

BUNDESMINISTERIUM  
FÜR NACHHALTIGKEIT  
UND TOURISMUS

HBLFA RAUMBERG - GUMPENSTEIN  
LANDWIRTSCHAFT

**Bi**  **Institut**  
raumberg-gumpenstein.at/bio-institut



**Universität für Bodenkultur Wien**  
**Department für Nachhaltige Agrarsysteme**  
**Institut für Nutztierwissenschaften**

**Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein**  
**Institut für Biologische Landwirtschaft und Biodiversität der Nutztiere**

# **Auswirkungen einer Düngung mit elementarem Schwefel am Dauergrünland auf Ertrag und Futterqualität**

## **Masterarbeit**

Masterstudium Nutztierwissenschaften

Vorgelegt von

**Stefanie Kiendler**

**Betreuer:**

Priv. Doz. Dr. Andreas Steinwider

DI. Walter Starz

Ao. Univ. Prof. Dr. Wilhelm Knaus

Juni 2018, Wien

**„Danke“...**

...**Mami** und **Papa**, für den Glauben an mich und die unermesslich große Unterstützung in jeder Lebenslage. Ihr habt mir ein sicheres und liebevolles Zuhause gegeben indem ich mich entfalten und verwirklichen konnte. Ihr habt mir die Liebe an der Landwirtschaft weitergegeben.

...**Bettina**, für die Liebe die Geschwister ein Leben lang verbindet, für den Ansporn nie aufzugeben und deinen Rückhalt auf den ich mich immer verlassen kann.

...**David**, für deine Liebe und deine unermesslich große Geduld mit mir. Mit dir an meiner Seite kann ich alles schaffen! Du bist meine große Liebe und meine Zukunft.

...**Walter**, für die Bereitstellung dieses interessanten Themas, deine Zeit, deine Unterstützung und deine Freundschaft.

...**Andreas**, für deine fachliche Expertise und den Ansporn mich stets zu verbessern.

...**Prof. Knaus**, für alle Ihre Verbesserungsvorschläge und dafür, dass Sie immer wieder Worte fanden um mich zu motivieren.

...An alle meine **Studienkollegen**, vor allem an Vera und Angi, die meine Zeit in Wien unvergesslich machten. Ich werde immer mit Freude auf diese schöne Zeit zurückblicken.

## Zusammenfassung

Schwefel ist ein essenzielles Mengenelement und daher unverzichtbar in der Pflanzenernährung. Da sich der Schwefeleintrag aus der Umwelt in den letzten 30 Jahren um ca. 80 % verringert hat, ist es notwendig, die Versorgungslage der Grünlandbestände zu untersuchen und mittels Feldbilanzierung etwaige Schwefelentzüge aufzuzeigen. Weiters werden Auswirkungen einer zusätzlichen Schwefeldüngung auf den Qualitäts- sowie Mengenertrag erhoben und die daraus folgenden Konsequenzen für die Tierernährung genauer beleuchtet. Zu diesem Zweck wurde ein Grünland-Düngungsversuch mit Schwefel (einfaktorielle Blockanlage mit vierfacher Wiederholung) durchgeführt, wobei die Versuchsfläche pro Jahr vier Mal geschnitten wurde. In den Versuchsjahren 2016 und 2017 wurde der Schwefeldünger jeweils im Frühjahr in den Düngerstufen 0, 30, 60, und 90 kg/ha (Varianten S0, S30, S60 und S90) ausgebracht. Dabei wurde ein elementarer Schwefeldünger verwendet. Im Rahmen dieses Düngungsversuches wurden Bodenbeprobungen und pflanzliche Bonituren auf Arten- bzw. Artengruppenebene durchgeführt.

Bei Verzicht auf zusätzlichen Schwefeldünger errechnete sich aufgrund der Schlagbilanzierung ein Schwefelentzug (negative Bilanz) von rund 14 kg/ha und Jahr. Diese Verringerung des Schwefelgehaltes im Boden konnte anhand der punktuell gezogenen Bodenprobenergebnisse nicht bestätigt werden.

Eine signifikante Steigerung der Mengen- und Qualitätserträge wurde durch eine zusätzliche Schwefeldüngung von 60 bzw. 90 kg/ha erreicht. Demnach wurden der Jahrestrockenmasseertrag um 1.126 kg/ha, der Energieertrag um 6.936 MJ NEL/ha/a und der Rohproteingehalt um 229 kg/ha/a gesteigert. Der Schwefelgehalt im Futtermittel selbst wurde durch die Schwefeldüngung nicht beeinflusst.

Aufbauend auf den Rohnährstoff- und Energiegehalten des Versuchspflanzenbestandes wurde eine Futtermischung für eine laktierende Kuh erstellt. Die nach Protein und Energie ausgeglichene Ration, bestehend aus 1/3 Heu, 1/3 Grassilage und 1/3 Krafffutter (Mais, Trockenschnitzel und Sojabohne) wurde für eine Holstein Friesian (HF) Kuh in der 3. Laktation am 140. Laktationstag auf einem Betrieb mit hohem Managementniveau und einer Milchleistung von 30 kg/Tag gerechnet. Aufgrund der analysierten Schwefelgehaltswerte sowie der Referenzwerte aus der Literatur wurde eine Schwefelübersorgung von 22 g/Tag bzw. 0,9 g/kg Trockenmasse (TM) errechnet.

Aufgrund der Schwefeldüngung wurden die Mengen- und Qualitätserträge signifikant gesteigert. Der Schwefelgehalt des Futters selbst wurde dadurch nicht beeinflusst. Dennoch ist bei einer Schwefeldüngung eine chemische Untersuchung des Schwefelgehaltes im Erntegut ratsam, um Schwefelübersorgungen vorzubeugen.

Schlagwörter: **Schwefeldüngung, Dauergrünland, Ertrag, Biologische Landwirtschaft, Milchkühe**

## **Abstract**

Sulfur is an essential macro element and therefore essential in plant nutrition. The sulfur input from the environment has been decreasing by approx. 80 % during the last 30 years. Therefore, it is necessary to develop a detailed assessment of the supply level of grassland and to find out the need of additional sulfur fertilization. To assess the need of sulfur fertilization in grassland, a fertilization trial using a single-factor block design with four replications was carried out. Within one growing season the permanent grassland for this experiment was cut four times. The fertilizer on the basis of elementary sulfur was applied in four different levels 0, 30, 60 and 90 kg ha (variants S0, S30, S60 and S90). In the years 2016 and 2017 the sulfur fertilizer was always applied in spring. The soil from the trial plots was sampled in spring and autumn to determine changes in the sulfur content. Also the botanical composition was surveyed in spring.

With an additional sulfur fertilizer in amounts of 60- 90 kg/ha feed quality and quantity were significantly increased. Accordingly, the annual dry matter yield increased by 1,126 kg /ha, the energy yield increased by 6,936 MJ NEL/ha/a and the amount of crude protein increased by 229 kg/ha/a.

In the absence of an additional sulfur fertilizer, the calculation resulted in a decreasing sulfur content in the soil of about 14 kg/ha and year. This calculated reduction in soil sulfur content could not be confirmed by the analyses of soil samples.

Using the feed from this permanent grassland in a ration for a well managed mid-lactation Holstein Friesian dairy cow (third lactation, 30 kg of milk/day; composition of ration: 1/3 hay, 1/3 grass silage and 1/3 concentrates, which consisted of corn grain, dried sugar beet pulp and soybeans) led to an oversupply of sulphur by 22 g/day or 0.9 g/kg DM based on the sulphur requirements found in the literature.

Because of the sulfur fertilizer the quality and quantity of the feed from this grassland was significantly increased. The sulfur content of the feed did not increase. However, chemical analysis of the sulfur content of the feed should be part of a sulfur fertilization strategy to prevent sulfur surpluses.

**Keywords: sulphur fertilisation, grassland, yield, organic farming, dairy cows**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Ziele und Forschungsfragen</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Literaturübersicht</b>	<b>3</b>
3.1	Schwefel in der Pflanze	3
3.2	Schwefel in der Tierernährung	4
3.3	Schwefel im Boden	8
3.4	Elementarer Schwefel und andere Düngerarten	10
3.5	Gewinnung von elementarem Schwefel	10
3.6	Schwefelgehalte in handelsüblichen Düngermitteln	11
<b>4</b>	<b>Datengrundlagen, Material und Methoden</b>	<b>12</b>
4.1	Versuchsstandort	12
4.2	Versuchsdesign	14
4.3	Düngung	16
4.4	Bodenproben	16
4.5	Aufnahme des Pflanzenbestandes	17
4.6	Ertrag und Futterqualität	18
4.7	Zeitplan und Maßnahmen im Feldversuch	19
4.8	Schlagbilanzierung	21
4.9	Statistik	22
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>23</b>
5.1	Pflanzenbestand und LAI	23
5.2	Mengen- und Qualitätsparameter	32
5.3	Schwefelaufnahme einer Milchkuh	45
5.4	Schlagbilanzierung und Bodenproben	46
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>49</b>
6.1	Ausgangssituation hinsichtlich des Pflanzenbestandes	49
6.2	Wird durch eine Düngung mit elementarem Schwefel der Anteil an Leguminosen auf einer Schnittwiese gefördert?	49
6.3	Kann durch eine Düngung mit elementarem Schwefel über Rindergülle der Mengen- und Qualitätsertrag von Grünland beeinflusst werden?	50
6.4	Wirkt sich eine Düngung mit Schwefel auf die Milchviehfütterung aus?	52
6.5	Wie wirkt sich eine Schwefeldüngung auf die Schwefel-Feldbilanzierung aus?	52
<b>7</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>54</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>55</b>
<b>9</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>60</b>
<b>10</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>63</b>
<b>11</b>	<b>Anhang</b>	<b>64</b>

# 1 Einleitung

Schwefel ist ein essenzieller Bestandteil in der Pflanzen- und Tierernährung. Vor allem bei der Synthese der Aminosäuren Cystein und Methionin ist Schwefel unverzichtbar (Mengel, 1961; NRC, 2001).

In der Tierernährung muss die tägliche Deckung des Schwefelbedarfs über das aufgenommene Futter und das Tränkewasser erfolgen (Abrol und Ahmad, 2003). Dies setzt ausreichende Schwefelgehaltswerte im Trinkwasser und in den Futterpflanzen voraus. Die Pflanze kann Schwefel über die Wurzeln oder die Stomata der Blätter aufnehmen (Mengel, 1961). Bis zum Beginn der 1980er Jahre wurde der Schwefelbedarf in der Landwirtschaft über Schwefeldioxid-Emissionen ( $\text{SO}_2$ ) aus der Industrie, des Kleinverbrauchs und der Energieversorgung reichlich gedeckt (Anderl et al., 2016). Flüchtige Bestandteile dieser Emissionen oxidieren in der Atmosphäre zu Sulfaten und gelangen über den Regen wieder zurück auf die Erde (Takahashi et al., 2011). Durch den Einbau von gesetzlich vorgeschriebenen Rauchgasentschwefelungsanlagen wurde beispielsweise in Norddeutschland die  $\text{SO}_2$ -Emission innerhalb von zehn Jahren um 60 % gesenkt (Hagel, 2000). Die  $\text{SO}_2$ -Emission konnte weiters durch die Absenkung des Schwefelanteils in Mineralölprodukten und Treibstoffen, den Einbau von Entschwefelungsanlagen gemäß dem Luftreinhaltegesetz und durch den Einsatz von schwefelärmeren Brennstoffen von 1990 bis 2014 in Österreich um 78 % gesenkt werden (Anderl et al., 2016). Dies führte dazu, dass der derzeitige Schwefeleintrag aus der Umwelt bei 10 kg/ha und weniger liegt (BMLFUW, 2006; Hu et al., 2005). Auch die Zusammensetzung der Mineralstoffdünger hat sich geändert. Die heute verwendeten Düngerarten sind oft arm an Schwefel (Metson, 1979). Während früher noch Mineralstoffdünger wie Ammonium-Sulfate mit Schwefelgehalten von 24 % und einfache Superphosphate mit 10 - 12 % Schwefel verwendet wurden, sind heute die marktüblichen Nitratdünger mit 0 % Schwefel und dreifach Superphosphate mit gerade einmal 1,5 % Schwefel üblich (Brown et al., 2000). Auch der vermehrte Anbau von schwefelzehrenden Ackerfrüchten, wie Raps, entzieht dem Boden zusätzlich Reserven (Kamphues et al., 2014).

## 2 Ziele und Forschungsfragen

Ziel dieser Arbeit war es, die Wirkungen einer elementaren Schwefeldüngung auf einem biologisch geführten Grünlandbestand zu untersuchen. Dabei standen vor allem Mengen- und Qualitätsparameter im Fokus der Untersuchung. Weiters wurde überprüft, ob sich eine Schwefeldüngung auf den Schwefelgehalt der Futterpflanzen auswirkt, und in weiterer Folge sollten die Konsequenzen für die Tierernährung beschrieben werden. Änderungen im Pflanzenbestand sollten durch eine Bonitierung auf Artenebene dokumentiert werden, um eventuelle Auswirkungen der Schwefeldüngung nachzuweisen. In einem weiteren Schritt wurde eine Schlagbilanzierung aufgestellt, um mögliche Schwefeldefizite im Boden zu erheben. Mittels einer Bodenbeprobung sollte die rechnerische Bilanzierung überprüft werden. Aufgrund dieser Zielsetzung wurden folgende Forschungsfragen aufgestellt:

- Kann durch eine Düngung mit elementarem Schwefel über Rindergülle der Mengen- und Qualitätsertrag von Grünland (TM, MJ NEL und XP) beeinflusst werden?
- Wirkt sich eine Düngung mit Schwefel auf den Schwefelgehalt im Grünfutter aus und welche Konsequenzen hat dies in der Milchviehfütterung?
- Wird durch eine Düngung mit elementarem Schwefel der Anteil an Leguminosen auf einer Schnittwiese gefördert?
- Wie wirkt sich eine Schwefeldüngung auf die Schwefel-Feldbilanzierung aus?

## 3 Literaturübersicht

### 3.1 Schwefel in der Pflanze

Schwefel ist ein essenzielles Makroelement und daher unverzichtbar in der Pflanzenernährung (Nikiforova et al., 2005). Er spielt eine zentrale Rolle im pflanzlichen Wachstum sowie in der Entwicklung. Vor allem in den schwefelhaltigen Aminosäuren Cystein und Methionin, die als Baustoff für Proteine dienen, aber auch als wichtiger Co-Faktor von Enzymen (Abrol und Ahmad, 2003) sowie als Bestandteil von B-Vitaminen, wie Biotin und Thiamin, (Crawford, 2007) hat Schwefel eine zentrale Bedeutung. Biologisch aktive Komponenten, die Schwefel beinhalten, haben auch einen medizinischen Nutzen für die Pflanze (Abrol und Ahmad, 2003).

Schwefel wird hauptsächlich als Sulfat über das Wurzelsystem absorbiert (Abrol und Ahmad, 2003). Dafür sind spezielle Sulfattransporter an der Wurzel verantwortlich. Die aufgenommenen Sulfate werden in der Pflanze zu den Chloro- bzw. Leukoblasten transportiert, wo sie anschließend reduziert werden. Es entsteht Glutathion und S-Methylmethionin. In dieser Form kann sich der Schwefel in der Pflanze frei bewegen und zum Ort des Bedarfs transportiert werden (Rennenberg et al., 1979; Hell, 2002). Der absorbierte Schwefel, welcher in Cystein und Methionin, zwei der bedeutendsten Aminosäuren eingebaut wird, ist für den primären und sekundären Metabolismus der Pflanze von großer Bedeutung. Cystein ist das erste Kohlenstoff-/Stickstoff-reduzierte Schwefelprodukt, welches aus dem Sulfat-Assimilationsverlauf resultiert. Cystein ist nicht nur eine wichtige Aminosäure, sondern dient auch als Baustoff zur Synthese von Methionin, Glutathion, Vitaminen, Co-Faktoren und anderen Schwefelkomponenten, die eine bedeutende Rolle in der Entwicklung und im Wachstum der Zelle spielen. Diese Schwefelvorkommen bedienen weiters eine Vielzahl von fundamentalen Prozessen, wie beispielsweise die Photosynthese und den Kohlenstoff-Stickstoffmetabolismus (Droux, 2004). Das Tripeptid Glutathion hat noch eine weitere wichtige Rolle in der Stressabwehr sowie in der Entgiftung der Pflanzenzellen (Hell, 2002). Der Schwefelbedarf variiert bei den verschiedenen Pflanzen und in den unterschiedlichen Entwicklungsstadien. Es ist also Aufgabe des Schwefelstoffwechsels, die adäquate Menge Schwefel zur Optimierung des vegetativen Pflanzenwachstums und weiters zur Versorgung der Fortpflanzungsorgane bis hin zur Samenproduktion in ausreichender Menge bereitzustellen. Es wird also immer so viel Schwefel aus dem Boden aufgenommen, wie für das jeweilige Wachstumsstadium benötigt wird. Besteht ein Überschuss an Schwefel, so kann dieser in den Vakuolen der Pflanze zwischengespeichert werden, wo er jederzeit wieder mobilisiert werden kann (Hawkesford und De Kok, 2006; Hell, 2002). Bei einem Schwefelmangel kommt es zu einem systematischen innerlichen Ungleichgewicht im pflanzlichen Metabolismus (Nikiforova et al.,

2005). Das Überleben der Pflanze steht im Fokus des Systems. Sie verwendet ihre Ressourcen für die Saatgutproduktion und stellt das Wachstum zurück, um eine frühe Blüte zu fokussieren (Nikiforova et al., 2004). Begleitet wird dies von einer Verringerung der metabolischen Aktivität, einer reduzierten Biomasse-Produktion, einer geringeren Proteinmenge und einem geringeren Chlorophyll-Gehalt in der Pflanze. Die geringeren Proteinmengen bei einem Mangel an Schwefel resultieren aus der Tatsache, dass die Hälfte der absorbierten Schwefelmenge direkt zur Produktion der Proteine verwendet wird, wie ein Versuch mit Raps gezeigt hat (Blake-Kalff et al., 1998). Weiters wird durch eine Verminderung der RNA-Werte eine Reduktion der photosynthetischen Aktivität vermutet (Hirai et al., 2004). Demnach verursacht ein Schwefelmangel eine Kettenreaktion in der Pflanze, welche die Produktion von Sulfid, Cystein und in weiterer Folge Methionin und somit die Proteinsynthese blockiert (Hell, 2002).

### *Schwefelversorgung der Leguminosen*

Für den Aufbau der Spross- und Wurzelmasse von Leguminosen ist eine hinreichende Schwefelversorgung unerlässlich (Robson et al., 1995). Auch die symbiotische Stickstofffixierung ist maßgeblich vom Vorhandensein des Schwefels abhängig, da der Enzymkomplex, der dafür verantwortlich ist (Nitrogenase), Schwefel an zentraler Stelle enthält (Bothe et al., 1983). Dies bedeutet, dass bei einem Mangel an Schwefel die Produktion der stickstofffixierenden Knöllchenbakterien, die sogenannten Rhizobien, sinkt (Munshi und Juneja, 2001). Ein im Jahr 2011 durchgeführter Schwefeldüngeversuch von *Fischinger et al.* (2011) hat einen um 70 % höheren Stickstoffgehalt im Erntegut im Vergleich zur ungedüngten Kontrollgruppe ergeben. Dies lässt sich auf die schwefelbedingt höhere Stickstofffixierung zurückführen (Fischinger et al., 2011). Im Pflanzenbestand ist ein Schwefelmangel durch Chlorosen an den jüngsten Blättern und an einem verminderten Wachstum erkennbar (Bergmann, 1986).

## **3.2 Schwefel in der Tierernährung**

Tiere müssen ihren Schwefelbedarf über das Futter und das aufgenommene Wasser decken (Abrol und Ahmad, 2003). Schwefel wird von den Tieren hauptsächlich zum Aufbau körpereigener Substanzen und zur Bereitstellung ihrer Produkte, wie Milch, Eier, Haare und Wolle, benötigt (Kamphues et al., 2014; Abrol and Ahmad, 2003). Der genaue Schwefel-Bedarf wird in der Fachliteratur stark diskutiert. *Willms* (2005) geht von 0,23 % Schwefel im Tierkörper aus, wobei das *National Research Council* (NRC) einen Wert von 0,15 % des Körpergewichts angibt (Kamphues et al., 2014). Je nach Leistung steigt der Schwefeltagesbedarf. 1 kg Milch beinhaltet 0,3 g Schwefel, 1 kg Wolle 25 g Schwefel und 1

kg Haare 38 g Schwefel (Abrol und Ahmad, 2003; Underwood und Suttle, 1999). Haare, Federn, Hufe und Klauen bestehen zu einem Großteil aus Cystin, einem Produkt des Cystein, das zu den schwefelhaltigen Aminosäuren zählt, welches somit den Hauptteil des Schwefelvorkommens im Tierkörper bilden (Plackett, 2011).

### Schwefelversorgung beim Wiederkäuer

Nur 30 % des im Futter enthaltenen Schwefels werden im Tier behalten, der Rest wird über Kot und Urin ausgeschieden (Abrol und Ahmad, 2003).

Dabei hat der Schwefel viele verschiedene Aufgaben im Metabolismus des Wiederkäuers, so ist er ein essenzieller Bestandteil in der mikrobiellen Biomasse. Die Mikroorganismen im Pansen haben die Fähigkeit, den Schwefel aus dem Futter zu Sulfiden umzuwandeln, welche weiters als Bausteine für die Bildung von Mikrobenprotein dienen (Whitehead, 2000). Dieses mikrobielle Protein wird später im Dünndarm absorbiert (McDowell, 2003), wo es gemeinsam mit dem UDP (undigestible protein) zur Deckung des Proteinbedarfes dient. Dabei ist vor allem das Verhältnis von Stickstoff zu Schwefel von großer Bedeutung. Kommt es im Pansen zu einer Schwefelmangelsituation, wird der Stickstoffkreislauf blockiert (Uwituze et al., 2011). Der Schwefelgehalt in der Ration sollte, abhängig vom Proteingehalt des Futtermittels, bei 1,6 bis 2 g/kg Trockenmasse (TM) liegen. Schafe haben einen etwas höheren Schwefelbedarf aufgrund des höheren Schwefelgehaltes der Wolle (Underwood und Suttle, 1999) (Tabelle 1).

*Tabelle 1: Optimales Stickstoff : Schwefel (N:S) Verhältnis in der Ration für die Mikrobenproteinsynthese im Pansen für Rind, Schaf und Ziege*

Tierart	optimales Verhältnis von N:S
Rind	14 : 1*
	10-15 : 1**
Schaf	10-13,5 : 1**
Ziege	7,2-10 : 1**

\*Underwood und Suttle (1999)

\*\* Puls (1994)

Werden Milchkühe mit Luzerne-Heu gefüttert, das bei einem Schwefelanteil von 0,24 % einen hohen Proteingehalt von 23 % und einen Stickstoffgehalt von 3,02 % aufweist, entsteht ein Stickstoff : Schwefel Verhältnis von 11,2 : 1 (Qi et al., 1994). Diese Futterkomponente

wäre für die Fütterung von Rindern und Schafen daher ideal, da ein ideales Stickstoff : Schwefel Verhältnis besteht.

Das überschüssige Sulfid im Pansen, welches nicht zur Mikrobenproteinbildung verwendet wird, wird in das Blut absorbiert und von dort in die Leber transportiert, wo es zu Sulfat oxidiert wird (Kandyliis, 1984; Whitehead, 2000). Das Sulfat wird schließlich mit dem Blut an die Bestimmungsorte, wie innere Organe, Muskeln, Gehirn, Haare, Wolle oder Milch, transportiert (Wall, 2016). Ein Teil des Sulfatschwefels, der nicht gebraucht wird, wird in den Pansen rückgeführt. Diese Recycling-Funktion ist besonders bei sinkenden Schwefelgehalten im Futter wichtig. Der überschüssige Rest wird über den Urin ausgeschieden (Whitehead, 2000). Eine weitere metabolische Funktion des Schwefels ist das Ausschalten der toxischen Wirkung von Phenolen und Indolen für die Wiederkäuer. Phenole und Indole entstehen bei bakterieller Aktivität im Verdauungstrakt. Durch die Verbindung mit Sulfat wird die Toxizität aufgehoben und die Verbindungen können danach über den Urin ausgeschieden werden (Whitehead, 2000).

Weiters ist Schwefel auch ein wichtiger Parameter für den Säure-Base-Haushalt der Wiederkäuer, welcher als DCAB-Wert (Dietary Cationen-Anionen-Bilanz) angegeben wird. Dabei wird das Verhältnis zwischen Anionen und Kationen in der Ration dargestellt:

$$\text{DCAB} = (\text{Na}^+ + \text{K}^+) - (\text{Cl}^- + \text{S}^{2-})$$

*nach (Block, 1984)*

Diese Formel wird in Milliequivalenten (meq) angegeben, wobei 1 g Natrium 43,5, 1 g Kalium 25,6, 1 g Chlor 35,5 und 1 g Schwefel 32 Milchequivalenten entspricht (Brade, 2005). Eine positive DCAB um 200 meq/kg TM lässt auf einen Kationenüberschuss schließen (Na, K), was eine basische (alkalische) Stoffwechsellage kennzeichnet (Rérat et al., 2010; Schulze und Malkow-Nerge, 2017). Im Gegensatz dazu führt eine niedrige bis hin zu einer negativen DCAB zu einem Anionenüberschuss (Cl, S), der weiters zu einer metabolischen Acidose führt (Rérat et al., 2010). Diese ansäuernde Wirkung wird in der Literatur ab einem DCAB-Wert von 50 meq/kg TM oder weniger beschrieben (Schulze und Malkow-Nerge, 2017).

Befindet sich das Tier in einer basischen Stoffwechsellage, verringert sich die Wirkung des Parathormons, welches für die Kalziumausschüttung aus den Knochen verantwortlich ist. Somit ist der Kalzium-Regulationsmechanismus gestört, was das Milchfiebrisiko steigen lässt. Deshalb ist von einer basischen Versorgungslage während der Trockenstehzeit abzuraten. In dieser kritischen Phase sollte deshalb auf eine saure Stoffwechsellage (ca. 50 meq/kg TM in der Ration) hin gefüttert werden, welche beispielsweise durch

schwefelreichere Rationsbestandteile erreicht werden kann (Schulze und Malkow-Nerge, 2017).

Allerdings verursacht ein zu hoher Anionenüberschuss in der Ration während der Laktation Probleme. Auch wenn der Fasergehalt mit den Stärke- und Zuckerbestandteilen in der Ration in einem für die Wiederkäuer ausgewogenen Verhältnis liegt, kann es durch einen Säureüberschuss in der DCAB zu einer subkutanen Azidose kommen. Dies wurde besonders bei Rationen mit hohem Rapsanteil (hoher Schwefelgehalt) beobachtet (Miller, 2017).

#### *Schwefelunterversorgung von Wiederkäuern*

Kommt es im tierischen Organismus zu einer Schwefel-Mangelsituation, wird die mikrobielle Syntheseleistung eingeschränkt, wodurch es zu einem verminderten Faserabbau im Pansen kommt. Infolgedessen wird die Futteraufnahme reduziert, was zu einem Rückgang der tierischen Leistung führt (Whitehead, 2000). Grund dafür ist die Reduktion der Anzahl bzw. der Aktivität der Pansenmikroben (Qi et al., 1994). Nach *Abrol und Ahmad* (2003) können die Verdaulichkeit des Futters und die Stickstoffverwertung leiden – dies führt zu reduzierten Tageszunahmen, abnehmenden Milchleistungen und bei Schafen zur Verminderung der Wollleistung. Weiters ist bei Schwefelmangel auch die verringerte Keratinsynthese zu erwähnen. Neben Haarkleid-Problemen treten auch Huf- und Klauenkrankheiten auf (Sykes und Russel, 2007). Allerdings zeigen wollproduzierende Tiere zuerst einen Rückgang im Muskelaufbau, da für ihren Stoffwechsel im Fall eines Schwefelmangels die Priorität in der Wollproduktion liegt. Dies kann so weit gehen, dass bei akuter Schwefelunterversorgung Schwefel aus den Körpergeweben mobilisiert wird, um die Wollproduktion dennoch sicher zu stellen (Qi et al., 1994).

Die Schwefelversorgungsempfehlungen in der Milchviehhaltung werden in der Literatur stark diskutiert, da die Grenzen zwischen Bedarf und Überversorgung nahe beieinander liegen. Für laktierende Kühe gibt das *NRC* (2001) einen S-Richtwert von 2 g/kg TM in der Ration an. Steigt der Schwefelgehalt über 4 g/kg TM, wird von einer toxischen Wirkung des Schwefels ausgegangen (Puls, 1994).

#### *Schwefelüberversorgung bei Wiederkäuern*

In der Wiederkäuerernährung ist der Bereich zwischen dem täglichen Bedarf an Schwefel und der Schwefel-Überversorgung sehr eng, was eine genaue Dosierung der Mineralstoffergänzung in Bezug auf Schwefel verlangt (Dänicke und Schenkel, 2009). Eine Schwefelüberversorgung hat negative Konsequenzen wie Appetitlosigkeit, sinkende

Produktivität und im schlimmsten Fall eine Schwefelvergiftung. Eine Schwefelvergiftung geht mit einer Verminderung der Pansenbewegung und Problemen in der Atmungskette einher (Abrol and Ahmad, 2003). Crawford (2007) ergänzt dazu um eine Verminderung der Futtermittelverwertung und im Weiteren um ein Absinken der täglichen Zunahmen. Eine Schwefelübersversorgung kann auch je nach Art der aufgenommenen Schwefelform zu gastrointestinalen und respiratorischen Veränderungen bis hin zu neurologischen Ausfällen führen (Puls, 1994). Im schlimmsten Fall können die Symptome zum Tod führen (Hiepe, 1975). Auch bei der Absorption von Metall-Ionen, wie Kupfer und Selen, treten bei Schwefelüberschuss Probleme auf (Abrol und Ahmad, 2003), die zu Kupfer- und Selenmangelsituationen im Wiederkäuermetabolismus führen (Jeroch et al., 2008). Beeinträchtigungen in der Fortpflanzung und eine Veränderung im Verhalten sind Folgen eines Kupfermangels (Gould et al., 2002).

Wie bereits erwähnt, hängt die Toxizität von Schwefel vor allem von der Art und Menge der aufgenommenen Schwefelform ab. Elementarer Schwefel ist die am wenigsten toxisch wirkende Form des Schwefels, wohingegen Schwefelwasserstoff als hoch toxisches Gas gilt (Crawford, 2007). Schwefelwasserstoff entsteht bei der Fermentation im Pansen und gelangt über die Pansenwand in die Blutbahn oder durch Inhalation des Ruktus zur Lunge (Himsworth, 2008). Von ihr wandert der Schwefelwasserstoff weiter, umgeht die Entgiftung in der Leber und schädigt auf direktem Wege das Herz und das Gehirn (Kandylis, 1984).

