mit Kidneybohnen gefüttert wurden, schwere Durchfallsymptome, die innerhalb kurz Zeit verschwanden als die Bohnenkerne abgesetzt wurden. Auch bei diesem Indikator ließen sich keine Auswirkungen der MBS in unseren Versuchen feststellen, allerdings waren bei sehr vielen Tieren die beurteilten Körperteile sehr verschmutzt. Zum einen könnte der relative kurze Zeitraum der Fütterungsphasen – 14 Tage für die Futterumstellung bevor mit der Datenerhebung begonnen wurde – dazu beigetragen haben, zum anderen fanden die Versuche im ersten Quartal des Jahres statt. Der Fütterungsbereich ist im Versuchsstall nur über einen planbefestigten Laufhof zu erreichen, so dass die Verschmutzungen auch witterungsbedingt sein konnten.

Eine erhöhte Zellzahl in der Milch ist ein Hinweis auf ein verstärktes Mastitisgeschehen. Dabei gilt es die Euterviertelebene zu berücksichtigen. Deswegen wurde sowohl die Zellzahl im Gesamtgemelk als auch ein indirektes Verfahren zur Abschätzung der Viertelzellzahl, der CMT, genutzt. In beiden Versuchsjahren konnten keine Effekte der MBS-Fütterung auf die Zellzahlen des

Gesamtgemelks registriert werden, wobei das Zellzahlniveau der Herden grundsätzlich als sehr niedrig einzustufen war.

Während die Zellzahl etwas über die Abwehrsituation aussagt, in der sich die Kuh befindet, kann die Messung der elektrischen Leitfähigkeit der Milch auch Permeabiltätsveränderungen des Gewebes aufzeigen, die nicht bakteriell bedingt sein müssen (Barth & Kraetzl, 2000). Im Jahr 2016 lag die elektrische Leitfähigkeit in der Phase der Maissilagefütterung zwar über der in der MBS-Phase und auch die Zahl der auffälligen Euterviertel war erhöht, aber dies bestätigte der Versuch im Jahr darauf nicht.

Auch die Häufigkeiten des Auftretens klinischer Veränderungen im Viertelanfangsgemelk, die eindeutig auf eine Mastitis hindeuten, waren in beiden Versuchsjahren unbeeinflusst von der vorgelegten Ration, so dass abschließend festgehalten werden kann, dass die MBS weder positive noch negative Wirkungen auf die Eutergesundheit der Versuchstiere hatte.

5.3.1.4 Fettsäuremuster in der Milch

Aufgrund des geringen Probenumfangs wurde auf eine tiefgreifende statistische Analyse des Fettsäuremusters in der Milch verzichtet. Der Anteil langkettiger Fettsäuren in der Milch von Rindern stammt aus dem Depotfett, der Leber und aus dem Futter (Bruckmaier & Hammon, 2015), wobei die im Futter enthaltenen Fettsäuren oft Umbauprozessen unterliegen. Beim direkten Vergleich von MBS und reiner Maissilage konnten nur bei wenigen Fettsäuren Unterschiede festgestellt werden, die sich aber nicht in der Milch wiederfanden. Dabei ist zu beachten, dass die beiden Futtermittel Bestandteil einer TMR waren, deren andere Komponenten ebenfalls zum Fettsäureangebot beitragen. Um das zu berücksichtigen, wurden in 2017 die TMR in die Analyse einbezogen und es zeigten sich tatsächlich Unterschiede in den Rationen, die Mais- oder MBS enthielten, die sich dann auch in der Milch wiederfanden. Allerdings ergaben sich insgesamt keine Erhöhungen der Anteile der erwünschten ungesättigten Fettsäuren beim Einsatz der MBS. Ob dafür nur die relativ geringen Bohnenanteile verantwortlich sind, wäre in weiteren Untersuchungen abzuklären.

5.3.2 Einsatz von Mais-Bohnen-Silage in der Mastschweinefütterung

Die Ergebnisse zur Mastleistung, Schlachtkörperqualität und Fleischqualität zeigen im Wesentlichen Werte, wie sie in der ökologischen Schweinemast zu erwarten waren (Brandt et al. 2010).

Die Muskelfleischanteile bewegen sich auf dem Niveau, das dem eher extensiven Fütterungsregime entspricht.

Die mittlere Leitfähigkeit deutlich unter 6 zeigt das Fehlen jeglicher PSE-Kondition. Der pH24-Wert zeigt ausnahmslos das Fehlen von DFD-Konditionen. Diese Tatsachen werden zusätzlich durch die Größenordnungen der L-, a- und b-Werte der Fleischfarbe gestützt, welche die bei Schweinefleisch gewünschte farbliche Ausprägung zeigen.

Dabei gab es mit Ausnahme des Grundfutterverbrauchs in der Vormast keine signifikanten Unterschiede zwischen den Grundfuttergruppen. Der Verbrauch in der Vormast war signifikant geringer, wenn Mais-Bohnen-Silage gefüttert wurde, was auf eine geringere Schmackhaftigkeit der Mais-Bohnen-Silage hindeutet und auf erhöhte Tanningehalte zurückzuführen sein könnte. Im Gesamtfutterverbrauch zeigten sich allerdings keine Unterschiede. Die Mais-Bohnen-Silage Gruppen scheinen demnach nur eine längere Gewöhnungsphase an die Silage benötigt zu haben.

Das allgemeine IMF-Niveau ist vergleichbar mit Ergebnissen aus einem früheren Trenthorster Mastversuch mit lang gemästeten Sattelschweinen, Piétrain x Sattelschwein und Kreuzungstieren aus (Piétrain x Duroc) x (Deutsche Landrasse x Deutsches Edelschwein), bei denen IMF-Gehalte von 2,64, 2,57 und 3,11 % gefunden wurden (Schwalm et al. 2013). Der statistisch signifikant höhere IMF-Gehalt in der Mais-Bohnen-Silage-Gruppe ist biologisch zurzeit nicht erklärbar, und der absolute Unterschied zwischen den Fütterungsgruppen (0,33 %punkte) war dabei ähnlich groß wie die Unterschiede zwischen den oben angeführten Herkünften

Die Fraktionierungen der gesättigten (SFA), einfach-ungesättigten (MUFA) und mehrfach-ungesättigten Fettsäuren (PUFA) fallen in den zu erwartenden Größenordnungen aus.

Hinsichtlich der Integumentschäden treten in der Endmast signifikant häufiger Verletzungen in den Bereichen „Kopf bis Schulter“ und „Schulter bis Flanke“ bei Tieren auf, die mit Mais-Bohnen-Silage gefüttert wurden. Dies deutet auf eine weniger zufriedenstellende Beschäftigung der Mais-Bohnen-Silage Gruppen im Vergleich zur Klee-Gras-Silage Gruppen hin.

Mögliche Auswirkungen der in Bohnen gewöhnlich enthaltenen antinutritiven Inhaltsstoffe können nicht ausgeschlossen werden, scheinen aber angesichts des zufriedenstellenden Leistungsniveaus unwahrscheinlich.

Um zu testen ob die täglichen Zunahmen abhängig von der Akzeptanz des Grundfutters sind, die zwischen den Durchgängen variierte, wurde eine Teilauswertung mit den zwei Mais-Bohnen-Silage Gruppen und den zwei Klee-Gras-Gruppen, die den höchsten bzw. niedrigsten Grundfutterverbrauch hatten, gemacht. Diese Auswertung zeigte allerdings keine signifikanten Differenzen, woraus sich erschließen lässt, dass die Tageszunahmen von der Akzeptanz des jeweiligen Grundfutters nicht beeinflusst wurden.

Zusammenfassend ist Mais-Bohnen-Silage durchaus als Raufutter für Mastschweine geeignet, ernährungsphysiologische Vorteile gegenüber Klee-Gras-Silage waren dabei allerdings nicht zu sehen.

5.3.3 Verdaulichkeitsprüfung

Ziel der Untersuchungen zur Prüfung der Verdaulichkeit war die Prüfung, ob aus Mais-Bohnen-Gemengen hergestellte Silagen einen Beitrag zu einer verbesserten Protein- und Energieversorgung von Wiederkäuern leisten können. Zur Beurteilung des Futterwerts der im Rahmen der pflanzenbaulichen Untersuchungen zu diesem Zweck erzeugten Modellsilagen wurde neben der analytischen Untersuchung der Nährstoffgehalte auch die Ermittlung der Verdaulichkeit der Rohnährstoffe vorgenommen. Die hierfür allgemein anerkannte Methodik ist die Prüfung der Futtermittel in Versuchen mit Schafen. Die Untersuchungen zur Bestimmung der Nährstoffverdaulichkeit an Hammeln wurden auf Grundlage der vom Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie herausgegebenen Leitlinien für die Bestimmung der Verdaulichkeit an Wiederkäuern durchgeführt (GfE, 1991). Diese auf langjährigen Erfahrungen basierende weitgehende Standardisierung von methodischen Anforderungen dient der Sicherstellung der Vergleichbarkeit der erzielten Ergebnisse über die einzelne Versuchseinrichtung hinaus (Spiekers et al., 2006).

Die Bestimmung der Nährstoffverdaulichkeit von verschiedenen Silagen als alleiniges Futtermittel an Hammeln wurde im Rahmen des Projekts in 27 einzelnen Versuchen vorgenommen. Geprüft

wurden über vier Anbaujahre hergestellte Silagen, die insgesamt fünf unterschiedliche Bohnensorten enthielten, zu denen sowohl Stangenbohnen als auch Feuerbohnen gehörten. Die in 22 Versuchen verwendeten Silagen wurden als Modellsilagen mit definierten Anteilen an Bohnen von 15, 30 und 45% in der TM hergestellt. Zusätzlich wurden in fünf weiteren Versuchen drei Maissorten geprüft, die als Mischungsanteile in den Mais-Bohnen-Silagen erhalten waren. Der Anbau fand in den ersten drei Jahren ausschließlich am Standort Trenthorst statt. Im letzten Jahr wurde aus Vergleichsgründen jeweils die Hälfte der zur Herstellung der Silagen verwendeten Pflanzen in Trenthorst und in Braunschweig angebaut. Die Ergebnisse der vier Anbaujahre werden nachfolgend gemeinsam bewertet.

Ausgehend von Orientierungswerten für Maissilagen zum Einsatz in der Wiederkäuerernährung sind in Maissilagen 300 bis 380 g Trockenmasse kg^{-1} Maissilage empfehlenswert. Die gleiche Untergrenze gilt auch Grassilagen (LfL, 2019). Es kann angenommen werden, dass dieser Wert zur Orientierung auch für Mais-Bohnen-Silagen mit einem erheblichen Maisanteil geeignet ist. Im Mittel aller Silagen wurde ein Wert von 286 g kg^{-1} TSk ermittelt. Dabei lagen die Ergebnisse in den ersten beiden Anbaujahren im Mittel aller Silagen mit 262 und 251 g kg^{-1} TSk und auch bei den einzelnen Silagen durchgängig unter 300 g kg^{-1} TSk. In den Anbaujahren drei und vier befanden sich sowohl die Mittelwerte mit 299 und 340 g kg^{-1} TSk als auch der überwiegende Teil der Einzelwerte im empfohlenen Rahmen.

Der XP-Gehalt der im gesamten Versuchszeitraum eingesetzten Mais-Bohnen-Silagen betrug im Mittel 94 g kg^{-1} TSk, der mittlere XP-Gehalt der Maissilagen 73 g kg^{-1} TSk. Damit entsprach der XP-Gehalt der Mais-Bohnen-Silagen dem 1,3fachen der Maissilagen. Diese Erhöhung des XP-Gehalts war in allen Anbaujahren zu beobachten und variierte zwischen dem 1,1fachen und dem 1,6fachen des jeweils korrespondierenden Werts der Maissilagen.

Der Bohnenanteil in den Silagen führte im Vergleich zu den ausschließlich Mais enthaltenden Silagen zu einem signifikanten Anstieg der DOS und auch der DTM, während die DXL und die DXF keine entsprechenden Differenzen aufwiesen (Tabelle xx). Der ME- und NEL-Gehalt der Mais-Bohnen-Silagen lag im Mittel mit 10,2 und 6,1 MJ kg^{-1} TSk sowohl für Bohnenanteile von 15, 30 und 45% signifikant oberhalb der Ergebnisse der Maissilagen mit 9,7 und 5,7 MJ kg^{-1} TSk. Hierbei ist zu beachten, dass diese Ergebnisse weit unterhalb des für Maissilagen herausgegebenen Orientierungswerts (LfL, 2019) von >10,9 MJ kg^{-1} ME und >6,5 MJ kg^{-1} NEL in der Trockenmasse lagen. Die Ergebnisse des Anbaujahrs 2018 in Trenthorst zeigten, dass auch bei annährend dem Orientierungswert entsprechendem Energiegehalt der Maissilage das Hinzufügen von Bohnenanteilen von 15 und 30% zu ansteigenden Energiegehalten führten, wenn auch die entsprechenden Differenzen nicht statistisch abzusichern waren (Tab. 81).

Tab. 81: Vergleich der an Hammeln ermittelten Verdaulichkeit der Trockenmasse, der organischen Substanz, des Rohfetts und der Rohfaser und des kalkulierten Gehalts an metabolischer Energie und Nettoenergie-Laktation von Mais-Bohnen-Silagen aus unterschiedlichen Bohnenarten gegenüber Maissilage (als Kontrolle) aus allen Erntejahren.

	Bohnenanteil (% in der TM)	**LSMean**	**p-Wert***
		g kg^{1}	
DTM	Maissilagen	635	
	15	680	0,004
	30	693	<0,001
	45	692	0,001
DOS	Maissilagen	657	
	15	699	0,006
	30	714	<0,001
	45	715	<0,001
DXL	Maissilagen	692	
	15	706	0,377
	30	689	0,778
	45	637	1,000
DXF	Maissilagen	502	
	15	517	0,515
	30	552	0,108
	45	547	0,173
		MJ kg^{1} TSk	
ME	Maissilagen	9,7	
	15	10,2	0,013
	30	10,3	0,003
	45	10,2	0,019
NEL	Maissilagen	5,7	
	15	6,1	0,012
	30	6,2	0,002
	45	6,1	0,015

* P<0,05 kennzeichnet signifikante Differenzen der LsMeans von Silagen mit einem Bohnenanteil von 15, 30 und 45% gegenüber Maissilagen (Dunnett-Test)

Die Prüfung des Einflusses der Bohnenart auf die den Energiegehalt von Futtermitteln maßgeblich beeinflussende DOS wies signifikante Differenzen zwischen Maissilage und Bohnen auf (p<0,001) (Tab. 82). Dabei lagen die DOS der Maissilagen mit 657 g kg^{-1} deutlich unterhalb der DOS für Stangen- und Feuerbohnen von 709 und 707 g kg^{-1}. Der ME- und NEL-Gehalt der Silagen mit den verschiedenen Bohnenarten lag im Mittel mit 10,2 und 6,2 MJ kg^{-1} TSk signifikant oberhalb der Ergebnisse der Maissilagen mit 9,7 und 5,7 MJ kg^{-1} TSk. Differenzen zwischen Stangen- und Feuerbohnen lagen hinsichtlich der Mittelwerte der genannten Kennzahlen nicht vor.

