

Erträge und Verluste sowie Futter- und Gärqualitäten aus der Bioraffinierung von Rotklee und Rotklee-Grassilage

Reinhard Resch^{1*}, Manuel Winter¹, Michael Mandl², Andreas Steinwidder¹, Joseph. B Sweeney³ und Kevin McDonnell³

Zusammenfassung

Im Forschungsprojekt Farm4More (LIFE18CCM/IE/001195) wurden im Arbeitspaket C.5.1 drei verschiedene Arten von vorgewelktem Grünlandfutter aus dem 1. Aufwuchs (Vorversuch 2020: 1 – grasreich; Hauptversuch 2021: 2 – Gras/Rotklee gemenge („Kleegras“), 3 – Rotklee) in Rundballen einsiliert und nach der Vergärung mit einer praxiskonformen Schneckenpresse bioraffiniert. Ziel der Arbeit war einerseits die stoffliche Bilanzierung von TM und Inhaltsstoffen durch flächenbezogene quantitative Bewertung von Stoffströmen vom Pflanzenbestand zum Zeitpunkt der Mahd, über Ernte- und Konservierungsverluste, Fraktionierung aus der Bioraffinierung (Presssaft und Presskuchen) bis hin zu weiteren Prozessverlusten durch erneute Silierung des Presskuchens. Außerdem wurde der Frage nachgegangen, inwieweit der faserreiche Presskuchen, der als Rückstand der Bioraffinierung neuerlich siliert wurde, konservierungsmäßig und in der Wiederkäuerfütterung funktioniert.

Die Ertragserhebungen auf den Grünlandflächen der HBLFA-Außenstelle in Lambach ergaben für Rotklee gras 3.033 kg (Kleegras) bzw. für Rotklee 2.795 kg TM-Bruttoertrag/ha für den 1. Aufwuchs. Bezogen auf ein Hektar Fläche waren die Feldverluste mit 84 bis 91 kg TM/ha zu beziffern. Die durchschnittlichen Fermentationsverluste in den Silorundballen betrugen nach zumindest sechswöchiger Gärdauer bei Rotklee gras 322 kg und bei Rotklee nur 19 kg Trockenmasse bzw. 10 % bei Rotklee gras und 1 % bei Rotklee. Die Bioraffinierung der Silagen erfolgte nach kontrollierter Anwässerung des Materials im Mischwagen auf 230 g TM/kg FM in Gumpenstein mit einer Schneckenpresse (Typ: Bellmer/Kufferath Akupress X250). Die TM-Gehalte der Grassilagen unterschieden sich vor der Anwässerung signifikant voneinander. Die Pressung der angewässerten Grassilagen führte zu einer einheitlichen Anhebung des TM-Gehaltes in den Presskuchen auf rund 370 g/kg FM. Von einem Hektar Rotklee gras wurde insgesamt 669 kg Presssaft und bei Rotklee 746 kg Presssaft unter den vorherrschenden Bedingungen erzeugt. Bezogen auf das Grünfutter am stehenden Bestand wäre das ein Saftertrag von 22 % bzw. 27 %. Auf die Grassilage bezogen machte die Saftausbeute 26 % bzw. 28 % aus. Bei der festen re-silierten Presskuchenfraktion konnten 68 % bei Kleegras bzw. 69 % bei Rotklee gewonnen werden. Somit ergaben sich TM-Verluste bei der Pressung von 174 kg TM/ha (6,6 %) beim Kleegras und 99 kg TM/ha (3,7 %) beim Rotklee. Die gesamten TM-Verluste vom Grünfutter vor der Ernte bis zum fertigen Futtermittel betrugen insgesamt 620 kg TM/ha (20,4 %) bei Kleegras und 163 kg TM/ha (5,8 %) bei Rotklee. Vom gesamten Rohprotein (XP) aus der Silage konnten durch die Bioraffinierung rund 36 % in den Presssaft überführt werden und ca. 54 % verblieben im Presskuchen. Der frische Presssaft enthielt 204 bis 208 g XP/kg TM. Gegenüber der Silage büßte der Presskuchen ca. 30 g XP/kg TM ein. Die Pressung bedingte XP-Verluste von 9,2 bis 10,3 %. Bezogen auf die Hektarerträge gingen bei Kleegras 24 % XP

¹ HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg 38, A-8952 Irdning-Donnersbachtal

² tbw research GesmbH, Schönbrunner Str. 297, A-1120 Wien

³ LIFE farm4more, School of Biosystems Engineering, University College Dublin, Dublin 4, IE

* Ansprechpartner: Ing. Reinhard Resch, email: reinhard.resch@raumberg-gumpenstein.at

und bei Rotklee 15 % XP bis zum fertigen Futter verloren. Die Prozessverluste während der Pressung an den essentiellen Aminosäuren Lysin, Methionin und Cystin lagen im hohen Bereich von 30 bis 41 %. Anhand der vorliegenden Daten sind die Ursachen für diese hohen Verluste nicht ausreichend erklärbar. Daher ist hier unbedingt ein Forschungsbedarf gegeben, um mögliche Fehlerquellen zu ergründen.

Neutrale Detergenzienfaser (aNDFom) nahm anteilmäßig die größte Masse ein. Bis zum Ende der Gärung konnte eine geringfügige Reduktion festgestellt werden. In den Presssaft wurden keine Faserbestandteile aus der Silage überführt, daher verblieb die meiste Faser im Presskuchen. Der Effekt der Fraktionierung über die Futterpressung bewirkte im Presskuchen einen Anstieg der aNDFom-Gehalte um ca. 100 g/kg TM gegenüber der Silage. Die Massenbilanz für aNDFom ergab einen Gesamtverlust von 22 % NDF für Kleegrass und 4 % für Rotklee.