### **3.3 Schwefel im Boden**

Schwefel kommt organisch und anorganisch im Boden vor. Sulfat als anorganischer Bestandteil des Bodens macht nur 5 % des gesamten Schwefelvorkommens im Boden aus. Diese 5 % sind aber direkt pflanzenverfügbar und stark von der Schwefelaufnahme der Pflanze, dem Schwefeleintrag aus dem Dünger, der Mineralisation und Immobilisierung abhängig. Die restlichen 95 % des Schwefels sind organisch gebunden (Scherer, 2009) und stammen von Mikroorganismen, Pflanzenteilen und tierischen Bestandteilen (Freney, 1986). Weiters gliedert sich der organische Schwefel in Sulfat-Ester und Carbon-gebundenen-Schwefel, welche der Pflanze hauptsächlich in Notzeiten als Reservoir dienen. Zur Umsetzung von organisch gebundenem Schwefel in pflanzenverfügbarem Schwefel ist die biochemische sowie die biologische Mineralisation nötig (Scherer, 2009). Durch biochemische Mineralisation wird Sulfat aus dem Pool des Sulfat-Esters, durch die enzymatische Hydrolyse mit Sulfatasen freigegeben (Fitzgerald und Strickland, 1987). Gesteuert wird dieser Mechanismus durch die Mikroorganismen im Boden, die bei Schwefelmangelsituationen vermehrt Sulfatasen produzieren um den Schwefel zu pflanzenverfügbarem Sulfat zu hydrolisieren (Eriksen et al., 1998). Die biologische Mineralisation erfolgt durch den mikrobiellen Abbau (Scherer, 2009).

Die Mineralisationsrate von Schwefel im Boden wird innerhalb von 26 Wochen mit 16 bis 86 mg Schwefel pro kg Boden beschrieben. Dies entspricht einer Mineralisationsrate von 3,5 bis 34,9 % (Tabatabai und Al-Khafaji, 1980). Bloem (1998) zeigte in einem Versuch auf drei verschiedenen, ackerfähigen Standorten in Deutschland eine Schwefelmineralisation von 7 bis 49 kg pro Hektar innerhalb einer Vegetationsperiode. Als Grund für diese Unterschiede in den Mineralisationsraten wird der differierende Anteil an organischer Masse im Boden genannt (Scherer, 2009). Durch eine Kalkung werden die Umweltbedingungen für die Mikroorganismen zusätzlich optimiert, was zu einer verbesserten organischen Schwefelmineralisation führt (Probert, 1976). Weiters wirkt sich ein pH-Wert von über 7,5 positiv auf die Mineralisationsrate aus (Williams, 1967). Auch die Temperatur spielt bei der Mineralisation eine wichtige Rolle, da die dafür notwendigen Enzyme spezielle Temperaturbereiche bevorzugen (Strickland et al., 1984; Pirela und Tabatabai, 1988). Dies kann vor allem im Frühjahr und in trockenen Phasen zu Schwefelversorgungsengpässen führen (Gruber et al., 2015).

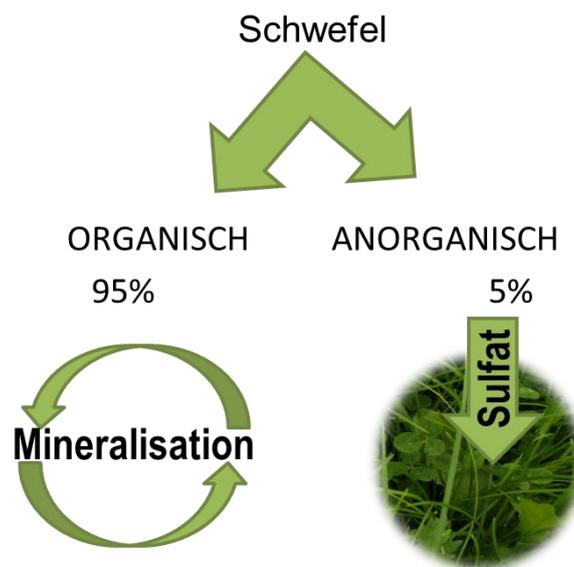


Abbildung 1: Organisch und anorganisch gebundener Schwefel im Boden

In landwirtschaftlich genutzten Böden findet sich ein Gesamt-Schwefelgehalt von 0,02 bis 0,2 % (Scheffer und Schachtschabel, 1998). Schwefelgehaltswerte von 6 kg/ha werden im ökologischen Landbau als niedrige Gehaltswerte angesehen (Gruber et al., 2015). Zu den häufigsten Bodensulfaten zählen Gips und Anhydrit. Pyrit und Eisensulfid sind die Hauptakteure des Sulfids im Boden und als solche auch schwerer löslich als die Sulfate (Scheffer und Schachtschabel, 1998). Die Schwefelgehalte im Boden können aufgrund des Standortes stark variieren (Schmidtke und Lux, 2015). Da Sulfat auf Ton-armen, niederschlagsreichen Standorten stark auswaschungsgefährdet ist, kann es auf solchen

Böden leichter zu Schwefelmangel kommen (Mengel, 1961). Der Gehalt an organischem Schwefel korreliert mit den Gehalten an organischem Kohlenstoff und Stickstoff, weil die wesentlichen Elemente der organischen Masse im Boden aus Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel bestehen (Nguyen und Goh, 1992).

#### *Schwefel und Stickstoff im Boden*

Schwefel ist ein Grundelement im pflanzlichen Protein. Das Verhältnis von Proteinstickstoff zu Proteinschwefel und von organischem Stickstoff zu organischem Schwefel ist nahezu konstant (Dijkshoorn et al., 1960). Daraus ergibt sich, dass bei steigendem Stickstoffangebot auch der Schwefelbedarf der Pflanze steigt. Wird dem nicht entsprochen, bewirkt dies einen Schwefelmangel (Skinner, 1987). Der Schwefel limitiert somit die Stickstoffaufnahme der Pflanze und das Leistungspotenzial des Bodens basierend auf dem vorhandenen Stickstoff kann auch nicht vollständig ausgenutzt werden. Weiters steigt bei Schwefelmangel das Auswaschungsrisiko des Stickstoffs, da er nicht vollständig aufgenommen und genutzt werden kann (Brown et al., 2000).

### **3.4 Elementarer Schwefel und andere Düngerarten**

Schwefel kann entweder als Schwefeldioxid über die Stomata der Pflanze oder als Sulfat über die Wurzel aufgenommen werden (Mengel, 1961). Die am Markt erhältlichen, schnell pflanzenverfügbaren Sulfat-Handelsdünger sind Kaliumsulfat, Kieserit und Bittersalz (Schnug, 1998). Auch Gips hat sich als schnell verfügbarer Schwefeldünger erwiesen. Bittersalz kann nicht nur über die Wurzel aufgenommen, sondern auch direkt auf die Blätter appliziert werden, wo es über die Stomata aufgenommen wird (Wen et al., 2003). Eine andere Herangehensweise der Schwefeldüngung ist die Versorgung des Bodens mit elementarem Schwefel. Er ist eine langsam fließende Schwefelquelle, da diese erst von den Bodenmikroben oxidiert werden muss, um pflanzenverfügbar zu werden. Dadurch wird aber auch die Auswaschungsgefahr von Schwefel deutlich reduziert (Wen et al., 2003).

### **3.5 Gewinnung von elementarem Schwefel**

Zur Gewinnung von elementarem Schwefel werden zwei Verfahren genannt. Zum einen gibt es das „Claus-Verfahren“. Dabei wird Schwefelwasserstoff durch Oxidation in Schwefel und Wasser überführt. Beim „Frasch-Verfahren“ wird durch Ausschmelzung von unterirdischen Schwefelvorkommen Schwefel gewonnen. Der für das „Claus-Verfahren“ verwendete Schwefelwasserstoff fällt in großen Mengen bei der Erdölraffinerie und bei der Kohlevergasung an und ist auch im Erdgas enthalten. Beim „Frasch-Verfahren“ wird der

ausgeschmolzene Schwefel in flüssiger Form an die Erdoberfläche gepumpt. *Steudl* (1996) meint, dass weltweit weit über 34 Millionen Tonnen an elementarem Schwefel pro Jahr anfallen.

### 3.6 Schwefelgehalte in handelsüblichen Düngemitteln

Da die Schwefelgewinnung wie bereits erläutert, relativ leicht funktioniert, ist dieses Element oft Bestandteil anderer, nicht spezieller Schwefeldüngemitteln, wie zum Beispiel Kalkdünger. In Ammonsulfat, einem typischen Stickstoffdüngemittel, sind zwischen 20,5 % und 24 % Schwefel enthalten. Das Superphosphat beinhaltet neben 18 % Phosphor auch noch 12 % Schwefel und in den Kalk- sowie NPK-Düngemitteln rangiert der Schwefelgehalt um die 20 %. In der biologischen Landwirtschaft gibt es allerdings Limitierungen für den Einsatz von Betriebsmitteln, geregelt in den Bio-Verordnungen der EU. In der VO (EG) Nr. 834/2007 und der VO (EG) Nr. 889/2008 werden Positivlisten ausgegeben, welche die im Bio-Landbau zugelassenen Stoffe benennen. In Tabelle 2 sind zugelassene, handelsübliche Düngemittel aufgelistet, die zusätzlich auch Schwefel enthalten. In der Bio-Landwirtschaft sind davon Patentkali und Kieserit zugelassen.

*Tabelle 2: Handelsübliche Düngemittel und ihre Hauptinhaltsstoffe*

Düngemittel	Handelsbezeichnung	Stickstoff (N)	Phosphor (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Kali (K <sub>2</sub> O)	Schwefel (S)
N- Dünger	Ammonsulfat	20/21			20,5/24
P- Dünger	Superphosphat 18 %		18		12
Kalkdünger	Patentkali 30 %			30	17
	Kieserit			25	20
NPK-Dünger	DC-Frucht12:5:15+S	12	5	15	18

(Lagerhaus, 2017)

## 4 Datengrundlagen, Material und Methoden

Um die Wirkung einer zusätzlichen Schwefelgabe am Dauergrünland zu überprüfen, wurde ein Düngeversuch mit elementarem Schwefel angelegt. Der Versuchszeitraum erstreckte sich über die Jahre 2016 und 2017.

### 4.1 Versuchsstandort

Die Versuchsfläche wurde am Institut für Biologische Landwirtschaft und Biodiversität der Nutztiere (Bio-Institut) der Höheren Bundeslehr- und Forschungsanstalt (HBLFA) für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein im Ennstal in der Steiermark angelegt. Die Versuchspartellen befanden sich auf einem Boden der vom Bodentyp her als Braunlehm mit mittlerer Gründigkeit beschrieben werden kann. Der pH-Wert lag bei durchschnittlich 6,2. Der Humusgehalt belief sich auf 10,3 % und der Tongehalt lag bei 11,3 %.



*Abbildung 2: Versuchspartelle des Schwefeldüngerversuches am Bio-Institut der*

*HBLFA Raumberg-Gumpenstein*

#### *Klima*

Die Versuchspartelle wurde am Moarhof, dem Grünlandstandort des Institutes für Biologische Landwirtschaft und Biodiversität der Nutztiere mit den genauen Koordinaten 47 ° 30'52,6"N 14 ° 03'50,8"E angelegt, welcher sich auf einer Seehöhe von 740 m befindet. Die Durchschnittstemperatur im langjährigen Mittel von 1981 bis 2010 lag bei 8,2 °C mit einem

mittleren Jahresniederschlag von 1.056 mm (Abbildung 3). Das Versuchsgebiet weist durchschnittlich 132 Frosttage ( $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) und 25 Sommertage ( $\geq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) auf.

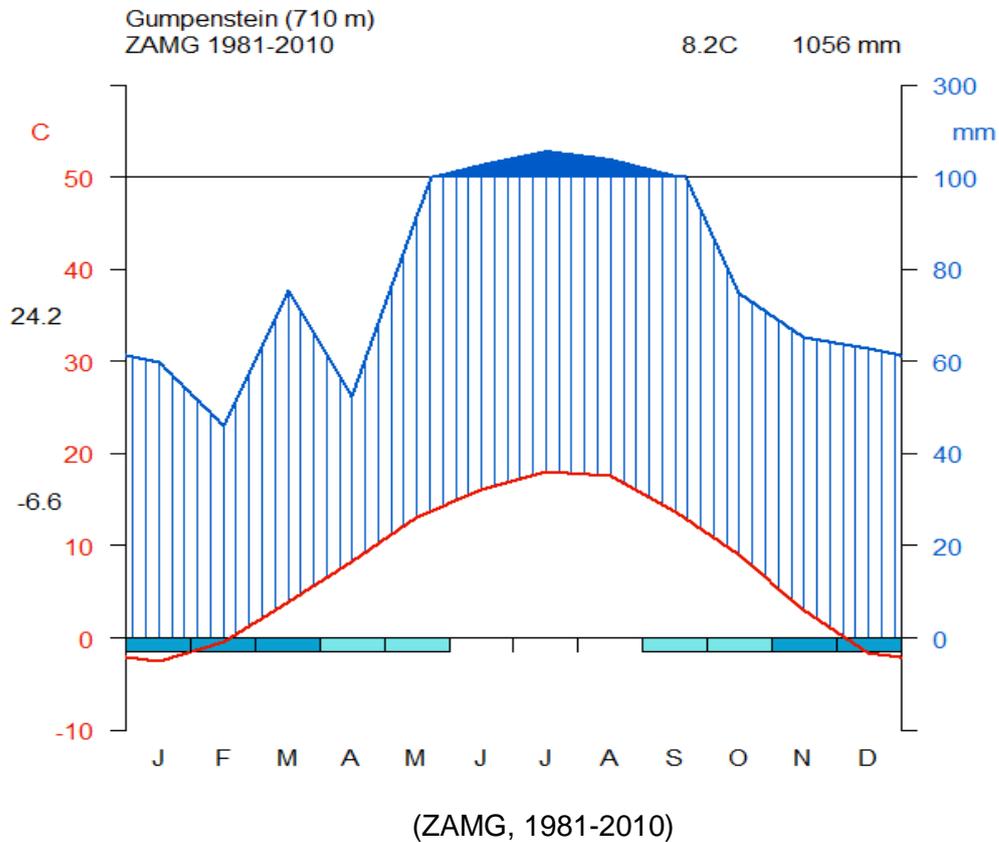


Abbildung 3: Langjähriges Mittel der Klimadaten – Durchschnittliche Niederschlagsmenge und Temperaturverlauf der letzten 30 Jahre über die Monate Jänner bis Dezember.

Die Durchschnittstemperatur während des Versuchszeitraumes (2016 und 2017) lag bei  $9\text{ }^{\circ}\text{C}$  und somit um  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  über dem langjährigen Jahresmittel. Die höchsten Temperaturen wurden in beiden Jahren in den Monaten von Juni bis August erhoben. Die Jahresniederschlagssumme lag im Durchschnitt der Versuchsjahre bei  $1.164\text{ mm}$ . Dabei war das Frühjahr 2016 geprägt von einem feuchten Spätwinter, gefolgt von einem trockenen Frühjahr und zeigte Niederschlagsspitzen in den Monaten Juni und Juli (Abbildung 4). Demgegenüber zeigte sich das Frühjahr 2017 niederschlagsreich und gipfelte mit den höchsten Regenmengen in den Monaten Juli und August (Abbildung 4).

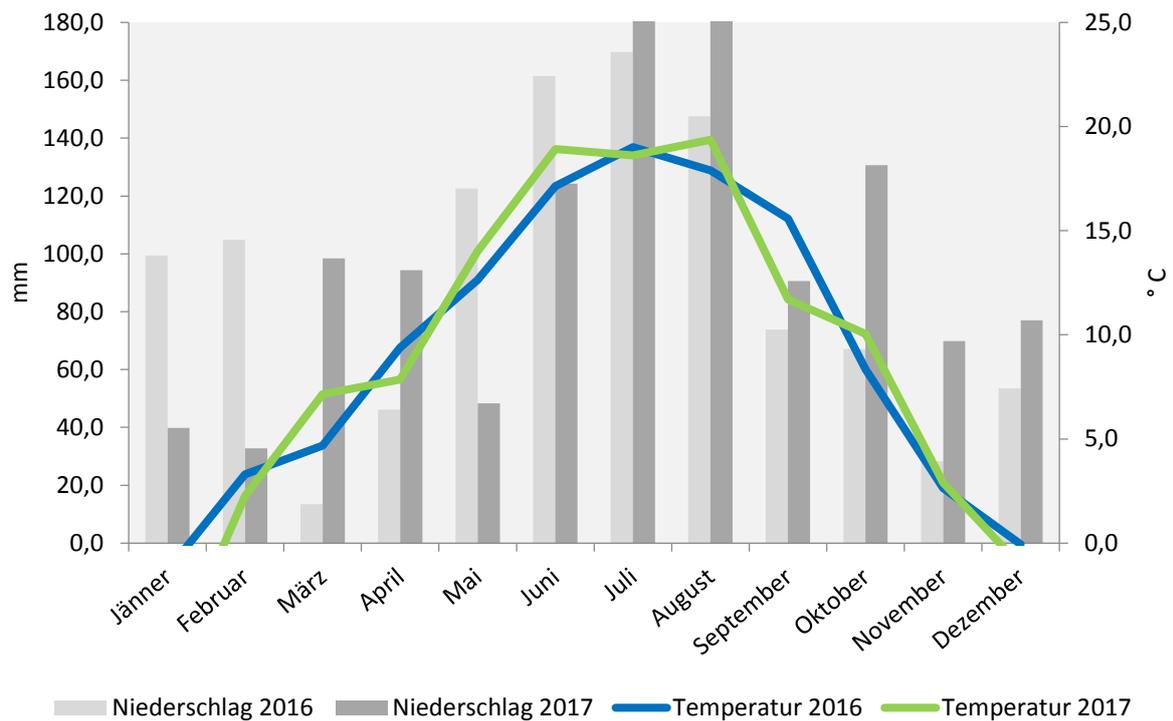


Abbildung 4: Klimadaten der Jahre 2016 und 2017 – durchschnittliche Niederschlagsmenge und Temperaturverlauf der Versuchsjahre über die Monate Jänner bis Dezember

## 4.2 Versuchsdesign

Es wurde eine einfaktorielle, randomisierte Blockanlage in vierfacher Wiederholung angelegt, wobei die verwendete Menge an Schwefeldünger den Versuchsfaktor darstellte. Insgesamt wurden 16 Parzellen mit den Maßen vier mal vier Meter angelegt. Die unterschiedlichen Schwefeldünger-Niveaus lagen bei 0, 30, 60 und 90 kg pro ha, was die vier Untersuchungs-Varianten (S0, S30, S60 und S90) ergab (Tabelle 3). Die jeweiligen Schwefeldüngermengen wurden auf Basis des Reinschwefelgehaltes des Düngers berechnet. Die zufällige Anordnung der Varianten (S0 - S90) am Versuchsfeld sind in Abbildung 5 dargestellt. Der Versuchsstandort wurde in den vorangegangenen Jahren als Vierschnittwiese genutzt.

Tabelle 3: Unterschiedliche Schwefeldünger-Niveaus auf dem Versuchsfeld

Schwefeldünger-Niveaus	
S0:	0 kg/ha
S30:	30 kg/ha
S60:	60 kg/ha
S90:	90 kg/ha

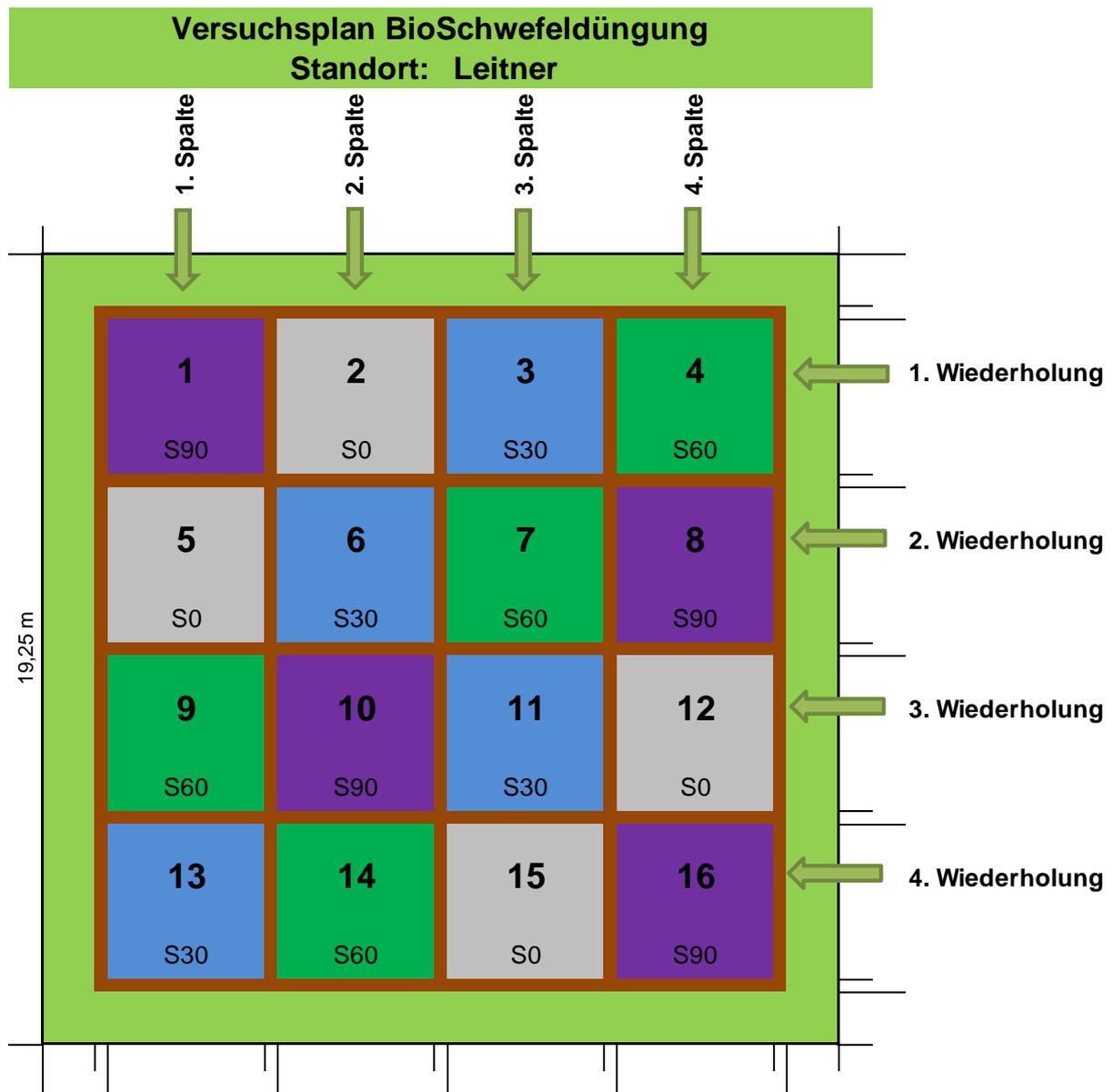


Abbildung 5: Anordnung der Versuchsflächen mit den verschiedenen Dünger-Niveaus

### 4.3 Düngung

Das Versuchsfeld wurde mit homogenisierter, im Verhältnis 1:1 wasserverdünnter Rindergülle gedüngt. Aufgrund von Empfehlungen aus der Literatur wurde eine Düngermenge von 150 kg N/ha und Jahr über Rindergülle gewählt. Der N-Gehalt der Gülle lag bei 2,8 kg/m<sup>3</sup>. Die Ausbringung erfolgte in fünf Teilgaben, wobei die Düngermenge an dem im Jahresverlauf unterschiedlichen Bedarf des Pflanzenbestandes angepasst wurde (siehe Tabelle 4). Die erste Düngung erfolgte im Frühjahr und die weiteren Güllegaben folgten direkt nach den Ernteschnitten.

Zusätzlich zur Rindergülle wurde im Frühjahr, je nach Versuchsvariante, elementarer Schwefel zugefügt.

Tabelle 4: Menge an ausgebrachtem Stickstoff über Rindergülle zu den jeweiligen Schnittterminen

Variante	Dünger	Einheit	Frühling	1.Schnitt	2.Schnitt	3.Schnitt	4.Schnitt
1-4	Rindergülle	kg N/ha	20	40	40	30	20

Um die Ausbringung des Wirtschaftsdüngers den Praxisbedingungen anzupassen, wurde die Gülle mittels spezieller Gießkannen mit aufgestecktem Prallteller auf den Versuchspartellen ausgebracht. Die Ausbringung des Schwefeldüngers „Sulfogüll plus“ der Firma BvG (Bodenverbesserungs-GmbH) erfolgte im Rahmen der ersten Güllegabe jeweils im Frühjahr. Der Schwefeldünger lag in Pulverform vor und wurde direkt vor dem Ausbringen in erforderlicher Menge in die Gülle (Gießkanne) eingerührt.



### 4.4 Bodenproben

Eine Bodenuntersuchung wurde nur für das Jahr 2016 durchgeführt. Dabei erfolgte die erste Ziehung der Bodenproben zeitig im Frühjahr noch vor der ersten Düngergabe. Beprobte wurden dabei die ersten 10 cm des Oberbodens. Auf jeder Versuchspartelle wurden 10 Proben gezogen, welche



anschließend getrocknet, gesiebt und zu einer Mischprobe pro Parzelle vermengt wurden (BMLFUW, 2006). Diese Mischproben der 16 Versuchspartzen wurden zur Analyse an das Bodenzlabor der AGES in Wien geschickt. Im Herbst des Versuchsjahres 2016, am Ende der Vegetationsperiode, wurde der Vorgang wiederholt, um Veränderungen im Boden zu erheben.

Die zu bestimmenden Parameter waren sowohl im Frühjahr als auch im Herbst der Schwefel-, Chlorid- und Sulfatgehalt.

#### 4.5 Aufnahme des Pflanzenbestandes

Zu Beginn des Versuches wurde eine Bonitierung auf Artenebene durchgeführt, um die Ausgangssituation des Pflanzenbestandes zu erheben. Um etwaige Änderungen des Pflanzenbestandes zu dokumentieren, wurde im Frühjahr des Folgejahres 2017 ebenfalls eine Bonitur auf Artenebene durchgeführt. Zusätzlich wurde zu jedem Schnitttermin eine Artengruppenbonitur gemacht, um Änderungen in Bezug auf die Lückigkeit sowie den Anteil an Gräsern, Kräutern und Leguminosen festzuhalten. Die Bonituren erfolgten nach der Methode der „wahren Deckung“ (Schechtner, 1958).

Auch der Blattflächenindex, auch LAI (leaf area index) genannt, wurde mit dem Gerät „AccuPAR LP- 80“ in einer Höhe von 0 cm vor jeder Futterernte erhoben. Der Blattflächenindex gibt Auskunft über die Bedeckung der Fläche mit Photosynthese aktiver Blattmasse. Bei einem LAI von 1 wird 1 m<sup>2</sup> Bodenfläche genau von 1 m<sup>2</sup> grüner Blattmasse bedeckt.

Zur Berechnung der Futterdichte (kg TM/cm Aufwuchshöhe) wurde sowohl vor als auch nach jedem Ernteschnitt mittels „Filip's electronic plate pasture meter“ (RPM) die Höhe des Pflanzenbestandes (cm<sub>RPM</sub>) gemessen (Scriver et al., 1986).

$$\text{Futterdichte} = (\text{Erntehöhe} (C - \text{Stoppelhöhe}) * \text{TM} - \text{Ertrag} (\text{kg/ha}))$$



Für die Ermittlung der Ernte- und Stoppelhöhe wurden pro Parzelle immer 10 Messungen, mit dem RPM durchgeführt, um daraus anschließend den Mittelwert zu berechnen.

#### 4.6 Ertrag und Futterqualität

Die Ernte der Versuchspartzen erfolgte mit einem Einachsmäher, wobei die Schnitthöhe auf 5 cm eingestellt wurde. Der Mähbalken war als Doppelmesser ausgeführt.

Anschließend wurde das Futter jeder Parzelle einzeln zusammengereicht und gewogen.

Mittels Probenstecher wurde aus dem Futter jeder Parzelle eine Futterprobe gezogen und in einem Kunststoffsack zur weiteren Analyse ins Labor transportiert. Dadurch sollte die Veränderung der Trockenmasse (TM) durch verdunstendes Wasser reduziert werden.

Ein Teil der Probe wurde zur Erhebung der Trockenmasse herangezogen. Dies erfolgte in zweifacher Wiederholung, wobei jeweils 100 g ausgewogen und bei 105 °C für 48 Stunden im Trockenschrank getrocknet wurden. Anschließend wurde das trockene Material zurückgewogen und daraus der Trockenmassegehalt bestimmt.

Der Rest der Futterproben wurde schonend bei 40 °C getrocknet, vermahlen und an das chemische Labor der HBLFA Raumberg-Gumpenstein gesendet. Dort wurde eine Weender-Analyse, eine Analyse der Gerüstsubstanzen, Mineralstoffe und Spurenelemente durchgeführt. Aus den



Rohnährstoffen wurden mittels

Regressionsgleichungen (DLG, 1997) die Verdaulichkeiten und Energiegehalte in MJ NEL errechnet.

## 4.7 Zeitplan und Maßnahmen im Feldversuch

Tabelle 5 gibt Auskunft über Erntetermine, sowie Schnitttermine der Bonitierungen auf Artenebene mit Flächenprozentschätzung, die Leaf-Area-Index Messzeitpunkte und die Schnitttermine der Düngung.

*Tabelle 5: Zeitplan der Versuchsdurchführung Zeitpunkte der Ernteschnitte, Düngungen, Bonitierung und LAI-Messung*

		2016		2017
Bodenbeprobung		7. April	24. September	
Ernte u. Artengruppen- bestimmung	1. Aufwuchs	23. Mai		22. Mai
	2. Aufwuchs	5. Juli		7. Juli
	3. Aufwuchs	18. August		10. August
	4. Aufwuchs	23. September		29. September
Sulfogüll Düngung		14. April		21. März
Artenbonitur		6. Mai		17. Mai
LAI-Messung	1. Aufwuchs	23. Mai		19. Mai
	2. Aufwuchs	5. Juli		7. Juli
	3. Aufwuchs	9. August		9. August
	4. Aufwuchs	21. September		27. September
Düngung	Frühjahr	14. April		21. März
	nach 1. Schnitt	24. Mai		23. Mai
	nach 2. Schnitt	7. Juli		10. Juli
	nach 3. Schnitt	29. August		31. August
	nach 4. Schnitt	26. September		2. Oktober

## Schwefelaufnahme einer Milchkuh

Der tägliche Schwefelbedarf einer Milchkuh liegt nach *Dirksen et al.* (2006) bei 50-70 mg/kg Lebendmasse. Um diesen Bedarf zu decken, muss das Tier täglich Schwefel über seine Nahrung aufnehmen. Dafür wurde anhand der Futteraufnahmeschätzformel nach *Gruber et al.* (2006) eine Gesamtfutteraufnahme von 20,7 kg/Tag (13,7 kg Grundfutter + 7 kg Krafffutter) für eine Holstein Friesian (HF) Kuh in der 3. Laktation am 140. Laktationstag in einem Betrieb mit hohem Managementniveau und einer Milchleistung von 30 kg/Tag errechnet. Weiters wurde dem fiktiven Tier eine durchschnittlichen Lebendmasse (LM) von 688 kg (Haiger und Knaus, 2010) unterstellt. Das unterstellte Krafffutter bestand zu je einem Drittel aus Körnermais, Trockenschnitzel und Sojaschalen. Die unterstellten Schwefelgehaltswerte der Krafffutterkomponenten beruhen auf Angaben des *NRC* (2001). Die aufgenommene Menge an Wasser richtet sich nach der Trockenmasseaufnahme des Tieres. Dabei gehen *Kirchgeßner et al.* (2014) von 4 bis 5 Liter Wasser pro kg TM-Aufnahme aus. Bei einer unterstellten Ration von ca. 1/3 Heu (TM-Gehalt: 83,8), 1/3 Grassilage (TM-Gehalt: 45,8) und 1/3 Krafffutter (TM-Gehalt: 87,6) errechnet sich eine TM-Aufnahme von rund 15 kg, was zu einem Wasserbedarf von 68 Litern/Tag führt. Der Schwefelgehalt des Trinkwassers wurde nach *Dänicke und Schenkel* (2009) mit 0,167 g/Liter angenommen (Tabelle 6).

