

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Schlussbericht zum Thema

“ Untersuchungen zur Verbesserung ernährungsphysiologischer Eigenschaften von Ackerbohnen und Erbsen für Milchrinder durch kombinierte gärbiologische und thermische Behandlung“

FKZ: 2815EPS020

Projektnehmer:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

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

I. Schlussbericht

Zuwendungsempfänger: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie	Förderkennzeichen: 2815EPS020
Vorhabenbezeichnung: „Untersuchungen zur Verbesserung ernährungsphysiologischer Eigenschaften von Ackerbohnen und Erbsen für Milchrinder durch kombinierte gärbiologische und thermische Behandlungen (SilaToast)“	
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2016 – 31.03.2021	
Berichtzeitraum: 01.08.2016 – 31.03.2021	
Bearbeiter: Prof. Dr. Olaf Steinhöfel & M. Sc. Christian Kuhnitzsch	
Unterstützung bei der Durchführung durch Dr. Siriwan Martens & Frank Püschel	



Untersuchungen zur Verbesserung ernährungsphysiologischer Eigenschaften von Ackerbohnen und Erbsen für Milchrinder durch kombinierte gärbilogische und thermische Behandlungen (SilaToast)

O. Steinhöfel & C. Kuhnitzsch

*Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie,
Referat Tierhaltung, Am Park 3 in 04886 Köllitsch*

Problemsicht: Um die Attraktivität von Erbsen und Ackerbohnen als Proteinkonzentrat in der Wiederkäuerfütterung zu steigern, sind, neben der pflanzenbaulichen Ertrags- und Ernteoptimierung, insbesondere praxisrelevante Verfahren zur Steigerung der ruminalen Beständigkeit des Leguminosenproteins und der Erbsenstärke gefragt. Mit dem Projekt SilaToast (2815EPS020) sollte geprüft werden, inwieweit sich der Futterwert von Erbsen und Ackerbohnen durch Silierung und anschließende Wärmebehandlung frühzeitig geernteter Körner sowie Ganz- bzw. Teilpflanzen erhöhen lässt, ohne nennenswerte Schädigungen wertbestimmender Nährstoffe zu provozieren. Dabei sollten insbesondere das Reifestadium, die Silierparameter sowie Temperaturführung optimiert werden. Neben einer Vielzahl von Modellstudien wurden die erfolgsversprechendsten Verfahrensvarianten im Lehr- und Versuchsgut Köllitsch großtechnisch erprobt und in Fütterungsstudien an hochleistenden Milchrindern getestet.

Ergebnisse: Aufgrund signifikant geringerer Ernteverluste beim Korndrusch und einer nur marginalen Steigerung des Futterwertes bis zur Todreife, ist die Ernte der Körnerleguminosen bereits zur Teigreife der Körner (ab ca. 50 % Korn-TM) sinnvoll. Bei der anschließenden Silierung der feuchten Körner sind keine nennenswerten Nährstoffverluste aufgetreten. Die Bildung von Gärsäuren blieb unabhängig des Zusatzes homofermentative Milchsäurebakterien auf einem niedrigen Niveau. Die Kornsilagen waren über 7 Tage aerob stabil. Die Silierung der teigreifen Körner führte, entgegen der Erwartungen, nicht zu einer Proteolyse sondern zu einer Reduzierung der Proteinlöslichkeit. Eine hydrothermische Aufbereitung dieser Silagen konnte in Abhängigkeit der Behandlungsintensität (Temperatur, Behandlungsdauer, Behandlungsmenge) die ruminale Proteinbeständigkeit weiter stabilisieren und steigern. Dabei wurde jedoch deutlich, dass Temperaturen über 85°C (Korntemperatur) eine zunehmende Proteinschädigung und die Bildung von Maillardprodukte provozierten. Bei der Silierung von Ganzpflanzen und Teilpflanzen aus Erbsen und Ackerbohnen zu ausgewählten Reifestadien (Kornentwicklung, Grünreife, Teigreife, Trockenreife) konnten proteolytische Prozesse erst bei TM-Gehalten $TM > 50\%$ unterdrückt werden. Eine sich anschließende thermische Behandlung der Ganzpflanzen- und Teilpflanzensilagen aus Erbsen und Ackerbohnen steigerte die ruminale Proteinbeständigkeit weiter. Die Stärkequalität sowie der Gehalt an wertbestimmenden Nährstoffen wird durch die kombinierte Behandlung sowohl der Körner als auch der Korn-Restpflanzengemische kaum beeinflusst. In Fütterungstests an hochleistenden Milchkühen konnten ohne Leistungsverlust 1,5 kg Rapsextraktionsschrot und 1 kg Futtergerste durch 3 kg TM siliert-getoastete Erbsen bzw. 5 kg Grassilage durch 4 kg technisch unbehandelte oder getrocknete Ganzpflanzensilage aus Erbsen bzw. Ackerbohne ausgetauscht werden. In allen Versuchen konnte gegenüber der Kontrolle eine Reduzierung der N-Ausscheidung registriert werden.

Fazit: Erbsen und Ackerbohnen können als teigreiches Korn oder Ganzpflanze mit über 50 % TM nach Silierung und anschließender hydrothermischer Behandlung bis maximal 100°C Guttemperatur erfolgreich und wirtschaftlich attraktiv in der Fütterung hochleistender Milchrinder eingesetzt werden.

Abstract***Studies to improve the nutritional properties of field beans and peas for dairy cattle through combined fermentation and thermal treatments (SilaToast)***

O. Steinhöfel & C. Kuhnitzsch

Saxon State Office for Environment, Agriculture and Geology, Animal Husbandry Department, Am Park 3 in 04886 Köllitsch

Problem view: In order to increase the attractiveness of peas and field beans as a source of protein in ruminant feeding, in addition to improving yield and harvest, processes to increase the ruminal resistance to protein and starch degradation are particularly required. The SilaToast project (2815EPS020) was intended to examine the extent to which the feed value of peas and field beans can be increased by ensiling and subsequent heat treatment of early harvested grains and whole or partial plants. Important nutrients should not be damaged in the process. The stage of ripening, ensiling parameters and temperature control should be optimized in the investigation. The most successful treatments from the model studies were tried out on a large scale at the experimental station (LVG) Köllitsch and tested in feeding studies on high-performance dairy cattle.

Results: When the grain legumes were harvested at dough-ripe stage (approx. 50% grain DM) no nutrient losses occurred during the ensiling of the moist grains. The formation of fermentation acids remained at a low level regardless of the addition of homofermentative lactic acid bacteria. The grain silages were aerobically stable for 7 days. The ensiling of the dough-ripe grains led to a reduction in protein solubility compared to before ensiling. A subsequent hydrothermal treatment could further stabilize and increase the ruminal protein resistance, depending on the treatment intensity (temperature, treatment duration, treatment amount). Temperatures above 85 ° C lead to protein damage and the formation of Maillard products. When ensiling whole plants and partial plants from peas and field beans at selected stages of ripeness (grain development, green ripeness, dough ripeness, dry ripeness), proteolytic processes could only be suppressed at DM contents > 50 %. A subsequent thermal treatment of the whole plant and partial plant silages made from peas and field beans further increased the ruminal protein resistance. The starch quality and the content of nutrients, which determine the feed value, are hardly affected by the combined treatment. In feeding tests on high-yielding dairy cows, 1.5 kg of rapeseed meal and 1 kg of feed barley were exchanged for 3 kg of DM ensiled and toasted peas or 5 kg of grass silage for 4 kg of technically untreated or dried whole-plant silage made from peas or field beans without any loss of performance. In all experiments, a reduction in N excretion could be registered compared to the controls.

Conclusion: High-performance dairy cattle can successfully be fed with dough-ripe grain or whole plants of peas and field beans, which have been harvested with > 50 ° DM, ensiled and hydrothermally treated (max. product temperature of 100 °C).

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung.....	7
1.1 Gegenstand des Vorhabens.....	7
1.2 Ziele und Aufgabenstellungen des Projektes, Bezug des Vorhabens zu den einschlägigen Zielen der EPS oder zu konkreten Bekanntmachungen und Ausschreibungen	7
1.3 Planung und Ablauf.....	8
2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	10
3. Material und Methoden	11
3.1. Probenmaterial.....	11
3.2 Probenaufbereitung.....	12
3.3 Durchführung der Silierung.....	14
3.4 Durchführung der thermischen Aufbereitung.....	16
3.5 Analytik	17
Siliererfolg	17
Aerobe Stabilität	17
Laborparameter	18
Maillardprodukte.....	19
3.6 Statistische Auswertung	19
4. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse	20
4.1 Ergebnisse Arbeitspaket A (Modelversuche).....	20
4.1.1 Abreifeverhalten von Erbsen und Ackerbohnen.....	20
4.1.2 Nährstoffentwicklung und -ertrag.....	21
4.1.3 Silierbarkeit des Ausgangsmaterials	25
4.1.4 Siliererfolg	26
4.1.5 Effekte des Silierens und Toastens auf den Nährstoffgehalt	29
4.1.6 Effekte der Trockenmasse zur Silierung.....	31
4.1.7 Effekte des Silierzusatzes auf den Nährstoffgehalt.....	32
4.1.8 Effekte der Wärme-Behandlungsintensität	33
4.1.9 Einfluss der Silierung auf den Effekt der Wärmebehandlung	36
4.2 Ergebnisse Arbeitspaket C (Praxissilievierversuche).....	38
4.2.1 Effekte der kombinierten Behandlung auf die Proteinqualität.....	38

4.2.2 Effekte der Wärmebehandlung auf die Bildung von Maillardprodukten	40
4.3 Ergebnisse Arbeitspaket D (Fütterungsstudien)	42
4.3.1 Fütterungserfolg kombiniert behandelter Erbsen.....	42
5. Diskussion der Ergebnisse	43
6. Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse	48
7. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen	49
8. Zusammenfassung	51
9. Literaturverzeichnis.....	53
10. Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektpartner realisierten Veröffentlichungen zum Projekt	56
11. Impressionen	59

Abkürzungsverzeichnis

AB	Ackerbohne
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
E	Erbse
eHFT	erweiterter Hohenheimer Futterwerttest
GP	Ganzpflanze
GPS	Ganzpflanzensilage
LfULG	Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LVG	Lehr- und Versuchsgut
MSB	Milchsäurebakterien
MSB ^A	Milchsäurebakterien mit amyolytischer Aktivität
NPN	Nicht-Protein-Stickstoff
nRP	nutzbare Rohprotein
PR	Passagerate
RES	Rapsextraktionsschrot
SES	Sojaextraktionsschrot
TP	Teilpflanze („Schröpfungsschnitt“)
WE	Wintererbse

1. Einführung

1.1 Gegenstand des Vorhabens

Der Gegenstand des Vorhabens war die Verbesserung des Futterwertes von Erbse & Ackerbohne für Wiederkäuer durch die frühzeitige Ernte und Silierung als kostengünstiges Lagerungs- und Konservierverfahren sowie der sich anschließenden thermischen Aufbereitung der hergestellten Silagen. Der Silierprozess sollte dabei so gesteuert werden, dass a) desmolytische und proteolytische Prozesse minimiert und b) die Stärkefraktionen möglichst nicht aufgeschlossen wird. Durch die Steuerung des anschließenden Toastprozesses wurde zudem das Ziel verfolgt a) den Gehalt antinutritiver Substanzen auf ein Minimum zu reduzieren sowie b) die ruminale Protein- und Stärkebeständigkeit zu erhöhen und c) eine Schädigung der Nährstoffe durch ein „Übertoasten“ zu verhindern. Anhand dieser Ergebnisse sollten praktikable und wirtschaftlich vertretbare Einsatzempfehlungen in der Fütterung von Erbsen & Ackerbohnen an Milchrinder formuliert werden.

In der Projektlaufzeit wurden regional verfügbare Erbsen- und Ackerbohnsorten hinsichtlich ihrer Blühfarbe (Erbse) und des Tanningehaltes (Ackerbohne) unterschieden und an den Standorten des LVG / LfULG Köllitsch sowie in weiteren sächsischen Demonstrationsbetrieben des Demonstrationsnetzwerkes Erbse/Bohne sowohl in konventioneller als auch ökologischer Form angebaut. Während der Vegetationszeit wurde die Kornreife bonitiert und die Nährstoffentwicklung im Korn zu ausgewählten Reifestadien (Grünreife, Teigreife, Trockenreife) untersucht. Dabei sollte der frühestmögliche Erntetermin, ohne nennenswerten Ertragsverlust essentieller Nährstoffe zu provozieren, bestimmt werden. Die Erbsen und Ackerbohnen wurden zu Projektbeginn als Korn, sowie im späteren Projektverlauf als Ganz- und Teilpflanze (Schröpfschnitt) zu unterschiedlichen Reifezeitpunkten geerntet (Korndrusch, Häckselernte, Handerte). Das feuchte Erntegut wurde mechanisch zerkleinert und mit variierenden Silierzusätzen (amylolytisch wirksame vs. nicht amylolytisch wirksame und homofermentative vs. heterofermentative Milchsäurebakterien, MSB) siliert. Die dabei entstandenen Silagen wurden im Anschluss der Silierung mit unterschiedlicher Behandlungsdauer und –temperatur wärmebehandelt. Die Untersuchungen wurden zunächst im Labormaßstab durchgeführt. Die hergestellten Proben wurden sensorisch sowie nasschemisch auf bedeutende Futterwertparameter (Rohnährstoffe, Gär säuren, ruminale Abbaubarkeit, ...) analysiert. Die daraus abgeleitet und erfolgversprechendsten Varianten wurden anschließend in gleicher Weise großtechnisch hergestellt und deren Praxis- (Ernte, Siliertechnik, Wärmebehandlung) und Fütterungstauglichkeit (Futteraufnahme, Milchleistung und -inhaltsstoffe, Stoffwechselfparameter) an hochleistenden Milchrindern erprobt.

1.2 Ziele und Aufgabenstellungen des Projektes, Bezug des Vorhabens zu den einschlägigen Zielen der EPS oder zu konkreten Bekanntmachungen und Ausschreibungen

Ziel des Vorhabens war es, den Futterwert einheimischer Körnerleguminosen wie Erbse und Ackerbohne als Korn und Ganz- bzw. Teilpflanze (Schröpfschnitt) durch die Silierung des feuchten Erntegutes und der nachfolgenden Wärmebehandlung zu steigern und diesen an Hand der Fütterungstauglichkeit an hochleistenden Milchrindern zu überprüfen. In Folge der kombinierten Behandlung versprachen sich die Bearbeiter im Hinblick auf den Einsatz beim Wiederkäuer eine Erhöhung der ruminale Protein- und Stärkequalität sowie eine Reduzierung an antinutritiven Inhaltsstoffen beim Einsatz in der Monogasterfütterung. Die Silierung von erntefrischen Körnerleguminosen als Korn sowie als Ganzpflanze wurde in der Vergangenheit bereits erfolgreich untersucht. Die Kombination mit einer anschließenden Wärmebehandlung blieb dabei noch unerforscht.

Der Bezug zu einschlägigen Zielen der Eiweißpflanzenstrategie (EPS) bestand darin, dass Körnerleguminosen (Erbsen und Ackerbohnen) durch ihre regionale Verfügbarkeit und pflanzenbaulichen Vorteilen (N-Fixierung, tiefe Bodendurchwurzelung, hohe Vorfruchtwirkung, Erweiterung der Fruchtfolge) nicht nur gesellschaftlich an Interesse gewonnen haben, sondern auch die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen der Eiweißpflanzenstrategie (EPS) entlang einer Wertschöpfungskette das Ziel verfolgte, den wissenschaftlichen Kenntnisstand großsamiger Körnerleguminosen nennenswert zu erweitern und deren pflanzenbaulichen Nutzbarkeit sowie Einsatzmöglichkeit in der tierischen Veredlung zu erhöhen. Im Rahmen des SilaToast-Projektes wurden konventionelle als auch ökologische Bereiche berücksichtigt, mit dem Ziel bei Erbsen und Ackerbohnen, als regional verfügbare Eiweißpflanzen, einerseits Forschungslücken zu schließen, um den Einsatz in der Fütterung landwirtschaftlicher Nutztiere zu motivieren, und andererseits um die Konkurrenzfähigkeit und Attraktivität zu traditionellen Proteinfuttermitteln wie Raps- oder Sojaextraktionsschrot zu verbessern. Durch die Zusammenarbeit mit am Demonstrationsnetzwerk Erbse/Bohne beteiligten Anbaubetrieben wurde der Bezug zu bereits geförderten Vorhaben über die gesamte Projektzeit im bestmöglichen Maße hergestellt.

1.3 Planung und Ablauf

Das SilaToast-Projekt erstreckte sich über einen Zeitraum von Juni 2016 – März 2021. Der Umfang der geplanten Untersuchungen am LfULG Köllitsch bestand dabei aus den Arbeitspaketen

- A **Modellversuche:** Silier- und Toastversuche im Labormaßstab zur Untersuchung von Erbsen und Ackerbohnen
- C **Praxissilivversuche:** Herstellung und Untersuchung von Silagen und thermisch aufbereiteten Silagen im großtechnischen Maßstab in den Demonstrationsbetrieben des Demonetzwerkes Erbse/Bohne
- D **Milchkuhfütterung:** Untersuchung großtechnisch hergestellter Silagen mit anschließender Wärmebehandlung in Fütterungsstudien im Lehr- und Versuchsgut (LVG) des LfULG in Köllitsch.

Im ersten Projektabschnitt (2016 – 2018) wurden die Untersuchungen auf die Silierung und thermischen Aufbereitung des Korns fokussiert und folgende Arbeiten durchgeführt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Durchgeführte Arbeiten am LfULG im ersten Projektabschnitt (2016 – 2018)

LfULG	2016		2017				2018				
	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	
A Modellversuche	Voruntersuchungen Silieren (-/+ MSB) & Toasten		Silierungsversuch „Kom; rückbe-feuchtet“	Laboranalytik	Silierungsversuch „Kom; teigreife“	Auswertung/ Literatur-recherche/ Publikation	Laboranalytik	Auswertung/ Literatur-recherche/ Publikation		Silierungsversuch „GP, TP, Korn“	Auswertung + Berichterstattung
C Praxisversuche		Anbauplanung		Pflanzenbonitur	"Korn"		Laboranalytik	Bonitur, Auswertung	Teilpflanze		
D Milchkuhfütterung					Silierung „Korn rückbe-feuchtet“		Versuchsplanung & Toasten „siliertes Erbse“	Fütterung „siliertes + getoastetes Erbse“	Laboranalytik		

GP, Ganzpflanze; TP, Teilpflanze (Schröpfungsschnitt); MSB, Milchsäurebakterien;

In Anlehnung der gewonnenen Erkenntnisse und entstandenen Problemstellungen v.a. in der großtechnischen Umsetzung (Trockenheit, technische Probleme bei der Ernte und Silierung feuchter Körner, Schädnerbefall) modifizierte die Arbeitsgruppe gemeinsam mit der BLE und dem Verbundpartner MLU Halle-Wittenberg die Projektinhalte und beantragte eine Änderung mit Projektverlängerung. Die angepasste Projektausrichtung hatte das Ziel, Erbsen und Ackerbohnen als Ganz- bzw. Teilpflanzen (Schröpfungsschnitt unterhalb der Fruchtanlagen) zu ernten, silieren und anschließend thermisch aufzubereiten. Die durchgeführten Untersuchungen sind in der Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Durchgeführte Arbeiten am LfULG im zweiten Projektabschnitt (2019 – 2021)

LfULG	2019				2020				2021
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I
A Modellversuche	Auswertung/Literatur-recherche/Publikation	Vorbereitungen/Versuchsplanung, Absprachen	Silierungsversuch + Trocknung „TP/GP“				Silierungsversuch „TP“		Auswertung/Literatur-recherche/Publikation/ Abschlussbericht
C Praxisversuche	Anbauplanung		Silierung Schröpfungsschnitt Erbse	Laboranalytik	Auswertung/ Literatur-recherche/ Publikation			Laboranalytik	
D Milchkuhfütterung	Fütterung „siliertes + getrocknetes Erbsen-GPS“	Laboranalytik	Auswertung/ Literatur-recherche/ Publikation	Anbauplanung Sommersorten & Pflanzenbonitur Wintersorten		Abreifebonitur Wintersorten	Silierung Schröpfungsschnitt Erbse Ackerbohne	Versuchsplanung	Fütterung „trockenes siliertes Erbsen“

GP, Ganzpflanze; GPS, Ganzpflanzensilage, getrocknet; TP, Teilpflanze (Schröpfungsschnitt)

Der Ablauf der geplanten Untersuchungen sowie Zwischenergebnisse wurden in regelmäßigen Sachstandsberichten sowie Absprachen und Projekttreffen mit dem Projektpartner (MLU) sowie der BLE zeitnah abgestimmt und entstandenen Unvorhersehbarkeiten diskutiert.

2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

In den vergangenen 10 Jahren wurden in Deutschland durchschnittlich auf einer Fläche von rund 65 Tsd. ha Erbsen angebaut. Die mittlere Anbaufläche von Ackerbohnen betrug dabei rund 34 Tsd. ha. Damit hatten die beiden Körnerleguminosen eine Anbaufläche zur Gesamtackerfläche in Deutschland von rund 1,5 %. Der mittlere Ertrag für Erbsen lag bei rund 33 dt/ha und Ackerbohnen erreichten einen Ertrag von 37 dt/ha. Bereits in publizierten Untersuchungen zur Silierung großsamiger Körnerleguminosen (BLE-03HS002; Abschlussbericht siehe ZEYNER et al., 2008; weiterhin GEFROM et al., 2012; GEFROM, 2013; GEFROM et al., 2014; 2015; THAYSEN, 2009) wurde gezeigt, dass eine erfolgreiche Silierung sowohl nach Ernte in einem physiologischen Stadium mit höherer Kornfeuchte (ca. 30 - 35 % Feuchte) als auch in der Voll- bzw. Tотреife nach Rückbefeuchtung möglich ist.

(1) Die Silierung ist trotz theoretisch schlechter Vergärbarkeit (niedriger Zuckergehalt) gut möglich, offenbar unter Nutzung oligomerer Kohlenhydrate für die Milchsäurebildung durch Milchsäurebakterien (MSB) auch ohne Zuckerquelle als Silierzusatz.

(2) Der Zusatz leistungsfähiger, osmotoleranter MSB erhöht die Sicherheit des Gärprozesses. Das dazu verwendete biologische Siliermittel aus zwei Stämmen *Lactobacillus plantarum* führt jedoch, anders als ohne Zusatz einsiliert, zu einer Reduktion des Stärkegehaltes bei stärkereichen Leguminosenarten wie Ackerbohne und Erbse um etwa 50 %, was im Hinblick auf den ernährungsphysiologischen Wert des Futtermittels – je nach Einsatzziel – unerwünscht sein kann. Ein solcher Effekt wurde nach Zusatz von *Lactobacillus plantarum* bereits bei der Silierung von Getreidekörnern beschrieben (HACKL et al., 2010; PIEPER et al., 2011).

(3) Die Reduzierung antinutritiver Inhaltsstoffe verlief weitgehend effektiv und bestätigte damit aus der Literatur bekannte Effekte (Übersicht siehe GEFROM et al., 2013), wobei der Gehalt an Oligosacchariden (Stachyose, Verbascose, Raffinose; siehe Punkt 1) und Tanninen sehr effektiv reduziert wurde, der Gehalt an Phytat-P und Alkaloiden (Lupine) jedoch nicht eindeutig beeinflusst war. Fütterungsstudien mit Lupinen an Broilern und Absetzferkeln zeigten, dass die Silierung feuchter Leguminosenkörner eine Einbeziehung höherer Leguminosenanteile ohne Leistungsreduktion erlaubt.

Bisher unzureichend charakterisiert sind die Auswirkungen des Gärprozesses auf N-haltige Fraktionen und deren Löslichkeit (Proteinlöslichkeit) sowie die Möglichkeit des Einsatzes osmotoleranter MSB bei weitgehendem Erhalt der im Korn gelagerten Stärkemenge.

Die Frage des Einsatzes von Körnerleguminosen in der Monogastrierernährung hat besonders unter Bezugnahme auf den ökologischen Landbau tierexperimentell eine hohe Würdigung erfahren (siehe dazu auch: Geflügel BLE-01HS029; BLE-02OE622, BLE-11NA035, BLE-11OE070; Schweine: BLE-11NA034, BLE-02OE209, BLE-02OE209/F, BLE-02OE209/F [Erbsenschalen], BLE-03OE423, 07OE024, BLE-11NA034, BLE-11NA036, BLE-NA056, BLE-11OE021; Zusammenfassung siehe BLE-10OE088, BLE-10OE089). Dagegen wurde der Einsatz von Leguminosenkörnern an Wiederkäuer vergleichsweise wenig untersucht (siehe auch BLE-98UM132, BLE-02OE005).

Im Rahmen dieser Untersuchungen zeigten sich teils widersprüchliche Effekte thermischer Behandlung auf den *in vitro*-Gasbildungsverlauf (Wirkung in Abhängigkeit vom Behandlungsverfahren entweder negativ oder positiv), bei insgesamt positiver Wirkung der Hitzebehandlung von Erbsen als alleiniges Kraftfutter auf die Milchleistung. Allgemein werden thermische Verfahren bei großkörnigen Leguminosen angewandt, um den Gehalt an antinutritiven Inhaltsstoffen zu reduzieren und um eine bessere Verfügbarkeit von Protein (primär über die Reduktion antinutritiver Substanzen) und erhöhten Aufschluss von Stärke zu realisieren (ARJA et al., 2006; FRIKHA et al., 2013). In Abhängigkeit vom Verfahren (BUSSEMAS et al., 2011; STALLJOHANN & PATZELT, 2011) und der im Futter vorliegenden Kombination reaktiver Nährstoffe ist jedoch auch eine Erhöhung des abbauresistenten Anteils der Proteinfraction und im Gefolge der Retrogradation von Stärke im Abkühlungsprozess auch die Formierung einer in höherem Maße resistenten Stärkefraktion denkbar (BOCHNIA et al., 2015a). Beide, möglicherweise nach dem Toasten auftretende Prozesse, wären für die Ernährung von Wiederkäuern potentiell von Vorteil. Sie setzen aber voraus, dass die Prozessführung während der Silierung weitgehend protein- und stärkeerhaltend erfolgt und dass Toasten eine höhere Widerstandsfähigkeit gegenüber Abbauprozessen bewirkt. Diesbezügliche Kenntnisse über das Toasten von Leguminosenkörnersilagen liegen nach Kenntnis der Antragsteller bisher nicht vor. Untersuchungen zur Silierung der Ganzpflanzen von Erbsen und Ackerbohnen zur frühen Phase der Kornentwicklung (rund 30 % TM) ergaben sehr niedrige pH-Werte < 4,0 und hohe Milchsäuregehalte von rund 50 g MS/kg TM (ALBERS & KAEMENA, 2015; MUSTAFA & SEGUIN, 2003; TYROLOVÁ & VÝBORNÁ, 2011). Daraus lässt sich eine geringe Pufferkapazität bei einem hohen Vergärbarkeitsquotienten und hohen Angebot leicht löslicher Kohlenhydrate vermuten. Silierstudien zu einem späterem Abreifstadium (Ende Grünreife, 40 % TM) wurden von ALBERS & KAEMENA (2015) mit eingeschränktem Siliererfolg (Gärsäuren) beschrieben. Die thermische Aufbereitung dieses Grün-gutes und deren Silagen wurde bisher nicht beschrieben.

3. Material und Methoden

3.1. Probenmaterial

Der Projektumfang am LfULG Köllitsch gliederte sich in drei Arbeitspakete (A, Modellversuche; C; Praxissiliverversuche; D, Milchkuhfütterung). Das für diese Untersuchungen notwendige Probenmaterial wurde durch ausgewählte Betriebe des Demonstrationsnetzwerkes Erbse/Bohne entsprechend den gewünschten Anforderungen (ökologisch vs. konventionell; verschiedene Reifestadien und Trockenmassen; Sortenunterschiede) zur Verfügung gestellt (Tabelle 3).

Tabelle 3: Im Projekt verwendetes Probenmaterial

	Art	Sorte	Erntegut	Anbaubedingungen
1	E	Alvesta	Korn	2016, keine Angaben
2	E	Alvesta		2017, 11 ha, 75 kK/m ² , Auenboden aus Lehm inklusive Sandstreifen, Ø 525 (163 mm)
3	E	Astronauta		2017, 10 ha, 45 dt/ha, 80 kK/m ² , AZ 50/Parabraunerde (Lösslehm), WG, Ø 640 mm (235 mm)
4	E	Astronauta		2018, 15 ha, 35 dt/ha, 90 kK/m ² , AZ 71/Auenboden aus Lehm inklusive Sandstreifen, SM, Ø 325 mm (120 mm)

5	WE	E.F.B. 33*		2016, ökologisch im Gemenge mit WT (Benetto), 200 kg kK/ha (50/50), 16 ha, 37 dt/ha, AZ 60/ schluffiger Lehm; Kartoffeln; Ø 680 mm
6	AB	Fanfare		2016, 13 ha, 25,5 dt/ha, 40 kK/m ² , AZ 70/ toniger Lehm, WW, Ø 590 mm
7	AB	Taifun**		2016, AZ 70/ toniger Lehm, WW, Ø 590 mm
8	AB	Taifun**		2017, 5 ha, 56 dt/ha, 35 kK/m ² , AZ 50/Parabraunerde (Lösslehm), WG, Ø 640 mm (418 mm)
9	E	Astronaute	Korn, GP, TP (feucht)	2019, 6 ha, 700 dt AB-GP/ha, 500 dt E-GP/ha; 90 kK/m ² , AZ 71/Auenboden aus Lehm inklusive Sandstreifen, Ø 372 mm (185 mm)
10	AB	Tiffany		
11	AB	E.F.B. 33*		
12	E	Astronaute	GP, TP (trocken)	2020, 6,6 ha, 84 dt FM E-TP/ha; 90 kK/m ² , AZ 69/Auenboden aus Lehm inklusive Sandstreifen, Ø 436 mm (195 mm)
13	WAB	Arabella		
14		Augusta		
15	WE	Boreal		
16		Fresnel		

*buntblühend, **tanninarm; Anbaubedingungen: Anbaujahr, Fläche, Ertrag, Saatstärke, Ackerzahl, AZ/Boden, Vorfrucht, Jahresniederschlagsmenge (Erbsen: März - Juli, Ackerbohnen: März - August; Ø Jahresniederschlag); AB, Ackerbohne; E, Erbsen; FM, Frischmasse; GP, Ganzpflanze; E.F.B.33, Sortenname; kK, keimfähige Körner; SM, Silomais; WAB, Winterackerbohne; WE, Wintererbsen; WG, Wintergerste; WW, Winterweizen; WT, Wintertritikale

3.2 Probenaufbereitung

Für die Laboruntersuchungen im **Arbeitspaket A (Modellversuche)** wurden die ausgewählten Sorten (Tabelle 3) als Korn, Ganzpflanze und Teilpflanze (Schröpfschnitt) verwendet. Die Körner wurden zu unterschiedlichen Reifestadien (Grünreife, Teigreife, Trockenreife) händisch sowie großtechnisch geerntet, mit einer Walzenmühle (Murska 220 SM) auf rund 5 mm gequetscht und in Abhängigkeit der TM (> 80 % TM) mit destilliertem Wasser auf die gewünschte Silier-TM von 70 % zurückbefeuchtet. Das Grüngut (GP, TP) wurde ebenfalls zu ausgewählten Reifestadien (Grünreife, Teigreife, Ende Teigreife) händisch und großtechnisch geerntet und gehäckselt (5 – 8 mm; Abbildung 1).