Durch die Pressung der Silagen wurden 44 bis 47 % der Rohasche (XA) in den Presssaft transferiert, während 2 bis 7 % an XA bei der Bioraffinierung verloren gingen. Im Presskuchen reduzierten sich die XA-Gehalte gegenüber der Silage um ca. 30 g/kg TM. Beim Phosphor (P) waren die Gehaltswerte im Futter mit 2,9 bis 3,0 g/kg TM eher mäßig. Mit der Pressung gelangten 56 bis 58 % an P in den Presssaft und 5 bis 9 % gingen bei der Pressung verloren, sodass der Presskuchen nur mehr 1,5 bis 1,6 g P/kg TM enthielt. Beim Kupfer (CU) wurden nur rund 22 % in den Presssaft überführt, sodass im Presskuchen die Kupfergehalte höher waren als in der Silage.

Mit der Pressung wanderten 57 bis 62 % an Gärungsprodukten wie Milch-, Essig-, Propion- und Buttersäure, sowie Ethanol in den Presssaft, wodurch dieser sehr hohe Gehalte von 133 bis 192 g Gärprodukte/kg TM enthielt. Im frischen Presskuchen wurden die Summengehalte an Gärprodukten und auch der Zuckergehalt halbiert. Die Re-Silierung bewirkte eine ausgeprägte Milch- und Essigsäuregärung, welche die pH-Werte signifikant unter den kritischen pH-Wert senkte und für eine sehr gute Gärqualität sorgte. Durch die zweite Gärung wurde praktisch fast der gesamte Zucker und auch ein Teil der NFC der Presskuchen verbraucht.

Schlagwörter: Bioraffinierung, Qualität Presssaft und Presskuchen, Re-Silierung, Nährstoff-Bilanzierung, Prozessverluste

Summary

Concerning project Farm4More (LIFE18CCM/IE/001195), three different types of pre-wilted grassland fodder from the first growth (preliminary trial 2020: 1 - grass-rich; main trial 2021: 2 - grass/red clover mixture („clover grass“), 3 - red clover) were ensiled in round bales and biorefined after fermentation with a screw press. The aim of the work was, on the one hand, the material balancing of DM and ingredients through area-related quantitative evaluation of material flows from the plant stand at the time of mowing, through harvesting and preservation losses, fractionation from the biorefining (press juice and press cake) up to further process losses through re-ensiling of the press cake. In addition, the question was investigated to what extent the fibre-rich press cake, which was ensiled again as a residue of biorefining, functions in terms of conservation and in ruminant feeding.

The yield surveys on the grassland areas of the AREC field station in Lambach

showed 3,033 kg (clover grass) for red clover and 2,795 kg DM gross yield/ha for the first growth. In relation to one hectare of area, the field losses were to be estimated at 84 to 91 kg DM/ha. The average fermentation losses in the silage round bales after at least six weeks of fermentation were 322 kg for red clover grass and only 19 kg dry matter or 10 % for red clover grass and 1 % for red clover. The biorefining of the silages was carried out after controlled watering of the material in the mixing wagon to 230 g DM/kg FM in Gumpenstein with a screw press (type: Bellmer/Kufferath Akupress X250). The DM contents of the grass silages differed significantly before watering. Pressing the watered grass silages resulted in a uniform increase of the DM content in the press cakes to about 370 g/kg FM. A total of 669 kg of pressed juice was produced from one hectare of red clover grass and 746 kg of pressed juice from red clover under the prevailing conditions. In relation to the green forage on the standing crop, this would be a juice yield of 22 % and 27 % respectively. In relation to the grass silage, the juice yield was 26 % and 28 %, respectively. In the case of the solid re-silaged press cake fraction, 68 % could be obtained with clover grass and 69 % with red clover. Thus, DM losses during pressing were 174 kg DM/ha (6.6 %) for clover grass and 99 kg DM/ha (3.7 %) for red clover. Total DM losses from pre-harvest green forage to finished feed were 620 kg DM/ha (20.4 %) for clover grass and 163 kg DM/ha (5.8 %) for red clover. Of the total crude protein (XP) from the silage, about 36 % could be transferred to the pressed juice through biorefining and about 54 % remained in the press cake. The fresh pressed juice contained 204 to 208 g XP/kg DM. Compared to the silage, the press cake lost about 30 g XP/kg DM. The pressing caused XP losses of 9.2 to 10.3 %. In relation to the yield per hectare, 24 % XP was lost in clover grass and 15 % XP in red clover until the finished forage. Process losses during pressing of the essential amino acids lysine, methionine and cystine were in the high range of 30 to 41 %. Based on the available data, the causes of these high losses cannot be adequately explained. Therefore, there is an urgent need for research to find out possible sources of error.

Neutral detergent fibre (aNDFom) took up the largest mass proportionally in the silage. A slight reduction was observed until the end of fermentation. No fibre components from the silage were transferred into the press juice, therefore most of the fibre remained in the press cake. The effect of fractionation via forage pressing caused an increase in the aNDFom content in the press cake by about 100 g/kg DM compared to the silage. The mass balance for aNDFom showed a total loss of 22 % NDF for clover grass and 4 % for red clover.

By pressing the silages, 44 to 47 % of the crude ash (XA) was transferred into the press juice, while 2 to 7 % of XA was lost during biorefining. In the press cake, the XA contents were reduced by approx. 30 g/kg DM compared to the silage. The phosphorus (P) content in the forage was rather moderate at 2.9 to 3.0 g/kg DM. With the pressing 56 to 58 % of P entered the pressed juice and 5 to 9 % were lost during pressing, so that the press cake contained only 1.5 to 1.6 g P/kg DM. In the case of copper (CU), only about 22 % was transferred into the press juice, so that the copper content in the press cake was higher than in the silage.