Tabelle 6: Täglicher Futter- und Wasserbedarf der unterstellten Milchkuh sowie Schwefelgehaltswerte nach *NRC* (2001);  
Dänicke und Schenkel (2009)

	Bedarf
Schwefel	0,041 kg/Tag
Gesamtfutter	20,7 kg TM/Tag
Grundfutter	13,7 kg TM/Tag
Krafffutter	7 kg TM/Tag
<i>Mais</i>	
<i>Trockenschnitzel</i>	
<i>Sojaschalen</i>	
Wasser	68 kg

## 4.8 Schlagbilanzierung

Um auf ein eventuelles Defizit in der Schwefelversorgung der Grünlandböden zu schließen, wurde eine Schwefelbilanzierung vorgenommen.

Bei der Berechnung der zugeführten Menge an Schwefel wurde der Schwefelgehalt der Gülle sowie die Schwefelmenge der nassen Deposition berücksichtigt. Dabei wurde zur Analyse des Schwefelgehaltes der Gülle eine Doppelanalyse vorgenommen, um eventuelle Fehlerquellen bei der Probenziehung zu minimieren. Für die nasse Deposition wurden durchschnittliche Schwefeleinträge der Jahre 2016 und 2017, gemessen im Wasserlabor der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, herangezogen.

Weiters wurden die unterschiedlichen Schwefeldünger-Niveaus von 0 bis 90 kg/ha aufaddiert. Schwefel, der mit dem Erntegut von der Fläche abtransportiert wurde, sowie die Auswaschungsverluste des Bodens wurden dem gegenüber gestellt. Da der elementare Schwefel eine langsam fließende Nährstoffquelle und daher unempfindlich gegenüber Auswaschung ist, wurde nur der Anteil des ausgewaschenen Schwefels aus der Rindergülle als hypothetischer Wert in die Auswertung miteinbezogen. Zu diesem Zweck wurden Literaturangaben eines Düngerversuchs mit Rindergülle herangezogen, welche Auswaschungsverluste von 4 kg/ha und Jahr beschrieben (Diepolder et al., 2006).

Zu Beginn des Versuches wurde der Schwefelgehalt im Boden analysiert, um die Ausgangssituation festzustellen. Zur Dokumentation von Änderungen des Schwefelgehaltes im Boden, wurde dieser Schritt am Ende der Vegetationsperiode wiederholt und im Anschluss mit den Ergebnissen der Schlagbilanzierung verglichen.

*Tabelle 7: Flächenbilanz von Schwefel*

Eintrag	Abfuhr
+ S aus Gülle	- S-Gehalt Erntegut
+ S-Dünger	- Auswaschung
+ nasse Deposition	
Flächenbilanz	

## 4.9 Statistik

Die statistische Auswertung der normalverteilten Daten wurde mit dem Statistikprogramm SAS 9.4 vorgenommen. Es wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse mittels der SAS-Anwendung „Procedure Mixed“ jeweils für den Jahresertrag (Modell 1) und die Erträge zu den einzelnen Schnittterminen (Modell 2) durchgeführt.

$$\text{Modell 1: } Y_{ij} = \mu + V_i + J_j + (V \times J)_{ij} + \epsilon_{ij}$$

$$\text{Modell 2: } Y_{ik} = \mu + V_i + J_j + T_k + (V \times J)_{ij} + (V \times T)_{ik} + (J \times T)_{jk} + (V \times J \times T)_{ijk} + \epsilon_{ik}$$

$Y_{ij}$	Beobachtungswert der abhängigen Variabel des Jahres
$Y_{jk}$	Beobachtungswert der abhängigen Variabel des Schnitttermins
$\mu$	gemeinsame Konstante aller $Y_{ij}$ bzw. $Y_{ik}$
$V$	fixer Effekt der Variante ( $i = S0, S30, S60, S90$ )
$J$	fixer Effekt des Jahres ( $j = 2016, 2017$ )
$T$	fixer Effekt des Schnitttermins ( $k = 1, 2, 3, 4$ )
$(V \times J)_{ij}$	Wechselwirkungseffekt der Variante $i$ mit dem Jahr $j$
$(V \times T)_{ik}$	Wechselwirkungseffekt der Variante $i$ mit dem Schnitttermin $k$
$(J \times T)_{jk}$	Wechselwirkungseffekt des Jahres $j$ mit dem Schnitttermin $k$
$(V \times J \times T)_{ijk}$	Wechselwirkungseffekt der Variante $j$ mit dem Jahr $j$ und dem Schnitttermin $k$
$\epsilon$	Resteffekt

Als fixe Effekte wurden die Variante (S0 - S90), das Jahr (2016, 2017) und der Schnitttermin herangezogen. Als zufällig (random) wurden die Wiederholung und die Spalten des Versuches angenommen.

Das Signifikanzniveau wurde mit  $\alpha \leq 0,05$  festgesetzt. Die Ergebnisse wurden als Least Squares Means (LSMEANS) mit dem Standardfehler (SEM) und der Residual Standard Deviation (RSD) dargestellt. Für den paarweisen Mittelwertsvergleich wurde der Tukey Test angewendet.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Pflanzenbestand und LAI

Die bestandsbildende Artengruppe der Gräser verzeichnete einen durchschnittlichen Anteil von 86,3 % am Gesamtpflanzenbestand. Der vor allem in der biologischen Wirtschaftsweise so wichtige Leguminosenanteil, lag im Durchschnitt der Versuchsjahre bei 6,1 %. Der Kräuteranteil lag bei 6,8 % und wurde als einzige Artengruppe vom Versuchsfaktor Variante (S0-S90) signifikant beeinflusst. Weiters wurden alle Artengruppen signifikant vom Schnitttermin beeinflusst. So konnte das Maximum der Artengruppe Gräser zum dritten Schnitttermin (89,5 %), der Artengruppe Leguminosen zum zweiten Schnitttermin (10,4 %), und der Artengruppe Kräuter zum vierten Schnittnutzungstermin (9,5 %) erhoben werden. Der Anteil der Lücken im Bestand war zum ersten Schnitttermin (1,9 %) am höchsten (Abbildung 6). Weiters wurde festgestellt, dass das Jahr einen signifikanten Einfluss auf den Anteil der Lücken im Bestand hatte, wonach im zweiten Versuchsjahr eine signifikante Verringerung der Lückigkeit zu beobachten war. Allerdings zeigten die Wechselwirkungen Variante  $\times$  Schnitttermin und Variante  $\times$  Jahr keine Signifikanz (Tabelle 8). Dies bedeutet, dass die signifikanten Unterschiede zwischen den Jahren und den Schnittterminen nicht dem Schwefel zuzurechnen sind. Wie aus Abbildung 7 hervorgeht, zeigten alle Varianten (S0-S90) einen annähernd gleichen Verlauf. Die signifikanten Unterschiede beruhen auf Jahres- und Termineffekten. Weitere Wechselwirkungs-Darstellungen der Artengruppen ( $V \times T$ ,  $V \times J$ ,  $T \times J$ , und  $V \times T \times J$ ) sind im Anhang (Tabelle 28, Tabelle 29, Tabelle 30, Tabelle 31) ersichtlich.

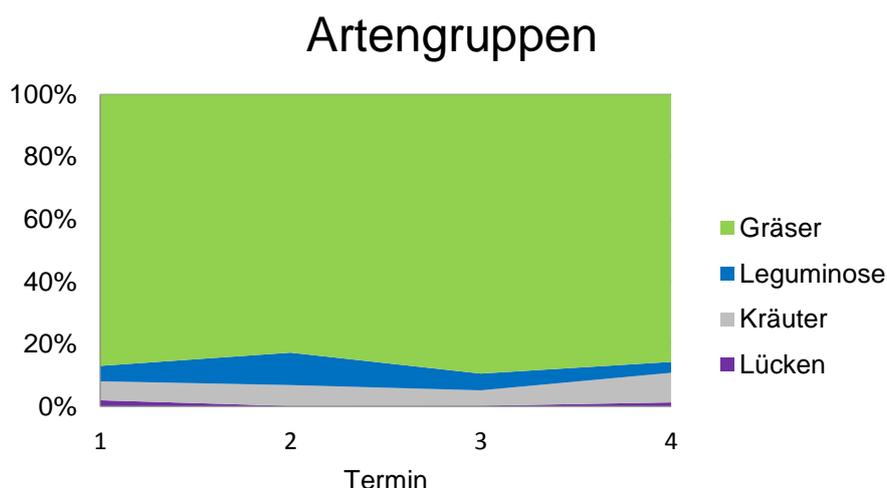


Abbildung 6: Artengruppenverteilung zu den einzelnen Schnittterminen (1, 2, 3 und 4) im Durchschnitt der Jahre 2016 und 2017 (in Flächen-%)

Tabelle 8: Zusammensetzung des Pflanzenbestandes nach Artengruppen nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr)

Parameter	Einheit	Variante				Schnitttermin				Jahr		RSD	p-Wert						
		S0	S30	S60	S90	1	2	3	4	2016	2017		V	T	J	V*T	V*J	T*J	V*T*J
Gräser	%	86,5	87,3	86,3	84,9	87,0 <sup>b</sup>	82,8 <sup>c</sup>	89,5 <sup>a</sup>	85,8 <sup>b</sup>	85,7	86,9	3,6	0,386	<,001	0,068	0,933	0,736	<b>0,004</b>	0,858
SEM		1,34	1,39	1,34	1,39	1,29	1,29	1,29	1,29	1,20	1,20								
Leguminosen	%	4,5	6,4	7,3	6,1	4,9 <sup>bc</sup>	10,4 <sup>a</sup>	5,4 <sup>b</sup>	3,5 <sup>c</sup>	6,0	6,1	3,0	0,124	<,001	0,930	0,508	0,875	0,768	0,988
SEM		0,89	0,95	0,89	0,95	0,78	0,78	0,78	0,78	0,68	0,68								
Kräuter	%	7,9 <sup>a</sup>	5,5 <sup>b</sup>	5,5 <sup>b</sup>	8,3 <sup>a</sup>	6,1 <sup>b</sup>	6,7 <sup>b</sup>	4,9 <sup>c</sup>	9,5 <sup>a</sup>	6,9	6,7	2,1	<b>0,040</b>	<,001	0,644	0,557	0,905	<b>0,024</b>	0,961
SEM		1,28	1,31	1,28	1,31	1,21	1,21	1,21	1,21	1,18	1,18								
Lücken	%	1,1	0,8	0,9	0,7	1,9 <sup>a</sup>	0,1 <sup>c</sup>	0,2 <sup>c</sup>	1,3 <sup>b</sup>	1,4 <sup>a</sup>	0,3 <sup>b</sup>	0,8	0,234	<,001	<,001	0,389	0,852	<,001	0,098
SEM		0,17	0,18	0,17	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,13	0,13								

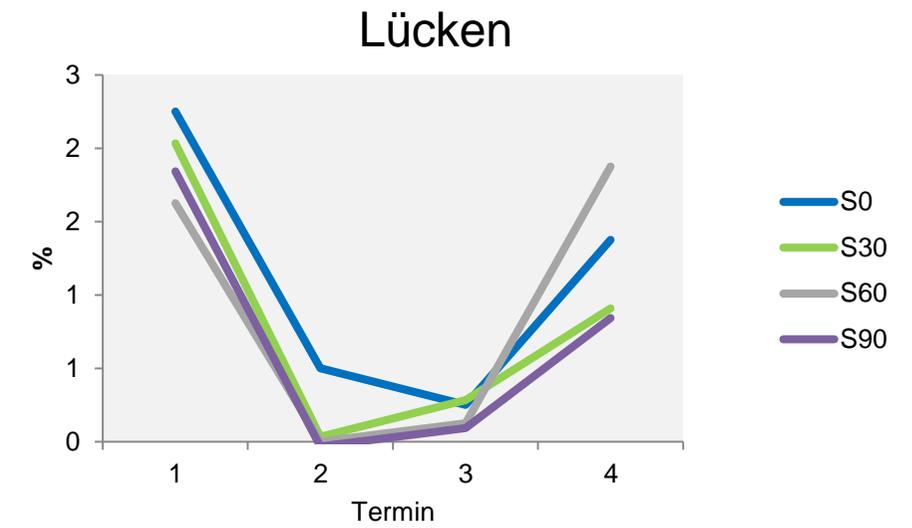
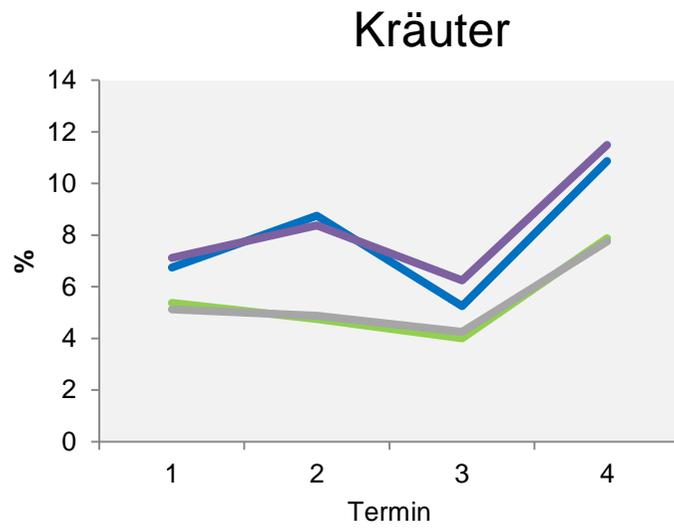
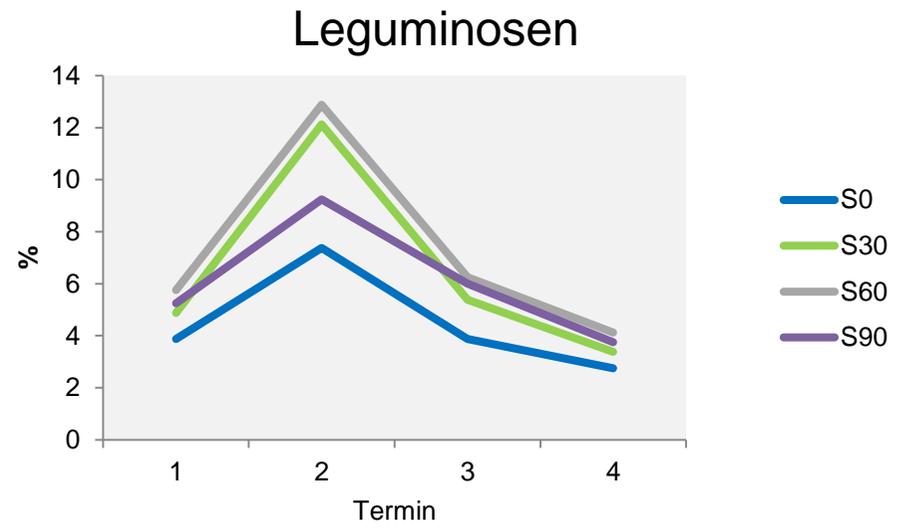
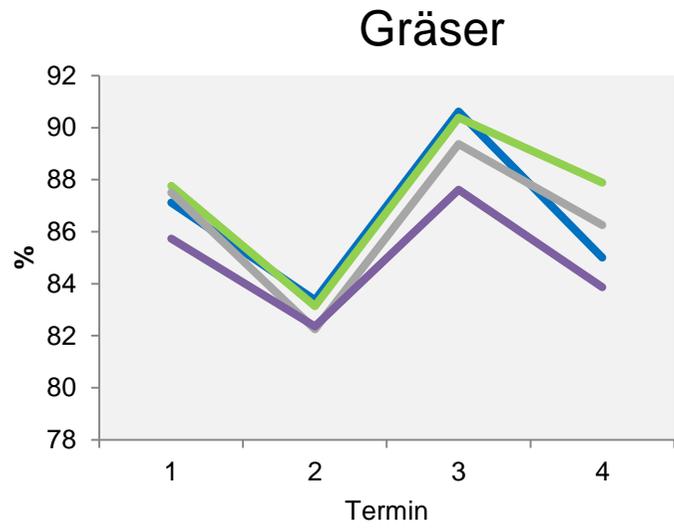


Abbildung 7: Verteilung der Artengruppen in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin

Weiters zeigte der Versuchsfaktor Variante (S0 - S90) keinen Einfluss auf die Pflanzenarten. Allerdings wurde eine signifikante Zunahme von Goldhafer (*Trisetum flavescens*) und Wiesenfuchsschwanz (*Alopecurus pratensis*) von 2016 auf 2017 festgestellt (+ 44 bzw. + 17 Prozentpunkte), wohingegen die unerwünschte Gemeine Risppe (*Poa trivialis*) von 16% auf 11 % gesunken ist (Tabelle 9 und Abbildung 8). Wie zuvor bei der Artengruppenverteilung war auch die Wechselwirkung Variante × Jahr bei den Pflanzenarten nicht signifikant, was lediglich einen Jahreseffekt, nicht aber einen Effekt der Schwefeldüngung auf den Pflanzenbestand erkennen ließ (Abbildung 9). Die tabellarische Darstellung dieser nicht signifikanten Wechselwirkungen zwischen Variante × Jahr erfolgt im Anhang (Tabelle 32).

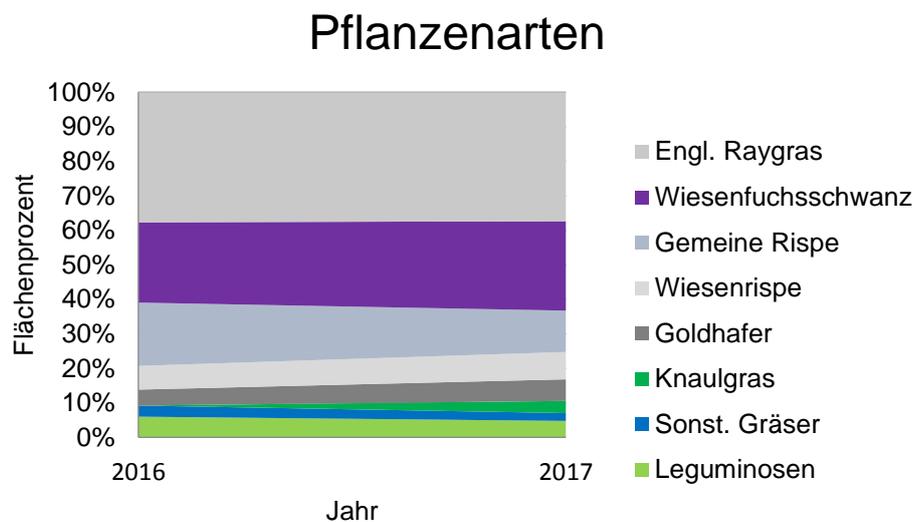
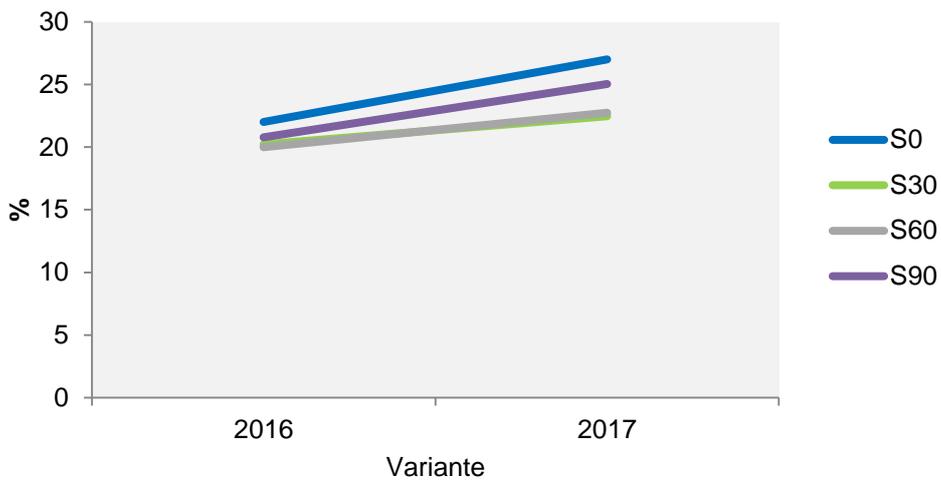


Abbildung 8: Änderung der Flächenprozent von 2016 auf 2017 der jeweiligen Pflanzenarten

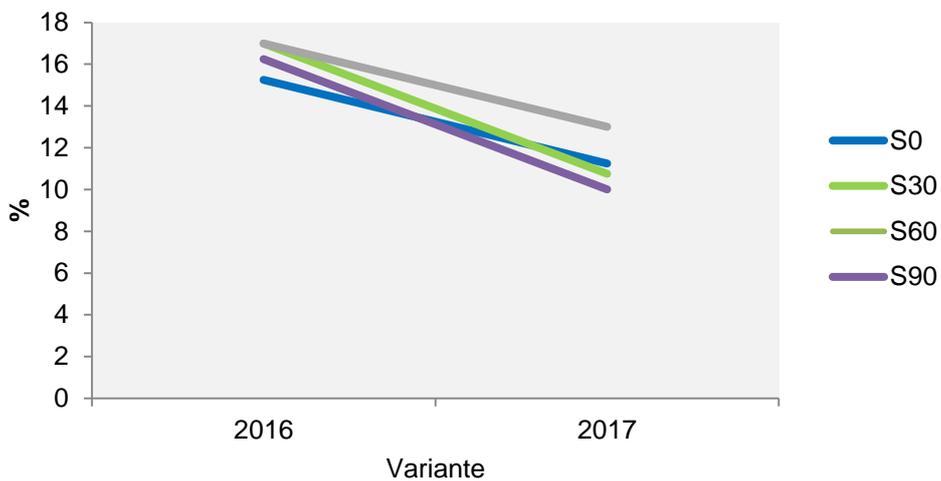
Tabelle 9: Bonitierungsergebnisse nach dem Modell 1 (Haupteffekte: Variante und Jahr)

Parameter	Einheit	Variante				Jahr		RSD	p-Wert		
		S0	S30	S60	S90	2016	2017		V	J	V*J
Lücke	%	2,3	2,0	1,6	1,9	3,1 <sup>a</sup>	0,8 <sup>b</sup>	0,7	0,422	<b>&lt;,001</b>	0,082
SEM		0,308	0,327	0,308	0,327	0,247	0,247				
Gräser	%	87,1	87,2	87,5	86,3	84,7 <sup>b</sup>	89,4 <sup>a</sup>	2,0	0,739	<b>&lt;,001</b>	0,444
SEM		1,06	1,10	1,06	1,10	0,93	0,93				
Engl. Raygras	%	33,9	36,5	35,0	32,0	33,6	35,1	2,6	0,051	0,136	0,216
SEM		1,61	1,65	1,61	1,65	1,47	1,47				
Gem. Rispe	%	13,3	13,9	15,0	13,1	16,4 <sup>a</sup>	11,3 <sup>b</sup>	2,1	0,277	<b>&lt;,001</b>	0,513
SEM		0,900	0,900	0,900	0,900	0,737	0,737				
Goldhafer	%	4,6	5,6	4,9	4,9	4,1 <sup>b</sup>	5,9 <sup>a</sup>	1,2	0,521	<b>0,001</b>	0,599
SEM		0,561	0,591	0,561	0,591	0,475	0,475				
Knaulgras	%	2,8	2,3	1,9	–	–	3,3	0,7	0,316	0,074	0,363
SEM		0,644	0,780	0,681	–	–	0,386				
Wiesen-Fuchsschwanz	%	24,5	21,3	21,4	22,9	20,8 <sup>b</sup>	24,3 <sup>a</sup>	2,9	0,257	<b>0,005</b>	0,763
SEM		2,05	2,11	2,05	2,11	1,88	1,88				
Wiesenrispe	%	5,9	6,3	7,5	7,5	6,1	7,4	1,9	0,220	0,063	0,126
SEM		1,19	1,19	1,19	1,19	1,09	1,09				
Sonst. Gräser	%	2,5	2,4	2,0	3,1	2,9 <sup>a</sup>	2,1 <sup>b</sup>	0,7	0,189	<b>0,012</b>	0,280
SEM		0,430	0,430	0,430	0,430	0,343	0,343				
Leguminosen	%	3,9	5,1	5,8	5,0	5,4	4,5	1,6	0,177	0,147	0,602
SEM		0,643	0,643	0,643	0,643	0,494	0,494				
Kräuter	%	6,8 <sup>ab</sup>	5,6 <sup>bc</sup>	5,1 <sup>c</sup>	6,9 <sup>a</sup>	6,9 <sup>a</sup>	5,3 <sup>b</sup>	1,1	<b>0,012</b>	<b>0,001</b>	0,813
SEM		0,654	0,674	0,654	0,674	0,597	0,597				

### Wiesen Fuchsschwanz



### Gemeine Rispe



### Goldhafer

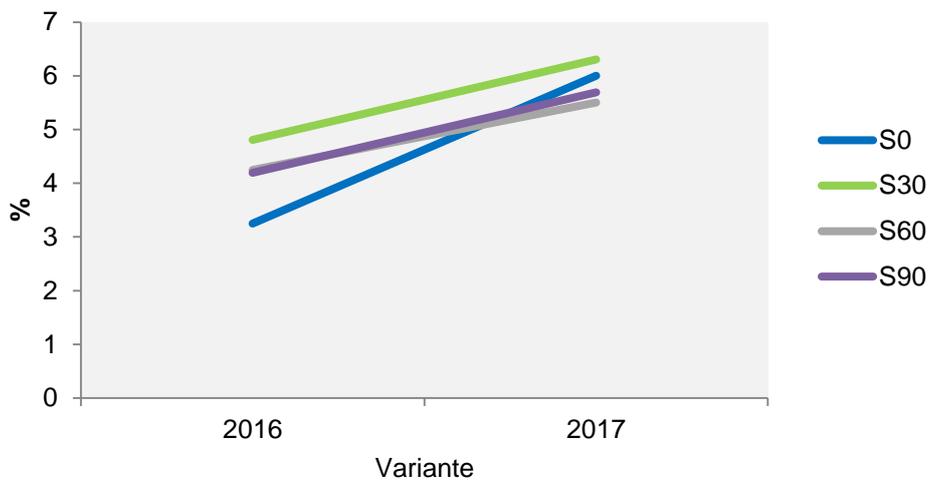


Abbildung 9: Gräseranteil in Abhängigkeit von Variante x Jahr

Der durchschnittliche LAI 0 lag bei 5,18 und wurde nicht durch die Schwefeldüngung beeinflusst. Allerdings wurde eine signifikante Verringerung des LAI 0 von 16 % zwischen den Jahren 2016 und 2017 festgestellt (Tabelle 10). Wie bei den Ergebnissen zuvor, zeigte die Wechselwirkung Variante  $\times$  Jahr keinen signifikanten Effekt (Tabelle 10 und Tabelle 11). Dieses Ergebnis deutet auf einen Unterschied hinsichtlich der Versuchsjahre, nicht aber auf eine Wirkung der Schwefeldüngung hin (Abbildung 10). Allerdings zeigte sich eine signifikante Wechselwirkung der Variante  $\times$  Schnitttermin (Tabelle 13). Aus Abbildung 11 geht hervor, dass sich die Varianten (S0 - S90) unterschiedlich zu den Schnittterminen entwickelten, wonach ein Effekt der Schwefeldüngung erkennbar ist. Die weiteren Ergebnisse zu den untersuchten Wechselwirkungen ( $V \times J$ ,  $T \times J$ , und  $V \times T \times J$ ) sind dem Anhang angefügt (Tabelle 33, Tabelle 34, Tabelle 35 und Tabelle 36).

Tabelle 10: LAI 0 nach dem Modell 1

Parameter	Variante				Jahr		RSD	p-Wert		
	S0	S30	S60	S90	2016	2017		V	J	V*J
LAI 0 cm	5,30	5,04	5,20	5,20	5,64 <sup>a</sup>	4,72 <sup>b</sup>	0,319	0,724	<,001	0,347
SEM	0,195	0,195	0,195	0,195	0,146	0,146				

Tabelle 11: LAI 0 in Abhängigkeit von Variante x Jahr nach dem Modell 1

Parameter	Variante S0		Variante S30		Variante S60		Variante S90	
	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
LAI 0	5,64	4,96	5,40	4,67	5,74	4,67	5,79	4,60
SEM	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225

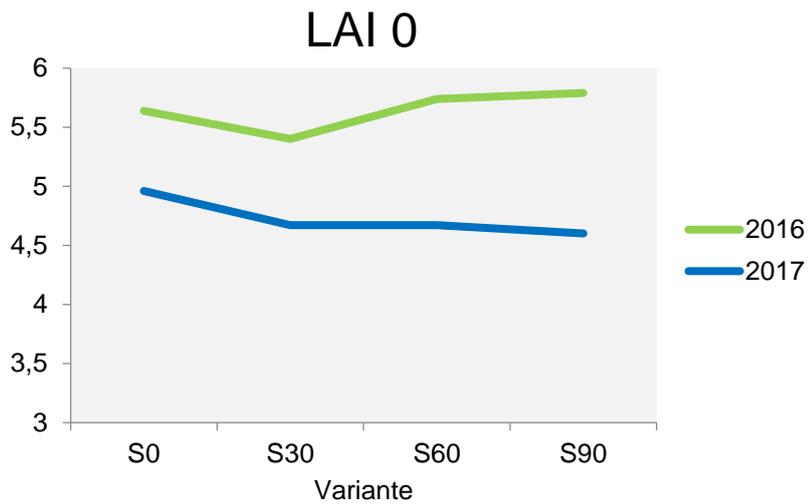


Abbildung 10: LAI in einer Höhe von 0 cm in Abhängigkeit von Variante x Jahr

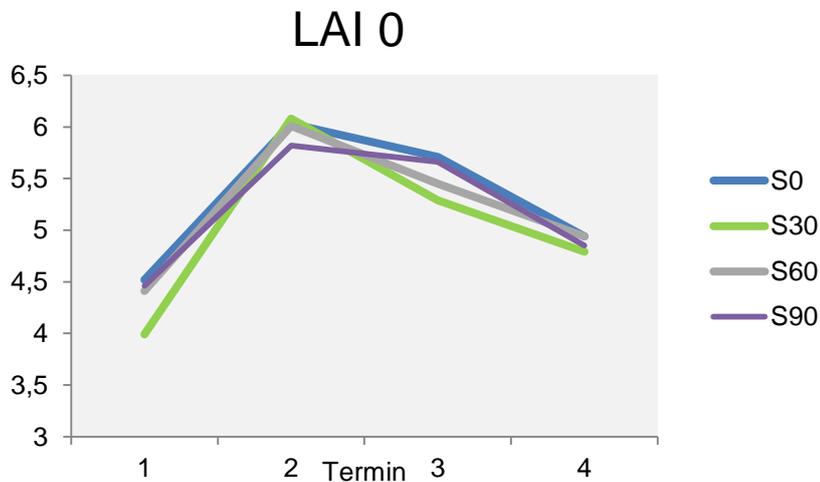


Abbildung 11: LAI in einer Höhe von 0 cm in Abhängigkeit Variante x Termin

Tabelle 12: LAI 0 nach dem Modell 2

Parameter	Variante				Schnitttermin				Jahr		RSD	p-Wert						
	S0	S30	S60	S90	1	2	3	4	2016	2017		V	T	J	V*T	V*J	T*J	V*T*J
LAI 0 cm	5,30	5,04	5,20	5,20	4,35	5,98	5,52	4,88	5,64 <sup>a</sup>	4,72 <sup>b</sup>	41	0,52	0,724	<,001	<,001	0,744	0,153	<,001
SEM	0,195	0,195	0,195	0,195	0,156	0,156	0,156	0,156	0,142	0,142								

Tabelle 13: LAI 0 in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin nach dem Modell 2

Parameter	Variante S0				Variante S30				Variante S60				Variante S90				
	Schnitttermin	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
LAI 0 cm		4,52 <sup>de</sup>	6,03 <sup>a</sup>	5,71 <sup>ab</sup>	4,94 <sup>cd</sup>	3,99 <sup>e</sup>	6,08 <sup>a</sup>	5,29 <sup>bc</sup>	4,79 <sup>cd</sup>	4,41 <sup>de</sup>	6,01 <sup>a</sup>	5,45 <sup>abc</sup>	4,94 <sup>cd</sup>	4,46 <sup>de</sup>	5,82 <sup>ab</sup>	5,66 <sup>ab</sup>	4,85 <sup>cd</sup>
SEM		0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252

## 5.2 Mengen- und Qualitätsparameter

Bei den Mengen- und Qualitätserträgen zeigte der Versuchsfaktor Variante (S0 - S90) einen signifikanten Einfluss. Die Schwefeldüngervarianten (S30 - S90) lieferten im Durchschnitt einen um 791 kg höheren TM-Ertrag als die Variante S0. Dabei wurden die höchsten TM-Erträge in den Varianten S60 und S90 festgestellt. Die numerischen Ertragsunterschiede zwischen S60 und S30 waren nicht signifikant. Ebenso führte die Steigerung der Schwefeldüngermenge zu einer Erhöhung der NEL- und XP-Erträge. So konnten in beiden Fällen die höchsten Erträge ebenfalls in den Varianten S60 und S90 erhoben werden (durchschnittlich 64.689 MJ NEL bzw. 1.774 kg). Weiters wurde in allen drei Mengen- und Qualitätsparametern eine signifikante Verringerung der Erträge zwischen den Versuchsjahren erhoben (Tabelle 14). Die Wechselwirkung Variante  $\times$  Jahr war allerdings nicht signifikant, was auf eine gleich starke Wirkung des Schwefels in den Versuchsjahren hindeutet. Die verringerten Jahreserträge im Jahr 2017 werden demnach nicht dem Schwefel, sondern einem allgemein schlechteren Erntejahr zugeschrieben (Abbildung 12).

