

Sicherung des Ertragspotentials von Luzerne-Klee grasbeständen durch Verbesserung des aktuellen Schwefelversorgungszustandes ökologisch bewirtschafteter Flächen - Situation und Bedeutung unter Praxisbedingungen

**Availability and supply of sulphur in organic fodder legume stands – present situation in
Germany and recommendations for a sustainable management**

FKZ: 10OE104

Projektnehmer:

Justus-Liebig-Universität Gießen
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II, Professur für Organischen Landbau
Karl-Glöckner-Str. 22 C, 35394 Gießen
Tel.: +49 641 99-37737
Fax: +49 641 99-37739
E-Mail: Organ.Landbau@grar.uni-giessen.de
Internet: www.uni-giessen.de

Autoren:

Becker, Konstantin; Riffel, Alexandra; Leithold, Günter

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

Die inhaltliche Verantwortung für den vorliegenden Abschlussbericht inkl. aller erarbeiteten Ergebnisse
und der daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen liegt beim Autor / der Autorin / dem Autorenteam.
Bis zum formellen Abschluss des Projektes in der Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer
Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft können sich noch Änderungen ergeben.

Forschungsprojekt 2810OE104

**„Sicherung des Ertragspotentials von Luzerne-
Klee grasbeständen durch Verbesserung des aktuel-
len Schwefelversorgungszustandes ökologisch be-
wirtschafteter Flächen – Situation und Bedeutung
unter Praxisbedingungen“.**

Endbericht für den Zeitraum vom 01.10.2011 bis zum 31.12.2015

Ausführende Stelle:

Justus-Liebig-Universität Gießen

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II

Leiter: Professor Dr. Günter Leithold

Projektbearbeitung: Dr. Konstantin Becker und Alexandra Riffel

Kurzfassung

„Sicherung des Ertragspotentials von Luzerne-Klee grasbeständen durch Verbesserung des aktuellen Schwefelversorgungszustandes ökologisch bewirtschafteter Flächen – Situation und Bedeutung unter Praxisbedingungen“.

Konstantin Becker, Alexandra Riffel und Günter Leithold

JLU Gießen, Professur für Organischen Landbau , Karl-Glöckner-Straße 21 C, 35394

Gießen, organ.landbau@agrار.uni-giessen.de

Mit In den Jahren 2012 bis 2014 durchgeführten deutschlandweiten Untersuchungen sollte festgestellt werden, inwiefern die Flächen des ökologischen Landbaus durch den mittlerweile eingetretenen Rückgang der Schwefeleinträge aus der Atmosphäre von einer allgemeinen Schwefelmangelsituation betroffen sind, die negative Auswirkungen auf das Wachstum und das Leistungsvermögen von Futterleguminosen haben und damit die Nachhaltigkeit im ökologischen Landbau gefährden. Zudem sollten geeignete Parameter gefunden werden, um die Schwefelversorgungssituation für den Anbau von Futterleguminosen im ökologischen Landbau prognostizieren und charakterisieren zu können, sowie Handlungsempfehlungen für ökologisch wirtschaftende Betriebe abgeleitet werden.

Die deutschlandweiten Bodenanalysen zeigten auf, dass auf mehr als 70 % der getesteten Betriebsflächen der Gehalt des Bodens an Sulfatschwefel (S_{\min}) in 0-60 cm Tiefe bei oder unter 30 kg ha^{-1} lag, was auf eine Schwefelunterversorgung bei schwefelbedürftigen Kulturen hindeutet. Diese Einschätzung wurde gestützt durch parallel durchgeführte Pflanzenanalysen, die bei über 50% sowohl zu niedrige Schwefelkonzentrationen und damit einhergehend niedrige Stickstoffkonzentrationen aufwiesen.

Durch die in vier verschiedenen Boden-Klima-Räumen Deutschlands durchgeführten Schwefeldüngungsversuchen konnten anhand von Bodenanalysen Grenzwerte abgeleitet werden, ab wann und in welcher Höhe eine Schwefeldüngung für den Anbau von Futterleguminosen zu empfehlen ist.

Anhand umfangreicher Analysen von Pflanzenmaterial wurden Grenzwerte für ausreichende Schwefelkonzentrationen in Futterleguminosen überprüft und in Zusammenhang mit der Stickstoffkonzentration in den Futterleguminosen gestellt.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus neben einem Schwefelmangel weitere Nährstoffe und andere Wachstumsfaktoren limitierend auf Futterleguminosen wirken können. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Abstract

„Availability and supply of sulphur in organic fodder legume stands – present situation in Germany and recommendations for a sustainable management“

The aim of the project was to assess the demand for sulphur fertilization in organic arable farming in Germany. Sulphur availability impacts on biological nitrogen fixation in legume stands, which is the basic principle of nitrogen management in organic farming. In former times, considerable amounts of sulphur have been supplied by atmospheric deposition, but immissions decreased due to advances in industrial smoke gas filtering in the last decades. Therefore, it is necessary to examine the demand for sulphur fertilization to crops in organic farming, and perennial fodder legumes in particular. Further, applicable indicators of sulphur demand of organic fodder legume stands have to be developed as well as recommendations for sulphur fertilization to these crops.

An on-farm survey in 2012 to 2014 showed that >70% of sites had S contents below 30 kg S ha⁻¹ in 0-60cm soil depth, indicating a potential limitation of crops with a high S demand, as fodder legumes. Supplementary analyses of S and N contents in plant biomass supported this assumption, as contents and total yields of both elements were lower up to 50% with sulphur limitation compared to well-supplied sites. The relation between S availability and N yields was further examined.

Based on the survey we defined threshold values for sulphur availability and specified recommendations for S fertilization to organic fodder legumes in the different soil-climate-regions of Germany. Still, the survey showed that other nutrients could be limiting growth and yields of fodder legumes in organic farming, and micro nutrients in particular. There is a clear demand for further research in that field.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	II
Abstract	IV
Inhaltsverzeichnis	I
Tabellenverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VIII
1 Einführung.....	24
1.1 Gegenstand des Vorhabens	24
1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projektes, Bezug des Vorhabens zu den förderpolitischen Zielen	25
1.2.1 Wissenschaftliche Arbeitsziele des Vorhabens	26
1.3 Planung und Ablauf des Projektes	27
2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	28
3 Material und Methoden.....	33
3.1 Teilprojekt 1: Erfassung des S-Versorgungszustandes auf langjährig ökologisch bewirtschafteten Flächen verschiedener Boden-Klima-Räume Deutschlands anhand üblicher Parameter und Schätzverfahren (Status Quo Analyse), 2011 – 2012	33
3.2 Teilprojekt 2: Aufzeigen potentieller Ertragssteigerungen durch eine verbesserte Schwefelversorgung in Futterleguminosenbeständen (direkte Düngewirkung), 2012 und 2013	35
3.3 Teilprojekt 3: Erfassung der Nachfruchtwirkung unterschiedlich gut mit Schwefel versorgter Leguminosenbestände auf die Nachfrucht (Fruchtfolgewirkung), 2013 und 2014	36
4 Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse	38
4.1 Ergebnisse Teilprojekt 1 Status Quo	38
4.1.1 Ausgewählte Standorte zur Abschätzung der Schwefelversorgung von Futterleguminosenflächen ökologisch wirtschaftender Betriebe deutschlandweit	38
4.1.2 S_{\min} -Gehalte auf ausgewählten Flächen unter Futterleguminosen vor Vegetationsbeginn 2012, deutschlandweit.....	41
4.1.3 Schwefel- und Stickstoffkonzentrationen von Futterleguminosen/Gras- Gemengebeständen deutschlandweit zum ersten Schnitt 2012	42
4.1.4 Einschätzung der Schwefelversorgungssituation ökologisch wirtschaftender Betriebe deutschlandweit anhand von Schätzverfahren.....	44

4.1.5	Auswahl von sieben Standorten für Teilprojekt 2 und 3 „Wirkung einer Schwefeldüngung auf das Wachstum und den Ertrag von Futterleguminosen und die darauffolgende Nachfrucht Anbaufolge 2012/2013 und 2013/2014.	45
4.1.6	Schwefelbilanzen auf den sieben ausgewählten Standorten	46
4.2	Ergebnisse Teilprojekt 2 und 3, direkte Düngewirkung von Schwefel in Futterleguminosen und Auswirkungen einer Schwefeldüngung auf die Nachfrucht	47
4.2.1	BKR 115 viehhaltend Anbaufolge 2012/2013	47
4.2.1.1	S- und N-Dynamik Boden und Pflanze	47
4.2.1.2	Erträge Futterleguminosen, sowie S- und N- Konzentrationen und N/S-Quotient	51
4.2.1.3	Erträge Nachfrucht, sowie S- und N- Konzentrationen	56
4.2.2	BKR 115 viehhaltend Anbaufolge 2013/2014	57
4.2.2.1	S- und N-Dynamik Boden und Pflanze	57
4.2.2.2	Erträge Futterleguminosen, sowie S- und N- Konzentrationen und N/S-Quotient	60
4.2.2.3	Erträge Nachfrucht, sowie S- und N- Konzentrationen	64
4.2.3	BKR 115 viehlos Anbaufolge 2012/2013	66
4.2.3.1	S- und N-Dynamik Boden und Pflanze	66
4.2.3.2	Erträge Futterleguminosen, sowie S- und N- Konzentrationen und N/S-Quotient	70
4.2.3.3	Erträge Nachfrucht, sowie S- und N- Konzentrationen	75
4.2.4	BKR 115 viehlos Anbaufolge 2013/2014	76
4.2.4.1	S- und N-Dynamik Boden und Pflanze	76
4.2.4.2	Erträge Futterleguminosen, sowie S- und N- Konzentrationen und N/S-Quotient	79
4.2.4.3	Erträge Nachfrucht, sowie S- und N- Konzentrationen	82
4.2.5	BKR 145 viehhaltend Anbaufolge 2012/2013	84
4.2.5.1	S- und N-Dynamik Boden und Pflanze	84
4.2.5.2	Erträge Futterleguminosen, sowie S- und N- Konzentrationen und N/S-Quotient	87
4.2.5.3	Erträge Nachfrucht, sowie S- und N- Konzentrationen	91
4.2.6	BKR 145 viehhaltend Anbaufolge 2013/2014	93
4.2.6.1	S- und N-Dynamik Boden und Pflanze	93
4.2.6.2	Erträge Futterleguminosen, sowie S- und N- Konzentrationen und N/S-Quotient	96
4.2.6.3	Erträge Nachfrucht, sowie S- und N- Konzentrationen	100
4.2.7	BKR 145 viehlos Anbaufolge 2012/2013	103
4.2.7.1	S- und N-Dynamik Boden und Pflanze	103

4.2.7.2	Erträge Futterleguminosen, sowie S- und N-Konzentrationen und N/S-Quotient	106
4.2.7.3	Erträge Nachfrucht, sowie S- und N- Konzentrationen	109
4.2.8	BKR 145 viehlos Anbaufolge 2013/2014	112
4.2.8.1	S- und N-Dynamik Boden und Pflanze	112
4.2.8.2	Erträge Futterleguminosen, sowie S- und N- Konzentrationen und N/S-Quotient	115
4.2.8.3	Erträge Nachfrucht, sowie S- und N- Konzentrationen	120
4.2.9	BKR 104 viehhaltend Anbaufolge 2012/2013	121
4.2.9.1	S- und N-Dynamik Boden und Pflanze	121
4.2.9.2	Erträge Futterleguminosen, sowie S- und N- Konzentrationen und N/S-Quotient	124
4.2.9.3	Erträge Nachfrucht, sowie S- und N- Konzentrationen	128
4.2.10	BKR 104 viehhaltend Anbaufolge 2013/2014	129
4.2.10.1	S- und N-Dynamik Boden und Pflanze	129
4.2.10.2	Erträge Futterleguminosen, sowie S- und N- Konzentrationen und N/S-Quotient	133
4.2.10.3	Erträge Nachfrucht, sowie S- und N- Konzentrationen	137
4.2.11	BKR 104 viehlos Anbaufolge 2012/2013	138
4.2.11.1	S- und N-Dynamik Boden und Pflanze	138
4.2.11.2	Erträge Futterleguminosen, sowie S- und N- Konzentrationen und N/S-Quotient	139
4.2.11.3	Erträge Nachfrucht, sowie S- und N- Konzentrationen	142
4.2.12	BKR 104 viehlos Anbaufolge 2013/2014	142
4.2.12.1	S- und N-Dynamik Boden und Pflanze	142
4.2.12.2	Erträge Futterleguminosen, sowie S- und N- Konzentrationen und N/S-Quotient	144
4.2.12.3	Erträge Nachfrucht, sowie S- und N- Konzentrationen	147
4.2.13	BKR 133 viehhaltend Anbaufolge 2012/2013	148
4.2.13.1	S- und N-Dynamik Boden und Pflanze	148
4.2.13.2	Erträge Futterleguminosen, sowie S- und N- Konzentrationen und N/S-Quotient	151
4.2.13.3	Erträge Nachfrucht, sowie S- und N- Konzentrationen	154
4.2.14	BKR 133 viehhaltend Anbaufolge 2013/2014	155
4.2.14.1	S- und N-Dynamik Boden und Pflanze	155
4.2.14.2	Erträge Futterleguminosen, sowie S- und N- Konzentrationen und N/S-Quotient	158
4.2.14.3	Erträge Nachfrucht, sowie S- und N- Konzentrationen	162
4.2.15	pH-Werte	164
5	Diskussion der Ergebnisse	165

5.1	Die Situation des Schwefelversorgungszustandes ökologisch bewirtschafteter Futterleguminosenbestände in der Bundesrepublik Deutschland	165
5.1.1	Bilanzierungen und Schätzverfahren.....	165
5.1.2	Bodenanalyse	167
5.1.3	Pflanzenanalyse:.....	168
5.2	Potentielle Ertragssteigerungen durch eine verbesserte Schwefelversorgung in Futterleguminosenbeständen (direkte Düngewirkung), 2012 und 2013	169
5.3	Wirkung unterschiedlich gut mit Schwefel versorgter Leguminosenbestände auf die Nachfrucht (Fruchtfolgewirkung) 2013 und 2014	176
6	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse; Möglichkeiten der Umsetzung oder Anwendung der Ergebnisse für die Praxis und Beratung.....	177
7	Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlichen Zielen; Hinweise auf weiterführende Fragestellungen	179
8	Zusammenfassung	181
9	Literaturverzeichnis.....	185
10	Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichung zum Projekt, bisherige und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse	188
12	Anhang zum Schlussbericht: kurzgefasster Kontrollbericht	193
12.1	Beitrag zu förderpolitischen Zielen.....	193
12.2	Wissenschaftliches/technisches Ergebnis, Nebenergebnis, gesammelte wesentliche Erfahrungen	193
12.3	Erfindungen/Schutzrechanmeldungen.....	193
12.4	Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende	193
12.5	Wissenschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende.....	193
12.6	Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche nächste Phase.....	193
12.7	Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer	193
12.8	Die Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung	193

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ertrag, N-Konzentration, S-Konzentration, N-Ertrag von Luzerne Klee gras bei unterschiedlicher Schwefeldüngung.....	30
Tabelle 2: Kornertrag von Winterweizen nach Vorfrucht Luzerne/Klee gras bei unterschiedlicher Schwefeldüngung.....	31
Tabelle 3: Übersicht Arbeiten in Teilprojekt 1, bis Ende 2012.....	34
Tabelle 4: Prüfmerkmalserfassung Teilprojekt 2 (2012 und 2013).....	36
Tabelle 5: Prüfmerkmalserfassung Teilprojekt 3, 2012 und 2013	37
Tabelle 6: Untersuchungsstandorte für das Teilprojekt 1.....	38
Tabelle 7: Prognose von Schwefelmangel anhand des Schwefelschätzrahmens auf 27 ökologisch wirtschaftenden Betrieben aus verschiedenen Regionen in Deutschland, 2012	45
Tabelle 8: Ausgewählte Betriebe für die Teilprojekte 1 und 2.....	46
Tabelle 9: Schwefel-Hoftorbilanz und Schwefel-Schlagbilanz auf sieben ökologisch wirtschaftenden Betrieben, Deutschland 2012	47
Tabelle 10: Erträge und Inhaltsstoffe von Silomais nach Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 115 viehhaltend 2013.....	56
Tabelle 11: Erträge und Inhaltsstoffe von Silomais nach Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 115 viehhaltend 2014.....	65
Tabelle 12: Erträge und Inhaltsstoffe von Winterweizen nach Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 115 viehlos 2013	75
Tabelle 13: Erträge und Inhaltsstoffe von Winterweizen nach Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 115 viehlos 2014	83
Tabelle 14: Erträge und Inhaltsstoffe von Triticale nach Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 145 viehhaltend 2013.....	92

Tabelle 15: Erträge und Inhaltsstoffe von Triticale nach Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 115 viehhaltend 2014.....	102
Tabelle 16: Erträge und Inhaltsstoffe von Winterweizen nach Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 145 viehlos 2013	111
Tabelle 17: Erträge und Inhaltsstoffe von Silomais nach Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 145 viehlos 2014	120
Tabelle 18: Erträge und Inhaltsstoffe von Winterweizen nach Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 104 viehhaltend 2013.....	128
Tabelle 19: Erträge und Inhaltsstoffe von Winterweizen nach Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 104 viehhaltend 2014.....	137
Tabelle 20: Erträge und Inhaltsstoffe von Winterweizen nach Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 104 viehlos 2013	142
Tabelle 21: Erträge und Inhaltsstoffe von Dinkel nach Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 133 viehhaltend 2013.....	155
Tabelle 22: Erträge und Inhaltsstoffe von Dinkel nach Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 115 viehhaltend 2013.....	163
Tabelle 23: pH-Werte unter Futterleguminosen-Grasgemenge, gemessen zu Vegetationsbeginn 2012 /2013 in der Tiefe von 0-30 cm.....	164
Tabelle 24: Einfluss einer Schwefeldüngung mit CaSO_4 (60 kg *ha^{-1}) bei unterschiedlichen Standort- und Bewirtschaftungsbedingungen auf Inhaltsstoffe und Ertrag von Futterleguminosen, 2012 und 2013.....	172
Tabelle 25: Kategorien der Schwefelversorgung zu Futterleguminosen im Mittel der zugeordneten Flächen ($n = 13$), beurteilt anhand der relativen Mehrerträge durch Schwefeldüngung gegenüber ungedüngt	175

Tabelle 26: Vorläufige Schwefelversorgungsklassen des Bodens zur Abschätzung des Düngebedarfs bei Futterleguminosen, Messungen im zeitigen Frühjahr	175
--	-----

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Parzellenversuchsplan des Schwefeldüngungsversuchs in den Futterleguminosenbeständen. Versuchsjahre 2012 und 2013. S0= keine Schwefeldüngung, S1= 60 kg S in Form von $MgSO_4$ und S2= 60 kg S in Form von $CaSO_4$ jeweils zu Vegetationsbeginn..... 35
- Abbildung 2: Parzellenversuchsplan des Schwefeldüngungsversuchs in den Winterweizenbeständen. Die hellgraue Beschriftung zeigt die Düngungsvarianten, die in den Futterleguminosenbeständen vor dem Winterweizen durchgeführt wurden (S0= keine Schwefeldüngung, S1= 60 kg S als $MgSO_4$ und S2= 60 kg S als $CaSO_4$). In der S0-Variante wird die Parzelle im Weizen geteilt und eine Hälfte mit Schwefel gedüngt (rote Beschriftung). Somit konnte der direkte S-Düngungseffekt abgebildet und vom Nachwirkungseffekt abgegrenzt werden. Die anderen Parzellen blieben ungedüngt. 37
- Abbildung 3: S_{min} -Werte in 0-60 cm unter 38 ökologisch bewirtschafteten Futterleguminosen-Flächen, Vegetationsbeginn 2012..... 42
- Abbildung 4 Stickstoff und Schwefelkonzentrationen (%) in Futterleguminosen-Grasgemenge von 38 Standorten in Deutschland mit und ohne Schwefeldüngung zum Zeitpunkt des ersten Schnittes 2012..... 43
- Abbildung 5: Verhältnis der Konzentration von Stickstoff zur Konzentration von Schwefel im Pflanzenmaterial von Futterleguminosen-Grasgemenge, 38 Standorte in Deutschland mit und ohne Schwefeldüngung zum Zeitpunkt des ersten Schnittes 2012..... 44
- Abbildung 6: S_{min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Silomais von März 2012 bis Juli 2013. Umbruch Oktober 2012, Aussaat Mais Ende April 2013. Standort BKR 115, viehhaltend 48
- Abbildung 7: S_{min} -Werte zum Umbruch Futterleguminosen/Gras-Gemenge Oktober 2012 bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Futterleguminosen/Gras-Gemenge, Standort BKR 115, viehhaltend 49
- Abbildung 8: Schwefelmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnittzeitpunkten und

Schwefelmenge im Korn der Nachfrucht Silomais, Anbaufolge 2012/2013 Standort BKR 115, viehhaltend	50
Abbildung 9: N_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Silomais von Oktober 2012 bis Juli 2013. Umbruch Oktober 2012, Aussaat Mais Ende April 2013. Standort BKR 115, viehhaltend	51
Abbildung 10: Trockensubstanzertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 115 viehhaltend 2012	52
Abbildung 11: Schwefelkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 115 viehhaltend 2012	53
Abbildung 12: Stickstoffkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 115 viehhaltend 2012	54
Abbildung 13: Stickstoffertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 115 viehhaltend 2012	54
Abbildung 14: Schwefelentzug Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 115 viehhaltend 2012	55
Abbildung 15: Stickstoff/Schwefel Verhältnis Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten Standort BKR 115 viehhaltend 2012	56
Abbildung 16: S_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Silomais von März 2013 bis Juli 2014. Umbruch Oktober 2013, Aussaat Mais Ende April 2014. Standort BKR 115, viehhaltend.....	57
Abbildung 17: S_{\min} -Werte zum Umbruch Futterleguminosen/Gras-Gemenge Oktober 2013 bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Futterleguminosen/Gras-Gemenge, Standort BKR 115, viehhaltend	58

Abbildung 18: Schwefelmengen im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnittzeitpunkten und Schwefelmenge im Korn der Nachfrucht Silomais, Anbaufolge 2013/2014 Standort BKR 115, viehhaltend	59
Abbildung 19: N_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Silomais von Dezember 2013 bis Juli 2014. Umbruch Oktober 2013, Aussaat Mais Ende April 2014. Standort BKR 115, viehhaltend	59
Abbildung 20: Stickstoffmengen im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnittzeitpunkten und Schwefelmengen im Korn der Nachfrucht Silomais, Anbaufolge 2013/2014 Standort BKR 115, viehhaltend	60
Abbildung 21: Trockensubstanzertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 115 viehhaltend 2013	61
Abbildung 22: Schwefelkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 115 viehhaltend 2013	61
Abbildung 23: Stickstoffkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 115 viehhaltend 2013	62
Abbildung 24: Stickstoff/Schwefel Verhältnis Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten Standort BKR 115 viehhaltend 2013	63
Abbildung 25: Stickstoffertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 115 viehhaltend 2013	63
Abbildung 26: Schwefelentzug Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 115 viehhaltend 2013	64
Abbildung 27: S_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge –	

Winterweizen von März 2012 bis Juli 2013. Umbruch und Weizenaussaat Oktober 2012, Standort BKR 115, viehlos.....	66
Abbildung 28: S_{\min} -Werte zum Umbruch Futterleguminosen/Gras-Gemenge und Weizenaussaat Oktober 2012 bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Futterleguminosen/Gras-Gemenge, Standort BKR 115, viehlos	67
Abbildung 29: Schwefelmengen im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnitzeitpunkten und Schwefelmenge im Korn der Nachfrucht Winterweizen, Anbaufolge 2012/2013 Standort BKR 115, viehlos	68
Abbildung 30: N_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Winterweizen von Oktober 2012 bis Juli 2013. Umbruch und Aussaat Winterweizen Oktober 2012,. Standort BKR 115, viehlos	69
Abbildung 31: Stickstoffmengen im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnitzeitpunkten und Stickstoffmengen im Korn der Nachfrucht Winterweizen, Anbaufolge 2012/2013 Standort BKR 115, viehlos	70
Abbildung 32: Trockensubstanzertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnitzeitpunkten, Standort BKR 115 viehlos 2012	71
Abbildung 33: Schwefelkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnitzeitpunkten, Standort BKR 115 viehlos 2012	72
Abbildung 34: Stickstoffkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnitzeitpunkten, Standort BKR 115 viehlos 2012	72
Abbildung 35: Stickstoff/Schwefel Verhältnis Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnitzeitpunkten Standort BKR 115 viehlos 2012	73
Abbildung 36: Stickstoffertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 115 viehlos 2012	74

Abbildung 37: Schwefelentzug Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 115 viehlos 2012	74
Abbildung 38: S_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Winterweizen von März 2013 bis Juli 2014. Umbruch und Weizenaussaat Oktober 2013. Standort BKR 115, viehlos.....	76
Abbildung 39: S_{\min} -Werte zum Umbruch Futterleguminosen/Gras-Gemenge und Weizenaussaat Oktober 2013 bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Futterleguminosen/Gras-Gemenge, Standort BKR 115, viehlos	77
Abbildung 40: Schwefelmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnittzeitpunkten und Schwefelmenge im Korn der Nachfrucht Winterweizen, Anbaufolge 2013/2014 Standort BKR 115, viehlos	78
Abbildung 41: Stickstoffmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnittzeitpunkten und Schwefelmenge im Korn der Nachfrucht Winterweizen, Anbaufolge 2013/2014 Standort BKR 115, viehlos	78
Abbildung 42: N_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Winterweizen von Dezember 2013 bis Juli 2014. Umbruch und Winterweizensaat Oktober 2013,. Standort BKR 115 viehlos.....	79
Abbildung 43: Trockensubstanzertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 115 viehlos 2013	80
Abbildung 44: Schwefelkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 115 viehlos 2013	80
Abbildung 45: Stickstoffkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 115 viehlos 2013	81

Abbildung 46: Stickstoff/Schwefel Verhältnis Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten Standort BKR 115 viehlos 2013	81
Abbildung 47: Stickstoffertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 115 viehlos 2013	82
Abbildung 48: Schwefelentzug Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 115 viehlos 2013	82
Abbildung 49: S_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Triticale von März 2012 bis Juli 2013. Umbruch und Triticaleaussaat Oktober 2012. Standort BKR 145, viehhaltend	84
Abbildung 50: S_{\min} -Werte zum Umbruch Futterleguminosen/Gras-Gemenge und Triticaleaussaat Oktober 2012 bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Futterleguminosen/Gras-Gemenge, Standort BKR 145, viehhaltend	85
Abbildung 51: Schwefelmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnittzeitpunkten und Schwefelmenge im Korn der Nachfrucht Triticale, Anbaufolge 2012/2013 Standort BKR 145, viehhaltend	85
Abbildung 52: Stickstoffmengen im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnittzeitpunkten und Stickstoffmengen im Korn der Nachfrucht Triticale, Anbaufolge 2012/2013 Standort BKR 145, viehhaltend	86
Abbildung 53: N_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Triticale von Oktober 2012 bis Juli 2013. Umbruch und Triticaleaussaat Oktober 2012, Standort BKR 145, viehhaltend	87
Abbildung 54: Trockensubstanzertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 145 viehhaltend 2012	88

Abbildung 55: Schwefelkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 145 viehhaltend 2012	89
Abbildung 56: Stickstoffkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 145 viehhaltend 2012	89
Abbildung 57: Stickstoff/Schwefel Verhältnis Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten Standort BKR 145 viehhaltend 2012	90
Abbildung 58: Stickstoffertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefel-düngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 145 viehhaltend 2012	90
Abbildung 59: Schwefelentzug Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefel-düngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 145 viehhaltend 2012	91
Abbildung 60: S_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Triticale von März 2013 bis Juli 2014. Umbruch und Triticaleaussaat Oktober 2013. Standort BKR 145, viehhaltend	93
Abbildung 61: S_{\min} -Werte zum Umbruch Futterleguminosen/Gras-Gemenge und Triticaleaussaat Oktober 2013 bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Futterleguminosen/Gras-Gemenge, Standort BKR 145, viehhaltend	94
Abbildung 62: Schwefelmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnittzeitpunkten und Schwefelmenge im Korn der Nachfrucht Triticale, Anbaufolge 2013/2014 Standort BKR 145, viehhaltend	95
Abbildung 63: Stickstoffmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnittzeitpunkten und Stickstoffmenge im Korn der Nachfrucht Triticale, Anbaufolge 2013/2014 Standort BKR 145, viehhaltend	95
Abbildung 64: N_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge –	

Silomais von Dezember 2013 bis Juli 2014. Umbruch und Triticaleaussaat Oktober 2013,. Standort BKR 145, viehhaltend.....	96
Abbildung 65: Trockensubstanzertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 145 viehhaltend 2013	97
Abbildung 66: Schwefelkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 145 viehhaltend 2013	98
Abbildung 67: Stickstoffkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 145 viehhaltend 2013	98
Abbildung 68: Stickstoff/Schwefel Verhältnis Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten Standort BKR 145 viehhaltend 2013	99
Abbildung 69: Stickstoffertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefel-düngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 145 viehhaltend 2013	99
Abbildung 70: Schwefelentzug Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefel-düngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 145 viehhaltend 2013	100
Abbildung 71: S_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Winterweizen von März 2012 bis Juli 2013. Umbruch und Weizenaussaat Oktober 2012. Standort BKR 145, viehlos.....	103
Abbildung 72: S_{\min} -Werte zum Umbruch Futterleguminosen/Gras-Gemenge und Weizenaussaat Oktober 2012 bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Futterleguminosen/Gras-Gemenge, Standort BKR 145, viehlos	104
Abbildung 73: Schwefelmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unter-schiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnittzeitpunkten und Schwefelmenge im Korn der Nachfrucht Winterweizen, Anbaufolge 2012/2013 Standort BKR 145, viehlos	104

Abbildung 74: Stickstoffmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnitzeitpunkten und Stickstoffmenge im Korn der Nachfrucht Winterweizen, Anbaufolge 2012/2013 Standort BKR 145, viehlos	105
Abbildung 75: N_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Winterweizen von Oktober 2012 bis Juli 2013. Umbruch und Weizenaussaat Oktober 2012,. Standort BKR 145, viehlos.....	105
Abbildung 76: Trockensubstanzertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnitzeitpunkten, Standort BKR 145 viehlos 2012	106
Abbildung 77: Schwefelkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnitzeitpunkten, Standort BKR 145 viehlos 2012	107
Abbildung 78: Stickstoffkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnitzeitpunkten, Standort BKR 145 viehlos 2012	107
Abbildung 79: Stickstoff/Schwefel Verhältnis Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnitzeitpunkten Standort BKR 145 viehlos 2012	108
Abbildung 80: Stickstoffertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefel-düngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 145 viehlos 201	108
Abbildung 81: Schwefelentzug Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 145 viehlos 2012	109
Abbildung 82: S_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Silomais von März 2013 bis Juli 2014. Umbruch Oktober 2013, Aussaat Mais April 2014 Standort BKR 145, viehlos	112

Abbildung 83: S_{\min} -Werte zum Umbruch Futterleguminosen/Gras-Gemenge Oktober 2013 bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Futterleguminosen/Gras-Gemenge, Standort BKR 145, viehlos	113
Abbildung 84: Schwefelmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnitzeitpunkten und Schwefelmenge im Korn der Nachfrucht Silomais, Anbaufolge 2013/2014 Standort BKR 145, viehlos	113
Abbildung 85: Stickstoffmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnitzeitpunkten und Stickstoffmenge im Korn der Nachfrucht Silomais, Anbaufolge 2013/2014 Standort BKR 145, viehlos	114
Abbildung 86: N_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Silomais von Dezember 2013 bis Juli 2014. Umbruch Oktober 2013, Aussaat Mais Ende April 2014. Standort BKR 145, viehlos	115
Abbildung 87: Trockensubstanzertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnitzeitpunkten, Standort BKR 145 viehlos 2013	116
Abbildung 88: Schwefelkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnitzeitpunkten, Standort BKR 145 viehlos 2013	117
Abbildung 89: Stickstoffkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnitzeitpunkten, Standort BKR 145 viehlos 2013	117
Abbildung 90: Stickstoff/Schwefel Verhältnis Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnitzeitpunkten Standort BKR 145 viehlos 2013	118
Abbildung 91: Stickstoffertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefel-düngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 145 viehhaltend 2013	119

Abbildung 92: Schwefelentzug Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefel-düngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 145 viehhaltend 2013	119
Abbildung 93: S_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Winterweizen von März 2012 bis Juli 2013. Umbruch und Weizenaussaat Oktober 2012. Standort BKR 104, viehhaltend.....	121
Abbildung 94: Schwefelmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnittzeitpunkten und Schwefelmenge im Korn der Nachfrucht Winterweizen, Anbaufolge 2012/2013 Standort BKR 104, viehhaltend	122
Abbildung 95: Stickstoffmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnittzeitpunkten und Stickstoffmenge im Korn der Nachfrucht Winterweizen, Anbaufolge 2012/2013 Standort BKR 104, viehhaltend	123
Abbildung 96: N_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Winterweizen von Oktober 2012 bis Juli 2013. Umbruch und Weizenaussaat Oktober 2012. Standort BKR 104, viehhaltend.....	123
Abbildung 97: Trockensubstanzertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 104 viehhaltend 2012	124
Abbildung 98: Schwefelkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 104 viehhaltend 2012	125
Abbildung 99: Stickstoffkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 104 viehhaltend 2012	126
Abbildung 100: Stickstoff/Schwefel Verhältnis Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung Standort BKR 104 viehhaltend 2012	126

Abbildung 101: Stickstoffertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 104 viehhaltend 2012	127
Abbildung 102: Schwefelentzug Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 104 viehhaltend 2012	127
Abbildung 103: S_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Winterweizen von März 2013 bis Juli 2014. Umbruch und Weizenaussaat Oktober 2013. Standort BKR 104, viehhaltend	130
Abbildung 104: Schwefelmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu verschiedenen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung und Schwefelmenge im Korn der Nachfrucht Winterweizen, Anbaufolge 2013/2014 Standort BKR 104, viehhaltend	131
Abbildung 105: Stickstoffmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu verschiedenen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung und Schwefelmenge im Korn der Nachfrucht Winterweizen, Anbaufolge 2013/2014 Standort BKR 104, viehhaltend	132
Abbildung 106: N_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Winterweizen von Oktober 2013 bis Juli 2014. Umbruch und Aussaat Winterweizen Oktober 2013,. Standort BKR 104, viehhaltend	132
Abbildung 107: Trockensubstanzertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 104 viehhaltend 2013	133
Abbildung 108: Schwefelkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 104 viehhaltend 2013	134
Abbildung 109: Stickstoffkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 104 viehhaltend 2013	135

Abbildung 110: Stickstoff/Schwefel Verhältnis Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung Standort BKR 104 viehhaltend 2013	135
Abbildung 111: Stickstoffertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefel-düngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 104 viehhaltend 2013	136
Abbildung 112: Schwefelentzug Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefel-düngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 104 viehhaltend 2013	136
Abbildung 113: S_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Winterweizen von März 2012 bis Juli 2013. Umbruch und Weizenaussaat Oktober 2012. Standort BKR 104, viehlos.....	138
Abbildung 114: Trockensubstanzertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 104 viehlos 2012	139
Abbildung 115: Schwefelkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 104 viehlos 2012	140
Abbildung 116: Stickstoffkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 104 viehlos 2012	140
Abbildung 117: Stickstoffertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefel-düngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 104 viehlos 2012	141
Abbildung 118: Schwefelentzug Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefel-düngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 104 viehlos 2012	141
Abbildung 119: S_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Schwarz und Grünbrache von März 2013 bis Juli 2014. Standort BKR 104, viehlos	143

Abbildung 120: Trockensubstanzertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 104 viehlos 2013	144
Abbildung 121: Schwefelkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge zum ersten Schnitt bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 104 viehlos 2013.....	145
Abbildung 122: Stickstoffkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge zum ersten Schnitt bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 104 viehlos 2013.....	145
Abbildung 123: Stickstoffertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung Standort BKR 104 viehlos 2013	146
Abbildung 124: Schwefelentzug Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung Standort BKR 104 viehlos 2013	146
Abbildung 125: Stickstoff/Schwefel Verhältnis Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung Standort BKR 104 viehlos 2013	147
Abbildung 126: S_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Dinkel von März 2012 bis Juli 2013. Umbruch und Dinkelaussaat Oktober 2012. Standort BKR 133, viehhaltend	148
Abbildung 127: Schwefelmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu verschiedenen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung und Schwefelmenge im Korn der Nachfrucht Dinkel, Anbaufolge 2012/2013 Standort BKR 133, viehhaltend	149
Abbildung 128: Stickstoffmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu verschiedenen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung und Stickstoffmenge im Korn der Nachfrucht Dinkel, Anbaufolge 2012/2013 Standort BKR 133, viehhaltend	150
Abbildung 129: N_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Dinkel von Oktober 2012 bis Juli 2013. Umbruch und Dinkelaussaat Oktober 2012, Standort BKR 133, viehhaltend	150

Abbildung 130: Trockensubstanzertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 133 viehhaltend 2012	151
Abbildung 131: Schwefelkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 133 viehhaltend 2012	152
Abbildung 132: Schwefelkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 133 viehhaltend 2012	152
Abbildung 133: Stickstoff/Schwefel Verhältnis Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung Standort BKR 133 viehhaltend 2012	153
Abbildung 134: Stickstoffertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefel-düngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 133 viehhaltend 2012	153
Abbildung 135: Schwefelentzug Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefel-düngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 133 viehhaltend 2012	154
Abbildung 136: S_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Dinkel von März 2013 bis Juli 2014. Umbruch und Dinkelaussaat Oktober 2013. Standort BKR 133, viehhaltend	156
Abbildung 137: Schwefelmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu verschiedenen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung und Schwefelmenge im Korn der Nachfrucht Dinkel, Anbaufolge 2013/2014 Standort BKR 133, viehhaltend	157
Abbildung 138: Stickstoffmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu verschiedenen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung und Stickstoffmenge im Korn der Nachfrucht Dinkel, Anbaufolge 2013/2014 Standort BKR 133, viehhaltend	157
Abbildung 139: N_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Dinkel	

von Dezember 2013 bis Juli 2014. Umbruch und Dinkelaussaat Oktober 2013, Standort BKR 145, viehhaltend	158
Abbildung 140: Trockensubstanzertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 133 viehhaltend 2013	159
Abbildung 141: Schwefelkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 133 viehhaltend 2013	160
Abbildung 142: Stickstoffkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 133 viehhaltend 2013	160
Abbildung 143: Stickstoff/Schwefel Verhältnis Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung Standort BKR 133 viehhaltend 2013	161
Abbildung 144: Stickstoffertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefel-düngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 133 viehhaltend 2013	161
Abbildung 145: Schwefelentzug Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefel-düngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 133 viehhaltend 2013	162

1 Einführung

1.1 Gegenstand des Vorhabens

In der Vergangenheit waren die hiesigen Böden durch atmosphärische Einträge ausreichend mit pflanzenverfügbarem Schwefel versorgt. Mittlerweile sind diese Einträge jedoch stark zurückgegangen und es ist zu befürchten, dass gerade der Bedarf der Fruchtfolgen des ökologischen Landbaus an pflanzenverfügbarem Schwefel zur Realisierung einer hohen Ertragsleistung nicht mehr in ausreichendem Maße gedeckt ist.

Die Ertragsleistung ökologischer Fruchtfolgen wird im großen Maße von der Bodenfruchtbarkeit bestimmt. Dem Erhalt und der Steigerung der Bodenfruchtbarkeit wird daher im ökologischen Landbau höchste Priorität beigemessen.

Dabei kommt dem Anbau von Leguminosen, insbesondere Futterleguminosen – sowohl für viehhaltende als auch für viehlose Betriebe – durch die Bereitstellung von Stickstoff, die Anreicherung von Humus, die Verbesserung des Bodengefüges und durch den Aufschluss von Mineralien eine zentrale Bedeutung zu.

Gerade die mehrschnittigen Futterleguminosen haben einen hohen Schwefelbedarf. In eigenen, praxisnahen Vorversuchen konnte gezeigt werden, dass die Ertrags- und die Stickstofffixierleistung von Leguminosen/Grasgemengen in einem erheblichen Maße von einem verbesserten Angebot an pflanzenverfügbarem Schwefel beeinflusst wurde.

Ziel des Vorhabens war es, aufzuzeigen, inwieweit sich die aktuelle Schwefelverfügbarkeit unter Praxisbedingungen in verschiedenen Anbauregionen begrenzend auf die Ertragsentwicklung von Futterleguminosenbeständen auswirkt und damit einen limitierenden Faktor für die Bodenfruchtbarkeit des ökologischen Landbaus darstellt.

Es sollten geeignete Parameter ermittelt werden, um die Schwefelbedürftigkeit für die Anforderungen innerhalb einer ökologischen Fruchtfolge prognostizieren zu können. Für die Praxis des ökologischen Landbaus sollten konkrete Handlungsempfehlungen abgeleitet werden und damit die Ertragsleistung der Kulturen nachhaltig sichergestellt oder erhöht werden.

1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projektes, Bezug des Vorhabens zu den förderpolitischen Zielen

Ziel des Bundesprogramms Ökologischer Landbau ist es, die Rahmenbedingungen für eine weitere Ausdehnung des ökologischen Landbaus in Deutschland zu verbessern (Isermeyer et al. 2001). Dazu ist es ein erklärtes Ziel, die Landbausysteme nachhaltig zu gestalten und die Ertrags- bzw. Qualitätssicherheit zu erhöhen. Das Idealbild des geschlossenen Nährstoffkreislaufs im ökologischen Landbau hat dazu geführt, dass Fragen zur Mineralstoffversorgung, über N, P und K hinaus, nur wenig Beachtung geschenkt wurden. Um diese Landbauform in Zukunft auch weiterhin nachhaltig zu gestalten, sollte ein erweiterter, ideologiefreier Umgang mit Fragen der Mineralstoffversorgung erfolgen.

In dem geplanten Vorhaben sollte untersucht werden, inwieweit in ökologischen Landbausystemen trotz einer optimalen Bodenpflege und der bestmöglichen Realisierung weitgehend geschlossener Nährstoffkreisläufe die Schwefelversorgung mittlerweile einen begrenzenden Faktor hinsichtlich einer nachhaltigen Ertragsstabilität darstellt.

Um eine breite und nachhaltige Wirkung zu erzielen, sollte durch eine praxisorientierte Forschung und einen entsprechenden Technologietransfer in die Praxis für eine Lösung der Probleme in den Unternehmen gesorgt werden.

1.2.1 Wissenschaftliche Arbeitsziele des Vorhabens

In der geplanten Untersuchung wurden folgende wissenschaftliche Arbeitsziele verfolgt:

1. Erfassung des S-Versorgungszustandes auf langjährig ökologisch bewirtschafteten Flächen verschiedener Boden-Klima-Räume Deutschlands anhand üblicher Prognose- und Schätzverfahren;
2. Ermittlung des tatsächlichen Schwefelversorgungszustandes der Futterleguminosenbestände mittels Pflanzen- und Bodenproben;
3. Eruiieren von potentiell geeigneten Parametern für die Prognose der S-Verfügbarkeit auf Böden des ökologischen Landbaus;
4. Erfassung schwefelmangelbedingter Ertragsverluste in Futterleguminosenbeständen;
5. Quantifizierung schwefelmangelbedingter Defizite des N-Flächenertrages der Futterleguminosenbestände;
6. Quantifizierung der durch eine Schwefeldüngung verbesserten Vorfruchtwirkung der Futterleguminosen am Beispiel Winterweizen;
7. Vergleich einer direkten Schwefeldüngewirkung im Winterweizen mit der indirekten Düngewirkung über die Futterleguminosen;
8. Ableiten von Handlungsempfehlungen für die Praxis

1.3 Planung und Ablauf des Projektes

Das Projekt war in seiner ursprünglichen Form geplant für den Zeitraum vom 01.10.2011 bis zum 30.09.2015. In diesem Zeitraum sollte zunächst eine allgemeine Übersicht über die Situation der Schwefelversorgung auf ökologisch wirtschaftenden Betrieben in den verschiedenen Regionen Deutschlands erstellt werden, bevor in den Vegetationsjahren 2012 und 2013 mit gezielten Düngungsmaßnahmen die Auswirkungen einer verbesserten Schwefelversorgung auf den Ertrag und die Qualität der betrieblichen Futterleguminosenbestände überprüft wurden.

Die Schwefeldüngungsmaßnahmen wurden jeweils im letzten Nutzungsjahr der Futterleguminosen durchgeführt und so konnte in den Erntejahren 2013 und 2014 der Effekt der verbesserten Schwefelversorgung auf die jeweilige Nachfrucht, in der Regel Winterweizen, überprüft werden.

Im Jahr 2013 wurde noch zusätzlich ein Gefäßversuch durchgeführt, mit dessen Hilfe verschiedene Fragestellungen zur Ernährung von Futterleguminosen untersucht werden sollten, die aus den durch Feldversuche gewonnenen Daten nicht ausreichend geklärt werden konnten.

Mit der Ernte 2014 waren die feldexperimentellen Arbeiten abgeschlossen.

Während der gesamten Laufzeit des Projektes fanden Veranstaltungen zum Wissenstransfer statt. Insbesondere auf Praktikerveranstaltungen wie Stammtische und Feldtage wurde der aktuelle Stand aus dem Projekt den Landwirten vermittelt. Am 07. 03. 2014 wurde Zusammenarbeit mit der Forschergruppe des BÖLN-Gemeinschaftsprojektes der Landwirtschaftskammer Niedersachsen und der HTW Dresden zur Fragen der Schwefelversorgung bei Körnerleguminosen ein Workshop veranstaltet. Dabei wurde sich verständigt, dass eine gemeinsame Broschüre für die Praktiker erstellt werden soll. Um sämtliche Ergebnisse aus den beiden Projekten einfließen lassen zu können, wurde das Projekt kostenneutral bis Ende Dezember 2015 verlängert.

2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Schwefel ist ein essentieller Nährstoff für alle lebenden Organismen. Er ist beispielsweise ein wesentlicher Bestandteil von Cystein, Methionin, verschiedenen Coenzymen, Sulfolipiden und Proteinen (Hawkesford und De Kok 2006, Schmidt und Jäger 1992). Bis in die 1980er Jahre wurde die Versorgung landwirtschaftlicher Kulturen mit Schwefel durch einen quantitativ hohen atmosphärischen Eintrag in Form von Schwefeldioxid anthropogener Herkunft sichergestellt. Durch den Einbau von Rauchgasentschwefelungsanlagen sind die Schwefeleinträge stark gesunken und liegen in Deutschland seit 2004 bei einem jährlichen Eintrag von ca. 11 kg ha⁻¹ (Umweltbundesamt 2009). Der Schwefelbedarf von Kulturpflanzen liegt meist deutlich darüber und mit dem Erntegut wird Schwefel der Fläche entzogen. Besonders viel Schwefel (ca. 50 kg ha⁻¹ bei 100 dt TM Ertrag a⁻¹) wird mit Luzerne-Kleegrassbeständen abgefahren. Weiterhin weist Schwefel in Form von Sulfat eine hohe Mobilität auf und unterliegt daher der Auswaschung, wodurch zusätzlich Schwefel dem landwirtschaftlichen System entzogen wird. Anders als im konventionellen Landbau fehlen darüber hinaus „unbewusste“ gekoppelte Einträge über S-haltige Mehrnährstoffdünger oder Pflanzenschutzmittel. Daher war zu erwarten, dass auf langjährig ökologisch bewirtschafteten Flächen ohne eine gezielte S Düngung eine sukzessive Verarmung der Böden an Schwefel stattgefunden hat und eine Schwefelmangelsituationen auf Flächen des ökologischen Landbaus sehr wahrscheinlich ist.

Bisherige Untersuchungen zu Fragen der Pflanzenernährung im ökologischen Landbau beschäftigten sich vor allem mit den Fragen der N-, P- und K Versorgung. Der Schwefelversorgung im ökologischen Landbau wurde in der Forschung dagegen bisher wenig Beachtung geschenkt, wie eine Recherche bei organic eprints zeigte. Ältere Arbeiten, die sich gezielt mit der S-Versorgung unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus beschäftigt haben, kamen zu dem Schluss, dass eine S-Düngung nur auf sandigen Böden mit hohem S-Auswaschungspotential (Erikson et al. 2002) bzw. auf Böden mit besonders niedrigem S-Gehalt (Hansen et al. 2005) eine Wirkung auf das Pflanzenwachstum zeigt. Bundesweite Untersuchungen von Paulsen und Schochow (2007) zum Nährstoffgehalt verschiedener Pflanzen bei Mischkultur gaben allerdings schon damals

Hinweise auf eine möglicherweise weitverbreitet vorherrschende Schwefelmangelsituation. Inwieweit jedoch mittlerweile die fortgeschrittene Verarmung der Böden zu einem für das Pflanzenwachstum limitierenden S-Versorgungszustand von Böden im ökologischen Landbau geführt hat, war bis dahin nicht untersucht.

In zahlreichen Gefäß- und Nährlösungsversuchen konnte dagegen übereinstimmend gezeigt werden, dass bei S-Mangel die N_2 -Fixierungsaktivität der Leguminosen zurückgeht (Scherer et al. 2008, Varin et al. 2009, DeBoer and Duke 1982). Dies hat besonders für den ökologischen Landbau eine weitreichende Bedeutung, da die N_2 -Fixierung die wichtigste N-Quelle im ökologischen Landbau darstellt. Am Beispiel von Ackerbohnen konnte gezeigt werden, dass die Vorfruchtwirkung auf Weizen unter Schwefelmangelbedingungen im Vergleich zu gut versorgten Beständen deutlich vermindert ist (Habtemichael et al. 2007).

Aufmerksam auf einen möglicherweise kritischen S-Versorgungszustand von Flächen im ökologischen Landbau wurden die Antragssteller bei Untersuchungen zur N-Effizienz in der Fruchtfolge des ökologischen Landbaus (Becker et al. 2009). In Versuchen mit Winterraps wurde eine gestörte Ertragsbildung festgestellt, die auf eine Unterversorgung der Pflanzen mit Schwefel zurückgeführt wurde.

Da Leguminosen ebenso besonders schwefelbedürftig sind und eine außerordentlich wichtige Kultur für den ökologischen Landbau darstellen, wurden in den Jahren 2010 und 2011 auf den Betriebsflächen des Gladbacherhofes, Lehr- und Versuchsbetrieb für ökologischen Landbau der Justus-Liebig-Universität Giessen, ein Luzerne-Kleegras-Parzellenversuch mit unterschiedlichen Schwefelstufen angelegt. Die Ergebnisse dieser Vorversuche stellten die entscheidende Motivation für dieses Vorhaben dar. Es konnte gezeigt werden, dass sich unter den dortigen Standortbedingungen durch eine Düngung die Schwefelaufnahme der Bestände erhöhte und damit einhergehend die Stickstoffkonzentration in den Pflanzen erhöht werden konnte. Die verbesserte Schwefelversorgung resultierte in einem höheren Leguminosenanteil, einer Erhöhung des Biomasseertrags (150%) sowie in einer nahezu Verdoppelung des N-Flächenertrages (Tabelle 1).

Tabelle 1: Ertrag, N-Konzentration, S-Konzentration, N-Ertrag von Luzerne Klee gras bei unterschiedlicher Schwefeldüngung (Kontrolle ohne S, 80 kg S in Form von MgSO₄, 80 kg S in Form von CaSO₄), Gladbacherhof

	Behandlung	erster Schnitt	zweiter Schnitt	dritter Schnitt	vierter Schnitt	Σ
2010						
Ertrag Gemenge TS (t ha ⁻¹)	Kontrolle	2,72	1,66	2,01	1,24	7,63 a
	MgSO ₄	3,13	2,97	3,88	2,08	12,06 b
	CaSO ₄	3,44	2,74	3,56	2,06	11,08 b
S Konzentration % Leguminosen	Kontrolle	0,33 a	0,16 a	0,16 a	0,13 a	
	MgSO ₄	0,35 a	0,43 b	0,29 b	0,20 b	
	CaSO ₄	0,35 a	0,38 b	0,28 b	0,21 b	
S Konzentration % Gras	Kontrolle	0,44 a	0,20 a	0,22 a	0,21 a	
	MgSO ₄	0,44 a	0,67 b	0,50 b	0,34 b	
	CaSO ₄	0,41 a	0,64 b	0,52 b	0,35 b	
N Konzentration % Leguminosen	Kontrolle	3,76 a	2,36 a	2,89 a	2,64 a	
	MgSO ₄	4,39 b	3,38 b	3,49 b	2,97 b	
	CaSO ₄	4,21 ab	3,42 b	3,54 b	3,01 b	
N Konzentration % Gras	Kontrolle	2,19 a	2,05 a	2,55 a	2,00 a	
	MgSO ₄	2,49 a	2,58 b	3,30 b	2,82 b	
	CaSO ₄	2,36 a	2,51 b	3,46 b	2,78 b	
N - Ertrag Gemenge (kg ha ⁻¹)	Kontrolle	89,24	38,15	56,30	29,11	212,80 a
	MgSO ₄	120,96	96,08	134,87	59,80	411,71 b
	CaSO ₄	124,01	88,85	125,75	64,73	404,34 b

2011						
Ertrag Gemenge TS (t ha ⁻¹)	Kontrolle	3,82	2,01	2,73	1,23	9,79 a
	MgSO ₄	4,86	4,43	2,27	2,35	13,91 b
	CaSO ₄	4,50	3,90	2,26	2,56	13,22 b
S Konzentration % Leguminosen	Kontrolle	0,15 a	0,12 a	0,14 a	0,16 a	
	MgSO ₄	0,19 b	0,24 b	0,24 b	0,33 b	
	CaSO ₄	0,18 ab	0,25 b	0,25 b	0,31 b	
S Konzentration % Gras	Kontrolle	0,14 a	0,17 a	0,18 a	0,20 a	
	MgSO ₄	0,26 b	0,41 b	0,41 b	0,45 b	
	CaSO ₄	0,24 b	0,45 b	0,48 b	0,52 c	
N Konzentration % Leguminosen	Kontrolle	2,59 a	2,61 a	2,79 a	3,19 a	
	MgSO ₄	3,17 b	3,09 b	3,12 a	3,66 a	
	CaSO ₄	3,07 b	3,13 b	3,12 a	3,79 a	
N Konzentration % Gras	Kontrolle	1,81 a	2,09 a	2,27 a	2,54 a	
	MgSO ₄	2,16 b	3,26 b	3,78 b	4,28 b	
	CaSO ₄	2,14 b	3,03 b	3,58 b	4,29 b	
N - Ertrag Gemenge (kg ha ⁻¹)	Kontrolle	85,67	49,19	73,90	37,75	246,52 a
	MgSO ₄	140,60	137,13	70,87	86,71	435,31 b
	CaSO ₄	125,08	121,07	71,21	97,55	414,91 b

Unterschiedliche Buchstaben bezeichnen signifikante Unterschiede, Tukey-Test α 0,05

Auch die Kornerträge der Nachfrucht Winterweizen erhöhten sich durch die Schwefeldüngung in der Vorfrucht Luzerne/Klee gras (Tabelle 2).

Tabelle 2: Kornertrag von Winterweizen nach Vorfrucht Luzerne/Klee gras bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Gladbacherhof 2011 und 2012.

	2011	2012
Kontrolle	34,74	28,51
MgSO ₄	49,08	35,16
CaSO ₄	53,09	35,34

Im Rahmen der Forschungsarbeiten innerhalb des hier bearbeiteten Projektes sollte überprüft werden, in welchem Maße die auf dem Gladbacherhof gefundenen Ergebnisse der Situation auf den Praxisbetrieben in den verschiedenen Regionen Deutschlands entsprechen und unter welchen Bedingungen von einer wirtschaftlich relevanten Schwefelmangelsituation auf und in den Betrieben ausgegangen werden kann.

In den Fokus der Untersuchungen rückte zum einen die direkte Bedeutung der aktuellen Schwefelversorgung auf das Wachstum, den Ertrag und die Inhaltsstoffe der Futterleguminosen und zum anderen auf die Auswirkungen dieser Zusammenhänge auf die gesamte Fruchtfolgesituation in Form der Ertragsleistung dem Klee gras nachgestellter Marktfrüchte.

3 Material und Methoden

Zur Realisierung des Gesamtvorhabens wurde das Forschungsprojekt in drei Teilprojekte untergliedert:

Teilprojekt 1: Erfassung des S-Versorgungszustandes auf langjährig ökologisch bewirtschafteten Flächen verschiedener Boden-Klima-Räume Deutschlands anhand üblicher Parameter und Schätzverfahren (**Status Quo Analyse**).

Teilprojekt 2: Aufzeigen potentieller Ertragssteigerungen durch eine verbesserte Schwefelversorgung in Futterleguminosenbeständen (**direkte Düngewirkung**).

Teilprojekt 3: Erfassung der Folgewirkung unterschiedlich gut mit Schwefel versorgter Leguminosenbestände auf die Fruchtfolge am Beispiel der Nachfrucht Winterweizen (2-jährige Untersuchungen) (**Fruchtfolgewirkung**).

3.1 Teilprojekt 1: Erfassung des S-Versorgungszustandes auf langjährig ökologisch bewirtschafteten Flächen verschiedener Boden-Klima-Räume Deutschlands anhand üblicher Parameter und Schätzverfahren (Status Quo Analyse), 2011 – 2012

Zur Realisierung der vorgesehenen deutschlandweiten Studie zu Fragen der Schwefelversorgung im ökologischen Landbau lagen dem Antragssteller nach Veröffentlichungen in einschlägigen Fachzeitschriften (Bioland 02/2011, Naturland Nachrichten2/2011) Kooperationsangebote zur Schwefelforschung von über 50 Ökobetrieben aus den verschiedensten Anbauregionen vor. Aus diesem Fundus wurden 27 möglichst repräsentative Betriebe ausgewählt, um eine Übersicht über den Ist-Zustand der Situation des Schwefelversorgungszustandes zu erhalten.

Die einzelnen Arbeitsschritte und das konkrete Vorgehen in Teilprojekt 1 ist in der Übersicht (Tabelle 3) dargestellt:

Tabelle 3: Übersicht Arbeiten in Teilprojekt 1, bis Ende 2012.