During pressing, 57 to 62 % of fermentation products such as lactic, acetic, propionic and butyric acid as well as ethanol migrated into the press juice, which contained very high levels of 133 to 192 g fermentation products/kg DM. In the fresh press cake, the total content of fermentation products and also the sugar content were halved. The re-silaging caused a pronounced lactic and acetic acid fermentation, which lowered the pH values significantly below the critical pH

value and ensured a very good fermentation quality. The second fermentation consumed practically all the sugar and also part of the NFC of the press cakes.

Keywords: biorefinery, quality of press juice and press cake, re-ensiling, balancing of nutrients, process losses

1 Einleitung

Der Bedarf an nachhaltigerer Futterproduktion und die Protein-Selbstversorgung werden wichtiger (EUROPEAN PARLIAMENT 2011), daher stößt in der Produktion von Proteinfutter auch die Fraktionierung von grüner Biomasse auf großes Interesse. Bioraffinerie ist nach KROMUS et al. (2004) ein nachhaltiges Processing von Biomasse in ein Spektrum von marktfähigen Produkten und Energie. Die Stickstoffverteilung zwischen Presskuchen und Proteinkonzentrat aus dem Presssaft ist stark von der Zusammensetzung des verwendeten Pflanzenmaterials (PIRIE, 1987) und den Prozessparametern abhängig (COLAS et al., 2013). Nach RINNE et al. (2018) können mit einer Doppelschneckenpresse maximal 40 % des Rohproteins aus Grassilagen in den Presssaft transferiert werden. Im Rahmen des internationalen Forschungsprojektes **Farm4More (LIFE18CCM/IE/001195)** wurden im Arbeitspaket C.5.1 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein drei verschiedene Arten von vorgewelktem Grünlandfutter (Vorversuch 2020: 1 – grasreich; Hauptversuch 2021: 2 – Gras/Rotklee gemenge („Kleegras“), 3 – Rotklee) in Rundballen einsiliert und nach der Vergärung mit einer praxiskonformen Schneckenpresse bioraffiniert. Mit der stofflichen Bilanzierung von TM und Inhaltsstoffen wurde eine flächenbezogene quantitative Bewertung von Stoffströmen vom Pflanzenbestand zum Zeitpunkt der Mahd, über Ernte- und Konservierungsverluste, Fraktionierung aus der Bioraffinerie (Presssaft und Presskuchen) bis hin zu weiteren Prozessverlusten durch erneute Silierung des Presskuchens durchgeführt. Außerdem befasst sich dieser Beitrag mit dem faserreichen Presskuchen, der als Rückstand der Bioraffinerie neuerlich siliert wurde und an Wiederkäuer verfüttert werden kann.

2 Material und Methoden

Das verwendete Grünlandfutter stammte vom 1. Aufwuchs von Flächen der Bio-Außenstelle Lambach (Oberösterreich) der HBLFA Raumberg-Gumpenstein. Der TM-Bruttoertrag der Futterbestände wurde mit einem Quadratmeterrahmen erhoben. Das Erntegut wurde in Ballen gepresst und diese wurden mittels Hubwagen-Waage (Typ Kern VHB, Teilung 1 kg) gewogen und anschließend nach Gumpenstein transportiert. Die Rundballen wogen zwischen 900 bis über 1.000 kg, lagerten zumindest 6 Wochen und wurden vor der Pressung in einem Mischwagen mit Vertikalschneidwerk 30 Minuten gemischt und auf ca. 5 cm theoretische Häcksellänge zerkleinert. Von der Mischung wurde der TM-Gehalt mit der Mikrowellen-Methode nach LOSAND und WALDMANN (2003) bestimmt und die erforderliche Wassermenge zur Verdünnung auf 230 g TM/kg FM berechnet. Die erforderliche Wassermenge wurde während des Mischvorganges in die Silage eingebracht. Nach der Pressung mit einer Schneckenpresse (Typ: Bellmer/Kufferath Akupress X250) wurden jeweils ca. 45 kg vom frischen Presskuchen in 60 Liter Weithalsfässer aus Kunststoff einsiliert. Die durchschnittliche Lagerungsdichte in den Fässern betrug 275 bis 281 kg TM/m³. Die Behälter wurden mit einem Kunststoffdeckel mit Metallspanner luftdicht abgeschlossen. Die Lagerung der befüllten Fässer erfolgte bei ca. +20 °C bis zur Siloöffnung. Die Lagerungsdauer betrug im Vorversuch (2020) 62 Tage und im Hauptversuch (2021) 52 bis 56 Tage. Die Probeziehung an den Inhalten der geöffneten WHF-Behälter erfolgte vertikal von oben nach unten mittels Edelstahl-Stechzylinder (Durchmesser 5 cm) und 2 Einstichen je Behälter. Die Mischprobe jeder Variante (4 Fässer × 2 Einstiche) wurde sofort gekühlt. Anschließend erfolgte die weitere

Probenvorbereitung je nach Analysenmethode. Die chemischen Analysen wurden nach VDLUFA-Methodenbuch III (1976) durchgeführt. Die validierten Daten wurde mit Hilfe des Statistikprogrammes Statgraphics Centurion XVII (Version 17.1) varianzanalytisch verrechnet. Die Mittelwertvergleiche wurden mit der Methode Tukey- HSD auf p-Niveau 95 % angestellt.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Ertragserhebungen auf den Grünlandflächen ergaben für Rotklee gras 3.033 kg („Klee gras“) bzw. für Rotklee 2.795 kg TM-Bruttoertrag/ha für den 1. Aufwuchs. Die Erntebedingungen konnten als gut bezeichnet werden, daher wurden hier durchschnittliche Feldverluste von 3 % (STEINHÖFEL 2020) unterstellt. Bezogen auf ein Hektar Fläche waren die Feldverluste mit 84 bis 91 kg TM/ha zu beziffern. Die durchschnittlichen Fermentationsverluste betragen bei Klee gras 322 kg und bei Rotklee nur 19 kg Trockenmasse (Abbildung 1) bzw. 10 % bei Klee gras und 1 % bei Rotklee (Abbildung 2). Bezugnehmend auf den Prozess der Bio raffinerung mit Pressung des Gär futterers in eine flüssige und eine feste Fraktion, wurden von einem Hektar Klee gras (1. Aufwuchs) insgesamt 669 kg Presssaft und bei Rotklee 746 kg Presssaft