Weiters zeigten die Mengen- und Qualitätserträge signifikante Unterschiede hinsichtlich des Versuchseffektes Schnitttermin. Die höchsten TM- und NEL-Erträge wurden zu den ersten und zweiten Schnittnutzungsterminen erhoben. Zum dritten Schnitttermin wurde der höchste XP-Ertrag (463 kg/ha) ermittelt (Tabelle 15). Alle weiteren tabellarischen Angaben der Wechselwirkungen ( $V \times T$ ,  $V \times J$ ,  $T \times J$  und  $V \times T \times J$ ) befinden sich im Anhang (Tabelle 37, Tabelle 38, Tabelle 39, Tabelle 40 und Tabelle 41).

Tabelle 14: Mengen- und Qualitätserträge nach dem Modell 1

Parameter	Einheit	Variante				Jahr		RSD	p-Wert		
		S0	S30	S60	S90	2016	2017		V	J	V*J
TM-Ertrag	kg/ha	9.947 <sup>c</sup>	10.361 <sup>bc</sup>	10.779 <sup>ab</sup>	11.073 <sup>a</sup>	12.212 <sup>a</sup>	8.867 <sup>b</sup>	532	<b>0,004</b>	<b>&lt;,001</b>	0,341
SEM		289	300	289	300	289	300				
NEL-Ertrag	MJ/ha	58.434 <sup>c</sup>	61.523 <sup>bc</sup>	64.008 <sup>ab</sup>	65.370 <sup>a</sup>	72110 <sup>a</sup>	52558 <sup>b</sup>	3.173	<b>0,002</b>	<b>&lt;,001</b>	0,359
SEM		1492	1563	1492	1563	1492	1563				
XP-Ertrag	kg/ha	1.569 <sup>c</sup>	1.647 <sup>bc</sup>	1.749 <sup>ab</sup>	1.798 <sup>a</sup>	1950 <sup>a</sup>	1431 <sup>b</sup>	113	<b>0,005</b>	<b>&lt;,001</b>	0,653
SEM		59,3	61,6	59,3	61,6	59,3	61,6				

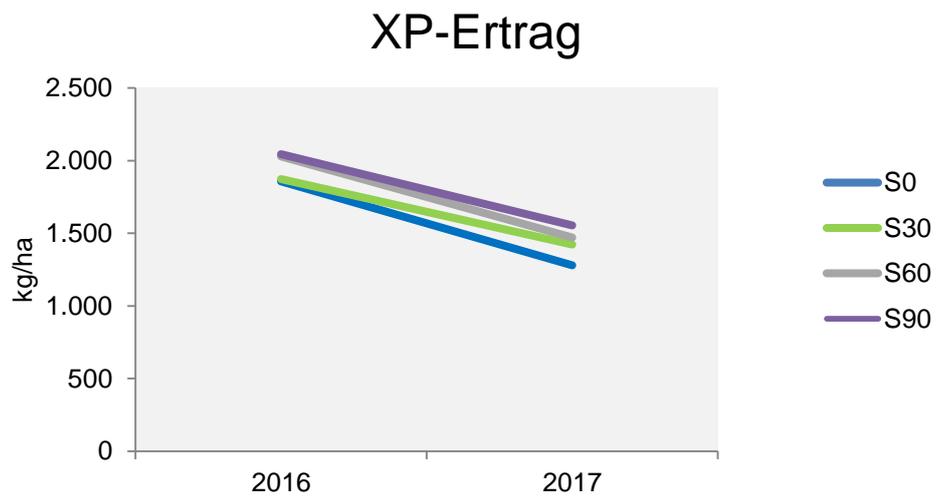
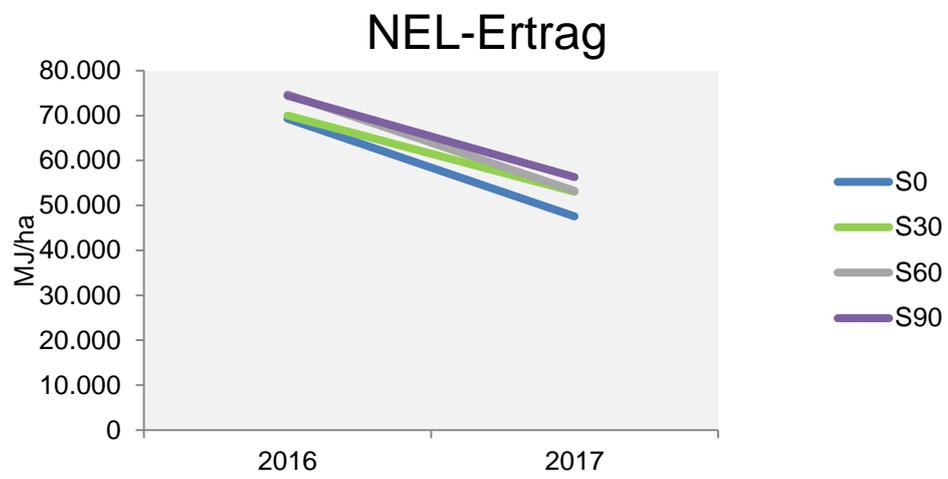
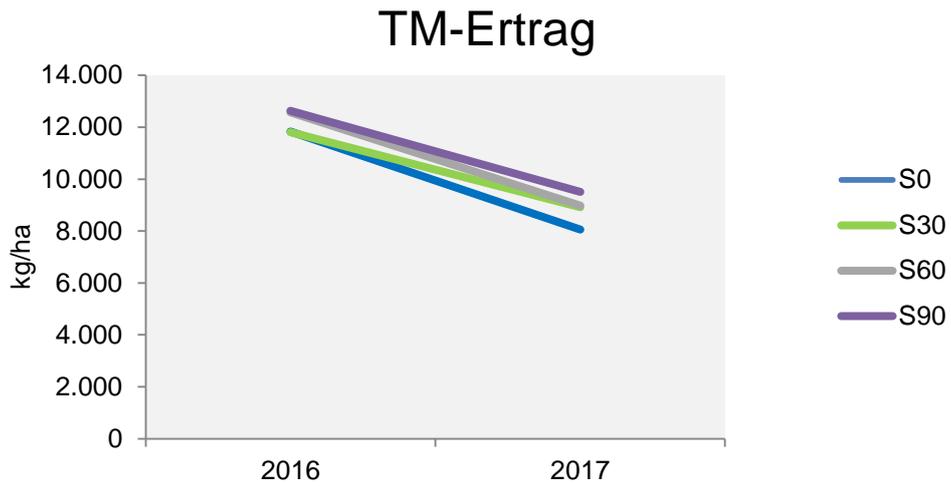


Abbildung 12: Verlauf der Mengen- und Qualitätserträge in Abhängigkeit von Variante x Jahr

Tabelle 15: Mengen- und Qualitätserträge nach dem Modell 2

Parameter	Einheit	Variante				Schnitttermin				Jahr		RSD	p-Wert							
		S0	S30	S60	S90	1	2	3	4	2016	2017		V	T	J	V*T	V*J	T*J	V*T*J	
TM-Ertrag	kg	2487 <sup>c</sup>	2590 <sup>bc</sup>	2695 <sup>ab</sup>	2768 <sup>a</sup>	2870 <sup>a</sup>	2839 <sup>a</sup>	2614 <sup>b</sup>	2217 <sup>c</sup>	3053 <sup>a</sup>	2217 <sup>b</sup>	211	<b>0,013</b>	<b>&lt;,001</b>	<b>&lt;,001</b>	0,449	0,137	<b>&lt;,001</b>	0,724	
<i>SEM</i>		70,2	72,6	70,2	72,6	68,6	68,6	68,6	68,6	63,4	63,4									
NEL-Ertrag	MJ/ha	14608 <sup>c</sup>	15367 <sup>bc</sup>	16002 <sup>ab</sup>	16357 <sup>a</sup>	17971 <sup>a</sup>	16421 <sup>b</sup>	14645 <sup>c</sup>	13296 <sup>d</sup>	18027 <sup>a</sup>	13139 <sup>b</sup>	1273	<b>0,007</b>	<b>&lt;,001</b>	<b>&lt;,001</b>	0,456	0,159	<b>&lt;,001</b>	0,735	
<i>SEM</i>		356	371	356	371	352	352	352	352	314	314									
XP-Ertrag	kg/ha	392 <sup>b</sup>	411 <sup>b</sup>	437 <sup>a</sup>	450 <sup>a</sup>	388 <sup>c</sup>	416 <sup>b</sup>	463 <sup>a</sup>	423 <sup>b</sup>	488 <sup>a</sup>	358 <sup>b</sup>	41	<b>&lt;,001</b>	<b>&lt;,001</b>	<b>&lt;,001</b>	0,343	0,376	<b>&lt;,001</b>	0,892	
<i>SEM</i>		14,0	14,3	14,0	14,3	14,0	14,0	14,0	14,0	13,0	13,0									

Die Rohnährstoff- und Energiegehalte wurden vom Versuchsfaktor Variante (S0 - S90) nicht beeinflusst. Der Faktor Jahr (2016 und 2017) zeigte signifikante Unterschiede hinsichtlich der Parameter XL, XA, XF, XX, NDF und ADL. Der Erntetermin beeinflusste alle Nährstoff- und Energiegehalte signifikant. Dabei wurde der höchste NEL-Gehalt (6,25 MJ NEL/kg TM) zum ersten Schnitttermin festgestellt. Zudem konnte ein signifikanter Anstieg des XP-Gehaltes über die Aufwüchse festgestellt werden (Abbildung 15). Allerdings waren die Wechselwirkungen Variante x Jahr und Variante x Schnitttermin auch in diesem Fall nicht signifikant, wonach die Unterschiede zwischen den Jahren und Schnittterminen nicht auf die Schwefeldüngung zurückzuführen sind (Tabelle 16, Abbildung 13 und Abbildung 14).

Alle weiteren Ergebnisse zu den Wechselwirkungen ( $V \times T$ ,  $V \times J$ ,  $V \times J$ ,  $T \times J$  und  $V \times J \times T$ ) sind im Anhang dargestellt (Tabelle 42, Tabelle 43, Tabelle 45, Tabelle 46 und Tabelle 47).

Tabelle 16: Rohnährstoff- und Energiegehalte nach dem Modell 1

Parameter	Einheit	Variante				Jahr		RSD	p-Wert		
		S0	S30	S60	S90	2016	2017		V	J	V*J
NEL	MJ/kg TM	5,88	5,94	5,93	5,92	5,91	5,92	0,047	0,428	0,485	0,563
SEM		0,040	0,041	0,040	0,041	0,034	0,034				
XP	g/kg TM	159	162	164	165	163	162	4,6	0,106	0,858	0,990
SEM		1,93	1,93	1,93	1,93	1,55	1,55				
XA	g/kg TM	94,6	94,1	94,3	95,6	94,8	94,4	1,32	0,228	0,426	0,266
SEM		0,643	0,673	0,643	0,673	0,552	0,552				
XL	g/kg TM	26,4	26,6	26,5	26,5	27,8 <sup>a</sup>	25,2 <sup>b</sup>	0,60	0,957	<,001	0,660
SEM		0,243	0,262	0,243	0,262	0,191	0,191				
XF	g/kg TM	266	261	262	263	265 <sup>s</sup>	261 <sup>b</sup>	4,2	0,434	<b>0,034</b>	0,224
SEM		3,87	3,98	3,87	3,98	3,46	3,46				
XX	g/kg TM	453	457	453	450	450 <sup>b</sup>	457 <sup>a</sup>	5,6	0,369	<b>0,005</b>	0,505
SEM		4,40	4,49	4,40	4,49	4,14	4,14				
NDF	g/kg TM	490	488	489	481	477 <sup>b</sup>	496 <sup>a</sup>	12,6	0,511	<,001	0,567
SEM		7,19	7,44	7,19	7,44	6,46	6,46				
ADF	g/kg TM	316	310	311	314	311	315	6,6	0,307	0,141	0,180
SEM		3,41	3,55	3,41	3,55	2,99	2,99				
ADL	g/kg TM	35,6	35,2	35,3	35,4	34,0 <sup>b</sup>	36,8 <sup>a</sup>	1,56	0,957	<,001	0,566
SEM		0,697	0,697	0,697	0,697	0,577	0,577				
NFC	g/kg TM	403	408	404	399	404	403	7,3	0,287	0,904	0,294
SEM		4,16	4,31	4,16	4,31	3,74	3,74				

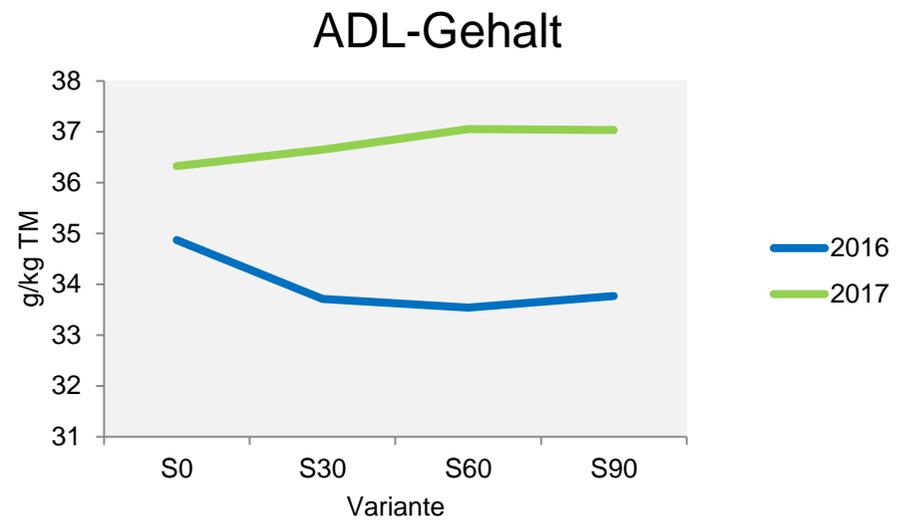
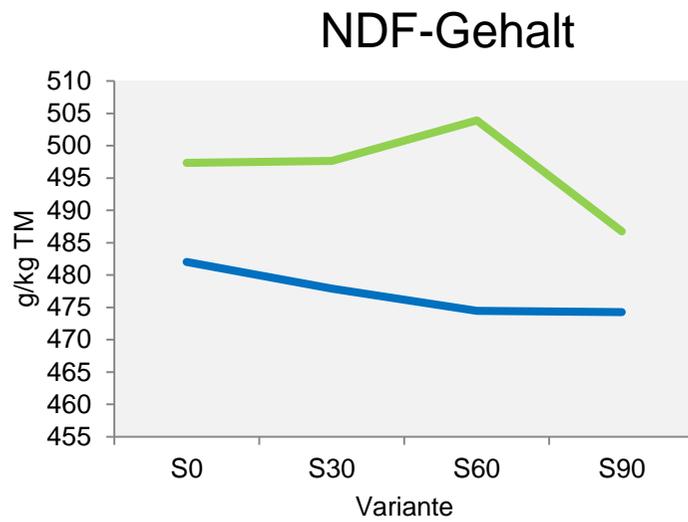
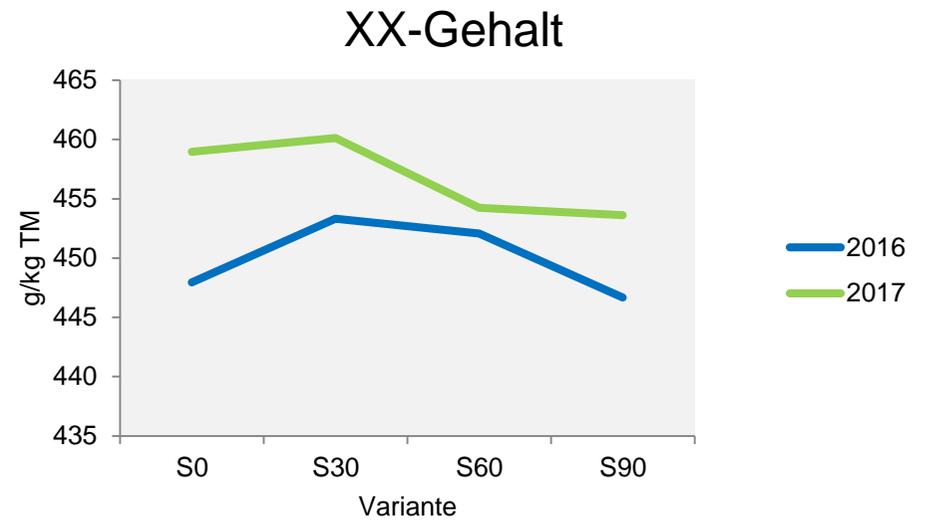
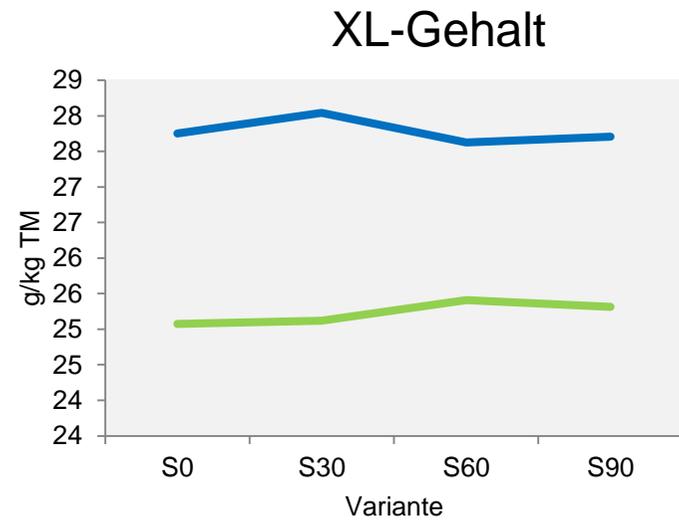


Abbildung 13: Rohnährstoff- und Fasergehalte in Abhängigkeit von Variante und Jahr

Tabelle 17: Rohnährstoff- und Energiegehalte nach dem Modell 2

Parameter	Einheit	Variante				Schnitttermin				Jahr		RSD	p-Wert						
		S0	S30	S60	S90	1	2	3	4	2016	2017		V	T	J	V*T	V*J	T*J	V*T*J
NEL	MJ/kg TM	5,88	5,94	5,93	5,92	6,25 <sup>a</sup>	5,79 <sup>c</sup>	5,62 <sup>d</sup>	6,00 <sup>b</sup>	5,91	5,92	0,12	0,428	<,001	0,569	0,733	0,718	<,001	0,551
SEM		0,040	0,041	0,040	0,041	0,038	0,038	0,038	0,038	0,035	0,035								
XP	g/kg TM	159	162	164	165	134 <sup>d</sup>	147 <sup>c</sup>	179 <sup>b</sup>	190 <sup>a</sup>	163	162	8	0,026	<,001	0,831	0,408	0,984	<,001	0,425
SEM		1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,49	1,49								
XA	g/kg TM	94,6	94,0	94,3	95,7	80,3 <sup>c</sup>	93,7 <sup>b</sup>	102,0 <sup>a</sup>	102,5 <sup>a</sup>	94,8	94,4	3,9	0,337	<,001	0,580	0,961	0,575	<,001	0,563
SEM		0,736	0,736	0,736	0,736	0,736	0,736	0,736	0,736	0,556	0,556								
XL	g/kg TM	26,4	26,6	26,5	26,5	23,3 <sup>d</sup>	25,8 <sup>c</sup>	27,4 <sup>b</sup>	29,4 <sup>a</sup>	27,8a	25,2b	1,3	0,973	<,001	<,001	0,376	0,719	<,001	0,665
SEM		0,251	0,270	0,251	0,270	0,251	0,251	0,251	0,251	0,189	0,189								
XF	g/kg TM	266	261	262	263	256 <sup>c</sup>	268 <sup>b</sup>	283 <sup>a</sup>	245 <sup>d</sup>	265	261	12	0,434	<,001	0,089	0,648	0,461	<,001	0,761
SEM		3,86	3,98	3,86	3,98	3,82	3,82	3,82	3,82	3,54	3,54								
XX	g/kg TM	453	457	453	450	507 <sup>a</sup>	466 <sup>b</sup>	408 <sup>d</sup>	432 <sup>c</sup>	450b	457a	11	0,369	<,001	0,001	0,293	0,425	<,001	0,450
SEM		4,40	4,49	4,40	4,49	4,33	4,33	4,33	4,33	4,13	4,13								
NDF	g/kg TM	490	488	489	480	498 <sup>a</sup>	486 <sup>b</sup>	506 <sup>a</sup>	458 <sup>c</sup>	477b	496a	24	0,446	<,001	<,001	0,915	0,517	<,001	0,755
SEM		7,14	7,36	7,14	7,36	7,14	7,14	7,14	7,14	6,47	6,47								
ADF	g/kg TM	316	310	311	314	309 <sup>c</sup>	320 <sup>b</sup>	329 <sup>a</sup>	293 <sup>d</sup>	311	315	12	0,315	<,001	0,090	0,764	0,088	<,001	0,911
SEM		3,37	3,51	3,37	3,51	3,32	3,32	3,32	3,32	2,97	2,97								
ADL	g/kg TM	35,6	35,2	35,3	35,4	35,7 <sup>a</sup>	37,0 <sup>a</sup>	36,7 <sup>a</sup>	32,0 <sup>b</sup>	34,0 <sup>b</sup>	36,8 <sup>a</sup>	3,6	0,973	<,001	<,001	0,946	0,675	<,001	0,644
SEM		0,753	0,753	0,753	0,753	0,753	0,753	0,753	0,753	0,600	0,600								
NFC	g/kg TM	403	408	404	399	453 <sup>a</sup>	414 <sup>b</sup>	362 <sup>d</sup>	385 <sup>c</sup>	404	403	12	0,288	<,001	0,884	0,620	0,130	0,002	0,858
SEM		4,10	4,24	4,10	4,24	4,00	4,00	4,00	4,00	3,70	3,70								

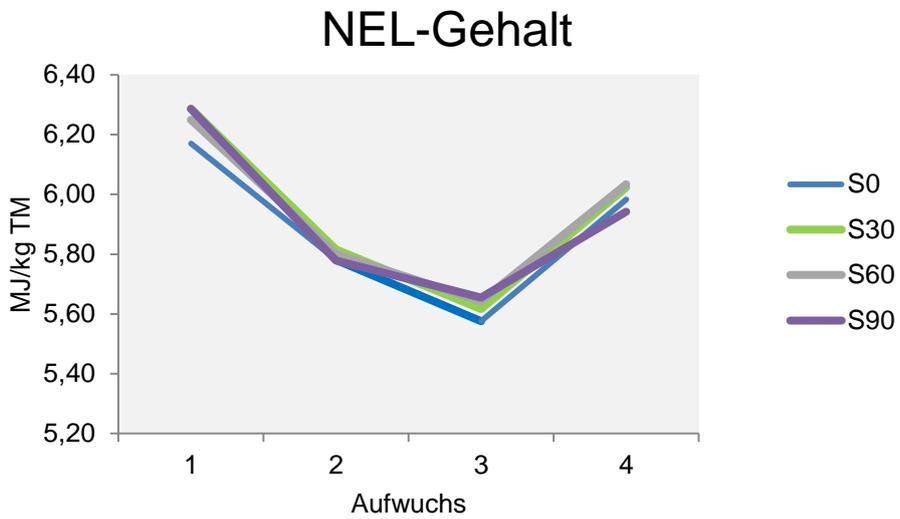
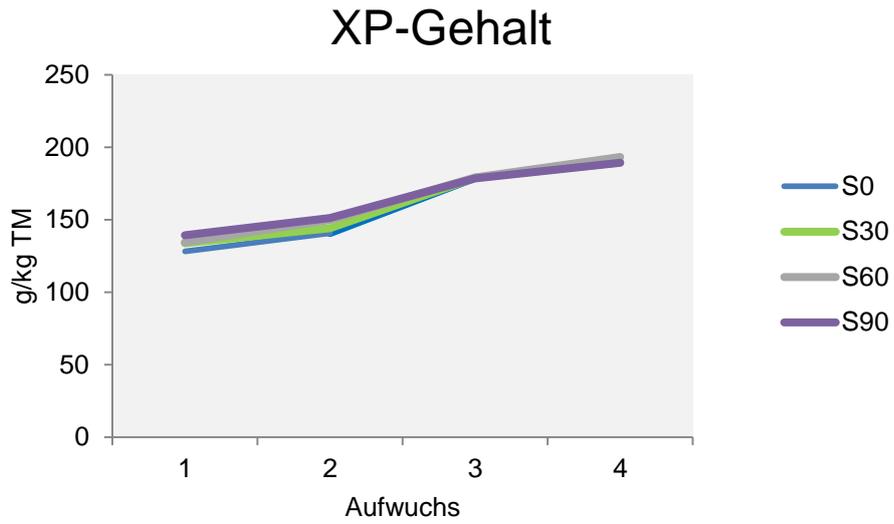


Abbildung 14: XP- und NEL-Gehalt in Abhängigkeit von Variante und Schnitttermin

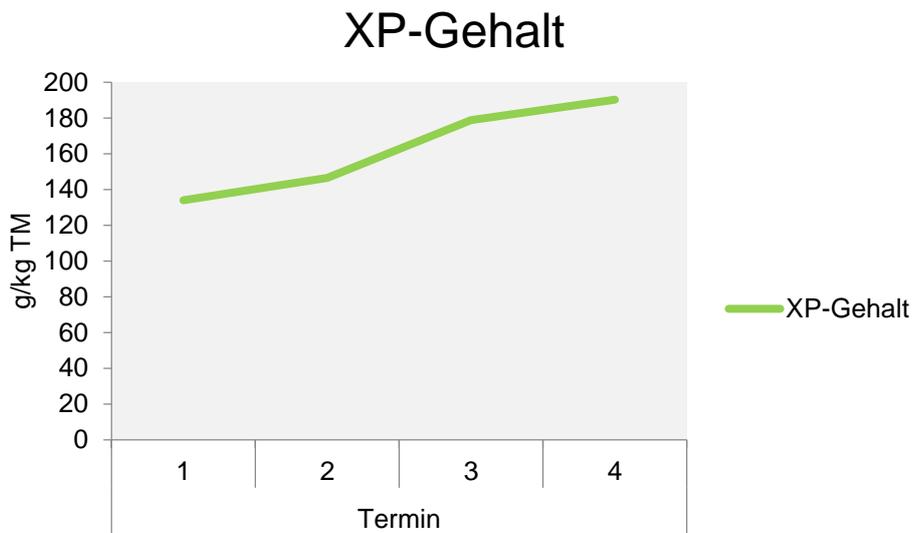


Abbildung 15: Verlauf des XP-Gehaltes über die Vegetationsperiode

Der Gehalt an Mineralstoffen- und Spurenelementen wurden mit Ausnahme des Elementes Phosphor (P) von der Schwefeldüngung nicht beeinflusst. Im Gegensatz dazu wirkte sich der Faktor Schnitttermin auf alle Parameter signifikant aus, so auch auf den Schwefelgehalt (Abbildung 16) und der Faktor Jahr hatte einen Einfluss auf die Parameter TM, S, P, K, Na, Cu und Zn (Tabelle 18). Die Wechselwirkungen Variante  $\times$  Jahr und Variante  $\times$  Schnitttermin waren nicht signifikant (Abbildung 17 und Abbildung 18).

Die weiteren untersuchten Wechselwirkungseffekte ( $V \times T$ ,  $V \times J$ ,  $V \times J$ ,  $T \times J$  und  $V \times T \times J$ ) sind im Anhang dargestellt (Tabelle 48, Tabelle 49, Tabelle 50, Tabelle 51, Tabelle 52 und Tabelle 53).