Arbeitsziel	Vorgehen
Auswahl von 20 repräsentativen Betrieben für die „Status-Quo-Analyse“	Nutzung der Gebietsgliederung „Boden-Klima-Räume“ der Bundesrepublik Deutschland 2007: aus mind. 10 unterschiedlichen Boden-Klima-Räumen werden 20 repräsentative Betriebe ausgewählt. Fragebogen Persönliche Gespräche Telefon/direkt
Abschätzung des S-Versorgungszustandes auf den Betriebsflächen	Anwendung und Auswertung unterschiedlicher praxisüblicher Schätzverfahren (BASF/Fertiva/...)
Erhebung weiterer Indikatoren über den S-Versorgungszustandes auf den Betriebsflächen	Erfassung der Situation aufgrund vorliegender Hofdaten Befragung hinsichtlich aufgefallenen Mangelsymptomen/ Ertragsdepression Abfrage der Düngungshistorie Auswerten von Futtermittelanalysen
Erfassung üblicher Boden- und Pflanzenparameter	Auf den Standorten sollen zur Vorhersage des S-Versorgungszustandes übliche Parameter erhoben werden: Schneiden und Trocknen von Pflanzenmaterial möglichst durch Betrieb Bodenprobennahme zum Vegetationsbeginn in Futterlegumniosenbeständen durch die Antragssteller in 3 Tiefenstufen 0-90 cm Analyse von Pflanzen und Boden im Labor Uni Giessen: S_{ges} , S_{min} , CNS
Bilanzierung der S-Flüsse im Betrieb	Auf einem Teil der Betriebe sollen anhand der üblichen Bilanzierungsmodelle Hoftorbilanz, Schlagbilanz eine Schwefelbilanz erstellt werden. Dafür werden die 6 Betriebe herangezogen, die auch in Teilprojekt 2 und 3 untersucht werden.
Auswahl von 6 repräsentativen Betrieben Teilprojekt 2 und 3	Von den 20 Betrieben werden aus drei unterschiedlichen Boden-Klima-Räumen jeweils ein viehloser und ein viehhaltender Betrieb ausgewählt. Die Auswahl erfolgt nach den Kriterien: möglichst repräsentative Rahmenbedingungen, Möglichkeit zur Durchführung von Exaktversuchen (Teilprojekt 2 und 3)

3.2 Teilprojekt 2: Aufzeigen potentieller Ertragssteigerungen durch eine verbesserte Schwefelversorgung in Futterleguminosenbeständen (direkte Düngewirkung), 2012 und 2013

Auf sieben aus dem Teilprojekt 1 ausgewählten Betrieben aus vier unterschiedlichen Boden-Klima-Räumen wurden mit Vegetationsbeginn 2012 und Vegetationsbeginn 2013 Parzellenversuche in bestehende Futterleguminosen- bzw. Grünbrachebestände, möglichst im zweiten Nutzungsjahr, angelegt (Abbildung 1). Die Düngung erfolgte mit den zwei verschiedenen, im ökologischen Landbau zugelassenen sulfathaltigen Schwefeldüngemitteln Magnesiumsulfat ($MgSO_4$) und Calciumsulfat ($CaSO_4$ als Anhydrit). Die Düngung erfolgte zu Vegetationsbeginn mit einer einmaligen Gabe in Höhe von 60 kg S ha^{-1} .

<i>Block 4</i>	S2	S1	S0
<i>Block 3</i>	S2	S0	S1
<i>Block 2</i>	S1	S2	S0
<i>Block 1</i>	S0	S1	S2

Abbildung 1: Parzellenversuchsplan des Schwefeldüngungsversuchs in den Futterleguminosenbeständen. Versuchsjahre 2012 und 2013. S0= keine Schwefeldüngung, S1= 60 kg S in Form von $MgSO_4$ und S2= 60 kg S in Form von $CaSO_4$ jeweils zu Vegetationsbeginn

Die Prüfmerkmalserfassung in den Futterleguminosenbeständen erfolgte auf den sieben Standorten in den Anbaujahren 2012 und 2013 entsprechend der folgenden Aufstellung (Tabelle 4).

Tabelle 4: Prüfmerkmalserfassung Teilprojekt 2 (2012 und 2013)

Prüfmerkmal	Erläuterung
Ertragsmessung	Quadratmeterschnitte (pro Parzelle 2 mal ein halber m ²) → Bestimmung TS Ertrag pro Hektar
Leguminosenanteil	Die geerntete Frischmasse der Quadratmeterschnitte wird in Leguminosen und Nicht-Leguminosen sortiert und der jeweilige Ertragsanteil erfasst.
S _{ges} -Boden	Vor der Applikation der Dünger zu Vegetationsbeginn werden Bodenproben aus 0-90 cm Tiefe auf den S _{ges} -Gehalt untersucht.
S _{min} -Boden	Vor der Applikation der Dünger, sowie zu den Schnitt- (oder Mulch-) zeitpunkten werden Bodenproben aus 0-90 cm Tiefe auf den S _{min} -Gehalt untersucht.
pH Boden	Vor und nach der Düngung (Herbst und Frühjahr) werden die pH-Werte in den Bodenproben von 0-60 cm bestimmt.
CNS Pflanze/Korn	In den geernteten Pflanzenfraktionen wird in der Trockensubstanz der C-, N- und S-Gehalt bestimmt.

3.3 Teilprojekt 3: Erfassung der Nachfruchtwirkung unterschiedlich gut mit Schwefel versorgter Leguminosenbestände auf die Nachfrucht (Fruchtfolgewirkung), 2013 und 2014

Nach Umbruch der Leguminosenbestände wurden die Nachwirkungseffekte der Düngungsmaßnahmen zu den Leguminosen auf die Nachfrucht untersucht (Abbildung 2). Dabei wurde die Wirkung der Düngungsmaßnahme in den Futterleguminosen mit der Wirkung einer direkten Schwefeldüngung in der Nachfrucht verglichen. Gedüngt wurden 60 kg Schwefel ha⁻¹ in Form von MgSO₄. Von den Projektdurchführenden wurde als Nachfrucht Winterweizen geplant, was aber nicht von allen Betrieben umgesetzt werden konnte. Neun Mal wurde Winterweizen als Nachfrucht angebaut, alternativ wurde drei Mal Silomais nachgebaut und zwei Mal Dinkel.

Block 4	S2	S1	S0 +S
Block 3	S2	S0 +S	S1
Block 2	S1	S2	S0 +S
Block 1	S0 +S	S1	S2

Abbildung 2: Parzellenversuchsplan des Schwefeldüngungsversuchs in den Winterweizenbeständen. Die hellgraue Beschriftung zeigt die Düngungsvarianten, die in den Futterleguminosenbeständen vor dem Winterweizen durchgeführt wurden (S0= keine Schwefeldüngung, S1= 60 kg S als MgSO₄ und S2= 60 kg S als CaSO₄). In der S0-Variante wird die Parzelle im Weizen geteilt und eine Hälfte mit Schwefel gedüngt (rote Beschriftung). Somit konnte der direkte S-Düngungseffekt abgebildet und vom Nachwirkungseffekt abgegrenzt werden. Die anderen Parzellen blieben ungedüngt.

Die Prüfmerkmalserfassung innerhalb des Teilprojektes 3 erfolgte entsprechend Tabelle 5.

Tabelle 5: Prüfmerkmalserfassung Teilprojekt 3, 2012 und 2013

Prüfmerkmal	Erläuterung
Ertragsmessung	Kornertrag Winterweizen
S _{ges} -Boden	Nach Umbruch zur Winterweizensaat und zu Vegetationsbeginn Untersuchung in 0-90 cm Bodentiefe
S _{min} -Boden	Nach Umbruch zur Winterweizensaat, im Winter, zu Vegetationsbeginn im 1-Knotenstadium und zur Ernte aus 0-90 cm Tiefe wird der S _{min} -Gehalt untersucht.
N _{min} -Boden	Parallel dazu: nach Umbruch zur Winterweizensaat, im Winter, zu Vegetationsbeginn im 1-Knotenstadium und zur Ernte aus 0-90 cm Tiefe wird auf der N _{min} -Gehalt untersucht.
pH Boden	Die pH-Messung erfolgt zum 1-Knotenstadium
CNS Pflanze/Korn	Vegetationsbeginn, 1-Knotenstadium, reifes Korn

4 Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

4.1 Ergebnisse Teilprojekt 1 Status Quo

4.1.1 Ausgewählte Standorte zur Abschätzung der Schwefelversorgung von Futterleguminosenflächen ökologisch wirtschaftender Betriebe deutschlandweit

Schon vor Projektbeginn wurde in einschlägigen Fachzeitschriften über die Ergebnisse von Voruntersuchungen auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb der Professur für organischen Landbau an der JLU-Gießen Gladbacherhof berichtet (siehe Kapitel 2). In der Ausgabe 2/2011 der Zeitschrift Bioland, der Ausgabe 2/2011 der Zeitschrift Naturland, auf einem Informationsstand auf der Agritechnica 2011 und auf der Homepage der Professur wurden in einem Aufruf Praxisbetriebe gesucht, die Interesse an einer Untersuchung zur Schwefelversorgung und deren Bedeutung auf Ihrem Standort hatten. Aus den über hundert Interessenbekundungen wurden 27 Standorte ausgewählt, mit deren Hilfe ein möglichst repräsentatives Bild über die Situation der Schwefelversorgung im gesamten Gebiet der Bundesrepublik Deutschland dargestellt werden sollte. Die Auswahl erfolgte vor dem Hintergrund der Definition von Boden-Klima-Räumen (BKR) für die Bundesrepublik Deutschland (Rossberg et al. 2007). Die 27 an dem Teilprojekt 1 des Forschungsvorhabens beteiligten Praxisstandorte sind in Tabelle 1 aufgeführt und charakterisiert.

Tabelle 6: Untersuchungsstandorte für das Teilprojekt 1

Lfd. Nr.		1	2	3	4	5	6
Naturräumliche Lage		Spreeaue	Spreewald	Mansfeld	Magdeburger Börde	Münsterland	Baltischer Landrücken
Bodenklima-raum		104	104	107	107	148	158
Niederschläge	mm a ⁻¹	563	500	480	480	650	625
Bodenart		sandiger Lehm/Sand	lehmiger Sand/sandiger Lehm		Schwarzerde	Sand	toniger Lehm/Ton
Betriebstyp		viehlos	viehhaltend	viehhaltend	viehlos	viehhaltend	viehhaltend
Betriebsgröße	ha	2777	400	284	420	70	149
Ackerfläche	ha	2209	390	261	420	45	140

Lfd. Nr.		7	8	9	10	11	12
Naturräumliche Lage		Main-Rhön	Steigerwald	Main-Rhön	Südrand der Reischenau	Nordrand der Westfälischen Bucht	Busecker Tal
Bodenklima- raum		113	113	111	115	148	133
Niederschlä- ge	mm a ⁻¹	600	550-600	550	700	450	650
Bodenart		lehmiger Ton	sandiger Lehm	schluffiger Lehm			
Betriebstyp		viehhaltend	viehlos	viehhal- tend	viehlos		viehhaltend
Betriebsgrö- ße	ha	160	80	80	36		
Ackerfläche	ha	9	50	40	30		
Lfd. Nr.		13	14	15	16	17	
Naturräumliche Lage		Hallertau	Donau-Iller	Hochrhein	Ostrand des Hegaus	Niedersäch- sisches Bergland	
Bodenklima- raum		115	115	120	120	145	
Niederschlä- ge	mm a ⁻¹	800	750	700	900	700	
Bodenart		Lößlehm, schluffiger Lehm		toniger Lehm	sandiger Lehm	toniger Lehm	
Betriebstyp		viehlos	viehhaltend	viehhal- tend	viehhaltend	viehhaltend	
Betriebsgrö- ße	ha	215	60	105	145	115	
Ackerfläche	ha	212	20	55	50	25	

Lfd. Nr.		18	19	20	21	22
Naturräumliche Lage		Hochrhein	Oberrheinische Tiefebene	Hessisches Ried	Schwäbische Alb	Leinebergland
Bodenklima- raum		120	121	121	122	145
Niederschläge	mm a ⁻¹	850	700	500	800	720
Bodenart		toniger Lehm	lehmiger Sand	lehmiger Ton	toniger Lehm/schluffiger Lehm	lehmiger Sand
Betriebstyp		viehhaltend	viehhaltend	viehlos	viehhaltend	viehlos
Betriebsgröße	ha	120	128	89	131	254
Ackerfläche	ha	60	125	85	53	1

Lfd. Nr.		23	24	25	26	27
Naturräumliche Lage		Schwäbische Alb	Vogelsberg	Vogelsberg	Niederrhein	Niederrhein
Bodenklima- raum		122	133	133	142	142
Niederschläge	mm a ⁻¹	1050	650	650	650	750
Bodenart		toniger Lehm/schluffiger Lehm		sandiger Lehm/toniger Lehm	sandiger Lehm	sandiger Lehm
Betriebstyp		viehlos	viehhaltend	viehhaltend	viehhaltend	viehhaltend
Betriebsgröße	ha	32	70	150	36	43
Ackerfläche	ha	9	30	70	35	40

Die 27 Praxisstandorte (zuzüglich von zwei weiteren hinzugekommenen ökologischer Standorte 28 und 29, ohne nähere Charakterisierung) wurden vor dem Einsetzen der Vegetation 2012 aufgesucht. In Absprache mit den Betriebsleitern wurden auf ausgewählten Futterbauschlägen auf insgesamt 38 Schlägen oder Teilschlägen Bodenproben zur späteren Analyse entnommen. Im Anschluss wurden auf diesen Praxisflächen Düngungsversuche mit den drei Varianten Kontrolle ohne S-Düngung, 60 kg S in Form von MgSO₄ und 60 kg S in Form von CaSO₄ in vierfacher Wiederholung angelegt.

Nach der Auswertung der Bodenproben wurden aus diesen 38 angelegten Düngungsversuchen sieben Standorte festgelegt, auf denen die folgenden Untersuchungen des zweiten und des dritten Projektteils durchgeführt wurden.

Zudem wurde jedem beteiligten Landwirt die Möglichkeit gegeben, mit diesem Düngungsversuch auf den eigenen Flächen eventuelle Reaktionen der Pflanzenbestände zu beobachten.

4.1.2 S_{\min} -Gehalte auf ausgewählten Flächen unter Futterleguminosen vor Vegetationsbeginn 2012, deutschlandweit

Die Ergebnisse der S_{\min} -Analysen von 38 deutschlandweit ökologisch bewirtschafteten Flächen in der Tiefe von 0-60 cm unter Klee gras sind in Abbildung 3 dargestellt. Es wird deutlich, dass bei 50 % der untersuchten Fälle Werte von unter 20 kg S ha^{-1} gemessen wurden. In einigen Fällen lag der S_{\min} -Wert sogar unter 10 kg S ha^{-1} .

Nimmt man die Standorte hinzu, die $20 \text{ kg } S_{\min} \text{ ha}^{-1}$ aufwiesen oder nur knapp darüber lagen, sind mit 63 % annähernd zwei Drittel der Standorte beschrieben. Knapp 80 % der Standorte wiesen in der Tiefenstufe 0-60 cm einen S_{\min} -Wert von unter $30 \text{ kg } S_{\min} \text{ ha}^{-1}$ auf, nur ca. 20 % der Standorte hatten eine S_{\min} -Versorgung von über 30 kg ha^{-1} .

Besonders hohe Werte von über $40 \text{ kg } S_{\min} \text{ ha}^{-1}$ bis sogar $120 \text{ kg } S_{\min} \text{ ha}^{-1}$ wurden auf den Flächen 3a und 3b (Mansfelder Land, östlicher Vorharz), auf der Fläche 20a (Hessisches Ried, Aue des Neckars) und auf der Fläche 4 (Magdeburger Börde) gefunden.

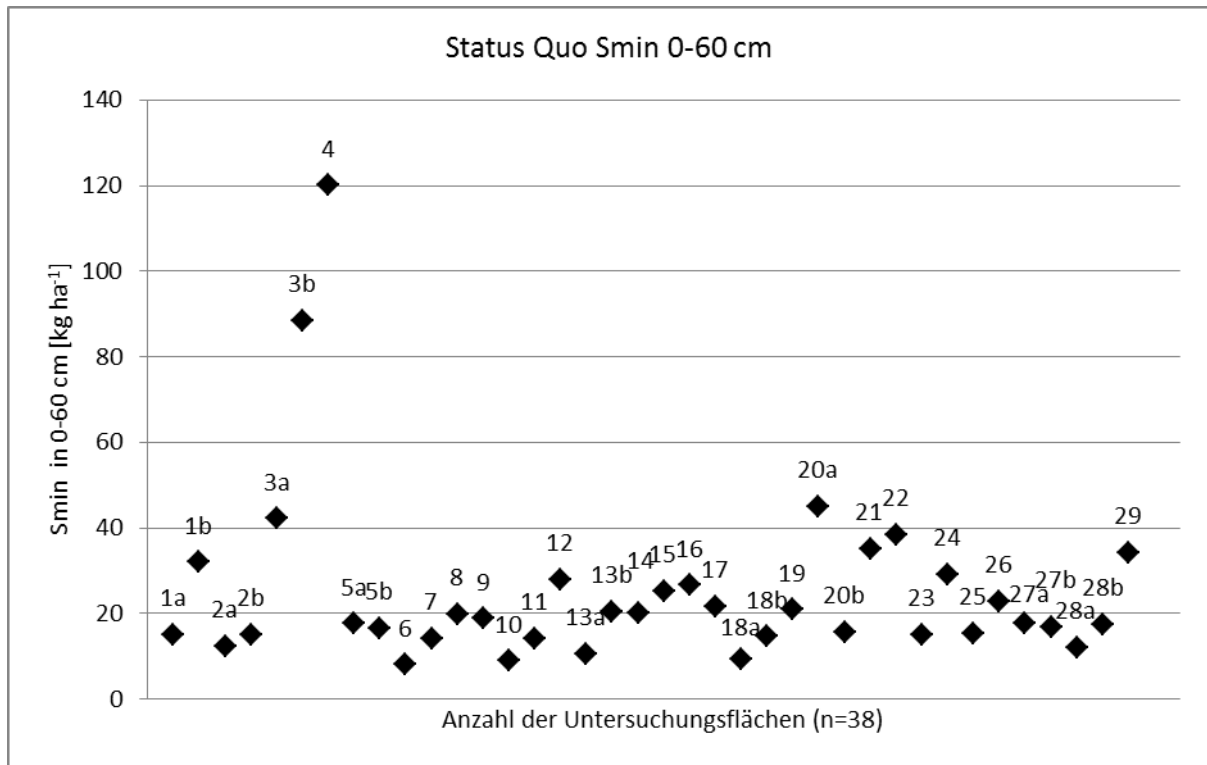


Abbildung 3: S_{\min} -Werte in 0-60 cm unter 38 ökologisch bewirtschafteten Futterleguminosen-Flächen, Vegetationsbeginn 2012

4.1.3 Schwefel- und Stickstoffkonzentrationen von Futterleguminosen/Gras-Gemengebeständen deutschlandweit zum ersten Schnitt 2012

Die Futterleguminosenaufwüchse wurde von dem jeweiligen Landwirt zum ersten Schnitt aus einem ungedüngten Bereich entnommen und eine Probe auf dem Postweg an das Labor der Professur für Organischen Landbau in Gießen gesendet.

Die N-Konzentrationen im Gemenge lagen bei ca. der Hälfte der Proben (52%) unter 3 % in der Trockenmasse, die S-Konzentrationen etwa um 0,25 %. Vergleichbare Proben, die anhand der Aufwüchse des Gladbacherhofs untersucht wurden, zeigen bei ausreichend mit Schwefel versorgten Pflanzen N-Konzentrationen über 3 % bei gleichzeitigen S-Konzentrationen bis 0,4 %.

Die in die Abbildung 4 eingezeichneten roten und gelben Punkte zeigen die Stickstoff- und Schwefelkonzentrationen von Proben desselben Standortes, diesmal aus einer mit Schwefel gedüngten Parzelle. Daran wird offensichtlich, dass durch die Schwefeldün-

gung die Schwefelkonzentration in den Pflanzen erhöht wurde und gleichzeitig die N-Konzentration anstieg.

Werte für gedüngte Aufwüchse liegen nur von einem Teil der Standorte vor, da eine parzellengenaue Probenahme von den Praxisbetrieben während der Ernte nicht immer zu realisieren war.

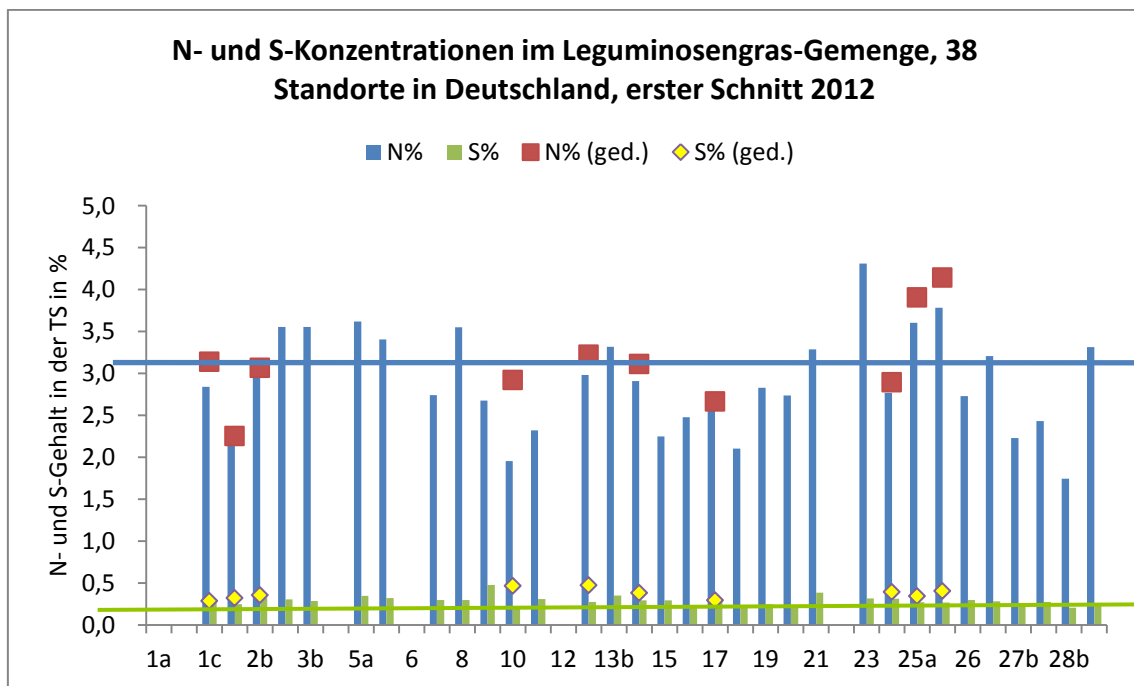


Abbildung 4 Stickstoff und Schwefelkonzentrationen (%) in Futterleguminosen-Grasgemenge von 38 Standorten in Deutschland mit und ohne Schwefeldüngung zum Zeitpunkt des ersten Schnittes 2012

Dividiert man die gemessenen Stickstoff- durch die Schwefelkonzentrationen, so erhält den sogenannten N/S-Quotienten. Dieser N/S Quotient wird von verschiedenen Seiten als Maß verwendet, um die Schwefelversorgung von Pflanzen einzuschätzen. Nach Bergmann (1993) sollte das N/S-Verhältnis von Futterleguminosen nicht weiter als 15 sein, ansonsten wird von einem Schwefelmangel ausgegangen. Ein N/S-Verhältnis von 12 gilt als ausgeglichen.

Die in Abbildung 5 aufgeführten N/S-Quotienten beziehen sich auf das beprobte Leguminosen/Gras-Gemenge und zeigen in den meisten Fällen Werte unter 15. In den Fällen, in denen Schwefel zu dem Leguminosen/Gras-Gemenge gedüngt wurde, konnte

in fast allen Fällen eine deutliche weitere Verengung des N/S-Quotienten festgestellt werden.

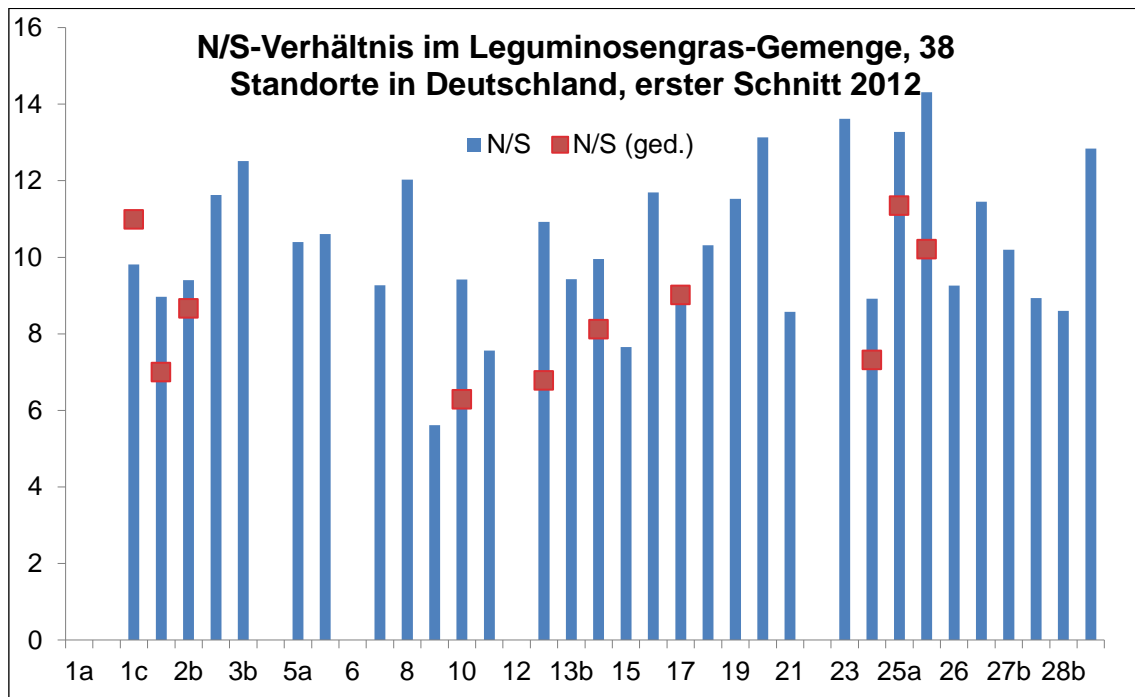


Abbildung 5: Verhältnis der Konzentration von Stickstoff zur Konzentration von Schwefel im Pflanzenmaterial von Futterleguminosen-Grasgemenge, 38 Standorte in Deutschland mit und ohne Schwefeldüngung zum Zeitpunkt des ersten Schnittes 2012

4.1.4 Einschätzung der Schwefelversorgungssituation ökologisch wirtschaftender Betriebe deutschlandweit anhand von Schätzverfahren

Die Betriebsleiter der 27 Untersuchungsstandorte hatten im Vorfeld der Untersuchung Gelegenheit, einen von der Firma BASF entwickelten Fragebogen (Schwefelschätzrahmen siehe Anhang) zur Abschätzung des S-Bedarfes ihres Standortes auszufüllen. Demnach wären ein Drittel der Betriebe mit einer hohen Wahrscheinlichkeit von einem Schwefelmangel betroffen (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Knapp zwei Drittel müssten bei Kulturen mit einem hohen Schwefelbedarf mit einer Mangelsituation rechnen und bei nur knapp 4 Prozent der Betriebe wäre nicht mit einem Schwefelmangel zu rechnen.

Tabelle 7: Prognose von Schwefelmangel anhand des Schwefelschätzrahmens auf 27 ökologisch wirtschaftenden Betrieben aus verschiedenen Regionen in Deutschland, 2012

Auswertungsergebnis	Anzahl der Betriebe	Prozent
16-29 Punkte: Wahrscheinlichkeit von Schwefelmangel hoch, Düngung notwendig	9	33,3333
30-37 Punkte: Bestände (besonders Raps) genau beobachten, Düngung empfehlenswert	17	62,963
38-47 Punkte: Schwefelmangel zur Zeit nicht zu erwarten	1	3,704
Gesamt	27	100

4.1.5 Auswahl von sieben Standorten für Teilprojekt 2 und 3 „Wirkung einer Schwefeldüngung auf das Wachstum und den Ertrag von Futterleguminosen und die darauffolgende Nachfrucht Anbaufolge 2012/2013 und 2013/2014.“

Von den 27 Betrieben, die an dem Teilprojekt 1 teilgenommen haben, wurden 6 Betriebe ausgewählt, auf deren Flächen die weiteren geplanten Untersuchungen im Rahmen des Teilprojektes 2 und Teilprojekt 3 durchgeführt werden sollten.

Die 6 Betriebe wurden so ausgesucht, dass drei Betriebspaare viehhaltend / viehlos aus dem jeweils selben Bodenklimaraum (BKR) gebildet werden konnten. Um eine mit dem Stichprobenumfang möglichst repräsentative Untersuchung durchführen zu können, wurden mit Hilfe der in Teilprojekt 1 gemessenen S_{\min} Frühjahrswerte 2012 verschiedene standortbedingte Schwefelversorgungssituationen berücksichtigt. Dazu wurden drei Gruppen gebildet (Tabelle 8).

Für die erste Gruppe wurden Standorte aus dem Boden-Klima-Raum BKR 115 ausgewählt, die über Flächen verfügten, die ein möglichst durchschnittliches Ertragspotential repräsentierten. Der S_{\min} -Ausgangswert, der 2012 dort in der Tiefenstufe 0-60 cm gefunden wurde, lag dabei mit ca. $20 \text{ kg } S_{\min} \text{ ha}^{-1}$ in einem mittleren Bereich von den zur Auswahl stehenden Standorten gemessenen Werten und beschreibt einen oberen Wert von rund zwei Drittel (63%) der 38 untersuchten Standorte.

Mit der zweiten Gruppe sollten Standorte abgebildet werden, die mit einem S_{\min} -Wert von > 20 bis ca. $30 \text{ kg } S_{\min} \text{ ha}^{-1}$ einen eher überdurchschnittlichen Schwefelversor-

gungszustand vermuten ließen. Dieser Gruppe entsprachen ungefähr ein Drittel der 38 beprobten Standorte.

Die dritte Gruppe umfasste Standorte, die 2012 einen S_{\min} -Ausgangswert von unter 20 kg S_{\min} ha⁻¹ in der Tiefenstufe 0-60 cm aufwiesen.

Als zusätzlicher (Reserve)-Standort wurde noch ein viehhaltender Betrieb aus dem Boden-Klima-Raum 133 mit einem eher überdurchschnittlichem S_{\min} -Ausgangswert in die Untersuchungen aufgenommen.

Tabelle 8: Ausgewählte Betriebe für die Teilprojekte 1 und 2

	Naturräumliche Lage	BKR	Betriebsnr. in Teilprojekt 1	Viehhaltung	S_{\min} -0-60cm: Ausgangswert Frühjahr 2012	S-Düngeempfehlung laut Schwefelschätzrahmen
mittleres standortbedingtes Ertragsniveau	Donau-Iller	115	14	mit	20,1	Düngung empfehlenswert
	Hallertau	115	13a	ohne	20,4	Düngung empfehlenswert
hohes standortbedingtes Ertragsniveau	Niedersächsisches Bergland	145	17	mit	21,7	Düngung empfehlenswert
	Leine-Bergland	145	22	ohne	38,4	Düngung empfehlenswert
niedriges standortbedingtes Ertragsniveau	Spreewald	104	2b	mit	15,1	Wahrscheinlichkeit für S-Mangel hoch, Düngung notwendig
	Spreeau	104	1a	ohne	15,0	Wahrscheinlichkeit für S-Mangel hoch, Düngung notwendig
zusätzlicher Standort	Vogelsberg	133	24	mit	29,0	Düngung empfehlenswert

4.1.6 Schwefelbilanzen auf den sieben ausgewählten Standorten

Die Ergebnisse der Hoftorbilanzen und der Schlagbilanzen von den 7 ausgewählten Standorten sind in Tabelle 9 zusammengefasst. Eine zunächst positive Hoftorbilanz findet sich nur an dem Standort BKR 115 viehhaltend aufgrund von relativ hohen Futtermittelkäufen, mit dem auch Schwefel importiert wird. Die Ergebnisse sind ohne Berücksichtigung atmosphärischer Einträge und ohne Auswaschungsverluste dargestellt. Als gemittelte Literaturwerte können 10 kg S ha⁻¹ als Eintrag aus der Atmosphäre und als

Auswaschung 40 kg S ha^{-1} angesetzt werden. In diesem Falle müssen dann pro Hektar 30 kg S abgezogen werden, so dass rechnerisch auf allen Standorten ein deutliches Schwefeldefizit entsteht (nicht abgebildet).

Tabelle 9: Schwefel-Hoftorbilanz und Schwefel-Schlagbilanz auf sieben ökologisch wirtschaftenden Betrieben, Deutschland 2012

	Naturräumliche Lage	BKR	Betriebsnr. in Teilprojekt 1	Viehhaltung	Fläche (LN) in ha	Hoftorbilanz (ohne atm. Eintrag und ohne Auswaschung)	Schlagbilanz Futterleguminosen, kg S ha^{-1} bei 0,3 % S in der TM, ohne Auswaschung
mittleres standortbedingtes Ertragsniveau	Donau-Iller	115	14	mit	60,11	+304 kg	- 30 kg/ha
	Hallertau	115	13a	ohne	214,1	-1149 kg	-36 kg/ha
hohes standortbedingtes Ertragsniveau	Niedersächsisches Bergland	145	17	mit	115	-100 kg	- 42 kg/ha
	Leine-Bergland	145	22	ohne	253	- 1430 kg	- 40 kg/ha
niedriges standortbedingtes Ertragsniveau	Spreewald	104	2b	mit	400	- 1570 kg	- 25 kg/ha
	Spreeeau	104	1a	ohne	835,19	-7830 kg	- 15 kg/ha
zusätzlicher Standort	Vogelsberg	133	24	mit	70	-378 kg	- 36 kg/ha

4.2 Ergebnisse Teilprojekt 2 und 3, direkte Düngewirkung von Schwefel in Futterleguminosen und Auswirkungen einer Schwefeldüngung auf die Nachfrucht

4.2.1 BKR 115 viehhaltend Anbaufolge 2012/2013

4.2.1.1 S- und N-Dynamik Boden und Pflanze

Der gemessene Gesamtgehalt an Schwefel lag an diesem Standort in der Tiefenstufe 0-90 cm zwischen 2 t ha^{-1} und $3,5 \text{ t ha}^{-1}$ (ohne Abbildung). Eine Beeinflussung durch die Düngungsmaßnahmen konnte über den Messzeitraum nicht festgestellt werden.

Der S_{\min} -Ausgangswert für die Vegetation 2012 lag auf dem Standort BKR 115 viehhaltend im März von 0-30 cm bei 7 kg ha^{-1} , bis 60 cm Tiefe bei 19 kg ha^{-1} , und in der Tiefe bis 90 cm bei insgesamt rund 24 kg ha^{-1} (Abbildung 6).

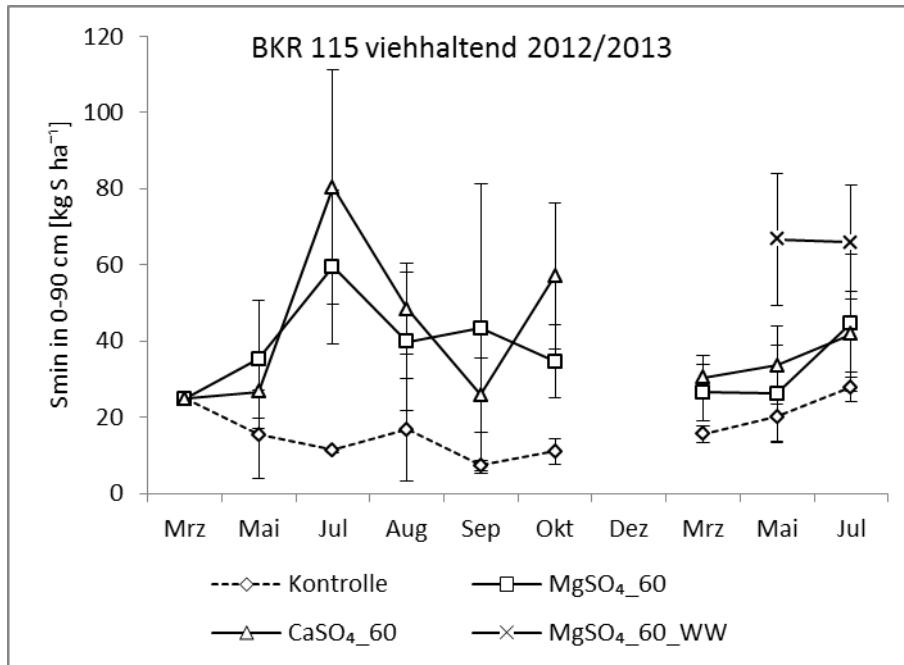


Abbildung 6: S_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Silomais von März 2012 bis Juli 2013. Umbruch Oktober 2012, Aussaat Mais Ende April 2013. Standort BKR 115, viehhaltend

Im Verlauf der Vegetation nahm in der ungedüngten Kontrollvariante der Gehalt an S_{\min} weiter ab und blieb bis zum Umbruch im Oktober konstant deutlich unter 20 kg ha^{-1} .

In den gedüngten Varianten dagegen stieg der S_{\min} -Gehalt im Verlauf der Vegetation bis zum zweiten Schnitt im Juli mit bis zu 80 kg ha^{-1} deutlich an und nahm im weiteren Verlauf bis zum Umbruch im Oktober wieder etwas ab, lag aber in jedem Fall deutlich über 20 kg ha^{-1} . Die zu diesem Termin in den Tiefenstufen 0-30, 30-60 und 60-90 cm gemessenen S_{\min} -Werte sind in Abbildung 7 dargestellt. Es wird deutlich, dass in allen drei Tiefenstufen die Schwefeldüngung zu einem gegenüber der Kontrolle erhöhten S_{\min} -Vorrat führte. Auffällig ist natürlich der hohe S_{\min} -Gehalt bei der mit CaSO_4 gedüngten Variante. Da über die Sommermonate eine Auswaschung von SO_4 unwahrscheinlich ist, müssen entweder die Pflanzen bei MgSO_4 Düngung mehr Schwefel entzogen haben (eher unwahrscheinlich, durch eine unvollständige Datenlage aber nicht

endgültig zu überprüfen) oder durch die bessere Löslichkeit gegenüber CaSO_4 wurde mehr Schwefel organisch gebunden. Da die Streuung zwischen den Messwerten aber sehr hoch ausfiel, wird dieses Ergebnis nicht weiter interpretiert.

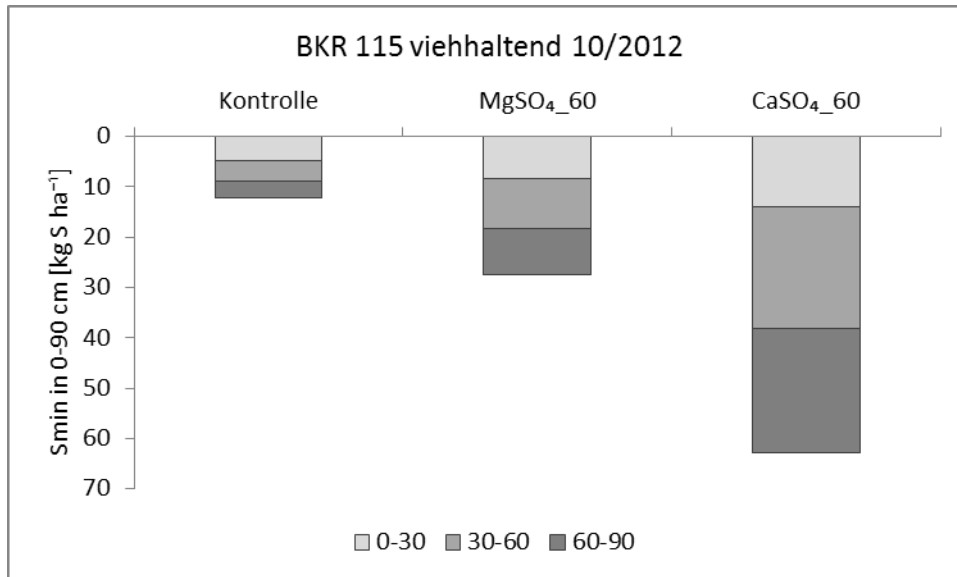


Abbildung 7: S_{\min} -Werte zum Umbruch Futterleguminosen/Gras-Gemenge Oktober 2012 bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Futterleguminosen/Gras-Gemenge, Standort BKR 115, viehhaltend

Im Verlauf der folgenden Vegetation unter Silomais lagen die S_{\min} -Werte im März in den im Vorjahr mit Schwefel gedüngten Varianten in der Tiefenstufe 0-90 cm mit ca. 30 kg ha^{-1} ungefähr doppelt so hoch wie bei ungedüngt, bei der ca. $15 \text{ kg S}_{\min} \text{ ha}^{-1}$ gemessen wurden (Abbildung 6). Dies entspricht vor allem bei der Variante MgSO_4 ungefähr dem Wert, der im vorangegangenen Oktober gemessen wurde. Auswaschungen von SO_4 scheinen demnach gering gewesen zu sein. Bei den folgenden Messungen im Mai und im Juli stieg der S_{\min} -Wert in allen Varianten gleichmäßig an, was an einer einsetzenden Mineralisation oder auch an einer vom Praxispartner durchgeführten Düngung mit Rindergülle zu Mais im Mai erklärlich ist. Das S_{\min} Niveau in den im Vorjahr mit S gedüngten Varianten lag immer ca. 15 kg ha^{-1} über ungedüngt. Die 60 kg S , die in der Variante 4 in die im Vorjahr mit Schwefel ungedüngten Parzelle in Form von MgSO_4 gegeben wurde, konnten bei den Messungen im Mai und im Juli in weitgehend wiedergefunden werden und wurden anscheinend nicht in erhöhtem Maße von den Maispflanzen aufgenommen.

Die Schwefelmengen, die mit den Pflanzen von der Fläche entzogen wurden, sind in Abbildung 8 dargestellt.

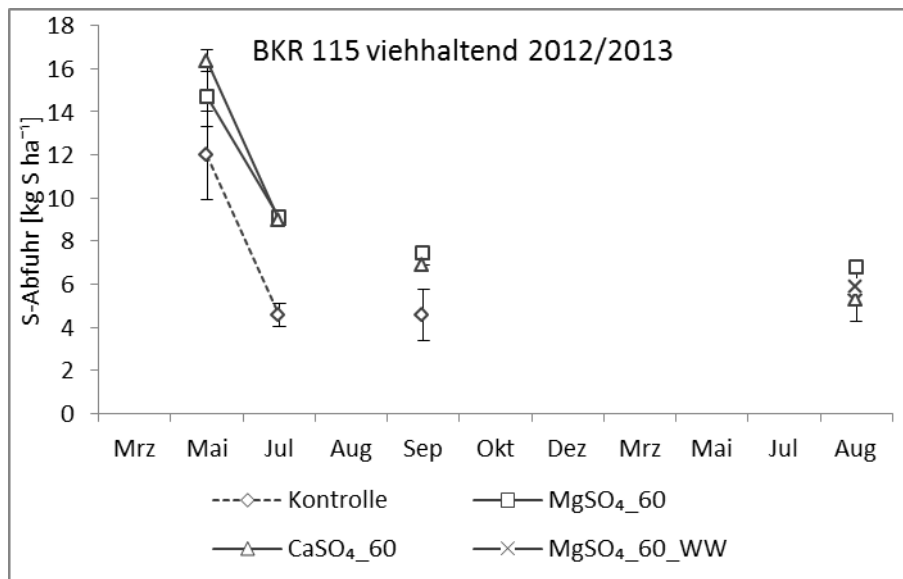


Abbildung 8: Schwefelmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnitzeitpunkten und Schwefelmenge im Korn der Nachfrucht Silomais, Anbaufolge 2012/2013 Standort BKR 115, viehhaltend

Die Messungen zeigen, dass je ha in den mit S-gedüngten Varianten mehr Schwefel in dem Futterleguminosenaufwuchs gebunden war und somit auch mehr Schwefel dem System entzogen wurde, wenn auch in einem relativ geringem Maße von rund 15 kg ha⁻¹, was durch die insgesamt doch niedrigen Trockenmassererträge (vgl. 4.2.1.2) verständlich wird. Der S-Entzug über das Maiskorn zur Maisernte 2013 war in allen Varianten gleichförmig.

Die gemessenen N_{min}-Werte lagen zum Umbruch im Oktober 2012 alle auf einem vergleichbaren Niveau von 20-30 kg ha⁻¹ (Abbildung 9). Über Winter hat anscheinend eine Stickstoffmineralisation eingesetzt, sodass in allen Varianten ein N_{min}-Wert im März 2013 von ca. 60 kg ha⁻¹ gefunden wurde. Dieser doch recht hohe Wert stieg zum Mai hin in allen Varianten stark an, was sicher mit der Düngung von Rindergülle in Zusammenhang steht. Durch den N-Entzug des Mais lag der N_{min}-Wert im Juli wieder auf dem Niveau vom März. Eine Beeinflussung durch die verschiedenen S-Düngungsvarianten kann nicht erkannt werden.

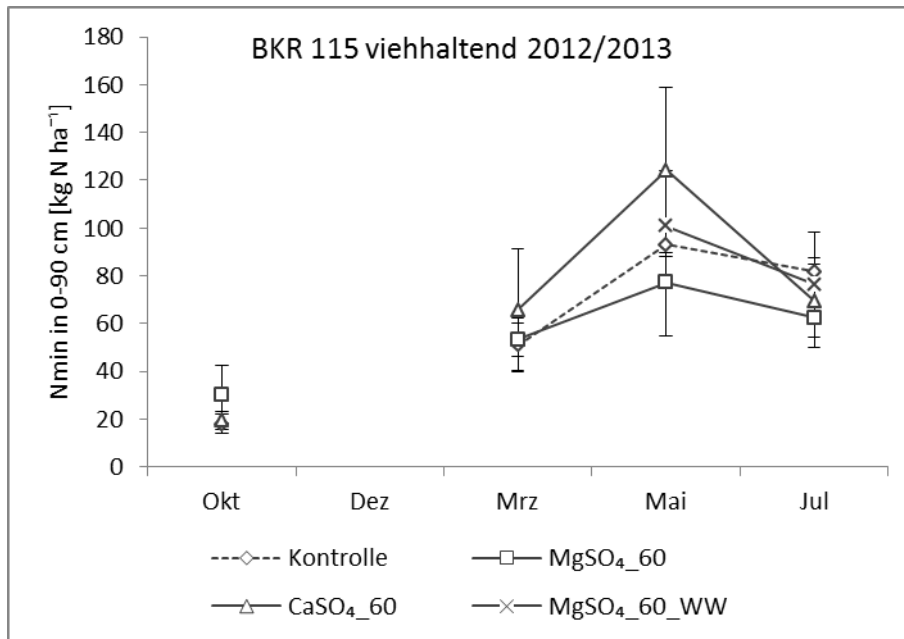


Abbildung 9: N_{min}-Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Silomais von Oktober 2012 bis Juli 2013. Umbruch Oktober 2012, Aussaat Mais Ende April 2013. Standort BKR 115, viehhaltend

Die N-Mengen, die in dem Aufwuchs der Futterleguminosen gebunden waren, unterschieden sich nicht zwischen den Varianten während des Vegetationsverlaufs (ohne Abbildung). Im ersten Schnitt waren rund 130 kg N ha⁻¹ in allen Varianten gebunden, im zweiten Schnitt rund 70 kg N ha⁻¹ und im vierten Schnitt noch rund 30 kg N ha⁻¹.

4.2.1.2 Erträge Futterleguminosen, sowie S- und N- Konzentrationen und N/S-Quotient

Die Trockensubstanzerträge der Futterleguminosen- Grasmengenge auf dem Standort 115 viehhaltend im Jahr 2012 sind in Abbildung 10 dargestellt. Der gemessene Gesamtertrag lag in allen Varianten bei ca. 8 t ha⁻¹ Trockensubstanz. Der dritte Schnitt konnte nicht erfasst werden, es wird aber dennoch deutlich, dass der Leguminosen Anteil im Gemenge zu jedem Schnittzeitpunkt im Verhältnis zum Gräser Anteil kontinuierlich zurückgegangen ist. Im vierten Schnitt konnten dann keine Leguminosen als Bestandsbildner gefunden werden. Dies kann mit einem sehr hohen Befall mit Mäusen in Zusammenhang stehen, oder aber auch mit anderen, unbekanntem Faktoren. Er-

tragsunterschiede zwischen den verschiedenen Behandlungen konnten unter diesen Bedingungen nicht gefunden werden.

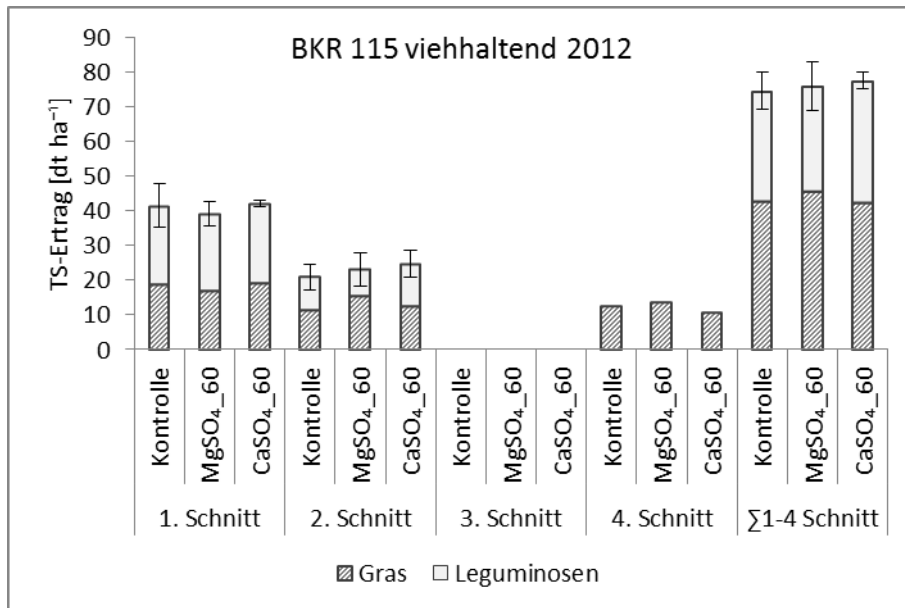


Abbildung 10: Trockensubstanzertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 115 viehhaltend 2012

Sowohl die Leguminosen als auch die Gräser reagierten auf die S-Düngung mit einer deutlichen Erhöhung der S-Konzentration im Spross (Abbildung 11). Im ersten Schnitt erhöhte sich die S-Konzentration dadurch bei den Gräsern von 0,35 % auf über 0,45 %, bei den Leguminosen von 0,23 % auf 0,31 %. Auch in den Folgeschnitten zeigte sich ein ähnliches Bild, im vierten Schnitt, bei dem keine Leguminosen mehr geerntet wurden, stieg die S-Konzentration in den Gräsern sogar auf rund 0,6 % an.

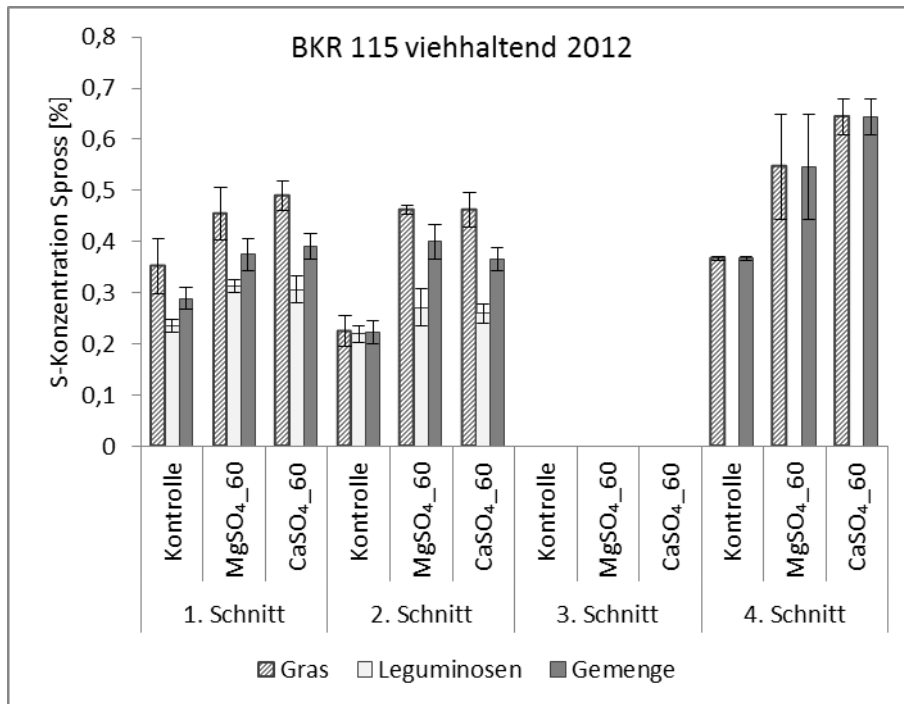


Abbildung 11: Schwefelkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 115 viehhaltend 2012

Die N-Konzentration in den Leguminosen stieg durch die S-Behandlung an, im ersten Schnitt von 3,6 % auf ca. 3,9 % und im zweiten Schnitt von 3,2 % auf 3,6 %. Die N-Konzentration bei den Gräsern blieb dagegen unbeeinflusst (Abbildung 12).

Da der Leguminosenanteil im Gemenge gering und während der Vegetation sogar rückläufig war, war der Einfluss auf den N-Flächenertrag nur gering (Abbildung 13). Als Summe der ersten beiden Schnitte und des vierten Schnittes wurden etwas über 200 kg N ha⁻¹ abgefahren.

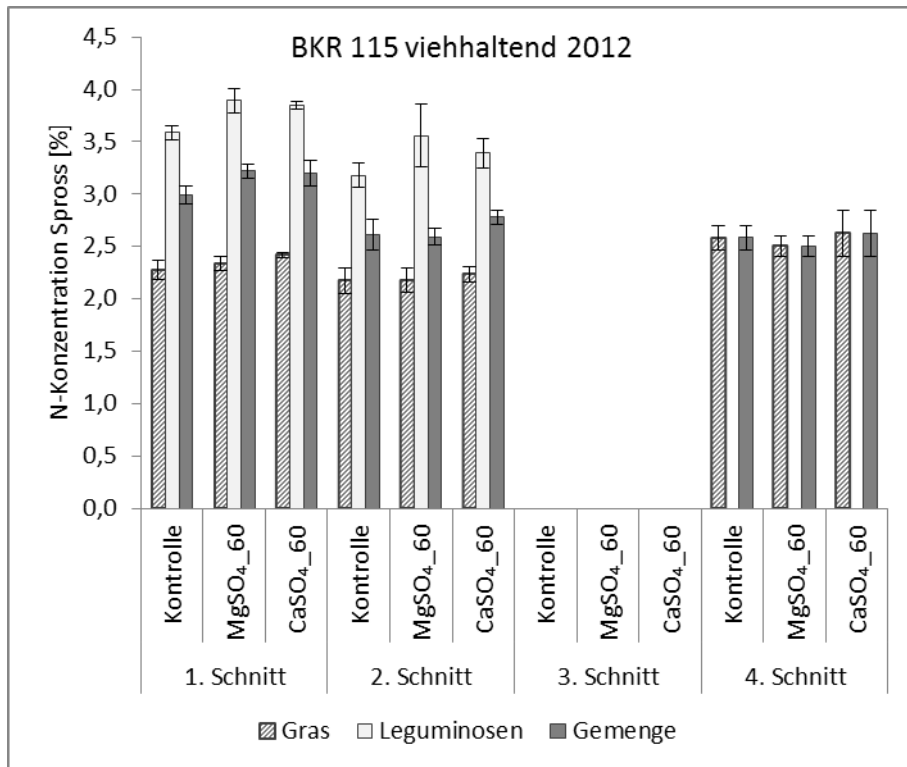


Abbildung 12: Stickstoffkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 115 viehhaltend 2012

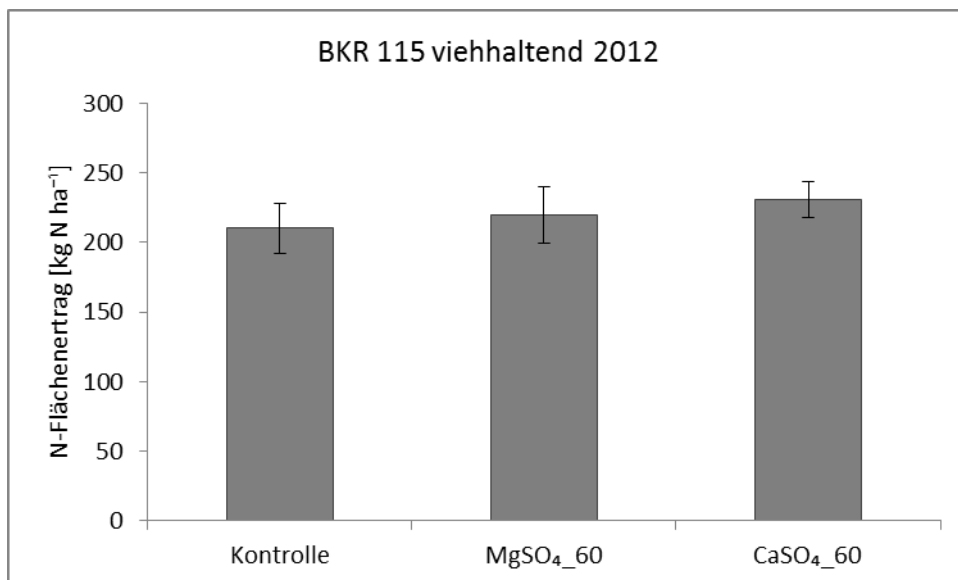


Abbildung 13: Stickstoffertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 115 viehhaltend 2012

Die Mengen an Schwefel, die durch die Pflanzen dem Boden entzogen wurden, erhöhten sich bei gedüngt um ca. 10 kg S ha^{-1} von 21 kg S ha^{-1} auf ca. 31 kg S ha^{-1} (Abbildung 14).