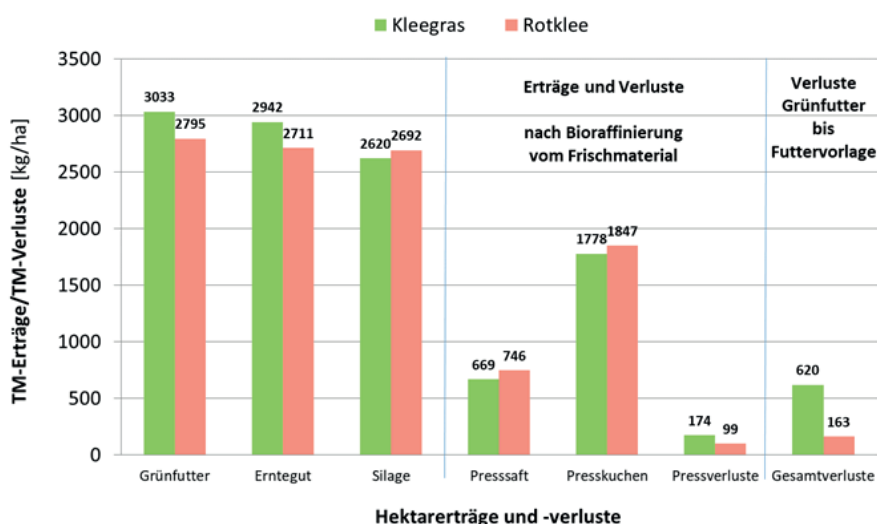


Abbildung 1: Absolute Erträge/Verluste an Trockenmasse durch Futterernte, Silierung und Bio raffinerung

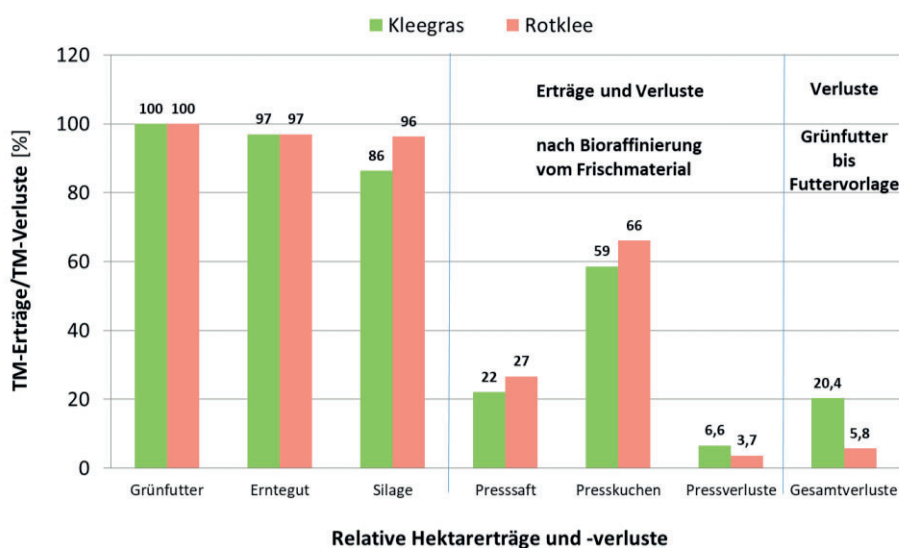


Abbildung 2: Relative Erträge/Verluste an Trockenmasse durch Futterernte, Silierung und Bio raffinerung

unter den vorherrschenden Bedingungen erzeugt. Bezogen auf das Grünfutter am stehenden Bestand wäre das ein Saftertrag von 22 % bzw. 27 % (Abbildung 2). Auf die Grassilage bezogen machte die Saftausbeute 26 % bzw. 28 % aus. Bei der festen re-silierten Presskuchen-Fraktion konnten 68 % bei Klee gras bzw. 69 % bei Rotklee gewonnen werden. Somit ergaben sich TM-Verluste bei der Pressung von 174 kg TM/ha (6,6 %) beim Klee gras und 99 kg TM/ha (3,7 %) beim Rotklee. Die gesamten TM-Verluste vom Grün-futter vor der Ernte bis zum fertigen Futtermittel betragen insgesamt 620 kg TM/ha (20,4 %) bei Klee gras und 163 kg TM/ha (5,8 %) bei Rotklee (RESCH et al. 2023).

Vom gesamten Rohprotein (XP) aus der Silage konnten durch die Bioraffinierung rund 36 % in den Presssaft überführt werden und ca. 54 % verblieben im Presskuchen. Der frische Presssaft enthielt 204 bis 208 g XP/kg TM. Gegenüber der Silage büßte der Presskuchen ca. 30 g XP/kg TM ein. Die Pressung bedingte XP-Verluste von 9,2 bis 10,3 % (Tabelle 1). Bezogen auf die Hektarerträge gingen bei Klee gras 24 % XP und bei Rotklee 15 % XP bis zum fertigen Futter verloren.