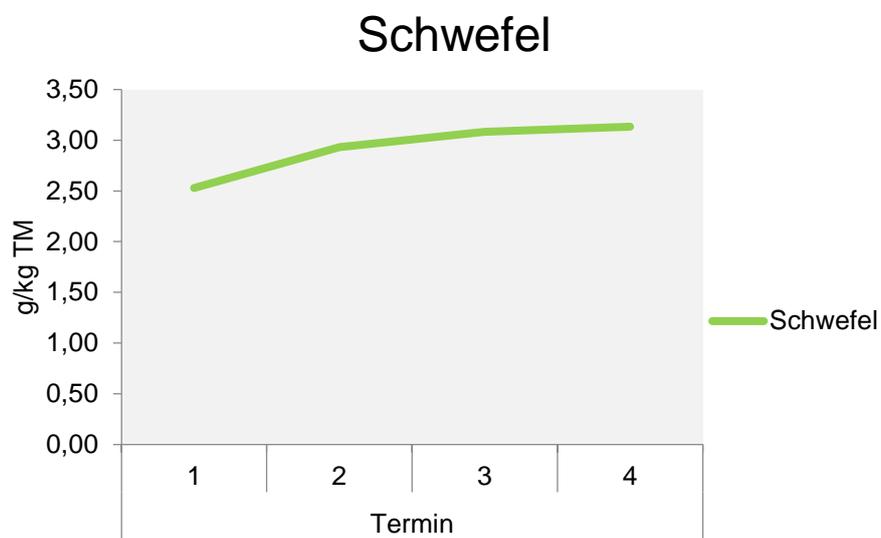


Abbildung 16: Anstieg des Schwefelgehaltes über die Vegetationsperiode

Tabelle 18: Mengen- und Spurenelementgehalte nach dem Modell 1

Parameter	Einheit	Variante				Jahr		RSD	p-Wert		
		S0	S30	S60	S90	2016	2017		V	J	V*J
TM	g/kg FM	187	186	185	180	181 <sup>b</sup>	188 <sup>a</sup>	5,1	0,135	<b>0,001</b>	0,732
SEM		2,60	2,72	2,60	2,72	2,27	2,27				
S	g/kg TM	2,87	2,91	2,96	2,94	2,62 <sup>b</sup>	3,22 <sup>a</sup>	0,100	0,380	<b>&lt;,001</b>	0,480
SEM		0,039	0,042	0,039	0,042	0,030	0,030				
P	g/kg TM	4,62 <sup>a</sup>	4,52 <sup>ab</sup>	4,46 <sup>b</sup>	4,51 <sup>b</sup>	4,66 <sup>a</sup>	4,39 <sup>b</sup>	0,107	<b>0,042</b>	<b>&lt;,001</b>	0,780
SEM		0,066	0,068	0,066	0,068	0,061	0,061				
K	g/kg TM	25,6	25,1	25,1	25,6	25,8 <sup>a</sup>	24,9 <sup>b</sup>	0,62	0,444	<b>0,001</b>	0,987
SEM		0,521	0,532	0,521	0,532	0,485	0,485				
Ca	g/kg TM	7,44	7,91	8,05	8,01	7,69	8,01	0,502	0,258	0,099	0,931
SEM		0,361	0,373	0,361	0,373	0,321	0,321				
Mg	g/kg TM	2,76	2,71	2,73	2,85	2,73	2,79	0,093	0,088	0,064	0,924
SEM		0,056	0,058	0,056	0,058	0,051	0,051				
Na	mg/kg TM	615	626	640	649	518 <sup>b</sup>	747 <sup>a</sup>	44,2	0,493	<b>&lt;,001</b>	0,900
SEM		34,3	34,9	34,3	34,9	32,5	32,5				
Cu	mg/kg TM	8,58	8,60	8,70	8,81	8,49 <sup>b</sup>	8,86 <sup>a</sup>	0,343	0,600	<b>0,007</b>	0,632
SEM		0,127	0,136	0,127	0,136	0,094	0,094				
Mn	mg/kg TM	60,5	60,8	62,2	66,0	61,6	63,1	8,11	0,719	0,619	0,154
SEM		4,19	4,43	4,19	4,43	3,36	3,36				
Zn	mg/kg TM	31,8	32,3	31,7	32,3	29,8 <sup>b</sup>	34,2 <sup>a</sup>	0,67	0,718	<b>&lt;,001</b>	0,248
SEM		0,887	0,911	0,887	0,911	0,799	0,799				
Fe	g/kg TM	461	403	487	405	403	474	221,2	0,836	0,375	0,344
SEM		100	106	100	106	84	84				

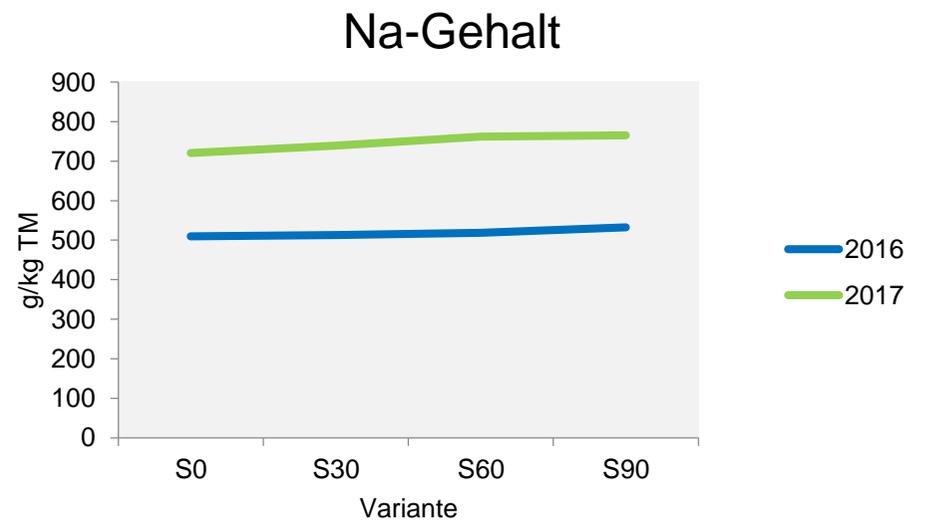
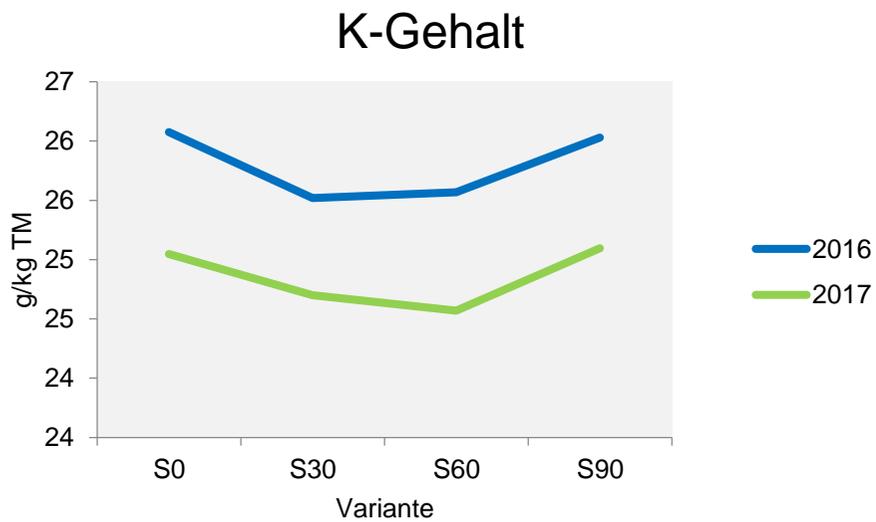
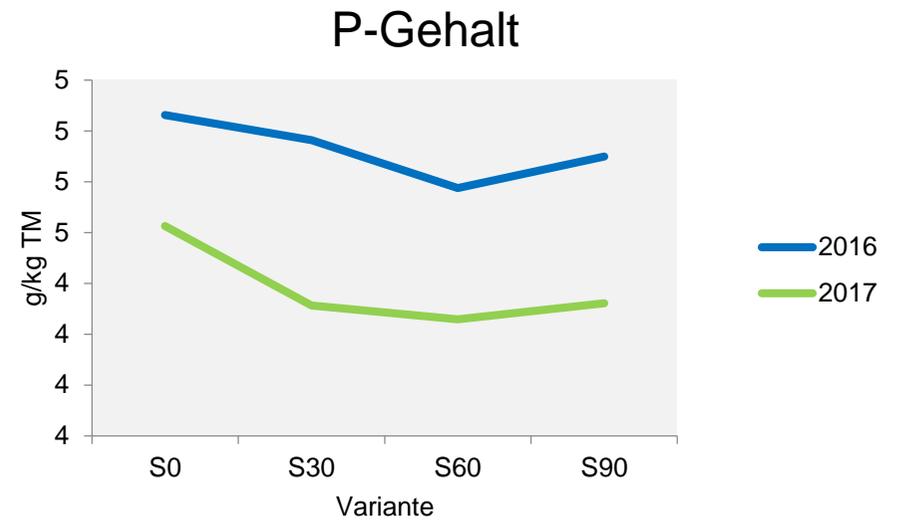
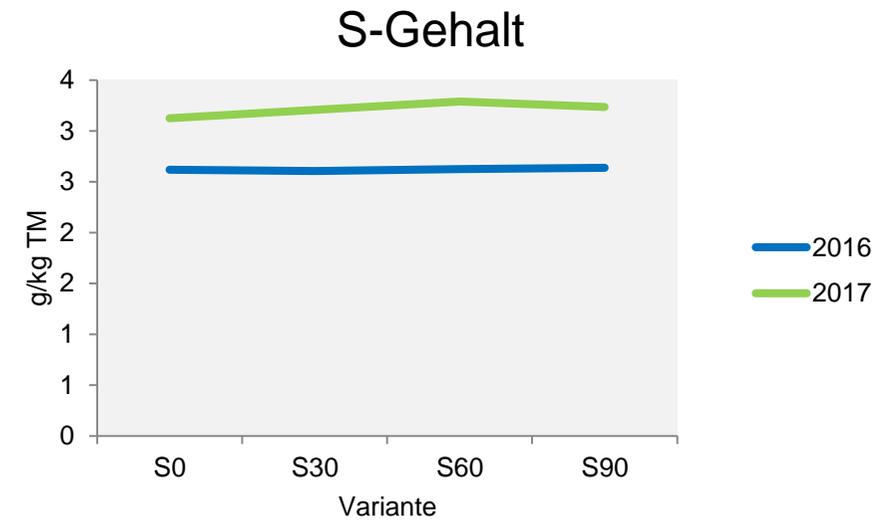


Abbildung 17: Mineralstoffgehalte in Abhängigkeit von Variante und Jahr

Tabelle 19: Mengen- und Spurenelementgehalte nach dem Modell 2

Parameter	Einheit	Variante				Schnitttermin				Jahr		RSD	p-Wert						
		S0	S30	S60	S90	1	2	3	4	2016	2017		V	T	J	V*T	V*J	T*J	V*T*J
TM	g/kg FM	187	186	185	180	218 <sup>c</sup>	213 <sup>d</sup>	141 <sup>b</sup>	167 <sup>a</sup>	181 <sup>b</sup>	188 <sup>a</sup>	9	0,064	<,001	<,001	0,502	0,684	<,001	0,952
SEM		2,57	2,66	2,57	2,66	2,57	2,57	2,57	2,57	2,28	2,28								
S	g/kg TM	2,87	2,91	2,96	2,94	2,53 <sup>c</sup>	2,93 <sup>b</sup>	3,08 <sup>a</sup>	3,13 <sup>a</sup>	2,62 <sup>b</sup>	3,22 <sup>a</sup>	0,19	0,316	<,001	<,001	0,948	0,428	<,001	0,824
SEM		0,038	0,041	0,038	0,041	0,038	0,038	0,038	0,038	0,030	0,030								
P	g/kg TM	4,62	4,52	4,46	4,50	3,69 <sup>c</sup>	4,26 <sup>b</sup>	5,11 <sup>a</sup>	5,04 <sup>a</sup>	4,66 <sup>a</sup>	4,39 <sup>b</sup>	0,18	0,005	<,001	<,001	0,056	0,680	<,001	0,590
SEM		0,065	0,066	0,065	0,066	0,065	0,065	0,065	0,065	0,061	0,061								
K	g/kg TM	25,6	25,1	25,1	25,6	22,9 <sup>c</sup>	23,0 <sup>c</sup>	28,5 <sup>a</sup>	26,9 <sup>b</sup>	25,8 <sup>a</sup>	24,9 <sup>b</sup>	1,14	0,444	<,001	<,001	0,640	0,985	<,001	0,656
SEM		0,521	0,532	0,521	0,532	0,504	0,504	0,504	0,504	0,483	0,483								
Ca	g/kg TM	7,44	7,91	8,05	8,01	7,08 <sup>c</sup>	8,68 <sup>a</sup>	8,29 <sup>b</sup>	7,35 <sup>c</sup>	7,69 <sup>b</sup>	8,01 <sup>a</sup>	0,71	0,258	<,001	<b>0,013</b>	0,738	0,831	<b>0,004</b>	0,436
SEM		0,361	0,373	0,361	0,373	0,327	0,327	0,327	0,327	0,315	0,315								
Mg	g/kg TM	2,76	2,71	2,73	2,84	2,18 <sup>d</sup>	2,75 <sup>c</sup>	2,99 <sup>b</sup>	3,12 <sup>a</sup>	2,73	2,79	0,19	0,067	<,001	0,055	0,930	0,928	<,001	0,894
SEM		0,056	0,058	0,056	0,058	0,056	0,056	0,056	0,056	0,051	0,051								
Na	mg/kg TM	615	626	640	649	558 <sup>b</sup>	596 <sup>b</sup>	565 <sup>b</sup>	810 <sup>a</sup>	518 <sup>b</sup>	747 <sup>a</sup>	100	0,594	<,001	<,001	0,887	0,929	<b>0,013</b>	0,902
SEM		34,8	35,6	34,8	35,6	34,8	34,8	34,8	34,8	32,5	32,5								
Cu	mg/kg TM	8,58	8,60	8,70	8,81	6,93 <sup>c</sup>	7,21 <sup>c</sup>	9,91 <sup>b</sup>	10,65 <sup>a</sup>	8,49 <sup>b</sup>	8,86 <sup>a</sup>	0,61	0,487	<,001	<b>0,001</b>	0,834	0,528	<,001	0,213
SEM		0,121	0,128	0,121	0,128	0,121	0,121	0,121	0,121	0,094	0,094								
Mn	mg/kg TM	60,5	60,7	62,2	66,0	42,4 <sup>c</sup>	62,1 <sup>b</sup>	63,9 <sup>b</sup>	81,0 <sup>a</sup>	61,6	63,1	21,8	0,787	<,001	0,704	0,626	0,328	0,293	0,265
SEM		4,52	4,79	4,52	4,79	4,52	4,52	4,52	4,52	3,61	3,61								
Zn	mg/kg TM	31,8	32,3	31,7	32,3	23,4 <sup>d</sup>	29,2 <sup>c</sup>	36,9 <sup>b</sup>	38,5 <sup>a</sup>	29,8 <sup>b</sup>	34,2 <sup>a</sup>	2,4	0,718	<,001	<,001	0,717	0,691	<,001	0,429
SEM		0,887	0,911	0,887	0,911	0,873	0,873	0,873	0,873	0,819	0,819								
Fe	g/kg TM	461	404	487	404	117 <sup>c</sup>	267 <sup>bc</sup>	420 <sup>b</sup>	952 <sup>a</sup>	403	474	518	0,891	<,001	0,439	0,636	0,463	0,164	0,286
SEM		106	113	106	113	106	106	106	106	84	84								

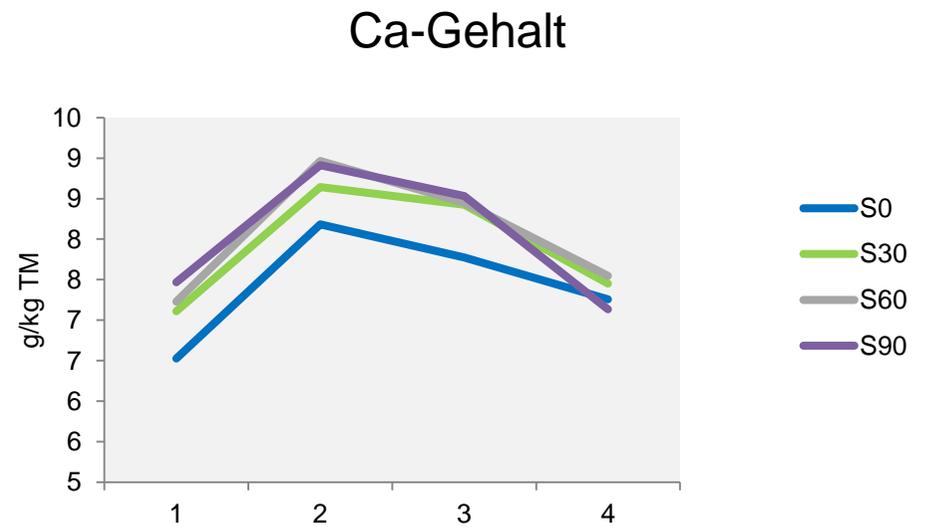
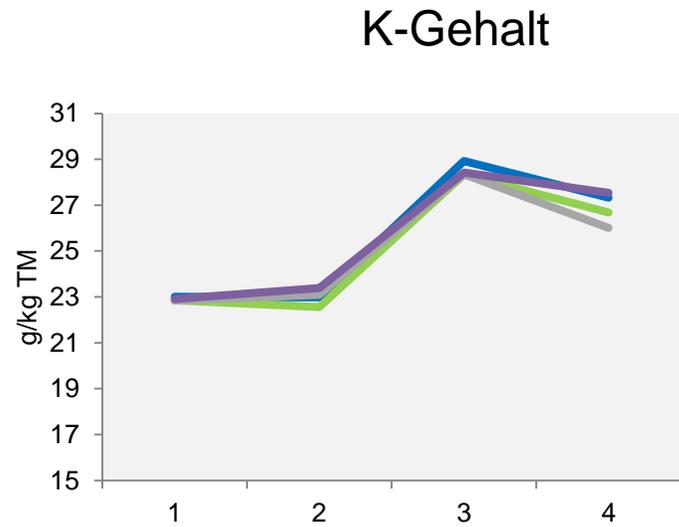
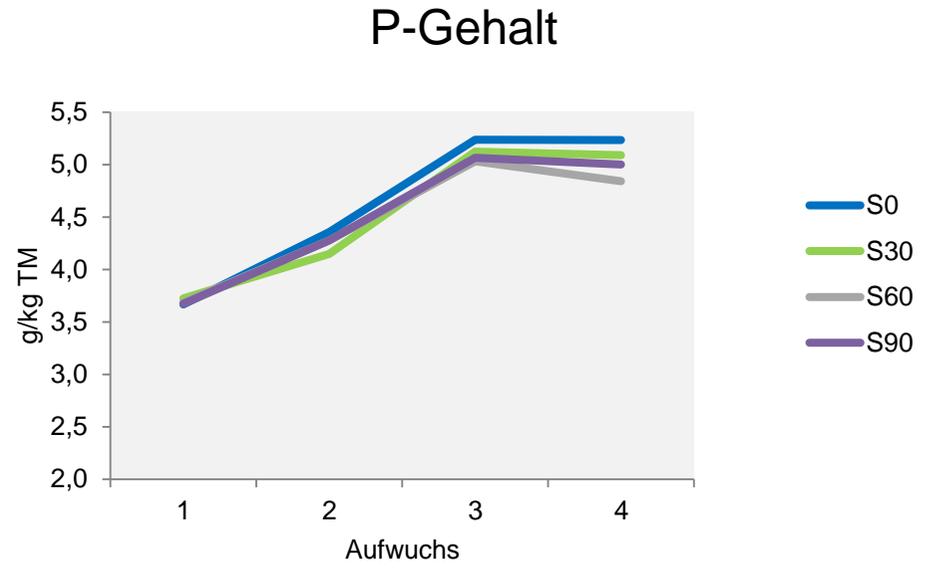
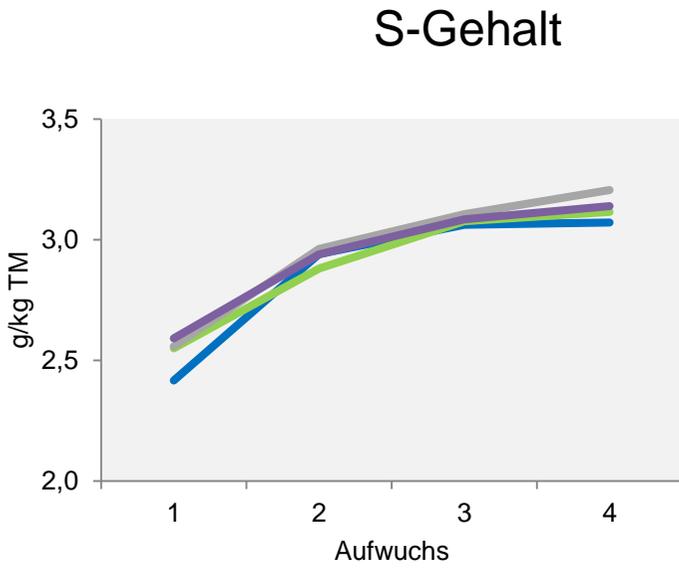


Abbildung 18: Mineralstoffgehalt in Abhängigkeit von Variante und Termin

### 5.3 Schwefelaufnahme einer Milchkuh

Entsprechend den Annahmen aus dem Kapitel Material und Methode, ergibt sich für die unterstellte Milchkuh eine Schwefelaufnahme aus Grund- und Krafffutter von 52,6 g/Tag (40,6 + 12,0 g Schwefel) bzw. einem Schwefelgehalt der Gesamtration von 4,92 g/kg TM. Wird mit einem durchschnittlichen S-Gehalt im Trinkwasser von 0,167 g/Liter und einer Trinkwasseraufnahme von 68 Litern gerechnet, ergibt dies eine zusätzliche S-Aufnahme von etwa 11 g pro Tier und Tag.

Aus diesem Beispiel ergibt sich eine tägliche Schwefelübersversorgung nach *Dirksen et al.* (2006) von rund 22 g/Tag (Tabelle 20).

Tabelle 20: Bilanzierung des Bedarfs an Schwefel einer Holstein Friesian (HF) Kuh

	Ration	S-Gehaltswerte	Gesamt Schwefel
Schwefel Bedarf			41,3 g/Tag
Grundfutter	13,7 kg/Tag	2,92 g/kg TM	40,0 g/Tag
Krafffutter	7 kg /Tag		
<i>Mais</i>	2,31 kg/Tag	1 g/kg TM	2,3 g/Tag
<i>Trockenschnitzel</i>	2,31 kg/Tag	3 g/kg TM	6,9 g/Tag
<i>Sojaschale</i>	2,31 kg/Tag	1,2 g/kg TM	2,8 g/Tag
Wasser	68 kg/Tag	0,167 g/kg	11,4 g/Tag
Saldo			+22,1 g/Tag

## 5.4 Schlagbilanzierung und Bodenproben

### Gülle

Der Schwefelgehalt der Gülle betrug 5,8 g/kg Trockenmasse (Tabelle 21). Aufgeteilt auf den Bedarf des Pflanzenbestandes zu den jeweiligen Vegetationsstadien wurden über die gesamte Vegetationsperiode 2016 und 2017 150 kg Stickstoff pro Hektar über Rindergülle ausgebracht. Bei einem Stickstoffgehalt von 2,8 kg pro m<sup>3</sup> Gülle entsprach die jährlich ausgebrachte Güllemenge 53,6 m<sup>3</sup>/ha bzw. 53,6 Tonnen Gülle/ha. Unter Berücksichtigung des Trockenmassegehaltes ergibt sich so ein jährlicher Schwefeleintrag über die Rindergülle von 16,3 kg pro Hektar.

Tabelle 21: Schwefelkonzentration und pH-Wert in der Rindergülle

	TM (%)	S (g/kg TM)	pH-Wert
Mittelwert	5,25	5,8	7,4

### Die nasse Deposition

Anhand von Daten der ZAMG-Wetterstation am Standort Raumberg-Gumpenstein können durchschnittliche Schwefelmengen aus dem Niederschlag für die Untersuchungsjahre 2016 und 2017 von jeweils 2,5 kg/ha angenommen werden.

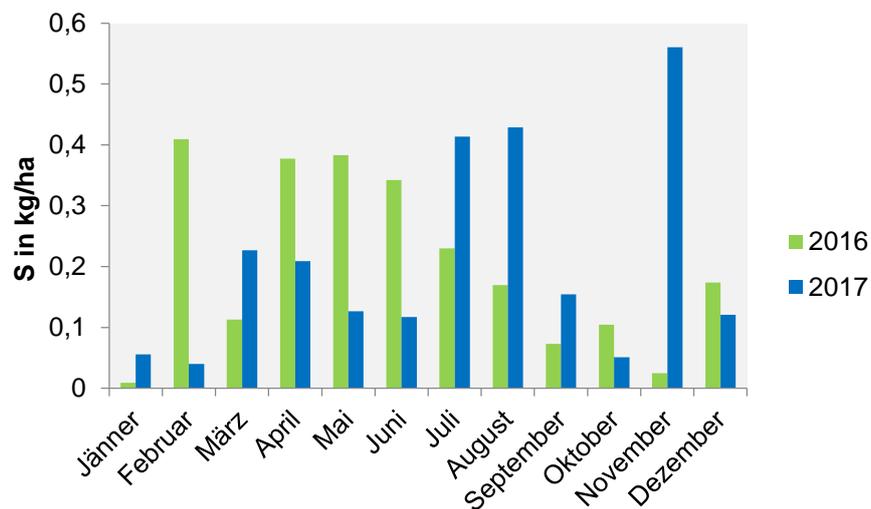


Abbildung 19: Monatlicher Schwefeleintrag aus der nassen Deposition während der Versuchsjahre 2016 und 2017

## Schwefelentzug über das Erntegut

Im Zuge der Ernte wird Schwefel von der Fläche abgeführt. Bei einer mittleren S-Konzentration von 2,92 g/kg TM und einem TM-Ertrag von 10.540 kg/ha lag der S-Entzug je nach Variante zwischen 28,8 - 32,6 kg/ha (Tabelle 22).

Tabelle 22: Schwefelgehalt des Erntegutes und Gesamtentzug pro Jahr

Variante	S-Gehalt, g/kg TM*	TM-Ertrag kg/ha*	S-Ertrag kg/ha
S0	2,87	9.947	28,8
S30	2,91	10.361	30,2
S60	2,96	10.779	31,9
S90	2,94	11.073	32,6

\* durchschnittlicher S-Gehalt und TM-Ertrag der zwei Versuchsjahre

In Tabelle 23 sind die Ergebnisse aus den Zu- und Abschlägen sowie die rechnerischen Gesamtergebnisse der Schlagbilanzierung eingetragen.

Tabelle 23: Schwefel-Schlagbilanzierung

		Variante			
		S0	S30	S60	S90
Gülldüngung	kg/ha	16,3	16,3	16,3	16,3
+ Anorganischer S-Dünger	kg/ha	0,00	30,00	60,00	90,00
+ Nasse Deposition*	kg/ha	2,50	2,50	2,50	2,50
- Erntegut	kg/ha	28,8	30,2	31,9	32,6
- Auswaschung**	kg/ha	4,00	4,00	4,00	4,00
<b>=Saldo</b>	<b>kg/ha</b>	<b>-14,0</b>	<b>14,6</b>	<b>42,9</b>	<b>72,2</b>

\* Durchschnittlicher Schwefeleintrag über die nasse Deposition der Jahre 2016 und 2017 – Untersuchungen des Wasserlabors an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein

\*\* Diepolder und Heigel (2006)

Die Schwefelbilanzierung ergibt bei Verzicht einer zusätzlichen Schwefeldüngung (S0) eine negative Bilanz von 14 kg Schwefel/ha. Im Gegensatz dazu bewirkt eine Schwefeldüngung (S30-S90) eine positive S-Bilanz.

Aufgrund der Bodenbeprobungen wurde über alle Varianten hinweg eine signifikante Steigerung des Schwefel- und Sulfatgehaltes erhoben (Tabelle 24). Die Ergebnisse der Frühjahrs- und Herbstbeprobungen unterscheiden sich bei Schwefel sowie bei Sulfat signifikant voneinander. Der Schwefelgehalt war im Herbst um 11 % höher als im Frühjahr. Bei Sulfat steigt der Wert im Herbst verglichen mit dem Frühjahr um 136 % an.

Tabelle 24: Schwefel- und Sulfatgehalte im Boden im Frühjahr und Herbst nach der Königwassermethode (in mg/kg TM)

	Frühjahr	Herbst	SEM	p-Wert
Schwefel	637,0 <sup>b</sup>	707,0 <sup>a</sup>	19,693	<b>&lt;0,001</b>
Sulfat	23,9 <sup>b</sup>	56,4 <sup>a</sup>	1,498	<b>&lt;0,001</b>

Weiters geht aus Tabelle 25 hervor, dass die Wechselwirkung Variante × Termin keinen signifikanten Effekt zeigte, demnach der signifikante Schwefelanstieg zwischen Frühjahrs- und Herbstbeprobung als nicht Schwefeldünger bedingt zu verzeichnen ist. Allerdings ist aus der Abbildung 20 ein numerischer Anstieg in allen Varianten – selbst in der Variante S0 – zu erkennen.

Tabelle 25: Schwefelgehaltswerte aller vier getesteten Varianten vom Frühjahr und vom Herbst 2016 in mg/kg Feinboden-TM

	Variante								p-Wert
	S0		S30		S60		S90		
	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	
Schwefel, mg/kg TM	597,2	669,4	657,9	713,5	667,0	736,5	625,8	708,7	0,872

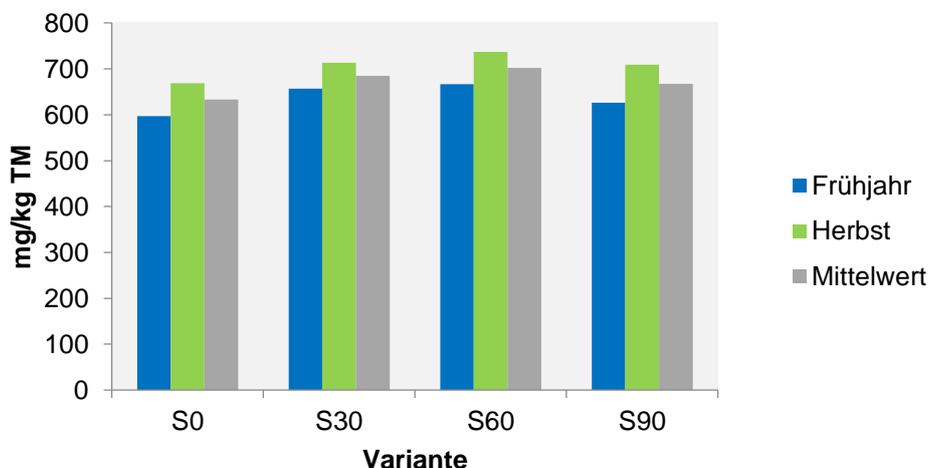


Abbildung 20: Schwefelgehaltswerte der Bodenbeprobungen im Frühjahr und im Herbst

## 6 Diskussion

Die Versuchspartellen wurden auf einem Braunlehm Boden mit mittlerer Gründigkeit und einem Humus- und Tongehalt von 10,3 bzw. 11,3 % angelegt. Die Durchschnittstemperatur im Versuchszeitraum (2016 und 2017) lag 1 °C über dem langjährigen Jahresmittel von 9 °C, die Jahresniederschlagsmenge betrug 1.164 mm. Diese optimalen Wachstumsbedingungen spiegeln sich in den Ergebnissen wieder.

### 6.1 Ausgangssituation hinsichtlich des Pflanzenbestandes

Der durchschnittliche LAI 0-Wert, ein Kriterium für die Ertragsfähigkeit eines Grünlandbestandes, lag bei 5,2 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> Bodenfläche. In einem ebenfalls am Bio- Institut der HBLFA Raumberg-Gumpenstein angelegten Gülledüngeversuch von *Starz et al.* (2014) wurde ein LAI 0-Wert von 3,1 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> Bodenfläche beobachtet. Weiters wurde mit 87 % auch ein hoher Gräseranteil am Pflanzenbestand festgestellt. Nach *Elsässer et al.* (2009/2010) wird eine Artengruppenverteilung von zumindest 70 % Gräsern und 15 % Leguminosen angestrebt. Da sich die Artengruppenzusammensetzung stark auf den Ertrag und die Qualität des Grundfutters auswirkt (Resch, 2007), wird ein hoher Gräseranteil als positiv für die Ertragsbildung im Grünland beschrieben (Elsässer et al., 2009/2010). Dies erklärt auch das für österreichische Grünlandbedingungen hohe Ertragsniveau. Der Trockenmasseertrag der S0-Variante betrug rund 10 t TM/ha und Jahr und war um 1,7 t TM/ha/a höher als in dem von *Resch et al.* (2009) beschriebenen mehrjährigen Versuch. Weiters lag der durchschnittliche Energiegehalt in der Versuchspartelle S0 um 0,15 MJ NEL/kg TM höher als in einem von *Obritzhauser* (2000) beschriebenen Versuch in Süd-Deutschland (5,73 MJ NEL/kg TM). Die durchschnittlichen NDF-, und XF-Gehalte in den Referenzflächen lagen bei 490 g/kg - bzw. 266 g/kg TM. Dieser NDF-Gehalt ist mit Weidefutter (484 g NDF/kg TM) vergleichbar (Gruber et al., 2001). Zudem lag der XF-Gehalt unter den von *Resch et al.* (2015) ermittelten XF-Gehaltswerten (294 g/kg TM) in einem Langzeitversuch.