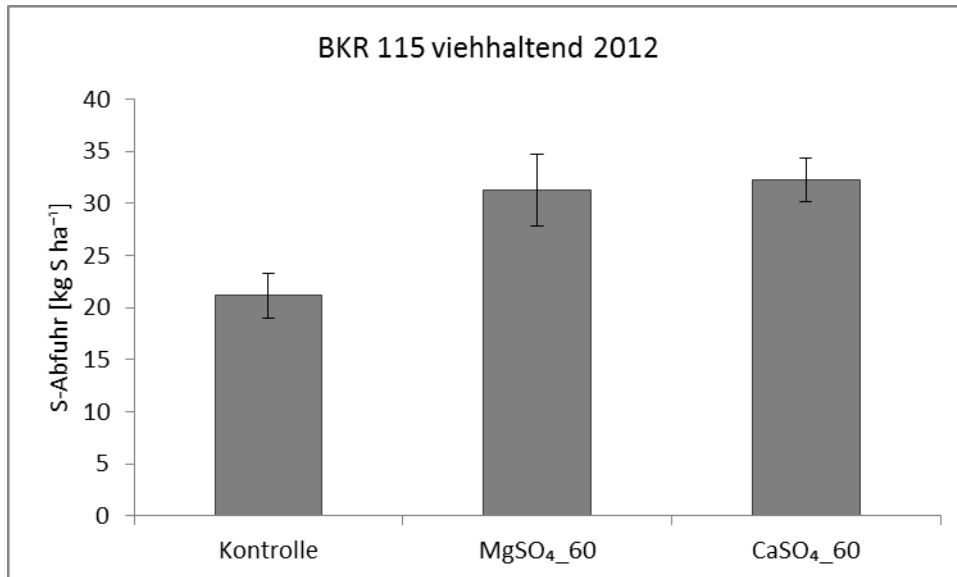


Abbildung 14: Schwefelentzug Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 115 viehhaltend 2012

Der N/S-Quotient sowohl der Gräser als auch der Leguminosen wurde durch die Schwefeldüngung kleiner (Abbildung 15). Im ersten Schnitt betrug der N/S-Quotient bei den Leguminosen bei ungedüngt 15,2 und bei gedüngt ca. 12,5. Im zweiten Schnitt erweiterte sich der N/S-Quotient wieder auf etwas über 13, was vielleicht schon als Hinweis gesehen werden kann, dass die Leguminosen in keinem guten Zustand waren. Der N/S Quotient war bei den Gräsern im Vergleich zu den Leguminosen mit Werten von 10 bis 4 durchweg enger, da die N-Konzentration unbeeinflusst blieb und die S-Konzentration durchweg höher lag.

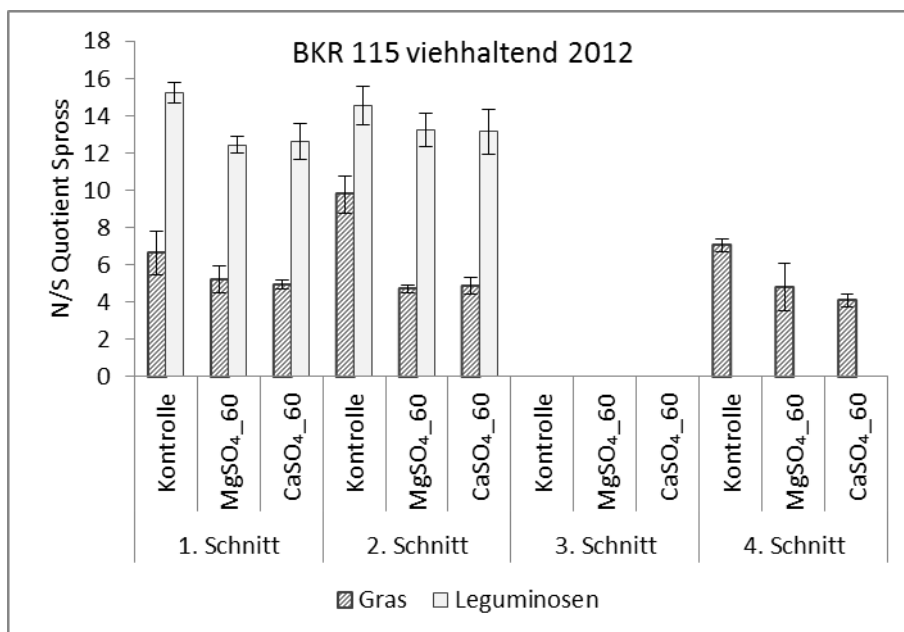


Abbildung 15: Stickstoff/Schwefel Verhältnis Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten Standort BKR 115 viehhaltend 2012

4.2.1.3 Erträge Nachfrucht, sowie S- und N- Konzentrationen

Die Leistungen der Nachfrucht Silomais auf dem Standort BKR 115 viehhaltend sind in Tabelle 10 aufgeführt. Signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Behandlungen konnten nicht festgestellt werden. Unter den gegebenen Umständen ergab sich für die Nachfrucht Silomais keine Wirkung durch eine verbesserte Schwefelversorgung.

Tabelle 10: Erträge und Inhaltsstoffe von Silomais nach Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 115 viehhaltend 2013

Variante	Kontrolle	MgSO ₄	CaSO ₄	MgSO ₄ in Mais
Kolbenertrag TS dt ha ⁻¹	84,1	101,0	87,0	83,2
Gesamtpflanzenertrag 35 % TS	295,6	261,0	288,4	231,8
S-Konzentration Einknotenstadium	0,37	0,36	0,37	-
S-Konzentration Korn	0,2	0,2	0,19	0,2
N-Konzentration Einknotenstadium	4,5	4,6	4,5	-
N-Konzentration Korn	1,7	1,7	1,8	1,8
N/S Einknotenstadium	12,3	12,7	12,2	-
N/S Korn	8,2	8,8	9,8	8,4
N-Flächenertrag Kolben	140,8	178,3	160,9	149,6
S-Abfuhr Kolben	17,24	21,13	16,42	18,37

4.2.2 BKR 115 viehhaltend Anbaufolge 2013/2014

4.2.2.1 S- und N-Dynamik Boden und Pflanze

Der gemessene Gesamtgehalt an Schwefel lag an diesem Standort in der Tiefenstufe 0-90 cm bei rund einer t ha⁻¹ (ohne Abbildung). Eine Beeinflussung durch die Düngungsmaßnahmen konnte über den Messzeitraum nicht festgestellt werden.

Der S_{min}-Ausgangswert für die Vegetation 2013 lag auf dem Standort BKR 115 viehhaltend im März von 0-30 cm bei 7,4 kg ha⁻¹, bis 60 cm Tiefe bei 9,7 kg ha⁻¹, und in der Tiefe bis 90 cm bei insgesamt rund 14,9 kg ha⁻¹ (Abbildung 16).

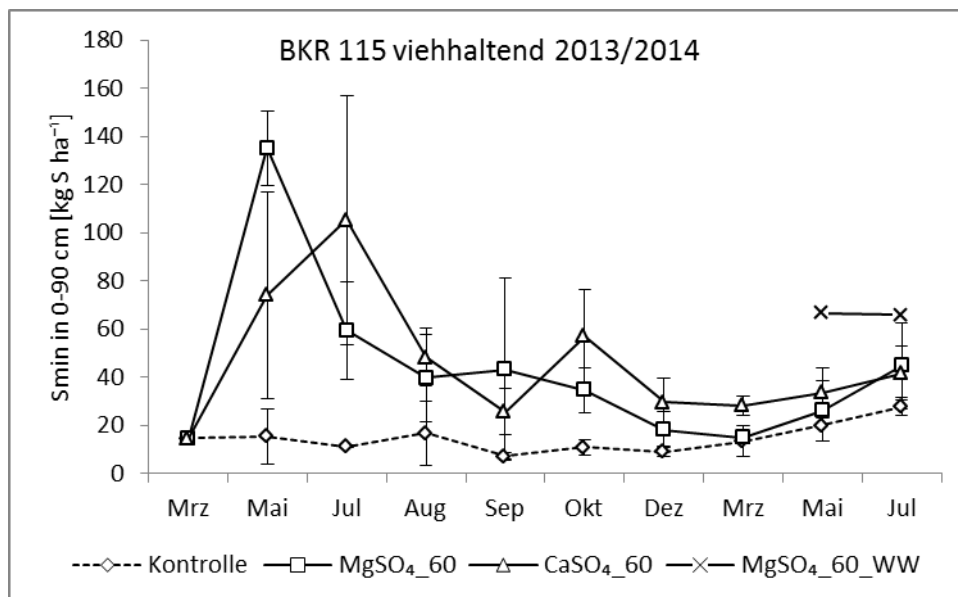


Abbildung 16: S_{min}-Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Silomais von März 2013 bis Juli 2014. Umbruch Oktober 2013, Aussaat Mais Ende April 2014. Standort BKR 115, viehhaltend

In der ungedüngten Kontrollvariante blieb dieser Wert durchgehend auf niedrigem Niveau und stieg erst wieder im Frühjahr des Folgejahres unter Mais an.

In den mit Schwefel gedüngten Varianten kam es nach der Düngung zu einem deutlichen Anstieg des S_{min}-Wertes auf über 100 kg S_{min} ha⁻¹, der dann im Verlauf der Vegetation durch Pflanzenentzug oder Festlegung in der organischen Substanz wieder abnahm. Im Oktober 2013 zum Umbruch der Futterleguminosen wurde der höchste S_{min}-Wert (60 kg S_{min} ha⁻¹) in der Variante gefunden, die mit CaSO₄ gedüngt wurde. Dies zeigte sich in allen drei Tiefenstufen (Abbildung 17). Dieser Unterschied zu der mit

MgSO₄ gedüngten Variante entspricht dem Messergebnis aus dem Vorjahr, soll hier aber nicht weiter diskutiert werden. Nach dem Umbruchtermin Oktober verringerten sich die S_{min}-Werte in den beiden gedüngten Varianten zum Dezember hin, entweder durch Verlagerung oder Einbindung in die organische Substanz (Abbildung 16). Der S_{min}-Ausgangswert im März 2014 lag in den gedüngten Varianten mit rund 30 kg S_{min} ha⁻¹ doppelt so hoch wie in der ungedüngten Variante. Dieser Abstand blieb auch bei Einsetzen der S-Mineralisation bestehen. Der in dem Mais direkt gedüngte Schwefel fand sich in den Messungen im Mai und Juli in hohem Maße wieder.

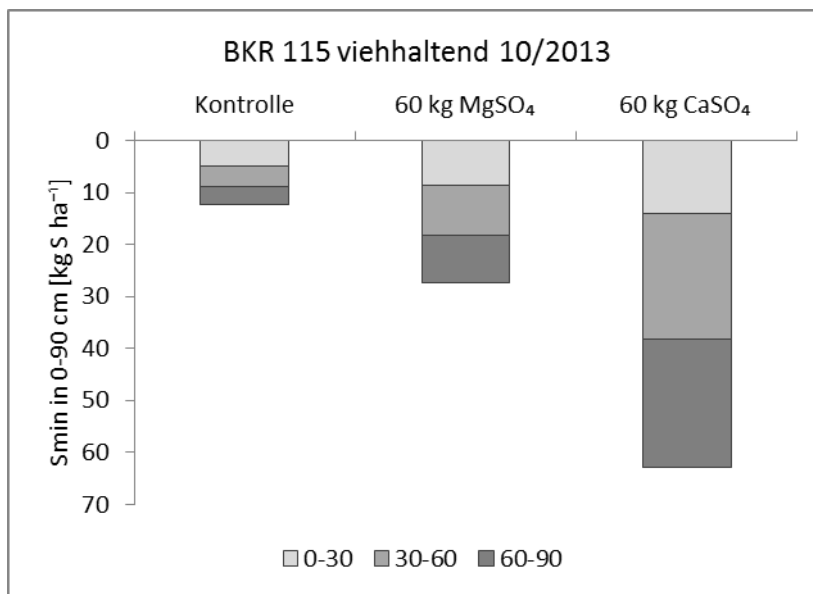


Abbildung 17: S_{min}-Werte zum Umbruch Futterleguminosen/Gras-Gemenge Oktober 2013 bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Futterleguminosen/Gras-Gemenge, Standort BKR 115, viehhaltend

Abbildung 18 zeigt die Mengen an Schwefel, die mit den Pflanzen abgefahren wurden. Es wird deutlich, dass bei den Futterleguminosen in den gedüngten Varianten in allen Schnitten eine deutlich höhere Menge an S eingebunden war und somit auch mehr S dem Boden entzogen wurde. Der in den Maiskolben gefundene höhere Schwefelgehalt bei den gedüngten Varianten zeigte sich dagegen als nicht signifikant.

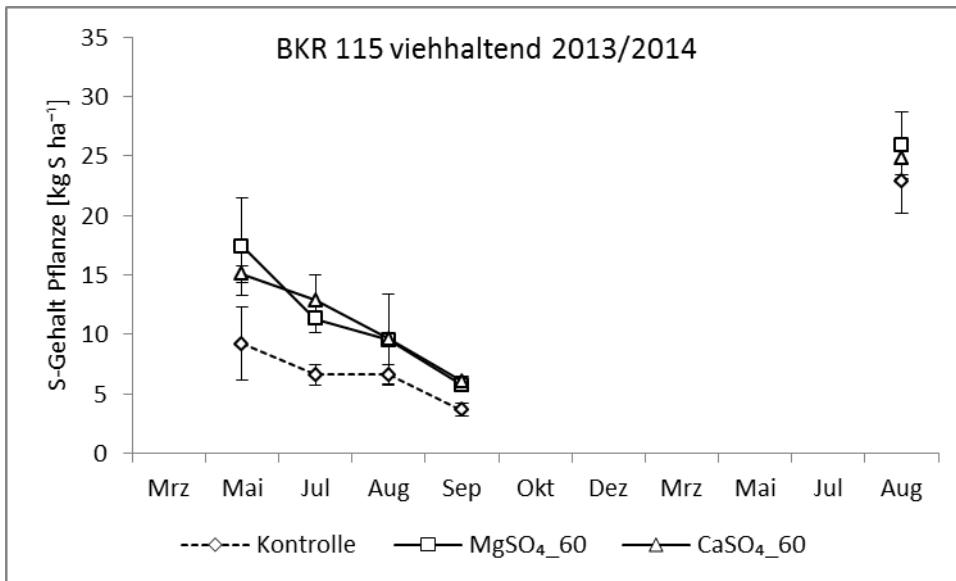


Abbildung 18: Schwefelmengen im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnitzeitpunkten und Schwefelmenge im Korn der Nachfrucht Silomais, Anbaufolge 2013/2014 Standort BKR 115, viehhaltend

Eine Differenzierung der N_{\min} -Werte im Jahr 2014 zwischen den verschiedenen Varianten unter Mais konnte nicht gezeigt werden. Der hohe Anstieg des Wertes im Frühjahr ist bedingt durch die vom Betrieb durchgeführte Güllegabe (Abbildung 19).

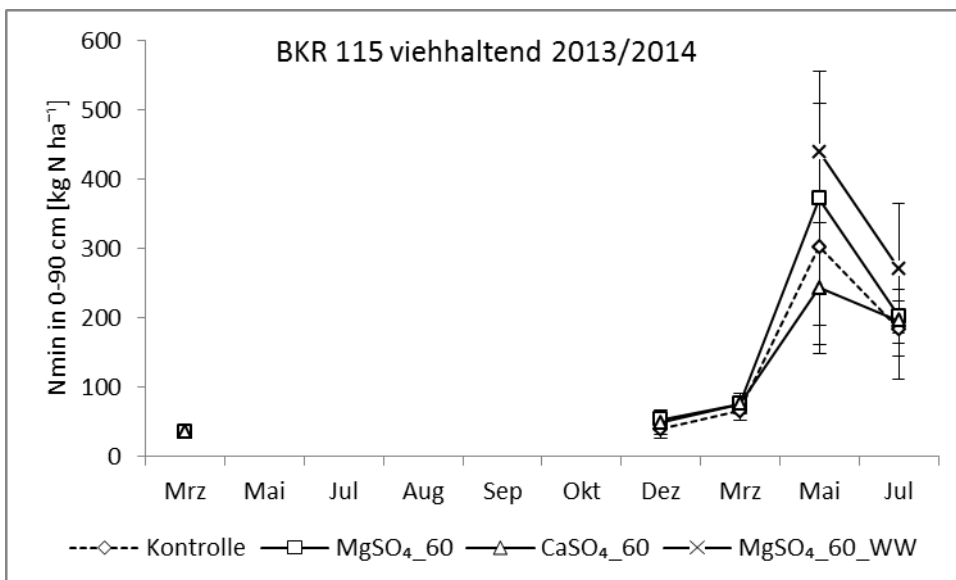


Abbildung 19: N_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Silomais von Dezember 2013 bis Juli 2014. Umbruch Oktober 2013, Aussaat Mais Ende April 2014. Standort BKR 115, viehhaltend

In Abbildung 20 wird deutlich, dass in den mit Schwefel gedüngten Varianten während des legumen Futterbaus im Aufwuchs höhere Mengen an Stickstoff eingebunden war als bei ungedüngt. Höhere Stickstoffgehalte fanden sich auch in den Maiskolben im Folgejahr 2014, was aber auch durch die Gülledüngung, die unter Praxisbedingungen und nicht exakt durchgeführt wurde, verursacht sein könnte.

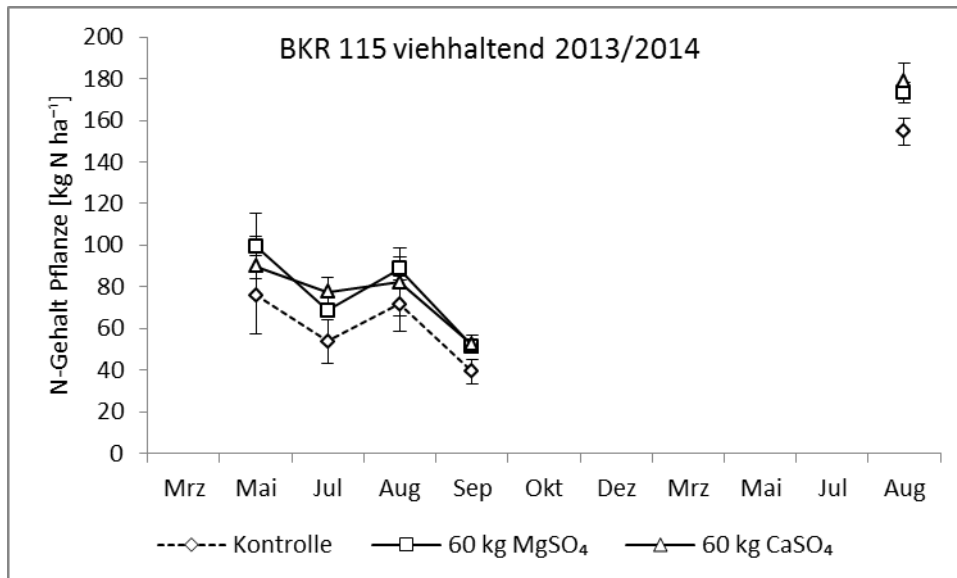


Abbildung 20: Stickstoffmengen im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnitzeitpunkten und Schwefelmengen im Korn der Nachfrucht Silomais, Anbaufolge 2013/2014 Standort BKR 115, viehhaltend

4.2.2.2 Erträge Futterleguminosen, sowie S- und N- Konzentrationen und N/S-Quotient

Die Trockenmasseerträge der Futterleguminosen auf dem Standort BKR 115 viehhaltend 2013 waren nur in geringem Maße durch die Düngungsmaßnahmen beeinflusst (Abbildung 21). In der Summe über die vier Schnitte wurden in der ungedüngten Kontrollvariante 92 dt TS ha⁻¹ gemessen und in den gedüngten Varianten 105 dt TS ha⁻¹ (nicht signifikant). Auch die Zusammensetzung des Gemenges (Leguminose/Gras) wurde durch die Düngungsmaßnahmen nicht beeinflusst.

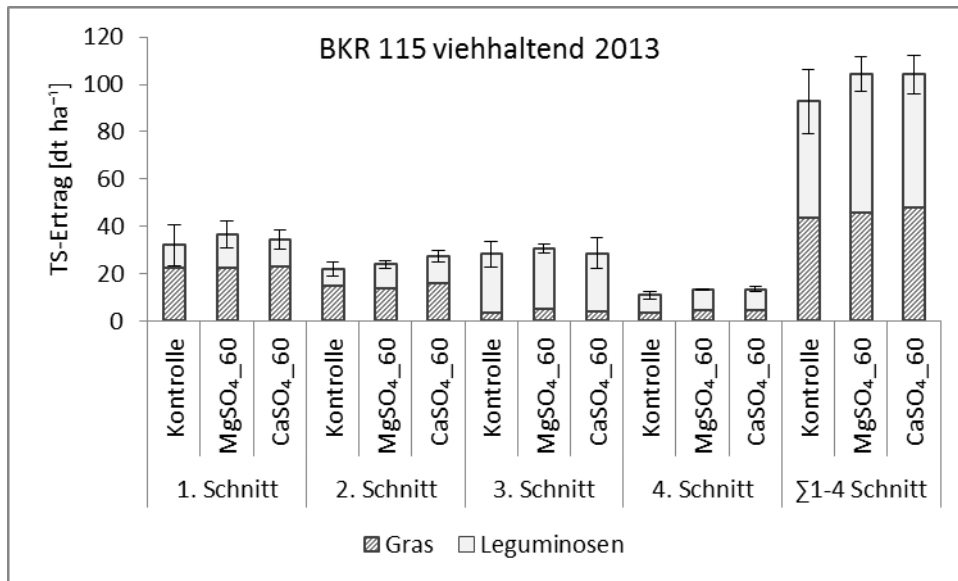


Abbildung 21: Trockensubstanzertrag Futterleguminosens/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 115 vieldaltend 2013

Die S-Konzentrationen im Aufwuchs lagen bei gedüngt gegenüber ungedüngt auf einem durchweg höheren Niveau (Abbildung 22), besonders bei den Leguminosens zum ersten Schnitt (0,4 % zu 0,3 %) und bei den Gräsern zum zweiten Schnitt (0,6 % zu 0,3 %).

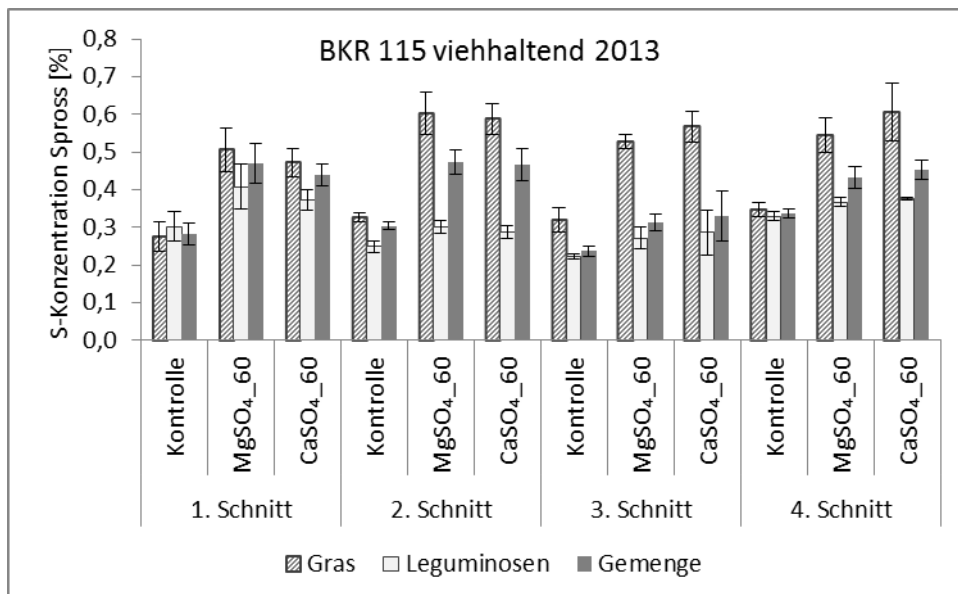


Abbildung 22: Schwefelkonzentration von Futterleguminosens/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 115 vieldaltend 2013

Auch die N-Konzentration erhöhte sich durch die Schwefelbehandlungen, in den ersten beiden Schnitten zunächst nur bei den Leguminosen, bei den Folgeschnitten dann auch bei den Gräsern, die anscheinend von der besseren N-Fixierleistung der Leguminosen in Form eines N-Transfers profitieren konnten (Abbildung 23). Die Änderungen bei den N- und S-Konzentrationen führten trotz des Anstieg der N-Konzentration zu einer Verengung des N/S-Verhältnisses (Abbildung 24), wobei auch bei ungedüngt der als kritisch angesehene Wert von 15 nicht erreicht wurde.

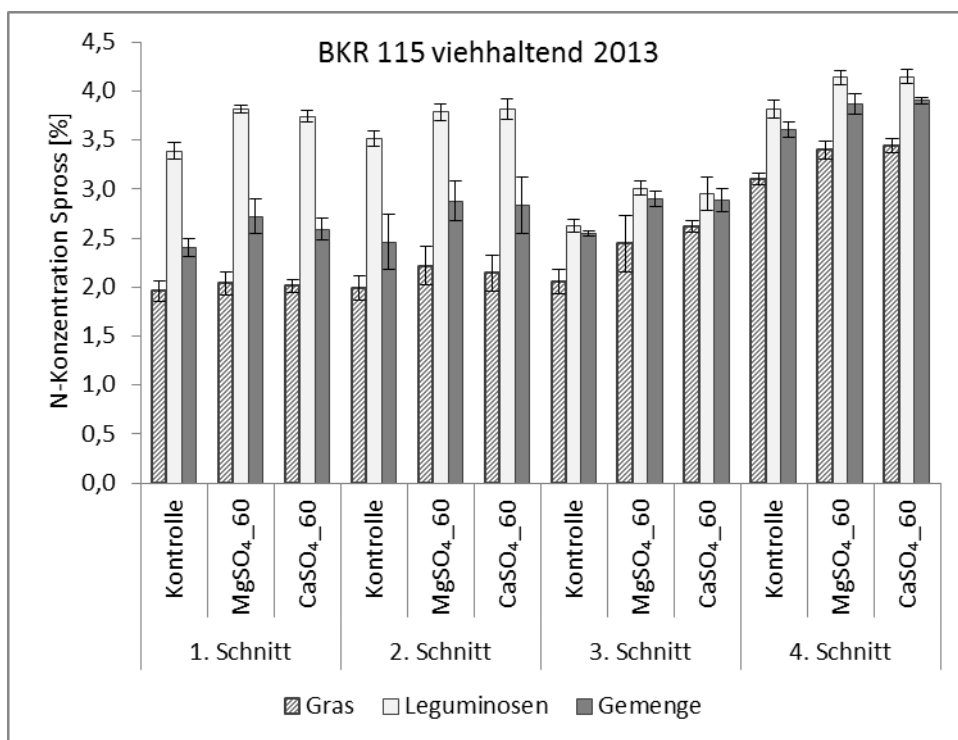


Abbildung 23: Stickstoffkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 115 viehhaltend 2013

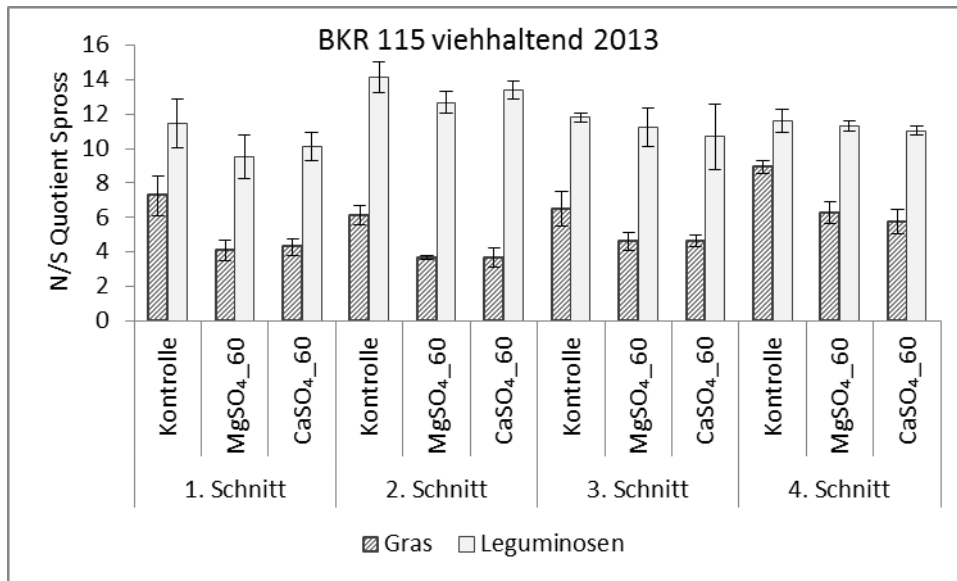


Abbildung 24: Stickstoff/Schwefel Verhältnis Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten Standort BKR 115 viehhaltend 2013

Der N-Flächenertrag erhöhte sich bei den behandelten Varianten um 50 kg N ha⁻¹ von 250 kg N ha⁻¹ auf 300 kg N ha⁻¹ (Abbildung 25) und die Abfuhr an Schwefel durch die Ernten um ca. 10 kg S ha⁻¹ von etwas über 20 kg S ha⁻¹ auf etwas über 30 kg S ha⁻¹ (Abbildung 26).

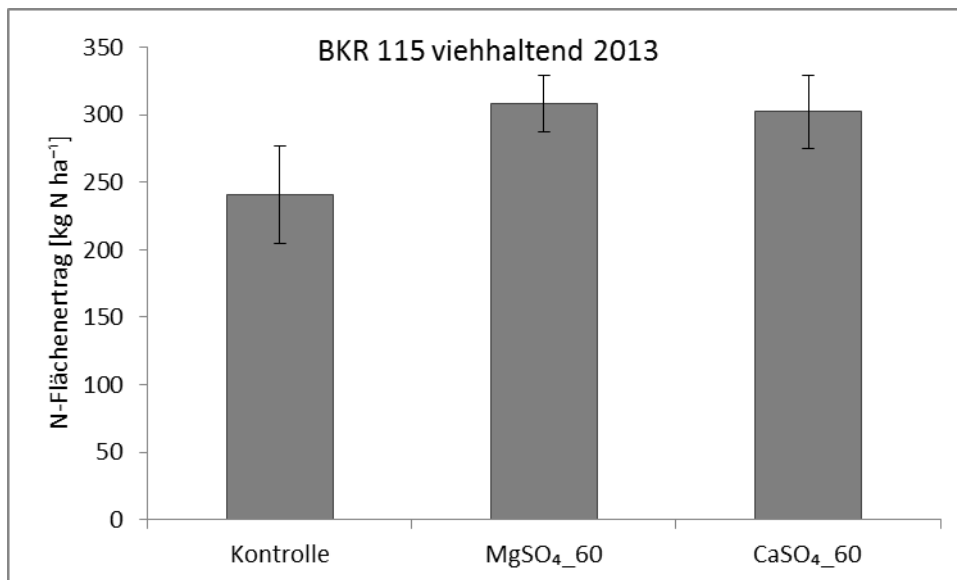


Abbildung 25: Stickstoffertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 115 viehhaltend 2013

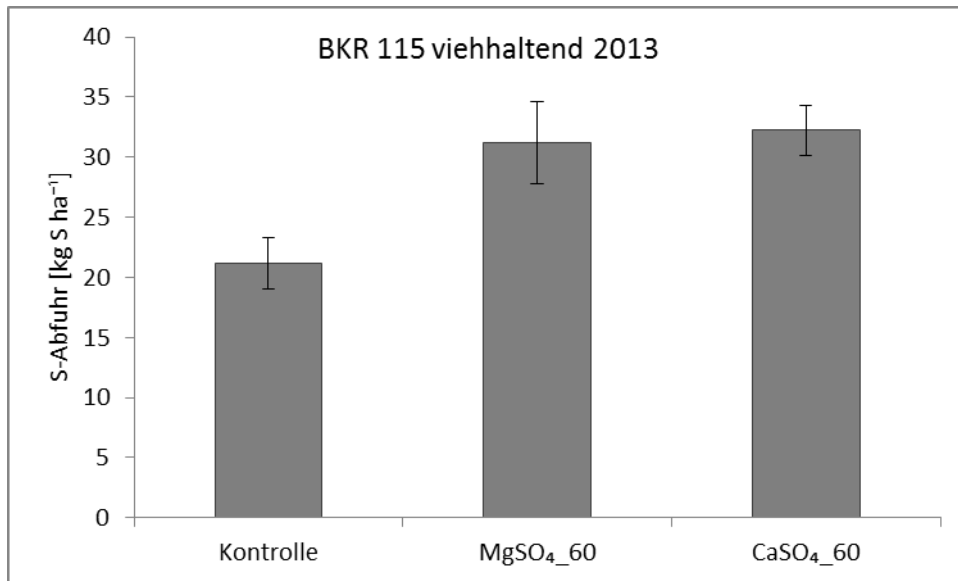


Abbildung 26: Schwefelentzug Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 115 viehhaltend 2013

4.2.2.3 Erträge Nachfrucht, sowie S- und N- Konzentrationen

Tabelle 11 beinhaltet die Leistungen der Nachfrucht Silomais 2014 auf dem Standort BKR 115 viehhaltend. Der Kolbenertrag erhöhte sich durch die Schwefeldüngung im Vorjahr in den Futterleguminosen signifikant um 13 dt ha⁻¹. Auch der Gesamtpflanzen-ertrag (geerntet bei 35 % TS) stieg bei einer Schwefeldüngung im Vorjahr signifikant gegenüber ungedüngt an (Mehrertrag von 56 dt ha⁻¹ bzw. 93 dt ha⁻¹).

Die Schwefel- und Stickstoffkonzentrationen im Korn blieben unbeeinflusst, durch den höheren Ertrag wurden aber mit den Maiskolben signifikant höhere Mengen an Stickstoff gegenüber ungedüngt geerntet.

Die direkte S-Düngung in den Mais brachte gegenüber der ungedüngten Kontrollvariante keine signifikanten Verbesserungen.

Tabelle 11: Erträge und Inhaltsstoffe von Silomais nach Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 115 viehhaltend 2014

Variante	Kontrolle	MgSO ₄	CaSO ₄	MgSO ₄ in Mais
Kolbenertrag TS dt ha ⁻¹	104,8	117,0*	117,3*	109,9
Gesamtpflanzenenertrag 35 % TS	442,0	498,7*	535,5*	455,8
S-Konzentration Korn	0,22	0,22	0,21	0,22
N-Konzentration Korn	1,5	1,5	1,5	1,5
N/S Korn	6,8	6,8	7,2	6,5
N-Flächenertrag Kolben	154,6	173,4*	178,7*	161,6
S-Abfuhr Kolben	22,85	25,93	24,86	24,76

4.2.3 BKR 115 viehlos Anbaufolge 2012/2013

4.2.3.1 S- und N-Dynamik Boden und Pflanze

Der gemessene Gesamtgehalt an Schwefel lag an diesem Standort in der Tiefenstufe 0-90 cm bei rund zwei t ha⁻¹ (ohne Abbildung). Eine Beeinflussung durch die Düngungsmaßnahmen konnte über den Messzeitraum nicht festgestellt werden.

Der S_{min}-Ausgangswert für die Vegetation 2012 lag auf dem Standort BKR 115 viehlos im März von 0-30 cm bei 16,8 kg ha⁻¹, bis 60 cm Tiefe bei 20,4 kg ha⁻¹, und, da in der Tiefe bis 90 cm nochmals fast 30 kg zusätzlich vorlagen, bei insgesamt rund 47,5 kg ha⁻¹ (Abbildung 27).

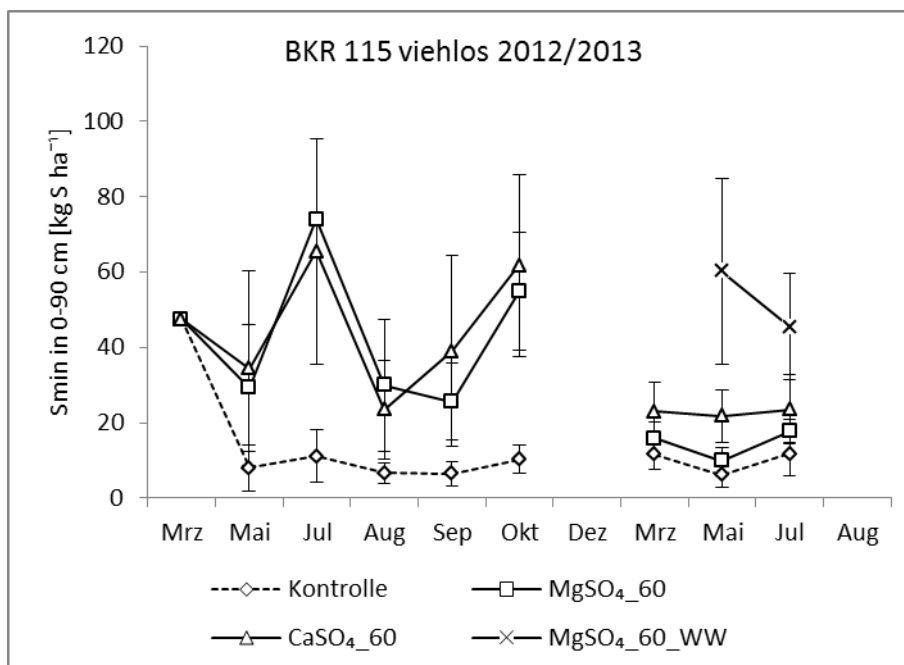


Abbildung 27: S_{min}-Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Winterweizen von März 2012 bis Juli 2013. Umbruch und Weizenaussaat Oktober 2012, Standort BKR 115, viehlos

Im Verlauf der Vegetation 2012 sank der S_{min}-Wert in der ungedüngten Variante unter 20 kg ha⁻¹ ab und blieb konstant auf dem niedrigen Niveau. Dagegen sank der S_{min}-Wert in den gedüngten Varianten zum ersten Schnitt auf ca. 40 kg ha⁻¹, was auch ein Hinweis auf einen ungenauen Ausgangswert im März sein kann. Zum zweiten Schnitt zeigten sich in den gedüngten Varianten die höchsten S_{min}-Werte mit über 60 kg ha⁻¹. Die Werte zeigten in den Wiederholungen eine große Varianz, so dass der Rückgang

des S_{\min} -Wertes zum August und der folgende Anstieg bis Oktober in der Realität vermutlich weniger ausgeprägt waren. Abbildung 28 zeigt, dass in der ungedüngten Kontrollvariante der Vorrat an S_{\min} in allen drei Tiefenstufen nahezu ausgeschöpft war, während in den gedüngten Varianten mit bis zu $100 \text{ kg } S_{\min} \text{ ha}^{-1}$ in der Tiefenstufe 0-90 cm deutliche Mengen gefunden wurden.

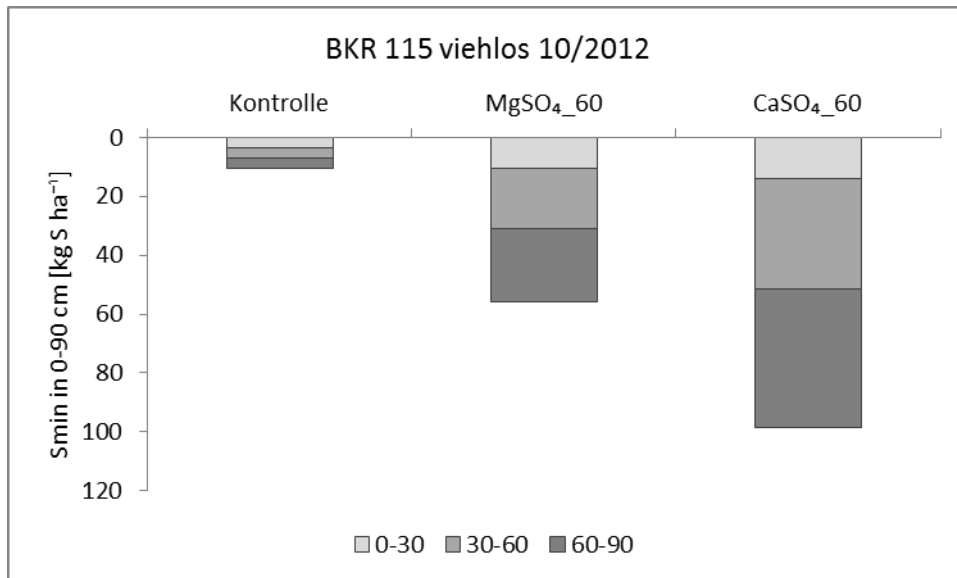


Abbildung 28: S_{\min} -Werte zum Umbruch Futterleguminosen/Gras-Gemenge und Weizenaussaat Oktober 2012 bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Futterleguminosen/Gras-Gemenge, Standort BKR 115, viehlos

Im Verlauf der Folgevegetation 2013 lagen die S_{\min} -Werte in den im Vorjahr gedüngten Varianten über der ungedüngten Kontrolle (Abbildung 27), wobei in der mit CaSO_4 gedüngten Variante höhere Werte als bei MgSO_4 gedüngt gemessen wurden. Die Düngung im Frühjahr 2013 in Winterweizen mit 60 kg S in Form von MgSO_4 zeigte sich zu diesen Messzeitpunkten in dementsprechend höchsten S_{\min} -Werten.

Der Schwefelentzug durch den Futterleguminosenbestand und die Schwefelabfuhr durch das Winterweizenkorn ist in Abbildung 29 dargestellt. In dem Futterleguminosenbestand war gegenüber ungedüngt durchgehend ungefähr die doppelte Menge an Schwefel eingebunden. Im Winterweizenkorn lagen die Werte zwischen den einzelnen Varianten dagegen eng beisammen.

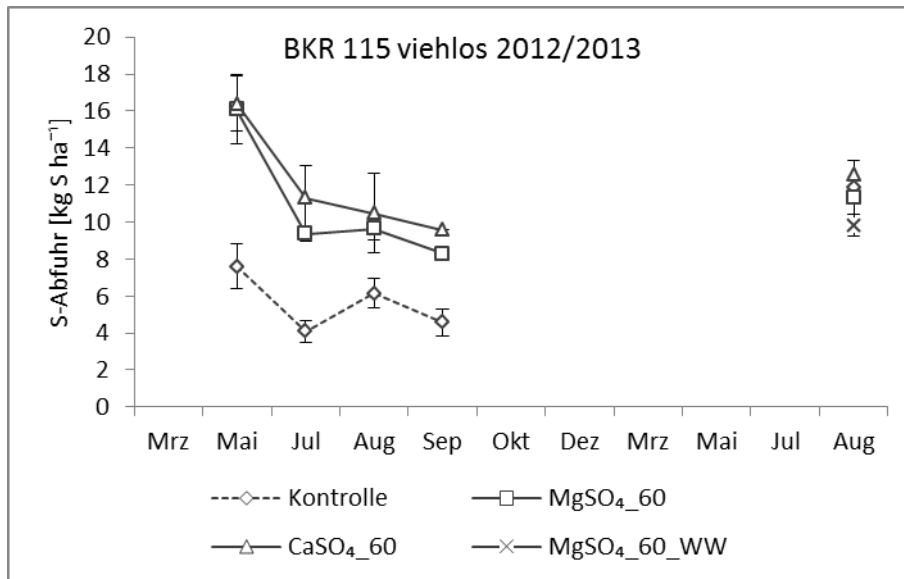


Abbildung 29: Schwefelmengen im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnitzeitpunkten und Schwefelmenge im Korn der Nachfrucht Winterweizen, Anbaufolge 2012/2013 Standort BKR 115, viehlos

Die Messung des N_{\min} -Gehaltes zeigte zum Umbruch im Oktober 2012 tendenziell höhere Werte in den mit Schwefel gedüngten Varianten gegenüber ungedüngt (Abbildung 30). Zum Ausgang Frühjahr 2013 lagen dagegen alle Werte gleichmäßig auf einem Wert etwas unter 30 kg ha^{-1} . Zum Mai hin blieben die Werte stabil oder nahmen etwas zu, während zum Juli sich der N_{\min} -Vorrat entleerte. Unterschiede zwischen den Varianten gab es keine. Im April wurde der Weizen gleichmäßig von dem landwirtschaftlichen Betrieb mit Biogasgülle gedüngt, was mögliche Effekte durch die S-Düngung in der Vorfrucht überlagert haben könnte.

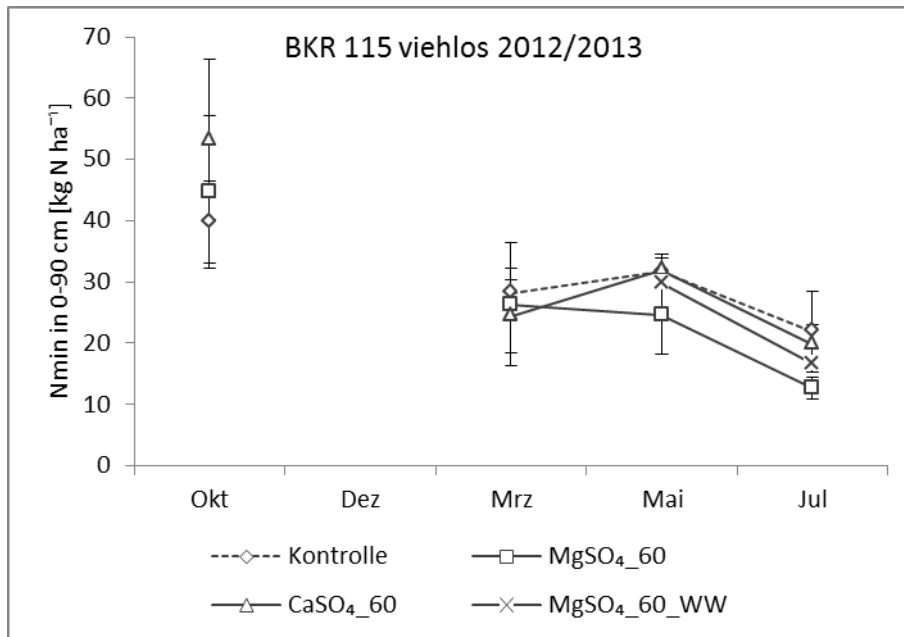


Abbildung 30: N_{min}-Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Winterweizen von Oktober 2012 bis Juli 2013. Umbruch und Aussaat Winterweizen Oktober 2012, Standort BKR 115, viehlos

Abbildung 31 zeigt, dass die Stickstoffmengen, die im Futterleguminosenbestand 2012 gebunden waren, wesentlich höher lagen, wenn Schwefel gedüngt wurde. Die Stickstoffmenge, die im Korn der Nachfrucht Winterweizen 2013 gebunden war, differenzierte dagegen nicht zwischen den Varianten.

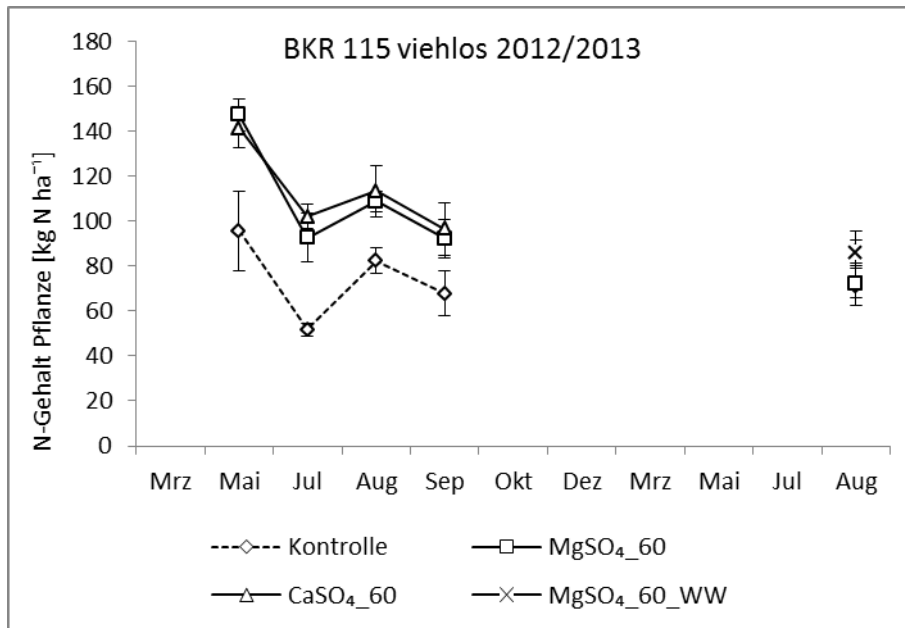


Abbildung 31: Stickstoffmengen im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnittzeitpunkten und Stickstoffmengen im Korn der Nachfrucht Winterweizen, Anbaufolge 2012/2013 Standort BKR 115, viehlos

4.2.3.2 Erträge Futterleguminosen, sowie S- und N- Konzentrationen und N/S-Quotient

Die Trockenmasseerträge in Futterleguminosengemenge wurden in allen vier Schnitten signifikant durch Schwefeldüngungsmaßnahmen erhöht (Abbildung 32). In der Summe lag der Ertrag 30 % bis 40 % über dem Ertrag der Kontrollvariante, in erster Linie bedingt durch eine Ertragszunahme bei den Leguminosen. Im dritten und im vierten Schnitt stieg allerdings auch der Ertrag bei den Gräsern im Vergleich zu ungedüngt.

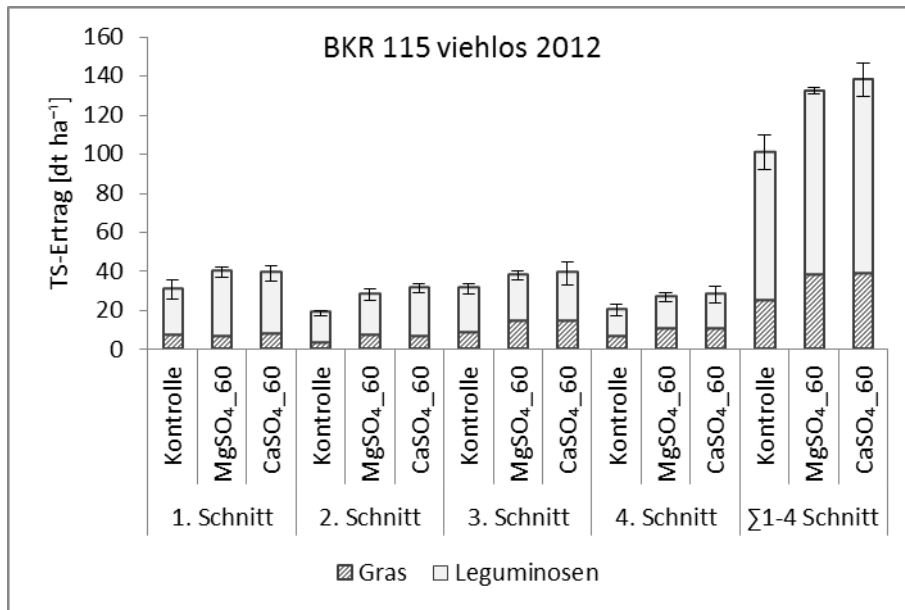


Abbildung 32: Trockensubstanzertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 115 viehlos 2012

Sowohl die S-Konzentrationen als auch die N-Konzentrationen wurden sowohl in den Leguminosen als auch in den Gräsern des Futterbaugemenges durch eine Schwefeldüngung beeinflusst (Abbildung 33 und Abbildung 34). Die höchsten S-Konzentrationen bei den Gräsern lagen etwas unter 0,6 %, bei den Leguminosen bei 0,39 %. Entsprechend dazu lagen die S-Konzentrationen bei ungedüngt zum ersten Schnitt bei 0,3 % im Gras und bei 0,25 % in den Leguminosen.

Die N-Konzentrationen bei den Leguminosen stiegen schon zum ersten Schnitt von unter 3,5 % auf 4 % an, während die Gräser erst ab dem zweiten Schnitt von der verbesserten Fixierleistung des legumen Gemengepartners profitierten.

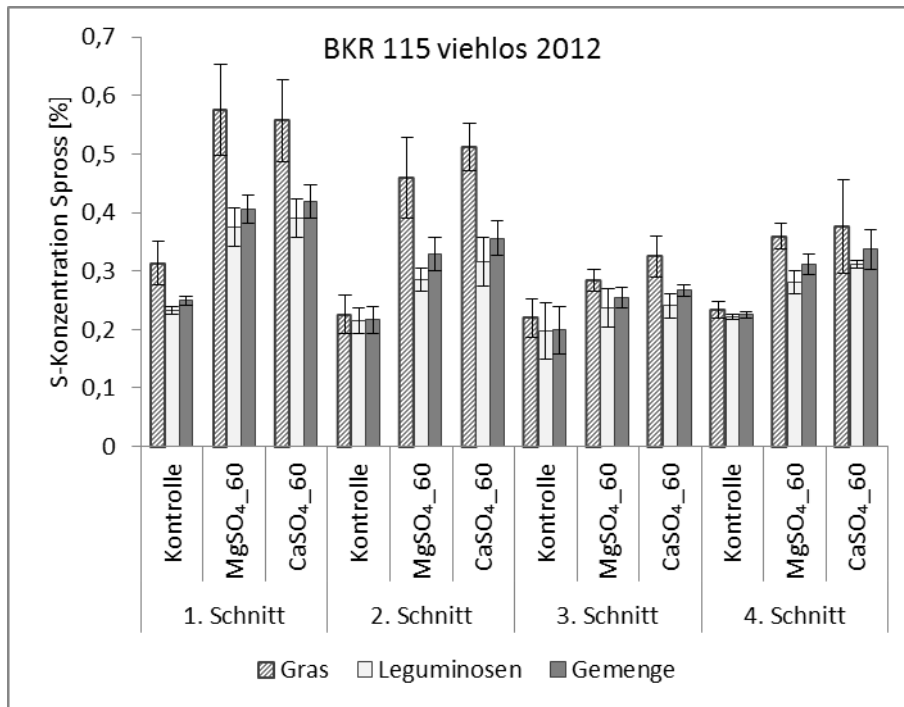


Abbildung 33: Schwefelkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 115 viehlos 2012

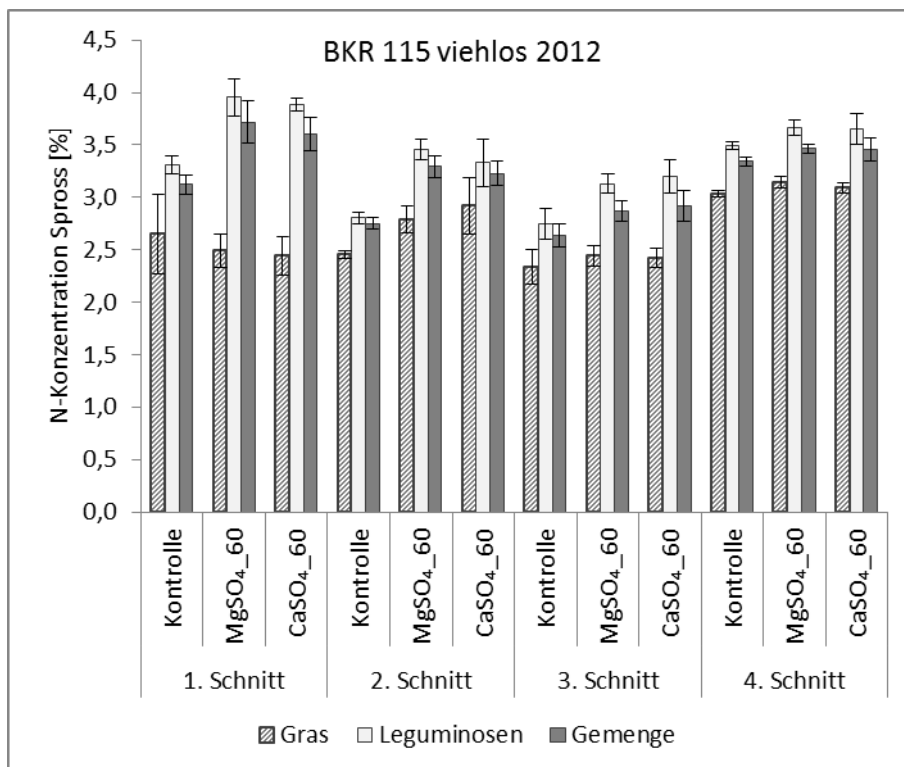


Abbildung 34: Stickstoffkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 115 viehlos 2012

Der aus der N-Konzentration und der S-Konzentration errechnete Quotient zeigt eine deutliche Verringerung bei den Leguminosen von 14 auf 12 sowie eine deutliche Verringerung bei den Gräsern (Abbildung 35).

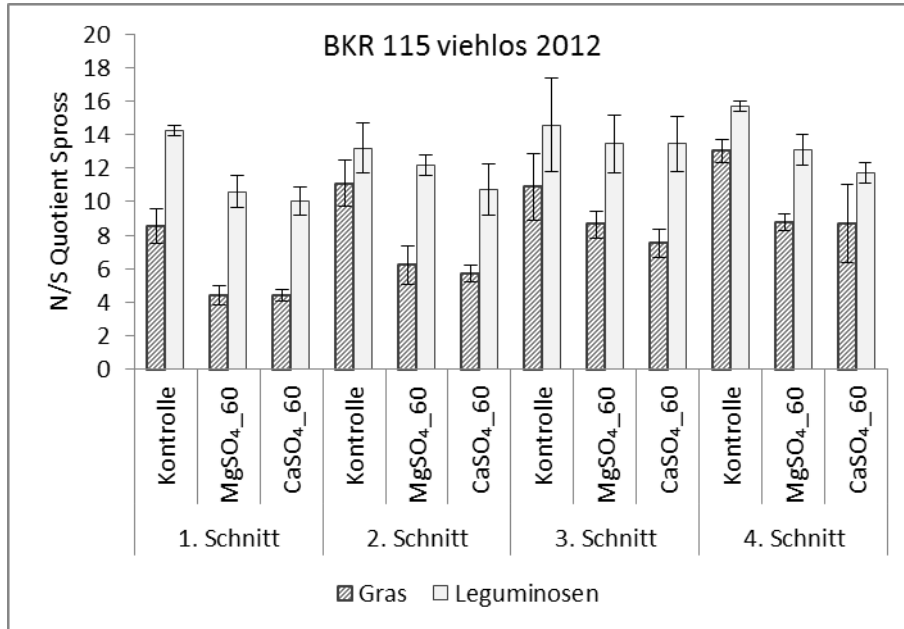


Abbildung 35: Stickstoff/Schwefel Verhältnis Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten Standort BKR 115 viehlos 2012

Abbildung 36 verdeutlicht, dass auf diesem Standort im Jahr 2012 mit dem Futterleguminosenbestand durch die Schwefeldüngungsmaßnahmen rund 150 kg N ha⁻¹ mehr geerntet wurde, was ungefähr 50 % N-Zuwachs gegenüber ungedüngt bedeutet.