Tab. 82: Vergleich der an Hammeln ermittelten Verdaulichkeit der Trockenmasse, der organischen Substanz, des Rohfetts und der Rohfaser und des kalkulierten Gehalts an metabolischer Energie und Nettoenergie-Laktation von Mais-Bohnen-Silagen mit einem Bohnenanteil von 15 bis 45% in der TM aus unterschiedlichen Bohnenarten gegenüber Maissilage (als Kontrolle) aus allen Erntejahren.

	Bohnenart/Maissilage	**LSMean**	**p-Wert***
		g kg^{1}	
DTM	Maissilagen	635	
	Stangenbohnen**	688	<0,001
	Feuerbohnen***	688	0,001
DOS	Maissilage	657	
	Stangenbohnen	709	<0,001
	Feuerbohnen	707	0,001
DXL	Maissilagen	692	
	Stangenbohnen	664	0,985
	Feuerbohnen	719	0,108
DXF	Maissilagen	502	
	Stangenbohnen	531	0,217
	Feuerbohnen	555	0,077
		MJ kg^{1} TSk	
ME	Maissilagen	9,7	
	Stangenbohnen	10,2	0,013
	Feuerbohnen	10,3	0,003
NEL	Maissilagen	5,7	
	Stangenbohnen	6,1	0,012
	Feuerbohnen	6,2	0,002

* P<0,05 kennzeichnet signifikante Differenzen der LsMeans von Silagen mit einem Bohnenanteil unterschiedlicher Bohnenarten von 15, 30 und 45% gegenüber Maissilagen (Dunnett-Test)
** Sorten Tarbais, Cobra und Anellino verde verwendet in unterschiedlichen Anbaujahren
*** Sorten Preisgewinner und Weiße Riesen verwendet in unterschiedlichen Anbaujahren

Die Bewertung des Effekts der Bohnensorte auf die für den Energiegehalt bedeutsame DOS wies signifikante Differenzen zwischen Maissilage und Bohnensorten Tarbais (p<0,001), Preisgewinner (p=0,039) und Weiße Riesen (p=0,002) auf (Tab. 83). Der ME- und NEL-Gehalt der Silagen mit den Bohnensorten Tarbais und Weiße Riesen betrug im Mittel mit 10,4 und 6,3 MJ kg^{-1} TSk und lag damit signifikant oberhalb der Ergebnisse der Maissilagen mit 9,7 und 5,7 MJ kg^{-1} TSk. Differenzen im Gehalt an ME und NEL zwischen den Bohnensorten Preisgewinner, Cobra und Anellino verde im Vergleich zu Maissilagen lagen in der aktuellen Untersuchung nicht vor.

Tab. 83: Vergleich der an Hammeln ermittelten Verdaulichkeit der Trockenmasse, der organischen Substanz, des Rohfetts und der Rohfaser und des kalkulierten Gehalts an metabolischer Energie und Nettoenergie-Laktation von Mais-Bohnen-Silagen mit einem Bohnenanteil von 15 bis 45% in der TM aus unterschiedlichen Bohnensorten gegenüber Maissilage (als Kontrolle) aus allen Erntejahren.

	Bohnensorte/Maissilage	**LSMean**	**p-Wert***
		g kg[1]	
DTM	Maissilagen	635	
	Tarbais	699	<0,001
	Preisgewinner	679	0,039
	Cobra	659	0,376
	Weiße Riesen	697	0,002
	Anellino verde	660	0,371
DOS	Maissilagen	657	
	Tarbais	719	<0,001
	Preisgewinner	701	0,033
	Cobra	687	0,244
	Weiße Riesen	713	0,005
	Anellino verde	683	0,324
DXL	Maissilagen	692	
	Tarbais	667	0,999
	Preisgewinner	688	0,907
	Cobra	677	0,971
	Weiße Riesen	751	0,017
	Anellino verde	641	1,000
DXF	Maissilagen	502	
	Tarbais	537	0,334
	Preisgewinner	517	0,732
	Cobra	523	0,694
	Weiße Riesen	592	0,037
	Anellino verde	508	0,832
		MJ kg[1] TSk	
ME	Maissilagen	9,7	
	Tarbais	10,4	0,001
	Preisgewinner	10,1	0,256
	Cobra	10,0	0,419
	Weiße Riesen	10,4	0,023
	Anellino verde	10,0	0,444
NEL	Maissilagen	5,7	
	Tarbais	6,3	<0,001
	Preisgewinner	6,0	0,206
	Cobra	5,9	0,423
	Weiße Riesen	6,2	0,024
	Anellino verde	5,9	0,450

* P<0,05 kennzeichnet signifikante Differenzen der LsMeans von Silagen mit einem Bohnenanteil unterschiedlicher Bohnensorten von 15, 30 und 45% gegenüber Maissilagen (Dunnett-Test)

6 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Ergebnisse der pflanzenbaulichen Untersuchungen zeigen, dass Mais-Bohnen-Gemenge erfolgreich etabliert und angebaut werden können. Die Bohneerträge werden maßgeblich durch die Bohnenart, die Bohnensorte und den Saatzeitpunkt bestimmt. Stangenbohnen haben das Potential höhere Bohnenerträge zu realisieren als Feuerbohnen. Unter norddeutschen Anbaubedingungen haben sich mittelspäte bis späte Stangenbohnensorten mit einer guten Frühjahrsentwicklung als geeignet erwiesen. Die zeitgleiche Aussaat von Mais und Bohnen wie am konventionell bewirtschafteten Versuchsstandort Braunschweig mit der zeitversetzten Aussaat verglichen, zeigten die höheren Bohnenerträge. Ebenfalls können Mischsaaten von Mais und Bohnen erfolgreich angebaut werden. Die verschiedenen Anbauverfahren kommen – wie auch die Betriebsbefragung ergeben hat - bereits in der Praxis zum Einsatz, wobei standort- und betriebsspezifische Anpassungen vorgenommen werden. Für den Anbau werden bereits von einigen Saatgutfirmen Aussaatmischungen für den Mais-Bohnen-Gemengeanbau angeboten.

Die Ergebnisse der Silierversuche haben gezeigt, dass Mais-Bohnensilagen mit hoher Qualität erzeugt werden können. Dies wird ebenfalls durch die Ergebnisse der Betriebsbefragung gestützt. Sollten im Vorfeld der Silageerzeugung ungünstige Bedingungen für eine gute Silierbarkeit absehbar sein, so gibt es zahlreiche Siliermittel, die zusätzlich eingesetzt werden können, um diese abzufedern. Insbesondere im Bezug auf den wichtigen Parameter einer guten aeroben Stabibilität nach Öffnung von Silagen hat sich das im Versuch verwendete Siliermittel zur Förderung der heterofermentativen Gärung bewährt.

Mit allen geprüften Sorten von Stangen- und Feuerbohnen konnten in den Gemengen höhere Rohproteingehalte erzielt werden als mit reinen Maissilagen. Die Silagen mit der Stangenbohne Tarbais wiesen über die Jahre die höchsten Rohproteinsteigerungen auf. Die Gehalte an antinutritiv wirksamen Inhaltsstoffen in Stangen- und Feuerbohnen sind von der Sorte abhängig. Mit der weißblühenden und weiße Samen produzierenden Sorte Tarbais konnten Silagen erstellt werden, die geringste Gehalte an Lektinen aufwiesen und α-Galactoside nicht mehr nachweisbar waren. Zudem werden Lektine und α-Galactoside in Silagen so stark abgebaut, dass sie für die Verfütterung an Rinder und Schweine keine Rolle spielen. Ein Einfluss der Tanningehalte der Silagen in der Schweinefütterung kann nicht ausgeschlossen werden, ist aber aus den vorliegenden Daten nicht abschließend zu bewerten. In der Fütterung von Rindern sollten die durch Bohnen erhöhten Tanningehalte in den Silagen eher zu positiven Effekten führen.

Der relativ geringe Anteil von Stangenbohnen führte bei der Verfütterung von Mais-Bohnen-Silage an Milchkühe zu keinen negativen Effekten bezüglich der Futteraufnahme, der Gesundheit und der Leistung der Tiere. Der Einsatz einer solchen Silage ist in der Milchviehfütterung also möglich und könnte sich bei einer adäquaten Energieversorgung auch positiv auf die Milcheiweißgehalte auswirken. Für Silagen mit hohen Bohnenanteilen, die auch hohe Gehalte an antinutritiven Inhaltsstoffen aufweisen, kann aus den vorliegenden Ergebnissen allerdings keine Empfehlung abgeleitet werden.

Im Bereich der Schweinefütterung zeigte die Mais-Bohnen Silage zwar keine Vorteile im Vergleich zur Kleegrassilage, aber auch keine Nachteile. Sie ist somit als weitere Option zu sehen, die in den Öko-Richtlinien geforderte Raufuttergabe an Schweine umzusetzen, und erweitert damit den Handlungsspielraum der Schweinehalter.

Die im Rahmen des Projekts gewonnenen Ergebnisse liefern einen Beitrag zur Einschätzung der Möglichkeiten des Einsatzes von Mais-Bohnen-Gemengen als wirtschaftseigenem Futter. Dabei wurden neue Erkenntnisse zur Protein- und Energieversorgung von in landwirtschaftlichen Betrieben gehaltenen Wiederkäuern durch Mais-Bohnen-Silagen gewonnen, die als Hinweise für deren praktische Anwendung dienen können. Zusätzlich betreffen diese Erkenntnisse auch den Bereich der Diversifizierung von Wiederkäuerrationen durch die Einführung einer weiteren, bisher selten genutzten Futterpflanze. Es war im Mittel ein deutlicher Anstieg der Rohproteinkonzentration und auch der Verdaulichkeit der organischen Substanz in den Mischsilagen erkennbar, was demnach sowohl bei der Versorgung mit Protein als auch mit Energie gegenüber dem ausschließlichen Einsatz von Maissilagen zu positiven Entwicklungen führt, die aus Ernährungssicht für eine praktische Umsetzung sprechen. Zu beachten ist dabei allerdings das Auftreten einer deutlichen Variabilität der aus den einzelnen Versuchen resultierenden Ergebnisse, die offensichtlich von den individuellen Eigenschaften den verwendeten Sorten wie auch vom Anbaujahr abhängig ist.

7 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten und tatsächlich erreichten Ziele

Geplante Ziele	Erreichte Ziele
AP 1: Durchführung von pflanzenbaulichen Exaktversuchen an den Standorten Trenthorst (2014-2018) und Braunschweig (2015-2018) zur Optimierung des Anbauverfahrens (Bohnenarten und –sorten, Saatdichte der Bohnen, Aussaatzeit der Bohnen sowie Untersaaten.	Alle Versuche wurden wie geplant angelegt und durchgeführt. Aufgrund von notwendigen Bohnennachsaaten am Standort Braunschweig oder späte Aussaaten am Standort Trenthorst aufgrund zu feuchter Witterung bzw. aufgrund von Sturmschäden konnten nicht in jedem Jahr auswertbare Ergebnisse erzielt werden. Dennoch liegen für alle Feldversuche mindestens 3-jährige Versuchsergebnisse vor, die eine solide Auswertung ermöglicht haben. Dabei zeigen die Ergebnisse, dass Mais-Bohnengemenge unter Berücksichtigung der Sortenwahl und des Aussaatzeitpunktes erfolgreich etabliert und angebaut werden können.
AP 2:Silierung des Sortenversuchs Trenthorst, des Saatzeitenversuch Braunschweig, Modellsilagen von Trenthorst und Braunschweig (nur 2018), Siliermitteltest mit Siliergut von Braunschweig bzw. Trenthorst (nur 2016).	Von allen Versuchsansätzen konnten erfolgreich Laborsilagen mit den im Vorfeld festgelegten Siliermitteln angesetzt werden. Das Erntegut wurde auf Gärfähigkeit untersucht und von den Silagen wurden die Gärprodukte und Gärqualität bestimmt. Nach Öffnung der Silagen erfolgte dann abschließend deren Prüfung auf aerobe Stabilität. Darüber hinaus wurden sowohl im Erntegut als auch in den Silagen Inhaltsstoffe der erweiterten Weender Futtermittelanalyse bestimmt.
AP 3: Futtermittelbewertung des Sortenversuchs, des Aussaatstärkenversuchs, der Modellsilagen am Standort Trenthorst und Braunschweig anhand von nutritiven und antinutritiven Inhaltsstoffen. Untersuchung aller Futtermittel der Tierversuche.	Aus allen Versuchen wurden Proben von Erntegut und Silagen auf wertgebende Inhaltsstoffe untersucht. Die Proben des Sortenversuchs und der Modellsilagen am Standort Trenthorst wurden auf ihre Gehalte an sekundären Inhaltsstoffen untersucht. Die im Akzeptanzversuch an Milchkühen und dem Fütterungsversuch mit Mastschweinen eingesetzten Futterrationen wurden auf Rohnährstoffe und Fettsäuremuster analysiert. In Milchproben wurden Fettsäuremuster be-

	stimmt, in Schweinefleischproben intramuskuläre Fettgehalte und im Rückenspeck Fettsäuremuster.
AP 4: Überprüfung der Akzeptanz des Futtermittels MBS in der Milchviehfütterung .	Es konnten für den Bereich eines relativ geringen Anteils von MBS in der Gesamtration für Milchkühe keine negativen Auswirkungen auf die Leistung und Gesundheit der Tiere beobachtet werden. Grundsätzlich wäre noch zu klären, wie sich dies bei höheren Bohnenanteilen verhält.
AP 5: Fütterungsversuch mit einer on-top mit MBS oder Kleegrassilage ergänzten Öko-Futterration an Mastschweinen.	Fütterungsversuch mit 15% Anteil Stangenbohne Tarbais wurde erfolgreich durchgeführt.
AP 6: Ermittlung der Verdaulichkeit der Nährstoffe in Mais-Bohnen-Silagen mit unterschiedlich hohen Anteilen an Bohnen und ausgewählten Bohnensorten im Hammelversuch sowie die Ermittlung des energetischen Futterwerts der untersuchten Silagen.	Untersucht wurden 22 Mischsilagen aus 4 Anbaujahren mit Bohnenanteilen von 15, 30 und 45% in der TM, insgesamt 5 Bohnensorten (Stangen- und Feuerbohnen), weiterhin 3 Maissorten, die als Mischungsanteile in den Mais-Bohnen-Silagen enthalten waren.
AP 7: Durchführung einer Literaturauswertung für die verschiedenen Schwerpunkte der Arbeitspakete.	Eine Literaturdatenbank wurde während des Projektzeitraumes sowohl für wissenschaftliche Publikationen als auch für „graue“ Literatur aufgebaut und stets ergänzt. Die Auswertung der Literatur erfolgte durch die jeweiligen Arbeitspakete und wurde für die Erstellung des Schlussberichtes als auch für die Anfertigung von Veröffentlichungen genutzt.
AP 8: Wissenstransfer durch Feldtage am Standort Trenthorst, Teilnahme an wissenschaftlichen Tagungen und Praxisveranstaltungen sowie Veröffentlichungen.	Am Standort Trenthorst wurden insgesamt 3 Feldtage speziell zum Anbau von Mais-Bohnen-Gemenge (2014, 2015 und 2016) durchgeführt. Die Ergebnisse wurden, wie in den Zwischenberichten dokumentiert, auf zahlreichen wissenschaftlichen als auch praxisorientierten Veranstaltungen präsentiert. Ebenso wurden die Ergebnisse in zahlreichen Veröffentlichungen publiziert (vgl. Kap. 10.