Abbildung 1: Probennahme und Zerkleinerung von Erbsen und Ackerbohnen (links, Erbsen pöhlen; mittig, Probennahme Ganzpflanze; rechts, Zerkleinerung Ganzpflanze mittels Gartenhäcksler)

Die Modellsilagen wurden in den Varianten ohne (Kontrolle, KON) oder mit Zugabe von homo- bzw. heterofermentativen Milchsäurebakterien, jeweils ohne (z.B. MSB; „Josilac@classic“; *Lactobacillus plantarum*, LSI NCIMB 30083 1k20736 und L256 NCIMB 30084 1k20737

sowie *Pediococcus acidilactici* P11 DSM 23689 1k1011 und P6 DSM 23688 1k1010; Josera GmbH & Co. KG, Kleinheubach) oder mit (z.B. MSB^A; *L.plantarum* Stamm, LMG 18053) amyolytischer Aktivität für mindestens 60 Tage siliert (Abbildung 2).



Abbildung 2: Zugabe der Milchsäurebakterien als Siliermittelzusatz (links, Siliergut im Mischbehälter; mittig, Dosierung der MSB-Zugabe; rechts, Kontrolle der amyolytischen Aktivität)

Für die großtechnischen Untersuchungen im **Arbeitspaket C (Praxissilierungsversuche)** wurden die Körner von Erbsen und Ackerbohnen mit einem Flexschneidwerk (9 m Breite) gedroschen (Probenmaterial 2, 4 und 8; Abbildung 3).



Abbildung 3: Großtechnische Ernte teigreifer Erbsen mit 70 % TM

Trockenreif geerntetes Probenmaterial (> 80 % TM) wurde in einem Futtermischwagen (BvL, Maxium) mit einer zuvor berechneten Menge an Leitungswasser auf 70 % TM rückbefeuchtet und durchmischt. Die Wiegeeinheit des Futtermischwagens ermöglichte eine genaue Dosierung (± 2 kg) der Wassermenge in Abhängigkeit der Korn-TM. Nach vollständiger Wasseraufnahme der Körner (ca. 30 min) wurden diese auf einer sauberen Fläche breit ausgelegt um eine Erwärmung des feuchten Materials zu umgehen (Abbildung 4).



Abbildung 4: Großtechnische Rückbefeuchtung von trockenreifen Ackerbohnenkörnern auf 70 % TM

Für die Ernte der Ganzpflanzen und Teilpflanzen (Schröpschnitt; Probenmaterial 4, 12 – 16) wurde die Ernte mit einem CLAAS Häcksler durchgeführt. Um die Ernte aus dem Stand zu und bei entsprechender Schnitthöhe unterhalb der Fruchtanlagen (Ganzpflanze, 10 cm Schnitthöhe; Schröpschnitt, 25 cm Schnitthöhe) zu gewährleisten wurde das Pflanzengut mit einem „CLAAS Direct-Disc 610 GPS-Schneidwerk“ im Direktschneidverfahren geerntet. Das Grün- gut wurde mit dem „Shredlage“-Verfahren auf ca. 30 mm Länge gehäckselt und die Körner unter der Verwendung eines „Corncrackers“ auf 3 mm gequetscht (Abbildung 5).



Abbildung 5: Großtechnische Ernte Schröpschnitt Erbse (25 cm Schnitthöhe)

3.3 Durchführung der Silierung

Arbeitspaket A (Modellversuche) Das zerkleinerte Probenmaterial (Körner, Grün- gut) mit (MSB) und ohne Siliermittel (KON) wurde nach dem Rostocker Modell von HOEDTKE & ZEYNER (2011) in Vakuumbeuteln (Polyethylen- tüten RS-Vac: 20 cm x 30 cm Innenbeutel, 30 cm x 50 cm Außenbeutel; 160 µ Materialstärke; Firma LA.VA; Germany) und der Verwendung eines Vakuumiergerätes (V.400® Premium mit dreifach Schweißnaht; Firma LA.VA; Germany) unter standardisierten Bedingungen siliert. Die Laborsilagen wurden für mindestens 60 Tage in einem konstant klimatisiert (22 - 25 °C) und abgedunkelten Raum gelagert. Für die Ermittlung des TM-Verlustes wurde der TM-Gehalt des zu silierenden Materials sowie die Ein- waage des Materials und das Gesamtgewicht der Modellsilage (Material, Innen- und Außen-

beutel, Paketklebeband) erfasst. Das Anstechen des Innenbeutels verhinderte einen Druckaufbau durch entstehende Gärgase. Um dennoch anaerobe Silierbedingungen zu schaffen wurden die Silagen mit einem Außenbeutel vakuumiert.

Arbeitspaket C (Praxissilierungsversuche) Im Anschluss der Ernte wurden die Körner mit einer Murska 2000 durch zwei gegenläufige Riffelwalzen auf 3 mm Stärke gequetscht und unter kontinuierlicher Zugabe des biologischen Siliermittels während des Verfahrens (MSB; Josilac classic, LSI NCIMB 30083 1k20736; 6×10^6 KBE/g FM) in einen Folienschlauch verbracht.



Abbildung 6: Großtechnische Zerkleinerung und Silierung mit Siliermittelzugabe (MSB) der Leguminosenkörner

Das gehäckselte Grünzeug wurde entweder mit einer Schlauchpresse (Budissa Bagger RT 8000; Probenmaterial 4, 9, 10) in Siloschläuche oder mit einer Press-Wickelkombination (Vario Master, Firma Göweil, Probenmaterial 12 – 16) in Ballen verbracht (Abbildung 7).



Abbildung 7: Verwendete Siliermaschinen (links, Schlauchpresse, rechts, Ballenwickelkombination)

Die großtechnisch hergestellten Silagen des Probenmaterials 9 und 10 (2019) wurden auf Grund starker Verunkrautung (Melde, Disteln, u.a.) nicht für die weitere Analyse sowie der Ermittlung des Fütterungserfolges herangezogen. Die im Laufe der Projektzeit hergestellten Silagevarianten werden in der Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Hergestellte Silagevarianten von Erbsen und Ackerbohnen

Siliergut	Art	Probenmaterial	Jahr	TM-Silierung [%]	Varianten	Anzahl	Silierdauer [d]
Modellversuche (Arbeitspaket A)							
Korn	E	1	2016	55*, 66*	KON, MSB		60
	E	1	2017	72*	KON, MSB ^A , MSB	36	62
	WE	5		71*		36	61
	AB	7		70*		36	61
	AB	6		71		36	58
	AB	8		76, 69*		17	129
	E	3		68*		30	76
GP, TP	E	4	2018	31, 43, 55, 75	KON, MSB	54	59 - 66
	E	4		25, 30, 35, 43		128	59 - 66
	WE	11	2019	53, 88		44	67
	E	9		30, 40, 78		99	60 - 63
	AB	10		24, 38, 40		111	60 - 70
	E	12	2020	54, 71		36	62
	AB	14		47, 68		36	62
Großtechnische Durchführung (Arbeitspaket C)							
Korn	E	2	2017	78	MSB	1 S	270
	AB	8		70*		1 S	270
	E	4	2018	73		1 S	70
TP	E	4		34	1 S	60	
GP	E	9	2019	87	KON	1 S	90
GP	AB	10		35		1 S	90
TP	E	12	2020	51		99 B	60 - 120
GP	WAB	13		57		6 B	80 - 200
	WAB	14		44		8 B	
	WE	15		33		6 B	
	WE	16		48		8 B	

*rückbefeuchtet; B, Folie-Ballen; GP, Ganzpflanze; KON, Kontrolle ohne Silierzusatz; MSB^A, Milchsäurebakterien *L.plantarum* mit amylolytischer Aktivität (LMG 18053; 6x10⁶ KBE/g FM); MSB, mit Zugabe von *L.plantarum* ohne amylolytische Aktivität (Josilac classic, LSI NCIMB 30083 1k20736; 6x10⁶ KBE/g FM); TP, Teilpflanze (Schröpfschnitt); S, Silierschlauch

3.4 Durchführung der thermischen Aufbereitung

Arbeitspaket A (Modellversuche) Die hergestellten Korn- sowie GP- und TP-Silagen und das native unbehandelte Ausgangsmaterial (Grüngut) wurden hydrothermisch („Toasten“) aufbereitet. Das zu behandelnde Material wurde in einem Trockenschrank (Reinraum-Trockenschrank UF1060; Temperatursensor 1 Pt100 DIN-Klasse A; Einstellungsgenauigkeit der Temperatur ab 100 °C = 0,5 °C; Firma Memmert) getoastet. Hierzu wurden die Silagen aufgelockert und auf herkömmliche Aluschalen bzw. -sietten gelegt und mit einer perforierten Alusiette abgedeckt. Die Behandlungsdauer (10, 20, 30, 60 min), -temperatur (120, 140, 160, 180 °C) und zu toastende Menge (500, 1000 g) wurde dabei variiert. Im Anschluss der Behandlung wurden die gewonnenen Proben für die weitere Analyse vakuumiert und eingefroren (- 18 °C). Die Luftturbine sowie die Abluftdrosselklappe des Trockenschrankes wurden während der Wärmebehandlung auf ein Minimum (10 %) reduziert um den entstehenden Wasserdampf im Wärmeprozess zu erhalten. Wasser oder Wasserdampf wurde nicht extern dazu gegeben.

Arbeitspaket C (Praxissilierungsversuche) und D (Fütterungsstudien) Die großtechnisch hergestellte Kornsilage wurden mit einem mobilen Toaster (Sonderanfertigung im Rahmen des Si-laToast^{BLE}-Projektes; ECO-Toast 100) bei einem Durchsatz von 50 – 100 kg FM/h und Einblastemperaturen von 120 °C – 200 °C getoastet. Das Material gelangte aus einem Vorratsbehälter (Nylonsack; ca. 1 m³) in eine Toastkammer und wurde mit Heißluft (Heizplatten) umströmt. Durch elektrisch steuerbare Auslaufklappen, die sich in definierten Zeitintervallen öffneten, wurde der gewünschte Durchsatz realisiert (Abbildung 8). Die TP-Silage (Probenmaterial 4, Tabelle 4) wurde im Anschluss der Silierung verladen und in einem nahegelegenen Trockenwerk (Trocknungs- und Futtermittelvertriebsgesellschaft mbH Gröden) in einer Trommel-trocknungsanlage (500 °C Einblastemperatur, 100 °C Durchlauftemperatur) getrocknet und in Quaderballen gepresst.



Abbildung 8: Thermisches Aufbereiten silierter Erbsen (links, Befüllen des Vorratsbehälters; rechts, mobile Toastanlage, ECO-Toast, Agrel)

3.5 Analytik

Silierungserfolg

Arbeitspaket A (Modellversuche) Die hergestellten Silagen wurden zur Bestimmung des TM-Verlustes nach rund 60 Tagen Silierdauer zurückgewogen, geöffnet und hinsichtlich des Geruches (u.a. Gärssäuren), der Farbe und des Gefüges (u.a. fest, locker, schmierig) sowie Besonderheiten (Hefebesatz, Schimmel, etc.) sensorisch beurteilt. Weiterhin wurde der pH-Wert (10 g FM in 100 ml *aqua dest.*) sowie die TM in dreifacher Wiederholung je Probe bestimmt.

Arbeitspaket C (Praxissilierungsversuche) Die großtechnisch hergestellten Silagen wurden nach der Öffnung des Schlauches oder des Ballens allgemein (Beschaffenheit der Anschnittsfläche, Verdichtungsgrad, Verderbnisanzeiger wie Schimmel- und Hefenester) begutachtet. Im Zuge der Fütterung wurden die Anschnittsflächen beprobt und sensorisch (Geruch, Farbe, Gefüge) sowie physikalisch (pH-Wert, TM) auf dessen Silierungserfolg untersucht.

Aerobe Stabilität

Die aerobe Stabilität der hergestellten Silagen (**Arbeitspaket A und C**) wurden in Anlehnung an die Methode von HONIG (1990) durchgeführt. Hierbei dienten speziell präparierte, luftdurchlässige Kanalgrundrohre (KG-Rohre, Außendurchmesser 110 mm, 25 cm Höhe) umgeben von einer 6 cm dickwandigen Styroporhülle als thermoisoliertes Behältnis. Darin wurden 250 – 300 g FM aufgelockertes Silagematerial für 7 Tage aerob in einem temperaturkonstanten (20 - 25 °C) und abgedunkelten Raum gelagert (Abbildung 9). Als Maß der aeroben Stabilität galt der Temperaturverlauf der Silagen unter Lufteinschluss der im halbstündigen Intervall durch automatische Temperaturlogger (Tinytag TRANSIT 2) erfasst wurde. Die Silage galt dabei als aerob instabil, wenn eine Temperaturerhöhung von 3 °C über der Raumtemperatur lag. Am Ende

der aeroben Lagerung wurden die TM zur Bestimmung der Gewichtsverluste, der pH-Wert (10 g FM in 100 ml *aqua dest.*) sowie das Vorkommen von Schimmel oder Hefen als Indikatoren der aeroben Stabilität bestimmt.



Abbildung 9: Aerobes Stabilitätstest (links, Behälter; rechts, Schimmelbildung bei silierten Erbsenganzpflanzen nach 7 Tagen aerober Lagerung)

Laborparameter

Die hergestellten Proben aus dem **Arbeitspaketen A (Modellversuche), C (Praxissiliverversuche) und D (Fütterungsstudien)** wurden durch die Landwirtschaftliche Kommunikations- und Servicegesellschaft (LKS) mbH Lichtenwalde nasschemisch untersucht. Die verwendeten Analysemethoden sind in der Tabelle 5 dargestellt. Die Proben wurden gefroren gelagert und für die Analyse bei 40 °C schonend getrocknet.

Tabelle 5: Angewandte Analysemethoden

Parameter	Methode (akkreditiert)
Alkohole	Hausmethode LKS FMUAA 181 (nicht akkred.)
Gärsäuren	Hausmethode LKS FMUAA 166
Neutrale Detergenzienfaser, NDF	VDLUFA Band III, Kap. 6.5.1
Proteinfraktionen (A, B1, B2, B3 & C)	LKS FMUAA 1402015-11 nach Licitra et al., 1996
Proteinlöslichkeit	berechnet, A + B1 nach Licitra et al., 1996
Pufferkapazität	Hausmethode LKS FMUAA 127a
Rohasche, RA	VDLUFA Band III, Kap. 8.1
Rohfaser, RfA	VDLUFA Band III, Kap. 6.1.1
Rohfett, RF	VDLUFA Band III, Kap. 5.1.1
Rohprotein, RP	VDLUFA Band III, Kap. 4.1.1
Saure Detergenzienfaser, ADF	VDLUFA Band III, Kap. 6.5.2
Saures Detergenzienlignin, ADL	VDLUFA Band III, Kap. 6.5.3
Stärke	VDLUFA Band III, Kap. 7.2.1, polarimetrisch
Trockensubstanz, TS	VDLUFA Band III, Kap. 3.1
Zucker	VDLUFA Band III, Kap. 7.1.1
Gesamtenergie, GE	MLU, Bombencalorimetrie
ruminale Abbaubarkeit TM, RP, Stärke	Hausmethode nach Hiendl (2010) und Südekum (2005)
Maillardprodukte	Nach SCHWARZENBOLD et al. (2016) über die HPLC-ESI-MS

HPLC-ESI-MS, „High performance liquid chromatography-electrospray ionisation tandem-mass spectrometry“; LKS, Landwirtschaftliche Kommunikations- und Servicegesellschaft mbH; MLU, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Maillardprodukte

Im **Arbeitspaket A (Modellversuche) und D (Fütterungsstudien)** wurden ausgewählte Proben auf die Bildung von Maillardprodukten im Zuge der Wärmebehandlung untersucht. Der Gehalt an Maillardprodukten wurde durch die Technische Universität Dresden, Professur für Lebensmittelchemie, bestimmt. Dabei wurde erstmalig mit den wärmebehandelten Proben der Erbsen und Ackerbohnen die Bildung von Maillardprodukten in Futtermitteln analysiert und in Zusammenarbeit des LfULG Köllitsch und u.a. im Rahmen des SilaToast-Projektes ein möglicher Übergang dieser Maillardprodukte in die Milch untersucht. Die entwickelte Methode hierzu wurde in HOFMANN ET.AL. (2019) gemeinsam publiziert. Die lysingebundenen Maillardprodukte Carboxymethyllysin (CML) und Pyrralin, sowie das Arginin assoziierte Methylglyoxal Hydroimidazon (MG-H1) sind in Anlehnung an SCHWARZENBOLD et al. (2016) über die HPLC-ESI-MS („High performance liquid chromatography-electrospray ionisation tandem-mass spectrometry“) bestimmt wurden. Das Amadoriprodukt Fructoselysin wurde aus Furosin modifiziert nach KRAUSE et al. (2003) ermittelt. Die Bestimmung des Lysin- und Arginingehaltes, in Zusammenhang der analysierten Maillardprodukte, erfolgte mittels saurer Hydrolyse und Ninhydrin-Nachsäulenderivatisierung.

3.6 Statistische Auswertung

In Vorbereitung der statistischen Auswertungen wurden im **Arbeitspaket A (Modellversuche)** alle Varianten (Grüngut, Silagen (KON, MSB), thermisch aufbereitete Silagen/Grüngut) mindestens in dreifacher Wiederholung hergestellt und entsprechend analysiert. Die gewonnenen Daten wurden auf ihre Plausibilität geprüft und ggf. mit Literaturquellen verglichen. Analysebedingte Ausreißer und fehlerhafte Datensätze wurden nicht in der statistischen Analyse berücksichtigt. Die Datensätze wurden auf ihre Homogenität geprüft. Nach Abschluss der Datenbereinigung wurde die statistische Analyse mit dem Statistikprogramm IBM SPSS Statistics 19 mittels einfacher Varianzanalyse ANOVA auf dem Signifikanzniveau von $p < 0,05$ (Tykey-Test) durchgeführt.

4. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

Die Datenerhebungen wurden über den Projektzeitraum in einer ausgeprägten Variationsbreite im **Arbeitspaket A (Modellversuche)** untersucht. In Anlehnung der daraus gewonnenen Erkenntnisse wurden die erfolgversprechendsten Varianten anschließend im großtechnischen Maßstab im **Arbeitspaket C (Praxissilivversuche)** umgesetzt. Die dabei entstandenen Ergebnisse werden nachfolgend dargestellt.

4.1 Ergebnisse Arbeitspaket A (Modelversuche)

4.1.1 Abreifeverhalten von Erbsen und Ackerbohnen

Die Abreife der Pflanze und des Kornes wurde in der vorliegenden Arbeit für alle verwendeten Sorten bonitiert und soll in der nachfolgenden Abbildung 10 am Beispiel der Erbse „Astronaute“ vorgestellt werden.

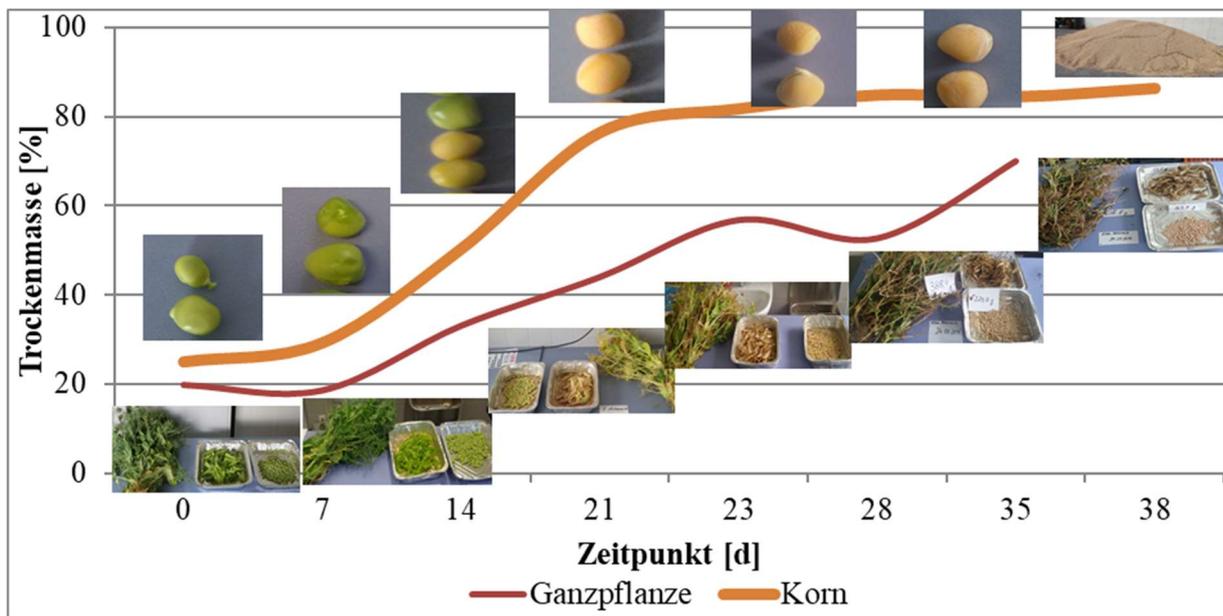


Abbildung 10: Entwicklung der Trockenmasse über den Zeitraum der Abreife am Beispiel der Erbse „Astronaute“ (Probenmaterial 4)

Zur frühen Phase der „Kornentwicklung“ lag der TM-Gehalt der Ganzpflanze und des Kornes bei rund 20 %. Die Phase der „Kornentwicklung“ dauerte ca. 7 Tage. Danach schloss sich die „Grünphase“ an, bei der 80 % der Körner bei einer TM von rund 30 % ihr volles Volumen ausgebildet hatten. Bereits nach 14 Tagen begann die Phase der „Teigreife“ mit einer TM von rund 50 %, in der sich die Erbsenkörner in wenigen Tagen bereits gelblich verfärbten. Bereits nach ca. 3 Wochen begann die Phase der „Trockenreife“. Die Körner der Erbse „Astronaute“ entwickelten sich über einen Zeitraum von zwei Wochen und waren bereits nach einer weiteren Woche trockenreif (80 % TM). Die Ganzpflanze hatte zu diesem Zeitpunkt eine TM von rund 40 % und erst nach fünf Wochen hatte die Ganzpflanze eine druschfähige TM von rund 70 %.

Die nachfolgende Abbildung 11 zeigt die TM-Entwicklung am Beispiel der Ackerbohne „Taifun“.

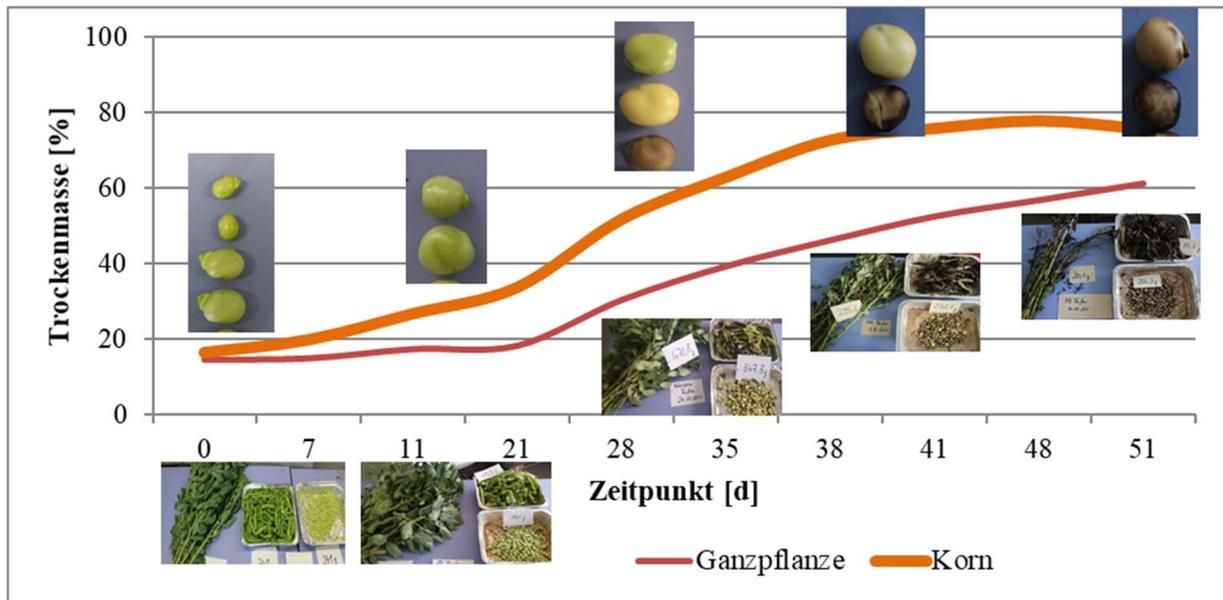


Abbildung 11: Entwicklung der Trockenmasse über den Zeitraum der Abreife am Beispiel der Ackerbohne „Taifun“ (Probenmaterial 8)

Die Phase der „Kornentwicklung“, ebenfalls mit rund 20 % Korn-TM, dauerte rund 1 Woche länger im Vergleich zur Erbse. Die „Grünphase“ erstreckte sich, bei einer Korn-TM von 30 % über rund sieben Tage. Mit Beginn der „Teigreife“, ca. ab der 4. Woche bis 5. Woche stieg der TM-Gehalt des Korns auf rund 50 % TM und bereits wenige Tage danach auf > 70 %.

4.1.2 Nährstoffentwicklung und -ertrag

Ein Projektziel bestand darin Erbsen und Ackerbohnen zu einem möglichst frühen Reifezeitpunkt (70 % TM, Teigreife) zu ernten. Hierbei sollten Ertragsausfälle und phytosanitäre Belastungen im späten Reifeverlauf minimiert werden ohne dabei Verluste an Nährstoffen wie Protein und Stärke zu provozieren. Die Reifebestimmung erfolgte über die Bonitur der Pflanzen in Anlehnung an die BBCH-Skala für Erbsen und Ackerbohnen sowie der TM-Bestimmung des Korns. Der Beobachtungszeitraum begann mit der Kornentwicklung (15 % TM) und endete mit der Trockenreife (> 75 % TM). Die nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 12, Abbildung 13) geben einen Überblick über die Einlagerung von Stärke und Protein über den Zeitraum der Kornentwicklung und -abreife.