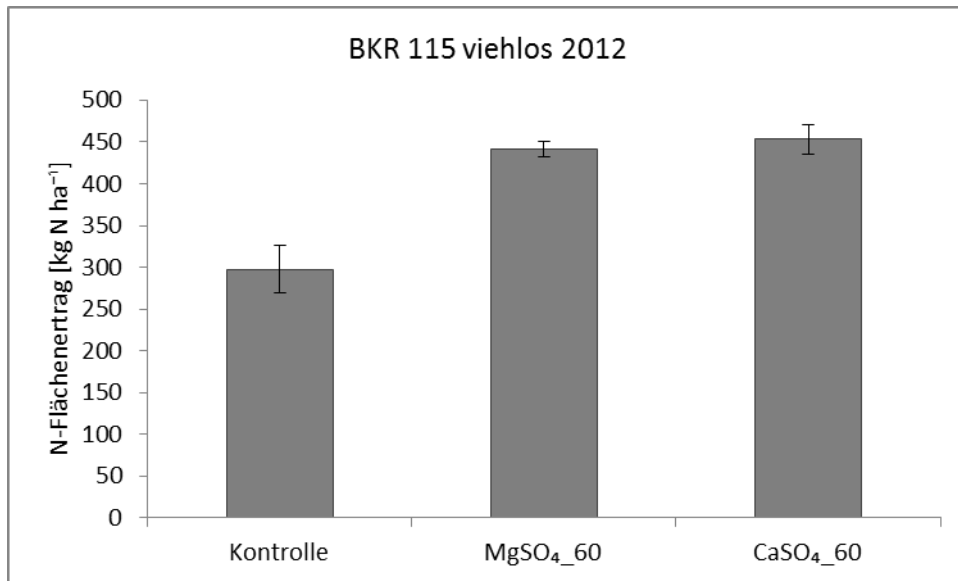


Abbildung 36: Stickstoffertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 115 viehlos 2012

Gleichzeitig wurde unter diesen Bedingungen 22,4 kg Schwefel ha⁻¹ bei ungedüngt abgefahren und 44 bzw. 48 in den mit Schwefel gedüngten Varianten (Abbildung 37).

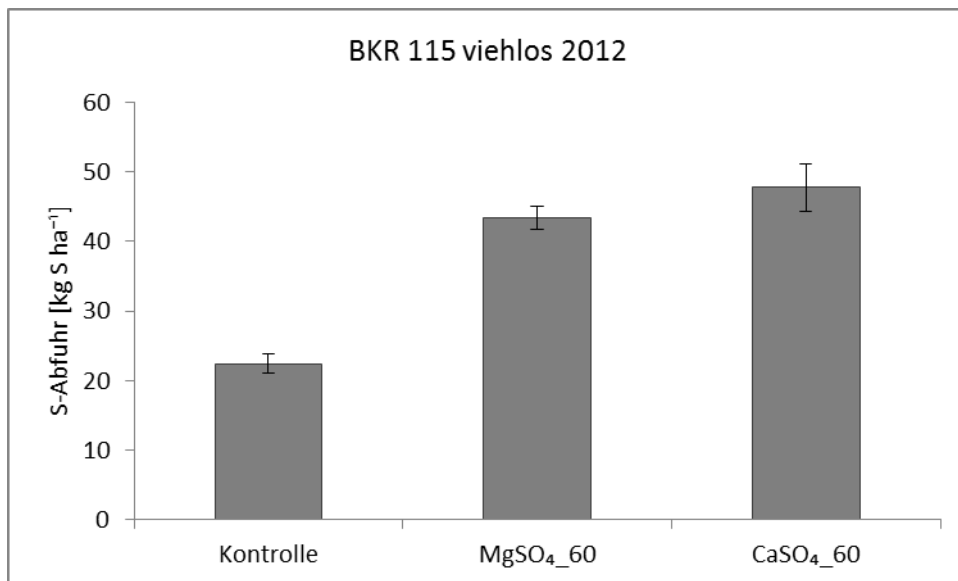


Abbildung 37: Schwefelentzug Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 115 viehlos 2012

4.2.3.3 Erträge Nachfrucht, sowie S- und N- Konzentrationen

Tabelle 12 beinhaltet die Leistungen der Nachfrucht Winterweizen auf dem Standort BKR 115 viehlos. Der Kornertrag konnte durch die Schwefeldüngung im Vorjahr in den Futterleguminosen gegenüber ungedüngt nicht erhöht werden. Möglicherweise hat die im Frühjahr 2013 durchgeführte Düngung des Weizens mit Biogasgülle Vorfruchtdefekte überlagert. Geerntet wurden rund 48 dt Weizenkorn (TS), was ein für den ökologischen Landbau überdurchschnittliches Niveau darstellt. Die Düngung mit Schwefel direkt in Winterweizen brachte tendenziell einen leichten Minderertrag.

Der Strohertrag zeigte sich unbeeinflusst, ebenso die S- und N-Konzentrationen im Korn. Der N-Ertrag, über das Korn von der Fläche abgefahren, erhöhte sich gegenüber der Kontrolle (71,3 kg ha⁻¹) signifikant in der Variante, die in der Vorfrucht mit CaSO₄ gedüngt war (86,3 kg ha⁻¹). Ebenso wurde bei dieser Variante CaSO₄ eine signifikante Erhöhung des S-Entzuges durch das Korn festgestellt (13,5 kg ha⁻¹ gegenüber 10,3 kg ha⁻¹). Eventuell könnte dies auf einen Calciumeffekt zurückzuführen sein.

Tabelle 12: Erträge und Inhaltsstoffe von Winterweizen nach Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 115 viehlos 2013

Variante	Kontrolle	MgSO ₄	CaSO ₄	MgSO ₄ in Winterweizen
Kornertrag TS dt ha ⁻¹	47,6	46,6	47,9	41,2
Strohertrag TS	63,3	63,8	68,5	63,3
S-Konzentration Vegetationsbeginn	0,5	0,49	0,54	-
S-Konzentration Einknotenstadium	0,25	0,26	0,29	0,26
S-Konzentration Korn	0,25	0,24	0,26	0,24
N-Konzentration Vegetationsbeginn	5,32	5,38	5,5	-
N-Konzentration Einknotenstadium	2,58	2,62	2,64	-
N-Konzentration Korn	1,72	1,68	1,72	1,76
N-Flächenertrag Korn	71,33	72,35	86,34*	85,61
S-Abfuhr Korn	10,32	10,47	13,15*	11,63

4.2.4 BKR 115 viehlos Anbaufolge 2013/2014

4.2.4.1 S- und N-Dynamik Boden und Pflanze

Der gemessene Gesamtgehalt an Schwefel lag an diesem Standort in der Tiefenstufe 0-90 cm bei ca. $0,5 \text{ t ha}^{-1}$ (ohne Abbildung). Eine Beeinflussung durch die Düngungsmaßnahmen konnte über den Messzeitraum nicht festgestellt werden.

Der S_{\min} -Ausgangswert für die Vegetation 2013 lag auf dem Standort BKR 115 viehlos im März von 0-30 cm bei $3,1 \text{ kg ha}^{-1}$, bis 60 cm Tiefe bei $5,2 \text{ kg ha}^{-1}$, und von 0-90 cm bei insgesamt $7,6 \text{ kg ha}^{-1}$ (Abbildung 38).

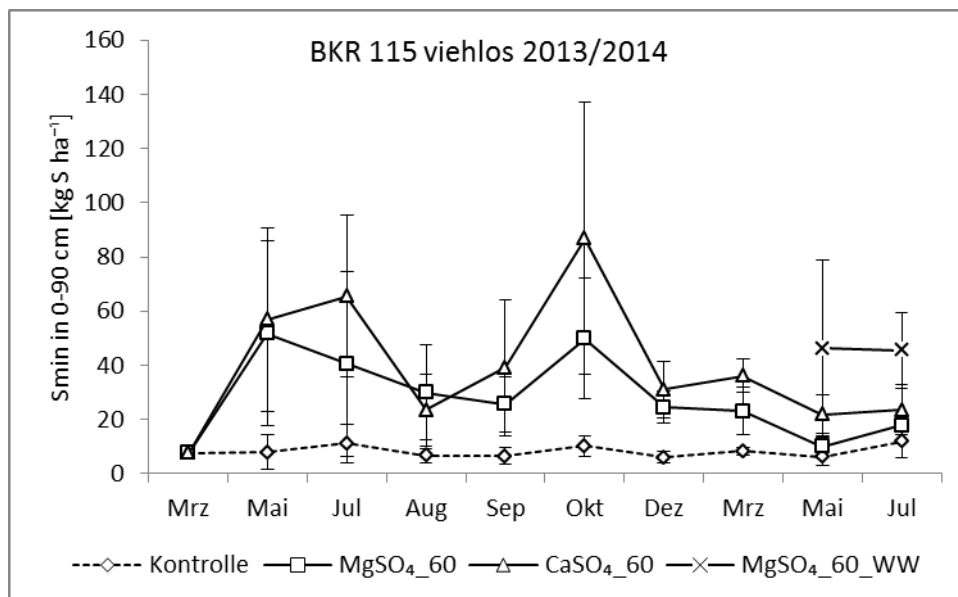


Abbildung 38: S_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Winterweizen von März 2013 bis Juli 2014. Umbruch und Weizenaussaat Oktober 2013. Standort BKR 115, viehlos

In der Variante ungedüngt blieb der S_{\min} -Wert während der Anbaufolge auf diesem niedrigen Niveau, während der S_{\min} -Wert in den Schwefelgedüngten Varianten entsprechend der Düngegabe von 60 kg S ha^{-1} zunächst anstieg und dann bis zum vierten Schnitt im September wieder auf ca. 40 kg S ha^{-1} zurückzugehen. Zum Herbst hin stiegen die S_{\min} -Werte wieder an, wobei wiederum die höchsten löslichen Schwefelmengen in der CaSO_4 -Variante gemessen wurden (Abbildung 38). Über Winter verminderten sich die Schwefelgehalte in der Form, dass die S_{\min} -Werte in der MgSO_4 -Variante in der Vegetation 2014 unter Winterweizen nur noch ca. $5 \text{ kg S}_{\min} \text{ ha}^{-1}$ und die S_{\min} -Werte

in der CaSO_4 -Variante noch ca. $12 \text{ kg S}_{\text{min}} \text{ ha}^{-1}$ über der Kontrolle lagen. Der direkt zum Winterweizen gedüngte Schwefel zeigte sich in entsprechend hohen S_{min} -Werten im Mai und Juni 2014.

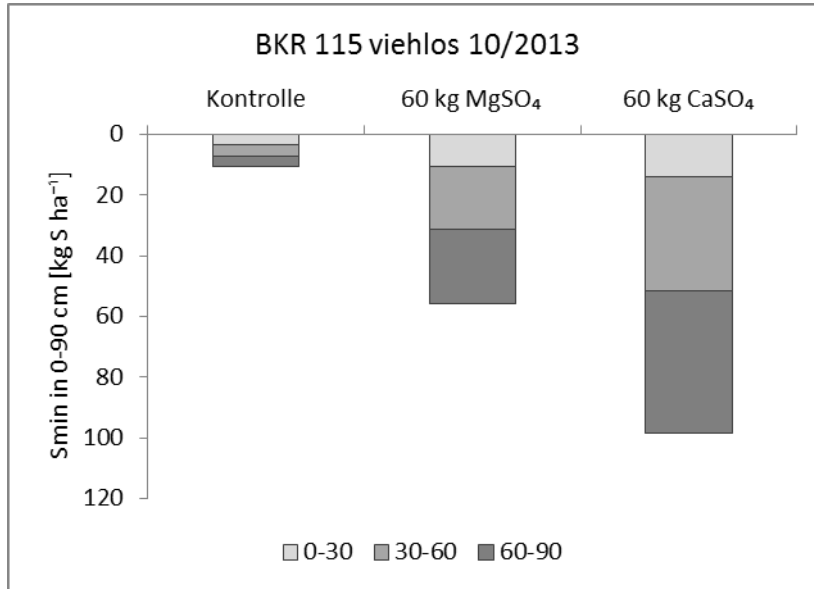


Abbildung 39: S_{min} -Werte zum Umbruch Futterleguminosen/Gras-Gemenge und Weizenaussaat Oktober 2013 bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Futterleguminosen/Gras-Gemenge, Standort BKR 115, viehlos

Bei den Pflanzendaten konnte der erste Schnitt nicht erfasst werden. Dennoch wird deutlich, dass in den Folgeschnitten 2-4 höhere Mengen an Schwefel in den Futterleguminosenbeständen aufgenommen wurden, wenn Schwefel gedüngt wurde (Abbildung 40), insbesondere zum zweiten Schnitt.

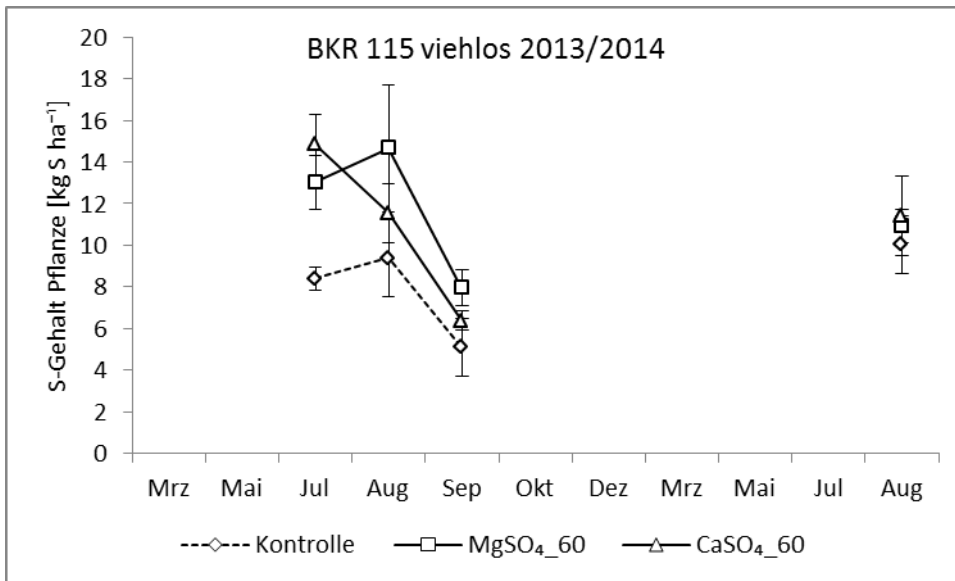


Abbildung 40: Schwefelmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnitzeitpunkten und Schwefelmenge im Korn der Nachfrucht Winterweizen, Anbaufolge 2013/2014 Standort BKR 115, viehlos

Auch die Menge an Stickstoff, die in dem Aufwuchs der Futterleguminosen gebunden war, wurde tendenziell erhöht, wenn eine Schwefeldüngung vorgenommen wurde (Abbildung 41).

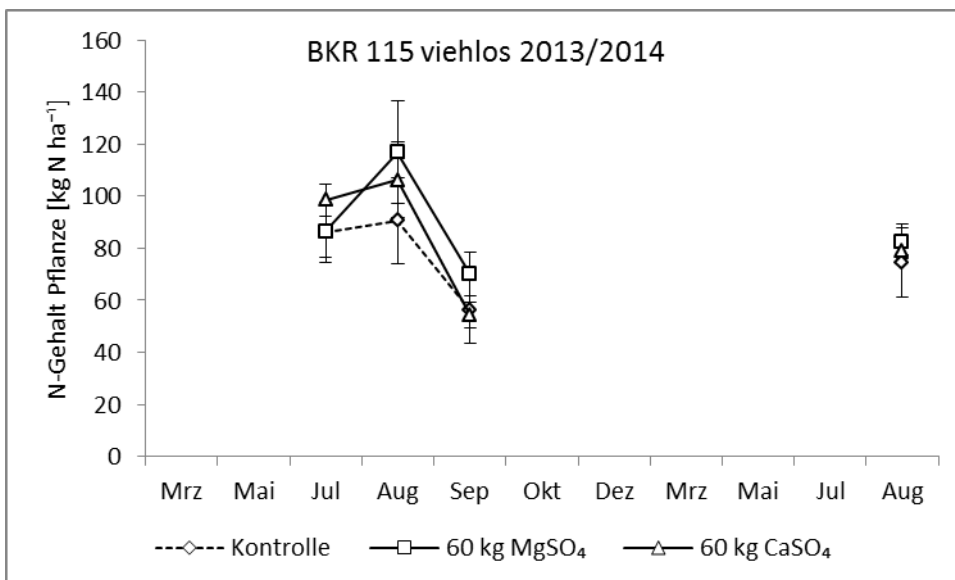


Abbildung 41: Stickstoffmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnitzeitpunkten und Schwefelmenge im Korn der Nachfrucht Winterweizen, Anbaufolge 2013/2014 Standort BKR 115, viehlos

Nach dem Umbruch des Futterleguminosenbestandes im Oktober wurden in den mit Schwefel gedüngten Varianten höhere N_{\min} -Werte gemessen (ca. $10 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ über $26 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ bei ungedüngt), im Verlauf der Vegetation 2014 zeigte sich aber ein undifferenziertes Bild, was auch von der Düngergabe in Form von Biogasgülle in den Weizen im Frühjahr geprägt sein kann (Abbildung 42).

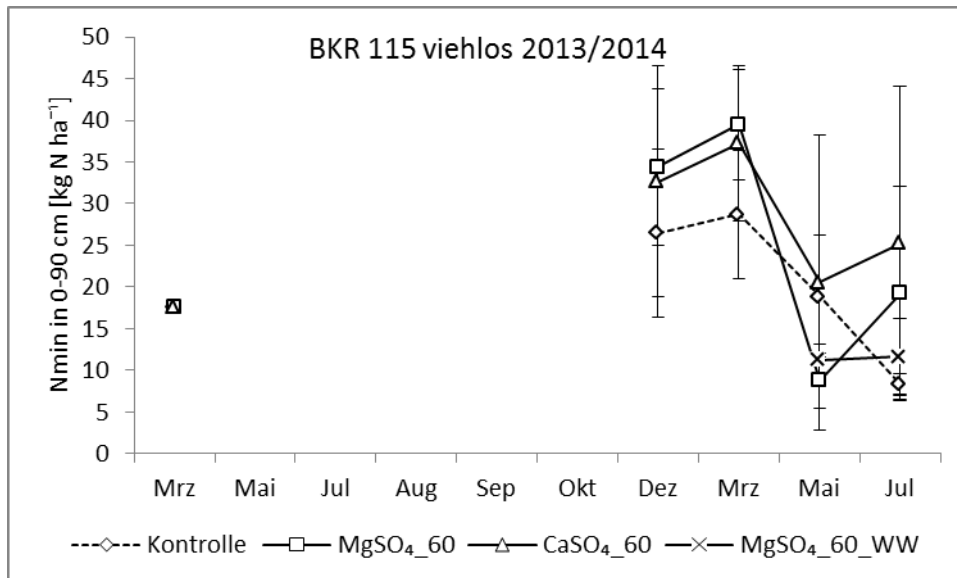


Abbildung 42: N_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Winterweizen von Dezember 2013 bis Juli 2014. Umbruch und Winterweizensaat Oktober 2013,. Standort BKR 115 viehlos

4.2.4.2 Erträge Futterleguminosen, sowie S- und N- Konzentrationen und N/S-Quotient

Der zweite, dritte und vierte Schnitt der Futterleguminosen auf dem Standort BKR 115 zeigte sich im Jahr 2013 wenig beeinflusst von einer Schwefeldüngung. Der erste Schnitt konnte aufgrund von Koordinationsschwierigkeiten mit den praktischen Arbeitsabläufen nicht erfasst werden (Abbildung 43).

Die Schwefelkonzentrationen im Aufwuchs (Abbildung 44) waren zum zweiten Schnitt sowohl in den Gräsern als auch in den Leguminosen in den mit Schwefel gedüngten Varianten deutlich erhöht (von 0,31 % bei Gras ungedüngt auf über 0,5 % bei Gras gedüngt, bzw. von 0,3 % bei Leguminose ungedüngt auf knapp 0,4 % bei gedüngt). Ein ähnliches Bild zeigte sich auch bei den Folgeschnitten.

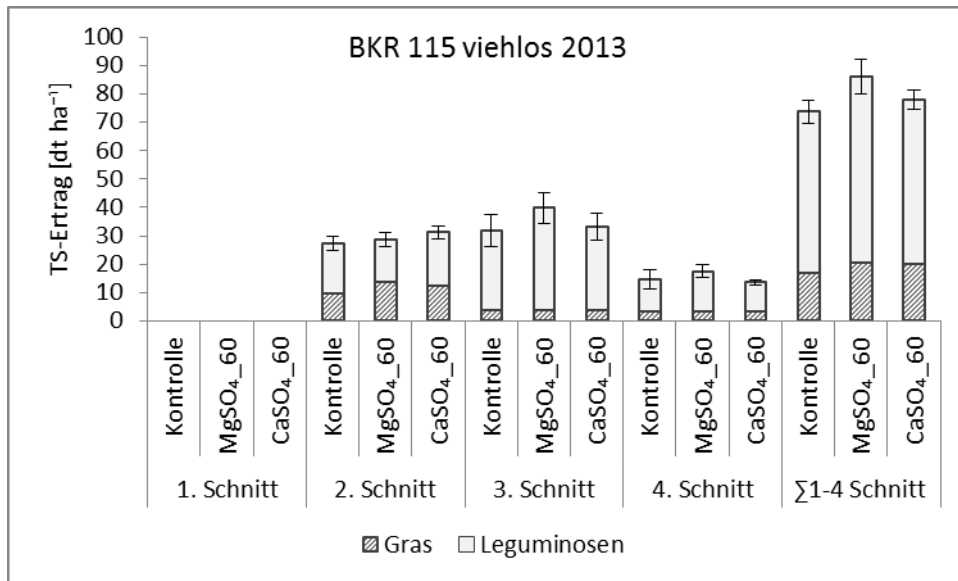


Abbildung 43: Trockensubstanzertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 115 viehlos 2013

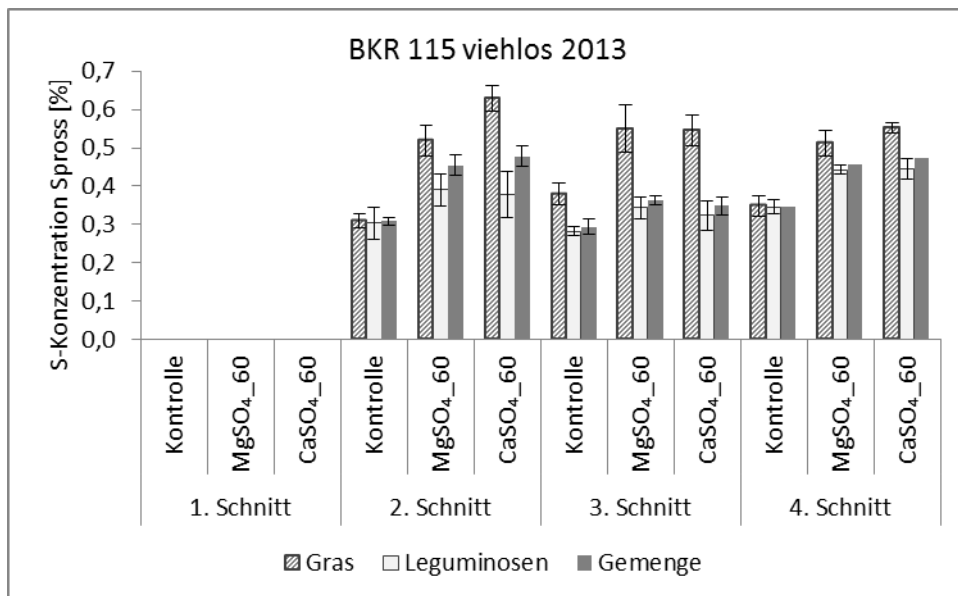


Abbildung 44: Schwefelkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 115 viehlos 2013

Die N-Konzentrationen im Spross waren bei den Leguminosen zum zweiten Schnitt um knapp 0,2 % leicht erhöht, im weiteren Verlauf blieben die N-Konzentrationen weiterhin kaum beeinflusst (Abbildung 45). Der N/S-Quotient lag bei den ungedüngten Leguminosen mit 12 schon recht eng, verengte sich aber bei Schwefeldüngung nochmals weiter auf etwas über 10 (Abbildung 46).

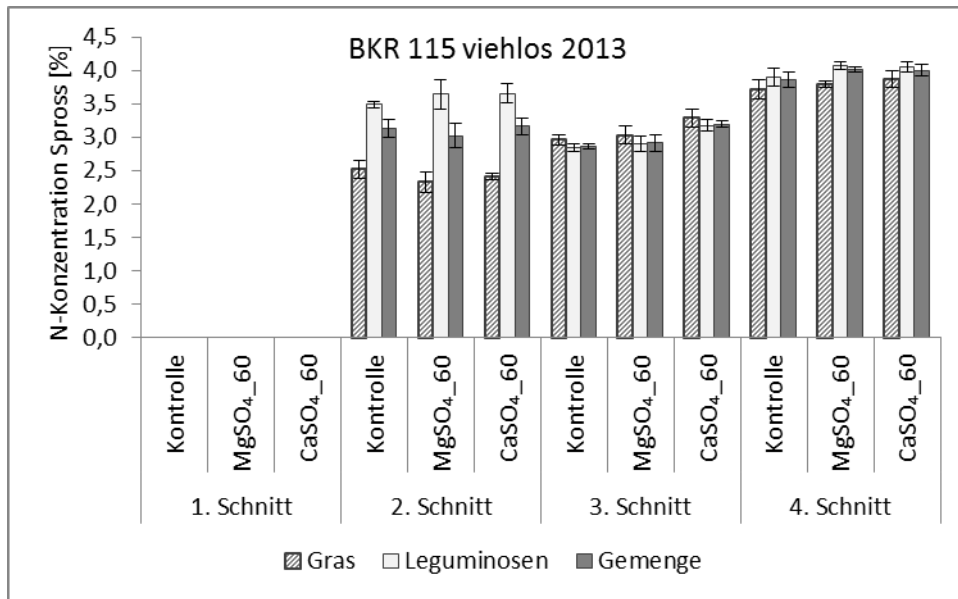


Abbildung 45: Stickstoffkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 115 viehlos 2013

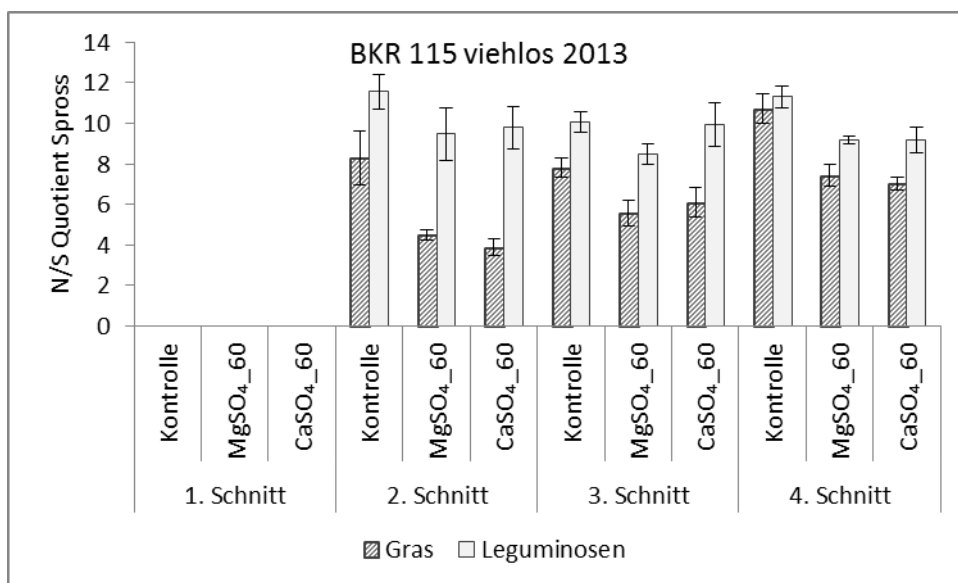


Abbildung 46: Stickstoff/Schwefel Verhältnis Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten Standort BKR 115 viehlos 2013

Der N-Flächenertrag und die S-Abfuhr über den Futterleguminosenbestand wurden durch die Schwefeldüngung in den erfassten Schnitten erhöht (Abbildung 47 und Abbildung 48). In der Summe des zweiten bis vierten Schnittes wurden ca. 30 kg N ha⁻¹ und etwas über 20 kg S ha⁻¹ gegenüber der ungedüngten Kontrollvariante abgefahren.

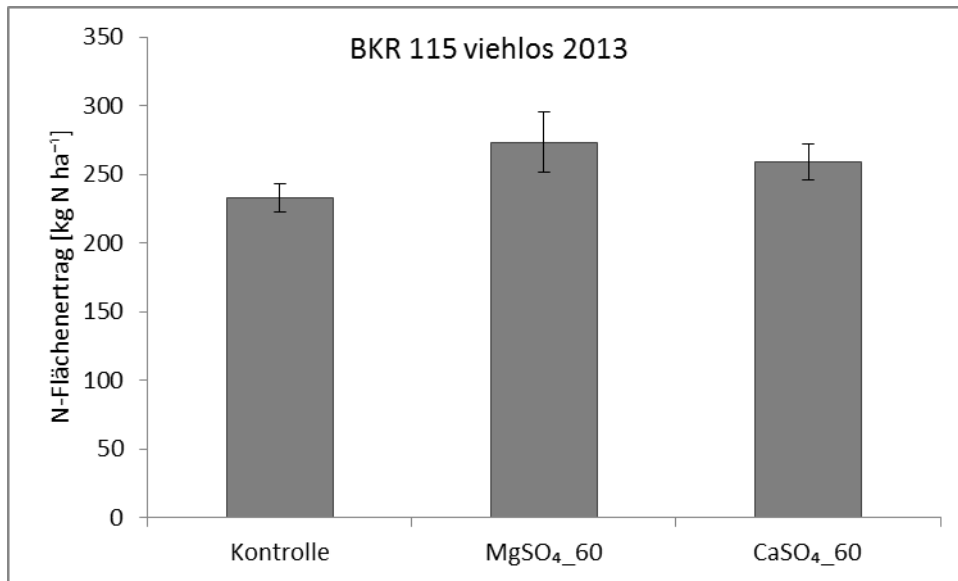


Abbildung 47: Stickstoffertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 115 viehlos 2013

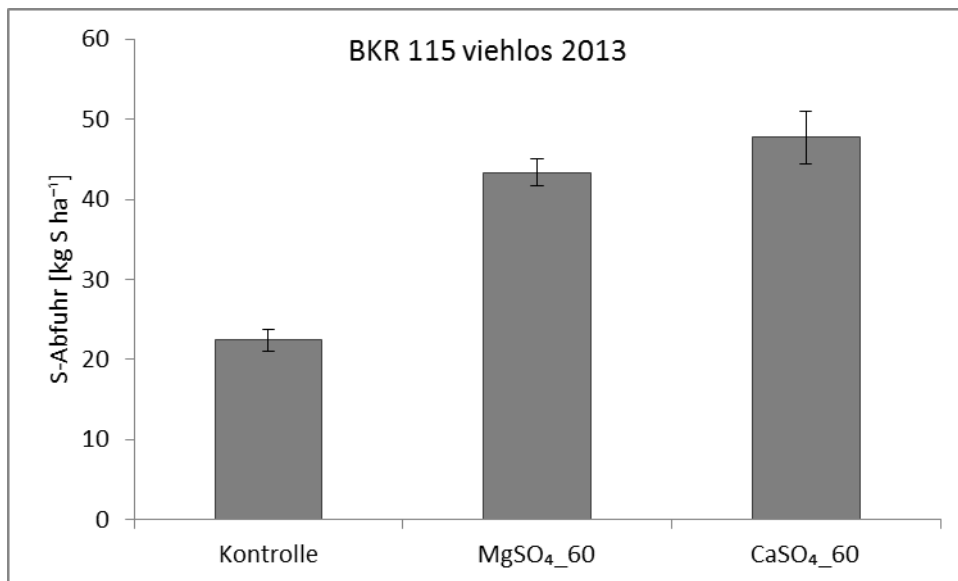


Abbildung 48: Schwefelentzug Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 115 viehlos 2013

4.2.4.3 Erträge Nachfrucht, sowie S- und N- Konzentrationen

Die Leistungen der Nachfrucht Winterweizen auf dem Standort BKR 115 viehlos 2014 sind in Tabelle 13 dargestellt. Wie im Vorjahr blieb der Kornertrag durch die Schwefeldüngung im Vorjahr in den Futterleguminosen gegenüber ungedüngt unbeeinflusst. Da auch im Frühjahr 2014 eine Düngung des Weizens mit Biogasgülle durchgeführt

wurde, könnten ausbleibende Effekte zwischen den Behandlungen damit erklärt werden. Der höchste Ertrag ($55 \text{ dt ha}^{-1} \text{ TS}$) wurde in der Variante gemessen, die mit MgSO_4 in den Futterleguminosen gedüngt war. Die Ertragsunterschiede konnten statistisch nicht abgesichert werden.

Der Strohertrag zeigte sich ebenso unbeeinflusst. Die Schwefel-Konzentrationen in den Weizenpflanzen waren zum Vegetationsbeginn und vor allem zum Einknotenstadium bei allen mit Schwefel gedüngten Pflanzen gegenüber der Kontrolle erhöht. In den Körnern konnte kein Unterschied in der S-Konzentration festgestellt werden. Die N-Konzentrationen zu den verschiedenen Entwicklungsstadien zeigten sich weitgehend unbeeinflusst. Der höchste N-Flächenertrag von $82,6 \text{ kg N ha}^{-1}$ wurde in der Variante gefunden, die auch den höchsten Kornertrag gebildet hatte (MgSO_4 , gedüngt in Futterleguminosen, nicht signifikant). Der höchste S-Entzug mit $11,4 \text{ kg S ha}^{-1}$ (nicht signifikant) entsprechend dem Vorjahr in der CaSO_4 -Variante.

Tabelle 13: Erträge und Inhaltsstoffe von Winterweizen nach Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 115 viehlos 2014

Variante	Kontrolle	MgSO_4	CaSO_4	MgSO_4 in Winterweizen
Kornertrag TS dt ha^{-1}	47,3	55,3	49,4	51,4
Strohertrag TS	70,3	70,9	61,6	63,2
S-Konzentration Vegetationsbeginn	0,44	0,48	0,50*	-
S-Konzentration Einknotenstadium	0,24	0,29*	0,30*	0,30*
S-Konzentration Korn	0,21	0,20	0,23	0,22
N-Konzentration Vegetationsbeginn	4,49	4,52	4,55	-
N-Konzentration Einknotenstadium	2,06	2,20	2,14	2,16
N-Konzentration Korn	1,57	1,50	1,60	1,50
N-Flächenertrag Korn	74,45	82,62	78,92	77,11
S-Abfuhr Korn	10,02	10,94	11,41	11,22

4.2.5 BKR 145 viehhaltend Anbaufolge 2012/2013

4.2.5.1 S- und N-Dynamik Boden und Pflanze

Der gemessene Gesamtgehalt an Schwefel in der Tiefenstufe 0-90 cm lag bei ca. $3,0 \text{ t ha}^{-1}$ (ohne Abbildung). Eine Beeinflussung durch die Düngungsmaßnahmen konnte über den Messzeitraum nicht festgestellt werden.

Der S_{\min} -Ausgangswert für die Vegetation 2012 lag auf dem Standort BKR 145 viehhaltend März von 0-60 cm bei $21,7 \text{ kg ha}^{-1}$ (Abbildung 49). Im weiteren Verlauf der Vegetation blieb dieser Wert auf einem relativ stabil hohem Wert (Messungen ab Mai 2012 in 0-90 cm) und lag im Oktober noch bei ca. $40 \text{ kg S}_{\min} \text{ ha}^{-1}$ (Abbildung 50). Die Werte in den mit Schwefel gedüngten Varianten waren gegenüber ungedüngt deutlich erhöht, insbesondere in der mit MgSO_4 gedüngten Variante wurden Werte bis zu $160 \text{ kg S}_{\min} \text{ ha}^{-1}$ gemessen. Über Winter verringerten sich die Werte wieder, lagen aber weiterhin auch unter dem Triticalebestand über ungedüngt. Die höchsten S_{\min} -Werte unter der Nachfrucht Triticale wurden dann gefunden, wenn in Frühjahr 2013 die Nachfrucht direkt mit Schwefel gedüngt wurde.

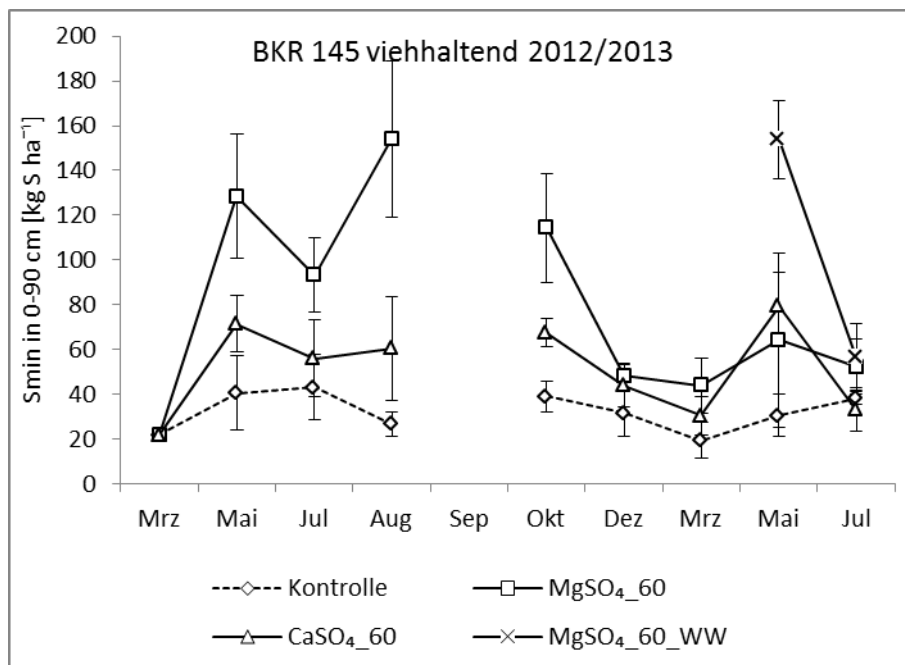


Abbildung 49: S_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Triticale von März 2012 bis Juli 2013. Umbruch und Triticaleaussaat Oktober 2012. Standort BKR 145, viehhaltend

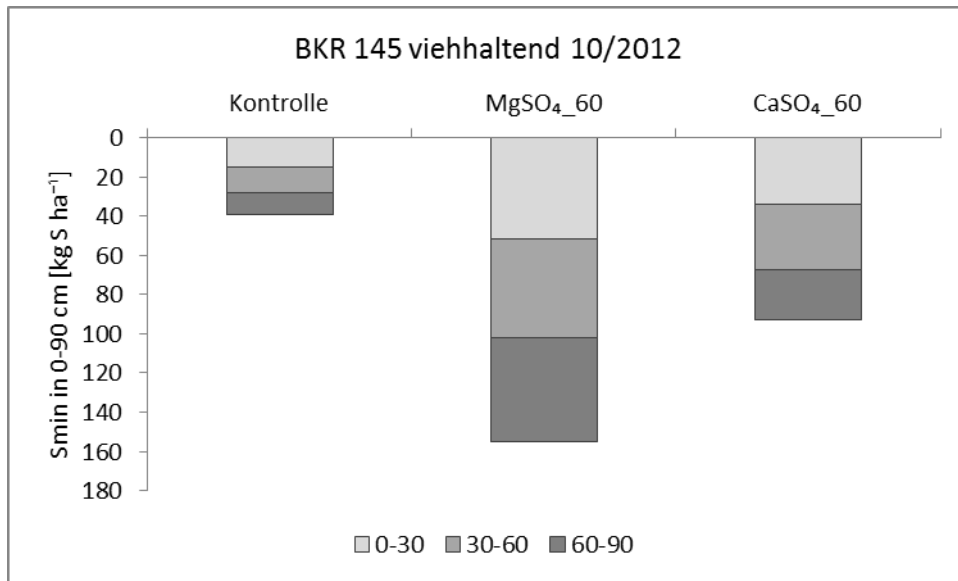


Abbildung 50: S_{min}-Werte zum Umbruch Futterleguminosen/Gras-Gemenge und Triticaleaussaat Oktober 2012 bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Futterleguminosen/Gras-Gemenge, Standort BKR 145, viehhaltend

Die Schwefelmengen, die in dem Pflanzenbeständen gebunden waren, zeigten sich von Düngungsmaßnahmen unbeeinflusst (Abbildung 51). Dies ist ein deutlicher Hinweis darauf, dass der Standort auch ohne eine Schwefeldüngung ausreichend mit Schwefel versorgt war.

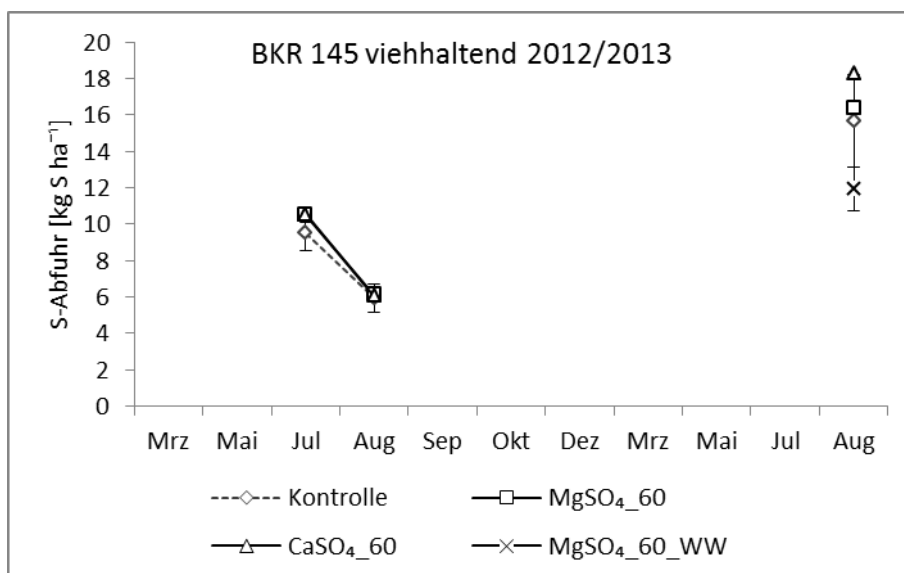


Abbildung 51: Schwefelmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnitzeitpunkten und Schwefelmenge im Korn der Nachfrucht Triticale, Anbaufolge 2012/2013 Standort BKR 145, viehhaltend

Auch die in den Pflanzen gebundenen Mengen an Stickstoff wurden folgerichtig nicht von den Schwefeldüngungsmaßnahmen beeinflusst (Abbildung 52), ebenso der N_{min} -Verlauf, der in Abbildung 53 dargestellt, ab dem Umbruchstermin Oktober 2012 unter Triticale aufgeführt ist. Der hohe N_{min} -Wert im Oktober ist, neben der N-Mineralisation aus dem Klee gras, in Zusammenhang mit einer vom Betrieb durchgeführten Mistgabe vor dem Umbruch zu sehen.

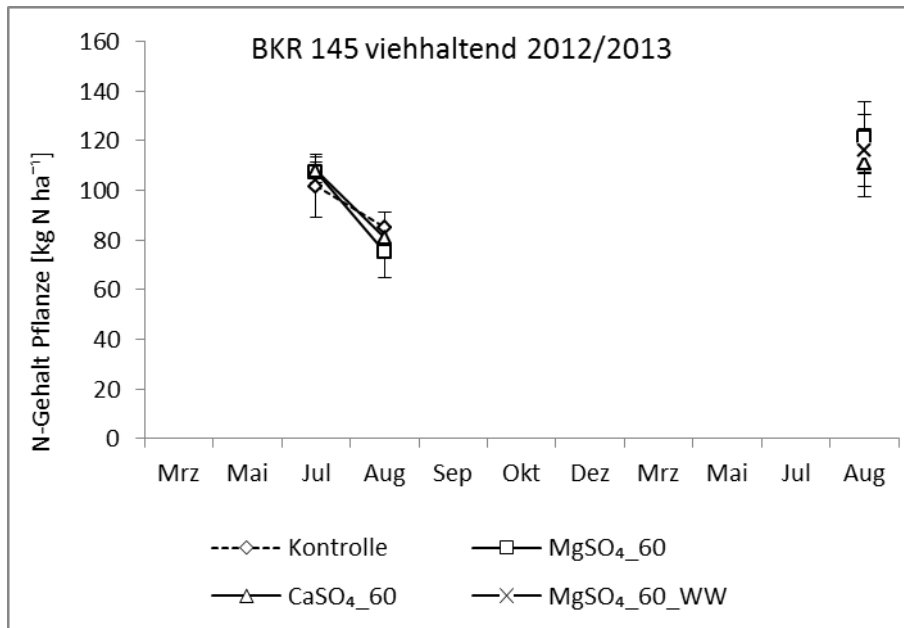


Abbildung 52: Stickstoffmengen im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnitzeitpunkten und Stickstoffmengen im Korn der Nachfrucht Triticale, Anbaufolge 2012/2013 Standort BKR 145, viehhaltend

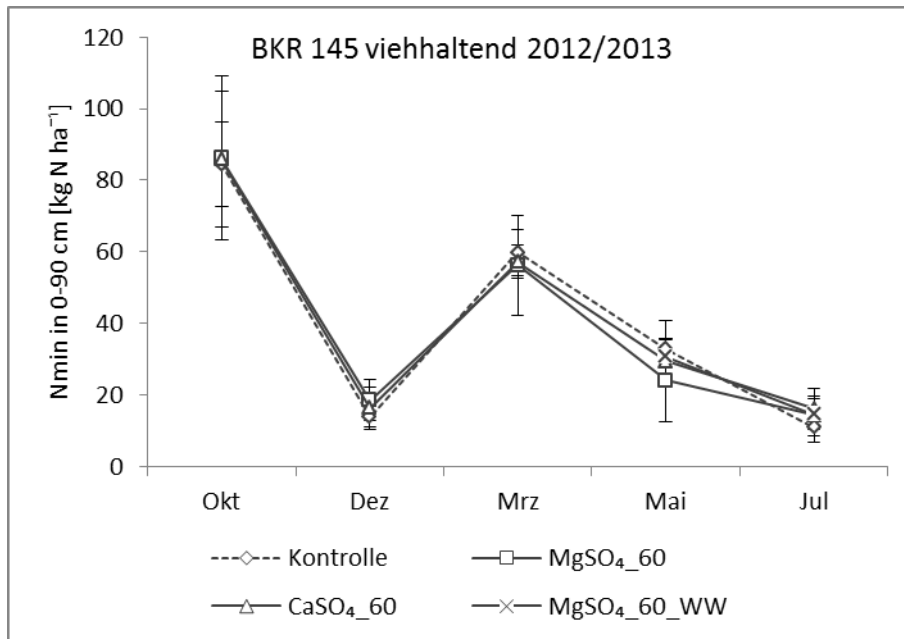


Abbildung 53: N_{min}-Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Triticale von Oktober 2012 bis Juli 2013. Umbruch und Triticaleaussaat Oktober 2012, Standort BKR 145, viehhaltend

4.2.5.2 Erträge Futterleguminosen, sowie S- und N- Konzentrationen und N/S-Quotient

Erwartungsgemäß blieben die Erträge des Futterleguminosenbestandes 2012 von einer zusätzlichen Schwefeldüngung des natürlicherweise gut mit Schwefel versorgten Standortes unbeeinflusst (Abbildung 54). Der Betrieb führte nur drei Schnitte durch und der erste Schnitt konnte aus organisatorischen Gründen mengenmäßig nicht erfasst werden, sodass von diesem Jahr nur der zweite und der dritte Schnitt dargestellt werden kann.

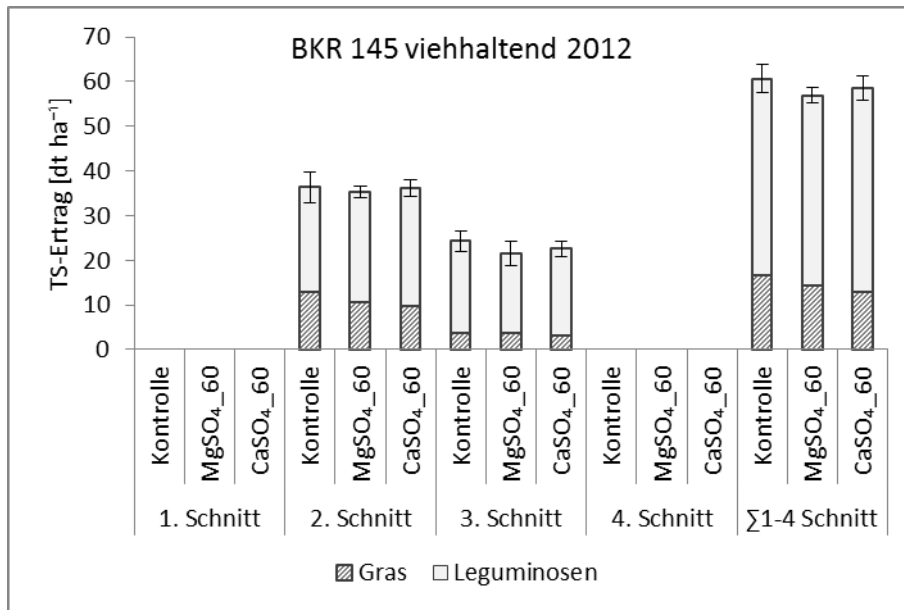


Abbildung 54: Trockensubstanzertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 145 viehhaltend 2012

Eine Zunahme der S-Konzentration im Spross durch eine Schwefeldüngung war lediglich im zweiten und im dritten Schnitt bei den Gräsern zu erkennen (Abbildung 55). Die N-Konzentration blieb unbeeinflusst und lag bei den Leguminosen um 3,5 % (Abbildung 56). Eine signifikante Änderung des N/S-Quotienten durch die Düngungsmaßnahmen trat nicht ein (Abbildung 57). Bemerkenswert ist, dass der Wert im dritten Schnitt bei den Leguminosen mit 16 relativ weit war, obwohl das Schwefelangebot ausreichend sein musste und die N-Konzentration im Spross relativ hoch scheint.

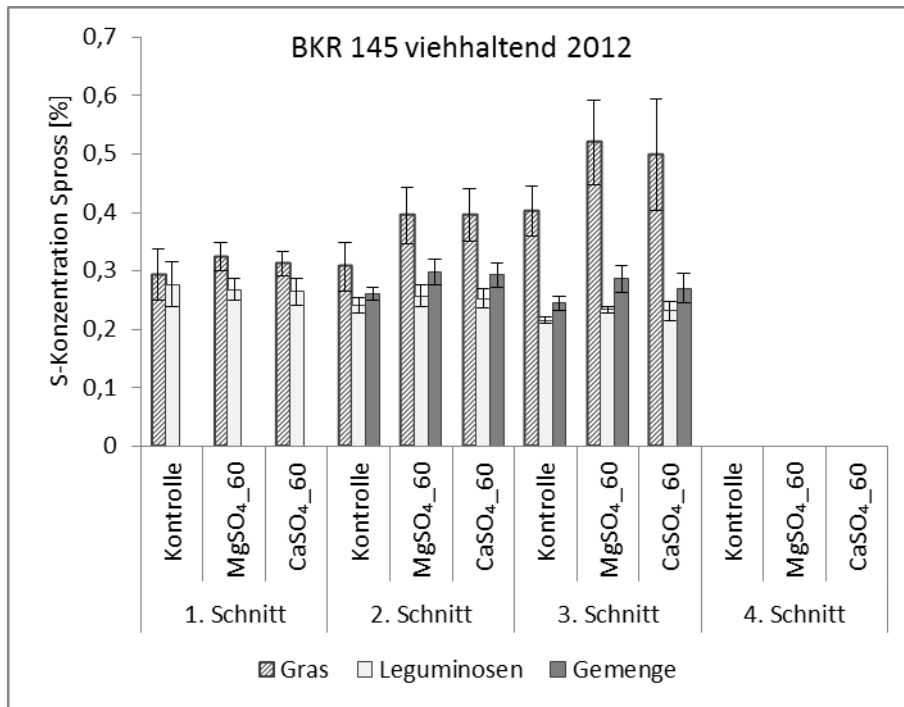


Abbildung 55: Schwefelkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 145 viehhaltend 2012

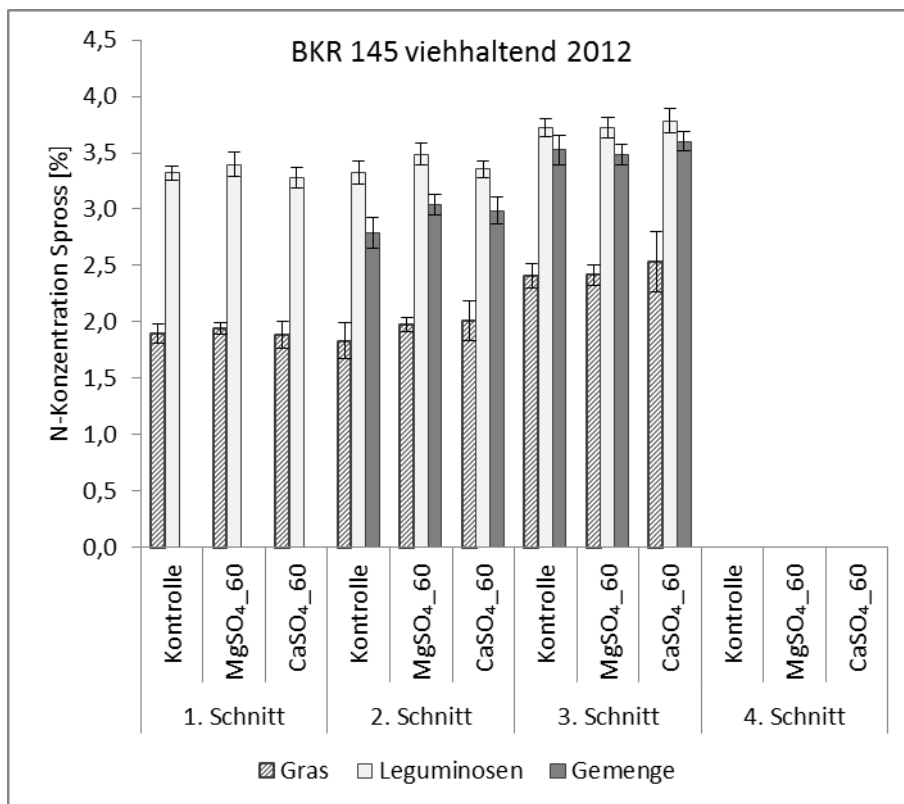


Abbildung 56: Stickstoffkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 145 viehhaltend 2012

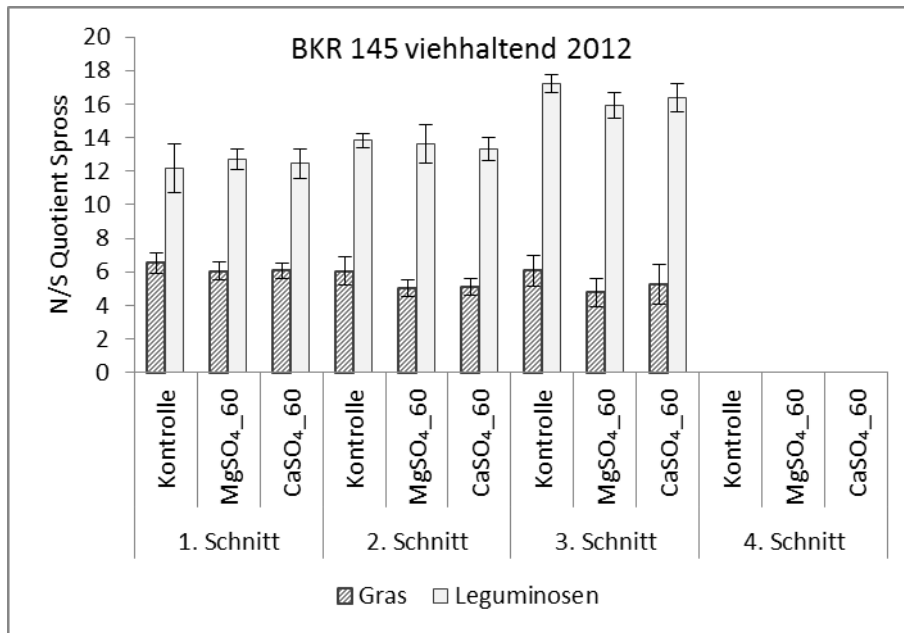


Abbildung 57: Stickstoff/Schwefel Verhältnis Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten Standort BKR 145 viehhaltend 2012

Erwartungsgemäß kam es durch die Schwefeldüngungsmaßnahmen zu keiner Beeinflussung des N-Flächenertrages oder der Schwefelabfuhr (Abbildung 58 und Abbildung 59).