8 Zusammenfassung

Zur Bewertung des pflanzenbaulichen Potentials des Mais-Bohnen-Gemengeanbaus wurden am ökologisch bewirtschafteten Standort Trenthorst Feldversuche zur Sortenwahl, Saatdichte der Bohnen und zu Untersaaten in den Jahren 2014 bis 2018 durchgeführt. Dabei wurden die Bohnen zeitlich verzögert, d.h. zum Vierblattstadium des Mais, nach erfolgter mechanischer Unkrautregulierung, gelegt. Die Gesamt-Trockenmasseerträge im Sortenversuch zeigten in allen Jahren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Mais-Reinsaaten und den Mais-Bohnen-Gemengen. Die Bohnenerträge variierten stark zwischen den Jahren, wobei bei guter Wasserversorgung höhere Bohnenerträge erzielt wurden. Die mittelspäte Stangenbohnensorte Tarbais zeigte in allen Jahren die höchsten Bohnenerträge, gefolgt von den spätreifen Sorten Anellino verde und Grünes Posthörnchen. Die Feuerbohnensorten Preisgewinner und Weiße Riesen sowie die mittelfrühe Stangenbohnensorte Cobra wiesen dagegen die geringsten Bohnenerträge auf. Den höchsten Bohnenertrag verzeichnete im Jahr 2015 die Sorte Tarbais mit 19,7 dt TM ha^{-1}, was einem Anteil von 13,4% am Gesamtertrag entsprach. Die Sorte Tarbais wies zudem einen hohen Hülsenanteil von bis zu 58% auf, der nur bei der früher abreifenden Sorte Cobra noch höher ausfiel. Der Aussaatstärkenversuch, in dem die Bohnen-Saatdichte in den Stufen 6, 9 und 12 Körner m^{-2} in Reinsaat und im Gemenge mit Mais variiert wurde, zeigte, dass das Ertragspotential der Bohnen bei 40–90 dt TM ha^{-1} liegt und damit deutlich niedriger ist als beim Mais. Im Gemengeanbau wies die Stangenbohnesorte Tarbais höhere Erträge auf als die Feuerbohnensorte Preisgewinner. Mit zunehmender Saatdichte der Bohnen erhöhte sich der Bohnenertrag, wobei die Zunahme von 9 auf 12 Körner m^{-2} nicht mehr signifikant war und unter 10% lag. Während der Gesamtertrag durch die unterschiedlichen Saatdichten der Bohnen nicht beeinflusst wurde, nahm der Maisertrag signifikant ab. Im Untersaatenversuch wurden die zwei Untersaaten, bestehend aus Erdklee und Weidelgras sowie Futterchicoree und Weidelgras, geprüft. Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag auf der Biomasseentwicklung der Untersaaten und dem Effekt auf die Unkrautunterdrückung. Die Untersaaten wurden in allen Jahren erfolgreich etabliert, wobei die Höhe der Untersaatbiomasse stark durch die Witterung, aber auch durch die Konkurrenz der Hauptfrüchte beeinflusst wurde. Darüber hinaus waren die Untersaatbiomassen in den Gemengen, mit Ausnahme des recht trockenen Jahres 2016, mit denen der Maiskontrollen vergleichbar. Hinsichtlich der Untersaatbiomasse war die Untersaat mit Erdklee der Untersaat mit Futterchicoree leicht überlegen. Die höchsten Unkraut-Biomassen wurden erwartungsgemäß in der Kontrollvariante ohne Untersaat gefunden. Beide Untersaatvarianten führten mit Ausnahme des Jahres 2015 zu einer deutlichen Reduktion der Unkraut-Biomasse.

Beim Saatzeitenversuch am konventionell bewirtschafteten Standort Braunschweig war unabhängig des Saattermins und des Systems der Saatreihengestaltung in allen Untersuchungsjahren die Pflanzenentwicklung von Mais und Bohne arttypisch mit witterungsabhängiger Blütenbildung und Reife. Das Auftreten einer Wachstumsstagnation der einen Pflanzenart bedingt durch eine zu starke Konkurrenz der anderen Pflanzenart wurde zu keiner Zeit festgestellt. Die Reinsaat M11 erzielte im Mittel der Untersuchungsjahre mit 218,8 dt TM ha^{-1} den signifikant höchsten Ertrag, gefolgt von den Prüfgliedern Reinsaat M8 mit 200,7 dt TM ha^{-1} und den Mais-Bohnen-Gemengen, von welchen GP Früh mit 184,4 dt TM ha^{-1} am besten abschnitt. Auf die Höhe der Gemengeerträge hatten der Bohnensaattermin und die Bohnensorte Einfluss. Je früher das Bohnenwachstum einsetzte und je massenwüchsiger die Bohnensorte war, umso geringer fiel der Gesamtertrag aus,

allerdings bei höheren Bohnenertragsanteilen. Dies betraf dann insbesondere die Prüfglieder TA Früh und TA Früh Misch, die mit 170,8 dt TM ha^{-1} bzw. 163,4 dt TM ha^{-1} die signifikant niedrigsten Erträge aufwiesen. Unter dem Gesichtspunkt möglichst hohe Bohnenertragsanteile zu realisieren, bietet sich neben dem alternierenden Saatverfahren ebenfalls das einreihige Mischverfahren von Mais und Bohne in einer Reihe an. In den Mais-Bohne-Gemengen lagen gegenüber der Reinsaat Mais die Rohproteingehalte im Erntegut aller Jahre minimal mit 0,8% und maximal mit 34,8% höher, wobei die Gemenge mit höheren Bohnenertragsanteilen in der Regel auch höhere Gehaltszuwächse verzeichneten. Dies wirkte sich insgesamt positiv auf die Rohproteinerträge der Gemengeprüfglieder (12,9 bis 13,6 dt TM ha^{-1}) aus, auch wenn der Ertrag der Reinsaat Mais mit 14,6 dt TM ha^{-1} nicht immer signifikant am höchsten lag. Ein entgegengesetzter Effekt setzte beim Stärkegehalt mit einer Abnahme minimal mit 0,5% und maximal mit 16,5% ein. Folglich sanken die Stärkeerträge der Gemengeprüfglieder (57,4 bis 71,0 dt TM ha^{-1}) gegenüber der Reinsaat mit 86,6 dt ha^{-1} signifikant massiver ab.

Zur Erzeugung qualitativ guter Silagen der Mais-Reinsaaten und Mais-Bohnen-Gemenge von Sorten- und Saatzeitenversuch als auch der Modellsilagen mit gezielt eingestellten Bohnenanteilen von 15, 30 und 45% auf Trockenmassebasis waren die Ausgangsvoraussetzungen des Ernteguts hinsichtlich des Vergärbarkeitskoeffizienten und insbesondere der Gärschädlinge Hefen und Schimmel nicht immer genügend. Trotz dessen fand bei allen Laborsilagen immer eine gute Ansäuerung statt und die bei Öffnung der Silagen erwünschten pH-Werte von 3,7 bis 4,6 in Abhängigkeit des Trockensubstanzgehaltes und der Behandlung ohne (Kontrolle) und mit Verwendung eines biologischen Siliermittels (Zusatz) stellten sich ein. Auch lagen die nicht vermeidbaren Gärverluste durchgehend in einer zu erwartenden Spannbreite von 3,9 bis 8,2%, wobei die höheren Verluste beim Zusatz auftraten, welches sich durch eine verstärkte Essigsäuregärung ableiten ließ. Dennoch konnten häufig bei den Kontrollsilagen nicht durchgehend die Hefen in dem Maße eliminiert werden, dass nach Öffnung der Silagen eine aerobe Stabilität von mindestens 3 Tagen erzielt wurde. Mit Einsatz des Siliermittels konnte dann allerdings die Aktivität der Hefen bei allen Silagen permanent soweit eingeschränkt werden, dass immer eine gute aerobe Stabiltät vorhanden war. Im Allgemeinen war die Silierbarkeit und Gärqualität von Mais als auch Mais-Bohnen-Silagen gleichermaßen gegeben.

Die im Sortenversuch erstellten Gemenge mit unterschiedlichen Stangen- oder Feuerbohnensorten erzielten höhere Rohproteingehalte als reine Maissilagen. Die jeweils höchsten Rohproteingehalte wurden in den vier Untersuchungsjahren in den Gemengen mit der Stangenbohne Tarbais erreicht, wobei ein deutlicher Jahreseinfluss festgestellt wurde. Die Erhöhung der Rohproteingehalte im Gemenge mit der Sorte Tarbais variierte von 13% im Jahr 2018 bis zu 25% im Jahr 2014. Die Stärkegehalte in den Mais-Bohnen-Gemengen nahmen im Vergleich zu Maissilagen größtenteils ab. Die Sortenwahl beeinflusste die Gehalte an antinutritiv wirkenden Lektinen ebenso wie das Anbaujahr. So waren diese in den Gemengen mit der Stangenbohne Tarbais in allen Versuchsjahren am geringsten, wobei 2014 und 2018 die geringsten Lektingehalte in den Gemengen aller Sorten festgestellt wurden. Die Gemenge mit buntblühenden und bunte Samen ausbildenenden Stangenbohnen Cobra und Grünes Posthörnchen wiesen in allen Versuchsjahren die höchsten Lektingehalte auf. Es konnte festgestellt werden, das der Silierprozess die Lektingehalte deutlich reduziert. Die in den Silagen vorkommenden Gehalte sind so gering, dass sie kein antinutritiv wirksames Potential mehr aufweisen. Die Tanningehalte lagen zwischen 3,5 und 6,1 g kg^{-1} und veränderten sich durch die Silierung nicht signifikant. Alpha-Galactoside waren in den Gemengen

nur in Spuren nachweisbar und in den Silagen gar nicht mehr. Die Differenzierung der Pflanzenorgane zeigte, dass in den Samen die höchsten Rohproteingehalte und in den Stängeln die geringsten zu finden sind. Die Samen der Stangenbohne Cobra wiesen in allen Versuchsjahren die höchsten Rohproteingehalte auf. Auch die Blätter und Hülsen können hohe Gehalte an Rohprotein aufweisen, die bis zu 22% betragen können. Die Gehalte an sekundären Inhaltsstoffen in den Pflanzenorganen variierten stark. So wurden in den dunklen Samen der Stangenbohnen Cobra und Grünes Posthörnchen die höchsten Lektingehalte nachgewiesen, in den Blättern aller Sorten dagegen die höchsten Tanningehalte. Das α-Galactosid Verbascose wurde nur in den Samen der Stangenbohne Cobra festgestellt. Auch Stachyose wurde mit den höchsten Gehalten in Samen nachgewiesen, in Blättern und Stängeln wurden nur Spuren gefunden. Raffinose hingegen findet sich in Samen und Blättern. Die α-Galactosid-Gehalte sind unabhängig von der Samenfarbe.

Die Rohproteingehalte im Aussaatstärkenversuch unterschieden sich in den Versuchsjahren signifikant. Auch die Saatstärke hatte einen signifikanten Einfluss auf die Gehalte an Rohprotein, so waren sie mit 8 Körnern m^{-2} höher als mit 11 Körnern m^{-2} im reinen Mais. Im Gemenge mit der Stangenbohne Tarbais wurden mit 9 Körnern m^{-2} die höchsten Rohproteingehalte erzielt, mit der Feuerbohne Preisgewinner bei dieser Saatstärke dagegen die geringsten. In den mit 15, 30 und 45% Bohnenanteil gezielt hergestellten Modellsilagen wurden die erwünschten Rohproteinerhöhungen erreicht, wobei sie in Abhängigkeit vom Anbaujahr und der eingesetzten Sorte unterschiedlich stark ausfielen. So wurden im Jahr 2014 und 2015 in den Gemengen mit Stangenbohnen (Tarbais bzw. Cobra) höhere Rohproteingehalte erreicht als mit den Feuerbohnen (Preisgewinner bzw. Weiße Riesen). Von den 2016 erstellten Silagen mit zwei Stangebohnensorten wurden mit Anellino verde höhere Rohproteingehalte erzielt als mit Tarbais. Die 2018 mit Tarbais erstellten Gemenge erreichten nicht die Rohproteingehalte wie die in 2014 und 2016. Auch der Anbauort hatte einen signifikanten Einfluss auf die Höhe der Rohproteingehalte: die am Standort Braunschweig erstellten Gemenge wiesen höhere Rohproteingehalte auf als die am Standort Trenthorst. Die Lektingehalte stiegen mit steigenden Bohnenanteilen im Gemenge an, wobei sie sowohl von der Sorte als auch dem Anbaujahr beeinflusst wurden. Durch die Silierung kam es zu einer deutlichen Reduzierung der Lektine auf Gehalte zwischen 0 und 0,9 g kg^{-1}, dem höchsten gemessenen Wert in der Silage mit 45% der Stangenbohne Cobra. Die Tanningehalte variierten zwischen 2,2 und 4,8 g kg^{-1}. Auswirkungen auf die Verdaulichkeit des Rohproteins bei Silagen mit 45% Bohnenanteil können nicht ausgeschlossen werden. Die α-Galactoside wurden in den Modellsilagen nur in Spuren nachgewiesen oder lagen unterhalb der Nachweisgrenze. Sie spielen damit als antinutritiv wirksame Bestandteile keine Rolle in der Fütterung.