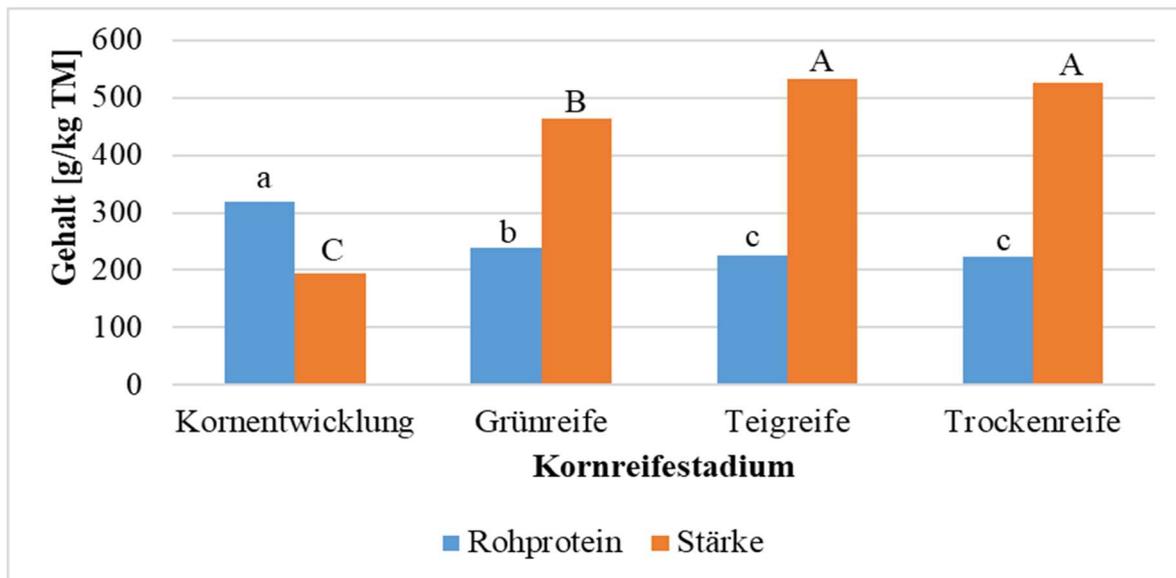


Abbildung 12: Nährstoffentwicklung (Rohprotein und Stärke) bei Erbsen („Astronaut“, Probenmaterial 3; n = 3; ^{ab, AB} unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikanten Unterschied mit $p < 0,05$, Tukey-Test)

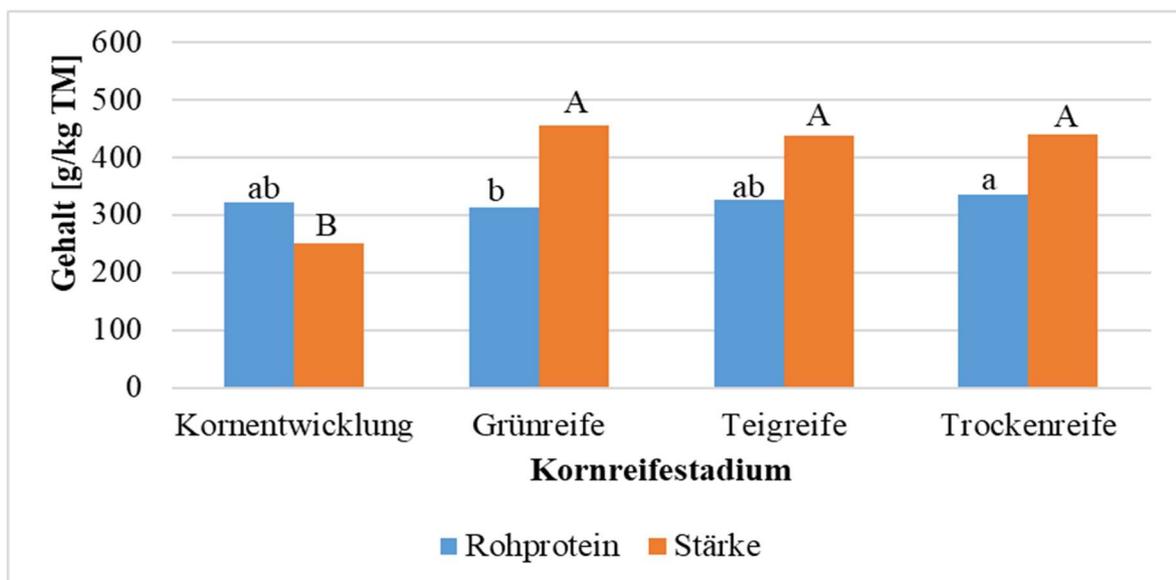


Abbildung 13: Nährstoffentwicklung (Rohprotein und Stärke) bei Ackerbohnen („Taifun“, Probenmaterial 8; n = 3; ^{ab, AB} unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikanten Unterschied mit $p < 0,05$, Tukey-Test)

Bei der untersuchten Erbse „Astronaut“ reduzierte sich mit zunehmender Kornentwicklung der Rohproteingehalt signifikant um rund 100 g/kg TM, während der Rohproteingehalt bei der Ackerbohne auf einem Niveau von rund 300 g/kg TM blieb. Die Proteinlöslichkeit des Erbsenproteins (Ergebnisse nicht dargestellt) reduzierte sich ebenfalls signifikant von 82 % des RP (Kornentwicklung) auf 78 % d. RP (Trockenreife), während die Proteinlöslichkeit der Ackerbohne über die Kornabreife bei rund 78 % d. RP konstant blieb. Zur Kornentwicklung der Erbse lag der Rohfasergehalt (RFa; Ergebnisse nicht dargestellt) mit rund 40 g/kg TM auf dem niedrigsten Niveau, verdoppelte sich signifikant zur Grünreife und sank letztlich auf ein Niveau von 60 g RFa/kg TM. Der Gehalt an aNDFom und ADFom verhielt sich entsprechend der Entwicklung des Rohfasergehaltes. Bei der untersuchten Ackerbohne sank der Rohfasergehalt mit zunehmender Abreife signifikant von rund 120 g/kg TM zur Kornentwicklung auf rund 70 g/kg

TM zur Trockenreife (Ergebnisse nicht dargestellt). In der frühen Phase der Kornbildung hatten die untersuchten Erbsen einen Stärkegehalt von rund 200g/kg TM und lagerten bereits zu Beginn der Grünreife (450 g/kg TM) bis zum Beginn der Teigreife (530 g/kg TM) signifikant Stärke ein. Der Zuckergehalt nahm mit zunehmender Abreife signifikant um annähernd 200 g/kg TM ab. Die untersuchte Ackerbohne „Taifun“ schloss bereits zur Grünreife (30 % TM) mit einem Stärkegehalt von rund 440 g/kg TM die Stärke- und NFC-einlagerung ab.

Neben der Nährstoffentwicklung des Kornes wurden auch die Nährstoffzusammensetzung der Erbsen und Ackerbohnen als GP und TP untersucht. Die Abbildung 14 gibt den Gehalt an Stärke, Rohprotein und Faser der TP-Grüngutes der Erbse „Astronaut“ zu ausgewählten Reifestadien wieder.

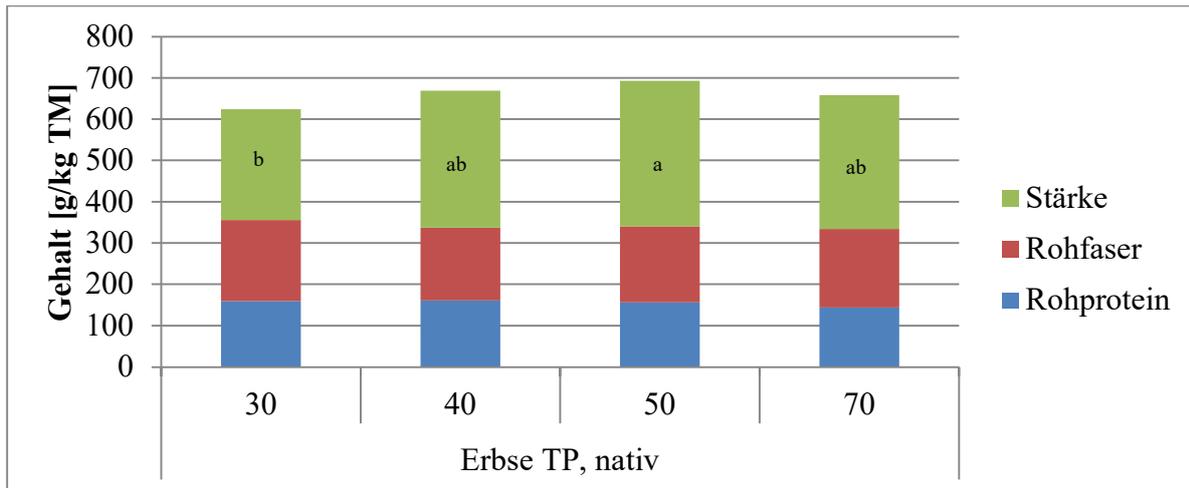


Abbildung 14: Nährstoffveränderung des Teilpflanzengrüngutes (TP, Schröpfschnitt) Erbse „Astronaut“; ^{ab} unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen innerhalb des Nährstoffes signifikanten Unterschied mit $p < 0,05$; Tukey-Test; $n = 3$)

Der Rohproteingehalt der TP lag stets bei rund 160 g/kg TM. Ebenso bleibt der Rohfasergehalt bei 190 g/kg TM annähernd konstant. Der Stärkegehalt nahm mit zunehmender Reife um rund 90 g/kg TM signifikant zu. Dies konnte auch bei der untersuchten Ackerbohnen-TP festgestellt werden (+ 113 g Stärke/kg TM). Auch bei der Ernte der GP- und TP ergab sich eine maximale Nährstoffeinlagerung zur Kornreifephase „Teigreife“ mit rund 50 % TM. Die untersuchte Ackerbohnen-TP hatte mit rund 290 g Stärke/kg TM und 195 g RP/kg TM und 190 g RFa/kg TM ebenso weniger Stärke und bei ähnlichem Rohfasergehalt mehr Protein im Vergleich zur dargestellten Erbsen-TP. Wie sich die Nährstoffzusammensetzung auf den Ertrag an Protein und Stärke pro Hektar (ha) auswirkt wurde durch Handernten zum jeweiligen Reifestadium geschätzt. Dafür wurden für 10 Pflanzen in drei Wiederholungen das Gewicht (GP, TP, Korn) händisch ermittelt und anhand der Saatstärke der Gesamtertrag pro Hektar hochgerechnet. Anhand der vorherigen Nährstoffanalysen ergaben sich für die Erbse „Astronaut“ die in der Abbildung 15 dargestellten Erträge.

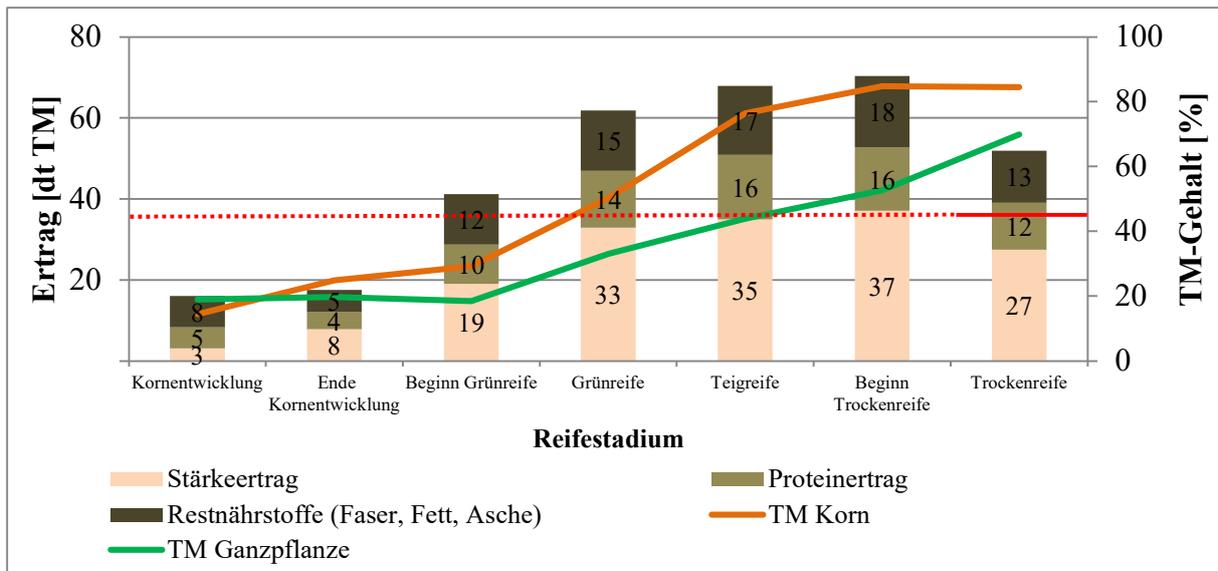


Abbildung 15: Entwicklung der Nährstofferrträge über den Zeitraum der Kornreife der Erbse „Astronaut“ (Probenmaterial 3, rote Linie, tatsächlicher Ertrag nach Drusch)

Die Abbildung zeigt einen Anstieg des geschätzten Kornertrages sowie dem Ertrag an Rohprotein und v.a. an Stärke bis zum Ende der Teigreife auf annähernd 70 dt/ha. Die Korn-TM betrug dabei rund 75 %. Zur Phase der „Trockenreife“ sinkt der geschätzte Ertrag deutlich auf rund 50 dt/ha ab. Der tatsächlich großtechnisch geerntete Ertrag (Drusch) lag letztlich bei rund 35 dt/ha. Die nachfolgende Abbildung 16 gibt die geschätzten Erträge an Stärke und Rohprotein für die Ernte der Erbse „Astronaut“ als Ganzpflanze an.

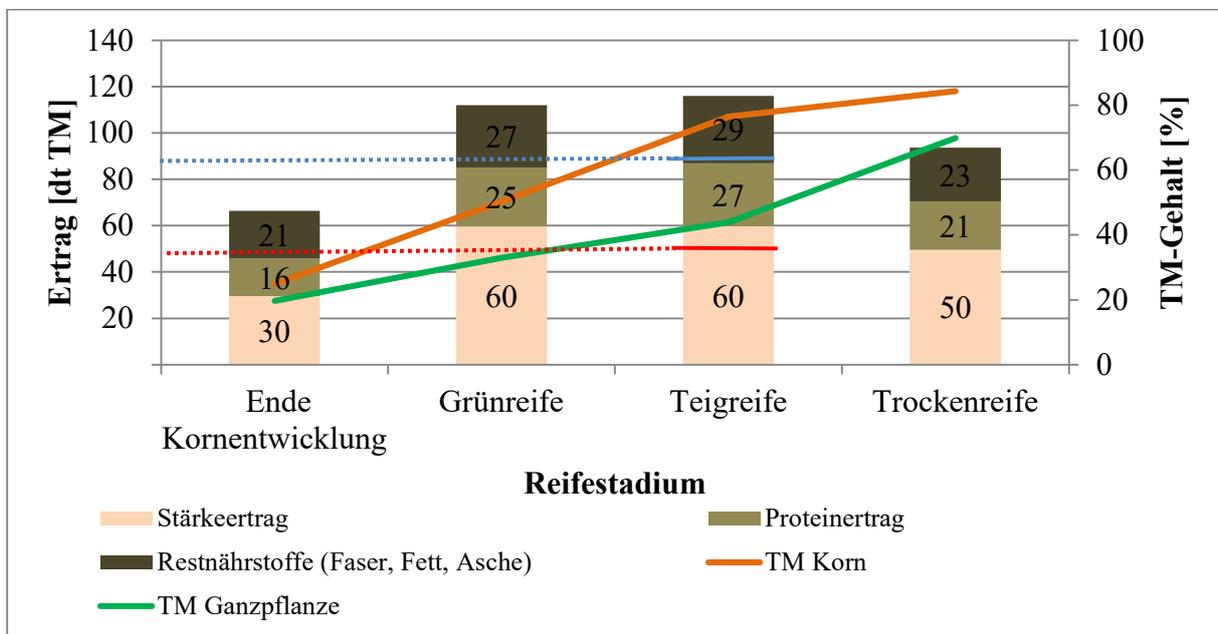


Abbildung 16: Entwicklung der Nährstofferrträge der Ganzpflanze Erbse „Astronaut“ über den Zeitraum der Kornreife (Probenmaterial 3, rote Linie, tatsächlicher Ertrag nach Ernte der Teilpflanze „Schröpschnitt“; blaue Linie, tatsächlicher Ertrag nach Ernte der Ganzpflanze zum Zeitpunkt der Teigreife)

Zum Zeitpunkt der Teigreife (40 % TM) war der höchste Nährstofftrag bei der Ganzpflanzenernte zu erwarten. Bei der Ganzpflanzenernte wurde eine Schnitthöhe möglichst nah unterhalb der Fruchtanlagen („Schröpfungsschnitt“) angestrebt, um die Mitnahme der Pflanzenfaser zu reduzieren. Aus diesem Grund wurde mit rund 45 dt TM/ha bei der TP-Ernte ein Ertrag unterhalb des möglichen Ertrages geerntet. Bei der Ganzpflanzenernte werden die geschätzten Nährstoffträge annähernd vollständig geerntet. Im Vergleich zur dargestellten Erbse lagen die geschätzten Erträge bei der Ackerbohne „Taifun“ als Ganzpflanzenernte ebenfalls zur Phase der „Teigreife“ mit rund 110 dt TM/ha (30 dt Stärke/ha, 20 dt RP/ha) am höchsten.

4.1.3 Silierbarkeit des Ausgangsmaterials

Für die Untersuchung des Siliererfolges im **Arbeitspaket A (Modellversuche)** wurden Körner als auch GP bzw. TP von Erbsen und Ackerbohnen in Modellsilagen siliert. Um die Silierbarkeit der Erbsen und Ackerbohnen beschreiben zu können wurde das Grüngut (Ausgangsmaterial) auf ausgewählte Parameter untersucht. Die nachfolgenden Tabellen geben einen Überblick über die Silierbarkeit der im SilaToast-Projekt verwendeten Erbsen und Ackerbohnen wieder.

Silierbarkeit der Körner

Die in der Untersuchung verwendeten Ackerbohnen (Tabelle 7) hatten im Vergleich zu den betrachteten Erbsensorten (Tabelle 6) ein ähnliches pH-Wert-Niveau ($\bar{\varnothing}_{\text{Ackerbohne}} 6,3$; $\bar{\varnothing}_{\text{Erbsen}} 6,5$). Die Pufferkapazität der Ackerbohnenkörner fiel höher ($\bar{\varnothing}_{\text{Ackerbohne}} 42 \text{ g MS/kg TM}$; $\bar{\varnothing}_{\text{Erbsen}} 36 \text{ g MS/kg TM}$) und der Zuckergehalt niedriger ($\bar{\varnothing}_{\text{Ackerbohne}} 23 \text{ g/kg TM}$; $\bar{\varnothing}_{\text{Erbsen}} 47 \text{ g MS/kg TM}$) im Vergleich zu den Erbsenkörnern aus. Damit ergab sich ein höherer Z/PK-Quotient für die Erbsen ($\bar{\varnothing}_{\text{Ackerbohne}} 0,5$; $\bar{\varnothing}_{\text{Erbsen}} 1,3$).

Tabelle 6: Ausgewählte Parameter zur Beschreibung der Silierbarkeit von Erbsenkörnern (MW, n = 3)

	Erbsen (Korn)			
	Alvesta (trockenreif)	Astronaut* (erntefrisch)	Astronaut** (teigreif)	E.F.B.33 (trockenreif)
TM [g/kg OM]	889 ^a	844 ^b	735 ^c	908 ^a
pH-Wert	6,6	6,5	6,4	6,4
Pufferkapazität [g MS/kg TM]	36,0	35,7	36,0	36,9
Zucker [g/kg TM]	38,0	58,0	53,0	38,3
Z/PK-Quotient	1,05	1,61	1,47	1,04

„Alvesta“, Probenmaterial 1; „Astronaut*“, Probenmaterial 3; „Astronaut**“, Probenmaterial 4; „E.F.B. 33“, Probenmaterial 5 (Tabelle 3); MS, Milchsäure; TM, Trockenmasse; OM, organische Masse; PK, Pufferkapazität; Z, Zucker; ^{ab} unterschiedliche Buchstaben in einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten mit $p < 0,05^{\text{Tukey}}$

Tabelle 7: Ausgewählte Parameter zur Beschreibung der Silierbarkeit von Ackerbohnenkörnern (MW, n = 3)

	Ackerbohne (Korn)		
	Fanfare (trockenreif)	Taifun* (trockenreif)	Taifun** (teigreif)
TM [g/kg OM]	905 ^a	912 ^a	765 ^b
pH-Wert	6,42 ^a	6,29 ^c	6,32 ^b
Pufferkapazität [g MS/kg TM]	40,4 ^c	44,8 ^a	42,0 ^b
Zucker [g/kg TM]	18,3 ^b	19,3 ^b	31,7 ^a
Z/PK-Quotient	0,45 ^b	0,43 ^b	0,76 ^a

„Fanfare“, Probenmaterial 6; „Taifun*“, Probenmaterial 7; „Taifun**“, Probenmaterial 8 (Tabelle 3); MS, Milchsäure; TM, Trockenmasse; OM, organische Masse; PK, Pufferkapazität; Z, Zucker; ^{ab} unterschiedliche Buchstaben in einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten mit $p < 0,05^{\text{Tukey}}$

Silierbarkeit der Ganz- bzw. Teilpflanzen

Das Erbsen- und Ackerbohnen-TP-Grüngut wurde zu vier Kornreifestadien (Kornentwicklung, Grünreife, Teigreife, Trockenreife) geerntet und auf dessen Silierbarkeit hin untersucht (Tabelle 8, Tabelle 9). Die TM des Grüngutes lag bei rund 30 % TM zur Kornentwicklung, 40 % zur Grünreife, 50 % TM zur Teigreife und 70 % TM zur Trockenreife des Korns. Das Erbsen- und Ackerbohnen TP-Grüngut hatte über den Reifezeitraum einen pH-Wert von rund 6,0. Die statistisch ausgewiesenen Signifikanzen sollten bei diesem Parameter nicht überbewertet werden. Die niedrigste Pufferkapazität mit rund 45 g MS/kg TM hatte das Erbsen-TP-Grüngut bis zur Grünreife. Zur Phase der Teigreife stieg die Pufferkapazität auf rund 60 g MS/kg TM an. Die Pufferkapazität des Ackerbohnen-TP-Grüngutes lag auf einem höheren Niveau im Vergleich zu den Erbsen und schwankte zwischen 65 g MS/kg TM und 75 g MS/kg TM. Die Analyseergebnisse zum Zuckergehalt liegen aktuell noch nicht vor.

Tabelle 8: Ausgewählte Parameter zur Beschreibung der Silierbarkeit von gehäckselten Erbsen-Teilpflanzen (Schröpfschnitt; MW, n = 3)

	Erbsen (TP)			
	Kornentwicklung*	Grünreife*	Teigreife**	Trockenreife**
TM [g/kg FM]	309 ^d	378 ^c	560 ^b	746 ^a
pH-Wert	6,8 ^a	6,0 ^b	5,8 ^b	5,8 ^b
Pufferkapazität [g MS/kg TM]	41,9 ^b	45,1 ^b	60,5 ^a	60,5 ^a

*, Erbsen „Astronauten“, Probenmaterial 9; **, Erbsen „Astronauten“, Probenmaterial 12; (Tabelle 3); MS, Milchsäure; TM, Trockenmasse; TP, Teilpflanze (Schröpfschnitt); OM, organische Masse; PK, Pufferkapazität; Z, Zucker; ^{ab} unterschiedliche Buchstaben in einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten mit $p < 0,05$ ^{Tukey}

Tabelle 9: Ausgewählte Parameter zur Beschreibung der Silierbarkeit von gehäckselten Ackerbohnen-Teilpflanzen (Schröpfschnitt; MW, n = 3)

	Ackerbohnen (TP)			
	Kornentwicklung*	Grünreife*	Teigreife**	Trockenreife**
TM [g/kg FM]	225 ^d	383 ^c	500 ^b	708 ^a
pH-Wert	5,9 ^b	6,2 ^a	5,9 ^a	6,1 ^a
Pufferkapazität [g MS/kg TM]	63,7 ^b	74,6 ^a	65,5 ^b	69,6 ^{ab}

*, Ackerbohnen „Tiffany“, Probenmaterial 10; **, Ackerbohnen „Arabella“, Probenmaterial 13; (Tabelle 3); MS, Milchsäure; TM, Trockenmasse; TP, Teilpflanze (Schröpfschnitt); OM, organische Masse; PK, Pufferkapazität; Z, Zucker; ^{ab} unterschiedliche Buchstaben in einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten mit $p < 0,05$ ^{Tukey}

4.1.4 Siliererfolg

Der Siliererfolg der hergestellten Silagen (Korn, GP, TP) wurde nach entsprechender Silierdauer anhand ausgewählter Parameter (pH-Wert, Gärtsäuren, aerobe Stabilität) beschrieben. Die entstandenen Ergebnisse daraus werden nachfolgend beschrieben.

Siliererfolg silierter Körner

Die Tabelle 10 und Tabelle 11 geben den Siliererfolg von rückbefeuchteten oder teigreif silierten Erbsen sowie Ackerbohnen ohne (KON, Kontrolle) und mit Milchsäurebakterien (MSB^{a-})

wieder. Die silierten Erbsen und Ackerbohnen hatten eine TM von < 70 %, 70 % und 75 %. Der pH-Wert der KON-Silagen sowie der trockneren MSB-Silagen (> 75 % TM-Stufe) blieb über die Silierdauer nahezu unverändert ($\bar{\text{O}}\text{KON}_{\text{Ackerbohne}}$ 5,9; $\bar{\text{O}}\text{KON}_{\text{Erbsen}}$ 6,0). Die Zugabe von MSB als Silierzusatz führte bei einer Korn-TM < 75 % TM hingegen zu einer Herabsetzung des pH-Wertes ($\bar{\text{O}}\text{MSB}_{\text{Ackerbohne}}$ 4,3; $\bar{\text{O}}\text{MSB}_{\text{Erbsen}}$ 4,4). Der Milchsäure(MS)gehalt schwankte, sowohl in den Erbsen- als auch in den Ackerbohnen-Silagen, von 0,3 – 3,6 % der TM, wobei die Zugabe der MSB überwiegend zu signifikant höheren MS-Gehalten ($\bar{\text{O}}\text{MSB}_{\text{Ackerbohne}}$ 2,0 % d. TM; $\bar{\text{O}}\text{MSB}_{\text{Erbsen}}$ 2,1 % d. TM) führte. Ohne Silierzusatz lag der Ethanolgehalt mit > 0,9 d. TM ($\bar{\text{O}}\text{KON}_{\text{Ackerbohne}}$ 1,0 % d. TM; $\bar{\text{O}}\text{KON}_{\text{Erbsen}}$ 0,9 % d. TM) höher im Vergleich zu den MSB-Silagen mit rund 0,4 % d. TM. Die Gehalte an Propionsäure, Iso- und n-Buttersäure, Iso- und n-Valeriansäure, 1- und 1,2-Propandiol lagen unterhalb der Nachweisgrenze (Ergebnisse nicht dargestellt). Der TM-Verlust lag bei den Erbsensilagen, unabhängig des Silierzusatzes, unter 3 %. Bei den Ackerbohnen-Silagen führte die MSB-Zugabe zu einem signifikant geringeren TM-Verlust ($\bar{\text{O}}\text{KON}_{\text{Ackerbohne}}$ 3,4 %; $\bar{\text{O}}\text{MSB}_{\text{Ackerbohne}}$ 2,0 %). Während der 7-tägigen aeroben Lagerung veränderte sich bei den Erbsen- und Ackerbohnen-Silagen der pH-Wert nicht und die untersuchten Ackerbohnen-Silagen waren für mindestens sieben Tage aerob stabil. Bei den Erbsensilagen betrug die aerobe Stabilität der KON-Silagen maximal 122 h. Die aerobe Stabilität der MSB-Silagen lag, mit Ausnahme der 75 % TM Silage, bei mindestens 168 h ($p \leq 0,001$). Die Erbsensilagen der 75 % TM-Stufe waren mit nur 87 h (KON) und 67 (MSB) am aerob instabilsten.

Tabelle 10: Siliererfolg rückbefeuchteter und teigreif geernteter Erbsenkörner ausgewählter Sorten (n = 3)

[% d. TM]	Erbsen (Korn), siliert							
	Alvesta		Astronaut* [*]		Astronaut** ^{**}		E.F.B.33	
	KON	MSB	KON	MSB	KON	MSB	KON	MSB
	rück	rück	rück	rück	rück	rück	rück	rück
TM [g/kg FM]	707 ^b	706 ^b	681 ^c	683 ^c	744 ^a	745 ^a	697 ^b	702 ^b
pH-Wert	6,5 ^a	4,6 ^c	5,0 ^d	4,3 ^f	6,1 ^b	5,9 ^c	6,3 ^b	4,4 ^f
Milchsäure	0,72 ^{cd}	1,76 ^b	1,63 ^b	3,57 ^a	0,37 ^d	1,48 ^{bc}	1,24 ^{bc}	1,72 ^b
Essigsäure	0,17 ^b	0,14 ^b	0,34 ^a	0,33 ^a	0,18 ^b	0,14 ^b	0,15 ^b	0,11 ^b
Ethanol	0,84 ^b	0,24 ^c	1,36 ^a	0,89 ^b	0,27 ^c	0,35 ^c	0,93 ^b	0,30 ^c
TM-Verlust [%]	1,1	2,6	2,8	2,5	1,5	2,4	3,4	1,1
aerobe Stabilität ⁺ [h]	168 ^a	168 ^a	104 ^{bc}	168 ^a	87,0 ^{cd}	67,0 ^{cd}	122 ^b	168 ^a

„Alvesta“, Probenmaterial 1; „Astronaut*“, Probenmaterial 3; „Astronaut**“, Probenmaterial 4; „E.F.B. 33“, Probenmaterial 5 (Tabelle 3); ⁺ Zeitpunkt, bei dem sich die Silage ≥ 3 °C der Außentemperatur erwärmt; KON_{rück}, Kontrolle ohne MSB-Zugabe (rückbefeuchtet); MSB_{rück}, Milchsäurebakterien als Zugabe (MSB^a; rückbefeuchtet); S, Sorte; TM, Trockenmasse; Z, Zugabe; ^{ab} unterschiedliche Buchstaben in einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede über alle Varianten mit $p < 0,05$ ^{Tukey}

Tabelle 11: Siliererfolg rückbefeuchteter und teigreif geernteter Ackerbohnenkörner ausgewählter Sorten (n = 3)

[% d. TM]	Ackerbohne (Korn), siliert							
	Fanfare		Taifun* [*]		Taifun** ^{**}			
	KON	MSB	KON	MSB	KON	MSB	KON	MSB
	rück	rück	rück	rück	rück	rück	rück	rück
TM [g/kg FM]	702 ^{bc}	715 ^b	692 ^{cd}	703 ^{bc}	754 ^a	755 ^a	684 ^d	686 ^d
pH-Wert	6,4 ^a	4,4 ^{cd}	6,1 ^{ab}	4,3 ^d	6,0 ^{ab}	5,5 ^{abc}	5,1 ^{bcd}	4,3 ^d
Milchsäure	1,05 ^c	1,82 ^b	1,30 ^{bc}	1,36 ^{bc}	0,06 ^d	0,07 ^d	1,43 ^{bc}	2,82 ^a
Essigsäure	0,42 ^a	0,17 ^b	0,50 ^a	0,21 ^b	0,04 ^b	0,04 ^b	0,12 ^b	0,22 ^b
Ethanol	0,94 ^{ab}	0,19 ^b	1,10 ^a	0,18 ^b	0,67 ^{ab}	0,31 ^b	1,29 ^a	0,54 ^{ab}

TM-Verlust [%]	2,9 ^{ab}	2,2 ^{bc}	3,0 ^{ab}	0,3 ^c	2,9 ^{ab}	2,5 ^{abc}	4,6 ^a	3,0 ^{ab}
aerobe Stabilität ⁺ [h]	168	168	168	168	168	168	168	168

„Fanfare“, Probenmaterial 6; „Taifun“*, Probenmaterial 7; „Taifun“**, Probenmaterial 8 (Tabelle 3); ⁺Zeitpunkt, bei dem sich die Silage ≥ 3 °C der Außentemperatur erwärmt; KON_{rück}, Kontrolle ohne MSB-Zugabe (rückbefeuchtet); MSB_{rück}, Milchsäurebakterien als Zugabe (MSB^a; rückbefeuchtet); TM, Trockenmasse; ^{ab} unterschiedliche Buchstaben in einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede über alle Varianten mit $p < 0,05$ ^{Tukey}

Siliererfolg siliertes Ganz- und Teilpflanzens

In wie weit sich ein Effekt des Pflanzenmaterials, speziell der Unterschied zwischen Ganz- und Teilpflanze (Schröpfschnitt), auf den Siliererfolg auswirken kann, wurden Erbsen der Sorte „Astronaut“ und Ackerbohnen der Sorten „Tiffany“ und „Arabella“ siliert (mit und ohne MSB). Die entstandenen Ergebnisse sollen exemplarisch am Beispiel der Ackerbohne „Tiffany“ zu einem frühen Reifestadium dargestellt werden.