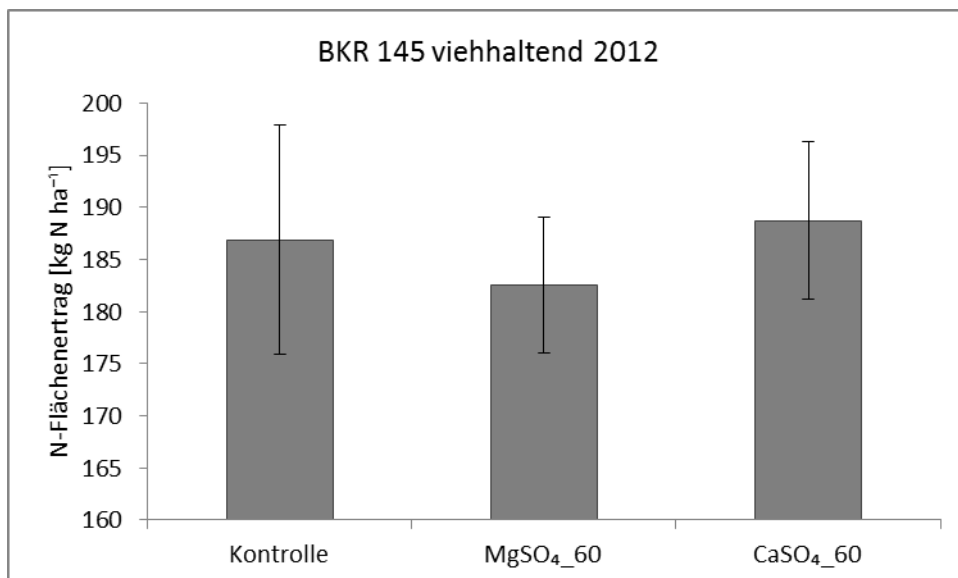


Abbildung 58: Stickstoffertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 145 viehhaltend 2012

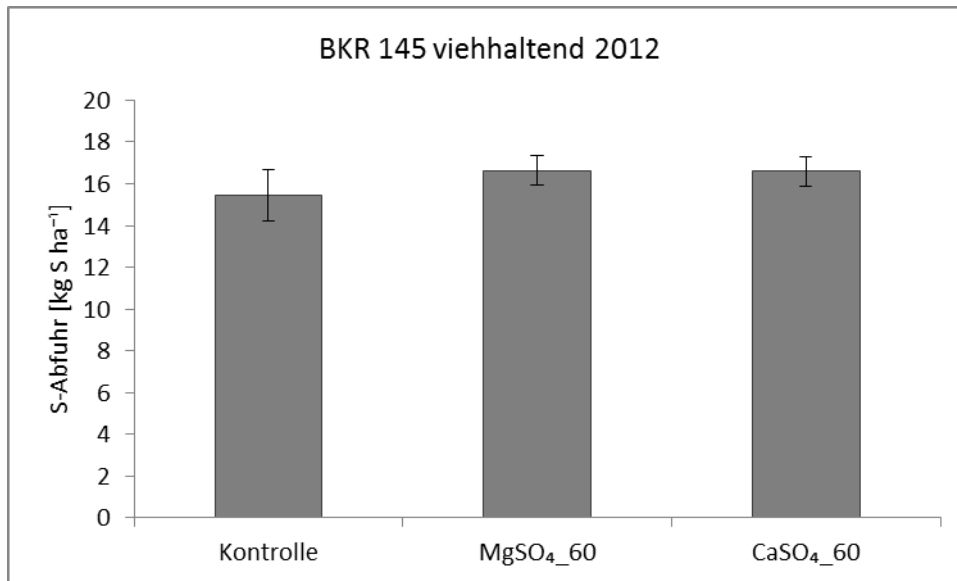


Abbildung 59: Schwefelentzug Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 145 viehhaltend 2012

4.2.5.3 Erträge Nachfrucht, sowie S- und N- Konzentrationen

Die Ertragsdaten der Nachfrucht Triticale auf dem Standort BKR 145 im Jahr 2013 sind in Tabelle 14 aufgeführt.

Die Korn- und Stroherträge fielen mit teilweise über 70 dt TS ha⁻¹ Kornertrag und bis zu 100 dt TS ha⁻¹ Stroh sehr hoch aus, was auf insgesamt gute Wachstumsbedingungen auf diesem Standort schließen lässt. Eine signifikante Beeinflussung der Nachfrucht Triticale durch Schwefeldüngungsmaßnahmen in der Vorfrucht oder direkt zum Vegetationsbeginn 2013 konnte in keinem Fall beobachtet werden.

(VDLUFA-Standpunkt, 2007)

Tabelle 14: Erträge und Inhaltsstoffe von Triticale nach Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 145 viehhaltend 2013

Variante	Kontrolle	MgSO ₄	CaSO ₄	MgSO ₄ in Triticale
Kornertrag TS dt ha ⁻¹	72,5	77,9	76,2	69,4
Strohertrag TS	95,7	104,0	99,3	91,5
S-Konzentration Vegetationsbeginn	0,47	0,43	0,46	-
S-Konzentration Einknotenstadium	0,37	0,31	0,29	-
S-Konzentration Korn	0,21	0,21	0,24	0,17
N-Konzentration Vegetationsbeginn	4,4	4,5	4,6	-
N-Konzentration Einknotenstadium	2,4	2,5	2,4	-
N-Konzentration Korn	1,5	1,5	1,6	1,6
N-Flächenertrag Korn	115,9	121,2	110,8	115,9
S-Abfuhr Korn	15,9	16,4	17,3	12,6

4.2.6 BKR 145 viehhaltend Anbaufolge 2013/2014

4.2.6.1 S- und N-Dynamik Boden und Pflanze

Der gemessene Gesamtgehalt an Schwefel in der Tiefe bis 90 cm lag bei BKR 145 2013 bei ca. 1,3 t ha⁻¹ (ohne Abbildung). Eine Beeinflussung durch die Düngungsmaßnahmen konnte über den Messzeitraum nicht festgestellt werden.

Der S_{\min} -Ausgangswert für die Vegetation 2013 lag auf dem Standort BKR 145 viehhaltend von 0-30 cm bei 15,9 kg ha⁻¹, in 0-60 cm bei 30,2 und bei 0-90 cm bei 43,5 (Abbildung 60). Im weiteren Verlauf der Vegetation blieb dieser Wert auf einem relativ stabil hohem Wert und lag im Oktober noch bei ca. 40 kg S_{\min} ha⁻¹ (Abbildung 61). Die Werte in den mit Schwefel gedüngten Varianten waren gegenüber ungedüngt deutlich erhöht, die höchsten Werte wurden wie im Vorjahr wieder in der mit MgSO₄ gedüngten Variante gemessen. Über Winter verringerten sich die Werte wieder, lagen aber weiterhin auch unter dem Triticalebestand über ungedüngt. Die höchsten S_{\min} -Werte unter der Nachfrucht Triticale wurden, entsprechend dem Vorjahr, dann gefunden, wenn in Frühjahr 2013 die Nachfrucht direkt mit Schwefel gedüngt wurde.

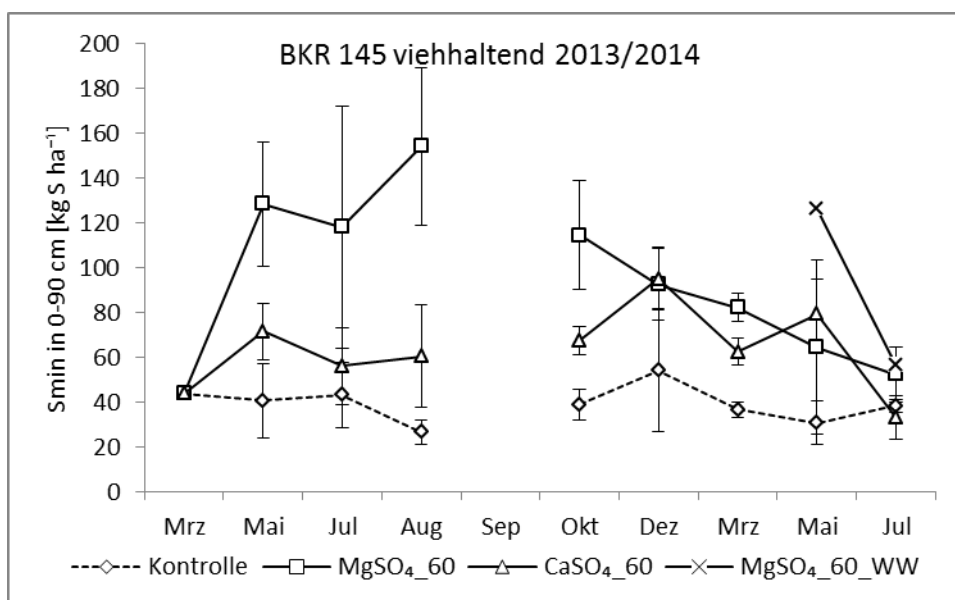


Abbildung 60: S_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Triticale von März 2013 bis Juli 2014. Umbruch und Triticaleaussaat Oktober 2013. Standort BKR 145, viehhaltend

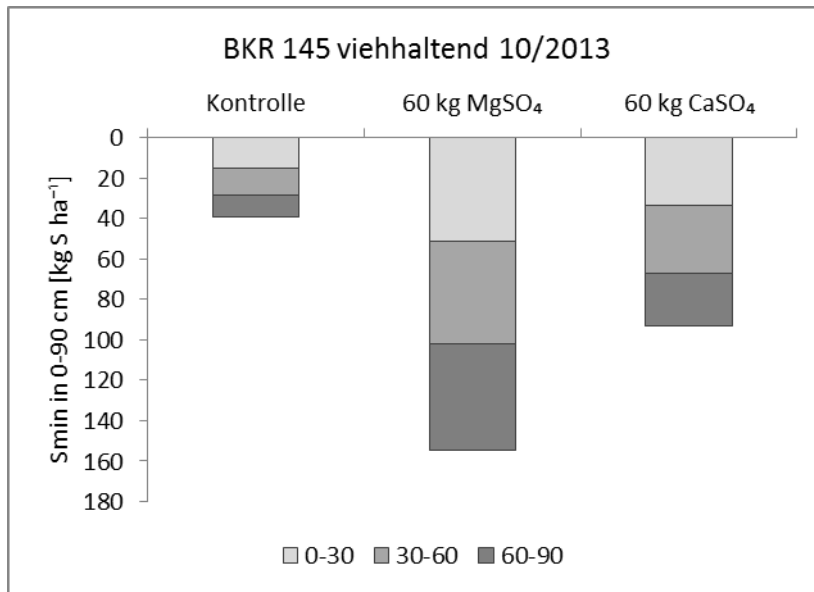


Abbildung 61: S_{min}-Werte zum Umbruch Futterleguminosen/Gras-Gemenge und Triticaleaussaat Oktober 2013 bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Futterleguminosen/Gras-Gemenge, Standort BKR 145, viehhaltend

Die Schwefelmengen, die in die Pflanzenbestände eingebunden waren, wurden in diesem Jahr von dem erhöhten Schwefelangebot bei einer Düngungsmaßnahme beeinflusst. Zum Zeitpunkt des ersten Schnittes waren es ca. 5 kg S ha⁻¹ mehr als bei ungedüngt, in den Folgeschnitten 2 und drei waren die Unterschiede dann nur noch geringer (Abbildung 62).

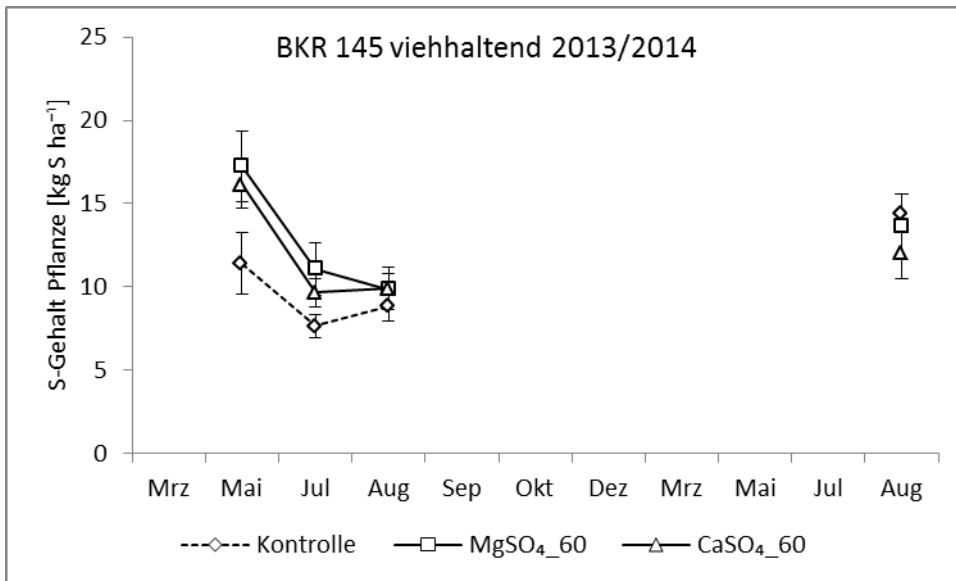


Abbildung 62: Schwefelmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnitzeitpunkten und Schwefelmenge im Korn der Nachfrucht Triticale, Anbaufolge 2013/2014 Standort BKR 145, viehhaltend

Die Stickstoffmengen, die in den Aufwüchsen gespeichert waren, wurden zu ersten Schnitt leicht positiv beeinflusst, insbesondere wenn MgSO₄ gedüngt wurde (140 kg N ha⁻¹ gegenüber 120 kg N ha⁻¹ bei ungedüngt (Abbildung 63)).

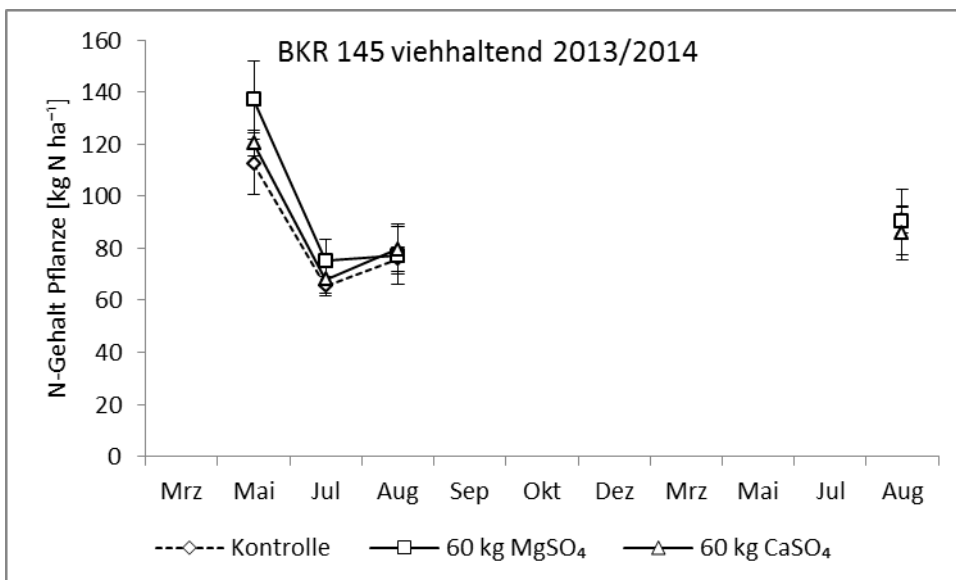


Abbildung 63: Stickstoffmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnitzeitpunkten und Stickstoffmenge im Korn der Nachfrucht Triticale, Anbaufolge 2013/2014 Standort BKR 145, viehhaltend

Eine Beeinflussung des N_{\min} -Gehaltes unter der Triticale von Dezember 2013 bis Juli 2014 konnte nicht beobachtet werden (Abbildung 64). Über Winter blieben die Werte auf einem hohen Niveau ($\pm 100 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$) und sanken dann gleichmäßig bis Mai, vermutlich durch Pflanzenentzug, auf unter $20 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ ab.

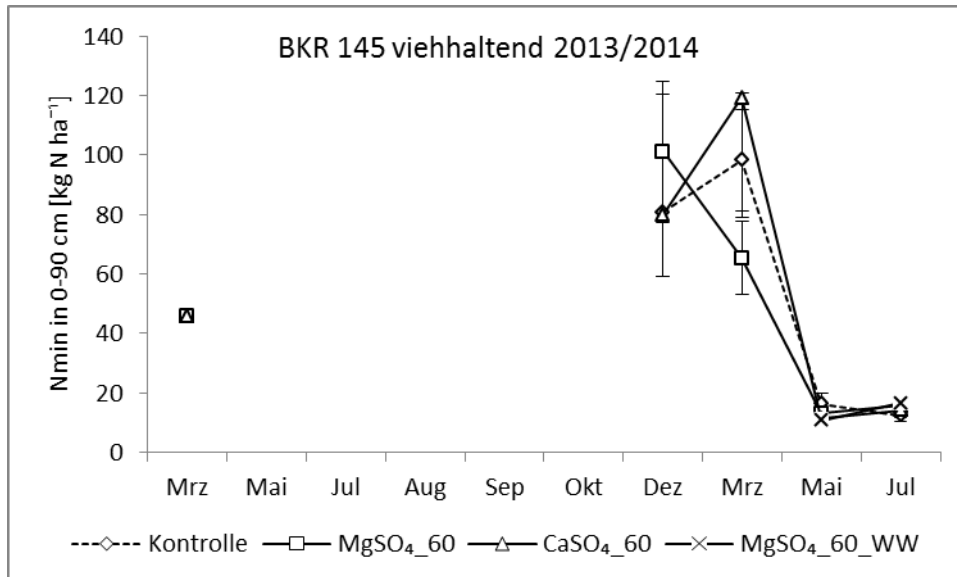


Abbildung 64: N_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Silomais von Dezember 2013 bis Juli 2014. Umbruch und Triticaleaussaat Oktober 2013, Standort BKR 145, viehhaltend

4.2.6.2 Erträge Futterleguminosen, sowie S- und N- Konzentrationen und N/S-Quotient

Die Ernteergebnisse des Futterleguminosen/Grasgemenges zeigen, dass auf diesem Standort die Ertragsbildung von den Düngungsmaßnahmen kaum beeinflusst wurde (Abbildung 65). Über die drei Schnitte gesehen wurde bei einer Düngung mit MgSO_4 mit $91,1 \text{ dt TS ha}^{-1}$ ein signifikanter Mehrertrag gegenüber ungedüngt erreicht ($79,3 \text{ dt TS ha}^{-1}$). Da aber das Angebot an pflanzenverfügbarem Schwefel sowohl in der ungedüngten Kontrollvariante als auch in der CaSO_4 -Variante vermutlich hoch genug war, kann dies auch auf einen Magnesiumeffekt zurückzuführen sein.

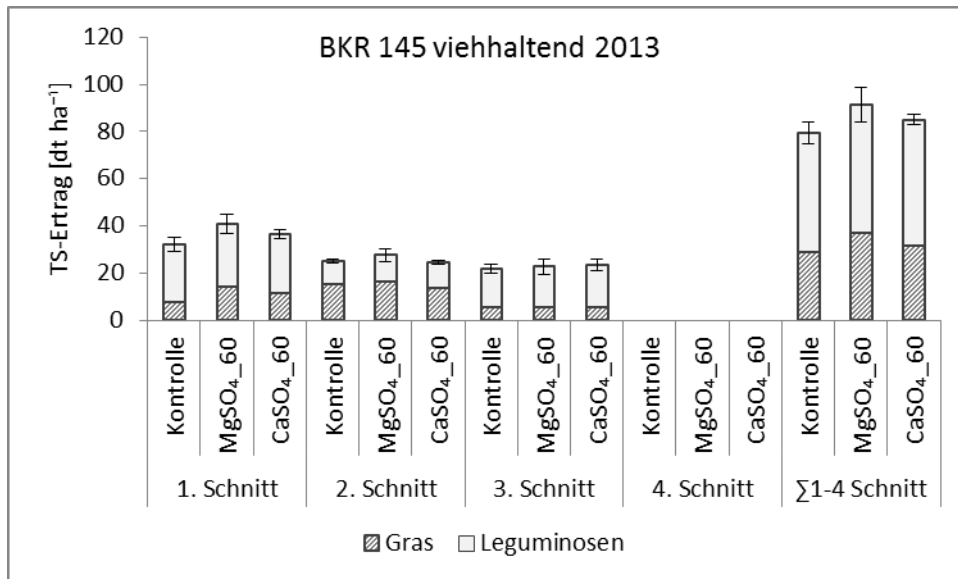


Abbildung 65: Trockensubstanzertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 145 viehhaltend 2013

Die Schwefelkonzentration wurde durch die Düngungsmaßnahmen relativ deutlich bei den Gräsern beeinflusst (Abbildung 66) und zum ersten und zweiten Schnitt auch bei den Leguminosen (von 0,3 % auf 0,35 %).

Die N-Konzentrationen bei den Leguminosen lagen unbeeinflusst bei 3,8 % im ersten Schnitt, 3,9 % im zweiten Schnitt und 3,7 % im dritten Schnitt (Abbildung 67). Der N/S-Quotient bei den Leguminosen lag in allen Fällen bei 12 oder darunter (Abbildung 68).

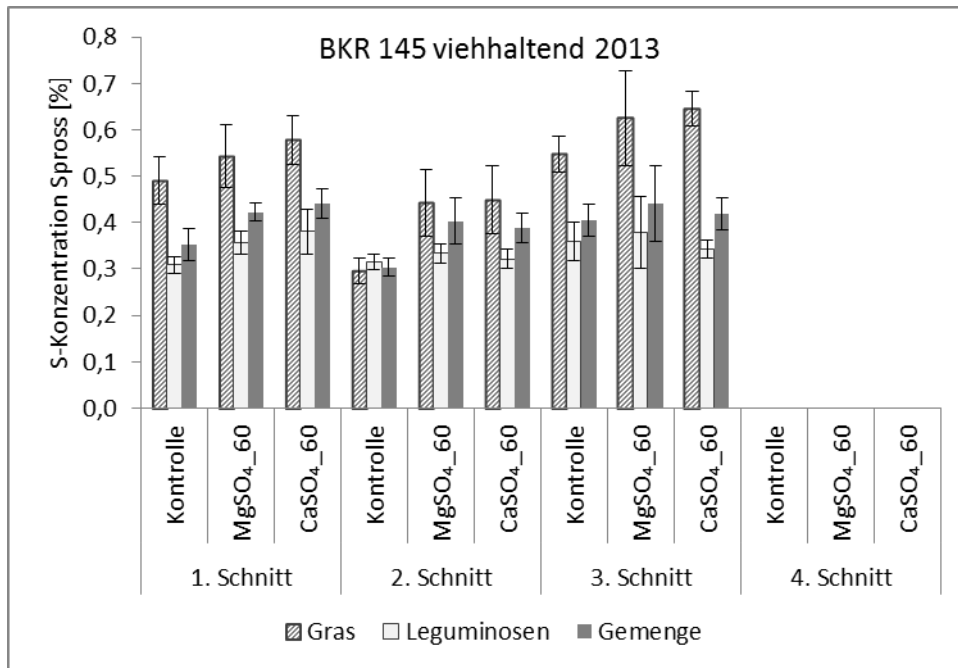


Abbildung 66: Schwefelkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 145 viehhaltend 2013

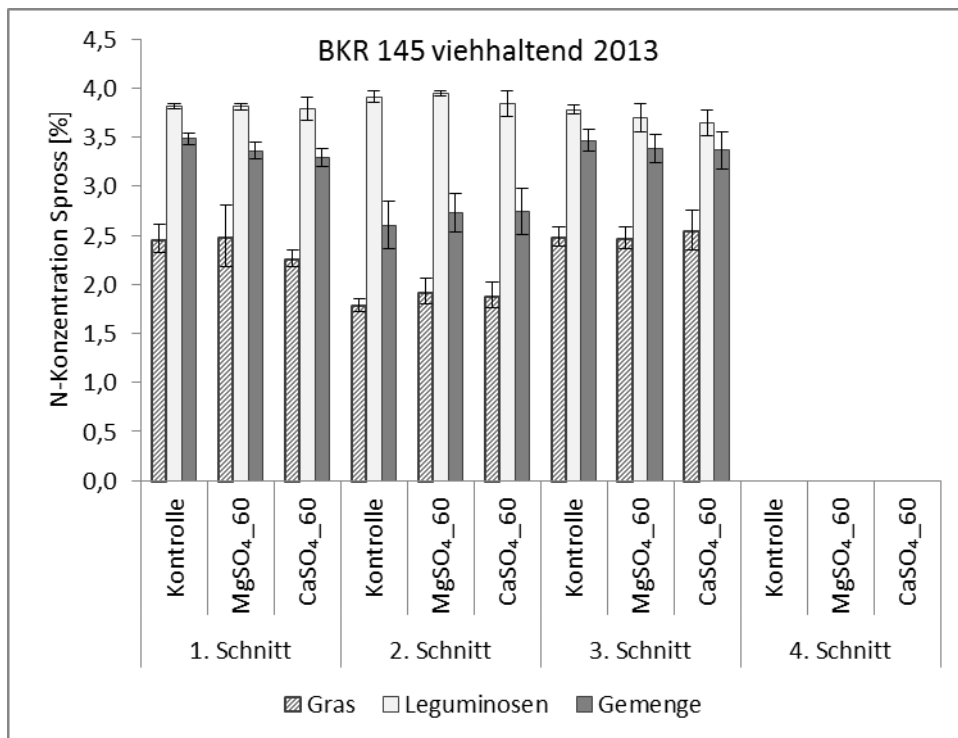


Abbildung 67: Stickstoffkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 145 viehhaltend 2013

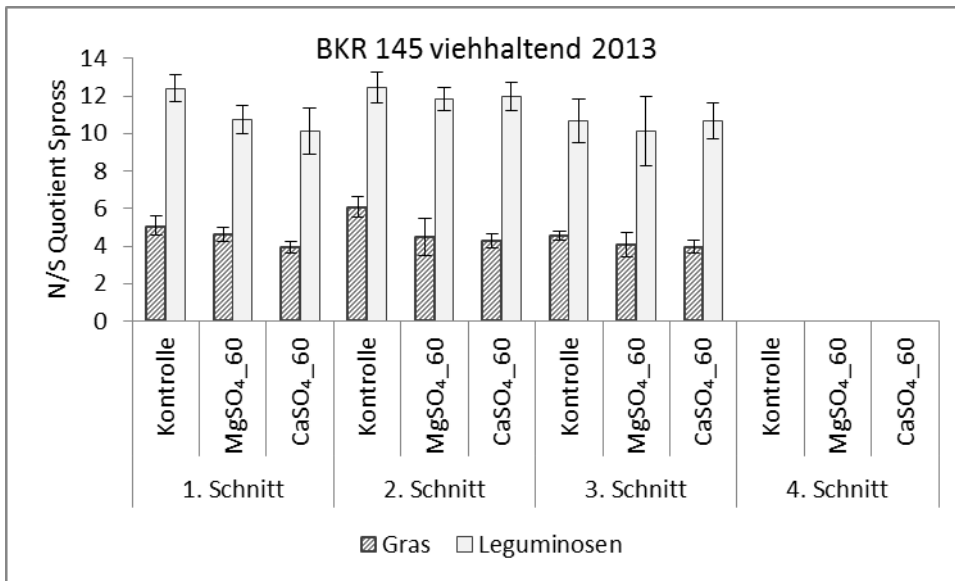


Abbildung 68: Stickstoff/Schwefel Verhältnis Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten Standort BKR 145 viehhaltend 2013

Der Stickstoffflächenertrag (durchschnittlich 260 kg N ha⁻¹ und die Schwefelabfuhr 16 kg S ha⁻¹) wurden durch die Düngungsmaßnahmen nicht beeinflusst (Abbildung 69 und Abbildung 70).

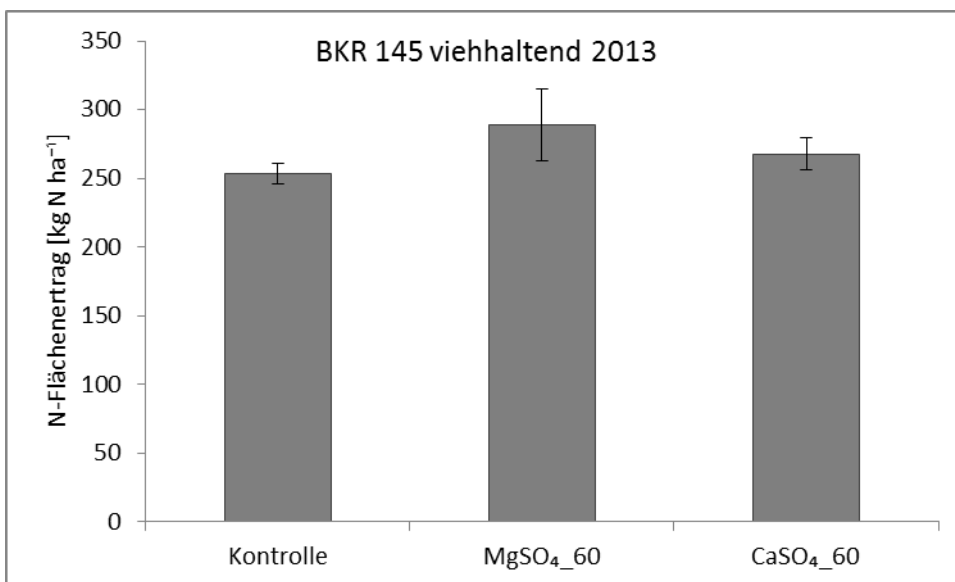


Abbildung 69: Stickstoffertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 145 viehhaltend 2013

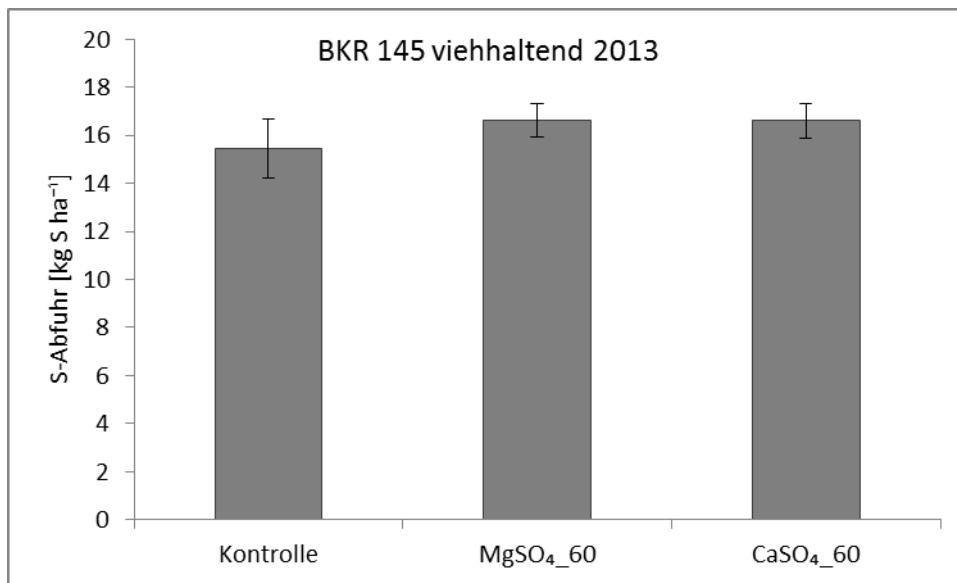


Abbildung 70: Schwefelentzug Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefel-düngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 145 viehhaltend 2013

4.2.6.3 Erträge Nachfrucht, sowie S- und N- Konzentrationen

Die Ertragsdaten der Nachfrucht Triticale auf dem Standort BKR 145 im Jahr 2014 sind in

Tabelle 15 aufgeführt.

Die Korn- und Stroherträge fielen gegenüber dem Vorjahr mit rund 50 dt TS ha⁻¹ Korn-ertrag und bis zu 90 dt TS ha⁻¹ Stroh niedriger als im Vorjahr aus. Eine signifikante Beeinflussung der Nachfrucht Triticale durch Schwefeldüngungsmaßnahmen in der Vorfrucht oder direkt zum Vegetationsbeginn 2014 konnte in keinem Fall beobachtet werden.

Tabelle 15: Erträge und Inhaltsstoffe von Triticale nach Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 115 viehhaltend 2014

Variante	Kontrolle	MgSO ₄	CaSO ₄	MgSO ₄ in Triticale
Kornertrag TS dt ha ⁻¹	52,5	51,7	49,4	47,5
Strohertrag TS	92,8	88,6	86,0	81,1
S-Konzentration Vegetationsbeginn	0,35	0,32	0,36	-
S-Konzentration Einknotenstadium	0,32	0,32	0,30	0,29
S-Konzentration Korn	0,27	0,26	0,24	0,25
N-Konzentration Vegetationsbeginn	3,78	3,87	3,88	-
N-Konzentration Einknotenstadium	1,90	2,05	1,84	1,70
N-Konzentration Korn	1,73	1,75	1,74	1,76
N-Flächenertrag Korn	91,0	90,1	85,7	83,7
S-Abfuhr Korn	14,4	13,6	12,1	12,3

4.2.7 BKR 145 viehlos Anbaufolge 2012/2013

4.2.7.1 S- und N-Dynamik Boden und Pflanze

Der gemessene Gesamtgehalt an Schwefel in der Tiefe bis 90 cm lag bei BKR 145 viehlos 2012 bei ca 2,5 t ha⁻¹ (ohne Abbildung). Eine Beeinflussung durch die Düngungsmaßnahmen konnte über den Messzeitraum nicht festgestellt werden.

Der S_{\min} -Ausgangswert für die Vegetation 2012 von 0-60 cm lag bei 38,4 kg ha⁻¹ (Abbildung 71). Im Verlauf der Vegetation blieb dieser Wert ohne eine Düngung auf einem relativ stabil hohem Wert und lag zum Ende der Vegetation im Oktober in der Tiefe bis 90 cm über 50 kg S_{\min} ha⁻¹ und unterschieden sich damit zu diesem Zeitpunkt nicht mehr von den gedüngten Varianten (Abbildung 72), nachdem in diesen zuvor deutlich erhöhte S_{\min} -Werte gefunden wurden. In der folgenden Vegetation unter Winterweizen wurden in allen Varianten gleichmäßig hohe S_{\min} -Werte um 50 kg ha⁻¹ gemessen. Am deutlichsten am S_{\min} -Wert zu erkennen war die Schwefelgabe mit MgSO₄, die im Frühjahr zu dem Weizen gegeben wurde, sowie ein erhöhter S_{\min} Wert bei der CaSO₄-Düngungsvariante.

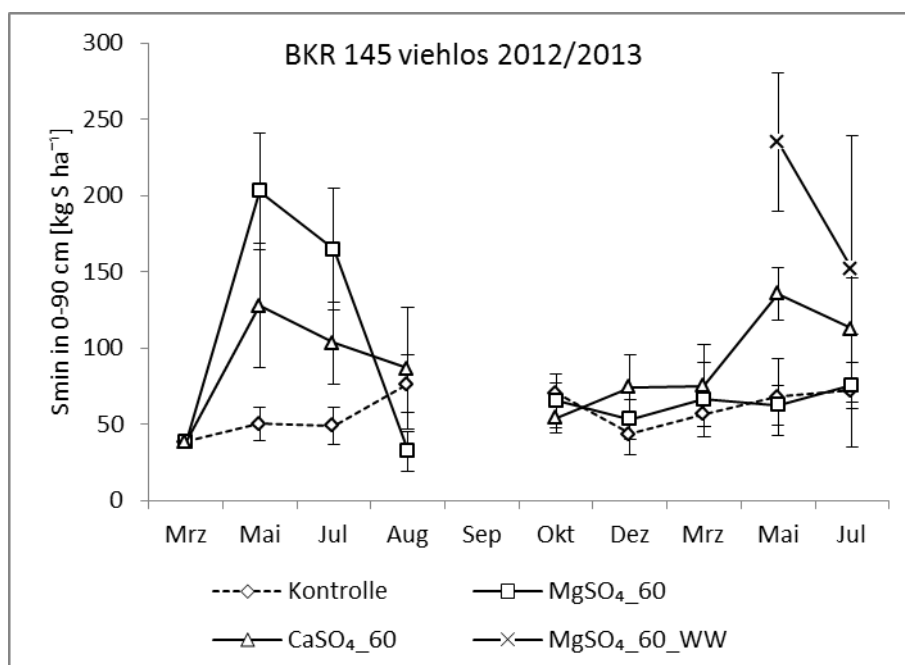


Abbildung 71: S_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Winterweizen von März 2012 bis Juli 2013. Umbruch und Weizenaussaat Oktober 2012. Standort BKR 145, viehlos

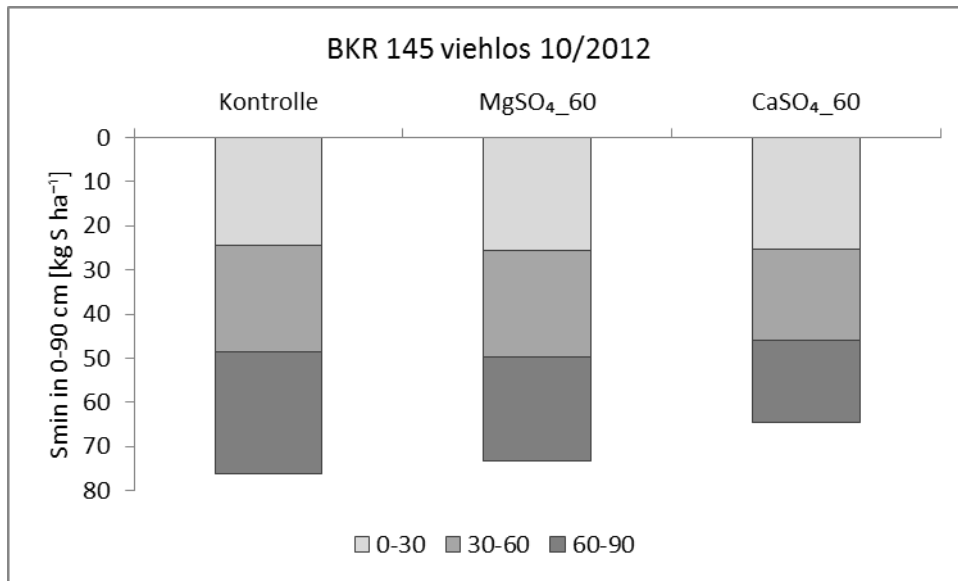


Abbildung 72: S_{min}-Werte zum Umbruch Futterleguminosen/Gras-Gemenge und Weizenaussaat Oktober 2012 bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Futterleguminosen/Gras-Gemenge, Standort BKR 145, viehlos

Die Menge an Schwefel in den Pflanzenbeständen, die im zweiten und dritten Schnitt gemessen wurden unterschieden sich zwischen den Varianten kaum (Abbildung 73), ebenso die im Aufwuchs gebunden Mengen an Stickstoff (Abbildung 74). Auffällig erscheint allerdings die signifikant niedrigere S-Menge, die im Winterweizenkorn gebunden war, wenn direkt zum Winterweizen Schwefel in Form von MgSO₄ gedüngt wurde.

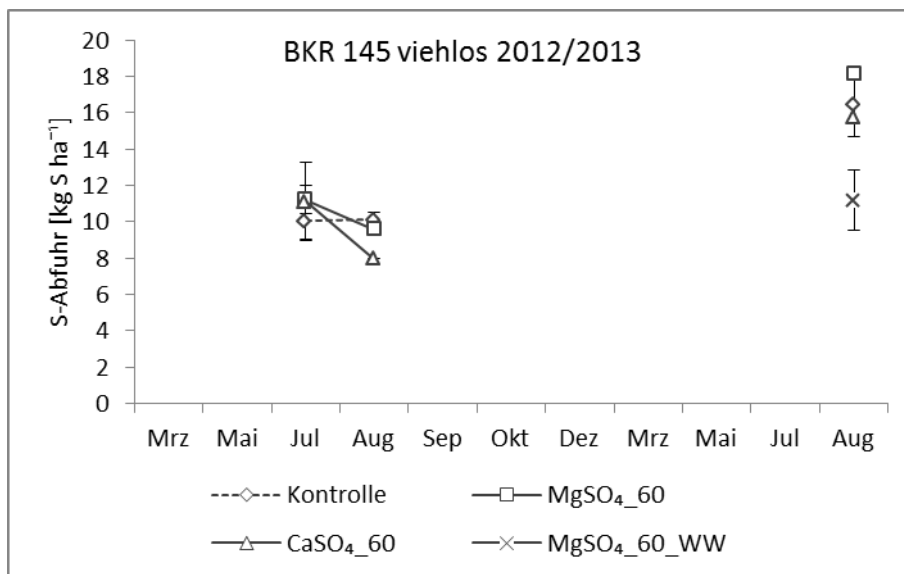


Abbildung 73: Schwefelmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnittzeitpunkten und Schwefelmenge im Korn der Nachfrucht Winterweizen, Anbaufolge 2012/2013 Standort BKR 145, viehlos

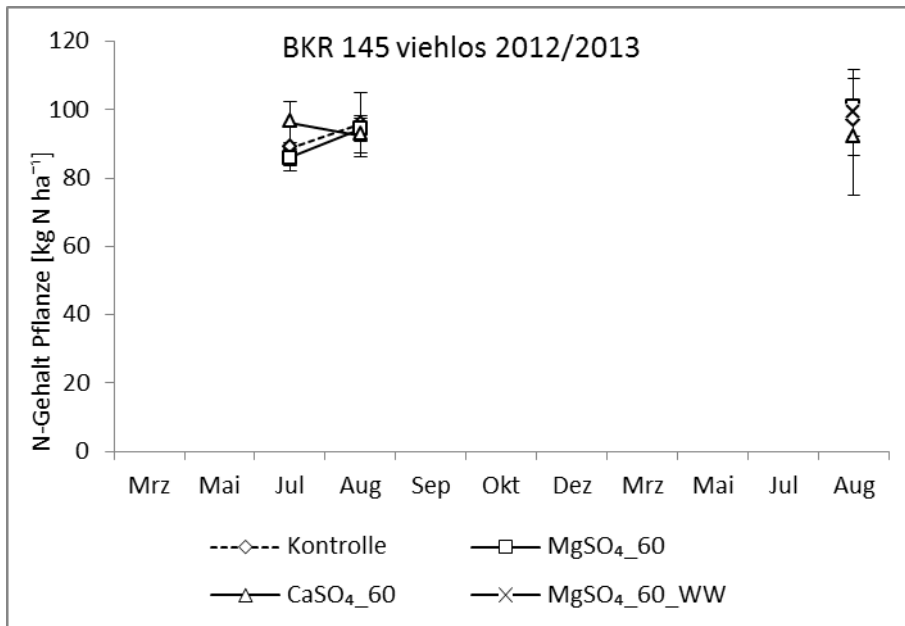


Abbildung 74: Stickstoffmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnitzeitpunkten und Stickstoffmenge im Korn der Nachfrucht Winterweizen, Anbaufolge 2012/2013 Standort BKR 145, viehlos

Der N_{min}-Wert nach Umbruch des Kleegrases im Oktober 2012 lag in allen Varianten bei 0-90 cm bei ca. 80 kg ha⁻¹, verringerte sich gleichförmig über Winter und stieg dann wieder gleichförmig in allen Varianten bis Mai an (Abbildung 75).

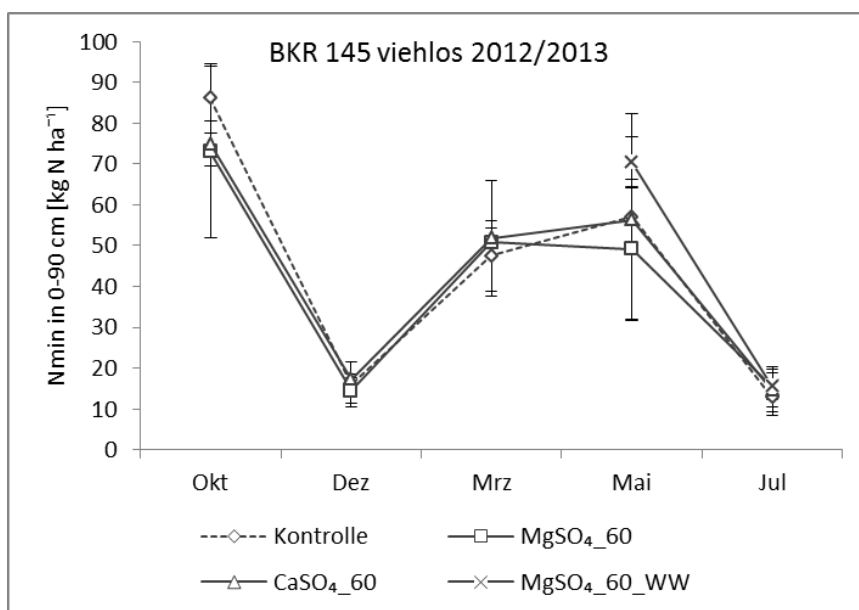


Abbildung 75: N_{min}-Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Winterweizen von Oktober 2012 bis Juli 2013. Umbruch und Weizenaussaat Oktober 2012., Standort BKR 145, viehlos

4.2.7.2 Erträge Futterleguminosen, sowie S- und N-Konzentrationen und N/S-Quotient

Die Trockensubstanzerträge und die Ertragszusammensetzung der Futterleguminosenbestände auf dem Standort BKR 145 viehlos 2012 sind in Abbildung 76 dargestellt. Der erste Schnitt konnte nicht erfasst werden, da eine freilaufende Rinderherde die Markierung der Versuchsanlage zerstörte. Es wird deutlich, dass keine Beeinflussung durch eine Düngungsmaßnahme stattgefunden hat.

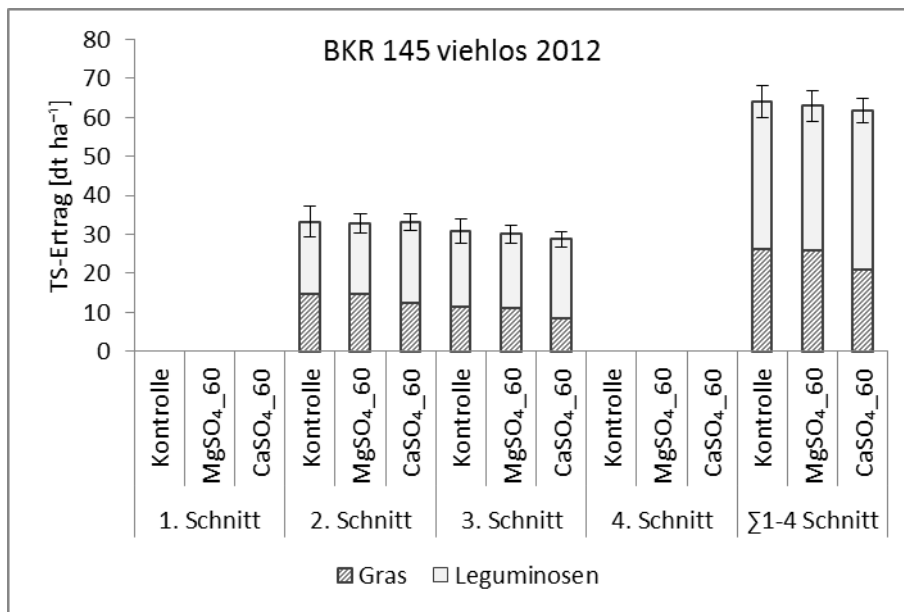


Abbildung 76: Trockensubstanzertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 145 viehlos 2012

Die S-Konzentrationen in den Gräsern und in den Leguminosen wurden durch die durchgeführten S-Düngungsmaßnahmen in geringem Maße beeinflusst (Abbildung 77). Die S-Konzentration der ungedüngten Leguminosen lag aber sehr dicht an den Konzentrationen bei gedüngt und lagen zum zweiten Schnitt bei 0,25 % und zum dritten Schnitt bei 0,23 %. Auswirkungen auf die N-Konzentrationen (Abbildung 78) oder auf den N/S-Quotient (Abbildung 79) hatte dies allerdings keine.

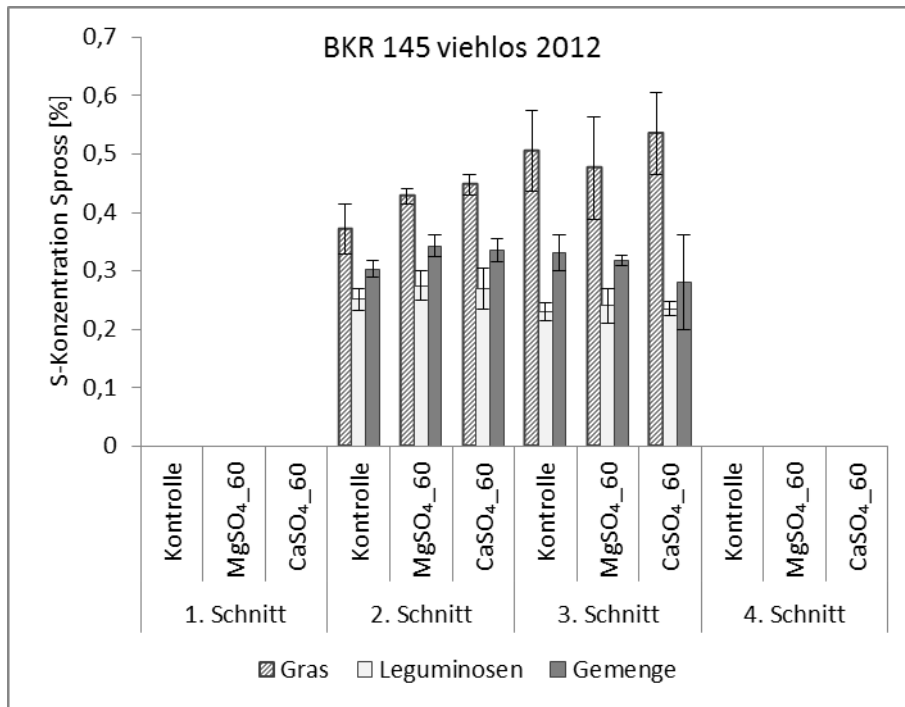


Abbildung 77: Schwefelkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 145 vieflos 2012

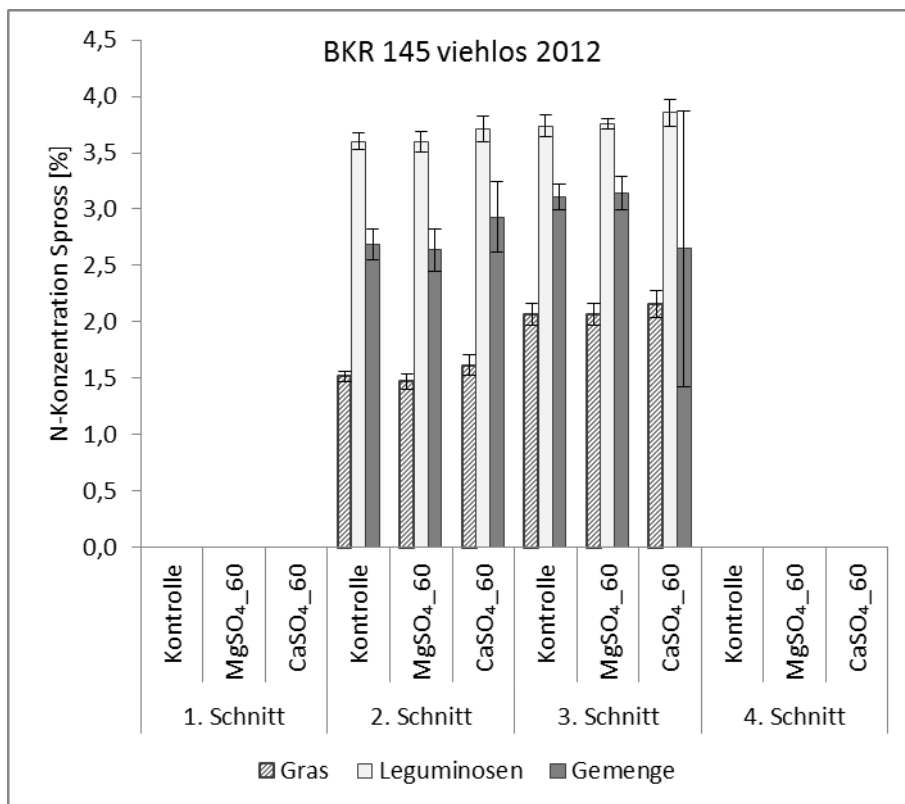


Abbildung 78: Stickstoffkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 145 vieflos 2012

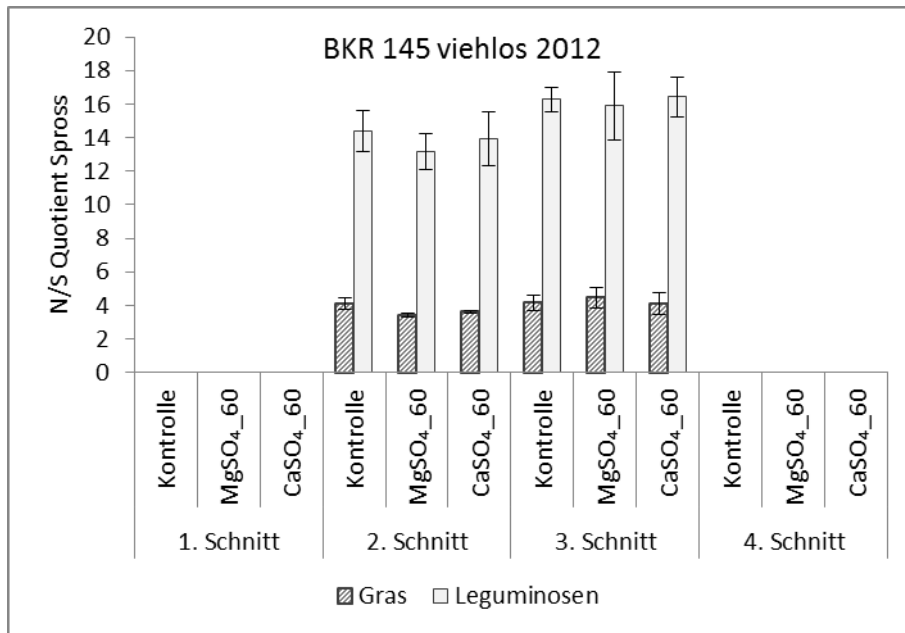


Abbildung 79: Stickstoff/Schwefel Verhältnis Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten Standort BKR 145 viehlos 2012

Der N-Flächenertrag des zweiten und dritten Schnitts war von einer Schwefeldüngung unbeeinflusst und lag bei rund 180 kg ha⁻¹ (Abbildung 80). Auch die Menge, die mit dem Pflanzenbestand an Schwefel abgefahren wurde lag gleichmäßig bei rund 20 kg S ha⁻¹ (Abbildung 81).

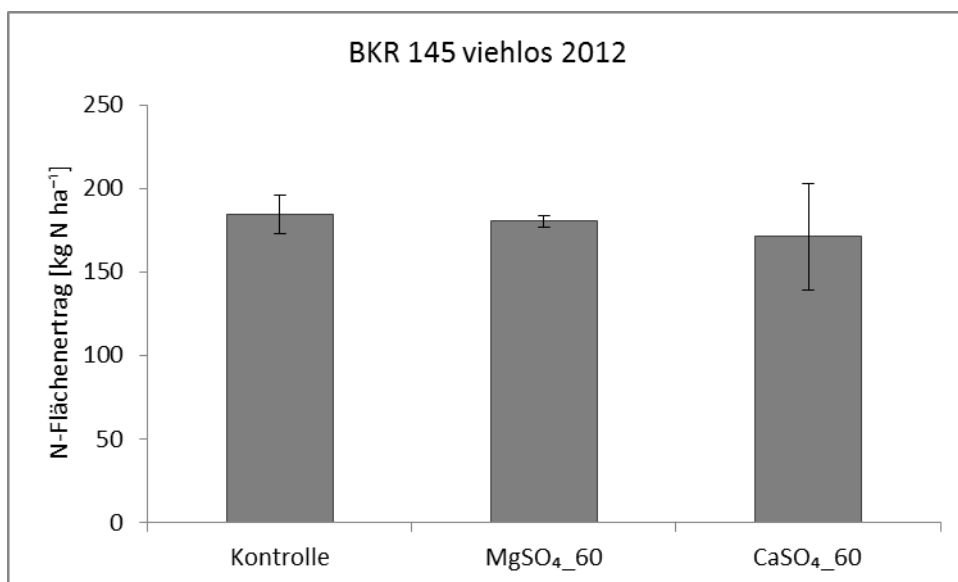


Abbildung 80: Stickstoffertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 145 viehlos 201

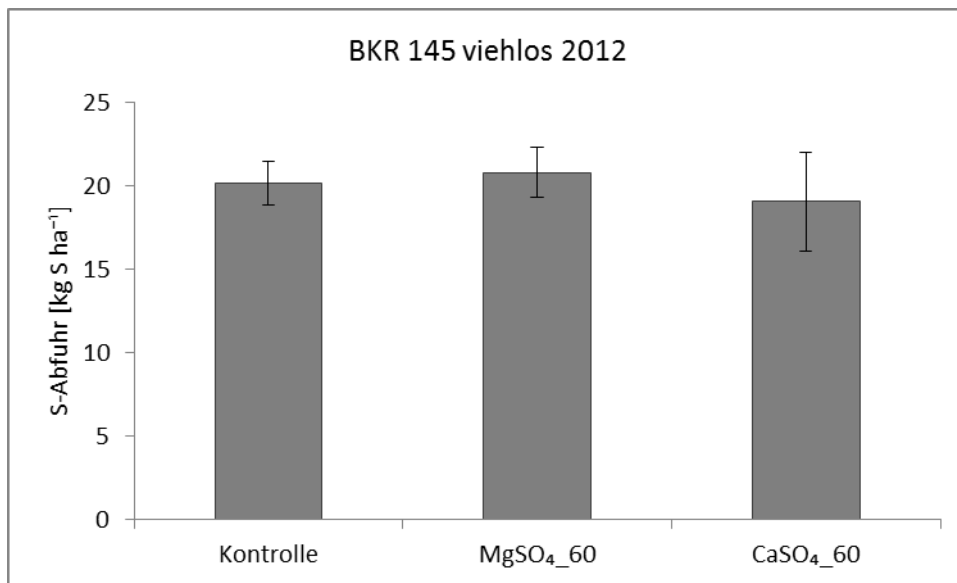


Abbildung 81: Schwefelentzug Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 145 viehlos 2012

4.2.7.3 Erträge Nachfrucht, sowie S- und N- Konzentrationen

Die Ertragsdaten der Nachfrucht Winterweizen auf dem Standort BKR 145 viehlos im Jahr 2012 sind in

Tabelle 16 aufgeführt.

Der höchste Kornertrag mit 60,1 dt TS ha⁻¹ wurde in der Variante gemessen, in der MgSO₄ in der Vorfrucht Futterleguminose gedüngt wurde. Durch eine hohe Streuung konnte dieser Wert statistisch aber nicht abgesichert werden. Statistisch absicherbar gegenüber den anderen Behandlungen war die niedrigere S-Konzentration im Korn und die niedrigere S-Abfuhr über den Kornertrag, wenn Schwefel direkt zum Winterweizen im Frühjahr 2013 gegeben wurde. Eine Erklärung für diese Beobachtung kann hier nicht gegeben werden, ebenso keine Abschätzung, ob dies möglicherweise einen Einfluss auf die Qualität des Weizens hatte.