Die Bilanzierung der essentiellen Aminosäuren Lysin, Methionin und Cystin wurde über den gesamten Prozess durchgeführt. Je Hektar wurden bei Lysin Bruttoerträge von 50 bis 70 kg festgestellt. Allein durch die Silierung betrug die Verluste 22 %. Aufgrund der leichten Verderblichkeit des Presssaftes gingen durch die Bioraffinierung weitere 34 bis 39 % verloren, vorwiegend durch Deaminierung, sodass sich die Gesamtverluste bei Lysin auf 39 bis 50 % beliefen. Für die schwefelhaltigen Aminosäuren Methionin und Cystin, die mengenmäßig ca. die Hälfte des Ertrages von Lysin brachten, war die Übertragung in den Presssaft etwas geringer und die Gesamtverluste mit 47 bis 53 %

Tabelle 1: Hektarerträge, Gehaltswerte und Verluste bei Klee gras und Rotklee vom 1. Aufwuchs durch Silierung und Bioraffinierung (Fraktionierung durch Pressung)

Parameter	Einheit	Erntegut im Pressballen				Silage				Presssaft frisch		Presskuchen frisch		Verluste Pressung		Gesamtverluste	
		Klee gras	Rotklee	Klee gras	Rotklee	Klee gras	Rotklee	Klee gras	Rotklee	Klee gras	Rotklee	Klee gras	Rotklee	Klee gras	Rotklee		
Trockenmasse	kg/ha	2942	2711	2620	2692	669	746	1778	1847	173	99	620	163				
	%	112,3	100,7	100	100	25,5	27,7	67,8	68,6	6,6	3,7	20,4	5,8				
Rohprotein	g/kg TM	142	162	146	159	204	208	116	126								
	kg/ha	419	440	382	427	136	155	206	233	39	39	107	68				
	%	109,6	103,0	100	100	35,7	36,3	54,0	54,5	10,3	9,2	24,0	14,8				
Lysin	g/kg TM	17,0	26,2	14,9	20,9	7,8	7,5	11,8	15,3								
	kg/ha	50	71	39	56	5	6	21	29	13	22	26	29				
	%	128,2	126,1	100	100	13,3	9,9	52,8	51,3	33,8	38,7	50,0	39,3				
Methionin + Cystin	g/kg TM	8,2	12,2	7,1	10,2	2,9	3,2	6,4	7,3								
	kg/ha	24	33	19	28	2	2	11	14	6	11	12	18				
	%	129,6	120,4	100	100	10,2	8,7	60,2	50,2	29,6	41,1	47,4	52,5				
aNDFom	g/kg TM	361	310	390	343	0	0	499	447								
	kg/ha	1063	841	1022	923	0	0	887	826	135	97	236	37				
	%	104,0	91,1	100	100	0,0	0,0	86,8	89,5	13,2	10,5	21,6	4,3				
Rohasche	g/kg TM	104	109	107	111	77	186	77	83								
	kg/ha	305	295	280	298	123	139	136	153	20	7	50	7				
	%	109,2	99,1	100	100	44,0	46,5	48,7	51,3	7,3	2,2	15,9	2,3				
Phosphor (P)	g/kg TM	2,9	3,0	3,0	3,0	6,6	6,4	1,5	1,6								
	kg/ha	8,61	8,07	7,92	8,17	4,42	4,73	2,72	3,01	0,77	0,41	1,71	0,80				
	%	108,7	98,8	100	100	55,8	57,9	34,3	36,9	9,9	5,3	19,4	9,5				
Kupfer (Cu)	mg/kg TM	6,7	8,4	7,0	8,6	6,1	7,1	7,4	9,2								
	g/ha	19,6	22,7	18,2	23,2	4,1	5,3	13,1	17,0	1,02	0,93	4,06	1,55				
	%	107,6	97,8	100	100	22,3	22,8	72,1	73,2	5,6	4,0	20,1	6,6				
Gärprodukte	g/kg TM			59	86	133	192	26	39								
	kg/ha			155	231	89	143	46	71	20	17						
	%			100	100	57,4	61,9	29,7	30,8	12,9	7,3						

Gärprodukte = Milchsäure + Essigsäure + Propionsäure + Buttersäure + Ethanol

Verluste Pressung = Masse Silage – Masse Presssaft – Masse Presskuchen frisch

Gesamtverluste = Bruttomasse vor Futterernte – Masse fertiges Futter (Presssaft, re-silierter Presskuchen) vor Futtervorlage

Tabelle 2: Inhaltsstoffe, Mineralstoffe und Gärqualität von Grassilagen vs. resilierten Presskuchen aus der Bioraffinerie in Abhängigkeit der eingesetzten Futterart