Tabelle 12: Siliererfolg siliertes Ganz- und Teilpflanzens in einem frühen Kornreifestadium am Beispiel der Ackerbohne „Tiffany“ (n = 3)

[% d. TM]	Ackerbohne "Tiffany", siliert							
	Kornentwicklung				Grünreife			
	GP		TP		GP		TP	
	KON	MSB	KON	MSB	KON	MSB	KON	MSB
TM [g/kg FM]	242 ^d	244 ^d	251 ^d	253 ^d	391 ^a	357 ^c	376 ^{ab}	362 ^{bc}
pH-Wert	4,3 ^e	4,2 ^f	4,4 ^d	4,3 ^e	4,9 ^b	4,6 ^c	5,1 ^a	4,6 ^c
Milchsäure	8,09 ^{bc}	9,10 ^a	8,93 ^{ab}	9,27 ^a	4,72 ^e	6,71 ^d	4,27 ^e	7,22 ^{cd}
Essigsäure	1,59 ^{cd}	1,31 ^e	1,68 ^{bc}	1,43 ^{de}	1,82 ^b	2,02 ^a	1,71 ^{bc}	2,08 ^a
Ethanol	0,84 ^b	0,52 ^{cd}	0,84 ^b	0,53 ^{cd}	0,71 ^{bc}	0,52 ^{cd}	1,28 ^a	0,50 ^{cd}
TM-Verlust [%]	2,8 ^{bcd}	1,3 ^{cd}	4,4 ^{ab}	4,1 ^{ab}	0,8 ^d	5,6 ^a	1,1 ^d	3,7 ^{abc}
aerobe Stabilität ⁺ [h]	168 ^a	115 ^c	142 ^{ab}	168 ^a				
pH-Wert _{ASTA} ⁺⁺	4,3	7,1	6,5	4,2	4,8	4,5	5,0	4,6

⁺Zeitpunkt, bei dem sich die Silage ≥ 3 °C der Außentemperatur erwärmt; ⁺⁺, nach 7 Tagen aerober Lagerung; GP, Ganzpflanze; TP, Teilpflanze (Schröpfschnitt); TM, Trockenmasse; KON, Kontrolle ohne Zugabe von Milchsäurebakterien; MSB, Variante mit Zugabe von Milchsäurebakterien; ^{ab} unterschiedliche Buchstaben in einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede über alle Varianten mit $p < 0,05$ ^{Tukey}

Die TM der Ganzpflanzensilage (GPS) und der Teilpflanzensilage (TPS) lag zum Zeitpunkt der Kornentwicklung bei rund 25 %. Zur Grünreife der Ackerbohnenkörner lag die TM bei annähernd 40 %. Die feuchteren Silagen (25 % TM, Kornentwicklung) erreichten in Folge der Silierung mit rund 4,3 ein signifikant niedrigeres pH-Wertniveau im Vergleich zu den trockneren Silagen (40 % TM, Grünreife). Die MSB Zugabe führte zu signifikant geringeren pH-Werten im Vergleich zu den Kontrollvarianten, mit der Auswirkung signifikant höherer (+ 1-2 %-Punkte) Milchsäuregehalte und geringeren Ethanolgehalten. Wobei die Konzentration an Ethanol in allen Varianten auf einem geringen Niveau lag. Die Essigsäuregehalte lagen bei rund 2 % der TM. Der TM-Verlust bewegte sich in dem Bereich von 1 – 6 %. Die signifikant höchsten Silierverluste entstanden bei den trockneren Silagen mit MSB-Zugabe. Die hergestellten Silagen waren, bis auf wenige Ausnahmen (GP MSB 30, TP KON 30), für mindestens sieben Tage unter aeroben Bedingungen und ohne Veränderung des pH-Wertes stabil. Die Differenzierung zwischen GP und TP hatte keinen nennenswerten Einfluss auf den Siliererfolg. Vielmehr war der TM-Gehalt ausschlaggebend. Der Siliererfolg bei den untersuchten Erbsen GP und TP zu den entsprechenden Kornreifestadien (Teile der Ergebnisse in Tabelle 13 dargestellt) war mit denen der dargestellten Ackerbohne vergleichbar. Auffallend waren allerdings die signifikant höheren TM-Verluste (10 - 13 % d. TM) der GPS im Vergleich zur TPS (5 % d. TM) eher in den frühen Phasen der Kornreife (Kornentwicklung). Diese Silagen (GPS und TPS) zeigten unter aeroben Bedingungen bereits nach 32 h eine Erwärmung an, was eine Erhöhung des pH-

Wertes nach sieben Tagen aerober Lagerung provozierte (pH-Wert 8). Die GPS und TPS mit MSB-Zugabe beider Reifestadien (Kornentwicklung, Grünreife) waren stets instabiler im Vergleich zu den Kontrollsilagen. In wie weit sich die Silierung von TP späterer Kornreifestadien (Teigreife, Trockenreife) auf ausgewählte Parameter zur Beschreibung des Siliererfolges auswirkt, wurde am Beispiel der Erbse „Astronaut“ untersucht (Tabelle 13).

Tabelle 13: Effekte des Reifestadiums siliertes TP der Erbse „Astronaut“ auf ausgewählte Parameter zur Beschreibung des Siliererfolges (n = 3)

[% d. TM]	Erbse "Astronaut" (TP), siliert							
	Kornentwicklung*		Grünreife*		Teigreife**		Trockenreife**	
	KON	MSB	KON	MSB	KON	MSB	KON	MSB
TM [g/kg FM]	300 ^d	307 ^d	398 ^c	407 ^c	565 ^b	554 ^b	741 ^a	722 ^a
pH-Wert	4,3 ^{def}	4,1 ^f	4,5 ^{de}	4,2 ^{ef}	4,8 ^c	4,5 ^d	5,8 ^a	5,3 ^b
Milchsäure	7,01 ^b	8,80 ^a	4,78 ^{cd}	6,77 ^b	3,33 ^{de}	5,63 ^{bc}	2,73 ^c	3,72 ^{de}
Essigsäure	1,56 ^a	0,85 ^{bc}	1,12 ^b	0,84 ^{bc}	0,34 ^d	1,04 ^b	0,59 ^{cd}	0,35 ^d
Ethanol	1,62 ^a	1,92 ^a	1,11 ^{bc}	0,73 ^{cd}	1,84 ^a	1,14 ^b	0,63 ^d	0,56 ^d
TM-Verlust [%]	5,2 ^{ab}	6,8 ^{ab}	2,7 ^{ab}	3,3 ^{ab}	3,7 ^{ab}	7,8 ^a	0,9 ^b	4,9 ^{ab}
aerobe Stabilität ⁺ [h]	49 ^c	32 ^c	168 ^a	123 ^{ab}	122 ^{ab}	149 ^a	168 ^a	168 ^a
pH-Wert _{ASTA} ⁺	7,7 ^{ab}	8,4 ^a	4,5 ^c	5,7 ^{bc}	6,1 ^{abc}	5,0 ^{bc}	6,0 ^{abc}	5,7 ^{bc}

*, Erbse „Astronaut“, Probenmaterial 9; **, Erbse „Astronaut“, Probenmaterial 12; (Tabelle 3); +, nach 7 Tagen aerober Lagerung; TM, Trockenmasse; TP, Teilpflanze (Schröpfschnitt); ^{ab} unterschiedliche Buchstaben in einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten mit $p < 0,05$ ^{Tukey}

Zur Phase der Teigreife lag der TM-Gehalt der TPS bei rund 50 % und zur Trockenreife des Korns bei rund 70 %. Eine Silierung in diesen Trockenmassebereichen (> 50 % TM) wurde in der Arbeitsgruppe als „Trockensilierung“ definiert. Mit zunehmender TM erhöhte sich der pH-Wert der Silagen signifikant. Während er zur frühen Erntephase (Kornentwicklung) bei rund 4,2 lag, stieg er zur Phase der Teigreife (50 % TM) auf rund 4,8 und letztlich auf rund 5,8 zur Trockenreife des Korns an. Die Milchsäuregehalte verhielten sich ähnlich, wobei auch bei der höchsten TM (70 %) noch moderate Gehalte an Milchsäure (> 3 % d. TM) festgestellt werden konnten. Bis zu einer TM von 50 % (Teigreife) erreichte die Zugabe der MSB signifikant höhere Milchsäuregehalte im Vergleich zu den Kontrollsilagen. Bei einer TM von 70 % blieb dieser Effekt aus. Die Essigsäure- und Ethanolgehalte lagen variantenübergreifend unter 2 % d. TM. Die signifikanten Ausweisungen können allerdings nicht auf den TM-Gehalt oder die MSB-Zugabe begründet werden. Ebenso lässt der TM-Verlust von 3 % bis 8 % keine klaren Schlüsse erkennen. Die aerobe Stabilität stieg signifikant mit zunehmender TM von rund 35 h (TPS Kornentwicklung) auf mindestens 168 h (TPS Trockenreife) an. Ebenso bleibt der pH-Wert der Silagen mit zunehmender TM unter aeroben Bedingungen stabiler.

4.1.5 Effekte des Silierens und Toastens auf den Nährstoffgehalt

Das Ziel im SilaToast-Projekt bestand in der Verbesserung des Futterwertes von Erbsen und Ackerbohnen in Folge der kombinierten Behandlung (silieren und toasten). Hierbei sollte v.a. die ruminale Proteinbeständigkeit der Körnerleguminosen als Korn sowie als GP und TP erhöht werden. Um mögliche Effekte der kombinierten Behandlung auf die Protein- und Stärkequalität zu erlangen wurde eine Auswertung über alle untersuchten Varianten (AM, siliert, siliert + getoastet) bei Erbse (Tabelle 14) und Ackerbohne (Tabelle 15) vorgenommen. Das Ausgangsmaterial (AM) wurde aus verschiedenen Sorten und Reifestadien (teigreif, 70 % TM; trockenreif, > 80 % TM) zusammengestellt. Die Silagen wurden entweder rückbefeuchtet oder teigreif mit und ohne Zugabe von Siliermitteln (MSB) siliert und anschließend bei 160 °C für 30 min oder 60 min getoastet (500 g FM und 1000 g FM). Auf diese Unterschiede im Herstellungsverfahren

und deren Effekt auf die Nährstoffbeschaffenheit wird im späteren Verlauf genauer eingegangen.

Tabelle 14: Effekte des Silierens und Toastens auf den Gehalt ausgewählter Nährstoffe der im SilaToast-Projekt verwendeten Erbsen (MW \pm SD (Min – Max))

	Erbsen (Korn, 7 Sorten)		
	AM n = 21	siliert* n = 75	siliert + getoastet** n = 161
TM [g/kg OS]	842 ^a \pm 59,3 (728 - 910)	684 ^b \pm 47,6 (587 - 767)	820 ^a \pm 78,1 (706 - 963)
Rohprotein [g/kg TM]	211 ^c \pm 16,7 (185 - 239)	230 ^a \pm 19,3 (190 - 265)	221 ^b \pm 17,8 (191 - 266)
Proteinlöslichkeit [% d. RP]	76,3 ^a \pm 5,0 (67 - 84)	63,5 ^b \pm 8,4 (34 - 80)	50,4 ^c \pm 15,2 (14 - 73)
Stärke [g/kg TM]	519 \pm 26,5 (440 - 549)	529 \pm 17,3 (482 - 573)	530 \pm 25,5 (433 - 569)
Zucker [g/kg TM]	46,9 \pm 11,4 (32 - 80)	42,9 \pm 12,2 (12 - 64)	41,3 \pm 9,9 (12 - 62)

*, siliert ohne + mit Milchsäurebakterien (MSB); **siliert + getoastet von 500 g und 1000 g FM bei 160 °C für 30 und 60 min; AM, Ausgangsmaterial; MW, Mittelwert; n, Probenanzahl; RP, Rohprotein; SD, Standardabweichung; TM, Trockenmasse; ^{ab} unterschiedliche Buchstaben in einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten mit $p < 0,05$ ^{Tukey}

Das verwendeten Erbsenkörner (Ausgangsmaterial, AM) hatten eine mittlere TM von rund 85 %. In Vorbereitung der Silierung wurde das trockenreife Material (>80 % TM) rückbefeuchtet und teigreife (70 % TM) ohne Rückbefeuchtung siliert, sodass die mittlere TM über alle Silagevarianten bei rund 70 % lag. In Folge der Wärmebehandlung wurde eine Trocknung auf > 80 % TM erreicht. Der Rohproteingehalt stieg in Folge der Silierung signifikant, wobei hier die Sortenunterschiede im Rohproteingehalt (190 – 270 g/kg TM) zu beachten sind. Die Proteinlöslichkeit sank signifikant durch die Silierung von rund 77 % auf 64 %. Die sich anschließende Wärmebehandlung verstärkt die Proteinstabilisierung weiter. Der Gehalt an Stärke und Zucker bleiben über die Behandlung unverändert. In der Tabelle 15 werden die Ergebnisse der untersuchten Ackerbohnsorten dargestellt.

Tabelle 15: Effekte des Silierens und Toastens auf den Gehalt ausgewählter Nährstoffe der im SilaToast-Projekt verwendeten Ackerbohnen (MW \pm SD (Min – Max))

	Ackerbohne (Korn, 4 Sorten)		
	AM n = 12	siliert* n = 38	siliert + getoastet** n = 42
TM [g/kg OS]	860 ^a \pm 61,6 (752 - 914)	707 ^c \pm 23,1 (680 - 760)	793 ^b \pm 58,1 (721 - 879)
Rohprotein	304 \pm 30,9 (258 - 338)	309 \pm 29,2 (264 - 349)	298 \pm 22,4 (262 - 342)
Proteinlöslichkeit	69,4 ^a \pm 7,5 (57 - 80)	67,1 ^a \pm 5,2 (46 - 75)	51,6 ^b \pm 16,7 (21 - 71)
Stärke	432 \pm 12,3 (414 - 465)	436 \pm 12,3 (412 - 458)	439 \pm 11,2 (391 - 459)
Zucker	26,3 ^a \pm 7,9 (15 - 38)	20,1 ^{ab} \pm 13,4 (3 - 39)	17,3 ^b \pm 8,1 (3 - 35)

*, siliert ohne + mit Milchsäurebakterien (MSB); **siliert + getoastet von 500 g und 1000 g FM bei 160 °C für 30 und 60 min; AM, Ausgangsmaterial; MW, Mittelwert; n, Probenanzahl; RP, Rohprotein; SD, Standardabweichung; TM, Trockenmasse; ^{ab} unterschiedliche Buchstaben in einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten mit $p < 0,05$ ^{Tukey}

Im Hinblick auf die analysierten TM ergab sich ein zu den Erbsen vergleichbares Ergebnis. Der Rohproteingehalt lag unabhängig der Behandlung bei rund 300 g/kg TM. Die Silierung führte bei allen untersuchten Ackerbohnsorten zu keiner Reduzierung der Proteinlöslichkeit. Erst die thermische Aufbereitung der Silagen ergab eine signifikante Reduzierung um annähernd 20 % -Punkte. Der Stärkegehalt blieb, adäquat der untersuchten Erbsensorten, auf einem gleichbleibenden Niveau von rund 430 g/kg TM. Der Gehalt an Zucker wurde durch das Toasten signifikant reduziert. Um den Sorteneffekt bei der kombinierten Behandlung auf den Gehalt ausgewählter Nährstoffe zu berücksichtigen wurden alle Sorten von Erbsen und Ackerbohnen

getrennt voneinander statistisch betrachtet. Nachfolgend soll exemplarisch die Ergebnisse der Erbse „Astronaut“ näher betrachtet werden.

Tabelle 16: Effekte des Silierens und Toastens auf den Gehalt ausgewählter Nährstoffe am Beispiel der Erbse „Astronaut“ (MW)

	Erbse "Astronaut" (Korn, teigreif)		
	AM n = 3	siliert* n = 18	siliert + getoastet** n = 25
TM [g/kg OS]	735 ^b	702 ^b	842 ^a
Rohprotein [g/kg TM]	227 ^b	233 ^{ab}	235 ^a
Proteinlöslichkeit [% d. RP]	78,6 ^a	60,0 ^b	32,7 ^c
puRP [% d. RP]	3,4 ^b	3,8 ^{ab}	4,4 ^a
nRP 8% PR [g/kg TM]	196 ^b	196 ^b	215 ^a
NH ₃ [% d. Gesamt-N]	6,4 ^b	14,2 ^a	11,2 ^a
Stärke [g/kg TM]	529	528	531
Zucker [g/kg TM]	53,0 ^a	48,8 ^{ab}	39,8 ^b
NFC [g/kg TM]	613	599	575
Rohfaser [g/kg TM]	63,0	64,2	62,5
aNDFom [g/kg TM]	110	104	139
ADFom [g/kg TM]	79,7	79,4	80,4

*, siliert ohne + mit Milchsäurebakterien (MSB); **siliert + getoastet von 500 g und 1000 g FM bei 160 °C für 30 und 60 min; AM, Ausgangsmaterial; ADFom, saure Detergentienfaser („acid detergent fibre“) abzüglich Rohasche; aNDFom, Neutrale Detergentienfaser („neutral detergent fibre“) behandelt mit einer hitzestabilen Amylase abzüglich Rohasche; nRP, bestimmt über erweiterter Hohenheimer Futterwerttest (eHFT) bei 8 % Passagerate (PR); MW, Mittelwert; n, Probenanzahl; NFC, Nicht-Faser-Kohlenhydrate; RP, Rohprotein; puRP, pepsinunlösliche Rohprotein; TM, Trockenmasse; ^{ab} unterschiedliche Buchstaben in einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten mit $p < 0,05$ ^{Tukey}

Die dargestellte Erbse „Astronaut“ wurde zur Kornteigreife (rund 70 % TM) geerntet und teilweise mit Rückbefeuchtung siliert (KON, MSB). Auch in diesem Beispiel führte die Wärmebehandlung zu einer signifikanten TM-Erhöhung. Der Rohproteingehalt lag über alle Behandlungsstufen bei rund 230 g/kg TM, wobei signifikante Unterschiede ausgewiesen wurden. Die Proteinlöslichkeit reduzierte sich signifikant durch die Silierung um über 15 %-Punkte und in Folge der sich anschließenden Wärmebehandlung weiter um 45 %-Punkte im Vergleich zum AM. Das pepsinunlösliche Rohprotein (puRP) blieb nahezu über alle Behandlungen bei rund 4 % d. RP. Das nutzbare Rohprotein, ermittelt über den erweiterten Hohenheimer Futterwerttest (eHFT) ergab bei einer unterstellten Passagerate von 8 %/h eine signifikante Steigerung bei der thermischen Aufbereitung der silierten Erbsenkörner von rund 15 g/kg TM. Der Stärkegehalt und der Gehalt an Nicht-Faser-Kohlenhydraten (NFC) sowie der Rohfaserqualität (RfA, aNDFom, ADFom) blieben über alle Behandlungsstufen unverändert. Der Zuckergehalt sank signifikant durch das Toasten. Diese Effekte konnten ebenso bei anderen Erbsensorten als auch bei ausgewählten Ackerbohnsorten festgestellt werden. Die Reduzierung der Proteinlöslichkeit in Folge der Silierung wurde allerdings nicht bei allen untersuchten Sorten statistisch gesichert. Nur die thermische Behandlung führte zu signifikanten Veränderungen der Proteinqualität. Die Nährstoffgehalte (Stärke, Rohprotein und Rohfaser) blieben meist in Folge der kombinierten Behandlung unverändert.

4.1.6 Effekte der Trockenmasse zur Silierung

Bereits vor der Silierung von feuchtem Grüngut finden klassischer Weise in Folge der Ernte, Lagerung und Konservierung proteolytische Prozesse statt. In wie weit sich durch die Steuerung des TM-Gehaltes diese Prozesse minimieren lassen, soll in der Abbildung 17 verdeutlicht werden. Die Proteinlöslichkeit ist dabei ein Indikator zur Beschreibung der ruminalen Proteinbe-

ständigkeit. Das untersuchte Protein wurde in die Proteinfractionen A (NPN, sehr schnell löslich), B1 (schnell löslich), B2 (Reinprotein, löslich), B3 (Reinprotein, langsam löslich) & C (unlöslich) eingeteilt. Ziel der kombinierten Behandlung und dabei v.a. der Wärmebehandlung war es die Anteile der Proteinfraction B2 und B3 zu maximieren ohne dabei ebenfalls die Proteinfraction C nennenswert zu steigern. Hohe Anteile der C-Fraction deuten dabei auf eine Proteinschädigung hin.

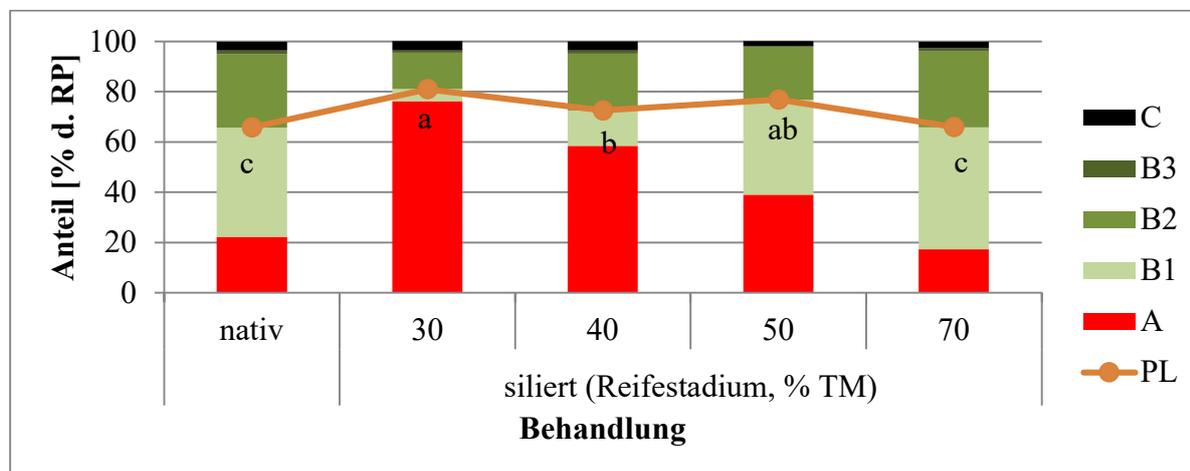


Abbildung 17: Effekte auf die Anteile der Proteinfractionen während der Silierung von Ganz- und Teilpflanzen der Erbse „Astronaut“ in Abhängigkeit der Trockenmasse; ^{ab} unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede für den Parameter „Proteinlöslichkeit“ mit $p < 0,05^{\text{Tukey}}$ (TM, Trockenmasse; PL, Proteinlöslichkeit)

Die Proteinlöslichkeit des nativen Grüngutes (Mittelwert aus vier Reifestadien) lag bei rund 65 % d. RP. Bei der Silierung von Grüngut ≤ 50 % TM stieg die Proteinlöslichkeit um bis zu 15 %- Punkte signifikant an. Im Besonderen sank der Anteil der Proteinfractionen B1 und B2 zu Gunsten steigender Anteile der Proteinfraction A, allerdings mit zunehmender TM in einem kontinuierlich geringeren Maße. Ab einer TM von 70 % waren keine Veränderungen der Proteinqualität in Folge der Silierung zu beobachten. Bei der untersuchten Ackerbohne wurden vergleichbare Ergebnisse festgestellt, allerdings lag die Proteinlöslichkeit des nativen Grüngutes bei lediglich 45 % d. RP. In Folge der Silierung stieg auch bei 70 % TM die Proteinlöslichkeit auf rund 60 % d. RP signifikant an.

4.1.7 Effekte des Silierzusatzes auf den Nährstoffgehalt

Für die Untersuchungen möglicher Effekte des Silierzusatzes bei der Silierung von Erbsen und Ackerbohnen ausgewählter Sorten wurden Silagen ohne (KON) und mit Zugabe von Milchsäurebakterien (MSB) hergestellt. Zusätzlich wurde noch die amylolytische Aktivität der MSB, zwischen nicht aktiv (MSB) und aktiv (MSB^A), differenziert (Tabelle 17).

Tabelle 17: Effekte des Silierzusatzes auf ausgewählte Nährstoffe während der Silierung

	Erbse "Astronaut" (Kornsilage)		
	KON	MSB	MSB ^A
	n = 6	n = 6	n = 3
TM [g/kg OS]	713	714	680
Rohprotein [g/kg TM]	233	232	236
Proteinlöslichkeit	55,6	54,2	63,9
Stärke [g/kg TM]	528	527	528
Zucker	50,5	52,8	40,3
Rohfaser [g/kg TM]	59,2	67,0	65,3

MSB; Milchsäurebakterien, „Josilac®classic“; Lactobacillus plantarum, LSI NCIMB 30083 1k20736 und L256 NCIMB 30084 1k20737 sowie Pediococcus acidilactici P11 DSM 23689 1k1011 und P6 DSM 23688 1k1010; Josera GmbH & Co. KG, Kleinheubach; MSB^A; Milchsäurebakterien mit amylolytischer Aktivität L.plantarum Stamm, LMG 18053TM; Trockenmasse; OS, Organische Substanz; ^{ab} unterschiedliche Buchstaben in einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten mit $p < 0,05$ ^{Tukey}

Die Unterscheidung des Silierzusatzes zwischen KON und MSB (mit und ohne amylolytischer Aktivität) ergab am Beispiel der Erbse „Astronaut“ keinen Einfluss auf den Gehalt essentieller Nährstoffe. Dieses Ergebnis wurde ebenso bei allen anderen Sorten der untersuchten Erbsen und Ackerbohnen festgestellt. Auch die amylolytische Aktivität der eingesetzten MSB hatte keinen Einfluss auf den Gehalt an Stärke, Zucker oder NFC (Ergebnis nicht dargestellt).

4.1.8 Effekte der Wärme-Behandlungsintensität

Behandlungsdauer Die Wärmebehandlung siliierter Erbsen- und Ackerbohnenkörner hatte in den eingangs dargestellten Ergebnissen einen signifikanten Effekt auf den Gehalt ausgewählter Nährstoffe. Um nun die Behandlungsintensität genauer zu untersuchen wurden ausgewählte Erbsen- und Ackerbohnenkilagen mit variierenden Behandlungsintensitäten getoastet. Die dabei untersuchten Parameter waren die Behandlungsdauer sowie die zu behandelnde Menge. Die nachfolgende Tabelle 18 gibt die Ergebnisse bei variierender Behandlungsdauer (30 und 60 min) bei 160 °C (1000 g FM) am Beispiel der Erbse „Astronaut“ wieder.

Tabelle 18: Effekte der Wärmebehandlung auf ausgewählte Nährstoffe siliierter Erbsenkörner in Abhängigkeit der Behandlungsdauer (MW)

	Erbse "Astronaut"		<i>p- Wert</i>
	(Kornsilage getoastet, 160 °C)		
	30 min	60 min	
	n = 19	n = 6	
TM [g/kg OS]	808	951	< 0,001
Rohprotein [g/kg TM]	236	232	0,169
Proteinlöslichkeit [% d. RP]	38,1	15,4	0,003
Stärke [g/kg TM]	532	527	0,108
Zucker [g/kg TM]	42,7	30,3	0,010
NFC [g/kg TM]	592	521	< 0,001
aNDFom [g/kg TM]	120	201	< 0,001
ADFom [g/kg TM]	77,0	91,0	< 0,001
nRP 8% PR* [g/kg TM]	213	246	< 0,001

*bestimmt über erweiterten Hohenheimer Futterwerttest, eHFT; TM, Trockenmasse; ADFom, saure Detergentienfaser („acid detergent fibre“) abzüglich Rohasche; aNDFom, Neutrale Detergentienfaser („neutral detergent fibre“) behandelt mit einer hitzestabilen Amylase abzüglich Rohasche; nRP, bestimmt über erweiterter Hohenheimer Futterwerttest (eHFT) bei 8 % Passagerate (PR); MW, Mittelwert; n, Probenanzahl; NFC, Nicht-Faser-Kohlenhydrate; RP, Rohprotein; TM, Trockenmasse

Die Erhöhung der Behandlungsdauer führte bei der betrachteten Erbsensorte „Astronaut“ zu einer signifikanten Erhöhung der Proteinbeständigkeit. Die analysierte Proteinlöslichkeit wurde durch die doppelte Behandlungsdauer signifikant reduziert. Damit erhöhte sich ebenso signifikant das nutzbare Rohprotein (bestimmt über eHFT) sowie der Gehalt an aNDFom und ADFom. Weiterhin reduzierte sich der Zuckergehalt und korrespondierend der Gehalt an NFC. Der Stärkegehalt blieb unverändert. Bei den entsprechend untersuchten Ackerbohnen Sorten (Ergebnisse nicht dargestellt) ergaben sich nicht diese Unterschiede zwischen beiden Behandlungsstufen.