Bei den untersuchten Sorten konnte ein Einfluss der Samenfarbe auf die Lektingehalte festgestellt werden, mit höchsten Gehalten in den buntblühenden und dunkle Samen ausbildenenden Stangenbohnensorten Cobra und Grünes Posthörnchen. Es konnte ein deutlicher Abbau der sekundären Inhaltsstoffe Lektine und α-Galactoside während der Silierung beobachtet werden. Bei den Tanninen war dies nicht der Fall.

Es wurden NIR-Kalibrationen zur Bestimmung der Rohnährstoffe im Erntegut und in den Silagen der Mais-Bohnen-Gemenge erstellt. Die Schätzgenauigkeiten sind für alle Rohnährstoffe als zufriedenstellend einzustufen und können somit für künftige Versuche genutzt werden.

Im Bereich der Milchviehfütterung wurde untersucht, ob der Ersatz des Anteils an Maissilage durch eine Mais-Bohnen-Silage in der Mischration Auswirkungen auf die Futteraufnahme sowie die

Gesundheit und die Leistungsfähigkeit von Milchkühen hat. Dies konnte in zwei Versuchsjahren geprüft werden. Jeweils 70 bzw. 69 Milchkühe zu Beginn bis Mitte der Laktation wurden einbezogen. Dabei erhielten die Tiere in den ersten vier Versuchswochen Maissilage in der Ration, die in den anschließenden vier Wochen durch Mais-Bohnen-Silage ersetzt wurde. Um die Effekte der fortschreitenden Laktation zu berücksichtigen, wurde wiederum eine vierwöchige Fütterung mit Maissliage als Referenz in der Ration durchgeführt. Um die Effekte der Futterumstellung auf die Ergebnisse auszuschließen, wurden lediglich die letzten beiden der jeweils vier Fütterungswochen für die Auswertung herangezogen. Neben den Leistungsdaten wurde eine Vielzahl an unterschiedlichen Indikatoren zur Einschätzung des Tierwohls (BCS, Lahmheitscores, Verschmutzungsgrad, Mastitisindikatoren etc.) erhoben. Die Futteraufnahme wurde auf Gruppenebene bestimmt, während alle anderen Kriterien tierindividuell erfasst wurden. Bis auf den leicht erhöhten Milchharnstoffgehalt zeigten keine der geprüften Indikatoren einen Effekt der Fütterung von Mais-Bohnen-Silage. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Mengenanteile an Stangenbohnen in der Mais-Bohnen-Silage relativ gering waren.

Im Fütterungsversuch mit Mastschweinen führten die on-top Fütterung sowohl der experimentellen Mais-Bohnen-Silage mit 15% Anteil der Stangenbohne Tarbais als auch der Kleegrassilage der Kontrollgruppe zu Mast- und Schlachtleistungen wie sie in der ökologischen Schweinemast zu erwarten sind. Auch die Fleischqualität bewegte sich in einem praxisüblichen Bereich und wurde nicht von der Grundfutterwahl beeinflusst. Der Grundfutterverbrauch war während der Vormast signifikant niedriger, wenn Mais-Bohnen-Silage gefüttert wurde, während sich der Grundfutterverbrauch in der Endmast und während der gesamten Mastdauer nicht unterschied. Die mit Mais-Bohnen-Silage gefütterten Mastschweine scheinen also eine längere Gewöhnungsphase an die Silage benötigt zu haben. Während der Endmast wurden an den mit Mais-Bohnen-Silage gefütterten Tieren signifikant häufiger Verletzungen in den Bereichen „Kopf bis Schulter“ und „Schulter bis Flanke“ beobachtet, was auf eine weniger zufriedenstellende Beschäftigung der Mais-Bohnen-Silage-Gruppen im Vergleich zu den Klee-Gras-Silage-Gruppen hindeutet. Mögliche Auswirkungen der in den Bohnen gewöhnlich enthaltenen antinutritiven Inhaltsstoffe können nicht ausgeschlossen werden, scheinen aber angesichts des zufriedenstellenden Leistungsniveaus unwahrscheinlich. Zusammenfassend ist Mais-Bohnen-Silage durchaus als Grundfutter für Mastschweine geeignet, ernährungsphysiologische Vorteile gegenüber Klee-Gras-Silage waren dabei allerdings nicht zu erkennen.

Zur Beurteilung des Futterwerts der im Rahmen der pflanzenbaulichen Untersuchungen zu diesem Zweck erzeugten Modellsilagen wurde neben der analytischen Untersuchung des Nährstoffgehalts auch die Ermittlung der Verdaulichkeit der Rohnährstoffe an Hammeln in 27 einzelnen Versuchen vorgenommen. Geprüft wurden 22 über vier Anbaujahre hergestellte Silagen, die insgesamt fünf Bohnensorten, sowohl Stangenbohnen als auch Feuerbohnen, mit definierten Bohnenanteilen von 15, 30 und 45% in der TM enthielten. Zusätzlich wurden in fünf Versuchen drei Maissorten geprüft, die als Mischungsanteile in den Mais-Bohnen-Silagen enthalten waren. Der Anbau fand in den ersten drei Jahren ausschließlich am Standort Trenthorst statt. Im letzten Jahr wurde jeweils die Hälfte der zur Herstellung der Silagen verwendeten Pflanzen in Trenthorst und in Braunschweig angebaut.

Die korrigierte Trockenmasse lag in den ersten beiden Anbaujahren im Mittel aller Silagen mit 262 und 251 g kg^{-1} unterhalb des Orientierungswerts von 300 g kg^{-1}. In den weiteren Anbaujahren waren sowohl die Mittelwerte als auch der überwiegende Teil der Einzelwerte im empfohlenen

Rahmen. Der Rohproteingehalt der Mais-Bohnen-Silagen entsprach mit 94 g kg^{-1} Trockenmasse dem 1,3fachen Wert der Maissilagen. Dieser Anstieg war in allen Anbaujahren zu beobachten und variierte zwischen dem 1,1fachen und dem 1,6fachen des jeweils korrespondierenden Werts der Maissilagen. Der Bohnenanteil führte unabhängig von Bohnenart und Bohnenanteil in den Silagen zu einem signifikanten Anstieg der verdaulichen organischen Substanz und des Gehalts an metabolischer Energie und Nettoenergie-Laktation. Dabei ist zu beachten, dass der Energiegehalt der Maissilagen in den ersten drei Anbaujahren das als Orientierungswert empfohlene Niveau nicht erreichte. Der ME- und NEL-Gehalt der Silagen mit den Bohnensorten Tarbais und Weiße Riesen betrug im Mittel 10,4 und 6,3 MJ kg^{-1} Trockenmasse und lag damit signifikant oberhalb der Ergebnisse der Maissilagen mit 9,7 und 5,7 MJ kg^{-1}. Die Silagen mit den Bohnensorten Preisgewinner, Cobra und Anellino verde wiesen unter den Bedingungen der aktuellen Untersuchung hinsichtlich des Energiegehalts keine signifikanten Differenzen zu den Maissilagen auf.

9 Literaturverzeichnis

Anil, L., Park, J., Phipps, R.H., 2000. The potential of forage–maize intercrops in ruminant nutrition. Anim. Feed Sci. Tech. 86, 157-164. https://doi.org/10.1016/S0377-8401(00)00176-0.

Armstrong, K. L., Albrecht, K. A., Lauer, J. G., Riday, H., 2008. Intercropping corn with lablab bean, velvet bean, and scarlet runner bean for forage. Crop Sci., 48, 371-379. https://doi.org/10.2135/cropsci2007.04.0244.

Barth K, Kraetzl WD. 2000. Zum Einfluss einer Therapie subklinischer Mastitiden auf die elektrische Leitfähigkeit der Milch vor der Ejektion. Berl Münch Tierärztl Wschr 113:440–443.

Beninger, C.W., Hosfield, G.L., 2003. Antioxidant activity of extracts, condensed tannin fractions, and pure flavonoids from Phaseolus vulgaris L. seed coat color genotypes. Journal of Agricultural and Food Chemistry 51, 7879-7883.

Berg, K., 1971. Die Trockensubstanzbestimmung von Silagen und die Erfassung flüchtiger den Futterwert beeinflussender Verbindungen sowie Modellversuche zur Ermittlung des Gärgasverlustes. Dissertation, Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissensch. Berlin.

Bolduan, C., Stäbler, R., Buffler, M., Windisch, W., 2016. Untersuchungen zum Gehalt von aktiven Lektinen in Gartenbohnen mittels ELISA. 71. ALVA-Tagung: „Eiweißpflanzen – Strategien und Chancen für Landwirtschaft und Industrie“. ISSN 1606-612X, pp. 314-317.

Boniglia, C., Fedele, E., Sanzini, E., 2003. Measurement by ELISA of active lectin in dietary supplements containing kidney bean protein. Journal of Food Science 68, 1283-1286.

Brandt H., Werner D.N., Baulain U., Brade W., Weissmann F., 2010. Genotype-environment interactions for growth and carcass traits in different pig breeds kept under conventional and organic production systems. Animal 4, 535-544.

Broughton, W. J., Hernandez, G., Blair, M., Beebe, S., Gepts, P., Vanderleyden, J., 2003. Beans (Phaseolus spp.) - model food legumes. Plant and Soil, 252, 55-128. https://doi.org/10.1023/A:1024146710611.

Bruckmaier R. M., Hammon, H., 2015. In v. Engelhardt W., Breves G., Diener M., Gäbel G. (eds.) Physiologie der Haustiere, Enke Verlag, Stuttgart.

Brugger, D., Buffler, M., Windisch, W., Bolduan, C., 2016. Untersuchungen zum antinutritiven Potential von Gartenbohnen (Phaseolus vulgaris), in: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (eds.), Anforderungen an die Verwertung von Reststoffen in der Landwirtschaft. VDLUFA-Verlag, Darmstadt, pp. 500–507.

Caldas, G.V., Blair, M.W., 2009. Inheritance of seed condensed tannins and their relationship with seed-coat color and pattern genes in common bean (Phaseolus vulgaris L.). Theoret. Appl. Genetics 119, 131-142.

Chokshi, D., 2007. Subchronic oral toxicity of a standardized white kidney bean (Phaseolus vulgaris) extract in rats. Food and Chemical Toxicology 45, 32-40.

Contreras-Govea, F.E., Muck, R.E., Armstrong, K.L., Albrecht, K.A., 2009. Nutritive value of corn silage in mixture with climbing beans. Animal Feed Science and Technology 150: 1-8.

Conway, G.R., 1987. The properties of agroecosystems. Agricultural Systems 24: 95-117.

Dawo, M. I., Wilkinson, J. M., Sanders, F. E. T., Pilbeam, D. J., 2007. The yield and quality of fresh and ensiled plant material from intercropped maize (Zea mays) and beans (Phaseolus vulgaris). Journal of the Science of Food and Agriculture, 87, 1391-1399. https://doi.org/10.1002/jsfa.2879.

Dawo, M. I., 2011. Assessment of new Phaseolus lines as animal feed: Lambert Academic Publishing.

Delwiche, C.C., 1983. Cycling of elements in the biosphere. In: Läuchli, A. and R.L. Bieleski (eds): Inorganic plant nutrition. Springer; Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo; pp 212-238.

Denißen, J., 2020. Futterwert von Mais-Bohnen-Gemengen. Innovation - Magazin für die Landwirtschaft, 1, 2-5.

Deshpande, S. S., Salunkhe, D. K., Rackis, J. J., 1984. Dry beans of phaseolus. A review. Part 1. Chemical composition: Proteins AU - Sathe, Shridhar K. C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 20, 1-46. https://doi.org/10.1080/10408398409527382.

Díaz, A.M., Caldas, G.V., Blair, M.W., 2010. Concentrations of condensed tannins and anthocyanins in common bean seed coats. Food Research International 43, 595-601.

DLG, 2013. DLG-Richtlinien für die Prüfung von Siliermitteln auf DLG-Gütezeichen-Fähigkeit.

Dürr, H.P., 1993. Unsere gemeinsame Zukunft formen - Gefahren und Möglichkeiten. Spektrum der Wissenschaft 2, 114 - 116.

Ekvall, J., Stegmark, R., Nyman, M., 2007. Optimization of extraction methods for determination of the raffinose family oligosaccharides in leguminous vine peas (Pisum sativum L.) and effects of blanching. Journal of Food Composition and Analysis 20: 13-18.

Eskandari, H., & Ghanbari, A. 2009. Intercropping of maize (Zea mays) and cowpea (Vigna sinensis) as whole-crop forage: effect of different planting pattern on total dry matter production and maize forage quality. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 37, 152-155. https://doi.org/10.15835/nbha3723230

Faye, B., Barnouin, J., 1985. Objectivation de la propreté des vaches laitières et des stabulations -l'indice de propreté. Bull Techn C R Z V Theix, INRA 59, 61-67.

Fischer, J., Böhm, H., 2012. Ertragsleistung und Silagequalität von Mais im Mischfruchtanbaau mit Bohnen, In: Pekrun, C., Wachendorf, M., Müller, T., Utermann, J., Düker, A. (Eds.), Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. Göttingen: Lilly Halm, Berlin, pp. 325-326.

Fischer, J., Böhm, H., 2013. Ertrag und Futterwert von Mais-Bohnen-Gemengen als Ganzpflanzensilage in der Milchviehfütterung. In: Neuhoff D, et al. (eds) Ideal und Wirklichkeit - Perspektiven ökologischer Landbewirtschaftung. Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Bonn, pp 470–471.

Fischer, J., Böhm, H., 2013. Mais-Bohnen-Gemenge: Eintopf für die Kühe. Top agrar (10/2013):68-71.

Fischer, J., Böhm, H., Heβ, J., 2020. Maize-bean intercropping yields in Northern Germany are comparable to those of pure silage maize. Eur J Agron 112, 125947.

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. J. Anim. Feed Sci. 8, 171-180.

Frutos, P., Hervas, G., Giraldez, F.J., Mantecon, A.R., 2004. Review. Tannins and ruminant nutrition. Spanish Journal of Agricultural Research 2: 191-202.

Georg, R., 2009. Neuer Ansatz im Zweitfruchtanbau. RAGT – Mais Information, 1-2009, 3.

GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), 1991. Guidelines for determining the digestibility of crude nutrients in ruminants. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition 65(5): 229-234.

GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), 1997. Mitteilungen des Ausschusses für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie: Zum Proteinbedarf von Milchkühen und Aufzuchtrindern. Proceedings of the Society of Nutrition Physiology 6, 217-236.

GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), 2001. Empfehlungen zur Energie und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder. Vol. Nr. 8. Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.

Granito, M., Frias, J., Doblado, R., Guerra, M., Champ, M., Vidal-Valverde, C., 2002. Nutritional improvement of beans (Phaseolus vulgaris) by natural fermentation. Eur. Food Res. Technol. 214, 226-231.

Grant, G., More, L.J., McKenzie, N.H., Stewart, J.C., Pusztai, A., 1983. A survey of the nutritional and haemagglutination properties of legume seeds generally available in the UK. British Journal of Nutrition, 50: 207-214.

Honig, H., 1986. Evaluation of aerobic stability. Proceedings oft the Eurobac Conference, 12.-16. August 1986, Grass and Forage report, Uppsala (Schweden), 76-82.

Hoppe, C., Schmidt, W. & Becker, H.C., 2013. Improving energy maize with specific adaptation to intercropping with climbing beans. Poster EUCARPIA conference.

Huzzey, J.M., Fregonesi, J.A., von Keyserlingk, M.A.G., Weary, D.M., 2013. Sampling behavior of dairy cattle: Effects of variation in dietary energy density on behavior at the feed bunk. J. Dairy Sci. 96, 247-256.

Jänicke, H., 2011. Grobfutter-und Substraterzeugung. In: DLG e.V. (Hrsg.) Praxishandbuch Futter- und Substratkonservierung, 8. Aufl., DLG, Frankfurt: 23-50.

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. Anim. Feed Sci. Technol. 42, 83-96.

Jilg, A., Jilg, T., Ismail, M., Brugger, D., 2020. Sialgen aus Mais-Bohnen-Gemenge in der Milchviehfütterung – Siliereigenschaften, Auswirkung auf Phasingehalt in Blut und Milch. Werkstattgespräch „Mais-Bohnen-Gemenge“ des Deutschen Maiskomitee (DMK) am 19.02.2020, abrufbar unter: https://www.maiskomitee.de/web/download.aspx?path=/web/upload/documents/kh_docs/versions/80c2ac06-9734-45a0-9fd8-351b2b52504f.pdf&type=inline&file=17_Jilg_Silagen%20aus%20Mais-Bohnen-Gemenge%20in%20der%20Milchviehf%C3%BCtterung.pdf&module=4\.

Jung, R., Rauber, R., 2013. Regulation von Unkräutern im ökologischen Maisanbau durch Untersaaten, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 25, pp. 329-330.

Kalzendorf, Ch., Staudacher, W., 2011. Gärungsbiologische Grundlagen und biochemische Prozesse der Silagebereitung. In: DLG e.V. (Hrsg.) Praxishandbuch Futter- und Substratkonservierung, 8. Aufl., DLG, Frankfurt, 83-96.

Kelkar, S., Siddiq, M., Harte, J.B., Dolan, K.D., Nyombaire, Suniga, H., 2012. Use of low-temperature extrusion for reducing phytohemagglutinin activity (PHA) and oligosaccharides in beans (Phaseolus vulgaris L.) cv. Navy and Pinto. Food Chemistry 133: 1636-1639.

King, T. P., Begbie, R., Cadenhead, A., 1983. Nutritional toxicity of raw kidney beans in pigs. Immunocytochemical and cytopathological studies on the gut and the pancreas. Journal of the Science of Food and Agriculture Volume 34, Issue 12: 1404–1412.

Kleinschmidt, D.H., Kung Jr, L., (2006). A Meta-Analysis of the Effects of Lactobacillus buchneri on the Fermentation and Aerobic Stability of Corn and Grass and Small-Grain Silages. J. Dairy Sci., 89, 4005-4013. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72444-4.

Krooneman, J., Faber, F., Alderkamp, A.C., Oude Elferink, S. J. H. W., Driehuis F., Cleenwerck I., Swings J., Gottschal J.C., Vancanneyt M., 2002. Lactobacillus diolivorans sp. nov., a 1,2-propanediol-degrading bacterium isolated from aerobically stable maize silage. Int. J. Syst. Evol. Microbiol., 52, 639–646. https://doi.org/10.1099/00207713-52-2-639.

LfL, 2019. Gruber Tabelle zur Fütterung der Milchkühe, Zuchtrinder, Schafe, Ziegen. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Poing.

Li, C., Zhang, C., Li, H., Zhang, F., Hoffland, E., Kuyper, T.W., Yu, Y., van der Werf, W., 2020. Syndromes of production in intercropping impact yield gains. Nature Plants 6, 653-660.

Ma, Y., Bliss, F.A., 1978. Tannin Content and Inheritance in Common Bean. Crop Science 18(2): 201-204.

Maasdorp, B.V., Titterton, M., 1997. Nutritional improvement of maize silage for dairying: mixed-crop silages from sole and intercropped legumes and a long-season variety of maize. 1. Biomass yield and nutritive value. Anim. Feed Sci. Tech. 69: 241-261. https://doi.org/10.1016/S0377-8401(97)81639-2.

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.

Mariotti, A., Mariotti, F., Amarger, N., Pizelle, G., Ngambi, J.-M., Champigny, M.-L., Moyse, A., 1980. Fractionnements isotopiques de l'azote lors des processus d'absorption des nitrates et de fixation de l'azote atmosphérique par les plantes. Physiologie Végetale 18, 163-181.

Martinez-Villaluenga, C., Frias, J., Vidal-Valverde, C., 2008. Alpha-Galactosides: Antinutritional factors or functional ingredients. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 48, 301-318.

Metzner, M., Heuwieser, W., Klee, W., 1993. Die Beurteilung der Körperkondition (body condition scoring) im Herdenmanagement. Prakt. Tierarzt 11, 991-998.

Mlakar, S.G., Kregulj, Z., Bavec, M., Bavec, F., 2011. Silage quality of maize-climbing bean intercropping, In: Pospisil, M. (Ed.), 46th Croatian and 6th International Symposium on Agriculture, Opatija, Croatia, 14-18 February 2011. Proceedings, University of Zagreb Faculty of Agriculture, Zagreb, Croatia, pp. 741-744.

Muck, R., Kung Jr, L. (1997). Effects of silage additives on ensiling. Silage: Field to feedbunk. Northeast Regional Agricultural Engineering Service (NRAES), Ithaca, New York, USA.

Muck, R. E., O'kiely, P., 1992. Aerobic deterioration of lucerne (Medicago sativa) and maize (Zea mais) silages—effects of fermentation products. Journal of the Science of Food and Agriculture, 59, 145-149. https://doi.org/10.1002/jsfa.2740590203.

Nakagawa, S., Schielzeth, H., 2013. A general and simple method for obtaining R^2 from generalized linear mixed-effects models. Methods Ecol. Evol. 4, 133-142.

Niehoff, T.-K., 2018. Interessant für einen Probeanbau. Land & Forst, 171, 51/52, 27-29.

Nishino, N., Yoshida, M., Shiota H., Sakaguchi, E., 2003. Accumulation of 1,2-propanediol and enhancement of aerobic stability in whole crop maize silage inoculated with Lactobacillus buchneri. J. Appl. Microbiol., 94, 800–807. https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2003.01810.x.

Nurk L., Graß R., Pekrun C und M. Wachendorf, 2017. Effect of sowing method and weed contol on the performance of maize (Zea mays L.) intercropped with climbing beans (Phaseolus vulgaris L.). Agriculture 2017, 7, 51. https://doi.org/10.3390/agriculture7070051.

Paduano, D.C., Dixon, R.M., Domingo, J.A., Holmes, J.H.G., 1995. Lupin (Lupinus angustifolius), cowpea (Vigna unguiculata) and navy bean (Phaseolus vulgaris) seeds as supplements for sheep fed low quality roughage. Anim. Feed Sci. Tech. 53, 55-69.

Pahlow, G., 1985. O_2-abhängige Veränderungen der Mikroflora in Silagen mit Lactobacterienzusatz. In: Kongressband 1984: Vorträge gehalten auf dem 96. VdLUFA-Kongreß in Karlsruhe 17.-22. September 1984, Landwirtschaftliche Forschung – Sonderheft, 41, 630–639.

Pahlow, G., 2004. Erfahrungen mit Mikroorganismen in der Silierung. In: Hülsenberger Gespräche, 20, 85-96.

Pahlow, G., Hünting, K., 2011. Gärungsbiologische Grundlagen und biochemische Prozesse der Silagebereitung. In: DLG e.V. (Hrsg.) Praxishandbuch Futter- und Substratkonservierung, 8. Aufl., DLG, Frankfurt, 73-82.

Paul, N., 2016. Mais und Bohnen im Duett, DLZ Agrarmagazin, pp. 76-77.

Pekrun, C., Hubert, S., Schmidt, W., 2013. Unkrautkontrolle in Mais-Stangenbohnen-Gemengen. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25:245-246.

Pekrun, C., Hubert, S., Zimmermann, C., Rössler, A., Schmidt, W., 2013. Ertragsbildung von Mais-Stangenbohnen-Gemengen in Abhängigkeit von der Standraumverteilung und Saattechnik. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25:243-244.

Pekrun, C., Hubert, S., Zimmermann, W., Schmidt, W., 2012. Gemengeanbau von Mais mit Stangenbohnen - erste Ergebnisse aus Feldversuchen 2011, Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 24: 333-334.

Piepho, H.-P., 2012. A SAS macro for generating letter displays of pairwise mean comparisons. Communications in Biometry and Crop Science 7, 4-13.

Pieltain, M.C., Castanon, A.A.R., Flores, M.P., Castanon, J.I.R., 1996. Nutritive value of postharvest bean by-products (Phaseolus vulgaris L.) for ruminants. Animal Feed Science and Technology 62, 271-275.

Qu, Y., Jiang, W., Yin, G., Wei, C., Bao, J., 2013. Effects of feeding corn-lablab bean mixture silages on nutrient apparent digestibility and performance of dairy cows. Asian Austral. J. Anim. Sci. 26, 509-516. https://doi.org/10.5713/ajas.2012.12531.

R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Ranilla, L.G., Genovese, M.I., Lajolo, F.M., 2007. Polyphenols and antooxidant capacity of seed coat and cotyledon from Brazilian and Peruvian bean cultivars (Phaseolus vulgaris L.). Journal Agricultural and Food Chemistry 55: 90–98.

Ranjit, N.K., Taylor, C.C., Kung JR, L., 2006. Effects of Lactobacillus buchneri 40788 on the fermentation, aerobic stability and nutritive value of maize silage. Grass and Forage Science, 57, 73-81. https://doi.org/10.1046/j.1365-2494.2002.00304.x.

Reddy, N.R., Pierson, M.D., Sathe, S.K., Salunkhe, D.K., 1985. Dry bean tannins: A review of nutritional implications. Journal of the American Oil Chemists Society 62(3), 541-549.

Resch, R., Wiedner, G., Tiefenthaller, F., Wurm, K., Stromberger, W., Frank P., Meusburger, Chr., 2010. Qualitätsbewertung von österreichischen Grassilagen und Silomais aus Praxisbetrieben. Abschlussbericht Silageprojekt, Wissenschaftlich Tätigkeit Nr.3561 (100535). http://www.heutrocknung.org/wp-content/uploads/2014/07/Silageprojekt_Resch.pdf, [letzter Abruf am 15.10.2020].

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, ohne Jahr. Kenndaten zur Grundfutterqualität bei Silagen. https://www.landwirtschaft.sachsen.de/download/Grundfutterqualitaet.pdf. [letzter Abruf am 07.09.2020].

Schaumann, ohne Jahr. Maissilage-Fibel: Leitfaden zur erfolgreichen Maissilierung. https://www.schaumann.de/statics/www_schaumann_de/downloads/Prospekte_Flyer/fib_hws_maissilage_fibel_191212.pdf. [letzter Abruf am 07.09.2020].

Schmidt, W., 2013. Gemengeanbau von Mais mit Bohnenarten – neuer koevolutiver Züchtungsansatz. Bioland-Wintertagung, Kloster Plankstetten, 06. Febr. 2013 [letzter Abruf im Internet am 04.Nov. 2013].

Schofield, P., Mbugua, D.M., Pell, A.N., 2001. Analysis of comndensed tannins: a review. Animal Feed Science and Technology 91: 21-40.

Schubbert, A., Werner, C., Sundrum, A., 2011. Einsatz von Raufutter in der Fütterung von tragenden Sauen. In: Rahmann G, Schumacher U, Praxis trifft Forschung, Neues aus der ökologischen Tierhaltung 2010. Landbauforschung Sonderheft 341, Braunschweig.

Schwalm, P., Well, C., Bussemas, R., Weißmann, F., 2013. Effects of three genotypes and two roughages in organic heavy pig production for dry fermented sausage manufacture: 1. Performance, carcass quality, and economic aspects. Landbauforschung Applied Agricultural and Forestry Research 63(4):263-272.

Shimelis, E.A., Rakshit, S.K., 2005. Antinutritional factors and in vitro protein digestibility of improved haricot bean (Phaseolus vulgaris L.) varieties grown in Ethiopia. International Journal of Food Sciences and Nutrition, Vol. 56(6): 377-387.

Shimelis, E.A., Rakshit, S.K., 2007. Effect of processing on antinutrients and in vitro protein digestibility of kidney bean (Phaseolus vulgaris L.) varieties grown in East Africa. Food Chemistry 103(1): 161-172.

Shimelis, E.A., Rakshit, S.K., 2008. Influence of natural and controlled fermentations on –galactosides, antinutrients and protein digestibility of beans (Phaseolus vulgaris L.). International Journal of Food Science and Technology 43: 658-665.

Siegfried, R., Rückmann, H., Stumpf, G., 1984. Eine HPLC-Methode zur Bestimmung organischer Säuren in Silagen. Landwirtschaftliche Forschung, 37 (3-4), 298-304.

Sommer, E., Höbaus, E., 2009. Steirische Käferbohne. http://www.lebensministerium.at/suchergebnisse.html?queryString=K%C3%A4ferbohne [letzter Abruf am 04.Nov. 2013].

Spiekers, H., 2011. Konservierungsverfahren - Ziele in der Wiederkäuerfütterung, Praxishandbuch Futter- und Substratkonservierung, DLG-Verlag, Frankfurt am Main, pp. 13-17.