Unterschiede zwischen Grassilagen und resiliertem Presskuchen

Parameter	Abkürzung	Einheit	Silage absolut (Benchmark)			resiliert Presskuchen absolut			resiliert Presskuchen relative Differenz zu Benchmark [%]		
			Gras (Vorversuch)	Gras-/Kleegemenge	Rotklee	Gras (Vorversuch)	Gras-/Kleegemenge	Rotklee	Gras (Vorversuch)	Gras-/Kleegemenge	Rotklee
Trockenmasse	TM	g/kg FM	419,6 ^C	316,3 ^B	249,4 ^A	372,0 ^A	369,2 ^A	372,3 ^A	88,7 ^A	116,9 ^B	149,3 ^C
Nährstoffe											
Rohprotein	XP	g/kg TM	135,1 ^A	145,8 ^A	158,8 ^B	101,7 ^A	116,2 ^B	126,0 ^C	75,4 ^A	79,7 ^A	79,5 ^A
Ammoniak	NH ₄	g/kg TM	1,8 ^A	2,3 ^{AB}	2,7 ^B	1,2 ^A	1,3 ^A	1,2 ^A	67,0 ^B	54,5 ^{ab}	47,1 ^A
NH ₄ von N _{total}		%	8,3 ^A	9,8 ^A	10,3 ^B	7,3 ^b	6,7 ^{ab}	6,0 ^a	87,9 ^B	68,3 ^A	59,8 ^A
Neutrale Detergenzien-Faser	NDF	g/kg TM	496,3 ^C	390,2 ^B	342,8 ^A	634,5 ^C	492,5 ^B	440,0 ^A	127,9 ^A	126,2 ^A	128,5 ^A
Säure Detergenzien-Faser	ADF	g/kg TM	336,3 ^C	294,9 ^A	309,0 ^{AB}	433,7 ^B	402,8 ^A	411,8 ^A	129,2 ^A	136,8 ^A	133,4 ^A
Lignin	ADL	g/kg TM	41,0 ^A	32,9 ^A	39,3 ^A	49,3 ^B	40,5 ^A	47,6 ^B	122,5 ^A	123,3 ^A	121,5 ^A
Nichtfaser-Kohlenhydrate	NFC	g/kg TM	198,8 ^A	280,6 ^B	279,6 ^B	102,3 ^A	184,0 ^B	228,8 ^B	51,4 ^A	65,7 ^B	82,0 ^C
Zucker	XZ	g/kg TM		86,7 ^B	40,4 ^A		6,5 ^A	5,5 ^A		7,6 ^A	13,7 ^B
Rohfaser	XF	g/kg TM	292,3 ^B	236,1 ^A	229,8 ^A	374,2 ^B	300,4 ^A	288,6 ^A	128,4 ^A	127,3 ^A	125,9 ^A
Rohfett	XL	g/kg TM	21,6 ^B	17,5 ^A	22,3 ^B	22,0 ^B	28,1 ^B	27,1 ^B	101,7 ^A	160,5 ^C	121,6 ^B
Rohasche	XA	g/kg TM	87,1 ^A	106,7 ^B	110,7 ^C	63,0 ^A	81,2 ^B	84,4 ^B	72,4 ^A	76,2 ^A	76,2 ^A
Mineralstoffe											
Calcium	Ca	g/kg TM	8,4 ^A	12,3 ^B	14,5 ^C	6,3 ^A	10,2 ^B	12,3 ^C	75,1 ^A	82,9 ^B	84,8 ^B
Phosphor	P	g/kg TM	3,08 ^A	3,02 ^A	3,03 ^A	1,8 ^A	1,5 ^A	1,5 ^A	58,6 ^A	50,5 ^A	50,0 ^A
Kalium	K	g/kg TM	28,1 ^A	30,2 ^{AB}	31,7 ^B	13,4 ^A	17,2 ^B	18,1 ^B	48,6 ^A	58,2 ^A	58,8 ^A
Eisen	Fe	mg/kg TM	900 ^B	447 ^A	519 ^A	1087 ^B	676 ^A	743 ^A	121,7 ^A	152,1 ^A	143,4 ^A
Gärqualität											
pH-Wert			4,68 ^A	4,75 ^A	4,58 ^A	4,16 ^B	4,10 ^B	4,22 ^C	88,9 ^{ab}	86,2 ^a	92,1 ^b
Milchsäure	Ms	g/kg TM	35,8 ^A	36,5 ^A	56,9 ^B	57,1 ^A	75,3 ^B	71,3 ^{ab}	170,1 ^A	210,0 ^A	126,2 ^A
Essigsäure	Es	g/kg TM	11,0 ^A	11,4 ^A	14,2 ^B	11,9 ^A	14,0 ^B	13,4 ^B	108,8 ^{ab}	123,3 ^b	94,5 ^A
Propionsäure	Ps	g/kg TM	1,5 ^{AB}	1,5 ^A	2,1 ^B	0,84 ^A	0,95 ^A	0,96 ^A	56,7 ^A	61,8 ^A	46,0 ^A
Buttersäure	Bs	g/kg TM	2,2 ^A	3,5 ^A	6,0 ^B	1,6 ^A	2,9 ^B	3,9 ^B	70,9 ^A	81,6 ^A	65,4 ^A
Ethanol	Eth	g/kg TM	10,7 ^A	6,1 ^A	6,7 ^A	5,1 ^A	4,9 ^A	4,2 ^A	58,3 ^A	80,1 ^A	63,0 ^A
Volatile organische Komponenten	VOC	g/kg TM	61,2 ^A	59,1 ^B	85,9 ^C	76,5 ^A	93,7 ^B	98,0 ^B	134,4 ^A	167,5 ^A	109,4 ^A
Statistik:			Test Tukey-HSD (95%)								
Indizes:			Großbuchstaben zeigen absolute Differenzen in Grassilagen								
			Kleinbuchstaben zeigen absolute Differenzen der verschiedenen resilierten Presskuchen								
			Kleinbuchstaben zeigen relative Differenzen zwischen Grassilagen und resilierten Presskuchen								

tendenziell höher als bei Lysin (Tabelle 1). Fazit, die wertvollen Aminosäuren wurden in unseren Bilanzversuchen durch Gärung und Bioraffinierung stark reduziert.

Neutrale Detergenzienfaser (aNDFom) nahm anteilmäßig die größte Masse ein. Bis zum Ende der Gärung konnte eine geringfügige Reduktion festgestellt werden. In den Presssaft wurden keine Faserbestandteile aus der Silage überführt, daher verblieb die meiste Faser im Presskuchen. Der Effekt der Fraktionierung über die Futterpressung bewirkte im Presskuchen einen Anstieg der aNDFom-Gehalte um ca. 100 g/kg TM gegenüber der Silage. Die Massenbilanz für aNDFom ergab einen Gesamtverlust von 22 % NDF für Kleegrass und 4 % für Rotklee (Tabelle 1).