Behandlungsmenge

Bei der Kornsilage Erbse „Astronaut“ wurde ebenso die zu behandelnde Menge variiert (500 g FM - 1000g FM). Die dargestellten Proben wurden bei 160 °C für 30 und 60 min im Trockenschrank getoastet. Die entstandenen Ergebnisse sind in Tabelle 19 dargestellt.

Tabelle 19: Effekte der Wärmebehandlung auf ausgewählte Nährstoffe siliierter Erbsenkörner in Abhängigkeit der Behandlungsmenge (MW)

Erbsen "Astronaut"			
(Kornsilage getoastet, 160 °C, 30 - 60 min)			
	500 g FM	1000 g FM	<i>p-Wert</i>
	n = 13	n = 12	
TM [g/kg OS]	919	770	< 0,001
Rohprotein	232	239	0,012
Proteinlöslichkeit	18,0	46,2	< 0,001
Rohfaser	67,6	57,8	< 0,001
aNDFom	174	108	< 0,001
ADFom	87,1	74,2	< 0,001
Stärke	526	534	< 0,001
Zucker	36,4	42,8	0,135
NFC	545	603	< 0,001

ADFom, saure Detergentienfaser („acid detergent fibre“) abzüglich Rohasche; aNDFom, Neutrale Detergentienfaser („neutral detergent fibre“) behandelt mit einer hitzestabilen Amylase abzüglich Rohasche; MW, Mittelwert; n, Probenanzahl; NFC, Nicht-Faser-Kohlenhydrate; RP, Rohprotein; TM, Trockenmasse

Die Halbierung der Behandlungsmenge führte zu signifikant höheren Effekten auf die Proteinbeständigkeit, anhand geringerer Proteinlöslichkeiten (- 25 %-Punkte) sowie zu geringeren Zucker- und NFC-Gehalten (- 50 g/kg TM). Auffällig waren zudem Veränderungen des Rohfasergehaltes sowie der Gehalte aNDFom sowie ADFom die sich durch die Halbierung der Behandlungsmenge signifikant erhöhten.

Behandlungstemperatur

Inwieweit die Behandlungstemperatur die Veränderung der Proteinqualität bedingt wurde anhand der silierten Erbse „Alvesta“ untersucht. Diese wurde für 30 min (1000 g FM) bei 120 °C – 200 °C getoastet. Die Abbildung 18 gibt dabei den Effekt der Temperatursteigerung auf die Proteinlöslichkeit der siliert + getoasteten Erbsen wieder.

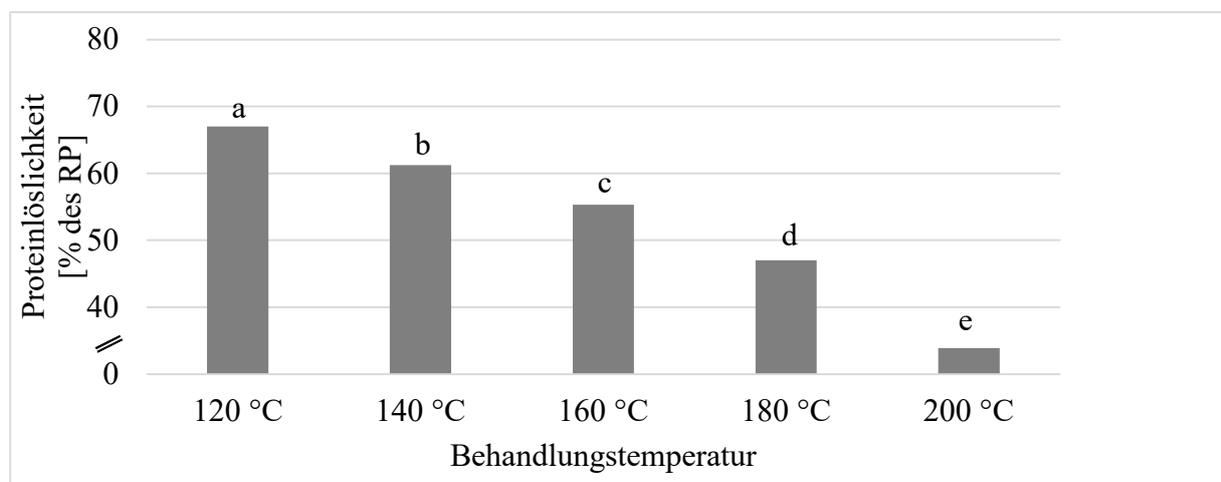


Abbildung 18: Veränderung der Proteinlöslichkeit siliierter + getoasteter Erbsen „Alvesta“ in Abhängigkeit der Behandlungstemperatur (30 min, 1000 g FM) RP, Rohprotein; $n = 3$; ^{ab} unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten mit $p < 0,05^{\text{Tukey}}$

Die Proteinlöslichkeit der nativen Erbse „Alvesta“ lag bei rund 80 % d. RP und reduzierte sich in Folge der Silierung auf 76 % d. RP. Die thermische Behandlung führte schon bei der niedrigsten Temperaturstufe (120 °C) zu einem signifikanten Rückgang der Proteinlöslichkeit auf 67 % d. RP. Mit steigender Temperatur sinkt die Proteinlöslichkeit signifikant weiter bis auf einen Wert von rund 30 % d. RP bei der höchsten Temperaturstufe (200 °C). Auch bei der Wärmebehandlung siliierter Ganz- und Teilpflanzen von Erbsen und Ackerbohnen wurden die Behandlungsintensitäten variiert und die Effekte auf ausgewählte Parameter zur Beschreibung der Proteinqualität untersucht. In der Abbildung 19 sind die Effekte einer schonenden Wärmebehandlung (120 °C für 3 h) einer intensiven Behandlung (160 °C für 1 h) am Beispiel der Ackerbohne „Taifun“ gegenüber gestellt.

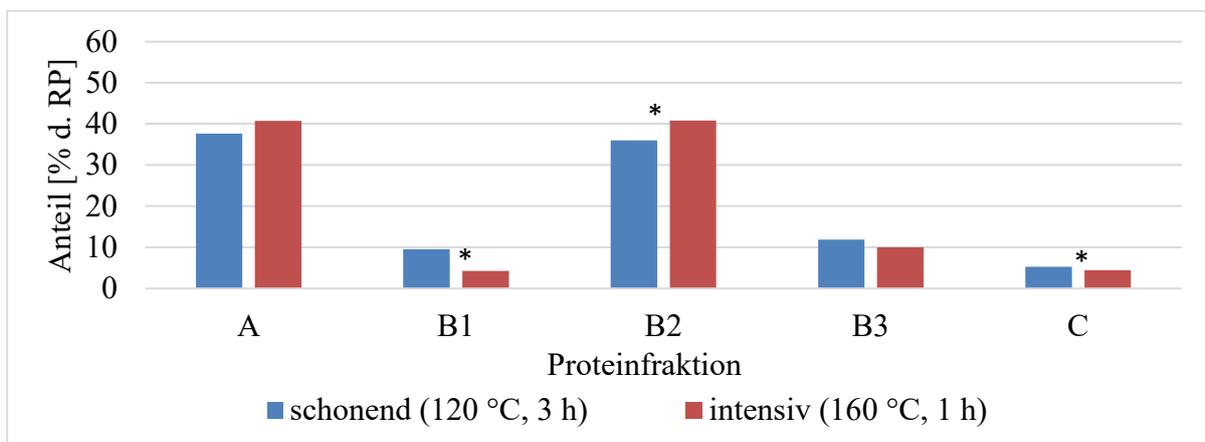


Abbildung 19: Effekte der Wärmebehandlung von silierten Ganz- und Teilpflanzen in Abhängigkeit der Behandlungsintensität der Ackerbohne („Taifun“); * kennzeichnet signifikanten Unterschiede innerhalb jeder Proteinfraktion mit $p < 0,05^{\text{Tukey}}$ ($n_{\text{schonend}} = 35$; $n_{\text{intensiv}} = 36$)

Beide Behandlungsintensitäten führten zu einer Proteinlöslichkeit (A + B1) von rund 45 % d. RP. Auch die Anteile der weiteren Proteinfraktionen waren, wenn auch vereinzelt statistisch gesichert, auf einem vergleichbaren Niveau. Dieses Ergebnis wurde ebenso bei der Wärmebehandlung siliierter Ganz- und Teilpflanzen bei der untersuchten Erbse „Astronaut“ festgestellt (Ergebnisse nicht dargestellt).

In wieweit die Behandlungsintensität (Dauer, Temperatur) die ruminale Abbaubarkeit von Protein und Stärke beeinflusst wurde durch in vitro-Untersuchungen geprüft. Die entstandenen Ergebnisse werden in der Abbildung 20 dargestellt.

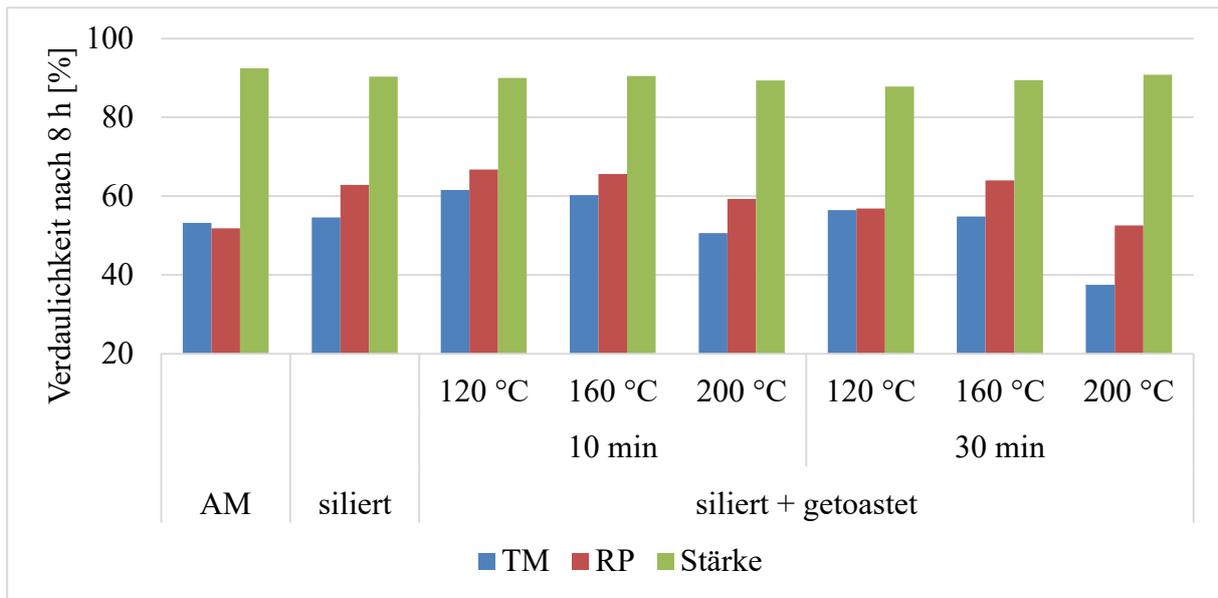


Abbildung 20: Effekte der kombinierten Behandlung auf die ruminale Abbaubarkeit (8 h) ausgewählter Rohnährstoffe der Erbse „Alvesta“ (n = 3)

Die ruminale Stärkeabbaubarkeit lag bei rund 90 % und veränderte sich durch die Silierung und anschließende thermische Aufbereitung nicht. Die Abbaubarkeit des Rohproteins stieg in Folge der Silierung (+ 10 %-Punkte) und blieb bei kurzer Behandlungsdauer (10 min) unverändert. Erst bei der höchsten Behandlungsintensität (200 °C, 30 min) wurde ein signifikanter Rückgang der ruminale Proteinabbaubarkeit im Vergleich zur Silage festgestellt. Im Vergleich zum nativen Ausgangsmaterial ergab die kombinierte Behandlung keine Effekte auf die ruminale Abbaubarkeit an Stärke und Protein.

4.1.9 Einfluss der Silierung auf den Effekt der Wärmebehandlung

Die Silierung kann die Proteinqualität von Körnerleguminosen beeinflussen. Dies ergaben die bereits eingangs dargestellten Ergebnisse der Silierung von Erbsen und Ackerbohnen als Korn und Ganz- bzw. Teilpflanze. In wie weit sich die Proteinqualität durch die alleinige Wärmebehandlung beeinflussen lässt, soll nachfolgend anhand der einzelnen Proteinfraktionen sowie der Proteinlöslichkeit beschrieben werden. Zunächst werden mögliche Effekte der Behandlung des Korns ausgewählter Erbsensorten untersucht (Abbildung 21).

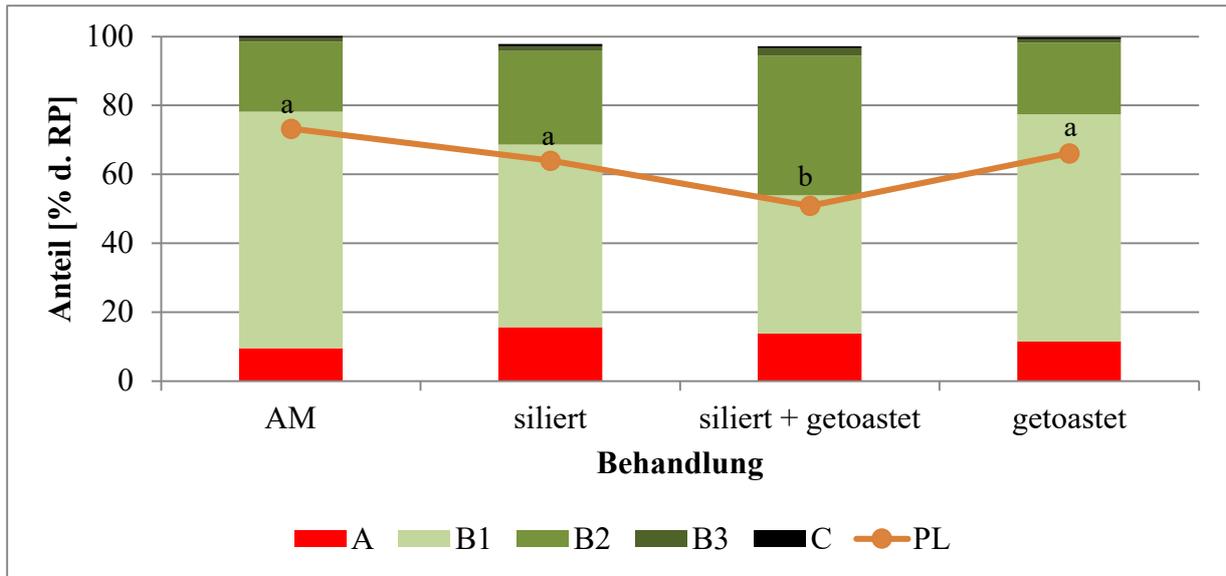


Abbildung 21: Einfluss der Silierung von Leguminosenkörnern auf den Effekt der Wärmebehandlung am Beispiel der Proteinfractionen verschiedener Erbsensorten; ^{ab} unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede für den Parameter „Proteinlöslichkeit“ mit $p < 0,05^{\text{Tukey}}$ (AM, Ausgangsmaterial; PL, Proteinlöslichkeit; $n_{\text{AM}} = 18$; $n_{\text{siliert}} = 66$; $n_{\text{siliert + getoastet}} = 146$; $n_{\text{getoastet}} = 16$)

Die Proteinlöslichkeit reduziert sich durch die Silierung (rund 7 %-Punkte) und signifikant in Folge der sich anschließenden Wärmebehandlung (rund 20 %-Punkte) im Vergleich zur unbehandelten Erbse. Dieser Effekt wurde bereits in den vorherigen Ergebnisdarstellungen bestätigt. Die alleinige Wärmebehandlung der nativen Erbsen brachte allerdings bei gleicher Behandlungsintensität (160 °C, 30 und 60 min) keine nennenswerten Veränderungen der Proteinqualität. Ein vergleichbares Ergebnis konnte ebenso bei den untersuchten Ackerbohnen ausgewählter Sorten festgestellt werden (Ergebnisse nicht dargestellt). In wie sich dieser Zusammenhang auch auf die Behandlung der Ganz- bzw. Teilpflanzen von Erbsen und Ackerbohnen übertragen lässt, wird in der nachfolgenden Abbildung 22 dargestellt.

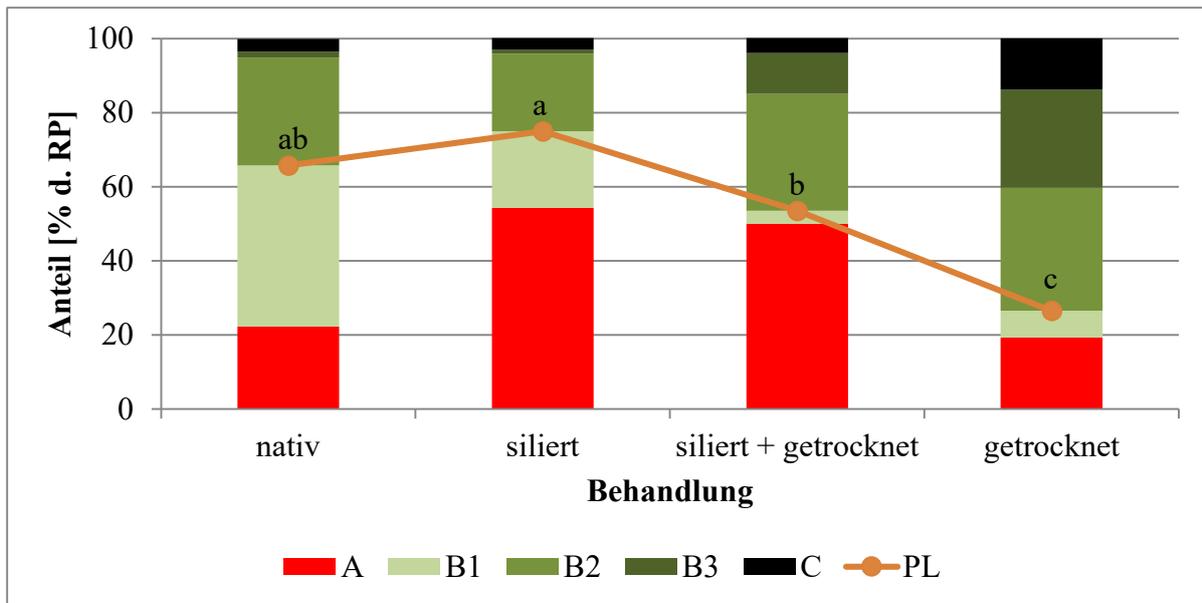


Abbildung 22: Einfluss der Silierung von Ganz- bzw. Teilpflanzen auf den Effekt der Wärmebehandlung am Beispiel der Proteinfractionen ^{ab} unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede für den Parameter „Proteinlöslichkeit“ mit $p < 0,05$ ^{Tukey} (Erbsen „Astronaute“; $n_{\text{nativ}} = 18$; $n_{\text{siliert}} = 36$; $n_{\text{siliert + getrocknet}} = 30$; $n_{\text{getrocknet}} = 18$)

Die Silierung von Ganz- und Teilpflanzen führt bei Erbsen und Ackerbohnen im gleichen Maße zu einer Erhöhung der Proteinlöslichkeit in Abhängigkeit der TM. Die sich anschließende thermische Behandlung kehrt diesen Effekt wieder auf die ursprüngliche Proteinlöslichkeit zurück, oder darüber hinaus. Eine reine thermische Behandlung des Grüngutes, bei gleicher Behandlungsintensität (160 °C, 60 min) führt zu einer signifikanten Reduzierung der Proteinlöslichkeit um bis zu 40 %-Punkte, in Folge gesteigener Anteile der Proteinfractionen B3 und C. Die ruminal unlöslichen Anteile (Proteinfraction C) sind durch die reine thermische Behandlung um 10 %-Punkte gestiegen. Diese Ergebnisse konnten im gleichen Maße bei den untersuchten Ackerbohnen Grüngut bestätigt werden (Ergebnisse nicht dargestellt).

4.2 Ergebnisse Arbeitspaket C (Praxissilierungsversuche)

Die erfolgversprechendsten Varianten aus den Untersuchungen des Arbeitspaketes A wurden großtechnisch hergestellt und der Effekt der kombinierten Behandlung auf ausgewählte Parameter der Protein- und Stärkequalität untersucht.

4.2.1 Effekte der kombinierten Behandlung auf die Proteinqualität

Um die Effekte der Wärmebehandlungsintensität siliierter Körnerleguminosen wurde die großtechnisch geerntete und silierte Erbsen „Alvesta“ mit ausgewählten Behandlungstemperaturen (140 – 200 °C) und Durchsätzen (50 – 100 kg/h) in dem im Projekt angeschafften mobilen Toaster (ECO-Toast 100) thermisch aufbereitet. Ziel hierbei war es hierbei die Grenzen des Verfahrens zu beschreiben und eine „Optimalbehandlung“ im Hinblick auf die Proteinqualität zu erhalten. Die Abbildung 23 gibt dabei die entstandenen Ergebnisse der Untersuchung wieder.

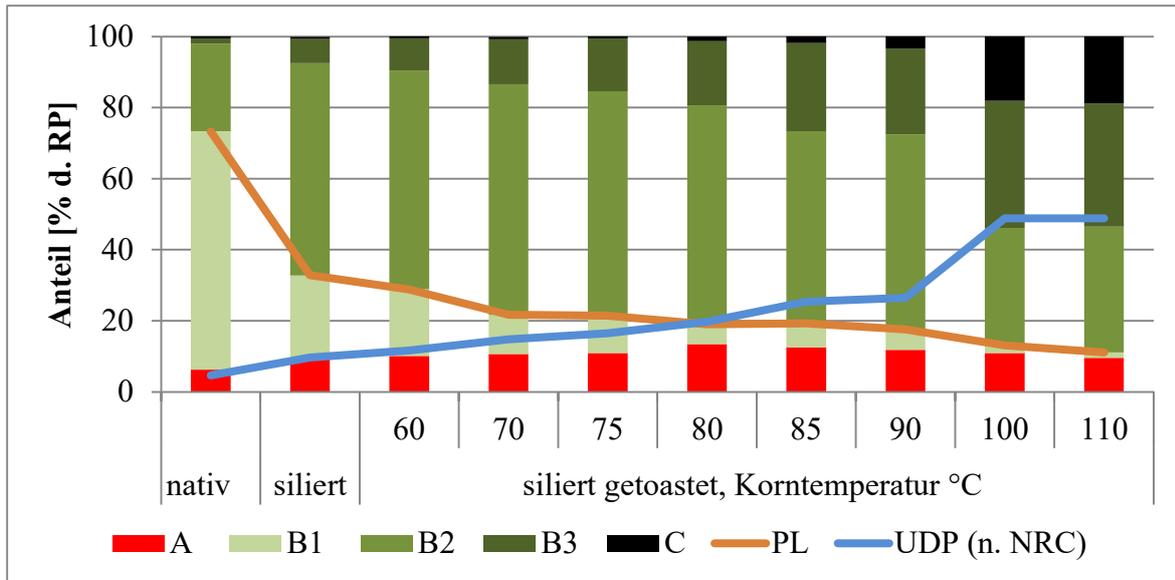


Abbildung 23: Veränderung der ruminalen Proteinbeständigkeit siliertes Erbsen „Alvesta“ (Probenmaterial 2) in Abhängigkeit der Toastintensität (mobiler Toaster, ECO-Toast 100, Agrel; n = 3; PL, Proteinlöslichkeit (A + B1); A, Nicht-Protein-Stickstoff (NPN); B1, lösliches schnell abbaubares Reineiweiß; B2, mäßig schnell abbaubares Reineiweiß; B3, langsam abbaubares Reineiweiß; C, unlösliches zellwandgebundenes Protein; UDP, unabbaubares Futterrohprotein berechnet nach NRC, 2001)

Die Silierung führte zu einer signifikanten Reduzierung der Proteinlöslichkeit um rund 40 % d. RP in Folge steigender Anteile der Proteinfraction B2 (+ 35 %-Punkte). Der berechnete UDP-Gehalt stieg von 5 % d. RP (native Erbse) auf 10 % d. RP an. In der Abbildung sind die entstandenen Korntemperaturen (Temperatur der Körner am Auswurf des Toasters) angegeben. Die eingestellten Einblastemperaturen waren 100 °C, 140 °C, 160 °C, 170 °C, 180 °C, 190 °C (100 kg/h), 190 °C (70 kg/h) sowie 200 °C (50 kg/h). Mit steigender Temperatur, sank kontinuierlich die Proteinlöslichkeit von 28 % d. RP (60 °C Korntemperatur) auf rund 10 % d. RP bei der höchsten Behandlungsintensität. Grund hierfür sind die sinkenden Anteile der Proteinfraction B1 auf nahezu 0 ($p \leq 0,001$) zu Gunsten steigender Anteile der B2 ($p \leq 0,001$) und ab Korntemperaturen > 80 °C der B3-Fraktion ($p \leq 0,001$). Ab 100 °C Korntemperatur stiegen die Anteile der unlöslichen Proteinfraction C um 20 % ($p \leq 0,001$). Der errechnete UDP-Gehalt erhöhte sich mit steigender Korntemperatur von rund 10 % d. RP (60 °C Korntemperatur) auf annähernd 50 % d. RP (≥ 100 °C Korntemperatur). Eine Erhöhung der ruminalen Proteinbeständigkeit bestätigen auch die *in vitro*-Untersuchungen der Proben (Abbildung 24).

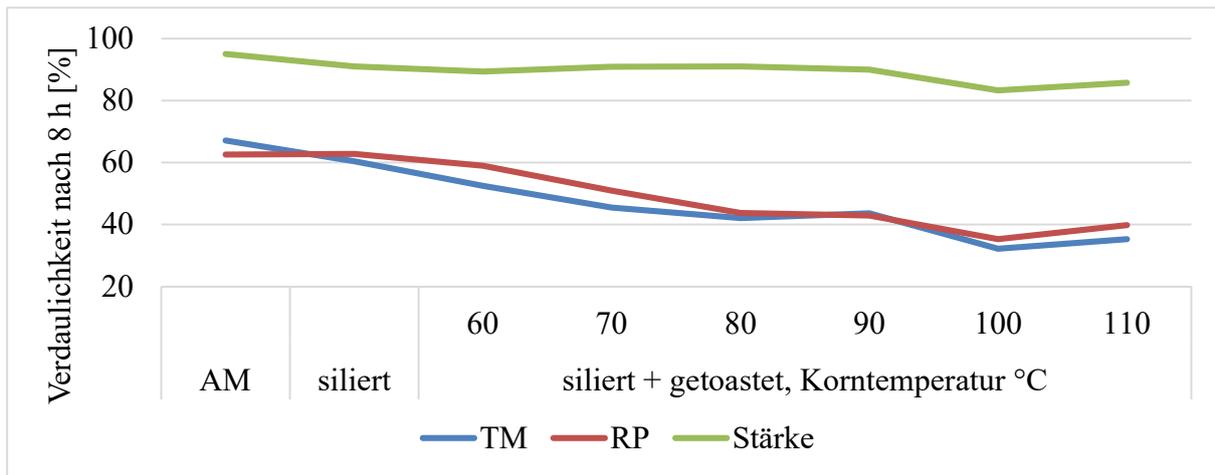


Abbildung 24: Effekte der kombinierten Behandlung auf die ruminale Abbaubarkeit (8 h) ausgewählter Rohnährstoffe der Erbse „Alvesta“ (n = 3)

Die ruminale Proteinabbaubarkeit reduzierte sich signifikant mit steigender Behandlungsintensität von 60 % (nativ) auf rund 40 % (siliert + getoastet, ≥ 100 °C Korntemperatur). Die ruminale Stärkeabbaubarkeit blieb dabei auf einem annähernd konstanten Niveau von rund 90 %. Die Silierung hatte dabei keinen Einfluss auf die dargestellten Abbaubarkeiten.

4.2.2 Effekte der Wärmebehandlung auf die Bildung von Maillardprodukten

Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse wurden in Zusammenarbeit mit der TU Dresden erarbeitet und bereits durch Herrn Dr. Thomas Hoffmann publiziert (Dissertation, 2021).

Bei einer Wärmebehandlung von Lebens- und Futtermitteln > 50 °C kommt es zur Bildung von Maillardprodukten, die über mehrstufige Maillardreaktionen Zucker und Aminosäuren binden. Um diesen Effekt ebenso bei der kombinierten Behandlung von Körnerleguminosen beschreiben zu können wurden die großtechnisch behandelten Erbsen „Alvesta“ auf ausgewählte Maillardprodukte hin untersucht. Zugleich wurden die Gehalte der essentiellen Aminosäuren Lysin und Arginin ermittelt. Die Ergebnisse sind in der Abbildung 25 dargestellt.