Spiekers, H., Menke, A., Pfeffer, E., 2006. Ringtest zur Bestimmung der Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe von Heu, Milchleistungsfutter und Palmkernexpeller an Hammeln. Züchtungskunde 78, 384-398.

Spiekers, H., Nußbaum, H., Potthast, V., 2009. Erfolgreiche Milchviehfütterung. 5. Aufl., DLG, Frankfurt.

Sprecher, D.J., Hostetler, D.E., Kaneene, J.B., 1997. A lameness scoring system that uses posture and gait to predict dairy cattle reproductive performance. Theriogenology 47, 1179-1187.

Statistisches Jahrbuch, verschiedene Jahrgänge. Statistisches Jahrbuch – Land- und Forstwirtschaft. Hrsg: Statistisches Bundesamt (Destatis).

Ulbrich, M., Hoffmann, M., Drochner, W., 2004. Fütterung und Tiergesundheit. Eugen Ulmer GmbH & Co, Stuttgart.

Unkovich, M., 2008. Measuring Plant-associated Nitrogen Fixation in Agricultural Systems. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, ACT.

Van Der Poel, A.F.B. (1990): Effect of processing on antinutritional factors and protein nutritional value of dry beans (Phaseolus vulgaris L.). A review. Animal Feed Science and Technology 29:3-4, 179-208.

Vasconcelos, I.M., Oliveira, J.T.A., 2004. Antinutritional properties of plant lectins. Toxicon 44, 385-403.

VDLUFA, 1991. VDLUFA-Methodenbuch: Band I - Die Untersuchung von Böden, 4. Auflage, 1. Teillieferung 1991, 2. Teillieferung 1997. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

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.

Weinberg, Z. G., Ashbell, G., Hen, Y., Azrieli, A., 1993. The effect of applying lactic acid bacteria at ensiling on the aerobic stability of silages. Journal of Applied Bacteriology, 75, 512-518. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1993.tb01588.x.

Weißbach, F., 1967. Die Bestimmung der Pufferkapazität der Futterpflanzen und ihre Bedeutung für die Vergärbarkeit. Deutsche Akad. Landw. Tagungsbericht 92, 211-220.

Weißbach, F., 1992. Die Bestimmung der Pufferkapazität. In: Analysenvorschrift aus dem Institut für für Grünland und Futterpflanzenforschungder Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig-Völkenrode.

Weißbach, F., Kuhla, S., 1995. Stoffverluste bei der Bestimmung des Trockenmassegehaltes von Silagen und Grünfutter: Entstehende Fehler und Möglichkeiten der Korrektur. Übersichten zur Tierernährung, 23, S. 189-214.

Weißbach, F., Strubelt, C., 2008. Die Korrektur des Trockensubstanzgehaltes von Maissilagen als Substrat für Biogasanlagen. Landtechnik 63(2), 82-83.

Whistler, R. L., Wolfram, W.L., 1962. Determination of water-soluble carbohydrates with anthrone reagent. In: Methods in Carbohydrate Chemistry, Academic Press, New York.

Williams, P.E.V., Pusztai, A.J., Macdearmid, A., Innes, G.M., 1984. The use of kidney beans (Phaseolus vulgaris) as protein supplements in diets for young rapidly growing beef steers. Anim. Feed Sci. and Tech. 12, 1-10.

Wilkinson, J. M., Davies, D. R., 2013. The aerobic stability of silage: key findings and recent developments. Grass and Forage Science, 68, 1-19. https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2012.00891.x.

Wyss, U., Enggist, A., Brugger, D., 2019. Mischkulturen für Tierfutter: Mais-Stangenbohnen-Gemisch und Phasingehalt. Agrarforschung Schweiz 10, 190-197.

ZDS, 2007. Richtlinie für die Stationsprüfung auf Mastleistung, Schlachtkörperwert und Fleisch-beschaffenheit beim Schwein. ZDS – Zentralverband der Deutschen Schweineproduktion In: Schweineproduktion.

10 Verbreitung der Ergebnisse

10.1 Veröffentlichungen

Aulrich, K., Kälber, T., Barth, K., Büttner, S., Bussemas, R., 2020. Mais-Bohnen-Silage in der Fütterung von Rind und Schwein. Werkstattgespräch „Mais-Bohnen-Gemenge“ des Deutschen Maiskomitee (DMK) am 19.02.2020, abrufbar unter: https://www.maiskomitee.de/web/download.aspx?path=/web/upload/documents/kh_docs/versions/9d267dc5-68fd-400c-9ba5-131b75f4dbc9.pdf&type=inline&file=19_Aulrich_Mais-Bohnen-Silage%20in%20der%20F%C3%BCtterung%20von%20Rind%20und%20Schwein.pdf&module=4\

Aulrich, K., Meyer, U., Fischer, J., Böhm, H., 2017. Futterwert von Mais-Bohnen-Silagen: Stangen- und Feuerbohnen im Vergleich, In: Wolfrum, S., Heuwinkel, H., Reents, H.-J., Wiesinger, K., Hülsbergen, K.-J. (Eds.), Beiträge zur 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Verlag Dr. Köster, Berlin, Weihenstephan, pp. 96-99.

Baldinger, L., Büttner, S., Aulrich, K., Bussemas, R., 2021. Silage from intercropping of maize with common beans (Phaseolus vulgaris) as roughage for fattening pigs. In: Proceedings of the Scientific Track of Organic World Congress 2021, September 7-10, Rennes, France. Accepted.

Böhm, H., Aulrich, K., Barth, K., Bussemas, R., Fischer, J., Höppner, F., Kälber, T., Meyer, U., Weißmann, F., 2016. Verbesserung der Protein- und Energieversorgung bei Wiederkäuern und Monogastriern durch Gemengeanbau von Mais mit Stangen- und Feuerbohnen, Kongress "Hülsenfrüchte - Wegweiser für eine nachhaltigere Landwirtschaft", Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Berlin, pp. 46-47.

Böhm, H., Fischer, J., Aulrich, K., Kälber, T., Barth, K., Höppner, F., 2017. Mais und Bohnen im Gemenge. Landwirtschaft ohne Pflug 22, 16-21.

Bussemas, J., Böhm, H., Höppner, F., 2020. Optimierung des Mais-Bohnen-Gemengeanbaus durch Sortenwahl, Saatdichte und Saatzeit der Bohnen. Werkstattgespräch „Mais-Bohnen-Gemenge“ des Deutschen Maiskomitee (DMK) am 19.02.2020, abrufbar unter: https://www.maiskomitee.de/web/download.aspx?path=/web/upload/documents/kh_docs/versions/82f43a15-96c6-4a69-81dc-3a625634cddc.pdf&type=inline&file=06_Bussemas_Optimierung%20des%20Mais-Bohnen-Gemengeanbaus%20durch%20Sortenwahl,%20Saatdichte%20und%20Saatzeit%20der%20Bohnen.pdf&module=4\.

Fischer, J., Aulrich, K., Höppner, F., Böhm, H., 2019. Einfluss der Saatdichte von Stangen- bzw. Feuerbohne auf den Ertrag und die Bestandeszusammensetzung im Gemengeanbau mit Silomais, In: Stützel, H., Fricke, A., Francke-Weltmann, L. (Eds.), 62. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Verlag Liddy Halm, Berlin, pp. 13-14.

Fischer, J., Aulrich, K., Kälber, T., Barth, K., Böhm, H., 2019. Mais und Bohnen im Gemenge. Lebendige Erde, 22-23.

Fischer, J., Böhm, H., 2015. Mais und Bohnen im Gemenge. bioland Fachmagazin für den ökologischen Landbau, 22-24.

Fischer, J., Böhm, H., 2016. Reduktion des Unkrautdruckes durch die Etablierung von Untersaaten in Mais-Bohnen-Gemengen. Julius-Kühn-Archiv 452, 439-445.

Fischer, J., Böhm, H., 2017. Erhebung zur Ausbildung von Wurzelknöllchen an Stangen- und Feuerbohnen im Gemengeanbau mit Mais, In: Wolfrum, S., Heuwinkel, H., Reents, H.-J., Wiesinger, K., Hülsbergen, K.-J. (Eds.), Beiträge zur 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Verlag Dr. Köster, Berlin, Weihenstephan, pp. 104-105.

Fischer, J., Böhm, H., 2019. Etablierung von Untersaaten zur Reduzierung des Unkrautdruckes im Mais-Bohnen-Gemengeanbau, In: Mühlrath, D., Albrecht, J., Finckh, M.R., Hamm, U., Heß, J., Knierim, U., Möller, D. (Eds.), 15. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Verlag Dr. Köster, Kassel, pp. 44-45.

Fischer, J., Böhm, H., Heβ, J., 2020. Maize-bean intercropping yields in Northern Germany are comparable to those of pure silage maize. Eur J Agron 112, 125947.

Fischer, J., Böhm, H., Höppner, F., 2018. Mais und Bohnen im Gemenge: Zwei ungleiche Partner mit Potenzial. Rheinische Bauernzeitung, 23-25.

Fischer, J., Höppner, F., Böhm, H., 2015. Gemengeanbau von Mais mit Phaseolus-Bohnen: Einfluss von Sorte und Saatdichte der Bohnen auf die Bestandszusammensetzung. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 27, 177-178.

Fischer, J., Höppner, F., Böhm, H., 2016. Sorteneffekte von Stangen- und Feuerbohnen auf die Erträge und die Ertragszusammensetzung im Gemenge mit Silomais. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 28, 154-155.

Fischer, J., Höppner, F., Böhm, H., 2017. Eignung verschiedener Stangen- und Feuerbohnen für den Mais-Bohnen-Gemengeanbau und Optimierung der Bestandeszusammensetzung, In: Wolfrum, S., Heuwinkel, H., Reents, H.-J., Wiesinger, K., Hülsbergen, K.-J. (Eds.), Beiträge zur 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Verlag Dr. Köster, Berlin, Weihenstephan, pp. 84-87.

Höppner, F., Barth, K., Kälber, T., Böhm, H., 2017. Bohnen: Gratis-Eiweiss unter dem Mais. Landfreund - Das Schweizer Agrarmagazin, 24-25.

Höppner, F., Bussemas, J., Böhm, H., 2020. Erfahrungen mit der Silierung von Mais-Bohnen-Gemengen. Werkstattgespräch „Mais-Bohnen-Gemenge“ des Deutschen Maiskomitee (DMK) am 19.02.2020, abrufbar unter: https://www.maiskomitee.de/web/download.aspx?path=/web/upload/documents/kh_docs/versions/bba88726-fb2c-4e5d-9fde-0d68ec12cabf.pdf&type=inline&file=13_H%C3%B6ppner_Erfahrungen%20mit%20der%20Silierung%20von%20Mais-Bohnen-Gemengen.pdf&module=4\

Höppner, F., Fischer, J., Böhm, H., 2015. Mischsilierung von Mais mit Stangen- oder Feuerbohnen aus ökologischem Landbau. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 27, 183-184.

Höppner, F., Fischer, J., Böhm, H., 2016. Gemengeanbau von Mais mit Stangenbohne. Landwirtschaft im Braunschweiger Land, 10–14.

Höppner, F., Fischer, J., Böhm, H., 2016. Wirkungsprüfung verschiedener Siliermittel bei der Erzeugung von Mais-Stangenbohnensilagen. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 28, 224-225.

Höppner, F., Fischer, J., Böhm, H., 2017. Saatzeitdifferenzierung von Stangenbohnen beim Gemengeanbau mit Mais. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 29, 142-143.

Höppner, F., Fischer, J., Böhm, H., 2017. Silierung von Mais mit Stangen- und Feuerbohne, In: Wolfrum, S., Heuwinkel, H., Reents, H.-J., Wiesinger, K., Hülsbergen, K.-J. (Eds.), Beiträge zur 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Verlag Dr. Köster, Berlin, Weihenstephan, pp. 88-91.

Höppner, F., Fischer, J., Böhm, H., 2019. Sorten- und Saatzeitdifferenzierung von Stangenbohnen beim Gemengeanbau mit Mais, In: Stützel, H., Fricke, A., Francke-Weltmann, L. (Eds.), 62. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Verlag Liddy Halm, Berlin, pp. 169-170.

Kälber, T., Aulrich, K., Barth, K., 2018. Die Nahrung der Mayas auf dem Futtertisch: Milchviehfütterung mit Mais-Stangenbohnen-Gemenge. BW agrar (17), 34-35.

Kälber, T., Aulrich, K., Barth, K., 2018. Bohnen für mehr Eiweiß: die Nahrung der Mayas auf dem Futtertisch: Mais-Stangenbohnen-Gemenge in der Milchviehfütterung. Allgäuer Bauernblatt (23), 16-17.

Kälber, T., Aulrich, K., Barth, K., 2018. Die Nahrung der Mayas an die Kühe verfüttern? Badische Bauernzeitung. (12), 30–31.

Kälber, T., Aulrich, K., Barth, K., 2018. Die Nahrung der Mayas auf dem Futtertisch: Mais-Stangenbohnen-Gemenge in der Milchviehfütterung. Bauernblatt Schleswig-Holstein, Hamburg (17), 42-43.

Kälber, T., Aulrich, K., Barth, K., 2018. Können Bohnen Maissilage aufwerten? bioland - Fachmagazin für den ökologischen Landbau, 32 - 33.

Kälber, T., Aulrich, K., Barth, K., 2018. Mais-Stangenbohnen-Gemenge in der Milchviehfütterung. Naturland Nachrichten (4), 48-49.

Kälber, T., Aulrich, K., Barth, K., 2019. Mais-Stangenbohnen-Silage in der Milchviehfütterung: Akzeptanz und Auswirkungen auf die Leistung. In: Mühlrath, D., Albrecht, J., Finckh, M., Hamm, U., Heß, J., Knierim, U., Möller, D. (Eds.) Beiträge zur 15. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Kassel, 5. bis 8. März 2019. Verlag Dr. Köster, Berlin, pp. 294-295.

Kälber, T., Aulrich, K., Barth, K., Böhm, H., Bussemas, R., Fischer, J., Höinghaus, K., Weißmann, F., 2017. Mais-Stangenbohnen-Silage als Futtermittel für Milchkühe und Mastschweine, In: Wolfrum, S., Heuwinkel, H., Reents, H.-J., Wiesinger, K., Hülsbergen, K.-J. (Eds.), Beiträge zur 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Verlag Dr. Köster, Berlin, Weihenstephan, pp. 100–103.