Tabelle 16: Erträge und Inhaltsstoffe von Winterweizen nach Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 145 viehlos 2013

Variante	Kontrolle	MgSO ₄	CaSO ₄	MgSO ₄ in Winterweizen
Kornertrag TS dt ha ⁻¹	52,8	60,1	52,8	53,1
Strohertrag TS	47,0	53,0	42,9	49,7
S-Konzentration Vegetationsbeginn	0,51	0,49	0,49	-
S-Konzentration Einknotenstadium	0,37	0,37	0,40	-
S-Konzentration Korn	0,31	0,30	0,29	0,21*
N-Konzentration Vegetationsbeginn	5,18	5,01	5,16	-
N-Konzentration Einknotenstadium	3,84	3,65	3,65	-
N-Konzentration Korn	1,76	1,72	1,77	1,80
N-Flächenertrag Korn	96,7	100,7	91,97	99,1
S-Abfuhr Korn	17,1	17,6	15,4	11,4*

4.2.8 BKR 145 viehlos Anbaufolge 2013/2014

4.2.8.1 S- und N-Dynamik Boden und Pflanze

Der gemessene Gesamtgehalt an Schwefel lag auf dem Standort BKR 145 viehlos 2013 in der Tiefe bis 90 cm lag bei rund $1,0 \text{ t ha}^{-1}$ (ohne Abbildung). Eine Beeinflussung durch die Düngungsmaßnahmen konnte über den Messzeitraum nicht festgestellt werden.

Der S_{\min} -Ausgangswert für die Vegetation 2013 lag auf dem Standort BKR 145 viehlos von 0-30 cm bei $15,9 \text{ kg ha}^{-1}$, in 0-60 cm bei $37,1$ und bei 0-90 cm bei $44,8$ (Abbildung 82). Im weiteren Verlauf der Vegetation blieb dieser Wert auf einem stabil hohen Wert. Im Oktober wurde unter ungedüngt in der Tiefenstufe 0-90 cm mit über $70 \text{ kg S}_{\min} \text{ ha}^{-1}$ ein gleich hoher Wert gefunden wie unter den gedüngten Varianten. (Abbildung 83). Die Werte in den mit Schwefel gedüngten Varianten waren während der Vegetation 2013 gegenüber ungedüngt deutlich erhöht. Über Winter verringerten sich die Werte wieder und stiegen während des Verlaufes 2014 unter Silomais wieder deutlich an. Die höchsten S_{\min} -Werte wurden entsprechend dem Vorjahr, dann gefunden, wenn in Frühjahr 2014 die Nachfrucht direkt mit Schwefel gedüngt wurde.

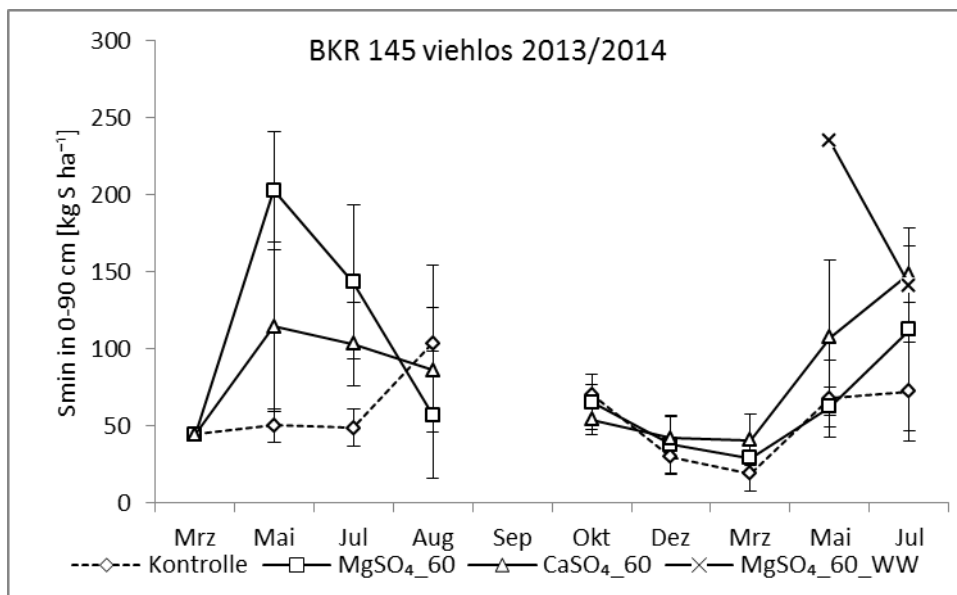


Abbildung 82: S_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Silomais von März 2013 bis Juli 2014. Umbruch Oktober 2013, Aussaat Mais April 2014 Standort BKR 145, viehlos

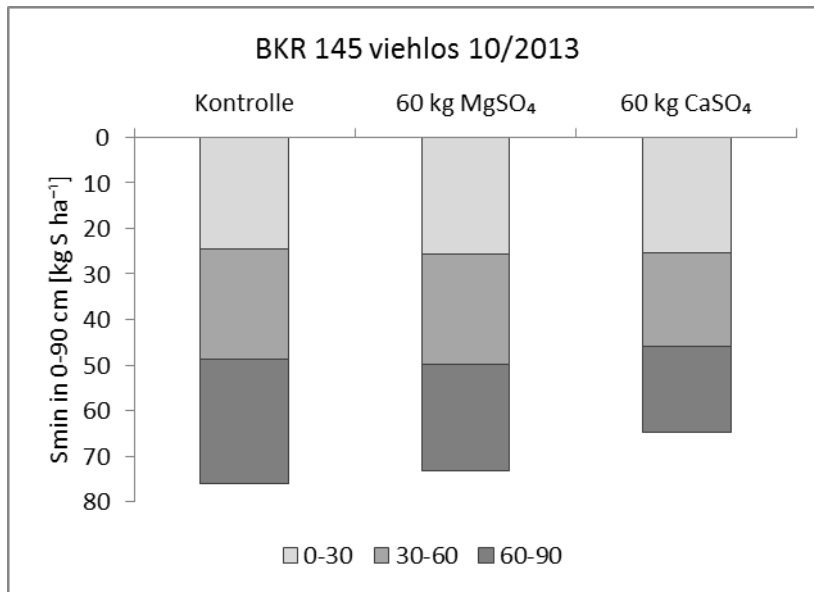


Abbildung 83: S_{min}-Werte zum Umbruch Futterleguminosen/Gras-Gemenge Oktober 2013 bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Futterleguminosen/Gras-Gemenge, Standort BKR 145, viehlos

Die Schwefelmengen, die in den Pflanzenbeständen 2013, bzw. in den Maiskolben 2014 gebunden waren, sind in Abbildung 84 aufgeführt. Signifikante Unterschiede wurden nicht festgestellt, was verdeutlicht, dass in allen Varianten, auch in der ungedüngten, genügend pflanzenverfügbarer Schwefel in der Bodenlösung vorlag.

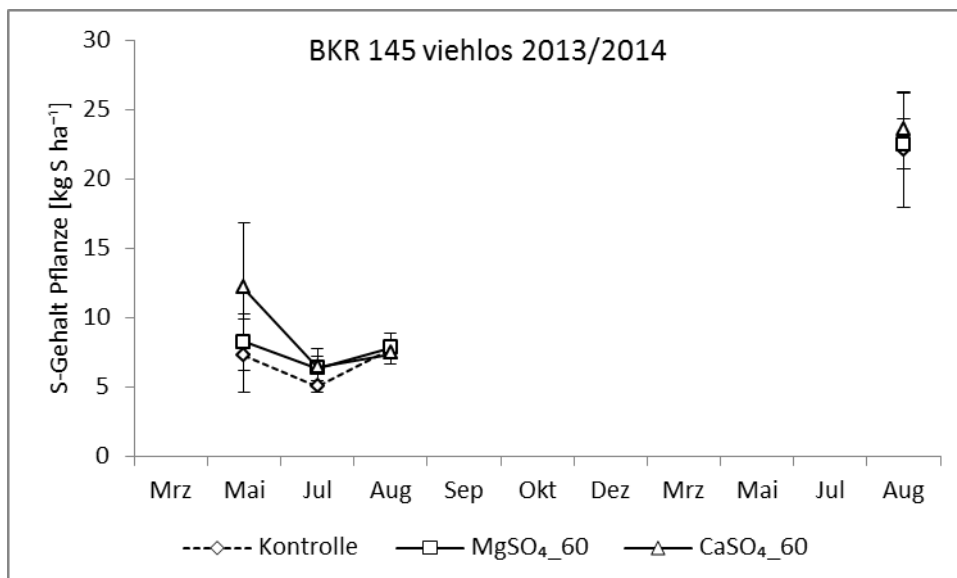


Abbildung 84: Schwefelmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnitzeitpunkten und Schwefelmenge im Korn der Nachfrucht Silomais, Anbaufolge 2013/2014 Standort BKR 145, viehlos

Die Mengen an Stickstoff, die in den Pflanzen eingebunden waren, unterschieden sich voneinander zum ersten Schnitt, wenn der Bestand mit MgSO_4 gedüngt war (Abbildung 85). Dieser Effekt könnte auf einer Magnesiumwirkung beruhen. Zu den anderen Messungen wurden nur noch geringe Unterschiede beobachtet, so dass insgesamt alle Varianten als gleichförmig betrachtet werden können.

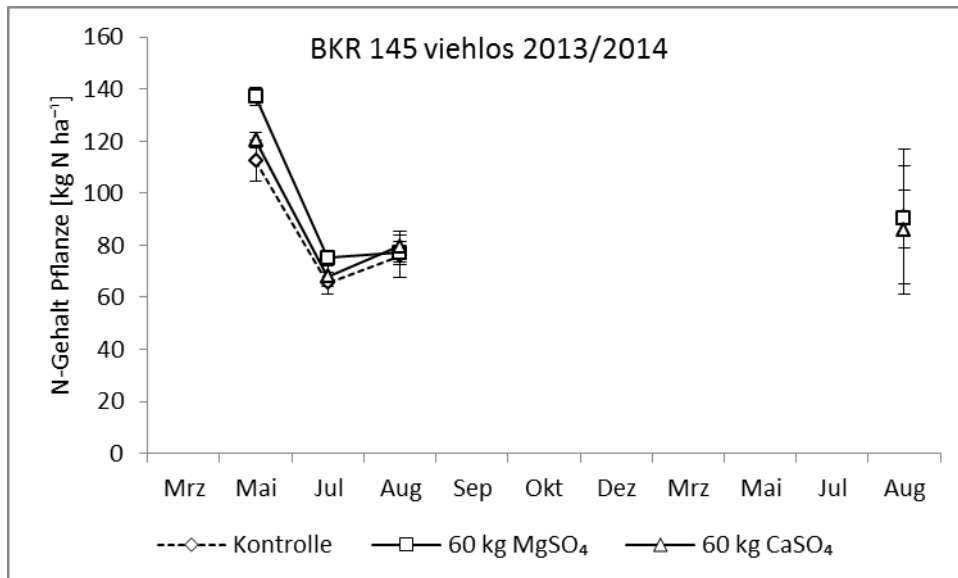


Abbildung 85: Stickstoffmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnittzeitpunkten und Stickstoffmenge im Korn der Nachfrucht Silomais, Anbaufolge 2013/2014 Standort BKR 145, viehlos

Der N_{\min} -Wert in 0-90 cm lag nach dem Umbruch im Dezember 2013 in allen Varianten auf einem niedrigen Niveau von etwa $10 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ (Abbildung 86). Zwischen den Messterminen März und Mai 2014 stieg dieser Wert sehr stark an, was in Zusammenhang mit einer vom Betrieb durchgeführten Düngung mit Biogasgülle steht. Unterschiede zwischen den Schwefeldüngungsvarianten konnten nicht erkannt werden.

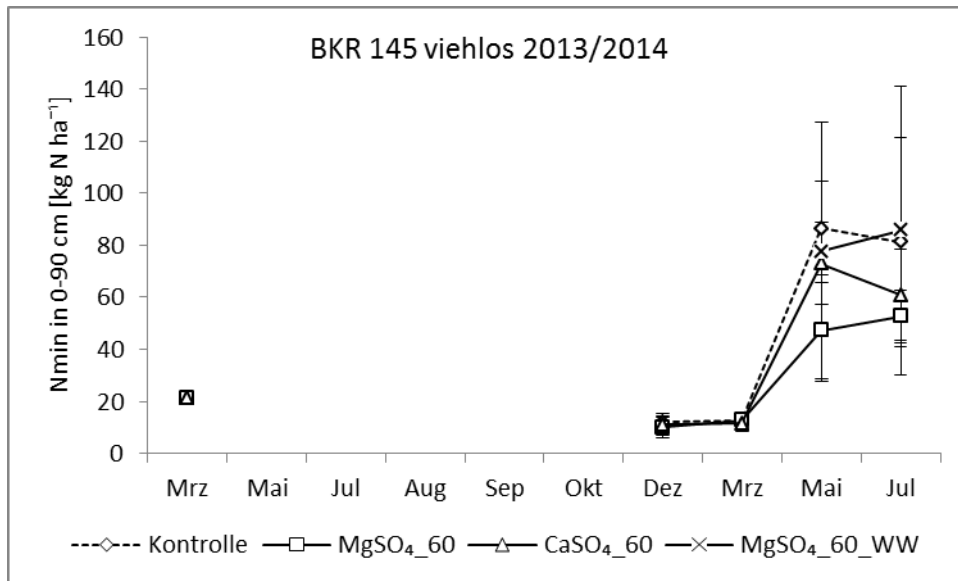


Abbildung 86: N_{min}-Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Silomais von Dezember 2013 bis Juli 2014. Umbruch Oktober 2013, Aussaat Mais Ende April 2014. Standort BKR 145, viehlos

4.2.8.2 Erträge Futterleguminosen, sowie S- und N- Konzentrationen und N/S-Quotient

Die Darstellung der Erträge des Futterleguminosen/Grasgemenges auf dem viehlosen Standort im BKR 145 2013 (Abbildung 87) machen deutlich, dass zum ersten und zum zweiten Schnitt ein sehr geringer Leguminosenanteil in der Bestandesbildung vorlag. Erst zum dritten Schnitt konnten sich die Leguminosen durchsetzen. Dieses muss vor dem Hintergrund diskutiert werden, dass dieser Bestand im ersten Nutzungsjahr stand und sich erst etablieren musste.

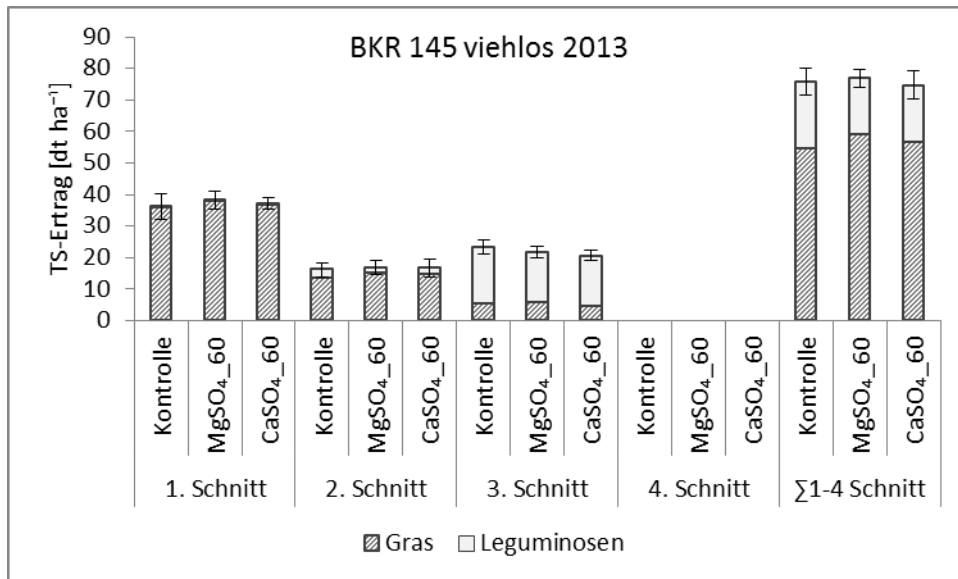


Abbildung 87: Trockensubstanzertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 145 viehlos 2013

Auffällig ist, dass zum ersten Schnitt die Konzentration von Schwefel im Spross der vorhandenen Leguminosen von 0,32 % auf knapp 0,4 % angestiegen ist, wenn Schwefel gedüngt wurde (Abbildung 88). Auch zum zweiten Schnitt lagen diese Werte gegenüber ungedüngt tendenziell höher, während die Gräser besonders zum dritten Schnitt in dieser Form reagierten. Auch die N-Konzentration im Spross der Leguminosen stieg zum ersten Schnitt bei Schwefeldüngung um etwa 0,2 % gegenüber dem Wert von 3,7 % bei ungedüngt an (Abbildung 89), zum zweiten Schnitt um 0,2 % gegenüber 2,7 %. Zum dritten Schnitt lagen die Werte in allen Variantengleichförmig bei 3,2 %.

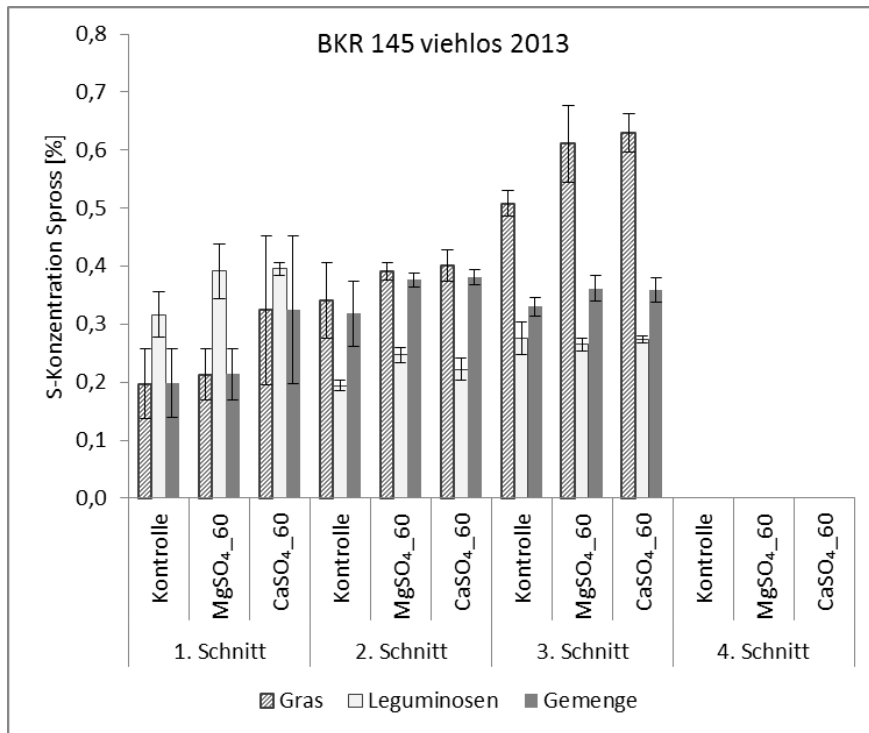


Abbildung 88: Schwefelkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 145 vieflos 2013

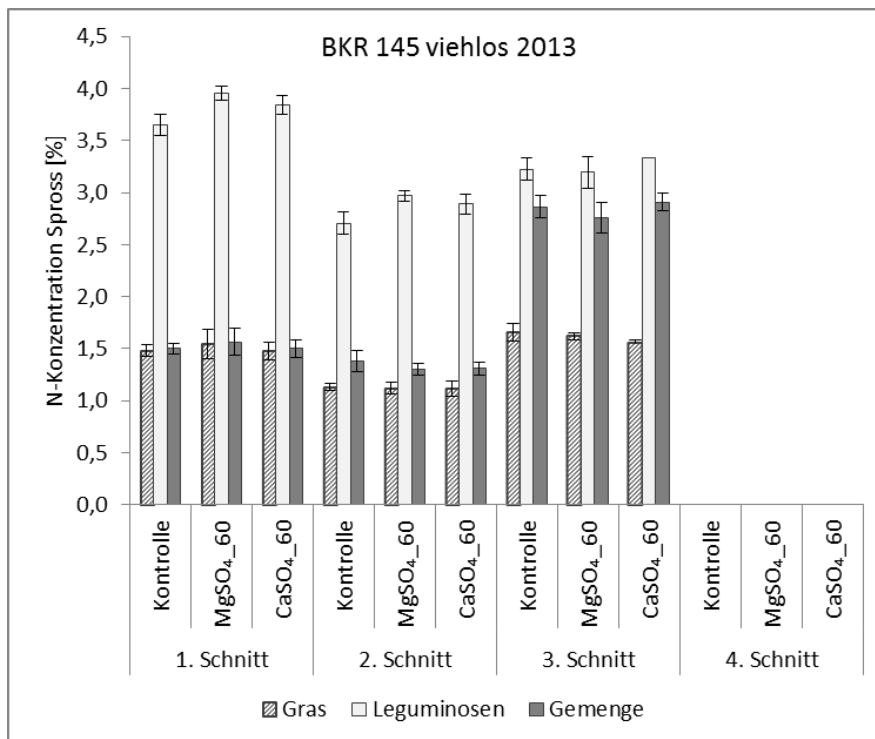


Abbildung 89: Stickstoffkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 145 vieflos 2013

Das N/S Verhältnis verengte sich zum ersten und zum zweiten Schnitt sowohl bei den Leguminosen, als auch bei den Gräsern (Abbildung 90), wobei das N/S-Verhältnis auch bei ungedüngt bei den Leguminosen nie weiter als 14 und bei den Gräsern nie weiter als 8 war. Bemerkenswert ist vor allem das sehr enge N/S-Verhältnis bei den Gräsern im zweiten und dritten Schnitt mit zum Teil unter drei.

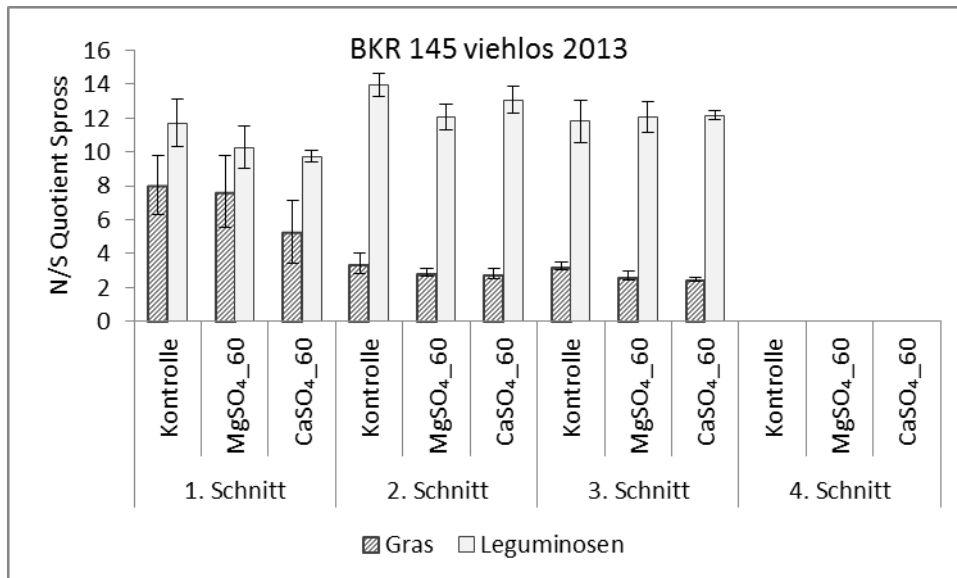


Abbildung 90: Stickstoff/Schwefel Verhältnis Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten Standort BKR 145 viehlos 2013

Der N-Flächenertrag des Leguminosen/Gras-gemenges belief sich in der Summe der drei Schnitte auf ca. 140 kg N ha⁻¹ (Abbildung 91) und die Menge an Schwefel, die mit dem Bestand von der Fläche abefahren wurde, auf rund 20 kg S ha⁻¹ (Abbildung 92). Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten gab es keine.

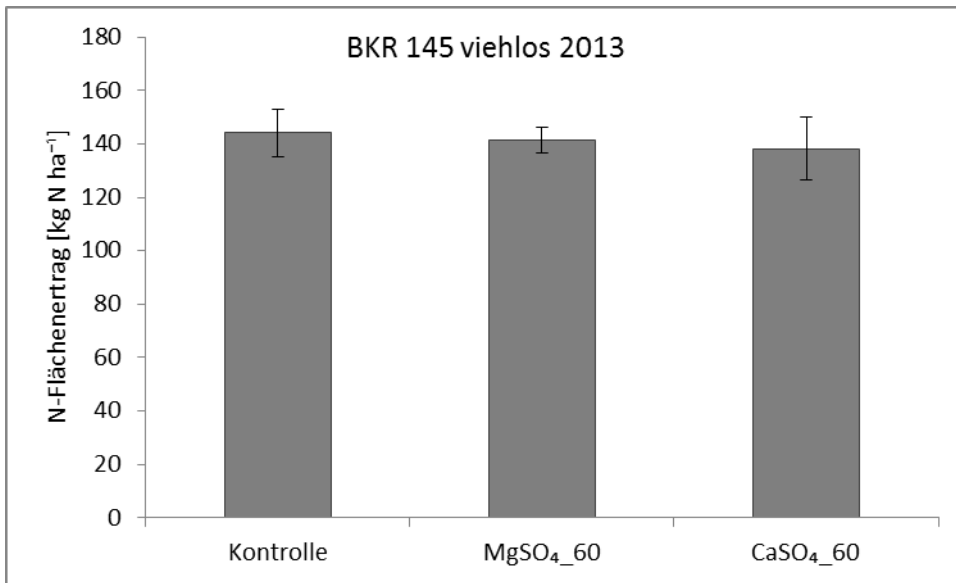


Abbildung 91: Stickstoffertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefel-düngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 145 viehhaltend 2013

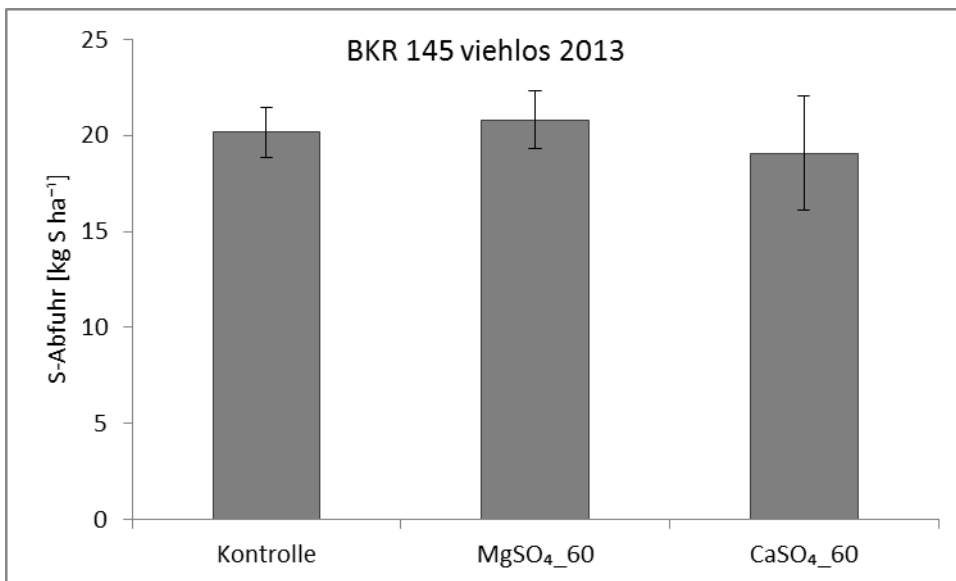


Abbildung 92: Schwefelentzug Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefel-düngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 145 viehhaltend 2013

4.2.8.3 Erträge Nachfrucht, sowie S- und N- Konzentrationen

Die Erträge des Silomaises auf dem Standort BKR 145 viehlos sind in Tabelle 17 aufgeführt. Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten konnten nicht festgestellt werden. Sowohl eine Schwefeldüngung in der Vorfrucht Futterleguminosen als auch eine Schwefeldüngung direkt zu Mais hatte keinen Einfluss auf Ertrag oder Inhaltsstoffe.

Tabelle 17: Erträge und Inhaltsstoffe von Silomais nach Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 145 viehlos 2014

Variante	Kontrolle	MgSO ₄	CaSO ₄	MgSO ₄ in Winterweizen
Kolbenertrag TS dt ha ⁻¹	107,8	104,7	110,0	110,9
Gesamtpflanzenenertrag 35 % TS, dt ha ⁻¹	294,4	263,5	295,4	309,2
S-Konzentration Einknotenstadium	0,45	0,45	0,46	0,46
S-Konzentration Korn	0,21	0,22	0,21	0,21
N-Konzentration Einknotenstadium	4,44	4,80	4,32	4,87
N-Konzentration Korn	1,41	1,39	1,42	1,45
N/S Einknotenstadium	10,0	10,5	9,4	10,5
N/S Korn	6,8	6,5	6,7	7,6
N-Flächenertrag Kolben	150,4	145,8	157,7	161,2
S-Abfuhr Kolben	22,0	22,5	23,5	23,6

4.2.9 BKR 104 viehhaltend Anbaufolge 2012/2013

4.2.9.1 S- und N-Dynamik Boden und Pflanze

Der gemessene Gesamtgehalt an Schwefel in der Tiefenstufe 0-90 cm lag bei ca. $2,0 \text{ t ha}^{-1}$ (ohne Abbildung). Eine Beeinflussung durch die Düngungsmaßnahmen konnte über den Messzeitraum nicht festgestellt werden.

Der S_{\min} -Ausgangswert für die Vegetation 2012 im März lag auf dem Standort BKR 104 viehhaltend von 0-30 cm bei $8,6 \text{ kg ha}^{-1}$, von 0-60 cm bei $15,1 \text{ kg ha}^{-1}$ und von 0-90 cm bei $33,5 \text{ kg ha}^{-1}$ (Abbildung 93). Bis Mai blieb dieser Wert auf gleichem Niveau bevor er zu den Messungen im Juli und im August deutlich anstieg. Die S_{\min} -Werte der gedüngten Varianten lagen bis zu zum Umbruchtermin deutlich über den Werten bei ungedüngt. Zum Umbruch im Oktober lag hatten sich alle Werte im wesentlichen angeglichen, in der Kontrolle wurden $94,8 \text{ kg } S_{\min} \text{ ha}^{-1}$, bei der Variante MgSO_4 $128,3 \text{ kg } S_{\min} \text{ ha}^{-1}$ und bei der Variante CaSO_4 $104 \text{ kg } S_{\min} \text{ ha}^{-1}$ gefunden. Im Verlauf 2013 unter Winterweizen wurden in allen Varianten hohe S_{\min} -Werte gefunden, die höchsten Werte (um $100 \text{ kg } S_{\min} \text{ ha}^{-1}$ dann, wenn in der Vorfrucht CaSO_4 gedüngt wurde oder wenn direkt zu Winterweizen Schwefel gedüngt wurde.

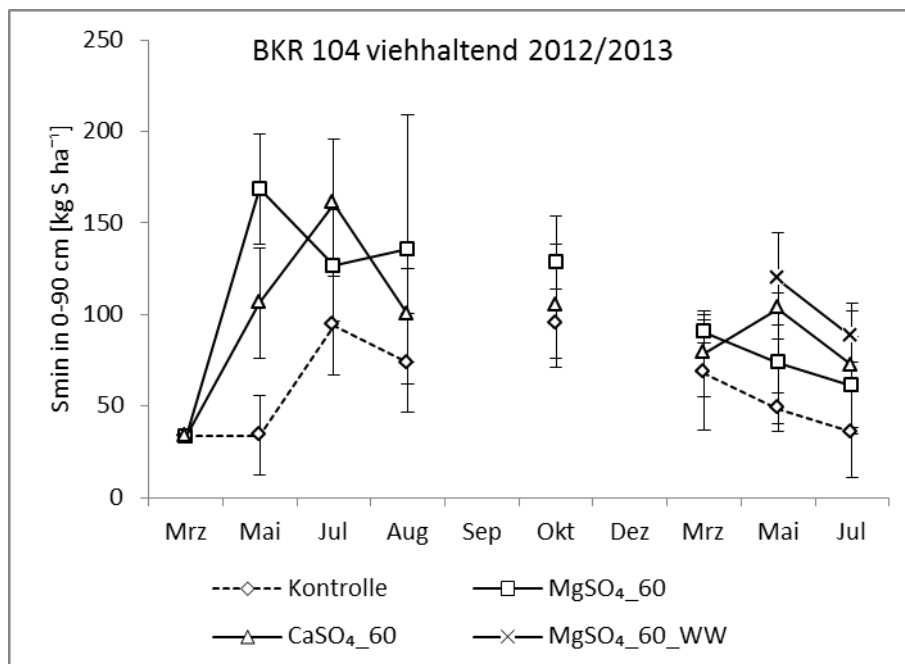


Abbildung 93: S_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Winterweizen von März 2012 bis Juli 2013. Umbruch und Weizenaussaat Oktober 2012. Standort BKR 104, viehhaltend

Die Mengen an Schwefel, die mit dem ersten und zweiten Schnitt durch die Futterleguminosenbestände aufgenommen wurden, waren mit jeweils vier bis 5 kg ha⁻¹ sehr niedrig und unterschieden sich nicht zwischen gedüngt und ungedüngt (Abbildung 94). Erst zum dritten Schnitt im August wurden, bei zwischenzeitlich eingesetzten Niederschlägen, höhere S-Mengen von den Pflanzen aufgenommen. Die Aufnahme in den gedüngten Varianten war mit ca. 15 kg S ha⁻¹ dabei fast doppelt so hoch wie bei ungedüngt. Die Mengen an Schwefel, die 2013 über das Korn abgefahren wurden lagen bei rund 4 kg S ha⁻¹. Absicherbare Unterschiede zwischen den Varianten gab es keine.

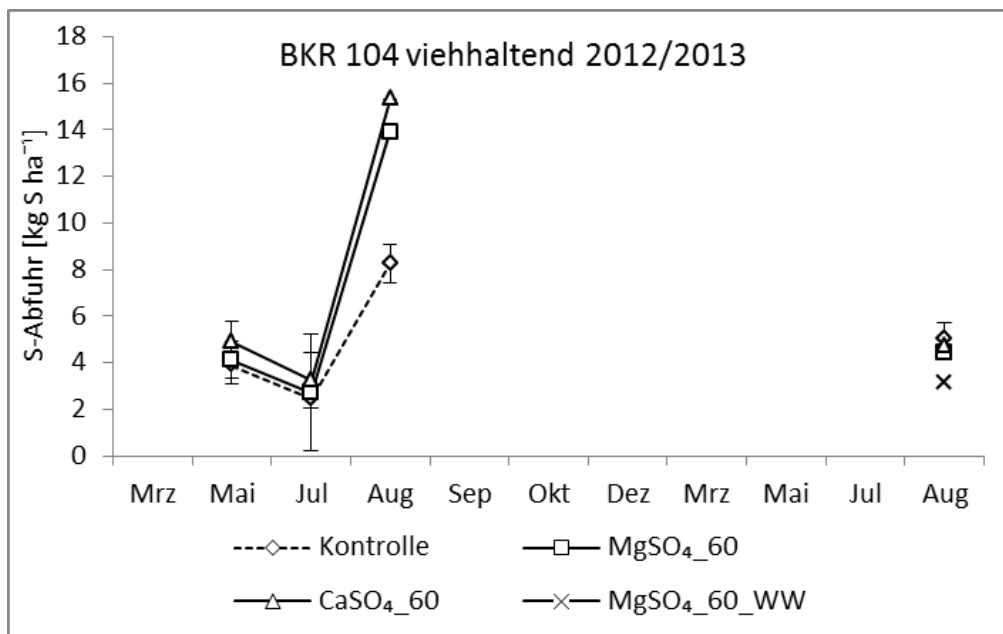


Abbildung 94: Schwefelmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnittzeitpunkten und Schwefelmenge im Korn der Nachfrucht Winterweizen, Anbaufolge 2012/2013 Standort BKR 104, viehhaltend

Die Mengen an Stickstoff, die in den Futterleguminosenbeständen eingebunden waren, lagen tendenziell etwas höher, wenn Schwefel gedüngt wurde (Abbildung 95). Zum dritten Schnitt waren ca. 10 kg N ha⁻¹ mehr in die Pflanzenbestände eingebunden. Eine Beeinflussung des N-min-Wertes wurde nicht festgestellt (Abbildung 96).

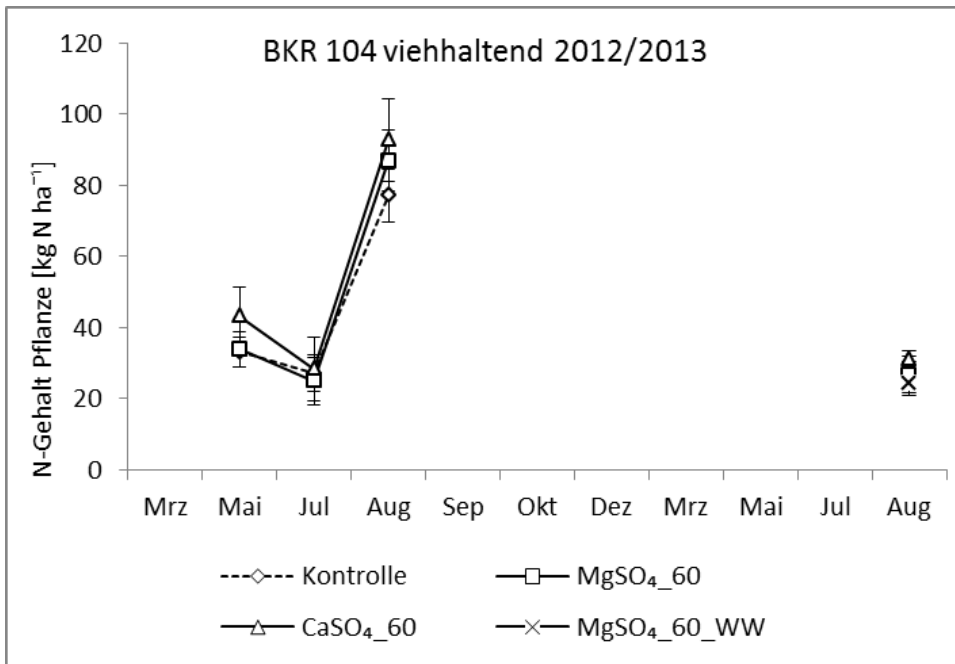


Abbildung 95: Stickstoffmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu verschiedenen Schnitzeitpunkten und Stickstoffmenge im Korn der Nachfrucht Winterweizen, Anbaufolge 2012/2013 Standort BKR 104, vieldhaltend

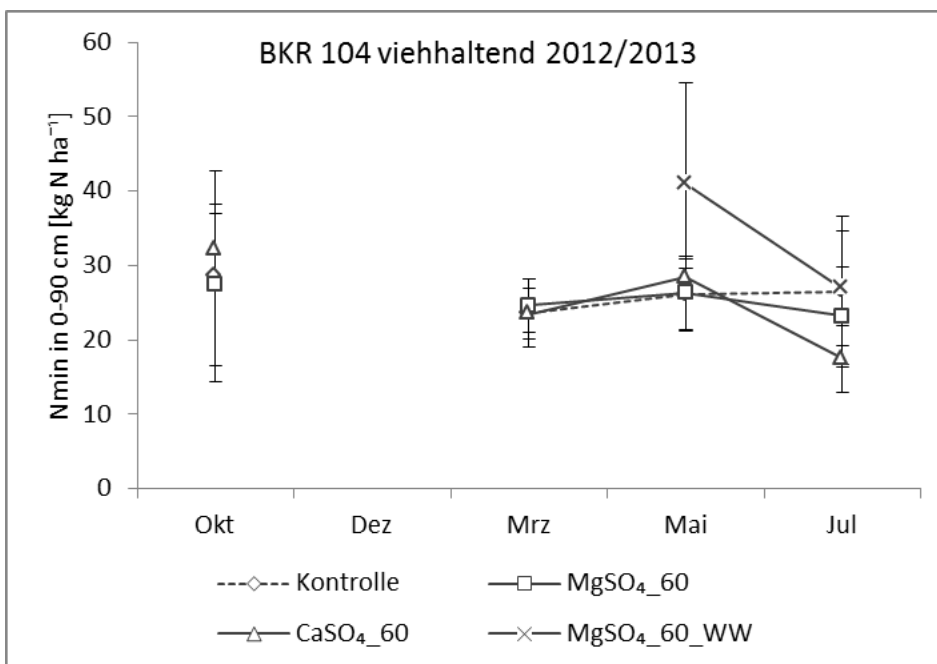


Abbildung 96: N_{min}-Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Winterweizen von Oktober 2012 bis Juli 2013. Umbruch und Weizenaussaat Oktober 2012. Standort BKR 104, vieldhaltend

4.2.9.2 Erträge Futterleguminosen, sowie S- und N- Konzentrationen und N/S-Quotient

Die Darstellung der Trockensubstanzerträge der Futterleguminosenbestände auf dem Standort BKR 104 viehhaltend zeigt, dass zum ersten und zweiten Schnitt nur sehr geringe Mengen geerntet werden konnten (Abbildung 97). Dies wird in Zusammenhang mit fehlenden Niederschlägen im Frühjahr gesehen. Im dritten Schnitt wurde dann mit 30 bis 40 dt ha⁻¹ Trockenmasse der ertragreichste Schnitt eingefahren. Insgesamt zeichnete sich ein leichter Vorteil ab, wenn CaSO₄ gedüngt war.

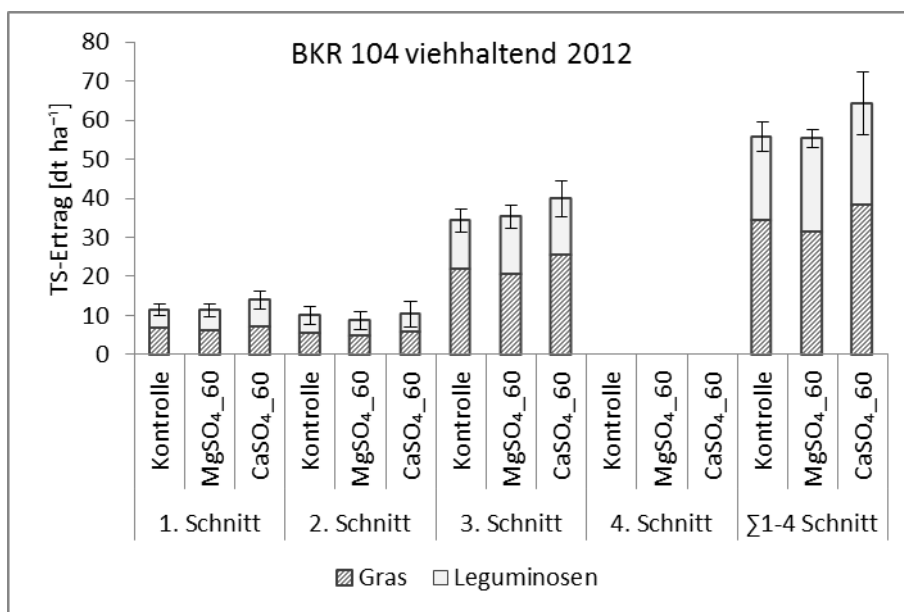


Abbildung 97: Trockensubstanzertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten, Standort BKR 104 viehhaltend 2012

Die Schwefelkonzentrationen im Spross waren bei Schwefeldüngung gegenüber ungedüngt leicht erhöht. Signifikante Unterschiede lagen in den Leguminosen zum dritten Schnitt vor. Die gedüngten Bestände wiesen eine S-Konzentration von 0,22 % gegenüber 0,17 % bei ungedüngt auf (Abbildung 98). Auch bei den Gräsern war der Anstieg der S-Konzentration im Spross durch eine Schwefeldüngung zum dritten Schnitt am deutlichsten. Die Konzentrationen an Stickstoff lagen, vermutlich im Zusammenhang mit der niedrigen Trockensubstanzbildung, zum ersten und zweiten Schnitt in allen Varianten auf einem ähnlich hohen Niveau über 3,5 %. Erst zum dritten Schnitt verringerten sich die N-Konzentrationen und lagen bei ungedüngt mit 2,9 % unter der Kon-

zentration von 3,1 %, wenn Schwefel gedüngt war (Abbildung 98). Die Gräser blieben unbeeinflusst.

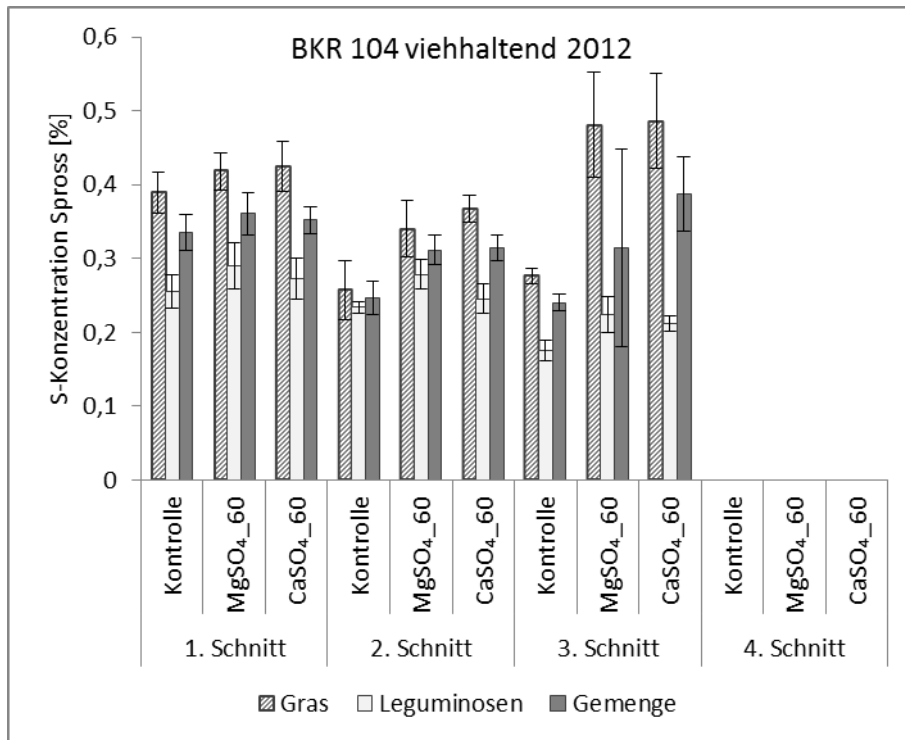


Abbildung 98: Schwefelkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnitzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 104 viehhaltend 2012

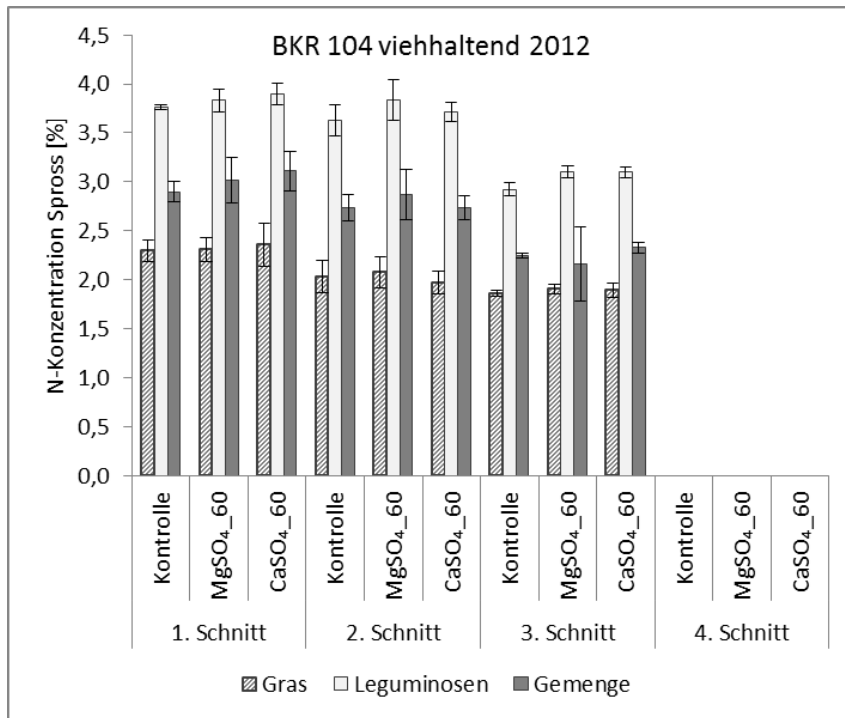


Abbildung 99: Stickstoffkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnitzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 104 viehhaltend 2012

In der Variante ungedüngt führte die geringere S-Aufnahme im dritten Schnitt zu einem weiteren N/S-Verhältnis bei ungedüngt von knapp 17 gegenüber 14 bei gedüngt (Abbildung 100).

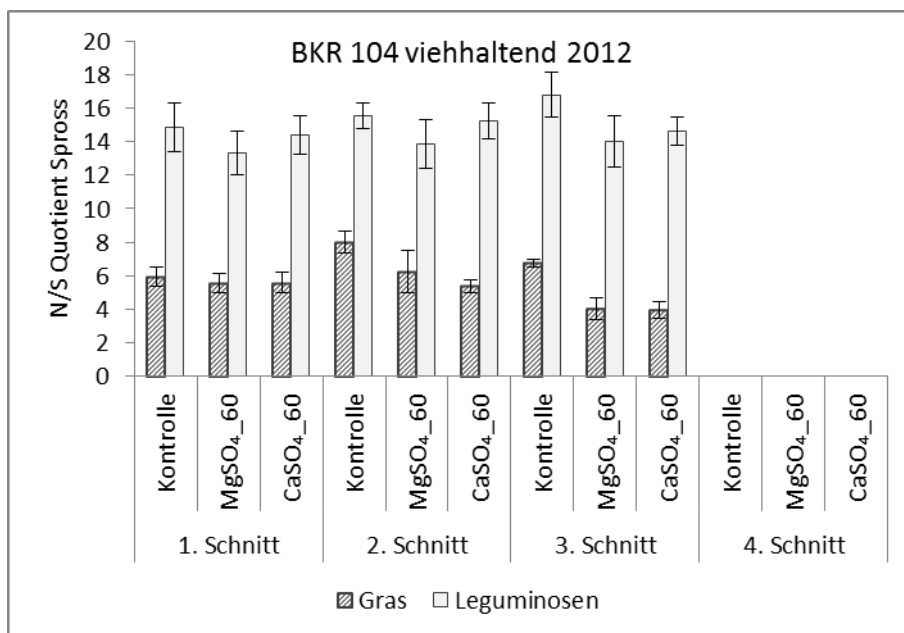


Abbildung 100: Stickstoff/Schwefel Verhältnis Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnitzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung Standort BKR 104 viehhaltend 2012

Der N-Flächenertrag der im Jahr 2012 auf dem Standort BKR 104 viehlos realisiert wurde (Abbildung 101), betrug bei der Kontrollvariante 137 kg N ha^{-1} , bei der Variante MgSO_4 136 kg N ha^{-1} und bei der Variante CaSO_4 164 kg N ha^{-1} , wodurch man einen Calciumeffekt vermuten kann. Aufgrund des höheren Trockensubstanzertrages wurde in der Variante CaSO_4 mit $23,4 \text{ kg S ha}^{-1}$ signifikant mehr Schwefel als bei der ungedüngten Kontrollvariante abgefahren ($14,5 \text{ kg S ha}^{-1}$), (Abbildung 102).

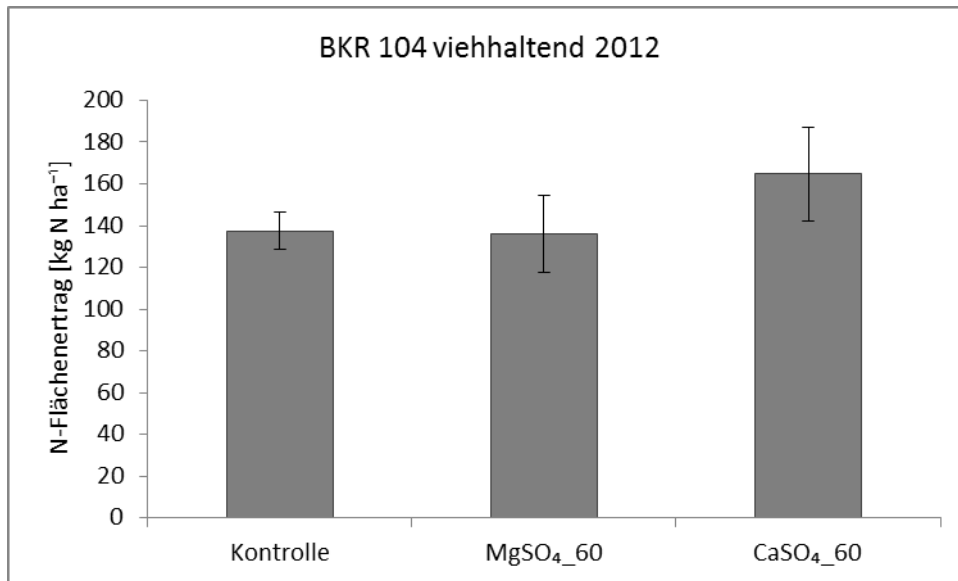


Abbildung 101: Stickstoffertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 104 viehhaltend 2012

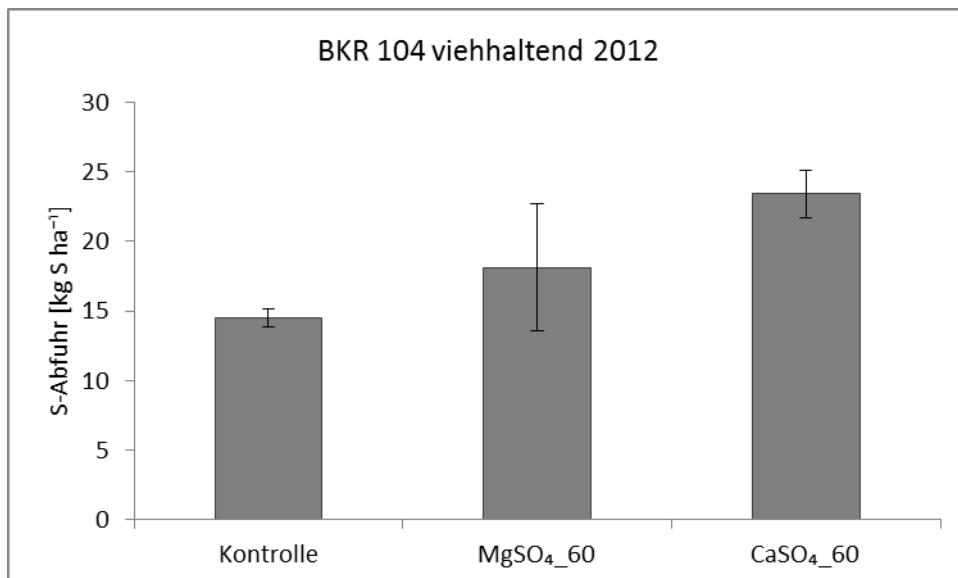


Abbildung 102: Schwefelentzug Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 104 viehhaltend 2012

4.2.9.3 Erträge Nachfrucht, sowie S- und N- Konzentrationen

Tabelle 18 beinhaltet die Leistungen der Nachfrucht Winterweizen auf dem Standort BKR 104 viehhaltend im Erntejahr 2013. Der erzielte Kornertrag lag in allen Varianten unter 20 dt TS ha⁻¹. Durch eine Schwefeldüngung im Vorjahr in den Futterleguminosen und auch durch die direkte Schwefeldüngung in Winterweizen konnte der Kornertrag nicht erhöht werden. Auch bei den übrigen Parametern gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Behandlungen. Leichte Vorteile bei der Variante CaSO₄ sind möglicherweise auf einen Calciumeffekt zurückzuführen.

Tabelle 18: Erträge und Inhaltsstoffe von Winterweizen nach Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 104 viehhaltend 2013

Variante	Kontrolle	MgSO ₄	CaSO ₄	MgSO ₄ in Winterweizen
Kornertrag TS dt ha ⁻¹	17,4	15,8	18,9	16,7
Strohertrag TS dt ha ⁻¹	42,0	32,7	37,3	34,8
S-Konzentration Vegetationsbeginn	0,42	0,39	0,47	-
S-Konzentration Einknotenstadium	0,33	0,32	0,36	-
S-Konzentration Korn	0,29	0,28	0,25	0,18
N-Konzentration Vegetationsbeginn	3,89	3,75	3,86	-
N-Konzentration Einknotenstadium	2,38	2,26	2,20	-
N-Konzentration Korn	1,62	1,52	1,60	1,62
N-Flächenertrag Korn	27,2	26,5	31,1	24,4
S-Abfuhr Korn	4,8	4,9	4,9	2,7

4.2.10 BKR 104 viehhaltend Anbaufolge 2013/2014

4.2.10.1 S- und N-Dynamik Boden und Pflanze

Der gemessene Gesamtgehalt an Schwefel in der Tiefenstufe 0-90 cm lag bei ca. $0,5 \text{ t ha}^{-1}$ (ohne Abbildung). Eine Beeinflussung durch die Düngungsmaßnahmen konnte über den Messzeitraum nicht festgestellt werden.

Der S_{\min} -Ausgangswert für die Vegetation 2012 im März lag auf dem Standort BKR 104 viehhaltend von 0-30 cm bei $5,4 \text{ kg ha}^{-1}$, von 0-60 cm bei $20,9 \text{ kg ha}^{-1}$ und von 0-90 cm bei $35,1 \text{ kg ha}^{-1}$ (Abbildung 93). Bis Mai blieb dieser Wert auf gleichem Niveau bevor er zu den Messungen im Juli und im August wie im Vorjahr erneut deutlich anstieg. Die S_{\min} -Werte der gedüngten Varianten lagen bis zu zum Umbruchtermin deutlich über den Werten bei ungedüngt. Zum Umbruch im Oktober lag der S_{\min} -Wert in der Kontrollvariante mit $24,4 \text{ kg } S_{\min} \text{ ha}^{-1}$ unter dem Ausgangswert vom März, während bei der Variante MgSO_4 $67,2 \text{ kg } S_{\min} \text{ ha}^{-1}$ und bei der Variante CaSO_4 $83,9 \text{ kg } S_{\min} \text{ ha}^{-1}$ gefunden wurden. Bis Dezember ging anscheinend aus allen Varianten Schwefel aus der S_{\min} -Fraktion verloren. Der Rückgang des S_{\min} -Wertes war in allen Varianten gleichförmig, so dass mit dem Einsetzen der Vegetation 2013 in den gedüngten Varianten noch ein S_{\min} -Wert von knapp $50 \text{ kg } S_{\min} \text{ ha}^{-1}$ vorlag, während der S_{\min} -Vorrat bei ungedüngt mit unter $20 \text{ kg } S_{\min} \text{ ha}^{-1}$ in 0-90 cm Tiefe nahezu erschöpft schien. Der Wert bei ungedüngt stieg dann im weiteren Verlauf auch nicht mehr nennenswert an, während in den im Vorjahr gedüngten Varianten der Gehalt an S_{\min} -Anstieg, in der Variante CaSO_4 mit über $70 \text{ kg } S_{\min} \text{ ha}^{-1}$ auf dasselbe Niveau wie bei direkter Schwefeldüngung in Winterweizen.