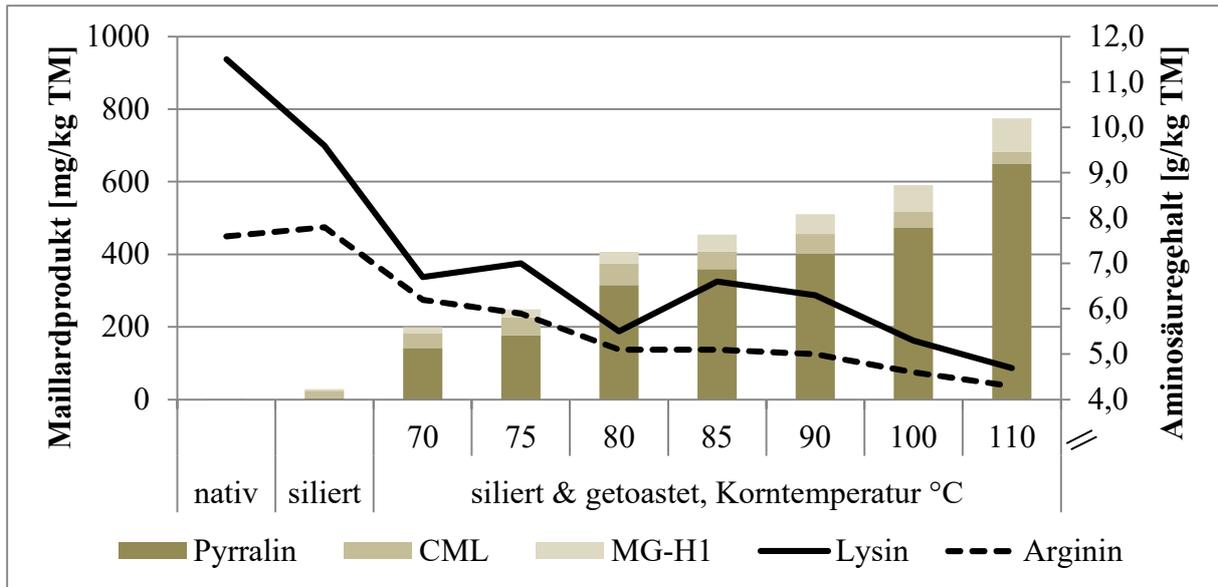


Abbildung 25: Effekte der kombinierten Behandlung auf die Bildung ausgewählter aminosäurebindender Maillardprodukte und deren Beeinflussung des Aminosäuregehaltes (CML, Carboxymethyllysin; MG-H1, Methylglyoxal-Hydroimidazolone; n = 3)

Die Silierung und im Besonderen die Wärmbehandlung führte zur Bildung von Maillardprodukten, welche positiv ($y=13,9x - 757$; $R^2 = 0,902$) mit der Korntemperatur korrelierten. Bei der niedrigsten Temperaturstufe (140 °C Einblastemperatur) bildeten sich rund 200 mg/kg TM und letztlich bis zu 800 mg/kg TM (200 °C Einblastemperatur) der untersuchten Maillardprodukte. Das Maillardprodukt Pyrralin hatte dabei den höchsten Anteil. Die Bildung dieser Maillardprodukte provozierte eine kontinuierliche Reduzierung der Aminosäuren Lysin (- 8 g/kg TM) sowie Arginin (- 3 g/kg TM).

Neben den dargestellten Maillardprodukten wurde das Amadoriprodukt Fruktoselysin, als Vorstufe des Maillardproduktes Furosins. In der Abbildung 26 sind die entstandenen Ergebnisse dargestellt.

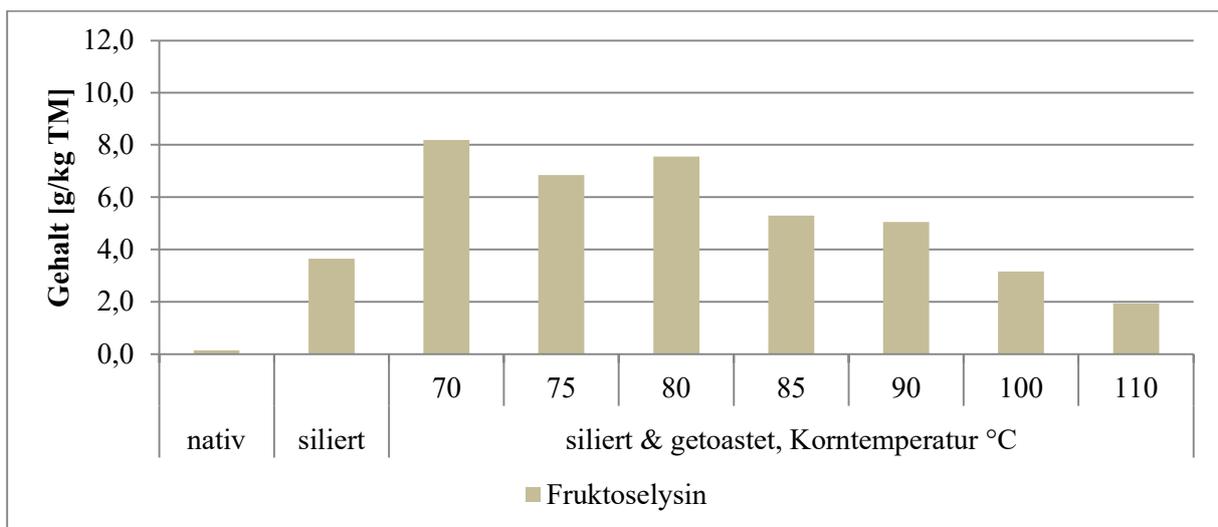


Abbildung 26: Effekte der kombinierten Behandlung auf die Bildung des lysinbindenden Amadoriproduktes Fruktoselysin (n = 3)

Wie schon eingangs dargestellt führte auch bereits die Silierung zur Bildung von Fruktoselysin (+ 4 g/kg TM). Bei der niedrigsten Wärmebehandlungsintensität war der Gehalt an Fruktoselysin mit rund 8 g/kg TM bereits am höchsten. Mit steigender Behandlungsintensität verhielt sich der Gehalt allerdings kontinuierlich rückläufig.

4.3 Ergebnisse Arbeitspaket D (Fütterungsstudien)

Im Projektzeitraum wurden drei Fütterungsstudien an hochleistenden Milchrindern durchgeführt. Hierbei wurden einerseits Erbsenkörner der Sorte „Alvesta“ mit einer Korn-TM von 70 % geerntet und mit einem Grain Bagger (Murska 2000 S 2x2) gequetscht und andererseits Erbsen der Sorte „Astronaut“ als Ganzpflanze mit 40 % TM und 60 % TM im Direktschneidverfahren gehäckselt. Bei der Ganzpflanzenernte wurde eine Schnitthöhe möglichst nah unterhalb der Fruchtanlagen („Schröpschnitt“) angestrebt, um die Mitnahme der Pflanzenfaser zu reduzieren. Das gehäckselte Grüngut wurde unter Zugabe eines biologischen Siliermittels (0,6 g MSB/l) in einem Folienschlauch einsiliert oder in Folienballen (Ballenwickelkombination Göweil) gewickelt. Im Anschluss an die Silierung wurden die Kornsilagen sowie die frühe Ganzpflanzensilage (40 % TM) getoastet (Korn: ECO-Toast 100, Firma Agrel, 180 °C; Ganzpflanze: Trockenwerk Gröden, Trommeltrocknung, 100 °C). Die hergestellten Futtermittel (silierte + getoastete Erbsen; getrocknete Ganzpflanzensilage; Ganzpflanzensilage (Ballen)) wurden in jeweils 7-wöchigen Fütterungsstudien an hochleistenden Milchrindern getestet. Dabei wurden einerseits 1,5 kg TM RES und 1 kg TM Gerste durch 3 kg TM silierte + getoastete Erbsen in der Ration ausgetauscht und andererseits 5 kg TM Grassilage durch 5 kg TM getrocknete Ganzpflanzen sowie 3 kg TM Grassilage und 1,2 kg TM Grünroggensilage durch 4 kg TM Ganzpflanzensilage (Ballen) nährstoffadäquat ersetzt. In den Fütterungsstudien mit zwei Gruppen (Kontrolle, Versuch) von je 30 Milchkühen, wurde die Futteraufnahme, Milchleistung, Milchinhaltstoffe sowie Harn- und Kotparameter ausgewertet.

4.3.1 Fütterungserfolg kombiniert behandelte Erbsen

Die Nährstoffzusammensetzung der in verschiedenen Varianten großtechnisch hergestellten Futtermittel aus Erbsen werden in der Tabelle 20 dargestellt.

Tabelle 20: Nährstoffzusammensetzung der eingesetzte Futterkomponenten aus behandelten Erbsen

Parameter	siliertes + getoastetes Korn	silierte + getrocknete Ganzpflanze (40 % TM)	silierte Ganzpflanze (Ballen, 60 % TM)
Nährstoffe			
TM [g/kg OS]	927	908	596
RP [g/kg TM]	196	165	145
Stärke [g/kg TM]	561	271	261
PL [% d. RP]	17,3	75,8	67,8
NEL [MJ/kg TM]	8,6	6,9	5,6
nRP [g/kg TM]	209	127	127

Der Rohproteingehalt der siliert + getoasteten Erbsen lag bei rund 200 g/kg TM und wies eine niedrige Proteinlöslichkeit in Folge der Wärmebehandlung auf. Der Energiegehalt lag bei annähernd 9 MJ NEL/kg TM und das nutzbare Rohprotein bei rund 200 g/kg TM. Die Mitnahme der Pflanzenfaser sowie die spätere Ernte der Ganzpflanzen führte zu einer Verdünnung der Nährstoffe, was geringere Protein- und Stärkegehalte und letztlich geringere Energie- und nRP-Gehalte provozierte.

Der Fütterungserfolg der drei hergestellten Futtermittel aus behandelten Erbsen als Korn sowie Ganzpflanzen wird in der nachfolgenden Tabelle 21 dargestellt.

Tabelle 21: Ergebnisse der Fütterungsstudien mit siliert und thermisch behandelten Erbsen als Korn sowie als Ganz-pflanze zu zwei Reifestadien (40 % TM und 60 % TM)

Parameter	siliertes + getoastetes Korn		silierte + getrocknete Ganzpflanze (40 % TM)		silierte Ganz-pflanze (Ballen, 60 % TM)	
	Versuch	Kontrolle	Versuch	Kontrolle	Versuch	Kontrolle
Aufnahme (Ration)						
Futter [kg TM/Tier*Tag]	23,0	23,1	21,6	20,9*	25,7	23,8*
RP [g/Tier*Tag]	3479	3739	3629	3574	3730	3692
nRP [g/Tier*Tag]	3517	3627	3370	3344	3822	3746
lösliches RP [g/Tier*Tag]	1554	1622	1306	1355	1241	1524*
Stärke [g/Tier*Tag]	4756	4439	6566	4849*	6501	5072*
NEL [MJ/Tier*Tag]	156	158	147	142	170	167
Milchleistung						
ECM [kg /Tier*Tag]	39,6	40,0	36,3	36,7	38,2	37,6
Fett [%]	4,08	3,72*	3,76	4,0	4,03	4,04
Eiweiß [%]	3,41	3,58*	3,72	3,69	3,72	3,70
Harnstoff [mg/kg Milch]	176	212*	279	291	246	209*
N-Gehalt Kot & Harn						
Harn-Gesamt-N [g/l]	8,6	13,3*	11,5	15,5*	10,3	9,1
Harn-Harnstoff [g/l]	9,0	14,3*	18,0	23,9*	15,0	12,3*
Kot-N [g/kg TM]	31,4	34,8*	-	-	28,0	28,8
Kot-RP [g/kg TM]	196	217*	-	-	175	181
Effizienz						
Futter [kg Milch/kg Futter]	1,7	1,7	1,7	1,8	1,5	1,6

Die Ergebnisse machen deutlich, dass Erbsen in verschiedenen Behandlungsformen sinnvoll in den Rationen hochleistender Milchrinder einsetzbar sind. Die Futteraufnahme der Versuchsgruppe lag bei 22 – 25 kg TM/Tier*Tag und unterschied sich zunächst nicht Kontrollgruppe. Die Nährstoffaufnahmen waren überwiegend zwischen den Gruppen nicht verschieden, lediglich die Tiere mit Erbsenzulage nahmen im Vergleich zur Kontrollgruppe 300 – 1700 g/Tier*Tag mehr Stärke auf. Die Milchleistung (ECM) lag gruppenübergreifend bei rund 39 kg Milch/Tier*Tag und ebenso entstanden, bis auf den Milhharnstoffgehalt, kaum Unterschiede in den analysierten Milchinhaltsstoffen. Die Aufnahme siliertes und getoasteter Erbsenkörner, sowie Ganzpflanzen im Austausch gegen RES und Grassilage führte zu einer verminderten N-Ausscheidung über die Milch und niedrigeren N-Konzentrationen im Harn. Die Futtereffizienz lag stets über 1,7.

5. Diskussion der Ergebnisse

Nährstoffentwicklung und Abreifeverhalten

Die Nährstoffanalyse der frühzeitig geernteten Erbsen und Ackerbohnen ergab eine abgeschlossene und vollständige Einlagerung an Nährstoffen insbesondere an Stärke (rund 530 g/kg TM bzw. 430 g/kg TM) und Protein (rund 230 g/kg TM bzw. 330 g/kg TM) zur Phase der „Teig-

reife“ mit einer Korn-TM von rund 50 %. Die Nährstoffgehalte trockenreifer Körnerleguminosen liegen in einem vergleichbaren Niveau (Erbsen: 240 g RP/kg TM, 490 g Stärke/kg TM; Ackerbohne: 300 g RP/kg TM, 415 g Stärke/kg TM; u.a. DLG-FUTTERWERTTABELLE, 1997; FREITAG, 2006; GEFROM, 2012). Erbsen haben im Vergleich zu Ackerbohnen rund 100 g/kg TM mehr Stärke und korrespondieren 100 g/kg TM weniger Rohprotein. Zum Zeitpunkt der „Teigreife“ lag der geschätzte Ertrag (Handernte) mit rund 70 dt/ha am Beispiel der Erbsen „Astronaut“ am höchsten. Dieses Ertragsniveau deckt sich mit den Angaben zum mittleren Ertragspotential in Sachsen großtechnisch geernteter Erbsen (~ 55 dt/ha; KARALUS, 2018) mit entsprechendem Ernteverlust. Mit Einsetzen der Trockenreife verhielten sich allerdings die Erträge rückläufig, was durch witterungsbedingte (Niederschlag, Wind) Ausfallverluste zu begründen war. Das großtechnische Ernteverfahren führte zu weiteren Kornverlusten, durch die Dreschhaspelbedingte Vibrationen im verrankten Erbsenbestand sowie unvermeidbaren Kornverlusten des Mähdreschers und schließlich zu einem Ertragsverlust von rund 40 dt/ha. Damit entstand ein Ernteverlust von rund 2000 kg Stärke/ha und rund 900 kg Rohprotein/ha. Dieses Ergebnis am LVG/LfULG Köllitsch bestätigt, dass eine frühzeitige Ernte bei Erbsen und Ackerbohnen im Hinblick auf den Gesamtertrag und zur Vermeidung von Korn- und damit Energie- und Proteinverlusten sinnvoll ist.

Zum Zeitpunkt der „Teigreife“ (50 % Korn-TM) wurde ebenfalls der maximale Nährstoffertrag der Ganz- und Teilpflanze bestätigt. Das Grüngut der Teilpflanzen hatte auf Grund niedriger Fasergehalte (- 70 g/kg TM) höhere Stärke- (+ 60 g/kg TM) und Rohproteingehalte (+ 30 g/kg TM). Bei der Ganzpflanzenernte kann mit einem Gesamtertrag von rund 115 dt TM/ha gerechnet werden mit schätzungsweise 60 dt Stärke/ha und rund 30 dt Rohprotein/ha. Im Vergleich hierzu sind bei der Ernte von Luzerne ähnliche Erträge (110 - 150 dt TM/ha) mit einem Rohproteinertrag von rund 25 dt RP/ha zu erreichen (LfL, 2016). MUSTAFA & SEGUIN (2003) gaben bei der Ganzpflanzenernte von Erbsen und Ackerbohnen zur Phase der „Kornentwicklung“ Erträge von rund 60 dt TM/ha (Erbsen) bis 80 dt TM/ha (Ackerbohnen) an. Diese Erträge sind auf Grund der noch fehlenden Kornmasse auf einem niedrigeren Niveau. Bei der Ernte der Ackerbohnen als Ganzpflanze betrug der Stärkeertrag, auf Grund deutlich geringerer Stärkegehalte (- 65 g/kg TM), nur die Hälfte im Vergleich zu den Erbsen. Ebenso lag der Rohproteinertrag der Ackerbohnerganzpflanzen mit rund 20 dt/ha deutlich unter dem der Erbsen, obwohl der RP-Gehalt der Ackerbohnen um 40 g/kg TM über den Erbsen lag. Begründen lässt sich dieser dennoch geringere Rohproteinertrag u. a. durch den höheren Rohfasergehalt der Ackerbohnen (10 g/kg TM). Damit ergab sich ein Ertrag an Rohfaser, Asche und Reststoffe von rund 60 dt/ha und damit um annähernd 40 dt/ha höher im Vergleich zu den Erbsen. Hier könnte der größere Stängel, sowie die höhere Anzahl der Hülsen verantwortlich für den hohen Anteil an Rohfaser und Reststoffen sein. Der Stärkegehalt der Ganzpflanzen der untersuchten Erbsen lag bereits ab der Phase der „Kornentwicklung“ bei rund 300 g/kg TM. Untersuchungen von MUSTAFA & SEGUIN (2003) gaben im Vergleich Stärkegehalte von lediglich 73 g/kg TM an, allerdings zu einer etwas früheren Phase der Kornreife („Beginn Kornentwicklung“; rund 15 % Korn-TM) an. Untersuchungen von TYROLOVA & VÝBORNA (2011) bestätigen diesen geringen Stärkegehalt bei frühzeitig geernteten Erbsen (50 % Erbsen entwickelt = Beginn Kornentwicklung), mit rund 70 g WLKH/kg TM wasserlöslichen Kohlenhydraten (WLKH), zu dem die Stärke analytisch miterfasst wird, an. Bei Untersuchungen von ALBERS & KAEMENA (2015) an Ackerbohnerganzpflanzen zu einer fortgeschrittenen Reifephase („Ende Grünreife“, 40 % TM) lag der Stärkegehalt bei annähernd 280 g/kg TM (220 g RP/kg TM). Der Rohproteingehalt von Erbsen und Ackerbohnen in dieser frühen Phase der Kornentwicklung wird mit rund 150 – 170 g/kg TM (MUSTAFA & SEGUIN, 2003; TYROLOVA & VÝBORNA, 2011) angegeben und ist mit den vorliegenden Ergebnissen über den gesamten Abreifezeitraum (rund 160 g/kg TM) vergleichbar.

Silierung

Durch vergleichbare Untersuchungen wurde bereits bestätigt, dass die Silierung großkörniger Leguminosen sowohl nach Ernte mit höherer Kornfeuchte (ca. 30 - 35 % Feuchte) als auch in der Voll- bzw. Totreife nach Rückbefeuchtung erfolgreich ist (GEFROM ET AL, 2012; GEFROM 2013; GEFROM ET AL, 2014, 2015; THAYSEN, 2009; ZEYNER ET AL, 2008). Die Ergebnisse der im Projekt durchgeführten Untersuchungen bestätigen diese Aussagen. Die Silierung von Erbsen und Ackerbohnen als Korn mit einer TM von rund 70 % ist ohne nennenswerte Silierverluste (TM-Verlust < 3 %) unter anaeroben Bedingungen im Labormaßstab als auch Großtechnisch möglich. Nährstoffveränderungen traten während der Silierung nicht auf. Die entstandenen pH-Werte lagen in einem Bereich von 4,3 – 4,8. Die Zugabe von Milchsäurebakterien begünstigte dabei die pH-Wertabsenkung. Die Bildung flüchtiger Fettsäuren (v.a. Milchsäure) lag mit rund 2 % d. TM auf einem niedrigen Niveau. Bereits leichte TM-Erhöhungen (von 70 % TM auf 75 % TM) führten hingegen kaum zu Veränderungen des pH-Wertes und zur Bildung von flüchtigen Fettsäuren. Der geringe Feuchtigkeitsgehalt (< 30 %) der Kornsilagen und die damit gegebene Osmolarität führte zu einer eingeschränkten Mikrobenaktivität und letztlich zu reduzierten Stoffwechselprodukten (wie z.B. Milchsäure) der Mikroben. Da Erbsen und Ackerbohnkörner eine vergleichsweise hohe Pufferkapazität (rund 40 g MS/kg TM) bei hohen Proteingehalten und geringem Zuckerangebot aufweisen, gelten diese als schwer silierbar. Dies wurde bereits durch Untersuchungen von GEFROM (2012) bestätigt. Damit ergab sich eine Z/PK-Quotient von 0,4 für Ackerbohnen und 1,2 für Erbsen. Ein Z/PK-Quotient von > 2 ermöglicht nach WEISSBACH ET AL. (1974) erst optimale Silierbedingungen, was wiederum die geringe Bildung der flüchtigen Fettsäuren sowie die verhaltene Aktivität der Milchsäurebakterien bestätigt. Die hergestellten Silagen zeigten unter aeroben Bedingungen in einem überwiegenden Maße für mind. 7 Tage und ohne Änderungen des pH-Wertes keine Nacherwärmung. Die Silierung rückbefeuchteter und teigreifer Körner mit 70 % TM ist im gleichen Maße möglich, allerdings provoziert die Rückbefeuchtung einen höheren Arbeitsaufwand und begünstigt bei großtechnischer Anwendung eine schnelle Erwärmung der angefeuchteten Körner. In den vorliegenden Untersuchungen wurde in Folge der Silierung die Proteinlöslichkeit reduziert. Eine klassische Proteolyse, mit der Bildung leichtlöslicher Proteine (v.a. NPN) blieb dabei aus. Entsprechende Literatur mit vergleichbaren Ergebnissen wurde national und international bisher nicht publiziert. Ein möglicher Grund für die Proteininstabilisierung während der Silierung könnte in der Bildung von Maillardprodukten begründet sein, die bei der großtechnischen Silierung mit 4 g/kg TM nachgewiesen wurden und zumindest eine gesteigerte ruminale Proteinbeständigkeit bestätigen.

Die Silierung von Erbsen und Ackerbohnen als Ganzpflanzen war in der Vergangenheit ebenso Gegenstand vieler Untersuchungen (ALBERS & KAEMENA, 2015; MUSTAFA & SEGUIN, 2003; TYROLOVÁ & VÝBORNÁ, 2011). Hierbei wurde allerdings der Fokus auf die Grobfuttermittellversorgung in den Rationen landwirtschaftlicher Nutztiere gelegt und ein früher Zeitpunkt der Ernte („Kornentwicklung/Grünreife“) fokussiert. Die Silierung von Körnerleguminosen als Ganzpflanze wird dabei oft mit einem Gemengepartner (Roggen, Triticale) verbunden. Im vorliegenden Projekt wurde auch bei der Silierung der Ganzpflanzen von Erbsen und Ackerbohnen ein maximaler Protein- und Stärkegehalt angestrebt, sodass zwischen Ganzpflanzen und Teilpflanzen (bei der nur die Pflanze kurz unterhalb der Fruchtanlagen beerntet wurde) unterschieden wurde. Die Teilpflanzen hatten auf Grund des geringeren Faseranteils höhere Stärke- und Proteingehalte im Vergleich zur Ganzpflanze. Die Silierung feuchter Ganz- und Teilpflanzen (bis 50 % TM) führte über die klassische Proteolyse während des Silierprozesses zu erhöhten Proteinlöslichkeiten. Die Pufferkapazität, als ein Maß der Siliereignung, war mit > 60 g MS/kg TM höher im Vergleich zu den Körnern. Im Vergleich zu den Untersuchungen von ALBERS & KAEMENA (2015) mit einer angegebenen Pufferkapazität für Ackerbohnen Ganzpflanzen zum Ende der Grünreife von lediglich 42 g MS/kg TM deutlich höher. Obwohl das Feuchtigkeitsangebot (bis zu 70 %) des Grüngutes deutlich höher im Vergleich zu den Körnern war, lagen

die pH-Werte selbst zur Grünreife (40 % TM) nur bei rund 4,6. Der Gehalt an flüchtigen Fettsäuren lag nur leicht über den Gehalten der Kornsilagen (z.B. 9 % d. TM MS). Die Zugabe von MSB begünstigte ebenfalls die Bildung dieser Fettsäuren. Dennoch scheint die „klassische“ Silierung (35 - 40 % TM) bei den Erbsen- und Ackerbohnengrünten dennoch eingeschränkt, was letztlich auf die hohe Pufferkapazität und ebenfalls auf die hohe Proteinbeständigkeit des Grüngutes (v.a. Ackerbohnen mit Proteinlöslichkeiten < 50 %) zurückzuführen ist. Untersuchungen von MUSTAFA & SEGUIN (2003) ergaben bei der Silierung von Erbsen- und Ackerbohnenanzpflanzungen in einer sehr frühen Reifephase („Beginn Kornentwicklung“) bereits nach 8 Tagen Silierdauer pH-Werte < 4,0 und Milchsäuregehalte von rund 50 g MS/kg TM. Die Autoren silierten diese nach einer kurzen Feldliegezeit (Anwelkphase) mit rund 30 % TM. TYROLOVÁ & VÝBORNÁ (2011) ernteten Erbsen ebenfalls in einer sehr frühen Phase „Beginn Kornbildung“ und silierten diese frisch (23 % TM) und angewelkt (35 % TM). Sowohl die Silierung von frischem als auch angewelktem Erbsengrün führte zu pH-Werten von rund 4,0 bei Milchsäuregehalten von 25 – 30 g/kg TM. In der vorliegenden Untersuchung wurden ebenfalls Silagen mit dieser TM siliert, allerdings mit deutlich geringeren Siliererfolg im Hinblick auf die Bildung flüchtiger Fettsäuren, was durch eine höhere Pufferkapazität des Grüngutes, hervorgerufen durch den steigenden Kornanteil, begründet werden könnte. Diesen Zusammenhang bestätigen die Untersuchungen von ALBERS & KAEMENA (2015) an Ackerbohnenanzpflanzensilagen zu einem späteren Reifestadium (40 % TM, „Ende Grünreife“). In Folge der Silierung kam es ebenfalls zu einer abgeschwächten pH-Wertsenkung (4,6) sowie einer deutlich geringeren Bildung von Milchsäure (4 % d. TM) im Vergleich zu den Untersuchungen von z.B. TYROLOVÁ & VÝBORNÁ (2011). Nährstoffveränderungen in Folge der Silierung wurde, neben der klassischen Proteolyse (Proteinlöslichkeit von 50 % auf 70 %) bei den Untersuchungen von MUSTAFA & SEGUIN (2003) ebenfalls nicht festgestellt. Die feuchten Erbsensilagen in der vorliegenden Untersuchung waren weniger Lagerstabil im Vergleich der Ackerbohnen silagen, was mit geringeren Zuckergehalten und höheren Gehalten flüchtiger Fettsäuren als Nährmedium von Gärtschädlingen zu begründen ist. Mit voranschreiten des Reifestadiums und damit verbunden höheren TM-Gehalten zur Silierung sinken die Gehalte an flüchtigen Fettsäuren bei steigenden pH-Werten und höherer aerober Stabilität.

Wärmebehandlung

Die Wärmebehandlung silierten Körnerleguminosen führte zu einer Steigerung der TM in einen unter aeroben Bedingungen lagerstabilen Bereich (> 86 % TM). Der Gehalt an Rohprotein und Stärke blieb über die thermische Behandlung unbeeinflusst. Lediglich bei den siliert + getoasteten Ackerbohnen wurde eine Reduzierung des Zuckergehaltes festgestellt. Weiterhin wurde die Proteinlöslichkeit, sowie die ruminale Proteinabbaubarkeit (zumindest in der großtechnischen Umsetzung) durch die Wärmebehandlung signifikant reduziert. Weiterführende Untersuchungen ergaben einen direkten Einfluss der Behandlungsintensität auf den Effekt der Proteinbeständigkeit. Weniger zu behandelndes Material pro Zeiteinheit (500 g FM vs. 1000 g FM), steigende Temperaturen (100 °C vs. 200 °C) sowie die Vorkonditionierung (siliert + getoastet vs. nativ getoastet) begünstigen den Toasterfolg und führen zu einer signifikanten Erhöhung der ruminale Proteinlöslichkeit. Die Stärkequalität wird dabei nicht beeinflusst. Die Effektivität der Wärmebehandlung wird durch die Temperatur, den Feuchtigkeitsgehalt, die Behandlungsdauer sowie durch mechanische Scherkräfte (PRESTLØKKEN, 1999) und Umgebungsdrücke (VAN DER POEL, 1990) beeinflusst. Scherkräfte, und Umgebungsdrücke provoziert v.a. durch Förderschnecken und Auslassdüsen mit Matrizen z.B. beim Extrudieren wurden in der vorliegenden Untersuchung nicht angewendet. Daher entstanden keine Veränderungen der Stärkemorphologie (siehe Ergebnisse des Projektpartners MLU), was die unveränderte Stärkeverdaulichkeit in den vorliegenden Untersuchungen begründet. Einen Einfluss auf die Stärkequalität wurde durch das Silieren und Toasten nicht erreicht. Die Stärkequalität und Verdau-

lichkeit wird durch Scherkräfte und Reibung, die eine Oberflächenruptur der Stärkegranula hervorrufen, begünstigt. Durch das Extrudieren beispielsweise, kommt es zu einer Verformung und Verschmelzung der Stärkegranula. Dieser Prozess wird als Gelatinisierung beschrieben (BOCHNIA, 2013; LUND & LORENZ, 1984; MASOERO ET AL., 2005) und bewirkt eine Begünstigung des ruminalen Stärkeabbaus. Da in der vorliegenden Untersuchung derartigen physikalischen Kräfte beim Silieren und Toasten nicht auftraten, fand auch keine Gelatinisierung der Stärke und damit keine Veränderung der Stärkeabbaubarkeit statt. Im Hinblick auf die Monogasterernährung (Jungtiere, Kalb) ist allerdings eine hohe Stärkeverfügbarkeit anzustreben, die aber durch das untersuchte Verfahren der kombinierten Behandlung nicht möglich wurde. Im Hinblick auf die Wiederkäuerernährung ist hingegen eine ruminale Beständigkeit der Stärke gewünscht, die zumindest durch das Verfahren nicht verschlechtert wurde.