Meyer, U., 2020. Untersuchungen mit Mais-Bohnen-Mischsilagen zur Verdaulichkeit an Hammeln und zum energetischen Futterwert. Werkstattgespräch „Mais-Bohnen-Gemenge“ des Deutschen Maiskomitee (DMK) am 19.02.2020, abrufbar unter: https://www.maiskomitee.de/web/download.aspx?path=/web/upload/documents/kh_docs/versions/fb102104-209c-42d9-b141-a45c1bd58d43.pdf&type=inline&file=18_Meyer_Untersuchungen%20mit%20Mais-Bohnen-Mischsilagen%20zur%20Verdaulichkeit%20an%20Hammeln%20und%20zum%20energetischen%20Futterwert.pdf&module=4\

10.2 Bisherige und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse

Einreichung eines Beitrags zum Thema Fütterungsversuch mit Mastschweinen für den Organic World Congress in Rennes (Frankreich), der von September 2020 auf September 2021 verschoben wurde (Beitrag akzeptiert):

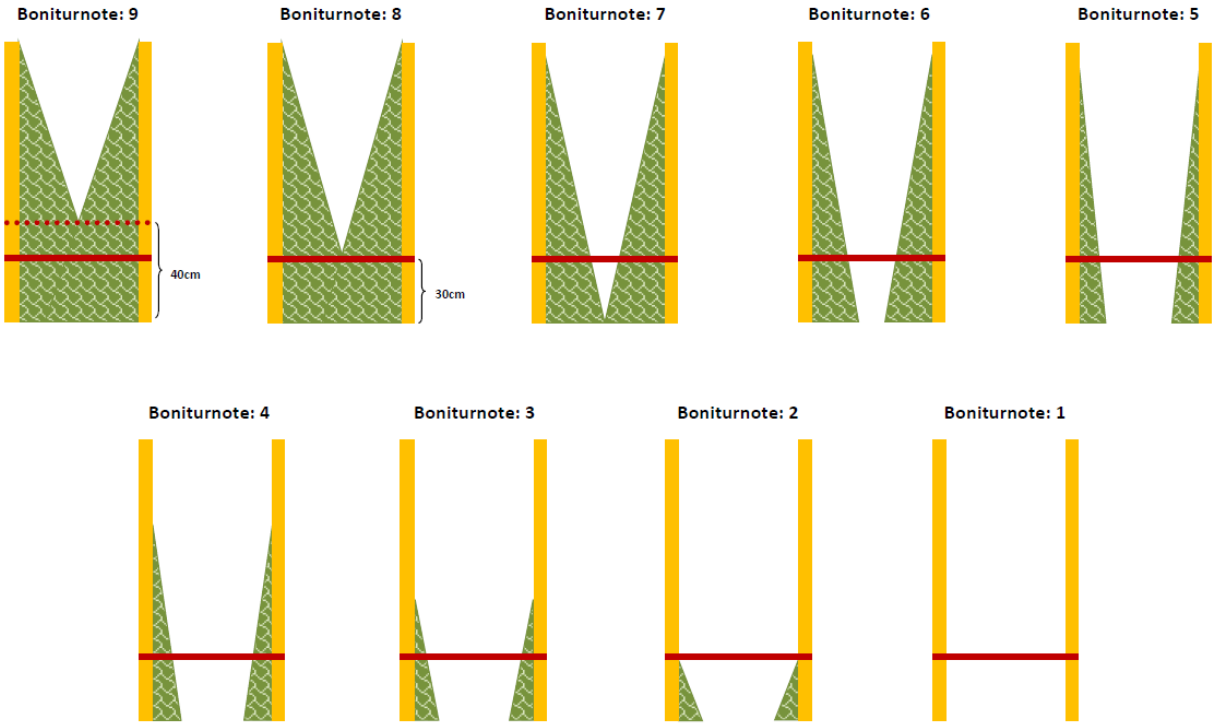
Baldinger L., Büttner S., Aulrich K., Bussemas R. 2020. Silage from intercropping of maize with common beans (Phaseolus vulgaris) as roughage for fattening pigs. In: Proceedings of the Scientific Track of the Organic World Congress 2021, September 7-10, Rennes, France. Accepted.

Baldinger, L., 2020. Mais-Bohnen-Silage aus dem Gemengeanbau als Raufutter für Mastschweine. BioLand. Accepted.

Kälber T., Aulrich K., Barth K. Acceptance of maize-bean (Phaseolus vulgaris) silage by dairy cows and its effects on their performance and health. Organic Agriculture (submitted: 21.08.2020)

Anhang

Anhang 1: Boniturschema der Bohnenblattmasse. Die gelben Balken symbolisieren die Maispflanzen, während die grünen Bereiche die Bohnenpflanzen repräsentieren.



Kurz gefasster Erfolgskontrollbericht

1. Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen, z.B. des Förderprogramms

Das Vorhaben leistet einen Beitrag zum Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft. Insbesondere werden die Schwerpunkte des Förderprogramms im Bereich Pflanzenbau zur Entwicklung von Anbaukonzepten zu bislang für den ökologischen Landbau wenig wissenschaftlich bearbeiteten bzw. in der Praxis des Öko-Landbaus wenig verbreiteten landwirtschaftlichen Kulturen (wie z.B. Mais) sowie die Entwicklung von Mischkultursystemen und der Einsatz von Artgemengen aufgegriffen. Im Bereich der Tierproduktion steht die Optimierung von Fütterungsstrategien und Futterrationen vor dem Hintergrund der Eiweißlücke in der ökologischen Tierhaltung im Vordergrund.

Die Untersuchung des Anbausystems „Mais-Bohne“ hat gezeigt, dass es einen Beitrag zur Verbesserung der Produktivität und der Eiweißversorgung leisten kann. Allerdings muss es hierzu zukünftig noch weiterentwickelt werden, um dieses Ziel möglichst zuverlässig zu erreichen. Das Anbausystem wird inzwischen sowohl von Landwirten im ökologisch als auch im konventionell wirtschaftenden Bereich eingesetzt. Einige Saatgutfirmen bieten bereits Mais-Bohnen-Gemenge für die Aussaat an.

2. Wissenschaftliche und technische Ergebnisse des Vorhabens

Zur Bewertung des pflanzenbaulichen Potentials des Mais-Bohnen-Gemengeanbaus wurden in den Jahren 2014 bis 2018 Versuche hinsichtlich Bohnenart und -sorte, Saatzeit und -dichte der Bohnen sowie Untersaaten durchgeführt. Dabei wurden die Bohnen am ökologisch bewirtschafteten Standort Trenthorst zeitlich verzögert, d.h. zum Vierblattstadium des Mais, nach erfolgter mechanischer Unkrautregulierung als auch am konventionell bewirtschafteten Standort Braunschweig synchron mit dem Mais sowie zum Vierblattstadium des Mais mit anschließender chemischer Unkrautbekämpfung gelegt. Die Gesamt-Trockenmasseerträge im Sortenversuch zeigten in allen Jahren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Mais-Reinsaaten und den Mais-Bohnen-Gemengen. Die Bohnenerträge variierten stark zwischen den Jahren, wobei bei guter Wasserversorgung höhere Bohnenerträge erzielt wurden. Die mittelspäte Stangenbohnensorte Tarbais erreichte in allen Jahren die höchsten Bohnenerträge, gefolgt von den spätreifen Sorten Anellino verde und Grünes Posthörnchen sowie den Feuerbohnensorten Preisgewinner und Weiße Riesen. Den geringsten Bohnenertrag wies die mittelfrühe Stangenbohnensorte Cobra auf. Den höchsten Bohnenertrag verzeichnete im Jahr 2015 die Sorte Tarbais mit 19,7 dt TM ha^{-1}, was einem prozentualen Anteil von 13,4% am Gesamtertrag entsprach. Die Sorte Tarbais wies zudem einen hohen Hülsenanteil von bis zu 58% auf, der nur bei der früher abreifenden Sorte Cobra noch höher ausfiel. Der Aussaatstärkenversuch, in dem die Bohnen-Saatdichte in den Stufen 6, 9 und 12 Körner m^{-2} in Reinsaat und im Gemenge mit Mais variiert wurde, zeigte, dass das Ertragspotential der Bohnen deutlich unterhalb des Mais liegt. Im Gemengeanbau wies die Stangenbohnensorte Tarbais höhere Erträge auf als die Feuerbohnensorte Preisgewinner. Mit zunehmender Saatdichte der Bohnen erhöhte sich der Bohnenertrag, wobei die Zunahme von 9 auf 12 Körner m^{-2} nicht mehr signifikant war und unter 10% lag. Während der Gesamtertrag durch die unterschiedlichen Saatdichten der Bohnen nicht beeinflusst wurde, nahm der Maisertrag signifikant ab. Im Untersaatenversuch wurden die zwei Untersaaten bestehend aus Erdklee und Weidelgras sowie Futterchicoree und Weidelgras geprüft. Die Untersaaten wurden in allen Jahren erfolgreich etabliert, wobei die Höhe

der Untersaatbiomasse stark durch die Witterung, aber auch durch die Konkurrenz der Hauptfrüchte beeinflusst wurde. Darüber hinaus waren die Untersaatbiomassen in den Gemengen, mit Ausnahme des recht trockenem Jahres 2016, mit denen der Maiskontrollen vergleichbar. Hinsichtlich der Untersaatbiomasse war die Untersaat mit Erdklee der Untersaat mit Futterchicoree leicht überlegen. Beide Untersaatvarianten führten mit Ausnahme des Jahres 2015 zu einer deutlichen Reduktion der Unkraut-Biomasse. Beim Saatzeitenversuch erzielte die Reinsaat Mais 11 im Mittel der Untersuchungsjahre mit 218,8 dt TM ha^{-1} den signifikant höchsten Ertrag, gefolgt von den Prüfgliedern Reinsaat Mais 8 mit 200,7 dt TM ha^{-1} und den Mais-Bohne-Gemengen, von welchen Grünes Posthörnchen Früh (Aussaat mit dem Mais) mit 184,4 dt TM ha^{-1} am besten abschnitt. Auf die Höhe der Gemengeerträge hatten der Bohnensaattermin und die Bohnensorte Einfluss. Je früher das Bohnenwachstum einsetzte und je massenwüchsiger die Bohnensorte war, umso geringer fiel der Gesamtertrag aus, allerdings bei höheren Bohnenertragsanteilen. Unter dem Gesichtspunkt möglichst hohe Bohnenertragsanteile zu realisieren, bietet sich neben dem alternierenden Saatverfahren ebenfalls das einreihige Mischverfahren von Mais und Bohne in einer Reihe an.

Zur Erzeugung qualitativ guter Silagen der Mais-Reinsaaten und Mais-Bohne-Gemenge von Sorten- und Saatzeitenversuch als auch der Modellsilagen mit gezielt eingestellten Bohnenanteilen von 15, 30 und 45% auf Trockenmassebasis waren die Ausgangsvoraussetzungen des Ernteguts hinsichtlich des Vergärbarkeitskoeffizienten und insbesondere der Gärschädlinge Hefen und Schimmel nicht immer genügend. Trotz dessen fand bei allen Laborsilagen immer eine gute Ansäuerung statt und die bei Öffnung der Silagen erwünschten pH-Werte von 3,7 bis 4,6 in Abhängigkeit des Trockensubstanzgehaltes und der Behandlung ohne (Kontrolle) und mit Verwendung eines biologischen Siliermittels (Zusatz) stellten sich ein. Auch lagen die nicht vermeidbaren Gärverluste durchgehend in einer zu erwartenden Spannbreite von 3,9 bis 8,2%, wobei die höheren Verluste beim Zusatz auftraten, welches sich durch eine verstärkte Essigsäuregärung ableiten ließ. Dennoch konnten häufig bei den Kontrollsilagen nicht durchgehend die Hefen in dem Maße eliminiert werden, dass nach Öffnung der Silagen eine aerobe Stabilität von mindestens 3 Tagen erzielt wurde. Mit Einsatz des Siliermittels konnte dann allerdings die Aktivität der Hefen bei allen Silagen permanent soweit eingeschränkt werden, dass immer eine gute aerobe Stabiltät vorhanden war. Im Allgemeinen war die Silierbarkeit und Gärqualität von Mais als auch Mais-Bohnensilagen gleichermaßen gegeben.

Die Mais-Bohnen-Silagen mit den verschiedenen Stangen- und Feuerbohnensorten erzielten jeweils höhere Rohproteingehalte als reine Maissilagen, wobei die Gemenge mit der Stangenbohne Tarbais in den vier Untersuchungsjahren am besten abschnitt. Die Erhöhungen mit der Sorte Tarbais variierten von 13% im Jahr 2018 bis zu 25% im Jahr 2014. Die Stärkegehalte in den Mais-Bohnen-Gemengen nahmen im Vergleich zu Maissilagen größtenteils ab. Die Sortenwahl beeinflusste die Gehalte an antinutritiv wirkenden Lektinen ebenso wie das Anbaujahr. In den Gemengen mit der Stangenbohne Tarbais waren sie in allen Versuchsjahren am geringsten. Die Gemenge mit buntblühenden und bunte Samen ausbildenenden Stangenbohnen Cobra und Grünes Posthörnchen wiesen in allen Versuchsjahren die höchsten Lektingehalte auf. Während der Silierung wurden die Lektine deutlich abgebaut. Die in den Silagen vorkommenden Gehalte sind so gering, dass sie kein antinutritiv wirksames Potential mehr aufweisen. Die Tanningehalte lagen zwischen 3,5 und 6,1 g kg^{-1} und veränderten sich durch die Silierung nicht signifikant. Alpha-Galactoside waren in den Gemengen nur in Spuren nachweisbar und in den Silagen gar nicht mehr. Die Differenzierung der Pflanzenorgane zeigte, dass in den Samen die höchsten Rohproteingehalte und

in den Stängeln die geringsten zu finden sind. Die Samen der Stangenbohne Cobra wiesen in allen Versuchsjahren die höchsten Rohproteingehalte auf. Auch die Blätter und Hülsen können hohe Gehalte an Rohprotein aufweisen, die bis zu 22% betragen können. Die Gehalte an sekundären Inhaltsstoffen in den Pflanzenorganen variierten stark. So wurden in den dunklen Samen der Stangenbohnen Cobra und Grünes Posthörnchen die höchsten Lektingehalte nachgewiesen, in den Blättern aller Sorten dagegen die höchsten Tanningehalte. Das α-Galactosid Verbascose wurde nur in den Samen der Stangenbohne Cobra festgestellt. Auch Stachyose wurde mit den höchsten Gehalten in Samen nachgewiesen, in Blättern und Stängeln wurden nur Spuren gefunden. Raffinose hingegen findet sich in Samen und Blättern. Die α-Galactosid-Gehalte waren unabhängig von der Samenfarbe.