Die Rohaschegehalte (XA) im Feldfutter lagen zwischen 104 und 111 g/kg TM. Durch die Pressung der Silagen wurden 44 bis 47 % von XA in den Presssaft transferiert, während 2 bis 7 % an XA bei der Bioraffinierung verloren gingen. Im Presskuchen reduzierten sich die XA-Gehalte gegenüber der Silage um ca. 30 g/kg TM. Die gesamten Massenverluste an XA vom Grünfütter bis zum fertigen Futter betragen 2 bis 16 %. Beim Phosphor (P) waren die Gehaltswerte im Futter, wahrscheinlich in Verbindung mit der biologischen Wirtschaftsweise, mit 2,9 bis 3,0 g/kg TM eher mäßig. Mit der Pressung gelangten 56 bis 58 % an P in den Presssaft und 5 bis 9 % gingen bei der Pressung verloren, sodass der Presskuchen nur mehr 1,5 bis 1,6 g P/kg TM enthielt. Die Gesamtverluste lagen zwischen 10 und 19 % P. Völlig anders verhielt sich die Situation beim Kupfer (Cu). Hier

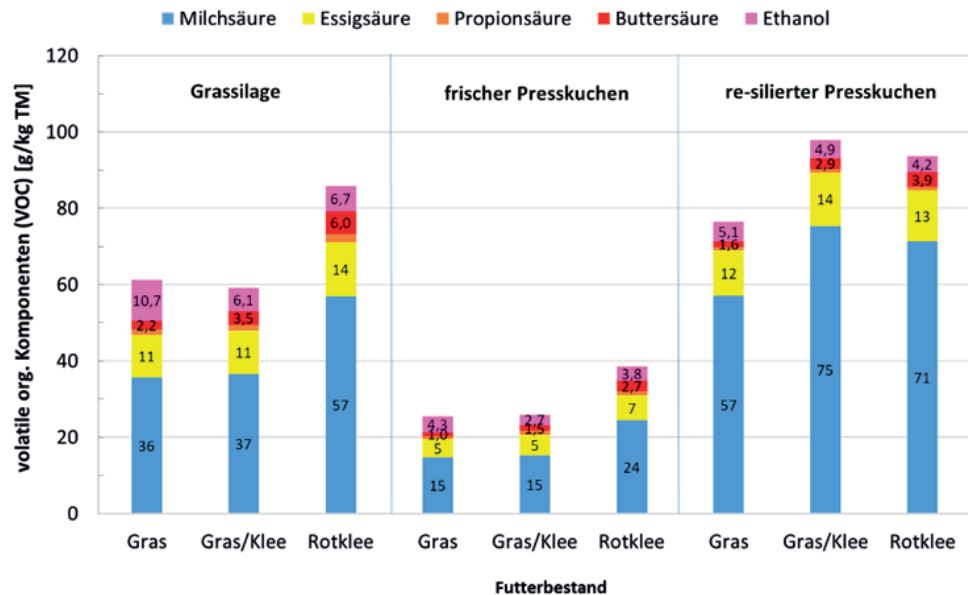
wurden im Zuge der Pressung nur rund 22 % Cu in den Presssaft überführt, sodass im Presskuchen die Kupfergehalte höher waren als in der Silage (Tabelle 1). Letztlich waren auch bei Kupfer gesamte Massenverluste zwischen 7 bis 20 % vorhanden.

In die Bilanzierung wurden zusätzlich noch die Fermentationsprodukte der Gärung, wie Milchsäure, flüchtige Fettsäuren und Ethanol einbezogen. Immerhin wurden je Hektar Futter zwischen 155 und 231 kg Gärungsprodukte erzeugt. Mit der Pressung wanderten 57 bis 62 % dieser Produkte in den Presssaft, wodurch dieser sehr hohe Gehalte von 133 bis 192 g Gärprodukte/kg TM enthielt. Im frischen Presskuchen wurden die Summengehalte an Gärprodukten hingegen mehr als halbiert. Die Re-Silierung der Presskuchen initiierte eine neuerliche Milchsäuregärung, wodurch nach RESCH et al. (2022) die Gärproduktgehalte im re-silierten Presskuchen um das doppelte bis 3-fache anstiegen und eine sehr gute Gärqualität aufwiesen.

Die TM-Gehalte der Grassilagen unterschieden sich vor der Anwässerung signifikant voneinander. Die Pressung der angewässerten Grassilagen führte zu einer einheitlichen Anhebung des TM-Gehaltes in den Presskuchen auf rund 370 g/kg FM. Die chemische Zusammensetzung der Presskuchen war gegenüber der originalen Silage signifikant verändert. Der NDF-Gehalt stieg um etwa 100 g/kg TM, ansonsten waren die Reduktion von Protein (-11 bis -24 %), Mineralstoffen (-25 bis -30 %), Zucker (-50 %) und Gärungsprodukten (-55 bis -57 %) am bedeutungsvollsten (Tabelle 2).

Die Gärungsprodukte erhöhten sich durch die neuerliche Silierung signifikant gegenüber dem frischen Presskuchen. Die Re-Silierung bewirkte eine ausgeprägte Milch- und Essigsäuregärung (Abbildung 3), welche die pH-Werte signifikant unter den kritischen pH-Wert senkte und für eine sehr gute Gärqualität sorgte. Durch die zweite Gärung wurde praktisch fast der gesamte Zucker und auch ein Teil der NFC der Presskuchen verbraucht.