Auch der Gehalt an essentiellen Aminosäuren, einschließlich Lysin, kann sich in Folge einer Strukturveränderung mit erhöhter Zugänglichkeit und Freisetzung von Aminosäuren während der Wärmebehandlung erhöhen (MA et al., 2017). Dieser Zusammenhang wurde in den vorliegenden Untersuchungen nicht bestätigt. Hier führte die Bildung von Maillardprodukten zu einer Bindung von v.a. Lysin und letztlich zu einer reduzierten Verfügbarkeit. MA ET AL. (2017) machen v.a. die Strukturveränderungen während der Wärmebehandlung als begünstigten Faktor zur besseren Aminosäurefreisetzung, was in der vorliegenden Untersuchung nicht stattfand und so der Verlust der analysierten Aminosäuren ggf. noch größer ausfiel. Überhitzungen während des Wärmeprozesses können v.a. bei der Aminosäure Lysin zu Schädigungen führen (BELLOF & WEINDL, 2016; MA ET AL., 2017). Bereits die Silierung der Körnerleguminosen führte zur Bildung von Maillardprodukten (rund 4 g/kg TM), was auf Erwärmungsprozesse während des Silierverlauf zurückzuführen scheint, da diese bereits bei verhältnismäßig niedrigen Temperaturen ($\sim 50^\circ\text{C}$, RAMÍRES-JIMÉNEZ et al., 2001) und vorherrschende Feuchtigkeit ($< 70\%$ TM; GONZÁLEZ-VEGA et al., 2011) sowie bei pH-Werten zwischen 4 und 7 (RAMÍRES-JIMÉNEZ et al., 2001) wie z.B. beim Silieren gefördert werden. Die Wärmebehandlung führte zu einem Anstieg der Maillardprodukte auf Grund der Temperatureinwirkungen sowie dem entstehenden Wasserdampf (RICHTER & SCHÜLER, 1959). Das Amadoriprodukt Fruktoselysin wurde bereits bei niedrigen Behandlungsintensitäten in zehnfacher Menge im Vergleich zum Maillardprodukt Pyrralin gebildet und hatte damit die größte Bedeutung unter den analysierten Maillardprodukten im Hinblick auf die Reduzierung der Aminosäure Lysin. Ebenso lassen sich die reduzierten Zuckergehalte der untersuchten Laborsilagen siliert + getoasteter Erbsen und Ackerbohnen darauf zurückführen und in diesen Untersuchungen ebenfalls die Bildung von Maillardprodukten vermuten. Mit steigender Temperatur ging der messbare Gehalt an Fruktoselysin zwar zurück, allerdings reduzierte sich weiterhin der Lysingehalt. Damit lässt sich vermuten, dass Fruktoselysin mit steigenden Temperaturen zwar gebildet wird aber dennoch eine Hitzelabilität aufweist die zu einem Zerfall führt und damit nicht mehr messbar scheint. Die Schädigung bzw. Bindung der Aminosäure dennoch stattfindet. Entsprechende Literatur liegt aus aktueller Sicht nicht vor. Maillardprodukte sind enzymatisch nicht abbaubar, sodass sich die Verfügbarkeit von Proteinen, Aminosäuren und Kohlenhydraten reduziert (BOROOJENI et al., 2016). Auch der Anteil der unlöslichen Proteinfraktion C, stieg v.a. bei der großtechnischen Umsetzung ab 100°C Korntemperatur signifikant an. Die steigenden Anteile der Maillardprodukte sowie der schwer bis unlöslichen Proteinfractionen (B3 und C) bei steigender Behandlungsintensität führen zur gewünschten Reduzierung ruminalen RP-Abbaubarkeit auf bis zu 40 % (native Erbsen: 60 %). Lupinen haben im Vergleich dazu nach Angaben von PRIEPKE & SANFTLEBEN (2018) eine Proteinverdaulichkeit von 91 %. Die Proteinverdaulichkeit für RES wird mit 92 % angegeben (DAKOWSKI et al., 1996). Bei einer Überhitzung steigt das Risiko der Proteinschädigung. Dabei kommt es bereits ab $100 - 150^\circ\text{C}$ zu einem Lysin- und Serinverlust mit anschließender Peptidisierung ($150 - 200^\circ\text{C}$) und letztlich zu einer Pyrolyse (Spaltung) aller Aminosäurereste ab 200°C (Yu et al., 2002). In Anbetracht aller Ergebnisse (Proteinqualität und -abbaubarkeit, Maillardprodukte, Antinutritive Substanzen) muss bei der Wärmebehandlung von Erbsen und

Ackerbohnen als Korn sowie als Ganzpflanze eine Korntemperatur von mindestens 70 °C angestrebt werden. Korntemperaturen ≥ 100 °C führen zur Proteinschädigung (Maillardprodukte, Rückgang Lysingehalt). Optimale Proteinqualitäten bei noch moderraten Gehalten an Maillardprodukten wird bei rund 85 °C erreicht.

Fütterungserfolg

Der Futterwert der siliert + getoasteten Erbsen wurde durch die kombinierte Behandlung und in Folge sinkender Proteinlöslichkeiten und damit verbunden gesteigener ruminalen Proteinbeständigkeit deutlich erhöht. Damit war die siliert + getoastete Erbse konkurrenzfähig zu importierten Proteinquellen und konnte mit RES in den Rationen nährstoffadäquat ausgetauscht werden, ohne dabei Verluste an Milchleistung und Milchinhaltstoffen zu provozieren. Für die Fütterung thermisch aufbereiteter Erbsen- oder Ackerbohnen Ganzpflanzensilagen sind aktuell keine vergleichbaren Fütterungsstudien aufgeführt. Die Landwirtschaftskammer Niedersachsen (ALBERS, 2016) untersuchte den Fütterungseinsatz von silierten Ackerbohnen Ganzpflanzensilagen. Die Untersuchungen ergaben eine Abnahme des Rohproteingehaltes (220 g/kg TM vs. 190 g/kg TM) mit zunehmender Abreife (35 % TM vs. 50 % TM) mit einem Gehalt an nRP von rund 140 g/kg TM und verweist darauf Ackerbohnen Ganzpflanzensilage als kostengünstige Alternative zu Luzerneheu nutzen zu können. Die silierten Erbsen in der vorliegenden Untersuchung hatten mit rund 130 g nRP/kg TM einen vergleichbaren Gehalt.

6. Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse

Ziel der Projektbearbeitung waren umfangreiche Silier- und Trocknungsversuche von Erbsen bzw. Ackerbohnen als Ganz- und Teilpflanze („Schröpschnitt“) zu verschiedenen Reifestadien des Korns. Die Untersuchungen wurden sowohl im Labormaßstab sowie parallel zum Zeitpunkt des mittleren Reifestadiums großtechnisch als Grüngutttrocknung bzw. Silierung der Teil- oder Ganzpflanze umgesetzt. Die Ergebnisse waren im Sinne der Arbeitshypothesen zielführend und erbrachten einen wesentlichen Erkenntniszuwachs.

Im SilaToast-Projekt konnten mindestens 12 Nutzungsmöglichkeiten für Erbsen und Ackerbohnen formuliert und untersucht werden:

Korn, Ganzpflanze, Teilpflanze:

- nativ, unbehandelt (Kornentwicklung, Grünreife, Teigreife, Trockenreife)
- siliert, mit und ohne biologischem Siliermittel (Grünreife, Teigreife, Trockenreife)
- siliert + getoastet/getrocknet
- getoastet/getrocknet

Die Ergebnisse führten zu unterschiedlichen Effekten auf den gewünschten Fütterungserfolg. Die Silierung feuchter und damit nicht lagerstabiler Körnerleguminosen ermöglicht eine verlustarme (Nährstoffe) und kostengünstige Konservierungsmethode mit Effekten auf die Proteinqualität. Während bei der Silierung der Körner die Proteinbeständigkeit gesteigert werden kann, führte die Silierung der Ganz- und Teilpflanzen in Folge proteolytischer Prozesse zu einer Reduzierung der ruminalen Proteinbeständigkeit. Dieser Effekt kann durch Trockensilierung, d.h. bei Siliergütern über 50 % TM deutlich verringert werden. Die Wärmebehandlung führte stets zu einer Proteinstabilisierung, wobei hier zwischen der Behandlung silierten Körner und silierten Ganz- und Teilpflanzen unterschieden werden muss. Die anschließende thermische

Aufbereitung siliierter Körner ergab eine Erhöhung der ruminalen Proteinbeständigkeit in Abhängigkeit der Behandlungsintensität. Ohne eine vorherige Silierung blieb ein Effekt der Wärmebehandlung aus. Die kombinierte Behandlung frühzeitig geernteter Erbsen und Ackerbohnen als Korn ist im Hinblick auf die regionale Bereitstellung von Proteinquellen, sinnvoll und zu empfehlen. Eine Rückbefeuchtung trockenreifer und damit lagerstabiler Körner ist dabei aus wirtschaftlicher und arbeitstechnischer Sicht nicht sinnvoll.

Bei der Ernte der Ganzpflanze liegen die Vorteile in der witterungsunabhängigen Ernte und dem breiten Erntefenster (bis zu 4 Wochen). Die Silierung führt bei feuchtem Grüngut (< 50 %) zu einem annähernd klassischen Siliererfolg, vergleichbar mit Grassilage. Eine anschließende Wärmebehandlung ist auf Grund der vorherigen silierbedingten Proteolyse und den geringen Effekten auf die ruminale Proteinbeständigkeit und entsprechenden Kosten nicht zu empfehlen. Allerdings bringt die Trocknung des unbehandelten Grüngutes, ähnlich wie Luzernetrockengrün, eine hohe Proteinbeständigkeit mit sich. Entscheidend für eine erfolgreiche Proteinbeständigkeit stellt die Behandlungsintensität dar. Hier sollte möglichst eine Produkttemperatur von 85 °C (Behandlungstemperaturen > 180 °C) nicht überschritten werden, da Maillardprodukte und steigende Anteile unlöslicher Proteinfractionen eine Proteinschädigung (u.a. Lysin) mit gesteigerten Anteilen unlöslicher Proteine provozieren. Die landwirtschaftliche Praxis kann anhand der gewonnenen Erkenntnisse Erbsen und Ackerbohnen bereits zur Phase der Teigreife (50 % TM) bei höchsten Erträgen und maximalen Nährstoffeinlagerung als Korn, Ganzpflanze oder Teilpflanze ernten und erfolgreich silieren. Sind dann noch je nach Fütterungsstrategie im Besonderen der Wiederkäuerfütterung verbesserte Proteinbeständigkeiten erwünscht, sollten silierte Körner und das unbehandelte Grüngut (Ganzpflanze, Teilpflanze) thermisch aufbereitet werden. Damit wurden mind. 12 Verfahren zur Nutzung einheimischer Körnerleguminosen erarbeitet und ein Beitrag zur regionalen Verfügbarkeit einheimischer Proteinquellen vorgestellt.

7. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen

Zu Beginn des SilaToast-Projektes bestand das Ziel darin den Futterwert von Erbsen und Ackerbohnen durch die Silierung der frühzeitig geernteten Körner (< 70 % TM) und der anschließenden Wärmebehandlung zu steigern und letztlich an Hand der Fütterungstauglichkeit an hochleistenden Milchrindern zu überprüfen. Die kombinierte Behandlung sollte eine Erhöhung der ruminalen Protein- und Stärkequalität sowie eine Reduzierung an antinutritiven Inhaltsstoffen erreichen. Dieses Ziel wurde erfolgreich in drei Arbeitspaketen (A, Modellversuche; C, Praxissilierungsversuche; D, Fütterungsstudien) von 2016 bis 2018 untersucht. Im Labormaßstab (Arbeitspaket A) konnten alle geplanten Untersuchungen durchgeführt werden. Die Erhöhung des Futterwertes (v.a. ruminale Proteinbeständigkeit) konnte durch die kombinierte Behandlung (silieren + toastein) bestätigt werden. Allerdings traten bei der großtechnischen Umsetzung unerwartete Probleme (enges Erntezeitfenster, Witterung, Erntetechnik, Zerkleinerungstechnik) im Ernteablauf auf.

- Zum gewünschten Kornreifestadium (Ende Teigreife, 70 % TM) waren die Restpflanzen der Erbsen und v.a. Ackerbohnen teilweise noch grün und witterungsbedingte Faktoren (v.a. Niederschlag) führten zu einer Befeuchtung der Restpflanze zum Erntetermin wodurch technische Probleme beim Drusch (Verstopfung des Einzuges und der Dreschtrammel, Lager v.a. bei Erbsen) provoziert wurden.
- Für die gewünschte Kornreife ergab sich ein stark witterungsabhängiges Erntezeitfenster von lediglich 2 Tagen.
- Bei der technischen Zerkleinerung der feuchten Körner kam es v.a. bei Erbsen, wahrscheinlich auf Grund des hohen Stärkeanteils, zu Verschmierungen und Ablagerungen

der Erbsen auf den gegenläufigen Quetschwalzen. Damit war die Funktionstüchtigkeit der Walzen nicht mehr gegeben und eine aufwendige Reinigung der Walzen provozierte einen Zeitverzug im Produktionsablauf von 1 - 2 h.

- Weiterhin führten Schadnager und Vögel teilweise zu einer Beschädigung der Silierfolie, was eine wöchentliche Kontrolle des Körnerschlauches oder entsprechende Schutzmaßnahmen (Netze) um den Siliererfolg nicht zu gefährden erfordert.

Die Arbeitsgruppe sah aus dieser Problemsicht heraus Änderungsoptionen für die Weiterführung des Projektes. Diese wurden am 26.02.2018 umfangreich in der Projektgruppe (Herr Schug, Prof. Zeyner, Prof. Steinhöfel, Herr Kuhnitzsch, Dr. Martens, Dr. Bachmann, Herr Püschel, Frau Herbst) thematisiert und abgestimmt. Auf Grund der genannten Problemsicht wurde die Aufgabenstellung um die Ernte, Silierung und thermischer Aufbereitung (Heißlufttrocknen im Trockenwerk aufgrund der größeren Erntevolumina als Vorzugsvariante) von Erbsen-/Ackerbohnen-Ganzpflanzen (ggf. im Schröpfschnitt) mittels Feldhäcksler erweitert. Damit versprach sich die Arbeitsgruppe neben der deutlichen Verbesserung der Erntemöglichkeit bei Feuchten > 30 % und zeitgleicher Quetschung der Körner eine Verringerung der Ernteverluste und eine Erweiterung des Erntezeitfensters. Im Rahmen der Umsetzung des modifizierten Arbeitsplanes (siehe Zwischenbericht zum Projekt vom 23.03.2018) wurden am LVG Köllitsch Vorversuche zur Silierung und thermischen Aufbereitung von Erbsen und Ackerbohnen durchgeführt und am 22.10.2018 eine Mittelaufstockung, sowie eine dreimonatige Projektverlängerung bei der BLE beantragt. Die finanziellen Mittel für die geplanten Untersuchungen wurden dabei vollständig abgerufen. Die am 25.01.2019 beantragte Mittelaufstockung und Projektverlängerung bis zum 31.12.2020 wurde am 11.02.2019 genehmigt. Die vorgestellten Ergebnisse der durchgeführten modellhaften Silier- und Toastversuche, sowie die großtechnische Umsetzung ausgewählter Varianten waren im Sinne der Arbeitshypothesen zielführend und erbrachten einen nennenswerten Erkenntniszuwachs.

Das Konsortium hat sich regelmäßig und intensiv über den Sachstand der einzelnen Arbeitsgruppen ausgetauscht und die weiteren Schritte und notwendigen Verknüpfungen beraten. Aufgrund der zum Teil extremen Witterungsverhältnisse am Standort Köllitsch im Vegetationsjahr 2019, wurden alle Projektbeteiligten sowie den Projektträger außerplanmäßig vom Sachstand am 06.09.2019 und 18.11.2019 informiert. Die geplante großtechnische Trocknung des Grüngutes von Erbse und Ackerbohne konnte aufgrund folgender Gegebenheiten nicht realisiert werden:

- Der extrem hohe Unkrautbesatz (60 - 80 %) durch Trockenheit, der Verzicht auf Pflanzenschutzmaßnahmen (Einhaltung der „Greening“-Auflagen) und schlechte Qualität des Saatgutes (Z-Saatgut, Engpässe am Markt).
- Das Häckseln beider Leguminosen musste zeitgleich erfolgen und eine terminliche Einordnung und hohe Zusatzforderungen der Trocknung im Trockenwerk waren am Tag der Ernte nicht möglich.
- Der Folienschlauch zeigte ca. 4 Wochen nach Silierung Risse. Somit musste das Siliergut neu aufgenommen und umsiliert werden.

Alle geplanten Laboruntersuchungen für 2019 und Anfang 2020 wurden dennoch sach- und fristgerecht erfüllt. Die geplanten großtechnischen Untersuchungen (Ernte, Silierung, Fütterung) wurde nicht durchgeführt, sodass die finanziellen Mittel für diese Untersuchungen nicht vollständig abgerufen wurden. Der Übertrag dieser nichtbeantragten Mittel in 2019 nach 2020 (Schreiben vom 16.10.2019, Frau Mirsch an Herrn Schug) wurde am 14.11.2019 von der BLE, vertreten durch Herrn Schug, abgelehnt und eine Mittelabstockung in Höhe

von 15.404,90 € angezeigt. Auf Grund dieser unvorhersehbaren Probleme fand ein Treffen aller Projektbeteiligten, sowie der BLE, vertreten durch Herrn Schug, an der MLU in Halle am 20.01.2020 statt. Unter Berücksichtigung der bisherigen Ergebnisse und der aufgetretenen Probleme im Projekt, einigte sich die Arbeitsgruppe auf eine geänderte Schwerpunktsetzung und Ablaufplanung in 2020 / 2021. Der Projektträger bat um die Erstellung eines modifizierten Arbeitsplanes der am 25.02.2020 Herrn Schug mitgeteilt wurde. Trotz der erfolgsversprechenden Ergebnisse des Trockengrüns aus Erbse und Ackerbohne, bleibt die großtechnische Umsetzung durch trockenwerksseitige Erschwernisse (Logistik, Kosten) risikobehaftet. Schwerpunkt der weiterführenden Labor- und Praxisversuche für 2020 wurde aus diesem Grund, neben den vertiefenden Untersuchungen des Einflusses der technischen Trocknung von Teil-Ganzpflanzen, die Herstellung von Trockensilagen in Ballen fokussiert. Durch die Trockensilierung von Grüngut > 50 % TM erhoffte sich die Arbeitsgruppe eine minimierte Proteolyse und damit eine konservierende Lagerung ohne nennenswerte Reduzierung der Proteinqualität. Auf Grund der notwendigen Silierdauer von 90 Tagen konnte die geplante Fütterungsstudie (Trockensilage Erbse/Ackerbohne) erst im Oktober 2020 begonnen werden und somit erst Ende Dezember 2020 abgeschlossen werden. Damit verlagert sich die Analyse der gesammelten Proben nach 2021. Um eine umfassende Auswertung war eine kostengebundene Projektverlängerung bis 31.03.2021 notwendig und wurde bereits im außerplanmäßigen Sachstandsbericht (25.02.2020, ergänzend Zwischenbericht vom 26.03.2020), mit der Bitte um Prüfung, angezeigt und letztlich am 22.04.2020 durch die BLE mit einer Mittelaufstockung von 15.100 € genehmigt. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Silierung trockneren Grüngutes die proteolytischen Prozesse während der Silierung reduziert und eine, zumindest im Labormaßstab getestete, anschließende Wärmebehandlung die Proteinbeständigkeit erhöht. Die Fütterung in Ballen silierter Erbsen (>50 % TM) im Austausch zu Grassilage war dabei ohne Nachteile in der Milchleistung und –inhaltsstoffen hochleistender Milchrinder. Die Herstellungskosten der Ballenwicklung war mit rund 23 € sehr kostenintensiv und ist daher nur für Kleinbetriebe mit geringem Verbrauch und damit geringem Vorschub bei der Fütterung sinnvoll. Für größere Betriebe sollte die Silierung der Körnerleguminosen in Folienschläuchen priorisiert werden.

Im Rahmen des SilaToast-Projektes wurden Bundesmittel von insgesamt

494.333,58 €

zur Verfügung gestellt und vollständig abgerufen. Ein zahlenmäßiger Zwischennachweis wird bis zum 30.04.2021 der BLE eingereicht.

8. Zusammenfassung

Das SilaToast-Projekt hatte das Ziel, die Attraktivität von Erbsen und Ackerbohnen sowohl als Korn als auch als Ganzpflanze in der Fütterung landwirtschaftlicher Nutztiere zu erhöhen. Im Hinblick auf die Tierfütterung sollte die ruminale Protein- und Stärkebeständigkeit (Wiederkäuer) erhöht und verdaulichkeitshemmende, antinutritive Substanzen (Monogastrier) in den Körnerleguminosen minimiert werden. Dabei wurde der Erntezeitpunkt so weit wie möglich vorgezogen (Minimierung der Kornverluste und des Befalls mit Insekten und Phytopathogenen, frühe Feldberäumung), das Korn zerkleinert (quetschen, häckseln) und konserviert (silieren). Anschließend wurde die Silage wärmebehandelt, um die Proteinlöslichkeit zu verringern und die Stärkebeständigkeit zu steigern. Dabei wurde ermittelt bei welcher Intensität der thermischen Behandlung nennenswerte Schädigungen wertbestimmender Nährstoffe eintreten. Die Silierung von Erbsen und Ackerbohnen als Korn, Ganz- bzw. Teilpflanze ist bei Reifestadien

von 30 % bis 70 % TM ohne nennenswerte Silier- und Nährstoffverluste möglich. Die Zugabe von Milchsäurebakterien brachte keinen Zugewinn des Silierfortschritts, sodass bei TM-Gehalten > 40 % auf MSB-Zugaben vor der Silierung verzichtet werden kann. MSB behandelte Silagen haben sogar eine geringere aerobe Stabilität und eine erhöhte Gefahr der Hefenbildung. Ebenso sind Erbsenganzpflanzensilagen mit 30 % TM maximal 2 Tage stabil. Ackerbohnganzpflanzensilagen und Kornsilagen mit 70 % TM sind hingegen mindestens 7 Tage aerob stabil. Die Bildung von flüchtigen Fettsäuren (v.a. Milchsäure) blieb mit maximal 9 g MS/kg TM moderat. Fehlgärungen und auffällig starke Proteolysen waren anhand der max. 8 % NH₃-Bildung nicht erkennbar. Die Silierung und thermische Behandlung (einzeln/kombiniert) hatte keinen Einfluss auf den Protein- und Stärkegehalt. Bei der Silierung der feuchteren Ganzpflanzen wurde durch Proteolyse der Anteil der leicht löslichen Proteinfraction A (NPN-Verbindungen), und damit die Proteinlöslichkeit erhöht. Mit zunehmenden TM-Gehalt konnte diesem Prozess entgegengewirkt werden (Trockensilierung). Bei der Silierung der Körner (70 % TM) wurde sogar eine Protein stabilisierung erreicht.

Die thermische Behandlung der Silagen oder des Grüngutes erhöht erwartungsgemäß die ruminale Proteinbeständigkeit. Die Behandlungsintensität (Temperatur, Dauer und Menge) bestimmt dann maßgeblich den Effekt (Unter- bzw. Überkosten) auf die ruminale Proteinbeständigkeit. Die untersuchten Ackerbohnen hatten, vermutlich durch enthaltene antinutritive Inhaltsstoffe (Tannine, Vicin, Convicin), bereits im Grüngut eine relativ hohe ruminale Proteinbeständigkeit, die durch thermische Einflüsse gesteigert werden konnte. Die thermische Aufbereitung von Ackerbohnen Grüngut aus Ganzpflanzen scheint im Hinblick auf die Proteinausbeute auf der Ackerfläche (pro ha), sowie dem Gehalt an beständigem Protein im Vergleich zum Korn die erfolgversprechendste Variante zu sein. Allerdings ist die großtechnische Herstellung des Trockengrüns durch dezentral liegende Trockenwerke, sowie damit verbunden lange Transportwege und hohe Trocknungskosten oft ökonomisch nicht vertretbar. Ob zukünftig die Trocknung von Grüngut mit hofeigenen Trocknungsanlagen und der Nutzung von Biogasabwärme, Solarthermie oder ähnlichem die klassische Silierung mit Verlusten an Protein ersetzt, wäre zwar wünschenswert, aber aktuell sind technologisch und ökonomisch vertretbare Anlagen für große Erntemengen und entsprechender Durchsatzleistung noch nicht praktikabel. Die Silierung bleibt damit aktuell das kostengünstigste Lagerungsverfahren, welches hofnah angewandt werden kann. Allerdings muss hier mit proteolytisch stattfindenden Prozessen, zumindest bei TM-Gehalten des Siliergutes < 40 %, gerechnet werden. Um dennoch ein moderat hochwertiges und v.a. pansenbeständiges Eiweißfuttermittel aus GP oder TP von z.B. Erbsen aber v.a. von Ackerbohnen zu erhalten müssen diese proteolytischen Prozesse reduziert werden, die durch die Erhöhung der TM des Grüngutes vor der Silierung („Trockensilierung“) möglich ist.

Die kombinierte Behandlung aus Silierung und thermischer Aufbereitung frühzeitig geernteter Körnerleguminosen kann einen Beitrag zur Erhöhung der regionalen Verfügbarkeit von Futterprotein in den Rationen hochleistender Milchrinder leisten und die Attraktivität von Erbsen und Ackerbohnen steigern. Durch Ganzpflanzennutzung können die Korn- und damit Protein- und Energieverluste bei der Ernte weiter reduziert und gleichzeitig ein verlässliches Grobfuttermittel als Ergänzung bei Futterknappheit bereitgestellt werden. Zur Stabilisierung des Reineiweißes muss hier der TM-Gehalt zur Silierung über 60 % betragen, um die Proteolyse durch pflanzeigene Enzyme zu minimieren. Eine anschließende thermische Behandlung sowohl silierter Körner als auch trockensilierter Ganzpflanzen reduziert die Proteinlöslichkeit deutlich. Diese Prozesse werden jedoch durch zunehmende Maillardreaktionen begleitet, sodass eine anzustrebende Korntemperatur von 85 °C empfohlen werden kann.

9. Literaturverzeichnis

- Albers, D. & Kaemena, F. (2015): Ackerbohnganzpflanzensilage. Erste Ergebnisse zur Siliereignung und zum Futterwert. LWK-Niedersachsen
- Arija A.C., Ravindran V., Lentle R.G., Thomas D.G. (2008): Influence of feed particle size on the performance, energy utilization, digestive tract development and digesta parameters of broiler starters fed wheat- and corn-based diets. *Poultry Sci.* 87, 2320-2328.
- Bellof, G. & Weindl, P. (2016): Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes regionaler Eiweißfuttermittel als Ersatz für importiertes Sojaextraktionsschrot. Themen zur Tierernährung. Fachtag 2015/2016. Deutsche Vilomix Tierernährung GmbH.
- Bochnia M., Walther S., Schenkel H., Romanowski K., Zeyner A. (2015a): Comparison of scanning microscopic examination of oats, barley and maize grains with the analyzed degree of starch breakdown and glycaemic responses in horses. *Int. J. Sci. Res. Sci. Technol.* 1(2), 81-84.
- Bochnia M., Walther S., Schenkel H., Romanowski K., Zeyner A. (2015b): Scanning electron microscopic examination of different varieties of oat grains in comparison with the analyzed degree of starch breakdown and glycaemic responses in horses. *Int. J. Sci. Res. Sci. Technol.* 1(2), 110-113.
- Bochnia, M. (2013): Sieht man es der Stärke an wie sie wirkt? Ein Blick durchs Elektronenmikroskop (2013). Pferdeworkshop Burg Warberg. 28.09.2013. Warberg. p.1
- Borojeni, F. G., Svihus, B., von Reichenbach, H. G., & Zentek, J. (2016): The effects of hydrothermal processing on feed hygiene, nutrient availability, intestinal microbiota and morphology in poultry—A review. *Animal feed science and technology.* 220: 187-215.
- Bussemas R., Früh B., Kempkens K., Löser R., Patzelt S., Schubbert A., Simantke Ch., Stalljohann G., Weißmann F., Werner C. (2011): Entwicklung, Erprobung, Umsetzung und Evaluation von Strategien in den Bereichen Tiergesundheit, Haltung, Fütterung, Management in der ökologischen Ferkelerzeugung. Abschlussbericht zum interdisziplinären Projekt, Projektskizze 06OE266, Teilprojekte 07OE023 bis 07OE029, Köln-Auweiler, BÖLN-Bericht-ID 19172.
- Dakowski, P., Weisbjerg, M. R., & Hvelplund, T. (1996): The effect of temperature during processing of rape seed meal on amino acid degradation in the rumen and digestion in the intestine. *Animal Feed Science and Technology.* 58(3-4): 213-226.
- DLG-Futterwerttabelle (1997): Wiederkäuer. 7. Auflage. DLG-Verlag. Frankfurt.
- Freitag, M. (2006): Einsatz von heimischen Körnerleguminosen mit erhöhtem UDP Gehalt. 13. Seminar der Deutsch-Niederländischen Arbeitsgruppe für Rinderhaltung und der Stiftung für Ernährungswissenschaften Göttingen. Braunschweig. S. 57-75.
- Frikha M., Valencia D.G., de Coca-Sinova A., Lázaro R., Mateos G.G. (2013): Ileal digestibility of amino acids of unheated and autoclaved pea protein concentrate in broilers. *Poultry Sci.* 92, 1848-1857.
- Gefrom A. (2013): Die Silierung von Körnern der großsamigen Leguminosen als Methode der Konservierung und der Verbesserung ihres ernährungsphysiologischen Wertes für Monogastrier. Universität Rostock: Dissertation.

Gefrom A., Balko C., Zeyner A. (2014): Silierung von feuchtem Körnerschrot von Ackerbohnen, Futtererbsen und Lupinen als Verfahren der Konservierung und zur Reduzierung antinutritiver Inhaltsstoffe. Proteinmarkt.de

Gefrom A., Ott E.M., Hoedtke S., Zeyner A. (2012): Effect of ensiling moist field bean (*Vicia faba*), pea (*Pisum sativum*) and lupine (*Lupinus spp.*) grains on the content of alkaloids, oligosaccharides and tannins. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 97, 1152-1160.