### 6.2 Wird durch eine Düngung mit elementarem Schwefel der Anteil an Leguminosen auf einer Schnittwiese gefördert?

Die im vorliegenden Versuch beobachtete Artengruppenzusammensetzung wurde durch die Schwefeldüngung (S0 - S90) nicht verändert. Die von *Robson et al.* (1995) beschriebene positive Wirkung des Schwefels auf die Leguminosen wurde in der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt. Ein weiterer Schwefeldüngeversuch in Deutschland bei einem Luzerne-Kleegrassbestand zeigte ebenfalls keine signifikante Wirkung des Schwefels auf den

Leguminosenanteil (Fischinger et al., 2011). Zudem zeigte der Versuch von *Gruber et al.* (2015), in dem schnell-, mittel-, und langsam verfügbare Schwefeldünger (Kiserit, Gips und Schwefellinsen) verwendet wurden, ebenso keinen signifikanten Anstieg des Leguminosen-Anteils. Allerdings wurde in diesem Versuch eine um 30 % verringerte Ausfallsrate der Leguminosen über die Wintermonate beschrieben (Gruber et al., 2015). Dies weist nach *Bloem et al.* (2005) auf eine positive Wirkung des Schwefels in Bezug auf die Stressanfälligkeit der Pflanzen hin.

### **6.3 Kann durch eine Düngung mit elementarem Schwefel über Rindergülle der Mengen- und Qualitätsertrag von Grünland beeinflusst werden?**

Die Mengen- und Qualitätserträge wurden signifikant von der Schwefeldüngung beeinflusst. Dabei zeigten vor allem die höheren Schwefeldüngervarianten (S60 und S90) eine signifikante Wirkung des Schwefels (durchschn. + 7 %) auf den TM-Ertrag. Dieser positive Effekt der Schwefeldüngung wurde auch auf einem Rotkleebestand in einem Versuch von *Böhm* (2013) beschrieben. Die Düngung, welche mit sofort pflanzenverfügbarem Magnesiumsulfat (MgSO<sub>4</sub>) in den Düngerstufen 30 bzw. 60 kg/ha vorgenommen wurde, resultierte in einem signifikant höheren TM-Ertrag im Vergleich zur Referenzfläche. In einem weiteren Schwefeldüngeversuch eines Luzerne-Klee grasbestandes von *Fischinger et al.* (2011) zeigten sich ebenfalls positive Ertragseffekte im Vergleich zur Kontrollgruppe (S0). Demgegenüber konnten *Gruber et al.* (2015) in einem Klee grasbestand keinen signifikanten Einfluss der Schwefeldüngung (Kiserit, elementarer Schwefel) auf den Trockenmasseertrag feststellen.

Nach *Taube et al.* (2000) müssen Ertragseffekte auch mit der Versorgung weiterer Nährstoffe interpretiert werden. Die Autoren stellten einen engen Zusammenhang zwischen der Stickstoff- und Schwefelversorgung einerseits und der Ertragsleistung andererseits fest. Die Autoren dokumentierten einen überproportionalen Anstieg des Trockenmasseertrages durch eine Schwefeldüngung in Kombination mit einer gesteigerten Stickstoffgabe.

Der durch die Schwefeldüngung gesteigerte Energieertrag geht mit den Ergebnissen von *Diepolder et al.* (2006) konform. Sie dokumentierten signifikant höhere Energieerträge in Düngervarianten mit schwefelhaltigem Mineraldünger im Vergleich zu ungedüngten- oder nur mit Rindergülle und Stallmist gedüngten Referenzflächen.

Die signifikante Steigerung des XP-Ertrages aufgrund der Schwefeldüngung wurde von *Mengel* (1961) mit der verstärkten Synthese schwefelhaltiger Aminosäuren und daraus folgenden der gesteigerten Proteinbildung beschrieben (Abrol und Ahmad, 2013). Ein weiterer Grund für die positive Wirkung der Schwefeldüngung auf den Proteingehalt liegt am N:S-Verhältnis. Aufgrund des nahezu konstanten Verhältnisses von Stickstoff zu Schwefel im

pflanzlichen Protein (Dijkshoorn et al., 1960), steigt mit einer Schwefeldüngung auch der Stickstoff- und in weiterer Folge der Proteingehalt. Weiters fördert eine Schwefeldüngung auch die symbiotische Stickstofffixierung der Leguminosen, welche maßgeblich vom Vorhandensein des Schwefels abhängig ist (Bothe et al., 1983). Die in der vorliegenden Arbeit festgestellten erhöhten XP-Erträge lassen sich mit Ergebnissen eines Schwefeldünger-Versuchs von *Fischinger et al.* (2011) untermauern. In diesem Versuch konnten erhöhte Stickstofffixierungen festgestellt und in Folge dessen ein 70 % höherer Stickstoffgehalt im Erntegut erreicht werden.

Zusätzlich zur positiven Wirkung des Schwefels auf den XP-Jahresertrag konnte in der vorliegenden Arbeit auch ein Anstieg des XP-Gehaltes der Pflanzen über die Vegetationsperiode hinweg beobachtet werden. Dieser Sachverhalt wurde ebenfalls von *Diepolder und Raschbacher* (2016), sowie von Gruber und Resch (2015) beschrieben. *Gruber und Resch* (2015) dokumentierten einen Anstieg des XP-Gehaltes über die Vegetationsperiode von 43 %, was sich sehr gut mit dem XP-Anstieg von 42 % über die Vegetationsperiode hinweg im vorliegenden Versuch deckt. Zwischen den Versuchsjahren wurde keine Steigerung des XP-Gehaltes verzeichnet. Dies wurde auch schon von *Panditharatne et al.* (1986) beschrieben, die dafür einen sogenannten Verdünnungseffekt des Rohproteins durch die gesteigerten Trockenmasseerträge beschreiben.

Die Weender-Futtermittelanalyse ergab keine signifikanten Unterschiede in den Nährstoffgehalten des Ernteguts zwischen den Versuchsvarianten. Dem gegenüber zeigten *Panditharatne et al.* (1986) einen durch Schwefel bedingten Rückgang der NDF-Gehalte in einem Knäulgrasbestand.

Der Schwefelgehalt des Ernteguts wurde zwar, anders als von *Gruber et al.* (2015), nicht von der Schwefeldüngung beeinflusst, zeigte aber einen signifikanten Anstieg im Verlauf der Vegetationsperiode (3,13 g/kg TM zum 4. Schnitttermin). Dieser signifikante Anstieg konnte allerdings nicht mit der Schwefeldüngung in Verbindung gebracht werden (Wechselwirkung Variante × Schnitttermin: nicht signifikant), deutet aber auf eine höhere Mineralisationsleistung des Bodens in Zusammenhang mit der Zunahme der Temperatursumme hin. *Strickland et al.* (1984) sowie *Pirela und Tabatabai* (1988) beschrieben die Wirkung der Temperatur auf die Mineralisation von elementarem Schwefel zu Sulfat und hielten fest, dass die dafür notwendigen Enzyme spezielle Temperaturbereiche bevorzugen. *Gruber et al.* (2015) beschrieben in diesem Zusammenhang vor allem in trockenen Phasen im Frühjahr Schwefelversorgungsengpässe. *Taube et al.* (2000) stellten ebenfalls einen Anstieg des Schwefelgehaltes im dritten und vierten Aufwuchs von 4 - 5 g/kg TM fest.

## 6.4 Wirkt sich eine Düngung mit Schwefel auf die Milchviehfütterung aus?

Möglichst genau eingehaltene Schwefelgehaltswerte in Rationen für Wiederkäuer sind von besonderer Wichtigkeit. Der Übergang von der Schwefelbedarfsdeckung zur Schwefelvergiftung ist fließend. *Underwood* (1999) geht von einem anzustrebenden Schwefelgehalt in der Ration von 1 bis 1,5 g/kg TM aus. Das *NRC* (2001) geht von noch höheren Zielwerten (2 g/kg TM) aus (Tabelle 26).

Tabelle 26: Schwefelbedarf bzw. -Übersorgung einer Milchkuh

	Bedarf	Übersorgung
Laktierende Kuh	2 g/kg TM (NRC, 2001)	4 g/kg TM (Puls, 1994)

Auf Basis der im Versuch festgestellten Schwefelgehalte im Grundfutter, sowie Tabellenangaben zum S-Gehalt im Kraftfutter und im Wasser wurde in Anlehnung an die Angaben von *Dirksen et al.* (2006) sowie Puls (1994) eine S-Übersorgung errechnet, obwohl bei der Auswahl der Energie- und nXP-ausgleichenden Kraftfutterkomponenten auf schwefelarme Futtermittel geachtet wurde.

Allerdings beschrieben *Rérat et al.*, (2010) eine Erhöhung des Schwefelgehaltes in der Ration während der Trockenstezeit als vorteilhaft für die Milchfieberprophylaxe, da dabei der DCAB-Wert abgesenkt wird. Dadurch steigt der Gehalt an Anionen im Verhältnis zu den Kationen an (*Staufenbiel et al.*, 2004) und dies reduziert das Risiko der Hyperkalzämie (*Rérat et al.*, 2010).

## 6.5 Wie wirkt sich eine Schwefeldüngung auf die Schwefel-Feldbilanzierung aus?

Aufgrund der Schlagbilanzierungsergebnisse ist eine zusätzliche Schwefeldüngung als sinnvoll zu bewerten. In S0 lag der Bilanzierungssaldo bei -14 kg/ha.

Wie die Ergebnisse zu den Bodenproben im ersten Versuchsjahr zeigen, spiegelten sich die unterschiedlichen Düngungsniveaus nur bedingt in den Analysenergebnissen wider. Dabei muss beachtet werden, dass neben den hohen S-Vorräten im Boden bei der üblichen Bodenanalytik nur die Nährstoffkonzentrationen erfasst werden.

Die Ergebnisse der Bodenuntersuchung belegten einen leichten Anstieg des Schwefel- und Sulfatgehaltes bei S-Düngung (S0 - S90). Der Anstieg des Schwefel- und des Sulfatgehaltes im Vegetationsverlauf der Schwefeldüngevarianten (S30 - S90) wurden anhand der Bilanzierungsergebnisse erwartet. Er lässt sich durch den Einsatz des Düngers und die

Mineralisationsleistung des Bodens erklären (Scherer, 2009). Die positive Entwicklung des Schwefel- und des Sulfatgehaltes im Boden der Variante S0 lässt den Schluss zu, dass der Eintrag über den Niederschlag bzw. das Nachlieferungsvermögen des Bodens unterschätzt wurden.

Gesetzlich vorgeschriebene Regelungen zur Senkung der Umweltbelastung konnten die Schwefelemission stark senken (Anderl et al., 2016). Eine völlige Reduktion der Schwefelemission ist allerdings nicht möglich. Zur Abschätzung des Schwefeleintrages über den Niederschlag wurden in der vorliegenden Untersuchung Ergebnisse aus dem Wasserlabor der HBLFA Raumberg-Gumpenstein herangezogen. Allerdings lag der Schwefeleintrag in den Versuchsjahren um durchschnittlich 1 kg Schwefel pro ha niedriger als im Durchschnitt der letzten 14 Jahren. Zudem veröffentlichte *Herndl et al.* (2009) einen Schwefeleintrag über die Vegetationsperiode von 4 kg/ha aus der nassen Deposition eines nahe gelegenen Berges (Stoder-Zinken), wonach der Schwefeleintrag auch deutlich höher ausfallen kann.

Die Daten der vorliegenden Arbeit weisen darauf hin, dass Ergebnisse von punktuell gezogenen Bodenbeprobungen nicht überschätzt werden dürfen. Um aussagekräftigere Daten über die Wirkung des Schwefels zu erhalten, wäre ein vermehrtes Ziehen von Bodenproben nötig gewesen. Ein zusätzliches Fehlerpotenzial lag in der Frühjahrsbeprobung des Bodens. Zu dieser Zeit war der Großteil des Schwefelvorrates im Boden noch organisch gebunden und ging somit nicht in das Sulfat-Probenergebnis mit ein. Im Laufe der Vegetationsperiode wurde organisch gebundener Schwefel im Boden mineralisiert und führte somit zum Anstieg der Herbstwerte (Gruber et al., 2015). Weiters erschweren die hohen S-Vorräte im Boden und die relativ geringe S-Zusatzdüngung die Feststellung der Düngungseffekte an Hand von Bodenproben.

## 7 Schlussfolgerungen

Der Schwefeldünger zeigte keine signifikante Wirkung auf die Artenzusammensetzung des Pflanzenbestandes, wohl aber auf die Mengen- und Qualitätserträge (TM-, XP- und MJ NEL-Ertrag) der Versuchspartellen. Weiters wurde der Schwefelgehalt des Erntegutes nicht von der Schwefeldüngung beeinflusst. Dabei muss allerdings auf die Langzeitwirkung des elementaren Schwefels hingewiesen werden. Der im vorliegenden Versuch ermittelte, durchschnittliche Schwefelgehalt im Erntegut von 2,92 g/kg TM liegt im Schwefelversorgungsnormbereich für Milchkühe nach *NRC* (2001). Allerdings wurde anhand einer vollständigen Rationsberechnung für eine Holstein Friesian (HF) Kuh in der 3. Laktation am 140. Laktationstag in einem Betrieb mit hohem Managementniveau, einer Milchleistung von 30 kg/Tag und einer Kraffttermischung aus Mais, Trockenschnitzel und Sojabohne ein Schwefelüberschuss ermittelt. Die aufsummierten Schwefelgehaltswerte aller Rationskomponenten (1/3 Heu, 1/3 Grassilage, 1/3 Krafftter bezogen auf TM-Gehalt), inklusive des Schwefelgehaltes aus dem Trinkwasser ergaben nach *Dänicke und Schenkel* (2009) bzw. *NRC* (2001) eine Schwefelüberversorgung von 22 g/Tag bzw. 0,9 g/kg TM. Regelmäßige Rationskontrollen nach einer Schwefeldüngung werden daher empfohlen.

Wie zuvor erwähnt wurde der Schwefelgehalt in den Futterpflanzen nicht vom Schwefeldünger, wohl aber vom Erntetermin beeinflusst. Dies lässt sich aufgrund von steigenden Bodentemperaturen erklären, welche notwendig sind um den elementaren Schwefel von den Bodenmikroben in pflanzenverfügbares Sulfat umzuwandeln. Daraus ergab sich eine signifikante Steigerung des Schwefelgehaltes im Erntegut mit dem Fortschreiten der Vegetationsperiode. Um dem in der Literatur beschriebenen möglichen Mangel an pflanzenverfügbarem Schwefel im Frühjahr entgegen zu wirken, wäre eine Ausbringung des elementaren Schwefels im Herbst anzudenken.

Die Schwefel-Feldbilanzierung der Variante S0 zeigte einen jährlichen Schwefelentzug (negative S-Bilanz) von rund 14 kg/ha. Eine zusätzliche Schwefeldüngung erscheint demzufolge langfristig als notwendig. Allerdings ist die SchwefelAuswaschung bzw. das Schwefelnachlieferungsvermögen stark vom jeweiligen Bodentyp abhängig. Ebenso ist der regionsabhängige Schwefeleintrag aus der nassen Deposition sehr unterschiedlich. Eine pauschale S-Düngungsempfehlung lässt sich daher aus der vorliegenden Arbeit nicht ableiten. Regelmäßige Nährstoffbilanzierungen, Bodenbeprobungen und Futtermittelanalysen werden empfohlen.

## 8 Literaturverzeichnis

- ABROL, Y. P., AHMAD, A., 2003. Sulphur in plants. Springer Science & Business Media, Luxemburg, 398.
- ANDERL, M., GANGL, M., HAIDER, S., MOOSMANN, L., PAZDERNIK, K., POUPA, S., SCHIEDER, W., STRANNER, G., ZECHMEISTER, A., 2016. Emissionstrends 1990-2014. Umweldbundesamt GmbH, Wien. [http://www.umweltbundesamt.at/aktuell/presse/lastnews/news2016/news\\_160913/](http://www.umweltbundesamt.at/aktuell/presse/lastnews/news2016/news_160913/) (12.03.2018).
- BERGMANN, W., 1986. Farbatlas Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen: Visuelle und analytische Diagnose, Fischer, Frankfurt am Main, 306.
- BLAKE-KALFF, M. M. A., HARRISON, K. R., HAWKESFORD, M. J., ZHAO, F. J., MCGRATH, S. P., 1998. Distribution of sulfur within oilseed rape leaves in response to sulfur deficiency during vegetative growth. *Plant physiology* 118, 1337-1344.
- BLOCK, E., 1984. Manipulating Dietary Anions and Cations for Prepartum Dairy Cows to Reduce Incidence of Milk Fever 1. *Journal of Dairy Science* 67, 2939-2948.
- BLOEM, E., HANEKLAUS, S., SCHNUG, E., 2005. Significance of sulfur compounds in the protection of plants against pests and diseases. *Journal of plant nutrition* 28, 763-784.
- BLOEM, E., 1998. Schwefel-Bilanz von Agrarökosystemen unter besonderer Berücksichtigung hydrologischer und bodenphysikalischer Standorteigenschaften. FAL, Braunschweig, 156.
- BMLFUW (BUNDESMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT), 2006. Richtlinie für die Sachgerechte Düngung. Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft. 6. Auflage. [http://oebg.boku.ac.at/files/rl\\_sgd.pdf](http://oebg.boku.ac.at/files/rl_sgd.pdf) (12.03.2018).
- BOTHE, H., YATES, M. G., CANNON, F. C., 1983. Physiology, biochemistry and genetics of dinitrogen fixation. In: *Organic Plant Nutrition*, Springer, Luxemburg, 241-285.
- BROWN, L., SCHOLEFIELD, D., JEWKES, E. C., PREEDY, N., WADGE, K., BUTLER, M., 2000. The effect of sulphur application on the efficiency of nitrogen use in two contrasting grassland soils. *The Journal of Agricultural Science*, 135, 131-138.
- BVG (BODENVERBESSERUNGSGESELLSCHAFT), 2016. Homepage Bodenverbesserungs GmbH. Sulfogüll plus., <http://www.bvg-rain.de/index.htm?http://www.bvg-rain.de/schwefel.htm> (25.11.2016).
- BÖHM, H., 2013. Auswirkungen einer Schwefeldüngung auf den Ertrag und die Nährstoffzusammensetzung eines Klee grasbestandes. 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Bonn, 5.- 8. März 2013, Tagungsband, 216-219.
- BRADÉ, W., 2005. Rinderzucht und Milcherzeugung: Empfehlungen für die Praxis. FAL, Braunschweig, 207.
- CRAWFORD, G. L., 2007. Managing sulfur concentrations in feed and water. 68. Minnesota Nutrition Conference, Minneapolis, 18.- 19. September 2007, Conference paper, 80-93.
- DIJKSHOORN, W., LAMPE, J. E. M., VAN BURG, P. F. J., 1960. A method of diagnosing the sulphur nutrition status of herbage. *Plant and Soil* 13, 227-241.
- DIEPOLDER, M., JAKOB, B., HEIGEL, L., 2006. Untersuchungen zur Schwefelbelastung des Sickerwassers unter Dauergrünland. [http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/aggf\\_2006\\_diepolder\\_et\\_al\\_2.pdf](http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/aggf_2006_diepolder_et_al_2.pdf) (12.03.2018).
- DIEPOLDER, M., RASCHBACHER, S., 2016. Untersuchungen zu Rohproteingehalten und zur Schwefelversorgung von Grünlandaufwüchsen auf bayerischen Praxisflächen. Nachhaltige Milchproduktion. 60. Jahrestagung der AGGF, Luxemburg, 25.- 27. August 2016, Tagungsband, 59-62.

- DIRKSEN, G., GRÜNDER, H. D., STÖBER, M. H., 2006. Innere Medizin und Chirurgie des Rindes (Internal medicine and surgery of bovine animals). Stuttgart: Parey in MVS Medizinverlage Stuttgart GmbH & Co. KG Stuttgart, 1325.
- DLG (DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT), 1997. DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- DROUX, M., 2004. Sulfur Assimilation and the Role of Sulfur in Plant Metabolism: A Survey. *Photosynthesis Research* 79, 331-348.
- DÄNICKE, S., SCHENKEL, H., 2009. Zur Bedeutung von Schwefel als unerwünschtem Stoff in der Milchkuhfütterung. *Züchtungskunde* 81, 442-450.
- ELSÄSSER, M., NEFF, R., TAUBE, F., RIEHK, F., JÄNICKE, H., BOCKHOLT, K., 2009/2010. Trends von Nord bis Süd. In: *dlz Spezial- Agrarmagazin. Grünlandpraxis für Profis*. 3. Auflage, Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH, München-Hannover-Berlin, 6 ff.
- ERIKSEN, J., MURPHY, M. D., SCHNUG, E., 1998. The soil sulphur cycle, In: *Sulphur in Agroecosystems*. Springer, Luxemburg, 223.
- FISCHINGER, S. A., BECKER, K., LEITHOLD, G., 2011. Auswirkungen unterschiedlicher S-Versorgungszustände auf den N-Flächenertrag eines Luzerne-Kleegrassbestandes. 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Gießen, 15.- 18. März 2011. Tagungsband, 183-184.
- FITZGERALD, J. W., STRICKLAND, T. C., 1987. Mineralization of organic sulphur in the O<sub>2</sub> horizon of a hardwood forest: Involvement of sulphatase enzymes. *Soil Biology and Biochemistry* 19, 779-781.
- FRENEY, J. R., 1986. Forms and reactions of organic sulfur compounds in soils. *Sulfur in agriculture*, 207-232.
- GOULD, D. H., DARGATZ, D. A., GARRY, F. B., HAMAR, D. W., ROSS, P. F., 2002. Potentially hazardous sulfur conditions on beef cattle ranches in the United States. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 221, 673-677.
- GRUBER, H., TITZE, A., WEGNER, C., 2015. Schwefeldüngung von Leguminosen im Öko-Landbau. Beiträge zum ökologischen Landbau. Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern 56, 62-70.
- GRUBER, L., STEINWENDER, R., GUGGENBERGER, T., HÄUSLER, J., SCHAUER, A., 2001. Vergleich zwischen biologischer und konventioneller Wirtschaftsweise im Grünlandbetrieb. *Die Bodenkultur* 52, 55-70.
- HAIGER, A., KNAUS, W., 2010. Vergleich von Fleckvieh und Holstein Friesian in der Milch- und Fleischleistung 1. Mitteilung: Milchleistungsvergleich ohne Kraftfutter. *Züchtungskunde*, 82, 131-143.
- HAWKESFORD, M. J., DE KOK, L. J., 2006. Managing sulphur metabolism in plants. *Plant, Cell & Environment*, 29, 382-395.
- HEINZ, S., MAYER, F., & KUHN, G., 2013. Leguminosenanteile im bayerischen Grünland. 57. Jahrestagung der AGGF, Triesdorf, 29. - 30. August 2013, Tagungsbericht, 105-110.
- HELL, R., 2002. Der assimilatorische Schwefelstoffwechsel in Pflanzen. *Biospektrum-Heidelberg* 8, 248-251.
- HERNDL, M., BOHNER, A., KANDOLF, M., 2009. Gebirgs-Lysimeterstation am Stoderzinken- Erste Ergebnisse. 13. Gumpensteiner Lysimetertagung, Irdning-Donnersbachtal, 21. - 22. April 2009.
- HIEPE, T., 1975. Schafkrankheiten. Gustav Fischer, Jena, 412.
- HIMSWORTH, C. G., 2008. Polioencephalomalacia in a llama. *The Canadian Veterinary Journal* 49, 598.

- HIRAI, M. Y., YANO, M., GOODENOWE, D. B., KANAYA, S., KIMURA, T., AWAZUHARA, M., ARITA, M., FUJIWARA, T., SAITO, K., 2004. Integration of transcriptomics and metabolomics for understanding of global responses to nutritional stresses in *Arabidopsis thaliana*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101, 10205-10210.
- HU, Z. Y., ZHAO, F. J., MCGRATH, S. P., 2005. Sulphur fractionation in calcareous soils and bioavailability to plants. *Plant and soil* 268, 103-109.
- JEROCH, H., DROCHNER, W., SIMON, O., 2008. Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere-Ernährungsphysiologie, Futtermittelkunde, Fütterung. 2. überarbeitete Auflage. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 555.
- KAMPHUES, J., DOHM, A., ZIMMERMANN, J., WOLF, P., 2014. Sulphur and sulphate contents in feedstuffs-still or again of interest? *Übersichten zur Tierernährung* 42, 81 - 139.
- KANDYLIS, K., 1984. Toxicology of sulfur in ruminants: Review. *Journal of dairy science* 67, 2179-2187.
- KIRCHGEßNER, M., STANGL, G., SCHWARZ, F., ROTHE, F., SÜDEKUM, K.-H. & EDER, K. 2014. Tierernährung. DLG- Verlag GmbH, Frankfurt am Main, 659.
- LAGERHAUS, 2017. Homepage. Schwerpunkt-Düngersortiment-2017, <https://www.lagerhaus.at/duenger-sortiment+2500+2748044> (28.03.2017).
- MCDOWELL, L. R., 2003. Minerals in animal and human nutrition. Elsevier Science 2, Florida, 64.
- MENGEL, K., 1961. Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Fischer, Frankfurt am Main, 322.
- METSON, A. J., 1979. Sulphur in New Zealand soils. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 22, 95-114.
- MILLER, A. M., 2017. Raps wirft die Laktierenden aus der Bahn. *Top Agrar* 10, 25-27.
- MUNSHI, S. K., JUNEJA, R., 2001. Effect of Sulphur on Nitrogen Assimilation, Carbohydrates in Nodules as well as Leaves and Lipids in Kernels of Peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of Plant Biology-New* 28, 189-198.
- NGUYEN, M. L., GOH, K. M., 1992. Status and distribution of soil sulphur fractions, total nitrogen and organic carbon in camp and non-camp soils of grazed pastures supplied with long-term superphosphate. *Biology and fertility of soils* 14, 181-190.
- NIKIFOROVA, V. J., GAKIERE, B., KEMPA, S., ADAMIK, M., WILLMITZER, L., HESSE, H., HOEFGEN, R., 2004. Towards dissecting nutrient metabolism in plants: A systems biology case study on sulphur metabolism. *Journal of Experimental Botany* 55, 1861-1870.
- NIKIFOROVA, V. J., KOPKA, J., TOLSTIKOV, V., FIEHN, O., HOPKINS, L., HAWKESFORD, M. J., HESSE, H., HOEFGEN, R., 2005. Systems rebalancing of metabolism in response to sulfur deprivation, as revealed by metabolome analysis of *Arabidopsis* plants. *Plant physiology* 138, 304-318.
- NRC (NATIONAL RESEARCH COUNCIL), 2001. Nutrient requirements of dairy cattle: Seventh Revised Edition. National Academy Press, Washington, 408.
- OBRITZHAUSER, W., 2000. Einfluss von Grundfutterqualität und Krafftuttermittellversorgung auf Stoffwechselfparameter der Milchkühe. 27. Viehwirtschaftliche Fachtagung, Irnding-Donnersbachtal, 6. - 8. Juni 2000, 111-115.
- PANDITHARATNE, S., ALLEN, V. G., FONTENOT, J. P., MCCLURE, W. H., 1986. Yield, chemical composition and digestibility by sheep of orchardgrass fertilized with different rates of nitrogen and sulphur of associated red clover. *Journal of Animal Science*, 62, 813-821.
- PIRELA, H. J., TABATABAI, M. A., 1988. Sulfur mineralization rates and potentials of soils. *Biology and fertility of soils* 6, 26-32.

- PLACKETT, D., 2011. Biopolymers: New materials for sustainable films and coatings. John Wiley and Sons, New Jersey, 352.
- PROBERT, M. E., 1976. Studies of "available" and isotopically exchangeable sulphur in some North Queensland soils. *Plant and Soil* 45, 461-475.
- PULS, R., 1994. Mineral levels in animal health. Diagnostic data. Sherpa International, British Columbia, 343.
- QI, K., OWENS, F. N., LU, C. D., 1994. Effects of sulfur deficiency on performance of fiber-producing sheep and goats: A review. *Small Ruminant Research* 14, 115-126.
- RENNENBERG, H., SCHMITZ, K., BERGMANN, L., 1979. Long-distance transport of sulfur in *Nicotiana tabacum*. *Planta* 147, 57-62.
- RESCH, R., PERATONER, G., ROMANO, G., PIEPHO, H.- P., SCHAUMBERGER, A., BODNER, A., BUCHGRABER, K., PÖTSCH, E. M., 2015. Der Pflanzenbestand als Basis hoher Futterqualität im Grünland. 20. Alpenländisches Expertenforum 2015, 61-76.
- RESCH, R., SCHWAB, E., SCHWAIGER, E., 2009. Site effects of different grassland management on dry matter and quality yield. Bericht 4. Klimaseminar 2009, 35-50.
- RESCH, R., 2007. Neue Futterwerttabellen für den Alpenraum. 34. Viehwirtschaftliche Fachtagung, Irdning-Donnersbachteal, 19. - 20. April 2007, 61-75.
- ROBSON, A. D., OSBORNE, L. D., SNOWBALL, K., SIMMONS, W. J., 1995. Assessing sulfur status in lupins and wheat. *Animal Production Science* 35, 79-86.
- RÉRAT, M., PHILIPP, A., HESS, H. D., LIESEGANG, A., 2010. Das Dietary Cation-Anion Difference (DCAD)-Konzept bei der Milchkuh. [http://www.zora.uzh.ch/id/eprint/36043/2/Liesegang\\_ETH\\_2010\\_DCAD.pdf](http://www.zora.uzh.ch/id/eprint/36043/2/Liesegang_ETH_2010_DCAD.pdf) (12.03.2018)
- SCHECHTNER, G., 1958. Grünlandsoziologische Bestandsaufnahme mittels „Flächenprozenschätzung“. *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau* 105, 33-43.
- SCHEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P., (1998): Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 283 ff.
- SCHERER, W. H., 2009. Sulfur in soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 172, 326-335.
- SCHMIDTKE, K., LUX, G., 2015. Wirkung verschiedener Verfahren der Schwefeldüngung auf Ertragsleistung und Vorfruchtwert von Körnerleguminosen im Ökologischen Landbau. Abschlussbericht, Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft, 209.
- SCHNUG, E., 1998. Sulphur in agroecosystems. Springer Science & Business Media, Berlin, 221.
- SCHULZE, M., MALKOW-NERGE K., 2017. Mineralstoffe: Blindflug ins Milchfieber. *Top Agrar*, 10, 22-24.
- SCRIVNER, J. H., CENTER, D. M., JONES, M. B., 1986. A rising plate meter for estimating production and utilization. *J. Range Manage* 39, 475-477.
- SKINNER, R. J., 1987. Growth responses in grass to sulphur fertilizer. Symposium international du soufre élémentaire en agriculture, Montpellier, 25. - 27. 3. 1987, 525-535.
- STARZ, W., PFISTER, R., ROHRER, H., 2014. Wirtschaftsdünger im Bio-Grünlandeffizient lagern und ausbringen! Fachtagung für biologische Landwirtschaft, Irdning-Donnersbachtal, 27-36.
- STAUFENBIEL, R., LÖPTIEN, A., MONTAG, N., PASSFELD, M., GOEBBELS, M., 2004. Aktualisierte Empfehlungen zur Anwendung von Anionenrationen (sauren Salzen) zur Prophylaxe der Hypokalzämie und Gebärparese der Milchkuh. <http://dr-pieper.com/wp-content/uploads/2014/08/Tagungsbericht-2004-09.pdf> (12.03.2018).
- STRICKLAND, T. C., FITZGERALD, J. W., SWANK, W. T., 1984. Mobilization of recently formed forest soil organic sulfur. *Canadian Journal of Forest Research* 14, 63-67.