Abbildung 3: Gärungsprodukt-Muster von Grassilagen sowie von frischem und re-siliertem Presskuchen aus der Bioraffinierung in Abhängigkeit verschiedener Futterbestände



4 Schlussfolgerung

In Arbeitspaket C5.1 des Forschungsprojektes „Farm4More“ (LIFE18CCM/IE/001195) wurden die silierten Grundfuttermittel Kleeergras und Rotklee vom 1. Aufwuchs 2021 mittels Schneckenpresse in eine flüssige und feste Phase fraktioniert. Vom Feld bis zum fertigen Futtermittel wurden die Massen erhoben, um die Stoffströme und Prozessverluste abbilden zu können. Wir konnten nachweisen, dass allein die Vergärung zu Silage

die essentiellen Aminosäuren (Lysin, Methionin und Cystin) um ca. 20 % und TM sowie Rohprotein um bis zu 10 % gegenüber dem Grünfutter reduzierten. Die Pressung der angewässerten Silagen (TM 230 g/kg FM) bewirkte eine stoffliche Übertragung von 26 bis 28 % TM in den Presssaft, wobei verschiedene Stoffe unterschiedlich stark in die Flüssigfraktion transferiert wurden: Kupfer ca. 22 %, Rohprotein ca. 36 %, Rohasche 44-46 %, Phosphor (P) 56-58 %, Gärprodukte 57-62 %. Im leicht verderblichen Saft ging ein guter Teil der wertvollen Aminosäuren durch Deaminierung verloren. Im Presskuchen veränderten sich die Nähr- und Mineralstoffgehalte gegenüber der Silage signifikant: z.B. 30 g weniger Rohprotein, 100 g mehr aNDFom/kg TM. Die Massenbilanzierung zeigte uns, dass sich vom Grünfutter bis zum fertigen Futtermittel Verluste summieren: bei Rotklee 5,8 % TM und 15 % Rohprotein bei Klee gras 20,4 % TM und 24 % Rohprotein. Insofern muss bei der Bioraffinierung besonderes Augenmerk auf eine rasche Konservierung oder Eindampfung des leicht verderblichen Pressaftes und auf eine Optimierung der Prozesse gelegt werden, um die stofflichen Verluste zu reduzieren.

Wir konnten nachweisen, dass die Resilierung von bioraffinierten Presskuchen aus Grassilagen mit unterschiedlichen Futterbeständen erfolgreich funktionierte, indem eine neuerliche Milchsäuregärung ausgelöst wurde, sogar wenn der frische Presskuchen mehrere Stunden der Außenluft ausgesetzt war. Der Futterwert der strukturangereicherten Presskuchen war deutlich geringer als jener von Grassilage, weil durch die Pressung viel Protein, Mineralstoffe, Zucker und Gärprodukte in den Presssaft gelangten. Die Presskuchen enthielten etwa 100 g mehr NDF/kg TM als die Grassilagen.



Die Autoren bedanken sich für die finanzielle Beteiligung der Europäischen Union zum Life-Projekt „LIFE Farm4More - Future Agricultural Management for multiple outputs on climate and rural development“ mit der Projektnummer LIFE 18 CCM /IE/001195 Farm4More.

Weitere Infos zum Projekt über www.farm4more.eu

5 Literaturverzeichnis

COLAS, D., DOUMENG, C., PONTALIER, P.Y. and L. Rigal, 2013: Green crop fractionation by twin-screw extrusion: Influence of the screw profile on alfalfa (*Medicago sativa*) dehydration and protein extraction. *Chemical engineering and processing: Process Intensification*, 72, 1-9.

EUROPEAN PARLIAMENT, 2011: Report A7-0026/2011 4.2.2011. The EU protein deficit: What solution for a long-standing problem? (2010/2011(INI)) Committee on Agriculture and Rural Development, Rapporteur: Marin Häusling.

KROMUS, S., WACHTER, B., KOSCHUH, W., MANDL, M., KROTSCHKEK, C. und M. NARADOSLAWSKY, 2004: The green biorefinery Austria-development of an integrated system for green biomass utilization. *Chemical and biochemical engineering quarterly*, 18(1): 7-12.

LOSAND, B. und B. WALDMANN, 2003: Mit der Mikrowelle auf der richtigen Spur. *Dlz, Tierhaltung* (3) 2003: 126-128.

PIRIE, N.W., 1987: Leaf protein and its by-products in human and animal nutrition. Cambridge University Press.

RINNE, M., TIMONEN, P., STEFANSKI, T., FRANCO, M., VAINIO, M., WINQUIST, E. and M. SIIKA-AHO, 2018: Grass silage for biorefinery – Effects of type of additive and **separation** method. XVIII International Silage Conference, Bonn, Germany, July 2018, 182-183.

RESCH, R., WINTER, M., MANDL, M., STEINWIDDER, A., SWEENEY, J. und K. McDONNELL, 2022: Futter- und Gärqualität von resilierten Presskuchen aus der Bioraffinierung von verschiedenen Grassilagen. 76. ALVA-Jahrestagung, Steiermarkhof, 30.-31. Mai 2022, Graz, 159-161.

RESCH, R., WINTER, M., MANDL, M., STEINWIDDER, A., SWEENEY, J. und K. McDONNELL, 2022: Erträge und Verluste bei Prozessen der Bioraffinierung von Grünlandfutter. 77. ALVA-Jahrestagung, Landwirtschaftskammer Oberösterreich, 22.-23. Mai 2023, Linz, 299-303.

STEINHÖFEL, O., 2020: Konservierung von Futtermitteln, In: Jeroch, H.; Drochner, W.; Ro-dehutschord, M.; Simon, A., Simon, O. und Zentek, J.(Hg.): Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 3. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, 310-335.

STØDKILDE, L., LASHKARI, S., ERIKSEN, J. und S.K. JENSEN, 2021: Enhancing protein recovery in green biorefineries through selection of plant species and time of harvest. *Animal Feed Science and Technology*, 278, 115016.

VDLUFA, 1976: Methodenbuch Band III – Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, inkl. Ergänzungsblätter 1983, 1988, 1993, 1997, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.