Gefrom A., Ott E.M., Hoedtke S., Zeyner A. (2013): Silierung rückbefeuchteter Leguminosenkörner und der Einfluss der Silierung auf den Gehalt an Alkaloiden, Oligosacchariden, Phytat-Phosphor und Tanninen. *Züchtungskunde* 85(2), 154-168.

González-Vega J. C., Kim B. G., Htoo J. K., Lemme A., Stein H. H. (2011): Amino acid digestibility in heated soybean meal fed to growing pigs. *Journal of Animal Science* 89 (11). 3617-3625.

Hackl W., Pieper B., Pieper R., Korn U., Zeyner A. (2010): Effects of ensiling cereal grains (barley, wheat, triticale and rye) on total and praecaecal digestibility of proximate nutrients and amino acids in pigs. *J. Animal Physiol. Anim. Nutr.* 94, 729-735.

Karalus, W. (2018): Sortenempfehlung 2019, Körnerfuttererbsen – Ackerbohnen. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.

LfL, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2016): Luzerne, Anbau – Konservierung – Verfütterung. LfL-Information

Lund, D. & Lorenz, K. J. (1984): Influence of time, temperature, moisture, ingredients, and processing conditions on starch gelatinization. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 20(4): 249-273.

Ma, Z., Boye, J. I. & Hu, X. (2017b): In vitro digestibility, protein composition and techno-functional properties of Saskatchewan grown yellow field peas (*Pisum sativum* L.) as affected by processing. *Food research international*. 92: 64-78.

Masoero, F., Pulimeno, A. M. & Rossi, F. (2005): Effect of extrusion, expansion and toasting on the nutritional value of peas, faba beans and lupins. *Italian Journal of Animal Science*. 4(2): 177-189.

Mustafa, F. & Seguin, P. (2003): Characteristics and in situ degradability of whole crop faba bean, pea, and soybean silages. *Can. J. Anim. Sci.* 793 - 799

Pieper R., Hackl W., Korn U., Zeyner A., Souffrant W.B., Pieper B. (2011): Effect of ensiling triticale, barley and wheat grains at different moisture content and addition of *Lactobacillus plantarum* (DSMZ 8866 and 8862) on fermentation characteristics and nutrient digestibility in pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 164 (1-2), 96-105.

Prestløkken, E. (1999): Ruminale Degradierbarkeit und intestinale Digestibilität von Protein und Aminosäuren in Gerste und Hafer, die mit verschiedenen Intensitäten expandiert wurden. *Animal feed science and technology*. 82(3-4): 157-175.

Priepke, A. & Sanftleben, P. (2018): Bestimmung der Nährstoffverdaulichkeit und des energetischen Futterwertes für Wiederkäuer von diversen Futtermitteln im Hammeltest. Abschlussbericht 2018. Forschungsnummer 2/67.

Ramírez-Jiménez, A., García-Villanova B. & Guerra-Hernández, E. (2001): Effect of toasting time on the browning of sliced bread. *J. Sci. Food Agric.* 81: 513-518.

Richter, K. & Schüler, L. (1959): Die Wirkung von Dampferhitzen (Toasten) auf die biologische Eiweißwertigkeit von Sojaschrot. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 14: 1-5.

Stalljohann G., Patzelt S. (2011): Erprobung/Untersuchung von Fütterungsstrategien bei Sauen und Ferkeln mit Inulineinsatz, sowie getoasteten bzw. extrudierten Ackerbohnen in der Ferkelaufzucht. Abschlussbericht zum Teilprojekt BLE-07OE024, Münster und Bad Sassendorf, BÖLN-Bericht-ID 18832.

Thaysen J. (2009): Erprobung des Verfahrens der Feuchtkörnerleguminosensilierung (Erbsen, Lupinen und Ackerbohnen) unter Verwendung von Silier- und Konservierungszusätzen zur betriebseigenen Verfütterung. Ergebnisse von Prüfaufträgen der UFOP e. V. Berlin 2007, Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Rendsburg.

Tyrolová, Y. & Výborná, A. (2011): The effects of wilting and biological and chemical additives on the fermentation process in field pea silage. *Czech J. Anim. Sci.* 56(10): 427 – 432.

Van der Poel, A. F. B. (1990): Effects of processing on bean (*Phaseolus vulgaris* L.): protein quality. Dissertation. Wageningen. Niederlande.

Weissbach, F., Schmidt, L. & Hein, E. (1974): Method of anticipation the run of fermentation in silage making, based on the chemical composition of green fodder. Proceedings of the XIIth International Grassland Conference. Moskau. 663-667.

Yu, P., Goelema, J. O., Leury, B. J., Tamminga, S., & Egan, A. R. (2002a): An analysis of the nutritive value of heat processed legume seeds for animal production using the DVE/OEB model: a review. *Animal Feed Science and Technology.* 99(1-4): 141-176.

Zeyner A., Ott E., Hackl W., Gefrom A. (2008): Die Silierung von Körnern der großsamigen Leguminosen als Verfahren der Konservierung und der Verbesserung ihres ernährungsphysiologischen Wertes für Monogastrier. Abschlussbericht zum Projekt BLE-03HS002, Rostock.

10. Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektpartner realisierten Veröffentlichungen zum Projekt

Geplante Publikationen

Kuhnitzsch, C., Martens, S.D., Bachmann, M., Zeyner, A. & Steinhöfel, O. (2021): Untersuchungen zum Futterwert von Erbsen und Ackerbohnen nach kombinierter gärobiologischer und thermischer Behandlung- Ein Resümee nach vier Jahren SilaToast BLE – Projekt. Forum angewandte Forschung. 27./28.04.2021, online.

Realisierte Publikationen

18 Publikationen (7 national, 11 international)

Kuhnitzsch, C., Hofmann, T., Bachmann, M., Martens, S., Henle, T., Zeyner, A. & Steinhöfel, O. (2020): Effekte des Silierens und Toastens teigreif geernteter Erbsen auf die Bildung von Maillardprodukten. REKASAN. 27. Jahrgang. Heft 53/54. S. 22 – 24

Kuhnitzsch, C. & Steinhöfel, O. (2020): Erbsen kontra Raps und Gerste. Bauernzeitung. 36. Ausgabe. 4.9.2020. S. 36 – 37.

Bachmann, M., Kuhnitzsch, C., Martens, S., Steinhöfel, O. & Zeyner, A. (2020): Einfluss des Silierens und Toastens auf antinutritive Inhaltsstoffe von Erbsen und Ackerbohnen. REKASAN. 27. Jahrgang. Heft 53/54. S. 20 – 21.

Bachmann, M., Kuhnitzsch, C., Martens, S.D., Steinhöfel, O. & Zeyner, A. (2020): Estimation of gas production and post-ruminal crude protein from native or ensiled *Pisum sativum* and *Vicia faba* grains. Journal of Applied Animal Research. 48(1): 78-85.

Bachmann, M., Kuhnitzsch, C., Thierbach, A., Michel, S., Bochnia, M., Greef, J. M., Martens, S.D., Steinhöfel, O. & Zeyner, A. (2020): Effects of toasting temperature and duration on in vitro ruminal gas production kinetics and post-ruminal crude protein from field pea (*Pisum sativum*) legume grain silages. Livestock Science. 103944.

Bachmann, M., Kuhnitzsch, C., Martens, S.D., Steinhöfel, O. & Zeyner, A. (2020): Apparent digestibility of energy and proximate nutrients of ensiled and ensiled + dried partialcrop field peas in sheep. 74. Jahrestagung. 03. bis 05. März 2020 in Göttingen.

Hofmann, T.; A.C. Engling; S. Martens; O. Steinhöfel und T. Henle: Quantification of Maillard reaction products in animal feed, European food Research and Technology (2019)

Kuhnitzsch, C., Martens, S., Bachmann, M., Zeyner, A., Hofmann, T. & Steinhöfel, O. (2019): Untersuchungen zum Einsatz siliierter und getoasteter Erbsen in der Fütterung von Milchkühen. REKASAN-Journal. Ratgeber für Tierernährung Tierzucht und Management. 26. Jahrgang. Heft 51/52: 46 - 49

Bachmann, M., Kuhnitzsch, C., Okon, P., Martens, S. D., Greef, J. M., Steinhöfel, O., & Zeyner, A. (2019). Ruminal In Vitro Protein Degradation and Apparent Digestibility of Energy and Nutrients in Sheep Fed Native or Ensiled+ Toasted Pea (*Pisum sativum*) Grains. Animals. 9(7): 401.

Kuhnitzsch, C., Hofmann, T., Bachmann, M., Martens, S., Henle, T., Zeyner, A. & O. Steinhöfel (2019): Effekte des Silierens und Toastens teigreif geernteter Erbsen auf die Bildung von Maillard-Produkten. 15. Tagung Schweine- und Geflügelernährung in der LEUCOREA in der Lutherstadt Wittenberg 19. - 21. November 2019. Tagungsband S. 149 - 151

Bachmann, M., Kuhnitzsch, C., Martens, S.D., Steinhöfel, O. & Zeyner, A. (2019): Einfluss des Silierens und Toastens auf antinutritive Inhaltsstoffe von Erbsen und Ackerbohnen. 15. Tagung Schweine- und Geflügelernährung in der LEUCOREA in der Lutherstadt Wittenberg 19. - 21. November 2019. Tagungsband S. 146 - 148

Bachmann, M., Kuhnitzsch, C., Okon, P., Martens, S.D., Greef, J.M., Steinhöfel, O. & A. Zeyner (2019): Ruminal *in vitro* protein degradation, anti-nutrient reduction, and *in vivo* digestibility of energy and nutrients in ensiled + toasted pea grains. International Symposium on Ruminant Physiology. Leipzig.

Kuhnitzsch, C., Hofmann, T., Bachmann, M., Martens, S., Henle, T., Zeyner, A. & O. Steinhöfel (2019): Effect of ensiling and toasting of field pea grains on formation of Maillard polymers from lysine and arginine. International Symposium on Ruminant Physiology. Leipzig.

Kuhnitzsch, C., Hofmann, T., Bachmann, M., Martens, S., Henle, T., Zeyner, A. & O. Steinhöfel (2019): Effect of ensiling and toasting of early harvested field pea grains on formation of Maillard polymers from lysine and arginine. 18th International Symposium Forage Conservation. Brno.

Kuhnitzsch, C., Martens, S., Bachmann, M., Zeyner, A., Hofmann, T. & Steinhöfel, O. (2019): Vergleichende Untersuchungen zum Einsatz siliert und getoasteter Erbsen bzw. Erbsenschröpfung-GPS in der Fütterung hochleistender Milchkühe. Forum angewandte Forschung. 02/03.04.2019.

Kuhnitzsch, C., Martens, S.D., Steinhöfel, O., Bachmann, M., Bochnia, M. & Zeyner, A. (2018): Influence of ensiling and thermal treatment of peas on their feed value. Proceedings of the XVIII International Silage Conference 2018. Bonn. S. 186-187.

Bachmann, M., Kuhnitzsch, C., Martens, S.D., Wensch-Dorendorf, M., Steinhöfel, O. & Zeyner, A. (2018): Estimation of ruminal gas production and utilizable crude protein at the duodenum from native, ensiled and ensiled + toasted peas and field beans. Proceedings of the XVIII International Silage Conference 2018. Bonn. S. 506-507.

Bachmann, M., Kuhnitzsch, C., Martens, S.D., Steinhöfel, O. & Zeyner, A. (2018): Comparison of two *in vitro* systems for the estimation of total gas production and utilizable crude protein at the duodenum from native or ensiled field peas and field beans in ruminants. In: Society of Nutrition Physiology (eds). Proceedings of the 72nd Conference of the Society of Nutrition Physiology. Göttingen. 2018. S. 137

10 Präsentationen

Steinhöfel, O., Kuhnitzsch, C. (2019): Vergleichende Untersuchungen zum Einsatz siliierter und getoasteter Erbsen bzw. Erbsenschröpfchnitt-GPS in der Fütterung hochleistender Tiere. 24. Lichtenwalder Kolloquium. 29.10.2019

Steinhöfel, O., Kuhnitzsch, C., Martens, S., Bachmann, M., & Zeyner, A. (2019): Untersuchungen zur Veränderung der Eiweißqualität beim Silieren und Wärmebehandlung von Erbsenkörnern und Erbsenganzpflanzen. 9. Eiweißpflanzenworkshop. Bernburg. 21.06.2019

Kuhnitzsch, C., Martens, S. & Steinhöfel, O. (2018): SilaToast^{Erbse/Ackerbohne} – Ernte, Silierung und Wärmebehandlung im Betrieb. Fachbeirat Tierische Erzeugung. Nossen. 07. September 2018.

Kuhnitzsch, C. & Steinhöfel, O. (2017): SilaToast^{BLE} - Silierte und getoastete Erbsen und Ackerbohnen (Projekt SilaToast). Workshop Demonetzwerk Erbse/Ackerbohne. Niederkaina. 16. Mai 2018.

Kuhnitzsch, C., Martens, S., Steinhöfel, O., Bachmann, M., Bochnia, M. & Zeyner, A. (2018): SilaToast^{Erbse/Ackerbohne}- Projektvorstellung. 54. Beratung des Landesarbeitskreises Futter und Fütterung. Halle (Saale). 07. März. 2018.

Kuhnitzsch, C. (2017): SilaToast^{Erbse/Ackerbohne} – Silierung und Toastung im Betrieb. Fachtagung Körnerleguminosen füttern – Schwerpunkt Milchvieh. Köllitsch. 14. November 2017.

Steinhöfel, O., Kuhnitzsch, C., Martens, S., Bachmann, M., Bochnia, M. & Zeyner, A. (2017): Untersuchungen zum Futterwert thermisch behandelte Körnerleguminosen für Milchrinder aus dem BLE-Projekt SilaToast – Erste Ergebnisse. 7. Eiweißpflanzen-Workshop. Bernburg. 23. Juni. 2017.

Steinhöfel, O., Martens, S., Kuhnitzsch, C. & Zeyner, A. (2017): SilaToast – Verbesserung ernährungsphysiologischer Eigenschaften von Ackerbohnen und Erbsen für Milchrinder durch kombinierte gärbio-logische und thermische Behandlungen: Vorstellung des Projektes. Kassel. 22.-23. Februar 2017.

Steinhöfel, O., Kuhnitzsch, C. (2017): SilaToast^{Erbse/Ackerbohne} –Kombinierte gärbio-logische und thermische Behandlungen. IGE-Winterschulung, Limbach-Oberfrohna. 10. Februar 2017

Steinhöfel, O., Martens, S., Kuhnitzsch, C. & Zeyner, A. (2016): SilaToast^{Erbse/Ackerbohne} –Kombinierte gärbio-logische und thermische Behandlungen. Internationales Jahr der Hülsenfrüchte 2016. Berlin. 03.-04. November 2016.

11. Impressionen



Abbildung 27: Pflanzenbonitur und Ertragsschätzung (am Beispiel Ackerbohne „Taifun“)



Abbildung 28: Ernte der Erbse „Astronaut“ zur Grünreife (35 % TM, links) und Teigreife (> 50 % TM, rechts) im Direktschneidverfahren



Abbildung 29: Erntegut der Erbse „Astronaute“ zur Grünreife (35 % TM, links) und Teigreife (> 50 % TM, rechts) im Direktschneidverfahren



Abbildung 31: Siliergut der Erbse „Astronaute“ zur Grünreife (35 % TM, links) im Folien-schlauch und zur Teigreife (> 50 % TM, rechts) im Ballen



Abbildung 30: Schwalben jagen die ausfliegenden Ackerbohnenkäfer der rückbefeuchteten Ackerbohnen



Abbildung 32: Verklebte Quetschwalzen der Murska 2000 beim quetschen rückbefeuchteter Ackerbohnen (70 % TM)



Abbildung 34: SilaToast zur DLG-Feldtagung in Bernburg 2018



Abbildung 33: Vielen Dank an die Helfer!

III. Merkblatt mit den Projektergebnissen

„Untersuchungen zur Verbesserung ernährungsphysiologischer Eigenschaften von Ackerbohnen und Erbsen für Milchrinder durch kombinierte gärbiochemische und thermische Behandlungen (SilaToast)“

Projektträger: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)

Förderkennzeichen: 2815EPS020

Zuwendungsempfänger: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Projektlaufzeit: 01. August 2016 bis 31.03.2021

Projektleiter: Prof. Dr. Olaf Steinhöfel, Am Park 3 in 04886 Köllitsch, Tel.: +49 34222 46 2200, olaf.steinhoefel@smul.sachsen.de

Verbundpartner: Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Naturwissenschaftliche Fakultät III, Professur für Tierernährung

LANDESAMT FÜR UMWELT
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Projektträger Bundesanstalt
für Landwirtschaft und Ernährung

Steckbrief SilaToast: Um die Attraktivität des regionalen Anbaus sowie der Verwertung von Körnerleguminosen zu steigern, initiierte das Bundesministerium für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) die Eiweißpflanzenstrategie. Aus dieser Initiative heraus wurde das Projekt SilaToast (2815EPS020) mit dem Ziel gefördert, die Attraktivität von Erbsen und Ackerbohnen sowohl als Korn als auch als Ganzpflanze in der Fütterung landwirtschaftlicher Nutztiere zu erhöhen. Dabei sollten bekannte Schwachstellen bei der Ernte (Verluste bei Aufwuchs und Drusch), Logistik zur Aufbereitung (Mischfutterwerke, Toastanlagen) und Lagerung (Trocknungsanlagen) der Leguminosen vermieden werden. Im Hinblick auf die Tierfütterung sollte die ruminale Protein- und Stärkebeständigkeit (Wiederkäuer) erhöht und verdaulichkeitshemmende, anti-nutritive Substanzen (Monogastrier) in den Körnerleguminosen minimiert werden. Die Idee war, den Erntezeitpunkt so weit wie möglich vorzuziehen (Minimierung der Kornverluste und des Befalls mit Insekten und Phytopathogenen, frühe Feldberäumung), das Korn zu zerkleinern (quetschen, häckseln) und zu konservieren (silieren). Anschließend sollte die Silage einer hydrothermischen Aufbereitung unterzogen werden, um die Proteinlöslichkeit zu verringern und die Stärkebeständigkeit zu steigern. Es sollte zudem ermittelt werden, bei welcher Intensität thermischer Behandlung nennenswerte Schädigungen wertbestimmender Nährstoffe eintreten. Der Erfolg und die Preiswürdigkeit eines solchen Verfahrens wurde in umfangreichen Untersuchungen zu Effekten von Konservierung und Aufbereitung auf den Futterwert inklusive in vivo- und in-vitro-Verdaulichkeit sowie zootechnische Variablen im Fütterungsversuch untersucht.

Gegenstand der Untersuchungen waren Pflanzenteile der Kulturarten Ackerbohne und Felderbse in unterschiedlichen Reifestadien. Ein wesentliches Arbeitspaket bestand zunächst in einer modelhaften Anwendung der kombinierten Behandlung (Silierung, thermische Behandlung) im Labormaßstab. Bei den Untersuchungen wurden Erbsen und Ackerbohnen hinsichtlich ihrer Blühfarbe (Erbsen; bunt- vs. weißblühend) und des Tanningehalts (Ackerbohnen; tanninreich vs. tanninarm) unterschieden und als Korn sowie als Ganzpflanze zu ausgewählten Reifestadien (Grünreife, Teigreife, Trockenreife) geerntet, zerkleinert (gequetscht, gehäckselt) und siliert. Nach mindestens 60 Tagen wurden die Laborsilos geöffnet und in einem Trockenschrank thermisch behandelt. Die aus den Modellversuchen erfolgversprechendste Variante wurde anschließend großtechnisch hergestellt und in einem Gruppenfütterungstest an hochleistende Milchrinder des LVG/LFULG Köllitsch untersucht. Hierbei wurden einerseits Erbsenkörner der Sorte „Alvesta“ mit einer Korn-TM von 70 % geerntet und mit einem Grain Bagger (Murska 2000 S 2x2) gequetscht und andererseits Erbsen der Sorte „Astronaut“ als Ganzpflanze mit 40 % TM und 60 % TM im Direktschneidverfahren gehäckselt. Bei der Ganzpflanzenernte wurde eine Schnitthöhe möglichst nah unterhalb der Fruchtanlagen („Schröpschnitt“) angestrebt, um die Mitnahme der Pflanzenfaser zu reduzieren. Das gehäckselte Grüngut wurde in einem Folien-schlauch einsiliert oder in Folienballen (Ballenwickelkombination Göweil) gewickelt. Im Anschluss an die Silierung wurden die Kornsilagen sowie die frühe Ganzpflanzensilage (40 % TM) getoastet (Korn: ECO-Toast 100, Firma Agrel, 180 °C; Ganzpflanze: Trockenwerk Gröden, Trommeltrocknung, 100 °C). Die hergestellten Futtermittel (silierte + getoastete Erbsen; getrocknete Ganzpflanzensilage; Ganzpflanzensilage (Ballen)) wurden in jeweils 7-wöchigen Fütterungsstudien an hochleistenden Milchrindern getestet. Dabei wurden einerseits 1,5 kg TM RES und 1 kg TM Gerste durch 3 kg TM silierte + getoastete Erbsen in der Ration ausgetauscht und andererseits 5 kg TM Grassilage durch 5 kg TM getrocknete Ganzpflanzen sowie 3 kg TM Grassilage und 1,2 kg TM Grünroggensilage durch 4 kg TM Ganzpflanzensilage (Ballen) nährstoffadäquat ersetzt.

Bereits ab der Grünreife (~ 40 % Korn-TM) haben Ackerbohnen die maximale Einlagerung an Rohprotein und Stärke erreicht. Erbsen erreichen dies etwas später, in der Teigreife, mit rund 70 % TM. Die kombinierte Behandlung hatte keinen signifikanten Einfluss auf den Gehalt an Rohprotein, Faser und Stärke. Die Proteinlöslichkeit wurde durch die Silierung des Kornes signifikant um rund 30 %-Punkte reduziert. Das Toasten führte zu einer weiteren signifikanten Reduzierung der Proteinlöslichkeit um annähernd 60 % im Vergleich zur unbehandelten Erbse. Auch bei der Ganzpflanze hatte die Silierung keinen Einfluss auf den Gehalt der dargestellten Nährstoffe. Die Silierung der feuchten Ganzpflanzen (30 % TM) erhöhte die Proteinlöslichkeit um 20 %-Punkte. Bei der Silierung des trockeneren Grüngutes (70 % TM) war die Proteinlöslichkeit wiederum reduziert, und zwar vergleichbar mit dem Korn um rund 10 %-Punkte. Die thermische Aufbereitung führte bei beiden Ganzpflanzensilagen wieder zu einem signifikanten Rückgang der Proteinlöslichkeit. Dabei konnte bei der getrockneten Ganzpflanzensilage (30 % TM) das Niveau des Grüngutes (60 % d. RP) und bei der getrockneten Ganzpflanzensilage mit 70 % TM sogar eine Halbierung der Proteinlöslichkeit im Vergleich zum Grüngut erreicht werden. Die Behandlungsintensität (Temperatur, Dauer, Menge) hat einen Einfluss auf die Reduzierung der Proteinlöslichkeit sowie die Bildung von Maillardprodukten und dadurch sinkenden Gehalten an den essentiellen Aminosäuren wie z.B. Lysin und Arginin, bereits bei niedrigen Behandlungstemperaturen (140 °C = 70 °C Korntemperatur). Die Ergebnisse der Fütterungsstudien machen deutlich, dass die untersuchten Erbsen in verschiedenen Behandlungsformen sinnvoll in den Rationen hochleistender Milchrinder einsetzbar sind. Die Futteraufnahme sowie Milchleistung und Milchinhaltsstoffe unterschieden sich nicht.

Die Silierung teigreifer Leguminosenkörner erhöhte die Pansenstabilität des Futterreineiweißes. Die Proteinlöslichkeit reduzierte sich um 30 %-Punkte. Bei der Silierung feuchter Ganzpflanzen (< 50 % TM) dagegen wurde die Proteinlöslichkeit erhöht, was auf proteolytische

Prozesse während der Ernte, Lagerung und Silierung hinweist. Mit steigender TM des Siliergutes nahm dieser Effekt signifikant ab. Ab etwa 60 % TM veränderte sich die Proteinlöslichkeit im Vergleich zum Siliergut nicht mehr. Eine nach der Silierung erfolgte thermische Behandlung kann zu einer deutlichen Reduzierung der Proteinlöslichkeit von bis zu 40 %-Punkten in der relativ trockenen Ganzpflanzensilage und sogar 60 %-Punkten bei den Körnern führen. Dieser Effekt wird jedoch durch eine zunehmende Proteinschädigung begleitet. Nach aktuellem Kenntnisstand muss die hydrothermische Behandlung der Leguminosenkörner auf maximale Korntemperaturen von 100 °C bzw. Einblastemperaturen von 190 °C begrenzt bleiben. Durch die Verfütterung siliierter und danach getoasteter Körner kann im Vergleich zum RES die N-Ausscheidung verringert werden, ohne die Leistungsfähigkeit der Milchrinder zu gefährden. Die Proteinverfügbarkeit im Pansen war durch die Behandlung der Erbsenkörner und auch der Ganzpflanzensilagen im Vergleich zur Kontrollgruppe reduziert.

Die kombinierte Behandlung aus Silierung und thermischer Aufbereitung frühzeitig geernteter Körnerleguminosen kann einen Beitrag zur Erhöhung der regionalen Verfügbarkeit von Futterprotein in den Rationen hochleistender Milchrinder leisten und die Attraktivität von Erbsen und Ackerbohnen steigern. Durch Ganzpflanzennutzung können die Korn- und damit Protein- und Energieverluste bei der Ernte weiter reduziert und gleichzeitig ein verlässliches Grobfuttermittel als Ergänzung bei Futterknappheit bereitgestellt werden. Zur Stabilisierung des Reineiweißes muss hier der TM-Gehalt zur Silierung über 60 % betragen, um die Proteolyse durch pflanzeneigene Enzyme zu minimieren. Eine anschließende thermische Behandlung sowohl siliierter Körner als auch trockensiliierter Ganzpflanzen reduziert die Proteinlöslichkeit deutlich. Diese Prozesse werden jedoch durch zunehmende Maillardreaktionen begleitet.

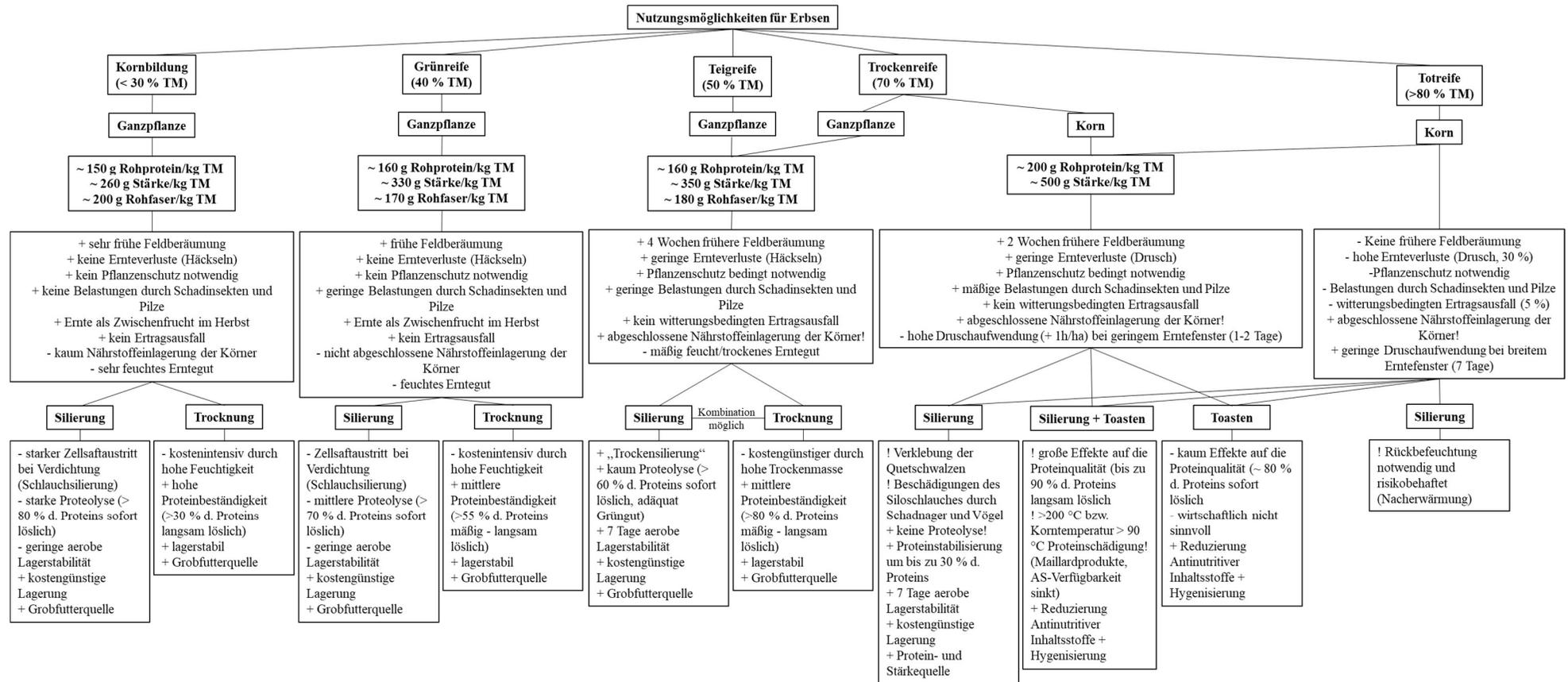


Abbildung 35: Nutzungsmöglichkeiten von Körnerleguminosen zu unterschiedlichen Reifestadien am Beispiel der Erbse