- SYKES, A. R., RUSSEL, A. J. F., 2007. Deficiency of mineral macro-elements, In: Diseases of sheep. Blackwell, Oxford, 363-377.
- TABATABAI, M. A., AL-KHAFAJI, A. A., 1980. Comparison of nitrogen and sulfur mineralization in soils. Soil Science Society of America Journal 44, 1000-1006.
- TAKAHASHI, H., KOPRIVA, S., GIORDANO, M., SAITO, K., HELL, R., 2011. Sulfur Assimilation in Photosynthetic Organisms: Molecular Functions and Regulations of Transporters and Assimilatory Enzymes. Annual Review of Plant Biology 62, 157-184.
- UNDERWOOD, E. J., SUTTLE, N. F., 1999. The mineral nutrition of livestock. CABI, Wallingford, 614.
- UWITUZE, S., PARSONS, G. L., KARGES, K. K., GIBSON, M. L., HOLLIS, L. C., HIGGINS, J. J., DROUILLARD, J. S., 2011. Effects of distillers grains with high sulfur concentration on ruminal fermentation and digestibility of finishing diets. Journal of Animal Science 89, 2817-2828.
- WALL, K., 2016. Untersuchungen zur Schwefelversorgung von Milchkühen. Dissertation an der Freien Universität Berlin, 150.
- WEN, G., SCHOENAU, J. J., MOOLEKI, S. P., INANAGA, S., YAMAMOTO, T., HAMAMURA, K., INOUE, M., AN, P., 2003. Effectiveness of an elemental sulfur fertilizer in an oilseed-cereal-legume rotation on the Canadian prairies. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 166, 54-60.
- WHITEHEAD, D. C., 2000. Nutrient elements in grassland: soil-plant-animal relationships. CABI, Wallingford, 384.
- WILLIAMS, C. H., 1967. Some factors affecting the mineralization of organic sulphur in soils. Plant and Soil 26, 205-223.

## 9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Optimales Stickstoff : Schwefel (N:S) Verhältnis in der Ration für die Mikrobenproteinsynthese im Pansen für Rind, Schaf und Ziege.....	5
Tabelle 2: Handelsübliche Düngemittel und ihre Hauptinhaltsstoffe .....	11
Tabelle 3: Unterschiedliche Schwefeldünger-Niveaus auf dem Versuchsfeld .....	15
Tabelle 4: Menge an ausgebrachtem Stickstoff über Rindergülle zu den jeweiligen Schnittterminen .....	16
Tabelle 5: Zeitplan der Versuchsdurchführung Zeitpunkte der Ernteschnitte, Düngungen, Bonitierung und LAI-Messung .....	19
Tabelle 6: Täglicher Futter- und Wasserbedarf der unterstellten Milchkuh sowie Schwefelgehaltswerte nach NRC (2001); Dänicke und Schenkel (2009).....	20
Tabelle 7: Flächenbilanz von Schwefel.....	21
Tabelle 8: Zusammensetzung des Pflanzenbestandes nach Artengruppen nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) .....	24
Tabelle 9: Bonitierungsergebnisse nach dem Modell 1 (Haupteffekte: Variante und Jahr)....	27
Tabelle 10: LAI 0 nach dem Modell 1 .....	30
Tabelle 11: LAI 0 in Abhängigkeit von Variante x Jahr nach dem Modell 1.....	30
Tabelle 12: LAI 0 nach dem Modell 2 .....	31
Tabelle 13: LAI 0 in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin nach dem Modell 2.....	31
Tabelle 14: Mengen- und Qualitätserträge nach dem Modell 1.....	32
Tabelle 15: Mengen- und Qualitätserträge nach dem Modell 2.....	34
Tabelle 16: Rohnährstoff- und Energiegehalte nach dem Modell 1.....	36
Tabelle 17: Rohnährstoff- und Energiegehalte nach dem Modell 2.....	38
Tabelle 18: Mengen- und Spurenelementgehalte nach dem Modell 1 .....	41
Tabelle 19: Mengen- und Spurenelementgehalte nach dem Modell 2 .....	43
Tabelle 20: Bilanzierung des Bedarfs an Schwefel einer Holstein Friesian (HF) Kuh.....	45
Tabelle 21: Schwefelkonzentration und pH-Wert in der Rindergülle .....	46
Tabelle 22: Schwefelgehalt des Erntegutes und Gesamtentzug pro Jahr .....	47
Tabelle 23: Schwefel-Schlagbilanzierung .....	47
Tabelle 24: Schwefel- und Sulfatgehalte im Boden im Frühjahr und Herbst nach der Königwassermethode (in mg/kg TM) .....	48
Tabelle 25: Schwefelgehaltswerte aller vier getesteten Varianten vom Frühjahr und vom Herbst 2016 in mg/kg Feinboden-TM .....	48
Tabelle 26: Schwefelbedarf bzw. -Übersorgung einer Milchkuh.....	52
Tabelle 28: Auswertung der prozentuellen Zusammensetzung der Artengruppen in Abhängigkeit von Schnitttermin x Jahr nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte.....	64
Tabelle 29: Auswertung der prozentuellen Zusammensetzung der Artengruppen in Abhängigkeit von Variante xSchnitttermin nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte.....	65
Tabelle 30: Auswertung der prozentuellen Zusammensetzung der Artengruppen in Abhängigkeit von Variante x Jahr nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte.....	66
Tabelle 31: Auswertung der prozentuellen Zusammensetzung der Artengruppen in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin x Jahr (Teil 1) nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte	67

Tabelle 32: Auswertung der prozentuellen Zusammensetzung der Artengruppen in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin x Jahr (Teil 2) nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte	68
Tabelle 33: Auswertung der prozentuellen Bonitierungsergebnisse in Abhängigkeit von Variante x Jahr nach dem Modell 1 (Haupteffekte: Variante und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte	69
Tabelle 34: Auswertung des LAI 0 in Abhängigkeit von Variante x Jahr nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte	70
Tabelle 35: Auswertung des LAI 0 in Abhängigkeit von Schnitttermin x Jahr nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte	70
Tabelle 36: Auswertung des LAI 0 in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin x Jahr (Teil 1) nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte	71
Tabelle 37: Auswertung des LAI 0 in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin x Jahr (Teil 2) nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte	71
Tabelle 38: Auswertung der Mengen- und Qualitätserträge in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte	72
Tabelle 39: Auswertung der Mengen- und Qualitätserträge in Abhängigkeit von Schnitttermin x Jahr nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte	72
Tabelle 40: Auswertung der Mengen- und Qualitätserträge in Abhängigkeit von Variante x Jahr nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte	73
Tabelle 41: Auswertung der Mengen- und Qualitätserträge in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin x Jahr (Teil 1) nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte	74
Tabelle 42: Auswertung der Mengen- und Qualitätserträge in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin x Jahr (Teil 2) nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte	75
Tabelle 43: Auswertung der Rohrnährstoff- und Energiegehalte in Abhängigkeit von Variante x Jahr nach dem Modell 1 (Haupteffekte: Variante und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte	76
Tabelle 44: Auswertung der Rohrnährstoff- und Energiegehalte in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte	77
Tabelle 45: Auswertung der Rohrnährstoff- und Energiegehalte in Abhängigkeit von Schnitttermin x Jahr nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte	78
Tabelle 46: Auswertung der Rohrnährstoff- und Energiegehalte in Abhängigkeit von Variante x Jahr nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte	79
Tabelle 47: Auswertung der Rohrnährstoff- und Energiegehalte in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin x Jahr (Teil 1) nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte	80
Tabelle 48: Auswertung der Rohrnährstoff- und Energiegehalte in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin x Jahr (Teil 2) nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte	81

Tabelle 49: Auswertung der Mineralstoff- und Spurenelementgehalt in Abhängigkeit von Variante x Jahr nach dem Modell 1 (Haupteffekte: Variante und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte .....	82
Tabelle 50: Auswertung der Mineralstoff- und Spurenelementgehalt in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte.....	83
Tabelle 51: Auswertung der Mineralstoff- und Spurenelementgehalt in Abhängigkeit von Schnitttermin x Jahr nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte .....	84
Tabelle 52: Auswertung der Mineralstoff- und Spurenelementgehalt in Abhängigkeit von Variante x Jahr nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte .....	85
Tabelle 53: Auswertung der Mineralstoff- und Spurenelementgehalt in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin x Jahr (Teil 1) nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte.....	86
Tabelle 54: Auswertung der Mineralstoff- und Spurenelementgehalt in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin x Jahr (Teil 2) nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte.....	87

## 10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Organisch und anorganisch gebundener Schwefel im Boden .....	9
Abbildung 2: Versuchsparzelle des Schwefeldüngerversuches am Bio-Institut der.....	12
Abbildung 3: Langjähriges Mittel der Klimadaten – Durchschnittliche Niederschlagsmenge und Temperaturverlauf der letzten 30 Jahre über die Monate Jänner bis Dezember.....	13
Abbildung 4: Klimadaten der Jahre 2016 und 2017 – durchschnittliche Niederschlagsmenge und Temperaturverlauf der Versuchsjahre über die Monate Jänner bis Dezember.....	14
Abbildung 5: Anordnung der Versuchsflächen mit den verschiedenen Dünger-Niveaus .....	15
Abbildung 6: Artengruppenverteilung zu den einzelnen Schnittterminen (1, 2, 3 und 4) im Durchschnitt der Jahre 2016 und 2017 (in Flächen-%) .....	23
Abbildung 7: Verteilung der Artengruppen in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin .....	25
Abbildung 8: Änderung der Flächenprozent von 2016 auf 2017 der jeweiligen Pflanzenarten	26
Abbildung 9: Gräseranteil in Abhängigkeit von Variante x Jahr .....	28
Abbildung 10: LAI in einer Höhe von 0 cm in Abhängigkeit von Variante x Jahr .....	30
Abbildung 11: LAI in einer Höhe von 0 cm in Abhängigkeit Variante x Termin .....	30
Abbildung 12: Verlauf der Mengen- und Qualitätserträge in Abhängigkeit von Variante x Jahr .....	33
Abbildung 13: Rohnährstoff- und Fasergehalte in Abhängigkeit von Variante und Jahr .....	37
Abbildung 14: XP- und NEL-Gehalt in Abhängigkeit von Variante und Schnitttermin.....	39
Abbildung 15: Verlauf des XP-Gehaltes über die Vegetationsperiode .....	39
Abbildung 16: Anstieg des Schwefelgehaltes über die Vegetationsperiode .....	40
Abbildung 17: Mineralstoffgehalte in Abhängigkeit von Variante und Jahr .....	42
Abbildung 18: Mineralstoffgehalt in Abhängigkeit von Variante und Termin.....	44
Abbildung 19: Monatlicher Schwefeleintrag aus der nassen Deposition während der Versuchsjahre 2016 und 2017 .....	46
Abbildung 20: Schwefelgehaltswerte der Bodenbeprobungen im Frühjahr und im Herbst ....	48

# 11 Anhang

Tabelle 27: Auswertung der prozentuellen Zusammensetzung der Artengruppen in Abhängigkeit von Schnittermin x Jahr nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnittermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte

Parameter	Einheit	Schnittermin 1		Schnittermin 2		Schnittermin 3		Schnittermin 4	
		2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
Gräser	%	84,7 <sup>cd</sup>	89,4 <sup>a</sup>	82,7 <sup>d</sup>	82,9 <sup>d</sup>	90,5 <sup>a</sup>	88,5 <sup>ab</sup>	84,8 <sup>cd</sup>	86,7 <sup>bc</sup>
SEM		1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44
Leguminosen	%	5,4	4,5	10,1	10,8	5,25	5,50	3,44	3,56
SEM		0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
Kräuter	%	6,9 <sup>bc</sup>	5,3 <sup>de</sup>	7,2 <sup>b</sup>	6,2 <sup>bcd</sup>	4,25 <sup>e</sup>	5,63 <sup>cde</sup>	9,25 <sup>a</sup>	9,75 <sup>a</sup>
SEM		1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27
Lücken	%	3,1 <sup>a</sup>	0,8 <sup>c</sup>	0,1 <sup>d</sup>	0,2 <sup>d</sup>	<0,001 <sup>d</sup>	0,38 <sup>cd</sup>	2,50 <sup>b</sup>	>0,001 <sup>d</sup>
SEM		0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22

Tabelle 28: Auswertung der prozentuellen Zusammensetzung der Artengruppen in Abhängigkeit von Variante xSchnitttermin nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte

Parameter	Einheit	Variante S0				Variante S30				Variante S60				Variante S90			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Gräser	%	87,1	83,4	90,6	85,0	87,8	83,1	90,4	87,9	87,5	82,3	89,4	86,3	85,7	82,4	87,6	83,9
SEM		1,74	1,74	1,74	1,74	1,78	1,78	1,78	1,78	1,74	1,74	1,74	1,74	1,78	1,78	1,78	1,78
Leguminosen	%	3,88	7,38	3,88	2,75	4,88	12,13	5,38	3,38	5,75	12,88	6,25	4,13	5,25	9,25	6,00	3,75
SEM		1,29	1,29	1,29	1,29	1,33	1,33	1,33	1,33	1,29	1,29	1,29	1,29	1,33	1,33	1,33	1,33
Kräuter	%	6,75	8,75	5,25	10,88	5,38	4,75	4,00	7,88	5,13	4,88	4,25	7,75	7,12	8,37	6,25	11,50
SEM		1,43	1,43	1,43	1,43	1,46	1,46	1,46	1,46	1,43	1,43	1,43	1,43	1,46	1,46	1,46	1,46
Lücken	%	2,25	0,50	0,25	1,38	2,03	0,03	0,28	0,91	1,63	0,00	0,13	1,88	1,84	-0,03	0,09	0,84
SEM		0,29	0,29	0,29	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30	0,29	0,29	0,29	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30

Tabelle 29: Auswertung der prozentuellen Zusammensetzung der Artengruppen in Abhängigkeit von Variante x Jahr nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte

Parameter	Einheit	Variante S0		Variante S30		Variante S60		Variante S90	
		2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
Gräser	%	86,2	86,9	86,6	88,0	85,2	87,5	84,7	85,1
SEM		1,49	1,49	1,53	1,53	1,49	1,49	1,53	1,53
Leguminosen	%	4,31	4,63	6,57	6,32	7,50	7,00	5,75	6,37
SEM		1,04	1,04	1,09	1,09	1,04	1,04	1,09	1,09
Kräuter	%	7,94	7,88	5,56	5,44	5,81	5,19	8,25	8,37
SEM		1,33	1,33	1,36	1,36	1,33	1,33	1,36	1,36
Lücken	%	1,56	0,63	1,28	0,35	1,50	0,31	1,28	0,09
SEM		0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22

Tabelle 30: Auswertung der prozentuellen Zusammensetzung der Artengruppen in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin x Jahr (Teil 1) nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte

Parameter	Einheit	Variante*Schnitttermin*Jahr															
		S0*1* 2016	S0*1* 2017	S0*2* 2016	S0*2* 2017	S0*3* 2016	S0*3* 2017	S0*4* 2016	S0*4* 2017	S30*1* 2016	S30*1* 2017	S30*2* 2016	S30*2* 2017	S30*3* 2016	S30*3* 2017	S30*4* 2016	S30*4* 2017
Gräser	%	84,5	89,8	83,0	83,8	92,0	89,3	85,3	84,8	85,6	89,9	82,6	83,6	91,6	89,1	86,6	89,1
SEM		2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19
Leguminosen	%	4,50	3,25	7,00	7,75	3,50	4,25	2,25	3,25	5,00	4,75	12,25	12,00	5,25	5,50	3,75	3,00
SEM		1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71
Kräuter	%	7,75	5,75	9,75	7,75	4,50	6,00	9,75	12,00	6,13	4,63	5,13	4,38	3,13	4,88	7,88	7,88
SEM		1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64
Lücken	%	3,25	1,25	0,25	0,75	0,00	0,50	2,75	0,00	3,28	0,78	0,03	0,03	0,03	0,53	1,78	0,03
SEM		0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41

Tabelle 31: Auswertung der prozentuellen Zusammensetzung der Artengruppen in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin x Jahr (Teil 2) nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte

Parameter	Einheit	Variante*Schnitttermin*Jahr															
		S60*1* 2016	S60*1* 2016	S60*1* 2016	S60*1* 2016	S60*1* 2016	S60*1* 2016	S60*1* 2016	S60*1* 2016	S60*1* 2016	S60*1* 2016	S60*1* 2016	S60*1* 2016	S60*1* 2016	S60*1* 2016	S60*1* 2016	S60*1* 2016
Gräser	%	86,0	89,0	81,8	82,8	89,5	89,3	83,5	89,0	82,6	88,9	83,4	81,4	88,9	86,4	83,9	83,9
SEM		2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19
Leguminosen	%	5,75	5,75	13,00	12,75	6,75	5,75	4,50	3,75	6,25	4,25	8,00	10,50	5,50	6,50	3,25	4,25
SEM		1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71
Kräuter	%	6,00	4,25	5,25	4,50	3,75	4,75	8,25	7,25	7,62	6,62	8,62	8,12	5,62	6,87	11,12	11,87
SEM		1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64
Lücken	%	2,25	1,00	0,00	0,00	0,00	0,25	3,75	0,00	3,47	0,22	-0,03	-0,03	-0,03	0,22	1,72	-0,03
SEM		0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41

Tabelle 32: Auswertung der prozentuellen Bonitierungsergebnisse in Abhängigkeit von Variante x Jahr nach dem Modell 1  
(Haupteffekte: Variante und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte

Parameter	Einheit	Variante S0		Variante S30		Variante S60		Variante S90	
		Jahr	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016
Lücke	%	3,25	1,25	3,24	0,74	2,25	1,00	3,51	0,26
SEM		0,403	0,403	0,418	0,418	0,403	0,403	0,418	0,418
Gräser	%	84,5	89,8	85,1	89,3	86,0	89,0	83,2	89,4
SEM		1,28	1,28	1,32	1,32	1,28	1,28	1,32	1,32
Engl. Raygras	%	32,8	35,0	34,3	38,6	34,8	35,3	32,7	31,4
SEM		1,85	1,85	1,89	1,89	1,85	1,85	1,89	1,89
Gem. Rispe	%	15,3	11,3	17,0	10,8	17,0	13,0	16,3	10,0
SEM		1,159	1,159	1,159	1,159	1,159	1,159	1,159	1,159
Goldhafer	%	3,25	6,00	4,81	6,31	4,25	5,50	4,19	5,69
SEM		0,702	0,702	0,727	0,727	0,702	0,702	0,727	0,727
Knautgras	%	2,67	3,00	1,43	3,25	1,01	2,75		4,25
SEM		0,741	0,673	1,148	0,673	0,861	0,673		0,673
Wiesen- Fuchsschwan z	%	22,0	27,0	20,2	22,5	20,0	22,8	20,8	25,0
SEM		2,29	2,29	2,35	2,35	2,29	2,29	2,35	2,35
Wiesenrispe	%	6,00	5,75	6,25	6,25	6,75	8,25	5,50	9,50
SEM		1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
Sonst. Gräser	%	3,25	1,75	2,50	2,25	2,50	1,50	3,25	3,00
SEM		0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
Leguminosen	%	4,50	3,25	5,25	5,00	5,75	5,75	6,00	4,00
SEM		0,866	0,866	0,866	0,866	0,866	0,866	0,866	0,866
Kräuter	%	7,75	5,75	6,33	4,83	6,00	4,25	7,42	6,42
SEM		0,756	0,756	0,773	0,773	0,756	0,756	0,773	0,773

Tabelle 33: Auswertung des LAI 0 in Abhängigkeit von Variante x Jahr nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnittermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte

Parameter	Variante S0		Variante S30		Variante S60		Variante S90	
	Jahr	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016
LAI 0 cm	5,64	4,96	5,40	4,67	5,74	4,67	5,79	4,60
SEM	0,216	0,216	0,216	0,216	0,216	0,216	0,216	0,216

Tabelle 34: Auswertung des LAI 0 in Abhängigkeit von Schnittermin x Jahr nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnittermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte

Parameter	Schnittermin 1		Schnittermin 2		Schnittermin 3		Schnittermin 4	
	Jahr	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016
LAI 0 cm	4,63	4,07	6,82	5,15	6,13	4,92	5,01	4,75
SEM	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182

Tabelle 35: Auswertung des LAI 0 in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin x Jahr (Teil 1) nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte

Parameter	Variante*Schnitttermin*Jahr															
	S0*1*	S0*1*	S0*2*	S0*2*	S0*3*	S0*3*	S0*4*	S0*4*	S30*1*	S30*1*	S30*2*	S30*2*	S30*3*	S30*3*	S30*4*	S30*4*
	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
LAI 0 cm	4,79	4,26	6,88	5,19	6,09	5,33	4,81	5,06	4,06	3,93	6,59	5,57	5,89	4,68	5,09	4,50
SEM	0,313	0,313	0,313	0,313	0,313	0,313	0,313	0,313	0,313	0,313	0,313	0,313	0,313	0,313	0,313	0,313

Tabelle 36: Auswertung des LAI 0 in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin x Jahr (Teil 2) nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte

Parameter	Variante*Schnitttermin*Jahr															
	S60*1*	S60*1*	S60*2*	S60*2*	S60*3*	S60*3*	S60*4*	S60*4*	S90*1*	S90*1*	S90*2*	S90*2*	S90*3*	S90*3*	S90*4*	S90*4*
	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
LAI 0 cm	4,79	4,04	6,94	5,08	6,04	4,85	5,18	4,71	4,87	4,06	6,87	4,77	6,49	4,83	4,95	4,75
SEM	0,313	0,313	0,313	0,313	0,313	0,313	0,313	0,313	0,313	0,313	0,313	0,313	0,313	0,313	0,313	0,313

Tabelle 37: Auswertung der Mengen- und Qualitätserträge in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte

Parameter	Einheit	Variante S0				Variante S30				Variante S60				Variante S90			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
TM-Ertrag	kg	2730	2584	2548	2085	2760	2864	2600	2137	2920	2911	2600	2348	3070	2997	2706	2300
SEM		95,5	95,5	95,5	95,5	97,2	97,2	97,2	97,2	95,5	95,5	95,5	95,5	97,2	97,2	97,2	97,2
NEL-Ertrag	MJ/ha	16898	14905	14157	12474	17397	16611	14578	12881	18324	16867	14646	14171	19264	17302	15201	13660
SEM		528	528	528	528	538	538	538	538	528	528	528	528	538	538	538	538
XP-Ertrag	kg/ha	356	365	451	397	370	411	460	404	397	434	463	455	429	455	479	438
SEM		18,9	18,9	18,9	18,9	19,1	19,1	19,1	19,1	18,9	18,9	18,9	18,9	19,1	19,1	19,1	19,1

Tabelle 38: Auswertung der Mengen- und Qualitätserträge in Abhängigkeit von Schnitttermin x Jahr nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte

Parameter	Einheit	Schnitttermin 1		Schnitttermin 2		Schnitttermin 3		Schnitttermin 4	
		2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
TM-Ertrag	kg	3212 <sup>b</sup>	2528 <sup>d</sup>	3675 <sup>a</sup>	2003 <sup>f</sup>	3045 <sup>c</sup>	2182 <sup>e</sup>	2280 <sup>e</sup>	2155 <sup>e</sup>
SEM		78,2	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2
NEL-Ertrag	MJ/ha	20536 <sup>a</sup>	15405 <sup>c</sup>	21195 <sup>a</sup>	11648 <sup>f</sup>	16819 <sup>b</sup>	12472 <sup>ef</sup>	13560 <sup>d</sup>	13033 <sup>de</sup>
SEM		418	418	418	418	418	418	418	418
XP-Ertrag	kg/ha	455 <sup>b</sup>	321 <sup>d</sup>	537 <sup>a</sup>	295 <sup>d</sup>	513 <sup>a</sup>	414 <sup>c</sup>	446 <sup>b</sup>	401 <sup>c</sup>
SEM		15,8	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8

Tabelle 39: Auswertung der Mengen- und Qualitätserträge in Abhängigkeit von Variante x Jahr nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte

Parameter	Einheit	Variante S0		Variante S30		Variante S60		Variante S90	
		2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
TM-Ertrag	kg	2959	2014	2951	2229	3144	2246	3158	2379
<i>SEM</i>		79,5	79,5	81,6	81,6	79,5	79,5	81,6	81,6
NEL-Ertrag	MJ/ha	17321	11896	17485	13249	18686	13318	18618	14095
<i>SEM</i>		421	421	434	434	421	421	434	434
XP-Ertrag	kg/ha	464	320	467	355	507	367	512	389
<i>SEM</i>		15,8	15,8	16,1	16,1	15,8	15,8	16,1	16,1

Tabelle 40: Auswertung der Mengen- und Qualitätserträge in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin x Jahr (Teil 1) nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte

Parameter	Einheit	Variante*Schnitttermin*Jahr															
		S0*1*	S0*1*	S0*2*	S0*2*	S0*3*	S0*3*	S0*4*	S0*4*	S30*1*	S30*1*	S30*2*	S30*2*	S30*3*	S30*3*	S30*4*	S30*4*
		2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
TM-Ertrag	kg	3191	2269	3509	1658	3000	2097	2137	2034	2957	2562	3663	2065	3009	2190	2176	2098
SEM		121,2	121,2	121,2	121,2	121,2	121,2	121,2	121,2	122,6	122,6	122,6	122,6	122,6	122,6	122,6	122,6
NEL-Ertrag	MJ/ha	20096	13700	20174	9636	16402	11911	12612	12335	19161	15633	21045	12177	16698	12458	13036	12727
SEM		693	693	693	693	693	693	693	693	701	701	701	701	701	701	701	701
XP-Ertrag	kg/ha	443	269	497	233	500	402	417	376	426	314	522	299	503	416	418	390
SEM		23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0

Tabelle 41: Auswertung der Mengen- und Qualitätserträge in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin x Jahr (Teil 2) nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte

Parameter	Einheit	Variante*Schnitttermin*Jahr															
		S60*1* 2016	S60*1* 2017	S60*2* 2016	S60*2* 2017	S60*3* 2016	S60*3* 2017	S60*4* 2016	S60*4* 2017	S90*1* 2016	S90*1* 2017	S90*2* 2016	S90*2* 2017	S90*3* 2016	S90*3* 2017	S90*4* 2016	S90*4* 2017
TM-Ertrag	kg	3357	2483	3707	2115	3042	2158	2468	2228	3342	2799	3822	2172	3129	2283	2339	3357
SEM		121,2	121,2	121,2	121,2	121,2	121,2	121,2	121,2	122,6	122,6	122,6	122,6	122,6	122,6	122,6	121,2
NEL-Ertrag	MJ/ha	21473	15174	21412	12323	17003	12289	14854	13487	21415	17113	22147	12457	17172	13229	13738	13582
SEM		693	693	693	693	693	693	693	693	701	701	701	701	701	701	701	701
XP-Ertrag	kg/ha	466	327	545	323	526	401	492	418	484	375	584	327	522	435	457	419
SEM		23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0

Tabelle 42: Auswertung der Rohnährstoff- und Energiegehalte in Abhängigkeit von Variante x Jahr nach dem Modell 1  
(Haupteffekte: Variante und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte

Parameter	Einheit	Variante S0		Variante S30		Variante S60		Variante S90	
Jahr		2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
NEL	MJ	5,86	5,90	5,93	5,94	5,94	5,92	5,90	5,93
SEM		0,043	0,043	0,045	0,045	0,043	0,043	0,045	0,045
XP	g/kg TM	160	159	162	162	164	164	165	165
SEM		2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52
XA	g/kg TM	94,6	94,5	94,4	93,7	95,2	93,5	95,1	96,1
SEM		0,794	0,794	0,819	0,819	0,794	0,794	0,819	0,819
XL	g/kg TM	27,8	25,1	28,0	25,1	27,6	25,4	27,7	25,3
SEM		0,322	0,322	0,336	0,336	0,322	0,322	0,336	0,336
XF	g/kg TM	270	263	263	260	261	262	265	260
SEM		4,13	4,13	4,24	4,24	4,13	4,13	4,24	4,24
XX	g/kg TM	448	459	453	460	452	454	447	454
SEM		4,83	4,83	4,91	4,91	4,83	4,83	4,91	4,91
NDF	g/kg TM	482	497	478	498	474	504	474	487
SEM		8,46	8,46	8,68	8,68	8,46	8,46	8,68	8,68
ADF	g/kg TM	317	315	308	312	305	317	314	314
SEM		4,13	4,13	4,25	4,25	4,13	4,13	4,25	4,25
ADL	g/kg TM	34,9	36,3	33,7	36,6	33,5	37,1	33,8	37,0
SEM		0,890	0,890	0,890	0,890	0,890	0,890	0,890	0,890
NFC	g/kg TM	401	406	408	408	408	400	398	400
SEM		4,90	4,90	5,02	5,02	4,90	4,90	5,02	5,02

Tabelle 43: Auswertung der Rohnährstoff- und Energiegehalte in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte

Parameter	Einheit	Variante S0				Variante S30				Variante S60				Variante S90			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
NEL	MJ	6,17	5,78	5,58	5,98	6,29	5,82	5,62	6,02	6,25	5,80	5,64	6,03	6,29	5,78	5,66	5,94
SEM		0,054	0,054	0,054	0,054	0,055	0,055	0,055	0,055	0,054	0,054	0,054	0,054	0,055	0,055	0,055	0,055
XP	g/kg TM	128	141	179	189	134	144	179	190	135	150	179	193	139	151	178	189
SEM		2,97	2,97	2,97	2,97	2,97	2,97	2,97	2,97	2,97	2,97	2,97	2,97	2,97	2,97	2,97	2,97
XA	g/kg TM	78,9	94,4	101,6	103,4	80,1	92,3	102,0	101,5	80,5	93,0	101,5	102,3	81,7	95,1	103,0	102,9
SEM		1,392	1,392	1,392	1,392	1,392	1,392	1,392	1,392	1,392	1,392	1,392	1,392	1,392	1,392	1,392	1,392
XL	g/kg TM	23,2	25,9	26,8	29,7	22,8	25,6	28,2	29,6	23,6	25,9	27,1	29,5	23,8	26,0	27,6	28,8
SEM		0,474	0,474	0,474	0,474	0,485	0,485	0,485	0,485	0,474	0,474	0,474	0,474	0,485	0,485	0,485	0,485
XF	g/kg TM	263	268	288	246	252	266	284	243	256	268	281	242	252	269	279	251
SEM		5,24	5,24	5,24	5,24	5,32	5,32	5,32	5,32	5,24	5,24	5,24	5,24	5,32	5,32	5,32	5,32
XX	g/kg TM	506	471	404	432	511	472	407	436	506	463	411	433	503	458	411	428
SEM		5,45	5,45	5,45	5,45	5,52	5,52	5,52	5,52	5,45	5,45	5,45	5,45	5,52	5,52	5,52	5,52
NDF	g/kg TM	508	484	511	455	495	486	509	462	502	493	508	455	487	479	496	459
SEM		10,26	10,26	10,26	10,26	10,42	10,42	10,42	10,42	10,26	10,26	10,26	10,26	10,42	10,42	10,42	10,42
ADF	g/kg TM	317	320	334	294	307	317	328	290	307	321	327	289	306	322	328	299
SEM		4,94	4,94	4,94	4,94	5,03	5,03	5,03	5,03	4,94	4,94	4,94	4,94	5,03	5,03	5,03	5,03
ADL	g/kg TM	35,6	36,6	38,4	31,9	35,6	37,9	35,7	31,5	35,6	37,1	36,2	32,4	35,9	36,6	36,6	32,4
SEM		1,345	1,345	1,345	1,345	1,345	1,345	1,345	1,345	1,345	1,345	1,345	1,345	1,345	1,345	1,345	1,345
NFC	g/kg TM	453	419	358	383	457	421	363	389	454	410	366	386	449	405	362	380
SEM		5,54	5,54	5,54	5,54	5,64	5,64	5,64	5,64	5,54	5,54	5,54	5,54	5,64	5,64	5,64	5,64