Die Saatstärke hatte einen signifikanten Einfluss auf die Gehalte an Rohprotein, so waren sie mit 8 Körnern m^{-2} höher als mit 11 Körnern m^{-2} im reinen Mais. Im Gemenge mit der Stangenbohne Tarbais wurden mit 9 Körnern m^{-2} die höchsten Rohproteingehalte erzielt, mit der Feuerbohne Preisgewinner bei dieser Saatstärke dagegen die geringsten. In den mit 15, 30 und 45% Bohnenanteil gezielt hergestellten Modellsilagen wurden die erwünschten Rohproteinerhöhungen erreicht, wobei sie in Abhängigkeit vom Anbaujahr und der eingesetzten Sorte unterschiedlich stark ausfielen. In Gemengen mit Stangenbohnen (Tarbais bzw. Cobra) wurden höhere Rohproteingehalte erzielt als mit den Feuerbohnen (Preisgewinner bzw. Weiße Riesen). Auch der Anbauort hatte einen signifikanten Einfluss auf die Höhe der Rohproteingehalte in Modellsilagen: die am Standort Braunschweig erstellten Gemenge wiesen höhere Rohproteingehalte auf als die am Standort Trenthorst. Die Lektingehalte stiegen mit steigenden Bohnenanteilen im Gemenge an, wobei sie sowohl von der Sorte als auch dem Anbaujahr beeinflusst wurden. Durch die Silierung kam es zu einer deutlichen Reduzierung der Lektine auf Gehalte zwischen 0 und 0,9 g kg^{-1}. Die Tanningehalte variierten zwischen 2,2 und 4,8 g kg^{-1}. Auswirkungen auf die Verdaulichkeit des Rohproteins bei Silagen mit 45% Bohnenanteil können dadurch nicht ausgeschlossen werden. Die α-Galactoside wurden in den Modellsilagen nur in Spuren nachgewiesen oder lagen unterhalb der Nachweisgrenze. Sie spielen damit als antinutritiv wirksame Bestandteile keine Rolle in der Fütterung.

Es wurden NIR-Kalibrationen zur Bestimmung der Rohnährstoffe im Erntegut und in den Silagen der Mais-Bohnen-Gemenge erstellt. Die Schätzgenauigkeiten sind für alle Rohnährstoffe als zufriedenstellend einzustufen und können somit für künftige Versuche genutzt werden.

Im Bereich der Milchviehfütterung wurde untersucht, ob der Ersatz des Anteils an Maissilage durch eine Mais-Bohnen-Silage in der Mischration Auswirkungen auf die Futteraufnahme sowie die Gesundheit und die Leistungsfähigkeit von Milchkühen hat. Dies konnte in zwei Versuchsjahren geprüft werden. Jeweils 70 bzw. 69 Milchkühe zu Beginn bis Mitte der Laktation wurden einbezogen. Dabei erhielten die Tiere in den ersten vier Versuchswochen Maissilage, die in den anschließenden vier Wochen durch Mais-Bohnen-Silage ersetzt wurde. Um die Effekte der fortschreitenden Laktation zu berücksichtigen, wurde wiederum eine vierwöchige Fütterung mit Maissliage als Referenz in der Ration durchgeführt. Um die Effekte der Futterumstellung auf die Ergebnisse auszuschließen, wurden lediglich die letzten beiden der jeweils vier Fütterungswochen für die Auswertung herangezogen. Neben den Leistungsdaten wurde eine Vielzahl an unterschiedlichen Indikatoren zur Einschätzung des Tierwohls (BCS, Lahmheitscores, Verschmutzungsgrad, Mastitisindikatoren etc.) erhoben. Die Futteraufnahme wurde auf Gruppenebene bestimmt, während alle anderen Kriterien tierindividuell erfasst wurden. Bis auf den leicht erhöhten Milchharnstoffgehalt

zeigten keine der geprüften Indikatoren einen Effekt der Fütterung von Mais-Bohnen-Silage. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Mengenanteile an Stangenbohnen relativ gering waren.

Im Fütterungsversuch mit Mastschweinen führten die on-top Fütterung sowohl der experimentellen Mais-Bohnen-Silage mit 15% Anteil der Stangenbohne Tarbais als auch der Kleegrassilage der Kontrollgruppe zu Mast- und Schlachtleistungen wie sie in der ökologischen Schweinemast zu erwarten sind. Auch die Fleischqualität bewegte sich in einem praxisüblichen Bereich und wurde nicht von der Grundfutterwahl beeinflusst. Der Grundfutterverbrauch war während der Vormast signifikant niedriger, wenn Mais-Bohnen-Silage gefüttert wurde, während sich der Grundfutterverbrauch in der Endmast und während der gesamten Mastdauer nicht unterschied. Die mit Mais-Bohnen-Silage gefütterten Mastschweine scheinen also eine längere Gewöhnungsphase an die Silage benötigt zu haben. Während der Endmast wurden an den mit Mais-Bohnen-Silage gefütterten Tieren signifikant häufiger Verletzungen in den Bereichen „Kopf bis Schulter“ und „Schulter bis Flanke“ beobachtet, was auf eine weniger zufriedenstellende Beschäftigung der Mais-Bohnen-Silage-Gruppen im Vergleich zu den Klee-Gras-Silage Gruppen hindeutet. Mögliche Auswirkungen der in den Bohnen gewöhnlich enthaltenen antinutritiven Inhaltsstoffe können nicht ausgeschlossen werden, scheinen aber angesichts des zufriedenstellenden Leistungsniveaus unwahrscheinlich. Zusammenfassend ist Mais-Bohnen-Silage durchaus als Grundfutter für Mastschweine geeignet, ernährungsphysiologische Vorteile gegenüber Klee-Gras-Silage waren dabei allerdings nicht zu erkennen.

In den ersten beiden Anbaujahren lag die korrigierte Trockenmasse im Mittel aller während der Experimente zur Verdaulichkeitsbestimmung verwendeten Silagen unterhalb des Orientierungswerts von 300 g kg^{-1}, wogegen in den weiteren Anbaujahren sowohl die Mittelwerte wie auch die überwiegende Zahl der Einzelwerte sich im empfohlenen Rahmen befanden. Mit 94 g kg^{-1} Trockenmasse entsprach der Rohproteingehalt der Mais-Bohnen-Silagen dem 1,3fachen Wert der Maissilagen. Dieser in allen Anbaujahren zu beobachtende höhere Wert variierte zwischen dem 1,1fachen und dem 1,6fachen des jeweils korrespondierenden Werts der Maissilagen. Der Bohnenanteil führte unabhängig von Bohnenart und Bohnenanteil in den Silagen zu einem signifikanten Anstieg der verdaulichen organischen Substanz und des Gehalts an metabolischer Energie und Nettoenergie-Laktation. Der ME- und NEL-Gehalt der Silagen mit den Bohnensorten Tarbais und Weiße Riesen betrug im Mittel mit 10,4 und 6,3 MJ kg^{-1} Trockenmasse und lag damit signifikant oberhalb der Ergebnisse der Maissilagen mit 9,7 und 5,7 MJ kg^{-1}. Die Silagen mit den Bohnensorten Preisgewinner, Cobra und Anellino verde wiesen unter den Bedingungen der aktuellen Untersuchung hinsichtlich des Energiegehalts keine signifikanten Differenzen zu den Maissilagen auf.

Bereits während der Projektlaufzeit wurden Ergebnisse in wissenschaftlichen Fachzeitschriften publiziert und auch auf Fachtagungen, Praktikerveranstaltungen und Workshops sowie Feldtagen präsentiert. Weitere Veröffentlichungen und Fachvorträge sind geplant.

3. Erfindungen und Schutzrechtsanmeldungen

Es sind keine Erfindungen und Schutzrechtsanmeldungen erfolgt.

4. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Die Projektergebnisse leisten einen Beitrag dazu, dass das Anbauverfahren des Mais-Bohnen-Gemengeanbaus, die sich anschließende Silierung sowie der Einsatz der Silagen in der Fütterung von Milchkühen und Mastschweinen in der landwirtschaftlichen Praxis eingesetzt und praktiziert

werden kann. Die im Rahmen des Projektes durchgeführte Betriebsbefragung hat ergeben, dass sich landwirtschaftliche Betriebe für den Gemengeanbau von Mais mit Bohnen sowie für die Verfütterung von Silagen, speziell in der Milchviehfütterung, interessieren und dies bereits praktizieren. Ebenfalls haben Saatgutfirmen bereits Aussaatmischungen von Mais und Bohnen in ihrem Portfolio. Daraus lässt sich ableiten, dass das Verfahren Einzug in die landwirtschaftliche Praxis erlangt hat. Dennoch kann und sollte das gesamte Verfahren mit den unterschiedlichen Anwendungsgebieten weiter optimiert werden, damit es langfrisitig und nachhaltig wirtschaftlich erfolgreich praktiziert werden kann.

5. Wissenschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Die im Projekt gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnisse und Daten bieten eine sehr gute Grundlage für die Umsetzung des Anbaus von Mais-Bohnengemengen und den Einsatzmöglichkeiten entsprechender Silagen in der Fütterung von Milchvieh und Mastschweinen. Es konnte gezeigt werden, dass die Mais-Bohnen-Gemenge das Potenzial haben, die Eiweißgehalte in den Silagen zu erhöhen. Eine Weiterentwicklung des Anbausystems, auch im Hinblick auf inzwischen zur Verfügung stehende technische Neuerungen in der Aussaattechnik und der Unkrautregulierung, könnten einen Beitrag leisten, dass in den Mais-Bohnen-Gemengen höhere Bohnenanteile und damit ebenfalls höhere Eiweißgehalte realisiert werden könnten.

6. Wissenschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase

Weiterführende wissenschaftliche Fragestellungen könnten sich im Hinblick auf den Pflanzenbau hinsichtlich der Optimierung in Abhängigkeit der Standort- und Bewirtschaftungsbedingungen widmen. Hierunter ist auch die Integration des Mais-Bohnen-Gemengenanbaus in neue technische Anbaukonzepte zu verstehen, wie z.B. Aussaattechnik mit GPS-RTK-Steuerung, auch in Kombination mit Strip-Till-Technik für eine gezielte Unterfußdüngung von Mais, aber ohne N-Düngung der Bohnen. Damit könnte die Fruchtfolgestellung der Mais-Bohnen-Gemenge eine größere Flexibilität erreichen und gleichzeitig die Bohnen aufgrund der geringeren N-Versorgung in ihren Anbaubereichen eine höhere N-Fixierleistung erzielen. Aufgrund der Züchtungsfortschritte bei den Stangenbohnen für den Mais-Bohnen-Gemengeanbau sollten diese in Leistungsprüfungen getestet werden.

Die Ergebnisse zur Siliereignung der Mais-Bohnen-Gemenge haben gezeigt, dass weitgehend gute Silagequalitäten mit ausreichender aerober Stabilität erzielbar waren, selbst bei solch hohen Bohnenanteilen von 45%, die bisher in Anbauversuchen nicht erzielt wurden. Insofern leitet sich aktuell kein weiterer Forschungsbedarf ab, der sich ausschließlich auf die Silierung von Mais-Bohnen-Gemenge beziehen würde.

Silagen mit höheren Bohnenanteilen, die zur Ernte sowohl höhere Samen- als auch Blattanteile aufweisen, könnten aufgrund zu erwartender Rohproteinsteigerungen ein interessantes Futtermittel sein. Zu prüfen wären dann vor allem die Tanningehalte und ihre Wirkung auf die Verdaulichkeit des Rohproteins und der Kohlenhydrate und dies sowohl beim Schwein als auch beim Wiederkäuer. Die Lektingehalte sollten dabei im Blick behalten werden.

Aufgrund der relativ geringen Anteile von Stangenbohnen in den Silagen, die in den Milchviehfütterungsversuchen zur Anwendung kamen, stellt sich die Frage nach dem Potenzial und den möglichen Risiken von Mais-Stangen-Bohnen-Silagen mit sehr hohen Bohnenanteilen. Insbesondere sollte der Einsatz von Bohnen mit sehr geringen Anteilen an antinutritiven Inhaltsstoffen genauer untersucht werden. Die Kombination mit Maissilage, die eine deutlich höhere Energiekonzentration als

die im Versuch geprüfte aufweist, könnte sich dann sehr positiv auf die Milchproduktion, insbesondere den Eiweißgehalt auswirken.

Der Proteingehalt der in den Mastschweine-Fütterungsversuchen zum Einsatz gekommenen Mais-Bohnen-Silage war deutlich niedriger, der Energiegehalt aber deutlich höher als in der als Vergleichsfutter eingesetzten Kleegrasssilage. Eine weiterführende Fragestellung besteht daher in einer möglichen Energielieferung aus der Mais-Bohnen-Silage und ihrer Akzeptanz bei einer höheren Einsatzmenge. Umgekehrt wäre auch die Erhöhung des Bohnenanteils in der Silage und dadurch eine Verbesserung der Proteinlieferung aus dem Grundfutter eine interessante Fragestellung, allerdings stellt sich dabei analog zur Milchviehfütterung die Frage der Risiken von Mais-Bohnen-Silage mit hohen Bohnenanteilen.

Die Prüfung der Verdaulichkeit der Nährstoffe und damit verbunden des energetischen Futterwerts sollte von neu zur Verfügung stehenden Bohnensorten geprüft werden. Eine weitergehende Prüfung von unterschiedlichen Kombinationen von Mais-Bohnen-Gemengen unter Berücksichtigung spezieller ernährungsphysiologischer Eigenschaften der eingesetzten Futterpflanzen (z.B. Maissorten mit einer erhöhten Verdaulichkeit der Restpflanze) sollte vorgenommen werden.

7. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer

Die gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnisse werden auf nationalen als auch internationalen Tagungen präsentiert und in wissenschaftlichen Journalen veröffentlicht. Ebenso können die Ergebnisse auf weiteren praxisorientierten Veranstaltungen sowohl im ökologischen als auch im konventionellen Bereich vorgestellt werden, um der Praxis das Anbauverfahren zum Anbau von Mais-Bohnen-Gemenge und der Nutzung der daraus hergestellten Silagen vorzustellen.

8. Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung

Die Zeit- und Ausgabenplanung wurde während der Projektlaufzeit mehrfach über Änderungsanträge angepasst und ist mit der Abgabe des Schlussberichtes zum 30.09.2020 eingehalten.