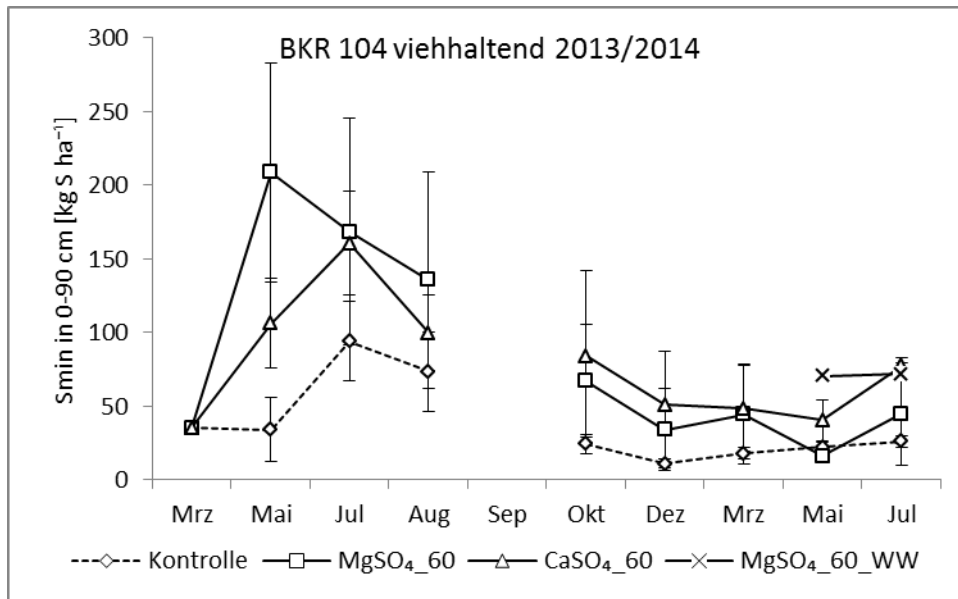


Abbildung 103: S_{min}-Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Winterweizen von März 2013 bis Juli 2014. Umbruch und Weizenaussaat Oktober 2013. Standort BKR 104, viehhaltend

Die Menge an Schwefel, die zu den ersten beiden Schnittterminen von den Pflanzen aufgenommen wurde, lag in den gedüngten Varianten signifikant über ungedüngt (Abbildung 104). Während die Pflanzen zum ersten Schnitt bei ungedüngt etwas über 6 kg ha⁻¹ aufnahmen, waren es 13 kg S ha⁻¹ bei MgSO₄-Düngung und 12 kg S ha⁻¹ bei CaSO₄-Düngung. Mit dem Rückgang des Trockenmasseertrages ging auch die Schwefelaufnahme in den nächsten Schnitten generell zurück. Zum dritten Schnitt gab es keine Unterschiede mehr zwischen den Varianten, im Pflanzenaufwuchs waren nur ca. 3 kg S ha⁻¹ enthalten.

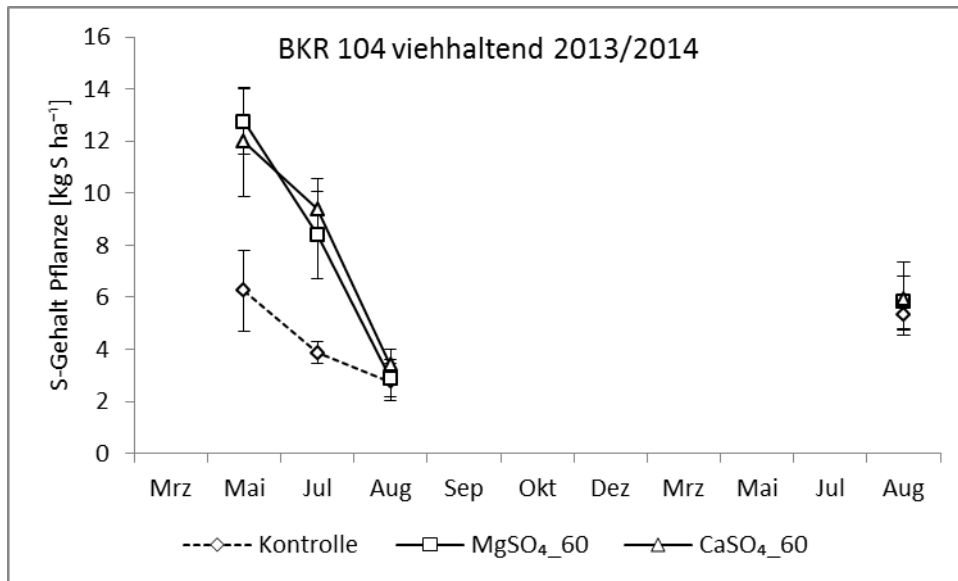


Abbildung 104: Schwefelmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu verschiedenen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung und Schwefelmenge im Korn der Nachfrucht Winterweizen, Anbaufolge 2013/2014 Standort BKR 104, viehhaltend

Die Stickstoffgehalte, die zu den verschiedenen Schnittterminen in den Pflanzenbeständen gebunden waren, wurden durch die Schwefeldüngungsmaßnahmen erhöht (Abbildung 105). Am deutlichsten konnte dies bei MgSO₄-Düngung beobachtet werden. Im ersten Schnitt waren bei dieser Variante über 50 kg ha⁻¹ gebunden und zum zweiten Schnitt über 35 kg S ha⁻¹. Demgegenüber lagen die Stickstoffmengen bei ungedüngt zum ersten Schnitt bei 35 kg S ha⁻¹ und zum zweiten Schnitt bei 25 kg S ha⁻¹. Zum Zeitpunkt des dritten Schnitts war in allen Varianten nur noch ca. 10 kg S ha⁻¹ eingebunden, Unterschiede zwischen den Varianten gab es hier keine mehr.

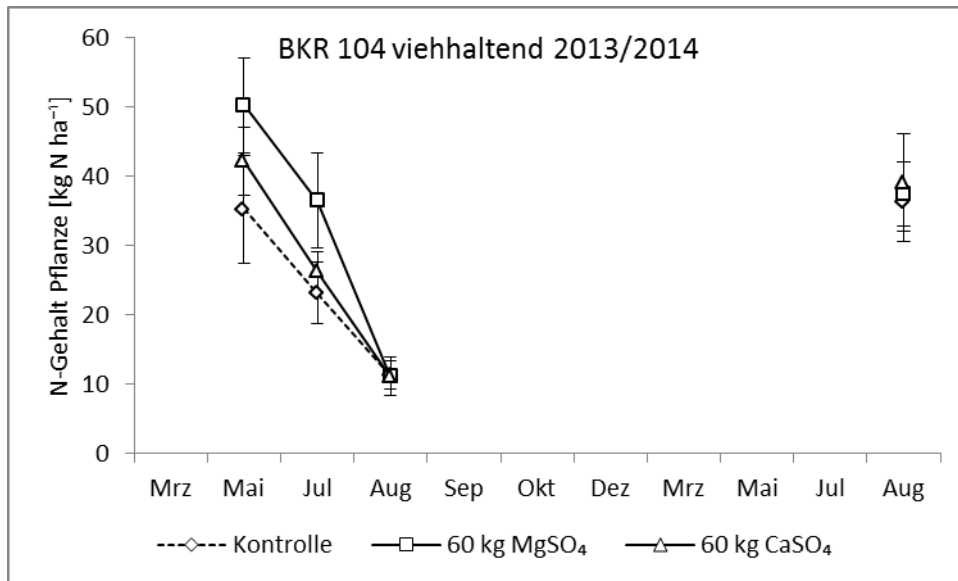


Abbildung 105: Stickstoffmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu verschiedenen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung und Schwefelmenge im Korn der Nachfrucht Winterweizen, Anbaufolge 2013/2014 Standort BKR 104, viehhaltend

Die N_{min} Werte in den verschiedenen Varianten im Dezember 2013 lagen alle zwischen 15 kg ha^{-1} und 20 kg ha^{-1} (Abbildung 106). Auch im weiteren Verlauf unter Winterweizen waren keine Unterschiede festzustellen.

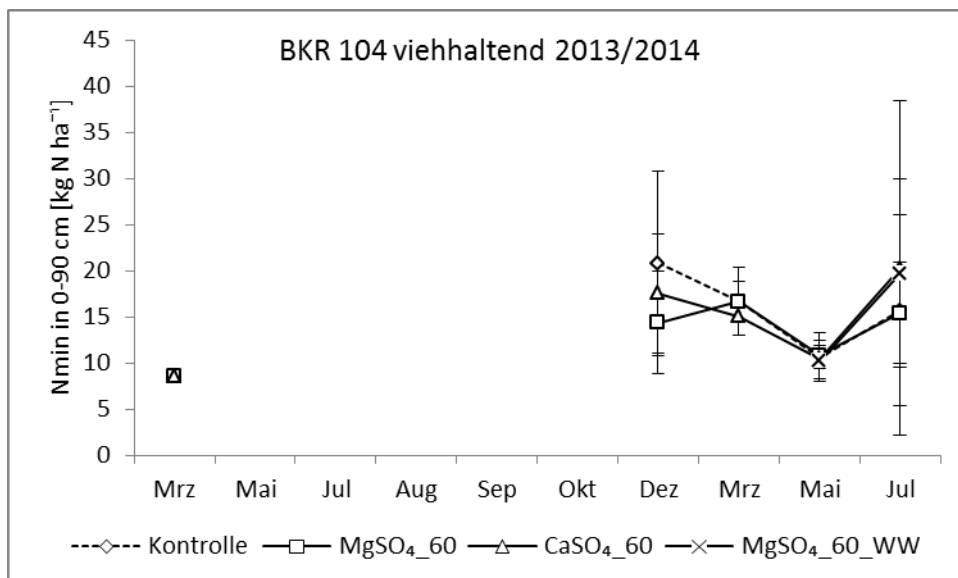


Abbildung 106: N_{min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Winterweizen von Oktober 2013 bis Juli 2014. Umbruch und Aussaat Winterweizen Oktober 2013, Standort BKR 104, viehhaltend

4.2.10.2 Erträge Futterleguminosen, sowie S- und N- Konzentrationen und N/S-Quotient

Der Klee grasbestand auf dem Standort BKR 104 viehhaltend war 2013 im zweiten Hauptnutzungsjahr. Durch die auf diesem Standort anhaltende Trockenheit schon im Vorjahr 2012 hatten besonders die Leguminosen zu leiden, so dass zum ersten und zweiten Schnitt die Bestandesbildung fast ausschließlich aus dem Gräserbestandteil gebildet wurde. Zum dritten Schnitt, der in der Praxis durch eine Rinderbeweidung durchgeführt wurde, wurden im Bestand keine Leguminosen mehr gefunden. Dennoch zeigte sich zu den ersten beiden Schnittterminen ein Effekt auf den Ertrag durch die Schwefeldüngungsmaßnahmen. (Abbildung 107). In der Summe der drei Schnitte erbrachte die ungedüngte Kontrollvariante einen Trockensubstanzertrag von 43,5 dt ha⁻¹, 58,6 dt ha⁻¹ bei der Schwefeldüngung mit MgSO₄ und 52,4 dt ha⁻¹ bei der Schwefeldüngung mit CaSO₄.

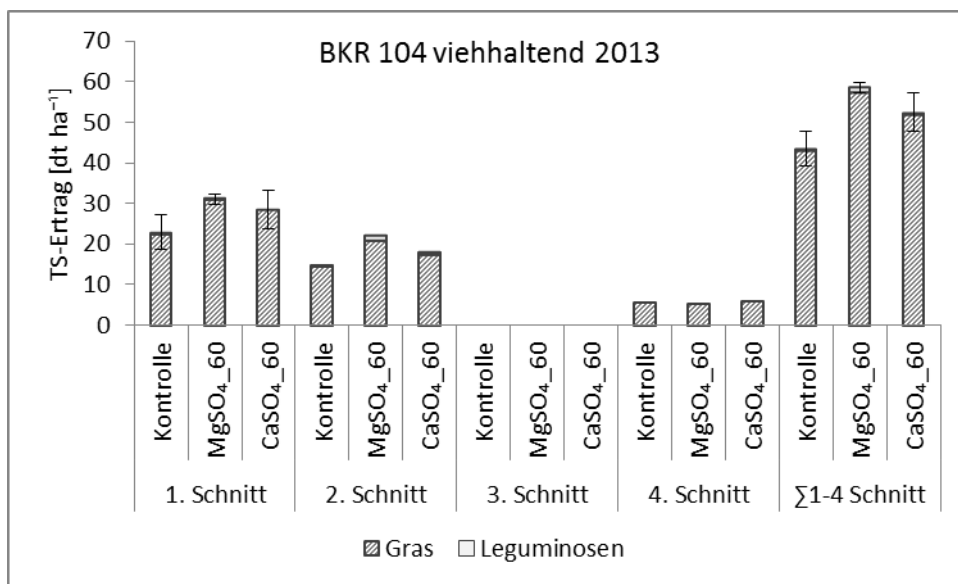


Abbildung 107: Trockensubstanzertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 104 viehhaltend 2013

Die Schwefeldüngungsmaßnahmen hatten bei den Leguminosen und bei den Gräsern eine Erhöhung der Schwefelkonzentration im Spross zur Folge (Abbildung 108). Vermutlich aufgrund der Trockenheit und der damit verbundenen geringen Trockensubstanzbildung lagen die S-Konzentrationen insbesondere zum ersten Schnitt sehr hoch, knapp 0,5 % in der Kontrolle und zwischen 0,65 % und 0,75 % bei gedüngt.

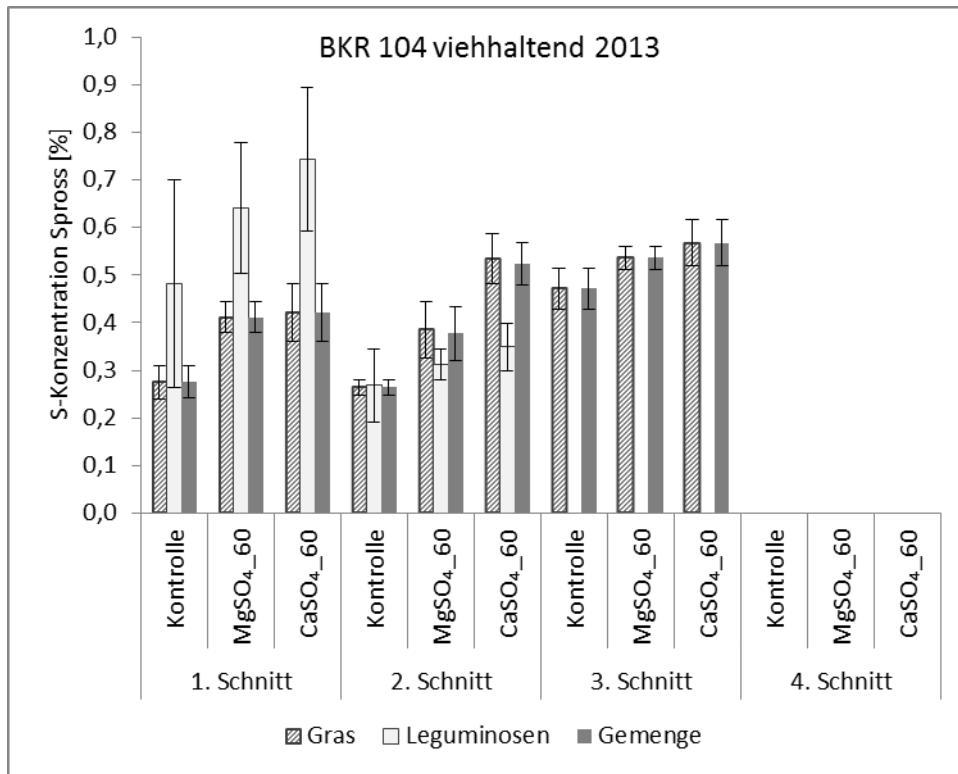


Abbildung 108: Schwefelkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 104 viehhaltend 2013

Auch die Stickstoffkonzentration bei den Leguminosen erhöhte sich (Abbildung 109). Da der Anteil der Leguminosen im Gemenge aber so gering war, war diese Wirkung nicht relevant.

Die Betrachtung des N/S-Quotienten zeigt, dass in allen Fällen, auch bei ungedüngt, der Wert von 12 nicht überschritten wurde (Abbildung 110).

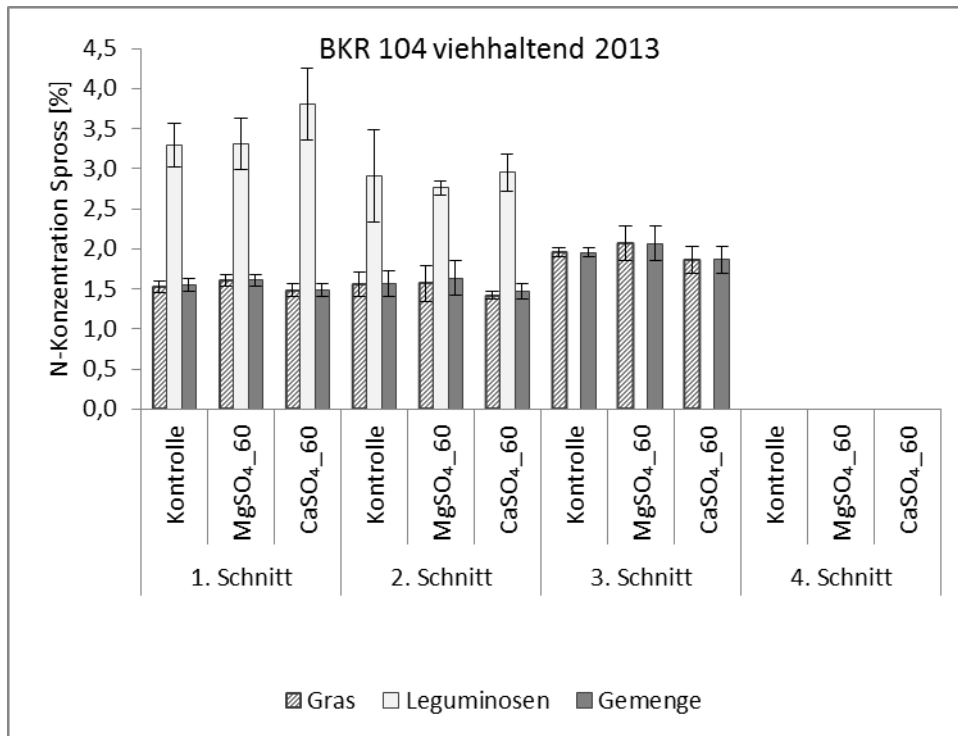


Abbildung 109: Stickstoffkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 104 viehhaltend 2013

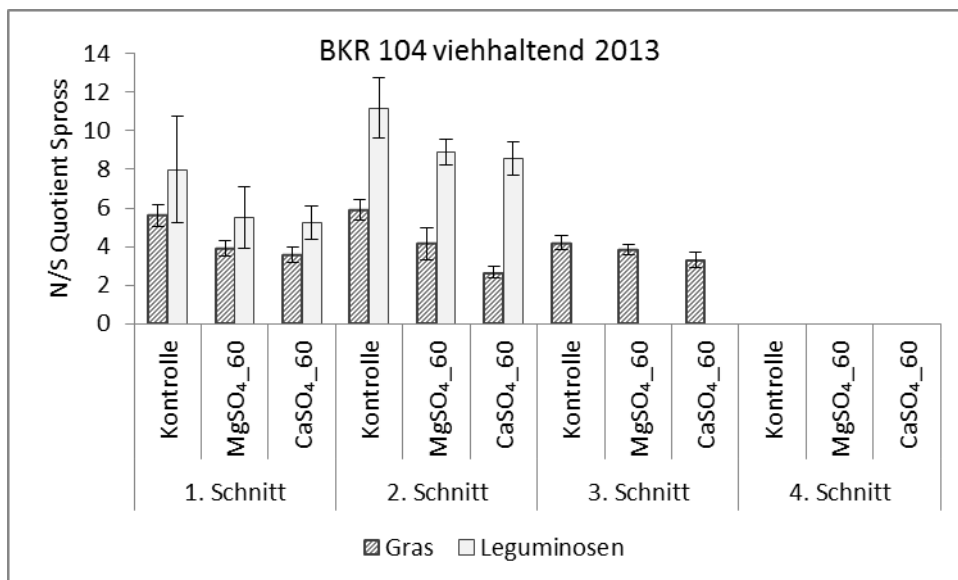


Abbildung 110: Stickstoff/Schwefel Verhältnis Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung Standort BKR 104 viehhaltend 2013

Abbildung 111 zeigt, dass der Stickstoffflächenertrag positiv von einer Schwefeldüngung beeinflusst wurde. Bei einer Düngung mit MgSO₄ stieg der N-Ertrag von knapp 70 kg N ha⁻¹ in der Kontrolle signifikant auf 98 kg N ha⁻¹ und auf 80 kg N ha⁻¹ bei der

Düngung mit CaSO_4 . Da der Leguminosenanteil aber so gering war, ist zu vermuten, dass dieser Effekt von einer besseren Verwertung von residualem Stickstoff aus dem Vorjahr herrührt. Abbildung 112 macht deutlich, dass bei Schwefeldüngung ca. 5-10 kg ha^{-1} mehr Schwefel von der Fläche abgefahren wurde.

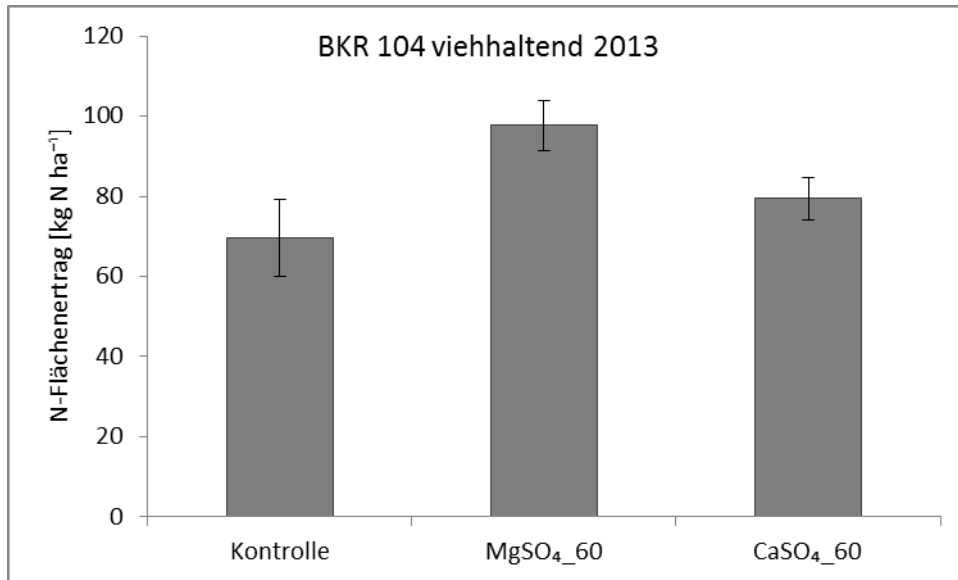


Abbildung 111: Stickstoffertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 104 viehhaltend 2013

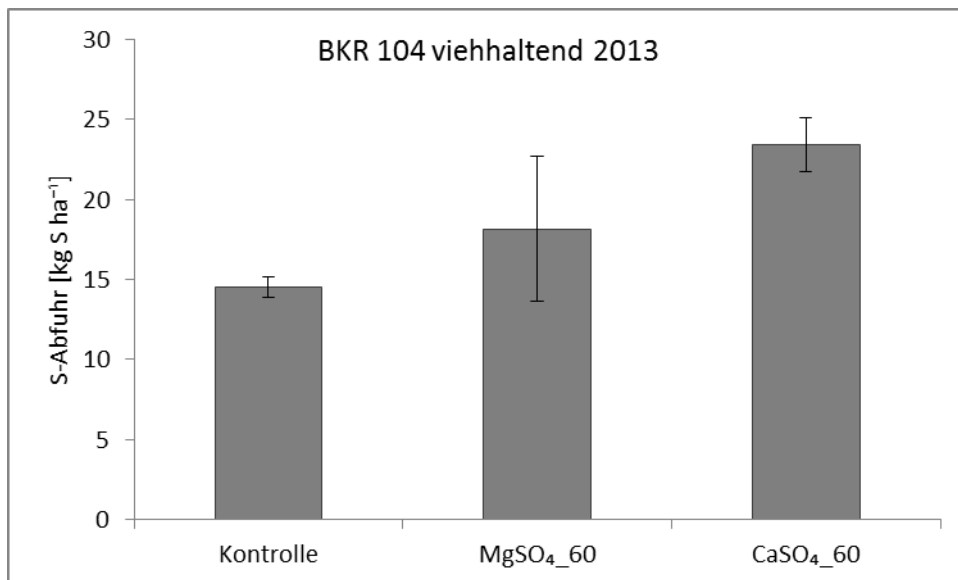


Abbildung 112: Schwefelentzug Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 104 viehhaltend 2013

4.2.10.3 Erträge Nachfrucht, sowie S- und N- Konzentrationen

Tabelle 19 beinhaltet die Leistungen der Nachfrucht Winterweizen auf dem Standort BKR 104 viehhaltend im Erntejahr 2014. Der erzielte Kornertrag lag in allen Varianten um 25 dt TS ha⁻¹ und war durch eine Schwefeldüngung im Vorjahr in den Futterleguminosen und auch durch die direkte Schwefeldüngung in Winterweizen nicht signifikant beeinflusst. Auch bei den übrigen Parametern gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Behandlungen.

Tabelle 19: Erträge und Inhaltsstoffe von Winterweizen nach Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 104 viehhaltend 2014

Variante	Kontrolle	MgSO ₄	CaSO ₄	MgSO ₄ in Winterweizen
Kornertrag TS dt ha ⁻¹	23,9	25,2	26,9	25,7
Strohertrag TS dt ha ⁻¹	25,7	29,3	29,8	27,6
S-Konzentration Vegetationsbeginn	0,47	0,46	0,40	-
S-Konzentration Einknotenstadium	0,24	0,24	0,29	0,3
S-Konzentration Korn	0,23	0,23	0,22	0,23
N-Konzentration Vegetationsbeginn	3,91	3,72	3,75	-
N-Konzentration Einknotenstadium	1,35	1,40	1,40	1,40
N-Konzentration Korn	1,51	1,49	1,46	1,48
N-Flächenertrag Korn	36,2	37,4	39,1	38,1
S-Abfuhr Korn	5,4	5,8	5,9	6,0

4.2.11 BKR 104 viehlos Anbaufolge 2012/2013

4.2.11.1 S- und N-Dynamik Boden und Pflanze

Bei der Betrachtung der S_{\min} -Dynamik im Boden auf dem Standort BKR 104 viehlos im Jahr 2012/2013 wird deutlich, dass durch die im Versuch ausgebrachten Schwefeldüngermengen keinen entscheidenden Einfluss auf die Schwefelversorgung des Standortes hatten (Abbildung 113). Ausgehend von einem S_{\min} -Wert von 0-90 cm von rund $25 \text{ kg } S_{\min} \text{ ha}^{-1}$ stiegen die Werte im Weiteren in allen Varianten auf deutlich über $100 \text{ kg } S_{\min} \text{ ha}^{-1}$ an. Dies könnte entweder mit einem Aufstieg von schwefelhaltigem Grundwasser in Zusammenhang stehen, oder aber auch mit einer versehentlich vom Betrieb durchgeführten S-Düngungsmaßnahme in der Versuchsanlage. Da unter diesen Umständen keine Differenzierung zwischen den untersuchten Parametern Pflanze und Boden festzustellen war, wird auf eine detaillierte Ergebnisdarstellung an dieser Stelle verzichtet.

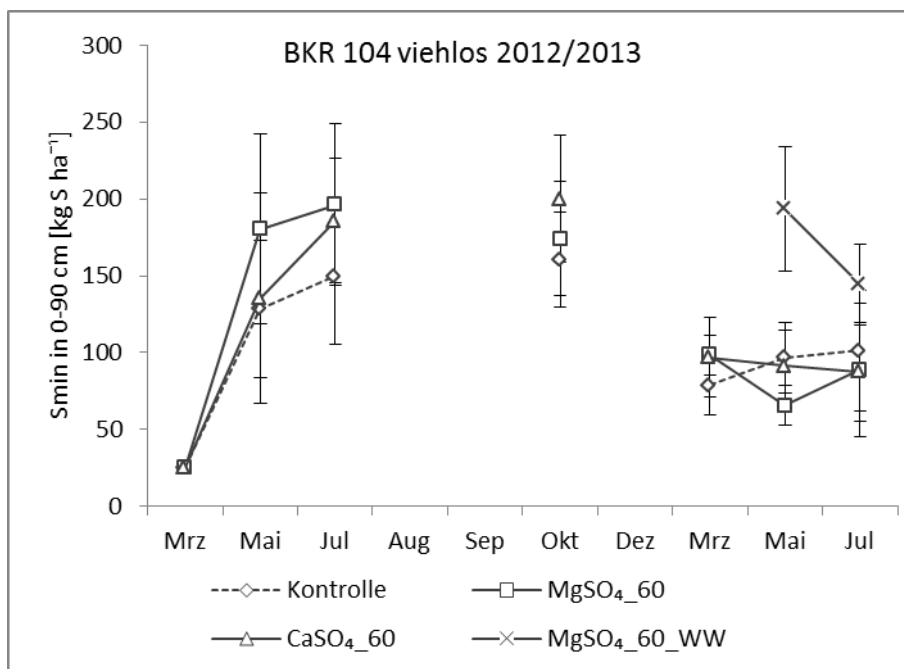


Abbildung 113: S_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Winterweizen von März 2012 bis Juli 2013. Umbruch und Weizenaussaat Oktober 2012. Standort BKR 104, viehlos

4.2.11.2 Erträge Futterleguminosen, sowie S- und N- Konzentrationen und N/S-Quotient

Bei dem Futterleguminosenbestand auf dem Standort BKR 104 viehlos handelte sich um eine Neuansaat aus dem gleichen Frühjahr. Das erklärt den geringen Ertrag zum ersten Schnitt von ca. 20 dt TS ha⁻¹. Eine Beeinflussung des Bestandes durch die von Versuchsseite durchgeführten Düngungsmaßnahmen wurde nicht festgestellt, was wie im vorherigen Kapitel beschriebenen, hohen Schwefelversorgung auch in der Kontrollvariante zu erklären ist (Abbildung 114). Im zweiten Schnitt wurde dann im Durchschnitt der Behandlungen ein Trockensubstanzertag von 50 dt ha⁻¹ erreicht, auch hier war den Umständen entsprechend keine Beeinflussung durch Düngungsmaßnahmen festzustellen.

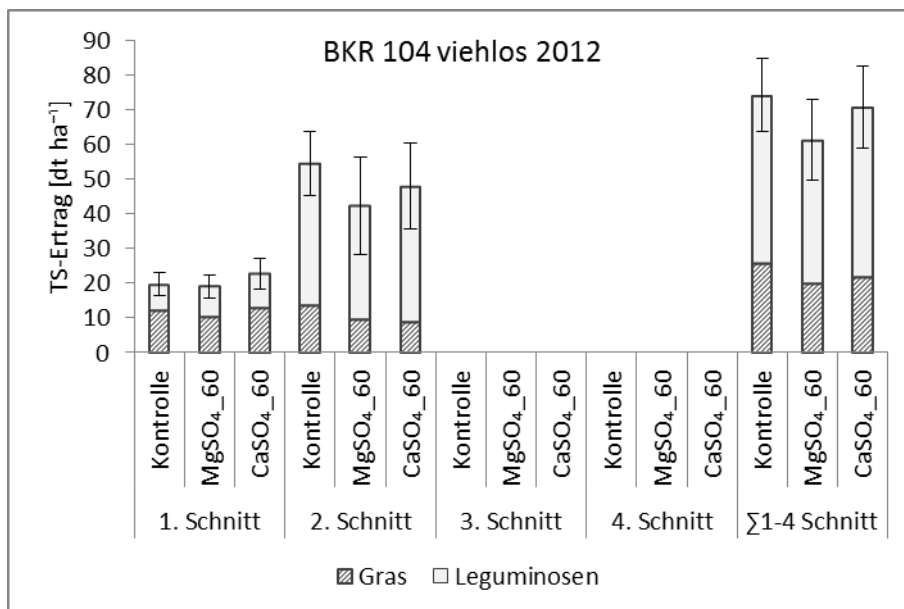


Abbildung 114: Trockensubstanzertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 104 viehlos 2012

Die S-Konzentrationen, die N-Konzentrationen, der N-Flächenertrag und die Schwefelabfuhr des Futterbaugemenges sind in den folgenden Abbildung 115, Abbildung 116, Abbildung 117 und Abbildung 118 dargestellt. Da keine Besonderheiten erkannt werden konnten, wird an dieser Stelle auf eine Beschreibung und Interpretation verzichtet.

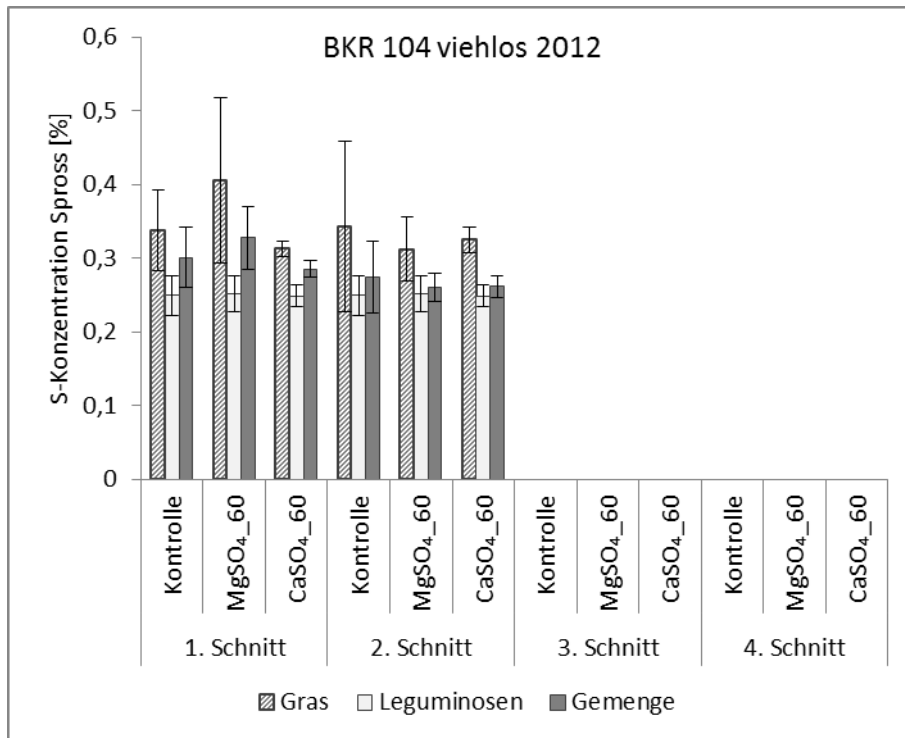


Abbildung 115: Schwefelkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 104 viehlos 2012

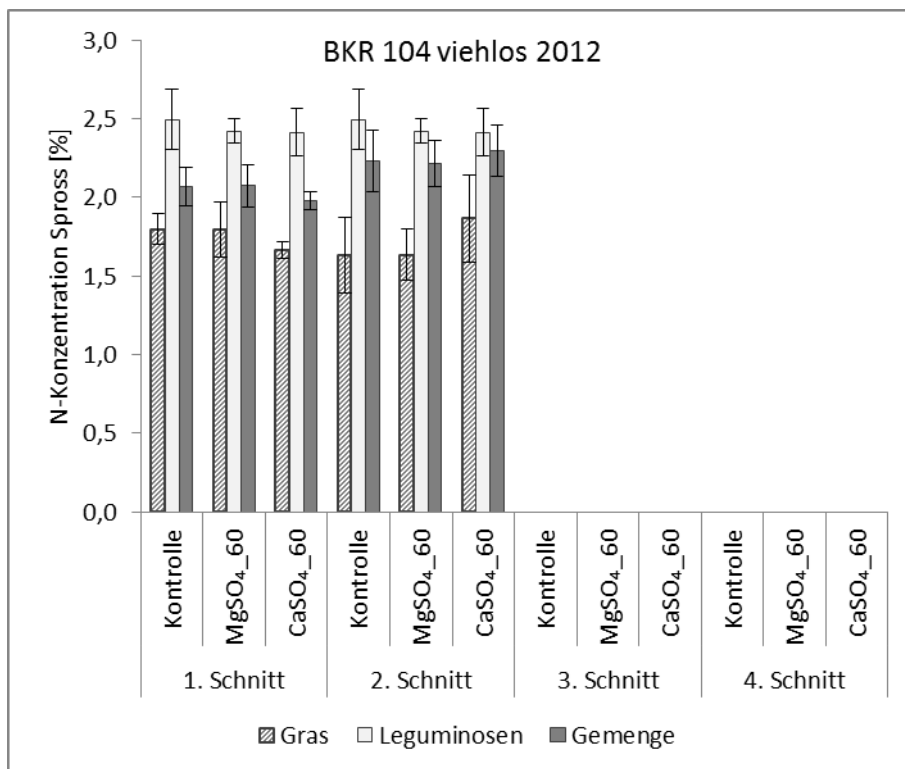


Abbildung 116: Stickstoffkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 104 viehlos 2012

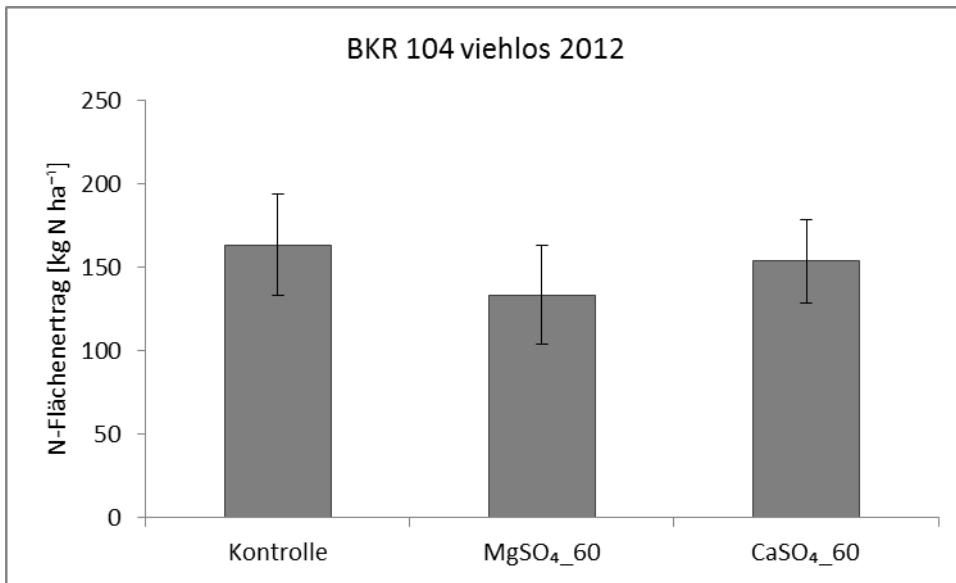


Abbildung 117: Stickstoffertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefel-düngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 104 viehlos 2012

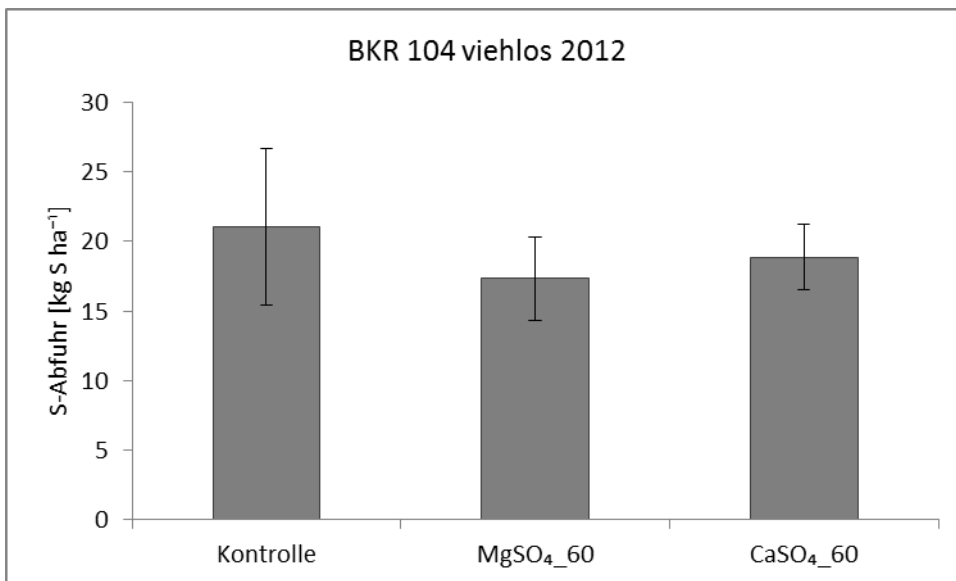


Abbildung 118: Schwefelentzug Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefel-düngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 104 viehlos 2012

4.2.11.3 Erträge Nachfrucht, sowie S- und N- Konzentrationen

Die Leistungen der Nachfrucht Winterweizen auf dem Standort BKR 104 viehlos im Erntejahr 2012 sind in Tabelle 20 zusammengefasst. Eine Beeinflussung durch die Versuchsbehandlungen konnte nicht festgestellt werden. Das Kornertragsniveau lag mit etwas über 20 dt TS ha⁻¹ auf einem niedrigem Niveau. Die Unterschiede beim N-Flächenertrag durch das Winterweizenkorn konnten statistisch nicht abgesichert werden. Aufgrund der hohen Verfügbarkeit von S_{min} (vgl. Abbildung 113) ist ein Schwefel-einfluss auch unwahrscheinlich. Eventuell machen sich hier die Magnesium- und Calciumbestandteile der Düngemittel bemerkbar, was an anderer Stelle untersucht werden müsste.

Tabelle 20: Erträge und Inhaltsstoffe von Winterweizen nach Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 104 viehlos 2013

Variante	Kontrolle	MgSO ₄	CaSO ₄	MgSO ₄ in Winterweizen
Kornertrag TS dt ha ⁻¹	21,6	21,2	22,7	17,8
Strohertrag TS dt ha ⁻¹	42,0	32,7	37,3	34,8
S-Konzentration Vegetationsbeginn	0,48	0,48	0,46	-
S-Konzentration Einknotenstadium	0,26	0,31	0,31	-
S-Konzentration Korn	0,22	0,24	0,25	0,28
N-Konzentration Vegetationsbeginn	4,07	4,71	4,82	-
N-Konzentration Einknotenstadium	1,84	1,70	1,87	-
N-Konzentration Korn	1,78	1,83	1,81	1,73
N-Flächenertrag Korn	29,8	36,1	41,2	41,3
S-Abfuhr Korn	3,8	4,7	5,8	6,3

4.2.12 BKR 104 viehlos Anbaufolge 2013/2014

4.2.12.1 S- und N-Dynamik Boden und Pflanze

Die Anbaufolge 2013/2014 auf dem Standort BKR 104 viehlos war gekennzeichnet von einem niedrigen S_{min}-Ausgangswert von 15 kg S_{min} ha⁻¹ in 0-90 cm Tiefe. Und einem enormen Anstieg des S_{min}-Wertes in den nächsten vier Monaten (Abbildung 119). Da in dem vorherigen Jahr auf diesem Betrieb eine ähnliche Dynamik vorlag, liegt die Vermutung nahe, dass in beiden Jahren versehentlich von Betriebsseite die

Versuchsanlagen mit schwefelhaltigen Düngemitteln behandelt wurden. Theoretisch besteht für diesen Standort noch die Möglichkeit eines natürlichen Schwefeleintrages in die untersuchte Bodenschicht über das Grundwasser. Dazu müsste untersucht werden, inwiefern über die Frühjahrs- und Sommermonate durch einen kapillaren Aufstieg schwefelhaltigen Grundwassers dieser Standort eine hohe natürliche S-Versorgung aufweist. Auffallend ist, dass der S_{\min} -Wert im Dezember wieder auf einem sehr niedrigen Niveau liegt, bevor er zum Frühjahr hin wieder ansteigt und dann etwa bei einem Wert von 100 kg S ha^{-1} verbleibt. Der Gehalt an dem gesamten S-Vorrat auf diesem Standort lag im März 2013 bei ca. 500 kg S ha^{-1} , im Oktober 2013 bei ca. 800 kg S ha^{-1} und im März des darauffolgenden Jahres wieder bei ca. 500 kg S ha^{-1} (ohne Abbildung). Auch diese Schwankungen sprechen für einen Grundwassereinfluss.

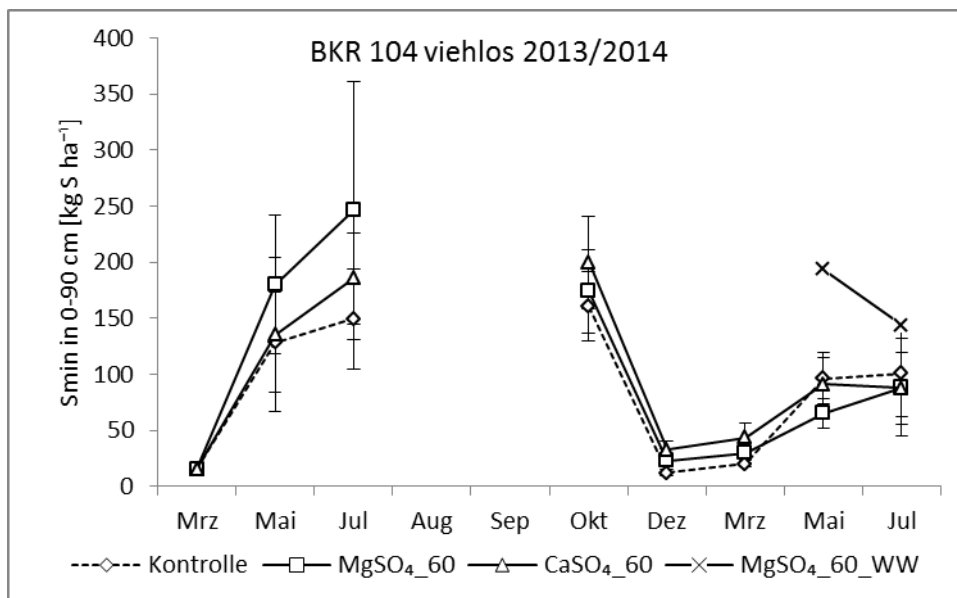


Abbildung 119: S_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Schwarz und Grünbrache von März 2013 bis Juli 2014. Standort BKR 104, viehlos

Die in diesem Jahr weiteren durchgeführten Messungen an Pflanzen und Boden brachten keine verwertbaren Ergebnisse und werden daher auch nicht in Form von Graphiken oder Tabellen dargestellt. Nähere Erläuterung siehe folgenden Abschnitt.

4.2.12.2 Erträge Futterleguminosen, sowie S- und N- Konzentrationen und N/S-Quotient

Als Besonderheit für diese Anbaufolge muss erwähnt werden, dass auf dem viehlosen Betrieb der Klee grasbestand aus einer Untersaat hervorgehen sollte. Der Bereich, in dem die Versuchsanlage etabliert wurde, wies einen sehr hohen Besatz von Quecke auf und nur einen sehr niedrigen Leguminosenanteil, was dazu führte, dass die Versuchsanlage nur einmal beerntet wurde. Im Anschluss wurde eine Bodenbearbeitung durchgeführt mit teilweiser Zwischenfrucht und Schwarzbrache. Die folgenden Abbildungen über den Trockensubstanzertrag (Abbildung 120), die S-Konzentrationen (Abbildung 121) und N-Konzentrationen (Abbildung 122) im Spross, über den N-Flächenertrag (Abbildung 123) und die S-Abfuhr (Abbildung 124) sowie über das N/S-Verhältnis (Abbildung 125) sollen nur einen informativen Charakter haben, ohne eine Interpretation.

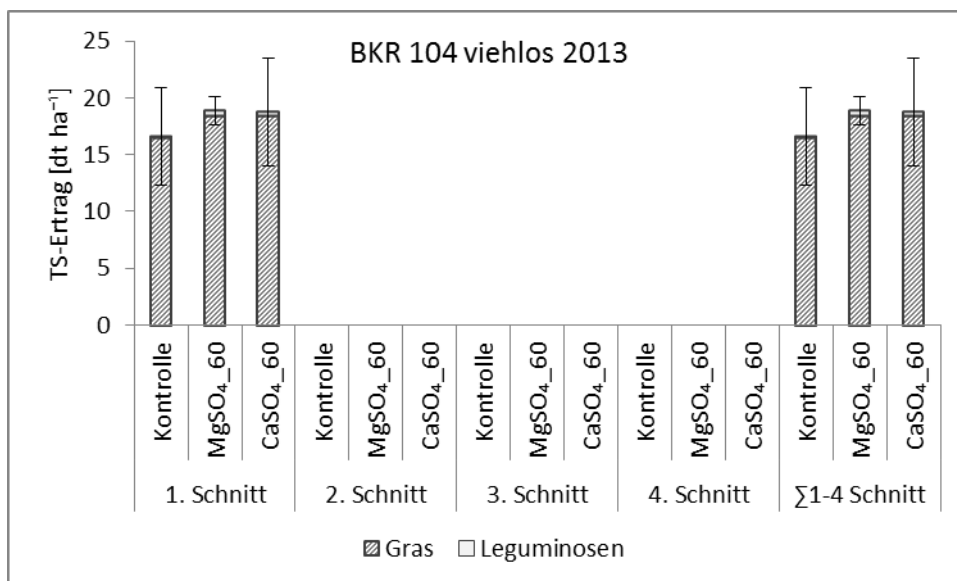


Abbildung 120: Trockensubstanzertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 104 viehlos 2013

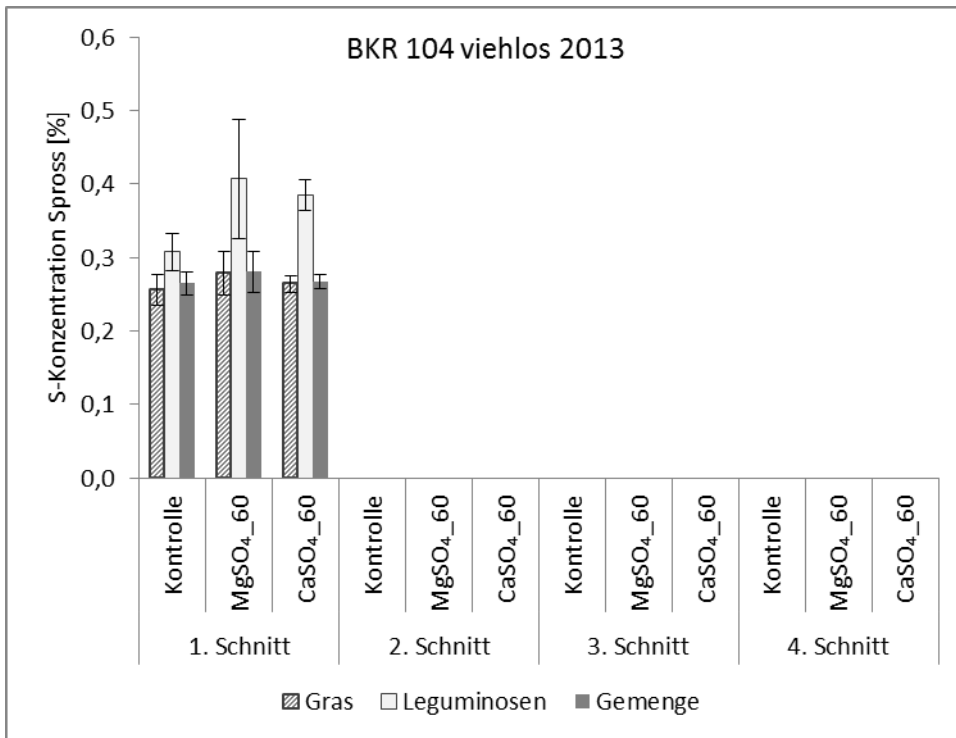


Abbildung 121: Schwefelkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge zum ersten Schnitt bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 104 vieflos 2013

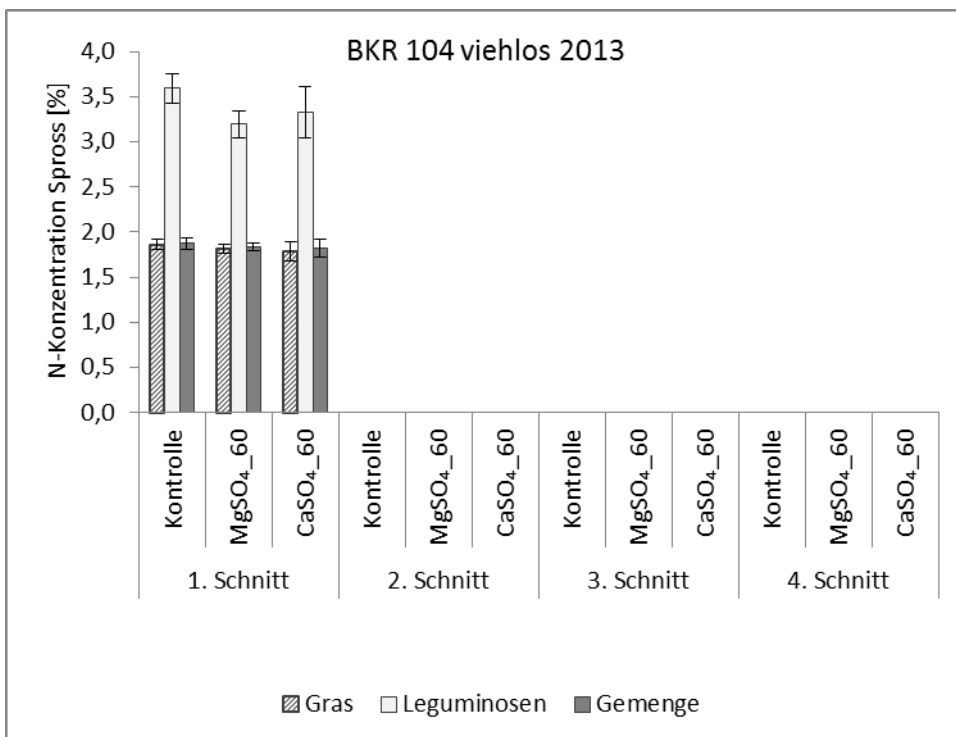


Abbildung 122: Stickstoffkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge zum ersten Schnitt bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 104 vieflos 2013

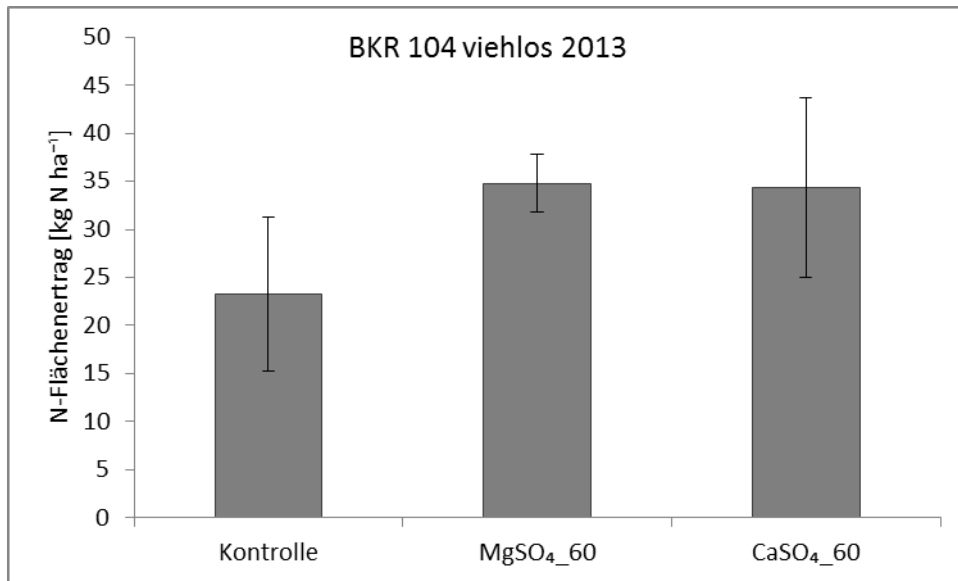


Abbildung 123: Stickstoffertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung Standort BKR 104 vieflos 2013

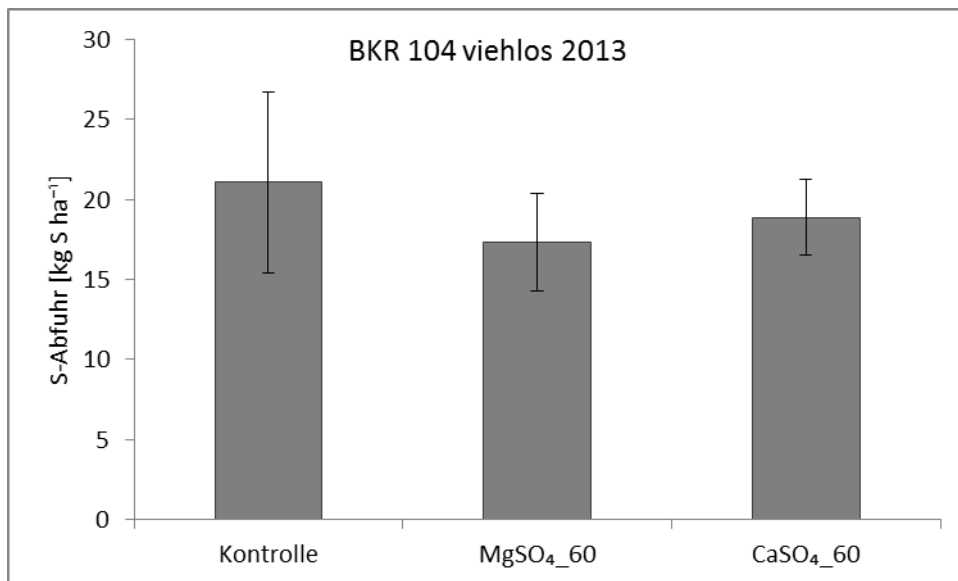


Abbildung 124: Schwefelentzug Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung Standort BKR 104 vieflos 2013

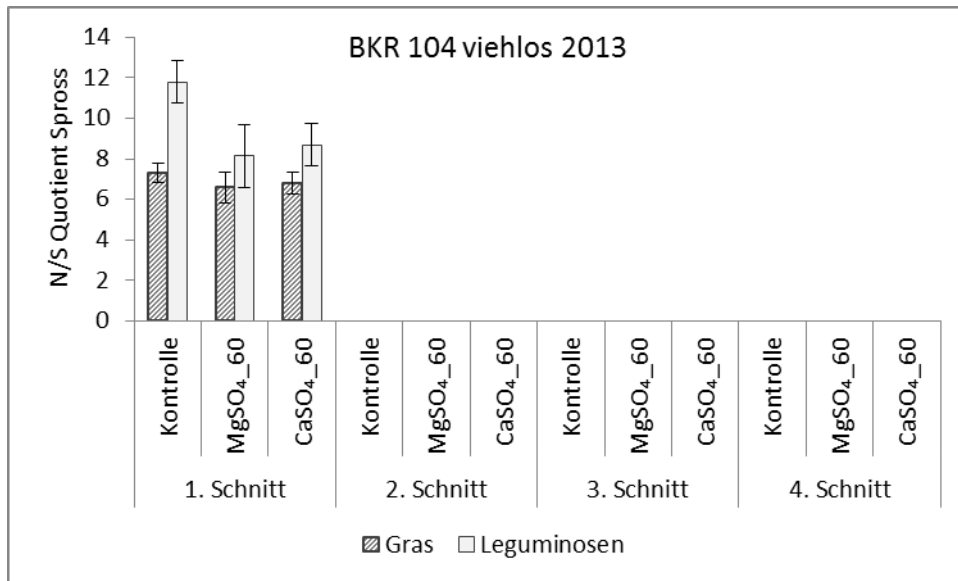


Abbildung 125: Stickstoff/Schwefel Verhältnis Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung Standort BKR 104 viehlos 2013

4.2.12.3 Erträge Nachfrucht, sowie S- und N- Konzentrationen

Im Erntejahr 2014 konnte auf der Versuchsanlage BKR 104 viehlos keine Marktfrucht angebaut werden. Der Bereich des Feldes war so sehr mit Quecke bewachsen, dass zunächst intensive Bodenbearbeitung durchgeführt wurde und später eine Gründüngung eingesät wurde. Ertragsdaten liegen daher für dieses Jahr und diesen Standort nicht vor.