Tabelle 44: Auswertung der Rohnährstoff- und Energiegehalte in Abhängigkeit von Schnitttermin x Jahr nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte

Parameter	Einheit	Schnitttermin 1		Schnitttermin 2		Schnitttermin 3		Schnitttermin 4	
		2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
NEL	MJ	6,40 <sup>a</sup>	6,10 <sup>b</sup>	5,77 <sup>de</sup>	5,82 <sup>d</sup>	5,53 <sup>f</sup>	5,72 <sup>e</sup>	5,94 <sup>c</sup>	6,05 <sup>b</sup>
SEM		0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043
XP	g/kg TM	141 <sup>e</sup>	127 <sup>f</sup>	146 <sup>de</sup>	147 <sup>d</sup>	168 <sup>c</sup>	190 <sup>ab</sup>	195 <sup>a</sup>	186 <sup>b</sup>
SEM		2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
XA	g/kg TM	84,1 <sup>d</sup>	76,5 <sup>e</sup>	92,1 <sup>c</sup>	95,4 <sup>b</sup>	101,1 <sup>a</sup>	102,9 <sup>a</sup>	102,0 <sup>a</sup>	103,0 <sup>a</sup>
SEM		1,003	1,003	1,003	1,003	1,003	1,003	1,003	1,003
XL	g/kg TM	25,6 <sup>d</sup>	21,1 <sup>f</sup>	27,1 <sup>c</sup>	24,6 <sup>e</sup>	28,3 <sup>b</sup>	26,5 <sup>cd</sup>	30,1 <sup>a</sup>	28,7 <sup>b</sup>
SEM		0,342	0,342	0,342	0,342	0,342	0,342	0,342	0,342
XF	g/kg TM	241 <sup>d</sup>	271 <sup>b</sup>	272 <sup>b</sup>	263 <sup>b</sup>	294 <sup>a</sup>	273 <sup>b</sup>	253 <sup>c</sup>	238 <sup>d</sup>
SEM		4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33
XX	g/kg TM	508 <sup>a</sup>	505 <sup>a</sup>	463 <sup>b</sup>	470 <sup>b</sup>	409 <sup>e</sup>	408 <sup>e</sup>	421 <sup>d</sup>	444 <sup>c</sup>
SEM		4,72	4,72	4,72	4,72	4,72	4,72	4,72	4,72
NDF	g/kg TM	457 <sup>e</sup>	539 <sup>a</sup>	482 <sup>d</sup>	489 <sup>cd</sup>	509 <sup>b</sup>	503 <sup>bc</sup>	461 <sup>e</sup>	455 <sup>e</sup>
SEM		8,31	8,31	8,31	8,31	8,31	8,31	8,31	8,31
ADF	g/kg TM	292 <sup>d</sup>	326 <sup>b</sup>	324 <sup>bc</sup>	316 <sup>c</sup>	335 <sup>a</sup>	324 <sup>bc</sup>	293 <sup>d</sup>	293 <sup>d</sup>
SEM		3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92
ADL	g/kg TM	32,1 <sup>c</sup>	39,2 <sup>b</sup>	36,6 <sup>d</sup>	37,5 <sup>ab</sup>	37,4 <sup>d</sup>	36,0 <sup>a</sup>	29,8 <sup>c</sup>	34,3 <sup>a</sup>
SEM		0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991
NFC	g/kg TM	457 <sup>a</sup>	449 <sup>a</sup>	411 <sup>b</sup>	417 <sup>b</sup>	367 <sup>e</sup>	357 <sup>f</sup>	380 <sup>d</sup>	390 <sup>c</sup>
SEM		4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54

Tabelle 45: Auswertung der Rohnährstoff- und Energiegehalte in Abhängigkeit von Variante x Jahr nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte

Parameter	Einheit	Variante S0		Variante S30		Variante S60		Variante S90	
		2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
NEL	MJ	5,86	5,90	5,93	5,94	5,94	5,92	5,90	5,93
SEM		0,045	0,045	0,046	0,046	0,045	0,045	0,046	0,046
XP	g/kg TM	160	159	162	162	164	164	165	165
SEM		2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
XA	g/kg TM	94,6	94,5	94,3	93,6	95,2	93,5	95,2	96,1
SEM		1,003	1,003	1,003	1,003	1,003	1,003	1,003	1,003
XL	g/kg TM	27,8	25,1	28,0	25,1	27,6	25,4	27,7	25,3
SEM		0,342	0,342	0,356	0,356	0,342	0,342	0,356	0,356
XF	g/kg TM	270	263	263	260	261	262	265	260
SEM		4,37	4,37	4,47	4,47	4,37	4,37	4,47	4,47
XX	g/kg TM	448	459	453	460	452	454	447	454
SEM		4,77	4,77	4,86	4,86	4,77	4,77	4,86	4,86
NDF	g/kg TM	482	497	478	498	474	504	474	487
SEM		8,31	8,31	8,50	8,50	8,31	8,31	8,50	8,50
ADF	g/kg TM	317	315	308	312	305	317	314	314
SEM		3,96	3,96	4,08	4,08	3,96	3,96	4,08	4,08
ADL	g/kg TM	34,9	36,3	33,7	36,6	33,5	37,1	33,8	37,0
SEM		0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991
NFC	g/kg TM	401	406	408	408	408	400	398	400
SEM		4,63	4,63	4,75	4,75	4,63	4,63	4,75	4,75

Tabelle 46: Auswertung der Rohnährstoff- und Energiegehalte in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin x Jahr (Teil 1) nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte

Parameter	Einheit	Variante*Schnitttermin*Jahr															
		S0*1*	S0*1*	S0*2*	S0*2*	S0*3*	S0*3*	S0*4*	S0*4*	S30*1*	S30*1*	S30*2*	S30*2*	S30*3*	S30*3*	S30*4*	S30*4*
		2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
NEL	MJ	6,30	6,04	5,75	5,81	5,47	5,68	5,90	6,07	6,47	6,10	5,74	5,90	5,54	5,69	5,98	6,06
SEM		0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,069	0,069	0,069	0,069	0,069	0,069	0,069	0,069
XP	g/kg TM	138	118	141	141	167	192	194	184	144	123	143	146	168	191	193	187
SEM		4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04
XA	g/kg TM	83,0	74,9	93,3	95,5	100,3	103,0	102,0	104,7	83,8	76,4	92,5	92,2	100,8	103,2	100,3	102,7
SEM		1,949	1,949	1,949	1,949	1,949	1,949	1,949	1,949	1,949	1,949	1,949	1,949	1,949	1,949	1,949	1,949
XL	g/kg TM	25,8	20,7	27,5	24,3	27,5	26,1	30,3	29,2	25,0	20,7	27,0	24,2	29,3	27,1	30,8	28,4
SEM		0,664	0,664	0,664	0,664	0,664	0,664	0,664	0,664	0,672	0,672	0,672	0,672	0,672	0,672	0,672	0,672
XF	g/kg TM	250	276	273	263	300	277	257	235	235	270	274	257	292	276	249	237
SEM		6,64	6,64	6,64	6,64	6,64	6,64	6,64	6,64	6,71	6,71	6,71	6,71	6,71	6,71	6,71	6,71
XX	g/kg TM	503	510	466	477	406	402	417	447	512	510	463	481	410	404	427	445
SEM		6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,66	6,66	6,66	6,66	6,66	6,66	6,66	6,66
NDF	g/kg TM	469	548	476	493	514	508	470	441	449	540	487	485	513	505	463	461
SEM		13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,45	13,45	13,45	13,45	13,45	13,45	13,45	13,45
ADF	g/kg TM	301	333	323	316	342	327	302	287	289	325	323	312	333	322	289	291
SEM		6,46	6,46	6,46	6,46	6,46	6,46	6,46	6,46	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54
ADL	g/kg TM	33,0	38,1	36,1	37,1	39,6	37,2	30,8	32,9	33,0	38,2	38,0	37,8	36,2	35,3	27,7	35,3
SEM		1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862
NFC	g/kg TM	452	453	415	424	364	353	372	395	459	455	415	427	369	357	387	391
SEM		7,01	7,01	7,01	7,01	7,01	7,01	7,01	7,01	7,09	7,09	7,09	7,09	7,09	7,09	7,09	7,09

Tabelle 47: Auswertung der Rohnährstoff- und Energiegehalte in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin x Jahr (Teil 2) nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte

Parameter	Einheit	Variante*Schnitttermin*Jahr															
		S60*1* 2016	S60*1* 2017	S60*2* 2016	S60*2* 2017	S60*3* 2016	S60*3* 2017	S60*4* 2016	S60*4* 2017	S90*1* 2016	S90*1* 2017	S90*2* 2016	S90*2* 2017	S90*3* 2016	S90*3* 2017	S90*4* 2016	S90*4* 2017
NEL	MJ	6,40	6,10	5,78	5,82	5,59	5,70	6,01	6,06	6,43	6,14	5,81	5,74	5,50	5,81	5,87	6,01
SEM		0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,069	0,069	0,069	0,069	0,069	0,069	0,069	0,069
XP	g/kg TM	138	131	147	153	173	186	199	188	145	134	153	150	167	190	194	185
SEM		4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04
XA	g/kg TM	85,0	76,0	91,0	95,1	100,5	102,5	104,3	100,3	84,8	78,7	91,5	98,8	103,0	102,9	101,5	104,2
SEM		1,949	1,949	1,949	1,949	1,949	1,949	1,949	1,949	1,949	1,949	1,949	1,949	1,949	1,949	1,949	1,949
XL	g/kg TM	25,8	21,4	26,5	25,3	28,5	25,7	29,8	29,3	26,0	21,5	27,2	24,8	28,0	27,2	29,7	27,8
SEM		0,664	0,664	0,664	0,664	0,664	0,664	0,664	0,664	0,672	0,672	0,672	0,672	0,672	0,672	0,672	0,672
XF	g/kg TM	240	271	272	264	288	275	244	241	238	266	269	268	294	265	261	241
SEM		6,64	6,64	6,64	6,64	6,64	6,64	6,64	6,64	6,71	6,71	6,71	6,71	6,71	6,71	6,71	6,71
XX	g/kg TM	511	500	463	464	410	411	424	442	506	500	459	458	408	415	414	442
SEM		6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,66	6,66	6,66	6,66	6,66	6,66	6,66	6,66
NDF	g/kg TM	459	544	491	494	501	515	446	463	450	524	473	486	510	482	463	454
SEM		13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,45	13,45	13,45	13,45	13,45	13,45	13,45	13,45
ADF	g/kg TM	287	327	323	319	329	324	280	297	292	321	327	317	335	322	302	295
SEM		6,46	6,46	6,46	6,46	6,46	6,46	6,46	6,46	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54	6,54
ADL	g/kg TM	30,5	40,6	37,7	36,5	35,9	36,5	30,1	34,7	31,8	40,1	34,7	38,6	38,1	35,2	30,6	34,2
SEM		1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862
NFC	g/kg TM	464	444	412	408	370	362	387	385	452	445	401	409	367	357	372	388
SEM		7,01	7,01	7,01	7,01	7,01	7,01	7,01	7,01	7,09	7,09	7,09	7,09	7,09	7,09	7,09	7,09

Tabelle 48: Auswertung der Mineralstoff- und Spurenelementgehalt in Abhängigkeit von Variante x Jahr nach dem Modell 1  
(Haupteffekte: Variante und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte

Parameter	Einheit	Variante S0		Variante S0		Variante S0		Variante S0	
		2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
TM	kg/ha	183	183	191	183	188	183	188	176
SEM		3,16	3,16	3,16	3,26	3,26	3,16	3,16	3,26
S	g/kg TM	2,62	2,62	3,13	2,61	3,21	2,63	3,29	2,64
SEM		0,053	0,053	0,053	0,055	0,055	0,053	0,053	0,055
P	g/kg TM	4,73	4,73	4,51	4,68	4,36	4,59	4,33	4,65
SEM		0,076	0,076	0,076	0,078	0,078	0,076	0,076	0,078
K	g/kg TM	26,1	26,1	25,0	25,5	24,7	25,6	24,6	26,0
SEM		0,565	0,565	0,565	0,575	0,575	0,565	0,565	0,575
Ca	g/kg TM	7,21	7,21	7,66	7,73	8,08	7,98	8,12	7,85
SEM		0,402	0,402	0,402	0,413	0,413	0,402	0,402	0,413
Mg	g/kg TM	2,73	2,73	2,79	2,68	2,75	2,71	2,74	2,80
SEM		0,065	0,065	0,065	0,066	0,066	0,065	0,065	0,066
Na	g/kg TM	510	510	721	513	739	518	762	533
SEM		37,7	37,7	37,7	38,3	38,3	37,7	37,7	38,3
Cu	g/kg TM	8,35	8,35	8,81	8,31	8,90	8,61	8,79	8,69
SEM		0,176	0,176	0,176	0,182	0,182	0,176	0,176	0,182
Mn	g/kg TM	59,6	59,6	61,5	57,8	63,8	67,4	57,0	61,8
SEM		5,07	5,07	5,07	5,28	5,28	5,07	5,07	5,28
Zn	g/kg TM	29,5	29,5	34,1	30,0	34,6	30,0	33,4	29,9
SEM		0,919	0,919	0,919	0,942	0,942	0,919	0,919	0,942
Fe	g/kg TM	379	379	542	350	456	576	398	308
SEM		127	127	127	131	131	127	127	131

Tabelle 49: Auswertung der Mineralstoff- und Spurenelementgehalt in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte

Parameter	Einheit	Variante S0				Variante S30				Variante S60				Variante S90			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
TM	kg/ha	218	221	142	167	220	214	142	166	219	213	140	169	214	203	138	167
SEM		3,87	3,87	3,87	3,87	3,94	3,94	3,94	3,94	3,87	3,87	3,87	3,87	3,94	3,94	3,94	3,94
S	g/kg TM	2,42	2,94	3,06	3,07	2,55	2,88	3,08	3,12	2,56	2,96	3,11	3,21	2,59	2,94	3,09	3,14
SEM		0,070	0,070	0,070	0,070	0,071	0,071	0,071	0,071	0,070	0,070	0,070	0,070	0,071	0,071	0,071	0,071
P	g/kg TM	3,67	4,36	5,24	5,23	3,72	4,15	5,12	5,09	3,68	4,28	5,03	4,84	3,67	4,28	5,06	5,00
SEM		0,085	0,085	0,085	0,085	0,086	0,086	0,086	0,086	0,085	0,085	0,085	0,085	0,086	0,086	0,086	0,086
K	g/kg TM	23,0	23,0	28,9	27,3	22,8	22,6	28,3	26,7	22,8	23,1	28,4	26,0	22,9	23,4	28,4	27,5
SEM		0,628	0,628	0,628	0,628	0,637	0,637	0,637	0,637	0,628	0,628	0,628	0,628	0,637	0,637	0,637	0,637
Ca	g/kg TM	6,53	8,18	7,77	7,26	7,11	8,64	8,43	7,45	7,23	8,97	8,45	7,55	7,47	8,91	8,53	7,14
SEM		0,421	0,421	0,421	0,421	0,431	0,431	0,431	0,431	0,421	0,421	0,421	0,421	0,431	0,431	0,431	0,431
Mg	g/kg TM	2,12	2,81	2,98	3,11	2,14	2,68	2,95	3,08	2,14	2,74	2,94	3,09	2,33	2,78	3,08	3,18
SEM		0,080	0,080	0,080	0,080	0,081	0,081	0,081	0,081	0,080	0,080	0,080	0,080	0,081	0,081	0,081	0,081
Na	g/kg TM	546	598	538	779	558	553	563	832	549	609	565	839	581	625	596	792
SEM		46,3	46,3	46,3	46,3	46,9	46,9	46,9	46,9	46,3	46,3	46,3	46,3	46,9	46,9	46,9	46,9
Cu	g/kg TM	6,82	7,16	9,69	10,65	6,81	7,06	9,97	10,57	6,82	7,18	9,94	10,86	7,27	7,45	10,01	10,53
SEM		0,222	0,222	0,222	0,222	0,226	0,226	0,226	0,226	0,222	0,222	0,222	0,222	0,226	0,226	0,226	0,226
Mn	g/kg TM	41,2	64,9	59,8	76,3	40,7	65,8	63,5	73,0	39,6	55,7	59,1	94,4	48,2	62,2	73,3	80,5
SEM		8,06	8,06	8,06	8,06	8,21	8,21	8,21	8,21	8,06	8,06	8,06	8,06	8,21	8,21	8,21	8,21
Zn	g/kg TM	22,5	29,4	36,7	38,6	24,0	29,6	37,0	38,5	23,1	28,0	36,3	39,3	24,0	29,7	37,7	37,8
SEM		1,156	1,156	1,156	1,156	1,175	1,175	1,175	1,175	1,156	1,156	1,156	1,156	1,175	1,175	1,175	1,175
Fe	g/kg TM	99	476	363	904	124	270	418	803	119	176	356	1298	127	145	541	802
SEM		191	191	191	191	194	194	194	194	191	191	191	191	194	194	194	194

Tabelle 50: Auswertung der Mineralstoff- und Spurenelementgehalt in Abhängigkeit von Schnitttermin x Jahr nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte

Parameter	Einheit	Schnitttermin 1		Schnitttermin 2		Schnitttermin 3		Schnitttermin 4	
		2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
TM	g/kg FM	212 <sup>c</sup>	223 <sup>b</sup>	195 <sup>d</sup>	230 <sup>a</sup>	155 <sup>g</sup>	126 <sup>h</sup>	163 <sup>f</sup>	172 <sup>e</sup>
SEM		3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07
S	g/kg TM	2,52 <sup>ef</sup>	2,54 <sup>ef</sup>	2,65 <sup>e</sup>	3,21 <sup>c</sup>	2,49 <sup>f</sup>	3,67 <sup>a</sup>	2,83 <sup>d</sup>	3,44 <sup>b</sup>
SEM		0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051
P	g/kg TM	3,93 <sup>f</sup>	3,45 <sup>g</sup>	4,33 <sup>e</sup>	4,20 <sup>e</sup>	5,05 <sup>c</sup>	5,18 <sup>a</sup>	5,35 <sup>b</sup>	4,73 <sup>d</sup>
SEM		0,072	0,072	0,072	0,072	0,072	0,072	0,072	0,072
K	g/kg TM	24,6 <sup>d</sup>	21,2 <sup>g</sup>	23,6 <sup>e</sup>	22,4 <sup>f</sup>	27,4 <sup>b</sup>	29,6 <sup>a</sup>	27,6 <sup>b</sup>	26,2 <sup>c</sup>
SEM		0,543	0,543	0,543	0,543	0,543	0,543	0,543	0,543
Ca	g/kg TM	7,25 <sup>cd</sup>	6,92 <sup>d</sup>	8,63 <sup>a</sup>	8,73 <sup>a</sup>	7,84 <sup>b</sup>	8,75 <sup>a</sup>	7,06 <sup>d</sup>	7,64 <sup>bc</sup>
SEM		0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350
Mg	g/kg TM	2,23 <sup>d</sup>	2,14 <sup>d</sup>	2,64 <sup>c</sup>	2,86 <sup>b</sup>	2,87 <sup>b</sup>	3,11 <sup>a</sup>	3,18 <sup>a</sup>	3,06 <sup>a</sup>
SEM		0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065
Na	mg/kg TM	476 <sup>c</sup>	641 <sup>b</sup>	498 <sup>c</sup>	695 <sup>b</sup>	451 <sup>c</sup>	680 <sup>b</sup>	649 <sup>b</sup>	972 <sup>a</sup>
SEM		39,0	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0
Cu	mg/kg TM	6,72 <sup>d</sup>	7,14 <sup>d</sup>	7,57 <sup>c</sup>	6,86 <sup>d</sup>	9,00 <sup>b</sup>	10,81 <sup>a</sup>	10,67 <sup>a</sup>	10,63 <sup>a</sup>
SEM		0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162
Mn	mg/kg TM	43,0	41,8	66,2	58,1	57,6	70,2	79,7	82,4
SEM		5,94	5,94	5,94	5,94	5,94	5,94	5,94	5,94
Zn	mg/kg TM	23,6 <sup>e</sup>	23,1 <sup>e</sup>	26,7 <sup>d</sup>	31,7 <sup>c</sup>	32,3 <sup>c</sup>	41,5 <sup>a</sup>	36,8 <sup>b</sup>	40,3 <sup>a</sup>
SEM		0,972	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972
Fe	g/kg TM	133	101	363	171	234	606	883	1021
SEM		140	140	140	140	140	140	140	140

Tabella 51: Auswertung der Mineralstoff- und Spurenelementgehalt in Abhängigkeit von Variante x Jahr nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte

Parameter	Einheit	Variante S0		Variante S30		Variante S60		Variante S90	
		2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
TM	kg/ha	183	191	183	188	183	188	176	185
SEM		3,07	3,07	3,15	3,15	3,07	3,07	3,15	3,15
S	g/kg TM	2,62	3,13	2,61	3,21	2,63	3,29	2,64	3,24
SEM		0,051	0,051	0,053	0,053	0,051	0,051	0,053	0,053
P	g/kg TM	4,73	4,51	4,68	4,36	4,59	4,33	4,65	4,36
SEM		0,072	0,072	0,074	0,074	0,072	0,072	0,074	0,074
K	g/kg TM	26,1	25,0	25,5	24,7	25,6	24,6	26,0	25,1
SEM		0,559	0,559	0,569	0,569	0,559	0,559	0,569	0,569
Ca	g/kg TM	7,21	7,66	7,73	8,08	7,98	8,12	7,85	8,17
SEM		0,382	0,382	0,394	0,394	0,382	0,382	0,394	0,394
Mg	g/kg TM	2,73	2,79	2,68	2,75	2,71	2,74	2,80	2,89
SEM		0,065	0,065	0,067	0,067	0,065	0,065	0,067	0,067
Na	g/kg TM	510	721	513	740	518	762	532	765
SEM		39,0	39,0	39,7	39,7	39,0	39,0	39,7	39,7
Cu	g/kg TM	8,35	8,81	8,31	8,90	8,61	8,79	8,69	8,94
SEM		0,162	0,162	0,167	0,167	0,162	0,162	0,167	0,167
Mn	g/kg TM	59,6	61,5	57,7	63,8	67,4	57,0	61,9	70,2
SEM		5,94	5,94	6,15	6,15	5,94	5,94	6,15	6,15
Zn	g/kg TM	29,5	34,1	30,0	34,6	30,0	33,4	29,9	34,6
SEM		0,985	0,985	1,007	1,007	0,985	0,985	1,007	1,007
Fe	g/kg TM	379	542	351	457	576	398	307	501
SEM		140	140	145	145	140	140	145	145

Tabelle 52: Auswertung der Mineralstoff- und Spurenelementgehalt in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin x Jahr (Teil 1) nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte

Parameter	Einheit	Variante*Schnitttermin*Jahr															
		S0*1* 2016	S0*1* 2017	S0*2* 2016	S0*2* 2017	S0*3* 2016	S0*3* 2017	S0*4* 2016	S0*4* 2017	S30*1* 2016	S30*1* 2017	S30*2* 2016	S30*2* 2017	S30*3* 2016	S30*3* 2017	S30*4* 2016	S30*4* 2017
TM	kg/ha	213	223	202	239	155	129	160	174	213	227	199	228	158	127	163	169
SEM		5,12	5,12	5,12	5,12	5,12	5,12	5,12	5,12	5,17	5,17	5,17	5,17	5,17	5,17	5,17	5,17
S	g/kg TM	2,43	2,41	2,75	3,13	2,48	3,65	2,83	3,32	2,59	2,51	2,61	3,15	2,46	3,69	2,76	3,47
SEM		0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098
P	g/kg TM	3,85	3,48	4,35	4,36	5,13	5,35	5,60	4,86	3,98	3,46	4,28	4,01	5,06	5,19	5,41	4,77
SEM		0,107	0,107	0,107	0,107	0,107	0,107	0,107	0,107	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108
K	g/kg TM	24,7	21,3	23,2	22,8	28,2	29,7	28,3	26,4	24,3	21,4	23,4	21,8	27,0	29,7	27,4	26,0
SEM		0,747	0,747	0,747	0,747	0,747	0,747	0,747	0,747	0,755	0,755	0,755	0,755	0,755	0,755	0,755	0,755
Ca	g/kg TM	6,73	6,33	8,03	8,34	7,23	8,32	6,85	7,67	7,48	6,74	8,28	9,01	8,10	8,75	7,08	7,83
SEM		0,489	0,489	0,489	0,489	0,489	0,489	0,489	0,489	0,498	0,498	0,498	0,498	0,498	0,498	0,498	0,498
Mg	g/kg TM	2,20	2,04	2,75	2,87	2,83	3,13	3,13	3,10	2,18	2,10	2,53	2,84	2,88	3,02	3,13	3,04
SEM		0,104	0,104	0,104	0,104	0,104	0,104	0,104	0,104	0,105	0,105	0,105	0,105	0,105	0,105	0,105	0,105
Na	g/kg TM	463	629	513	684	407	669	657	901	479	637	466	640	445	681	662	1001
SEM		58,3	58,3	58,3	58,3	58,3	58,3	58,3	58,3	58,7	58,7	58,7	58,7	58,7	58,7	58,7	58,7
Cu	g/kg TM	6,83	6,82	7,53	6,80	8,75	10,64	10,30	11,00	6,57	7,04	7,15	6,98	9,15	10,80	10,37	10,76
SEM		0,309	0,309	0,309	0,309	0,309	0,309	0,309	0,309	0,312	0,312	0,312	0,312	0,312	0,312	0,312	0,312
Mn	g/kg TM	44,6	37,8	77,7	52,0	54,8	64,9	61,4	91,2	42,0	39,5	61,2	70,4	58,9	68,1	68,9	77,1
SEM		11,14	11,14	11,14	11,14	11,14	11,14	11,14	11,14	11,26	11,26	11,26	11,26	11,26	11,26	11,26	11,26
Zn	g/kg TM	22,9	22,1	27,9	30,9	31,4	42,0	35,8	41,4	24,7	23,3	26,4	32,9	32,6	41,5	36,3	40,6
SEM		1,438	1,438	1,438	1,438	1,438	1,438	1,438	1,438	1,453	1,453	1,453	1,453	1,453	1,453	1,453	1,453
Fe	g/kg TM	121	76	733	220	197	530	463	1344	126	121	340	200	285	551	651	956
SEM		264	264	264	264	264	264	264	264	267	267	267	267	267	267	267	267

Tabelle 53: Auswertung der Mineralstoff- und Spurenelementgehalt in Abhängigkeit von Variante x Schnitttermin x Jahr (Teil 2) nach dem Modell 2 (Haupteffekte: Variante, Schnitttermin und Jahr) sowie RSD, SEM und p-Werte

Parameter	Einheit	Variante*Schnitttermin*Jahr															
		S60*1* 2016	S60*1* 2017	S60*2* 2016	S60*2* 2017	S60*3* 2016	S60*3* 2017	S60*4* 2016	S60*4* 2017	S90*1* 2016	S90*1* 2017	S90*2* 2016	S90*2* 2017	S90*3* 2016	S90*3* 2017	S90*4* 2016	S90*4* 2017
TM	kg/ha	215	223	193	232	154	126	167	170	206	221	186	221	152	123	159	174
SEM		5,12	5,12	5,12	5,12	5,12	5,12	5,12	5,12	5,17	5,17	5,17	5,17	5,17	5,17	5,17	5,17
S	g/kg TM	2,50	2,62	2,60	3,32	2,48	3,74	2,93	3,49	2,56	2,62	2,64	3,24	2,56	3,61	2,79	3,49
SEM		0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098
P	g/kg TM	4,00	3,37	4,30	4,25	4,98	5,09	5,08	4,61	3,87	3,48	4,37	4,19	5,04	5,09	5,32	4,68
SEM		0,107	0,107	0,107	0,107	0,107	0,107	0,107	0,107	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108
K	g/kg TM	25,1	20,6	23,9	22,3	27,0	29,7	26,3	25,7	24,4	21,4	23,8	22,9	27,6	29,2	28,3	26,8
SEM		0,747	0,747	0,747	0,747	0,747	0,747	0,747	0,747	0,755	0,755	0,755	0,755	0,755	0,755	0,755	0,755
Ca	g/kg TM	7,38	7,09	9,03	8,91	8,30	8,60	7,23	7,87	7,42	7,51	9,17	8,65	7,72	9,34	7,07	7,20
SEM		0,489	0,489	0,489	0,489	0,489	0,489	0,489	0,489	0,498	0,498	0,498	0,498	0,498	0,498	0,498	0,498
Mg	g/kg TM	2,20	2,08	2,60	2,87	2,85	3,04	3,20	2,98	2,32	2,34	2,70	2,87	2,92	3,24	3,25	3,11
SEM		0,104	0,104	0,104	0,104	0,104	0,104	0,104	0,104	0,105	0,105	0,105	0,105	0,105	0,105	0,105	0,105
Na	g/kg TM	478	619	466	751	465	665	665	1013	486	677	547	704	486	705	611	973
SEM		58,3	58,3	58,3	58,3	58,3	58,3	58,3	58,3	58,7	58,7	58,7	58,7	58,7	58,7	58,7	58,7
Cu	g/kg TM	6,53	7,11	7,58	6,78	8,93	10,96	11,40	10,32	6,95	7,59	8,03	6,87	9,18	10,85	10,60	10,45
SEM		0,309	0,309	0,309	0,309	0,309	0,309	0,309	0,309	0,312	0,312	0,312	0,312	0,312	0,312	0,312	0,312
Mn	g/kg TM	41,0	38,2	60,4	51,1	53,5	64,7	114,6	74,1	44,6	51,7	65,5	58,8	63,4	83,1	73,9	87,1
SEM		11,14	11,14	11,14	11,14	11,14	11,14	11,14	11,14	11,26	11,26	11,26	11,26	11,26	11,26	11,26	11,26
Zn	g/kg TM	23,7	22,6	25,3	30,6	31,6	41,0	39,3	39,3	23,4	24,6	27,0	32,3	33,7	41,7	35,7	39,8
SEM		1,438	1,438	1,438	1,438	1,438	1,438	1,438	1,438	1,453	1,453	1,453	1,453	1,453	1,453	1,453	1,453
Fe	g/kg TM	151	87	221	131	193	518	1740	856	135	119	159	132	260	823	676	928
SEM		264	264	264	264	264	264	264	264	267	267	267	267	267	267	267	267