4.2.13 BKR 133 viehhaltend Anbaufolge 2012/2013

4.2.13.1 S- und N-Dynamik Boden und Pflanze

Der gemessene Gesamtgehalt an Schwefel auf dem Standort BKR 133 viehhaltend 2012/2013 lag in der Tiefenstufe 0-90 cm bei ca. 3,0 t ha⁻¹ (ohne Abbildung). Eine Beeinflussung durch die Düngungsmaßnahmen konnte über den Messzeitraum nicht festgestellt werden.

Der S_{\min} -Ausgangswert für die Vegetation 2012 im März lag in der Tiefe von 0-30 cm bei 12,1 kg ha⁻¹ und von 0-60 cm bei 29,0 kg ha⁻¹ (Abbildung 126). Bis Mai stiegen die S_{\min} -Werte in allen drei Varianten durch Mineralisation auf ca. 60 kg S_{\min} ha⁻¹ an. In den gedüngten Varianten konnten zu diesem Zeitpunkt Werte über 100 kg S_{\min} ha⁻¹ gemessen werden. Zum Juli nahm dieser Wert wieder ab, stieg im weiteren Verlauf wieder etwas, so dass im Oktober zum Umbruch in 0-90 cm Tiefe 60 kg S_{\min} ha⁻¹ in der Kontrolle gemessen wurden, 80 kg S_{\min} ha⁻¹ in der Variante CaSO₄ und 100 kg S_{\min} ha⁻¹ in der Variante MgSO₄. Der S_{\min} -Wert in der Kontrolle und in der Variante CaSO₄ blieb über Winter stabil, während der Wert bei MgSO₄ gedüngt abnahm.

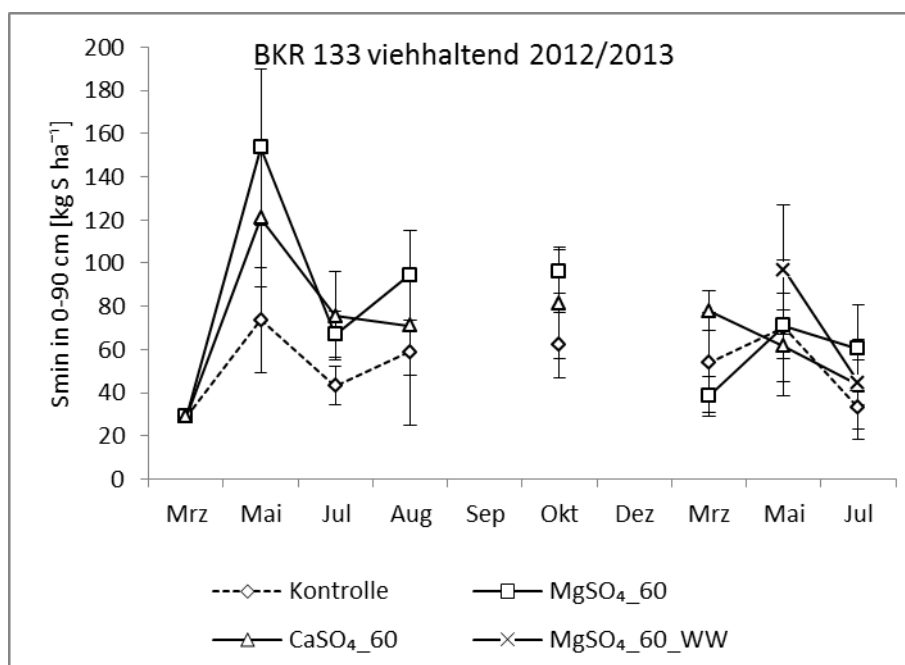


Abbildung 126: S_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Dinkel von März 2012 bis Juli 2013. Umbruch und Dinkelaussaat Oktober 2012. Standort BKR 133, viehhaltend

Die Darstellung der Schwefelmengen, die in den Futterbauaufwüchsen gebunden waren zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten. Tendenziell lagen die Entzüge bei ungedüngt auf einem etwas niedrigeren Niveau gegenüber gedüngt (Abbildung 127). Bei der S-Abfuhr über das Korn der Nachfrucht Dinkel konnten keine Unterschiede festgestellt werden.

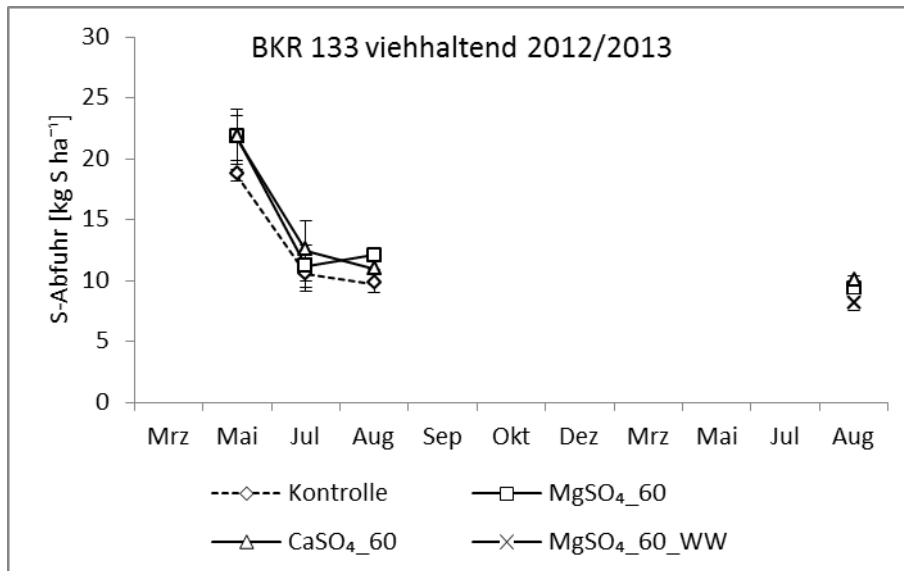


Abbildung 127: Schwefelmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu verschiedenen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung und Schwefelmenge im Korn der Nachfrucht Dinkel, Anbaufolge 2012/2013 Standort BKR 133, viehhaltend

Noch geringer waren die Unterschiede zwischen den Behandlungen bei den Mengen Stickstoff, die in die Pflanzenbestände eingebunden waren (Abbildung 128). Die im ersten Schnitt gebundenen N-Mengen betragen etwa 180 kg ha^{-1} , im zweiten und dritten Schnitt waren es jeweils ca. 100 kg S ha^{-1} .

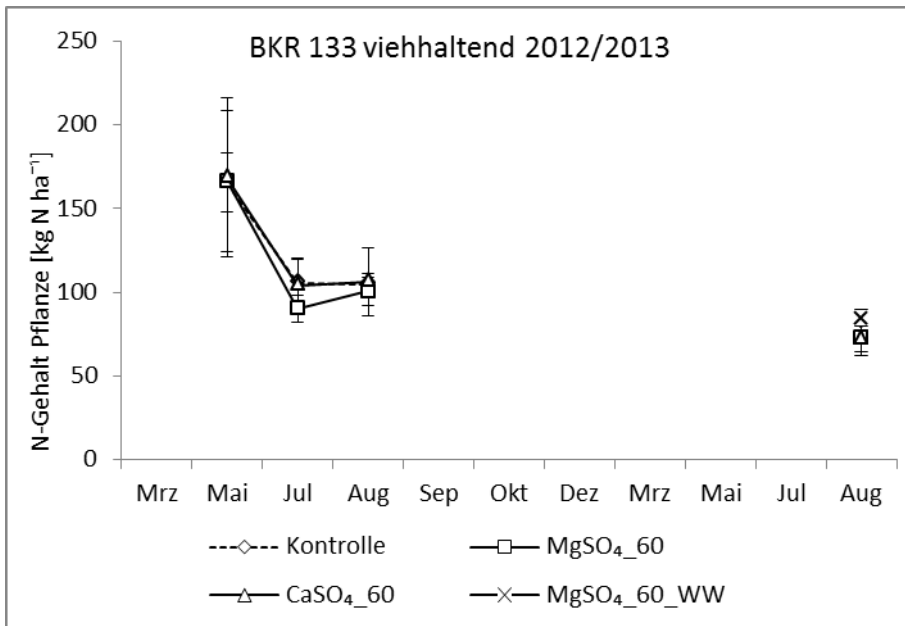


Abbildung 128: Stickstoffmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu verschiedenen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung und Stickstoffmenge im Korn der Nachfrucht Dinkel, Anbaufolge 2012/2013 Standort BKR 133, viehhaltend

Auch die N_{min} -Werte im Oktober 2012 und im Verlauf des Vegetationsjahres 2013 waren einheitlich (Abbildung 129).

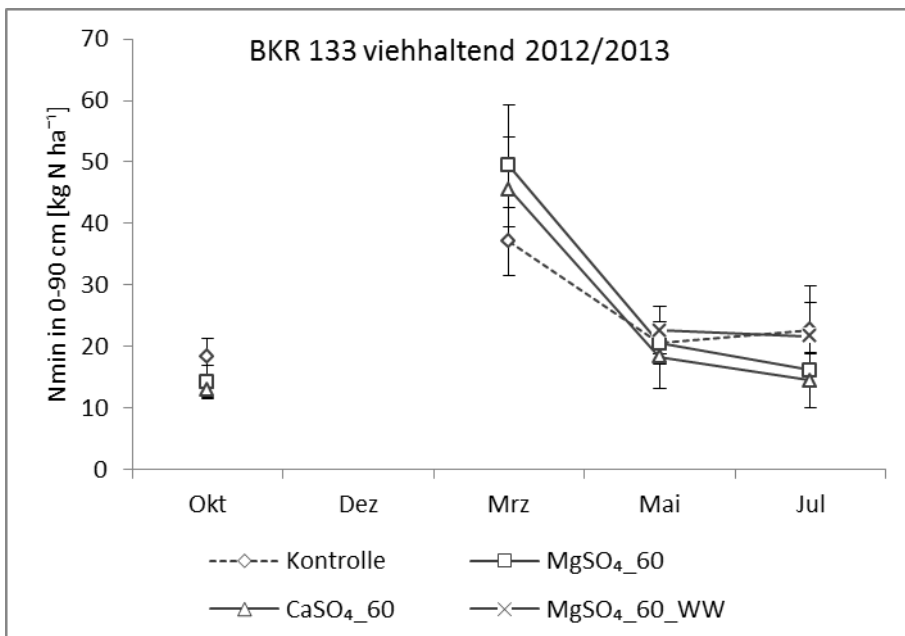


Abbildung 129: N_{min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Dinkel von Oktober 2012 bis Juli 2013. Umbruch und Dinkelaussaat Oktober 2012, Standort BKR 133, viehhaltend

4.2.13.2 Erträge Futterleguminosen, sowie S- und N- Konzentrationen und N/S-Quotient

Obwohl auf dem Standort BKR 133 viehhaltend nur drei Schnitte bei den Futterleguminosen durchgeführt wurden, lag der Ertrag bei über 130 dt TS ha⁻¹, unbeeinflusst von den verschiedenen Behandlungen (Abbildung 130).

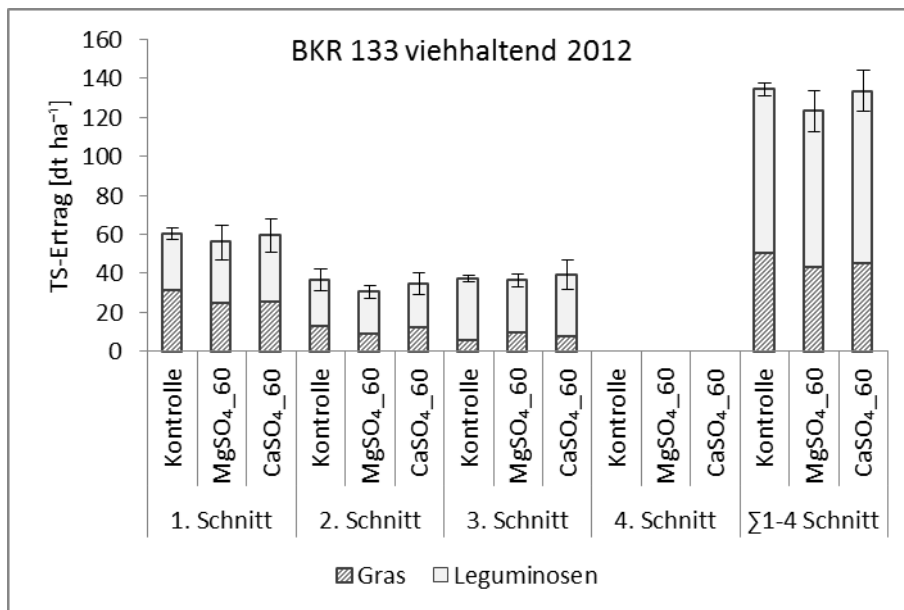


Abbildung 130: Trockensubstanzertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 133 viehhaltend 2012

Die Schwefeldüngung führte zwar zu einer erhöhten S-Konzentration im Spross, wenn Schwefel gedüngt wurde (ca. 0,1 % im ersten Schnitt, Abbildung 131), allerdings ohne positive Auswirkung auf die N-Konzentration, die in allen Fällen bei ca. 3 % lag (Abbildung 132). Anscheinend waren die Pflanzen auch ohne eine Düngung standortbedingt ausreichend mit Schwefel versorgt.

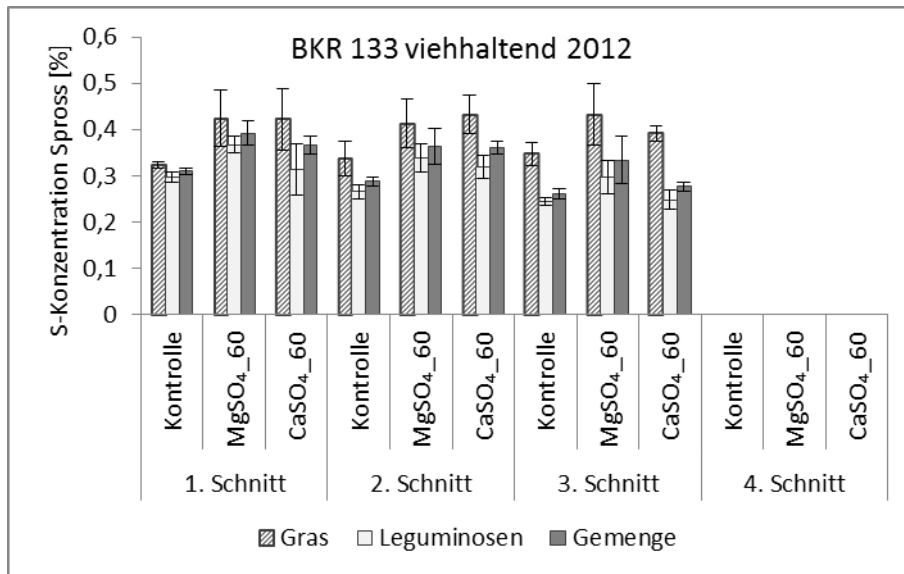


Abbildung 131: Schwefelkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 133 viehhaltend 2012

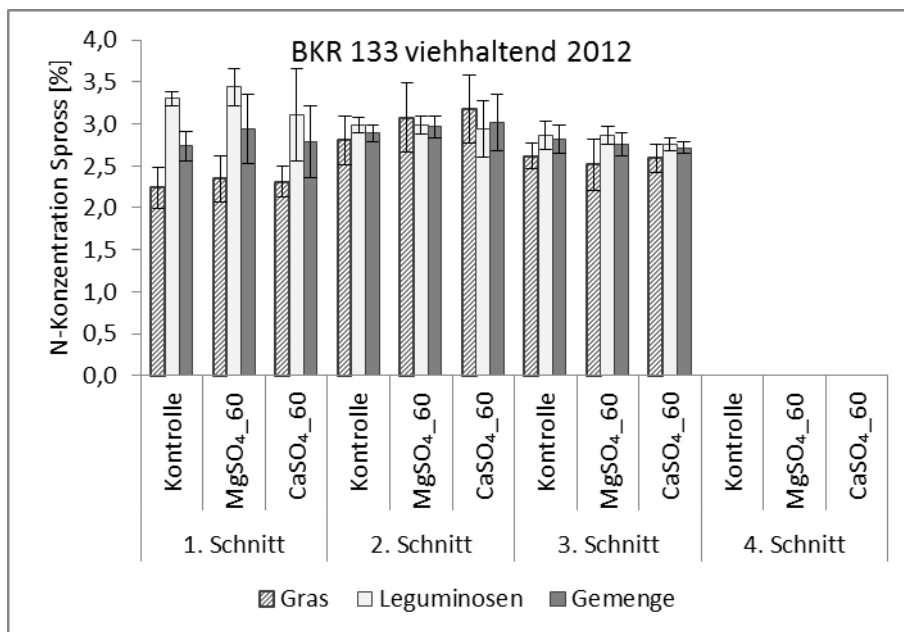


Abbildung 132: Schwefelkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 133 viehhaltend 2012

Der N/S Quotient bei den Leguminosen verengte sich durch die Behandlung mit Schwefel auf oftmals unter 10 (Abbildung 133)

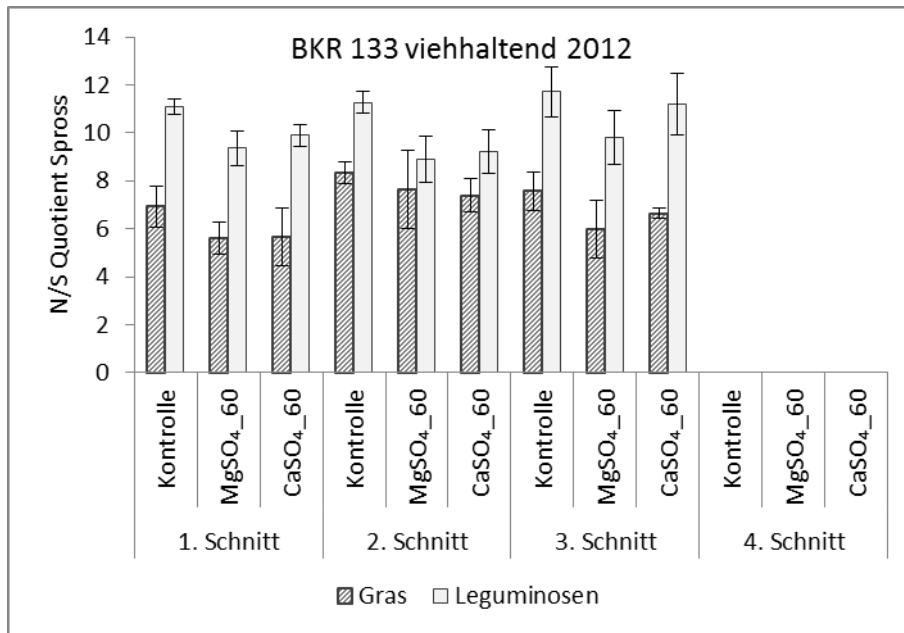


Abbildung 133: Stickstoff/Schwefel Verhältnis Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung Standort BKR 133 viehhaltend 2012

Die gleichbleibende N-Konzentration im Spross zeigt sich auch in einem zwischen den Varianten gleichbleibenden N-Flächenertrag. In allen Varianten wurden über 350 kg N ha^{-1} von der Fläche abgefahren (Abbildung 134). In den mit Schwefel gedüngten Beständen wurde dagegen ca. 5 kg ha^{-1} mehr an Schwefel gegenüber ungedüngt abgefahren (Abbildung 135).

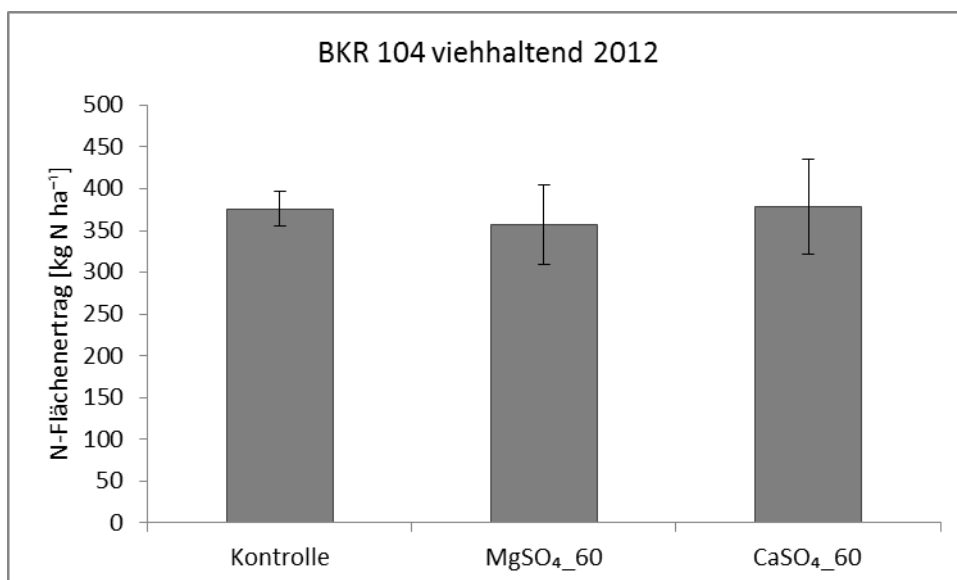


Abbildung 134: Stickstoffertrag Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 133 viehhaltend 2012

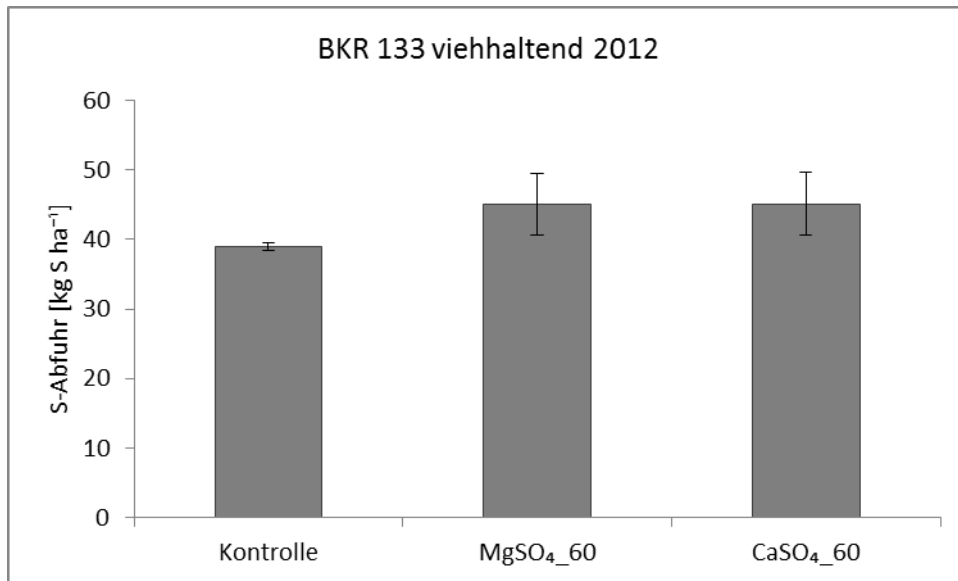


Abbildung 135: Schwefelentzug Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefel-düngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 133 viehhaltend 2012

4.2.13.3 Erträge Nachfrucht, sowie S- und N- Konzentrationen

Die Ertragsleistungen des Dinkels als Nachfrucht in der Anbaufolge 2012/2013 auf dem Standort BKR 133 sind in Tabelle 21 aufgeführt. Erwartungsgemäß lag der Kornertrag nach der gut entwickelten Vorfrucht auf einem für Dinkel hohen Niveau von rund 40 dt ha⁻¹ TS. Der niedrigste Kornertrag wurde erzielt, wenn MgSO₄ direkt zum Dinkel gedüngt wurde. Gegenüber dem höchsten Ertrag, der bei der Düngung mit CaSO₄ in der Vorfrucht Futterleguminose erzielt wurde, konnte dieser Minderertrag statistisch abgesichert werden. Alle anderen Unterschiede waren nicht signifikant.

Tabelle 21: Erträge und Inhaltsstoffe von Dinkel nach Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 133 viehhaltend 2013

Variante	Kontrolle	MgSO ₄	CaSO ₄	MgSO ₄ in Dinkel
Kornertrag TS dt ha ⁻¹	38,6	39,6	41,3	36,5
Strohertrag TS	84,2	87,2	87,7	77,2
S-Konzentration Vegetationsbeginn	0,46	0,43	0,46	-
S-Konzentration Einknotenstadium	0,27	0,27	0,27	-
S-Konzentration Korn	0,24	0,24	0,24	0,22
N-Konzentration Vegetationsbeginn	4,71	4,70	4,70	-
N-Konzentration Einknotenstadium	1,63	1,67	1,65	-
N-Konzentration Korn	2,01	2,00	1,95	2,00
N-Flächenertrag Korn	81,9	73,1	72,2	83,5
S-Abfuhr Korn	9,7	9,2	8,9	8,7

4.2.14 BKR 133 viehhaltend Anbaufolge 2013/2014

4.2.14.1 S- und N-Dynamik Boden und Pflanze

Der gemessene Gesamtgehalt an Schwefel auf dem Standort BKR 133 viehhaltend 2013/2014 lag in der Tiefenstufe 0-90 cm bei ca. 1,0 t ha⁻¹ (ohne Abbildung). Eine Beeinflussung durch die Düngungsmaßnahmen konnte über den Messzeitraum nicht festgestellt werden.

Der S_{min}-Ausgangswert für die Vegetation 2012 im März lag in der Tiefe von 0-30 cm bei 3,5 kg ha⁻¹ von 0-60 cm bei 40,9 kg ha⁻¹. Die Schicht von 60-90 cm bestand im Wesentlichen aus vulkanischem Ausgangsmaterial und beinhaltete hohe Mengen an Schwefel (62,6 kg S_{min} ha⁻¹), so dass in der Tiefenstufe 0-90 cm insgesamt 102,6 kg S_{min} ha⁻¹ gemessen wurden (Abbildung 136). Im weiteren Verlauf der Vegetation wurden die Messungen nur noch in einer Tiefe bis 60 cm durchgeführt, da die Bohrstöcke zu stark beansprucht waren. Die Graphik veranschaulicht, dass bis Juli der Entzug über der Nachlieferung von Schwefel lag, während bis zum August anscheinend die Mineralisation höher als der Entzug war. Zum Dezember hin verminderten sich die Werte bei ungedüngt nicht, während in den schwefelgedüngten Varianten der S_{min}-

Gehalt deutlich abnahm und auf gleichem Niveau mit ungedüngt lagen (rund $70 \text{ kg S}_{\text{min}} \text{ ha}^{-1}$). Mit dem Einsetzen der Vegetation 2014 stiegen die Werte zum März wieder an, besonders stark in den im Vorjahr gedüngten Varianten. Die höchsten S_{min} -Werte zeigten sich in der CaSO_4 -Variante. Anscheinend konnten hier die größten Mengen an Schwefel als S_{min} -mobilisiert werden.

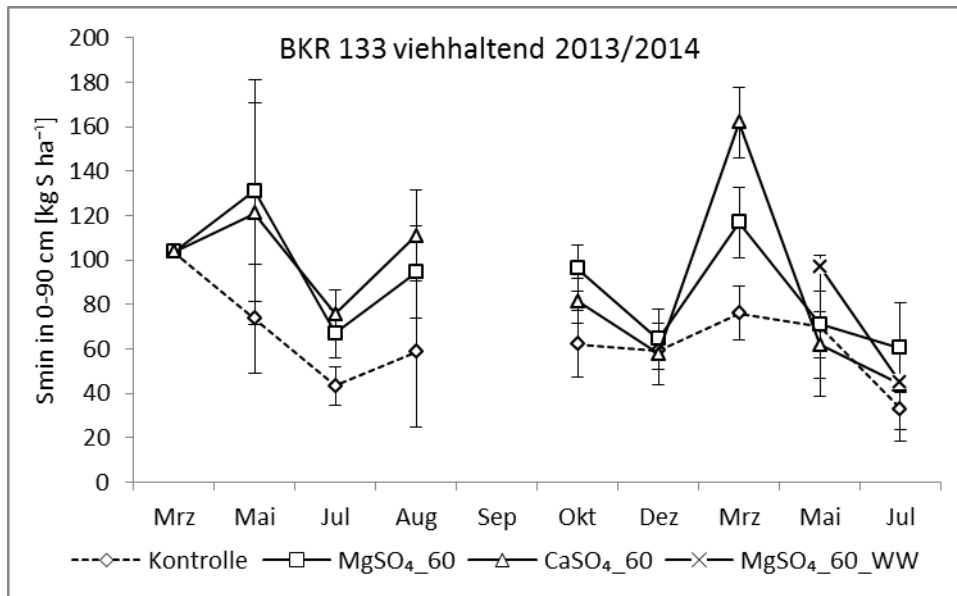


Abbildung 136: S_{min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Dinkel von März 2013 bis Juli 2014. Umbruch und Dinkelaussaat Oktober 2013. Standort BKR 133, viehhaltend

Signifikante Unterschiede bei der Menge Schwefel, die von den Pflanzen aufgenommen wurden, konnten gegenüber ungedüngt in beiden gedüngten Varianten festgestellt werden (Abbildung 137). Während die Pflanzen zum ersten Schnitt bei ungedüngt 15 kg S ha^{-1} aufnahmen, waren es 22 kg S ha^{-1} bei MgSO_4 -Düngung und 20 kg S ha^{-1} bei CaSO_4 -Düngung. Zum zweiten und dritten Schnitt wurden nur noch 10 kg S ha^{-1} bzw. knapp 3 kg S ha^{-1} in den Spross aufgenommen. Unterschiede zwischen den Varianten gab es keine.

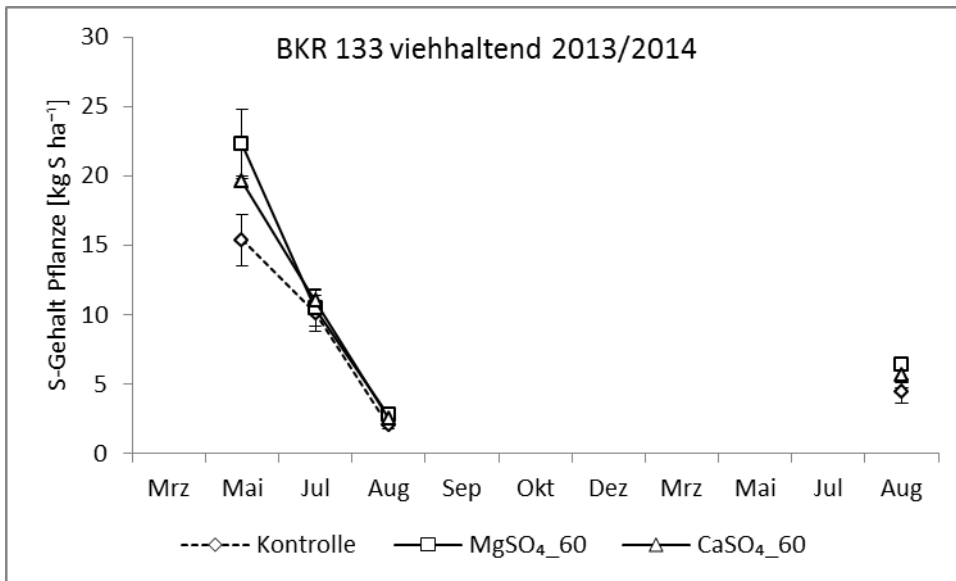


Abbildung 137: Schwefelmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu verschiedenen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung und Schwefelmenge im Korn der Nachfrucht Dinkel, Anbaufolge 2013/2014 Standort BKR 133, viehhaltend

Der in dem Pflanzenaufwuchs enthaltene Stickstoff betrug zum ersten Schnitt rund 120 kg S ha^{-1} , zum zweiten Schnitt nur noch 60 kg S ha^{-1} und zum dritten Schnitt nur noch ca. 20 kg S ha^{-1} (Abbildung 138). Unterschiede zwischen den Varianten gab es keine.

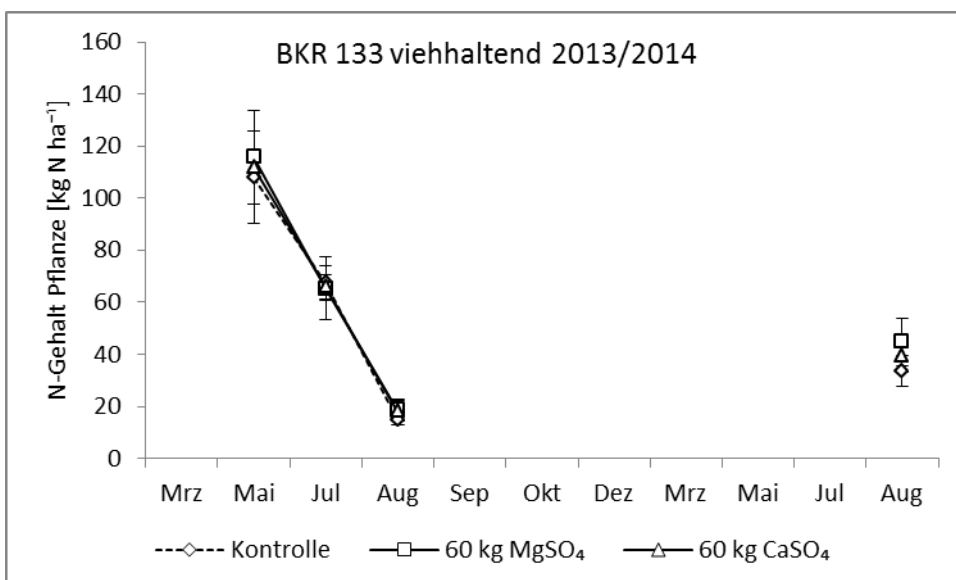


Abbildung 138: Stickstoffmenge im Aufwuchs eines Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu verschiedenen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung und Stickstoffmenge im Korn der Nachfrucht Dinkel, Anbaufolge 2013/2014 Standort BKR 133, viehhaltend

Der N_{\min} -Gehalt im März des Folgejahres lag bei den in den Futterleguminosen mit Schwefel gedüngten Pflanzen bei über $50 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$, während bei ungedüngt nur $40 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ gemessen wurden (Abbildung 139). Im weiteren Verlauf erschöpfte sich dieser Wert in allen Varianten auf ca. $20 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$.

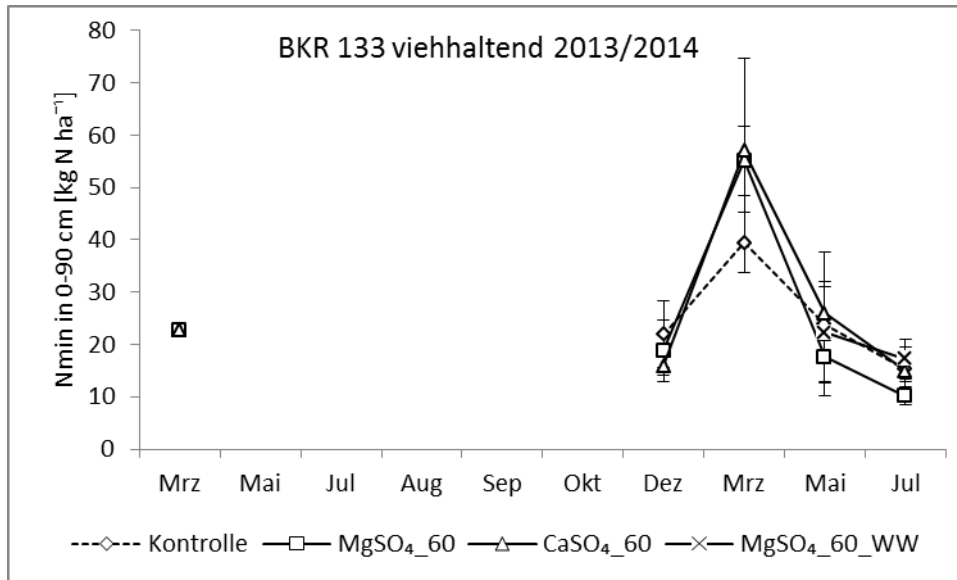


Abbildung 139: N_{\min} -Verlauf bei unterschiedlicher Schwefeldüngung im Bodenprofil bis 90 cm Tiefe während der Anbaufolge Futterleguminosen/Gras-Gemenge – Dinkel von Dezember 2013 bis Juli 2014. Umbruch und Dinkelaussaat Oktober 2013, Standort BKR 145, viehhaltend

4.2.14.2 Erträge Futterleguminosen, sowie S- und N- Konzentrationen und N/S-Quotient

Die Trockensubstanzerträge der Futterleguminosen, dargestellt in Abbildung 140, zeigen, dass der Ertragsanteil der Leguminosen relativ gering war. Zum zweiten und zum dritten Schnitt gingen die Erträge insgesamt stark zurück, vor allem die Gräser waren zum dritten Schnitt fast verschwunden, was in Zusammenhang mit fehlenden Niederschlägen gesehen werden kann. Die Erträge des Leguminosen/Grasgemenges lagen kaum höher, wenn Schwefel gedüngt wurde.

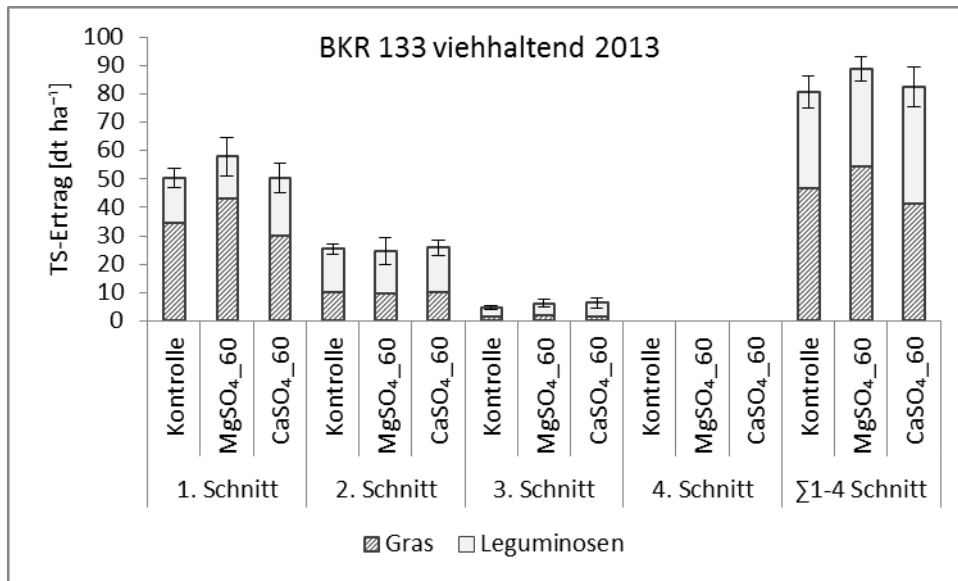


Abbildung 140: Trockensubstanzertrag Futterleguminosens/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 133 viehhaltend 2013

Die Schwefelkonzentrationen bei den Leguminosens lagen in allen Varianten durchweg auf einem Niveau von über 0,3 %, tendenziell waren die S-Konzentrationen bei CaSO₄ gedüngt aber etwas niedriger (Abbildung 141). Die S-Konzentrationen in den Gräsern stiegen bei einer S-Düngung deutlich an. Die N-Konzentrationen im Aufwuchs blieben dagegen von den Behandlungen unbeeinflusst und lagen bei den Leguminosens konstant über 3 % (Abbildung 142).

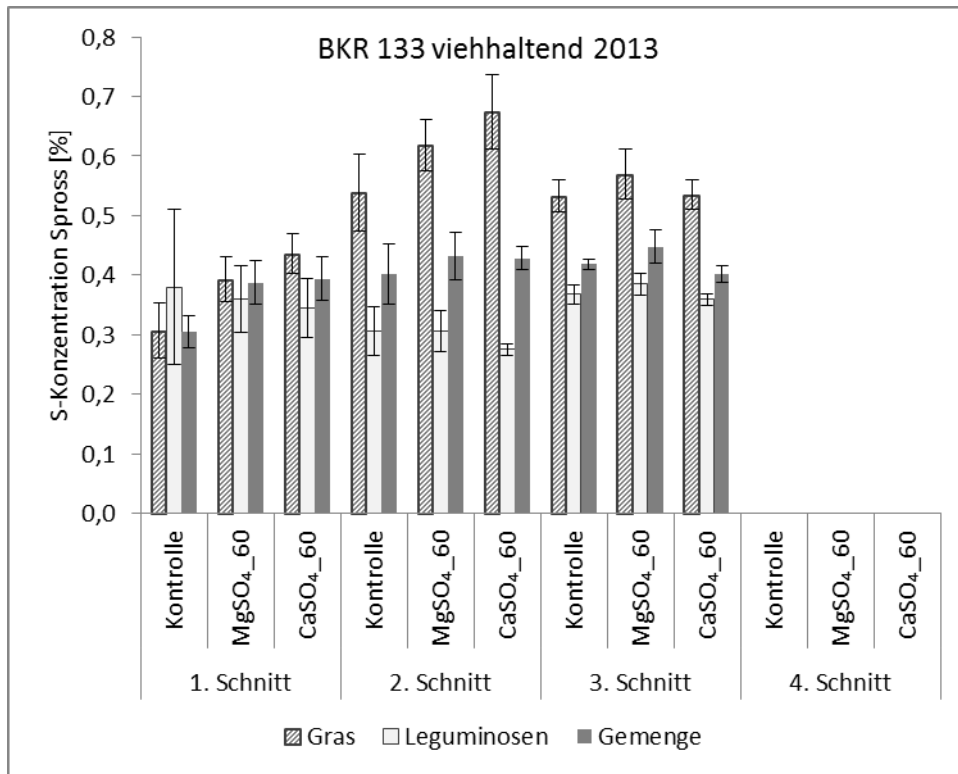


Abbildung 141: Schwefelkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 133 viehhaltend 2013

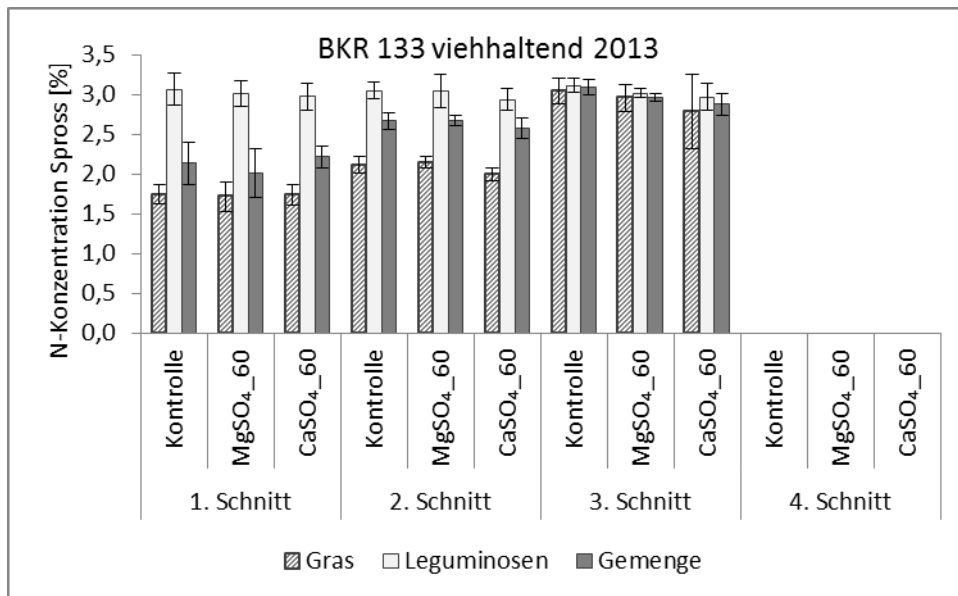


Abbildung 142: Stickstoffkonzentration von Futterleguminosen/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 133 viehhaltend 2013

Der N/S-Quotient lag bei den Leguminosen in allen Fällen unter 12 (Abbildung 143).

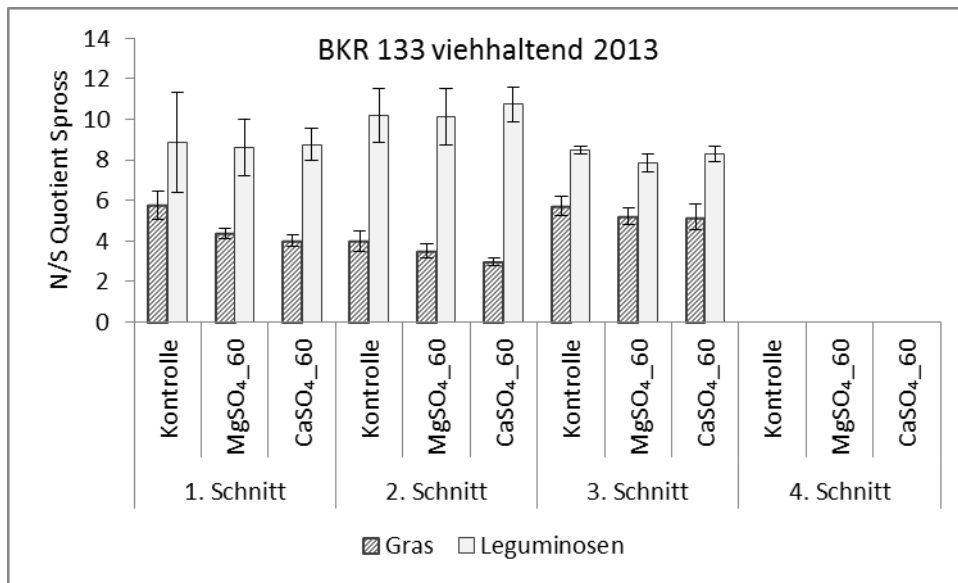


Abbildung 143: Stickstoff/Schwefel Verhältnis Futterleguminosens/Gras-Gemenge zu unterschiedlichen Schnittzeitpunkten bei unterschiedlicher Schwefeldüngung Standort BKR 133 viehhaltend 2013

Entsprechend den N- und S-Konzentrationen in den Gemengen betrug der Stickstoffflächenertrag in allen Varianten knapp 200 kg N ha⁻¹ (Abbildung 144), während die Schwefelabfuhr mit ca. 45 kg S ha⁻¹ 5 kg mehr betrug als bei ungedüngt (Abbildung 145).

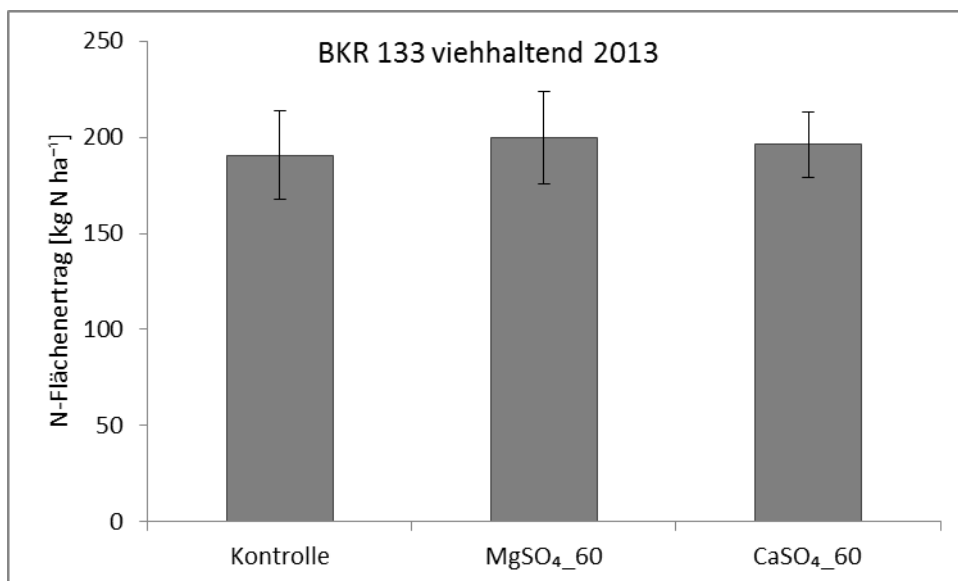


Abbildung 144: Stickstoffertrag Futterleguminosens/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 133 viehhaltend 2013

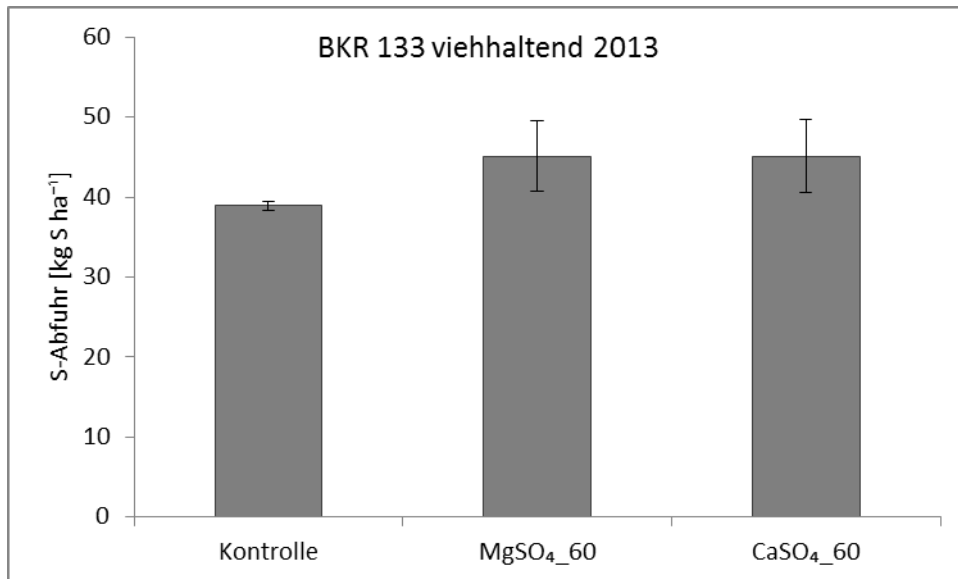


Abbildung 145: Schwefelentzug Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefel-düngung in Summe der verschiedenen Schnitte Standort BKR 133 viehhaltend 2013

4.2.14.3 Erträge Nachfrucht, sowie S- und N- Konzentrationen

Der Kornertrag der Nachfrucht Dinkel fiel tendenziell höher aus, wenn in der Vorfrucht Schwefel gedüngt wurde. Aufgrund hoher Streuung ließen sich die Korn-Mehrertrag gegenüber ungedüngt von 6,5 dt TS ha⁻¹ bei MgSO₄-Düngung in der Vorfrucht, bzw. 4,3 dt TS ha⁻¹ bei CaSO₄-Düngung in der Vorfrucht statistisch nicht absichern. Tendenzuell wurde wieder ein Minderertrag festgestellt, wenn MgSO₄ direkt zu Dinkel gedüngt wurde. Ebenso wurden der höchste N-Flächenertrag sowie die höchste S-Abfuhr über das Korn in der ertragreichsten Variante festgestellt, auch hier konnten allerdings keine Signifikanzen nachgewiesen werden. Die Ertragsergebnisse der Nachfrucht Dinkel auf dem Standort BKR 133 viehhaltend sind in Tabelle 22 zusammengefasst.

Tabelle 22: Erträge und Inhaltsstoffe von Dinkel nach Futterleguminosen/Gras-Gemenge bei unterschiedlicher Schwefeldüngung, Standort BKR 115 viehhaltend 2013

Variante	Kontrolle	MgSO ₄	CaSO ₄	MgSO ₄ in Dinkel
Kornertrag TS dt ha ⁻¹	18,5	25,1	22,8	16,0
Strohertrag TS dt ha ⁻¹	21,6	30,3	28,0	19,1
S-Konzentration Vegetationsbeginn	-	-	-	-
S-Konzentration Einknotenstadium	0,38	0,41	0,39	0,45
S-Konzentration Korn	0,25	0,25	0,25	0,27
N-Konzentration Vegetationsbeginn	-	-	-	-
N-Konzentration Einknotenstadium	3,03	3,14	3,02	3,35
N-Konzentration Korn	1,83	1,80	1,73	1,82
N-Flächenertrag Korn	33,7	44,8	39,5	29,2
S-Abfuhr Korn	4,5	6,4	5,7	4,3

4.2.15 pH-Werte

Die Ergebnisse der pH-Wert Messungen in den verschiedenen Tiefenstufen und zu den unterschiedlichen Zeitpunkten zeigten, dass während des Untersuchungszeitraumes keine messbaren Änderungen eingetreten sind. Ein Einfluss auf den pH-Wert durch Düngungsmaßnahmen oder durch das Pflanzenwachstum konnte nicht gezeigt werden. In Tabelle 23 sind daher nur die pH Werte, die in der Ackerkrume gemessen wurden, zwecks Standortcharakterisierung, aufgeführt.

Tabelle 23: pH-Werte unter Futterleguminosen-Grasgemenge, gemessen zu Vegetationsbeginn 2012 /2013 in der Tiefe von 0-30 cm

BKR	Viehhaltung	pH Wert 0-30cm 2012	pH Wert 0-30cm 2013
115	mit	6,8	6,5
115	ohne	6,5	6,5
145	mit	7,2	7,3
145	ohne	7,2	7,1
104	mit	5,2	5,5
104	ohne	5,3	5,4
133	mit	6,6	6,6

5 Diskussion der Ergebnisse

5.1 Die Situation des Schwefelversorgungszustandes ökologisch bewirtschafteter Futterleguminosenbestände in der Bundesrepublik Deutschland

5.1.1 Bilanzierungen und Schätzverfahren

Eine Nährstoffbilanzierung ist die Gegenüberstellung der Nährstoffein- und Austräge einer bestimmten Bezugsebene (VDLUFA-Standpunkt 2007).

Sowohl die Hoftor- und die Schlagbilanzen als auch die Prognose mit Hilfe des Schwefelschätzrahmens der ausgewählten Betriebe zeigten an, dass der Situation des Schwefelversorgungszustandes im ökologischen Landbau eine hohe Aufmerksamkeit geschenkt werden muss.

Bei der Hoftor-Bilanz ist der gesamte landwirtschaftliche Betrieb die Bezugsebene. Bei den in Teilprojekt 1 durchgeführten Bilanzierungen der sieben Betriebe wurde der Zukauf von Futtermitteln, organischen Düngestoffen, von Zucht- und Nutzvieh und von Saatgut berücksichtigt. Die Unterstellung, dass keine mineralischen Schwefeldüngemittel eingesetzt wurden, entsprach den Angaben der Betriebsleiter.

Berücksichtigt man auf der Austragseite zunächst nur die Abgänge über den Verkauf pflanzlicher und tierischer Marktprodukte, sonstiger Abgänge und Bestandsänderungen, wird deutlich, dass bei fast allen Betrieben ein leichtes Defizit an Schwefel entsteht. Das Defizit reicht von wenigen Dezitonnen bis zu mehreren Tonnen, je nach Betriebstyp und Betriebsgröße. Viehhaltende Betriebe mit einem hohen Zukauf von Futtermitteln wiesen dabei geringere Verluste auf, in einem Fall ergab sich sogar ein positiver Saldo.

Werden diese Verluste gleichmäßig auf die Fläche verteilt, entsteht pro Hektar rechnerische ein leichte Zunahme oder, bei der Mehrzahl der Untersuchungsbetriebe, ein leichtes Defizit von wenigen Kilogramm bis max. 15 kg Schwefel.

Rechnet man zusätzlich noch Schwefelausträge durch Sickerverluste hinzu, kann sich dieser zunächst eher moderat erscheinende Verlust deutlich erhöhen. Als gemittelter Literaturwert kann von einem Schwefelverlust über das Sickerwasser von 40 kg S ha^{-1}

ausgegangen werden. Die tatsächlichen Verluste sind dabei abhängig von den vorherrschenden Standortbedingungen, der Bildung von Sickerwasser und der Konzentration von gelöstem Schwefel (SO_4^{2-}) im Boden. Eine genaue Größenangabe über tatsächliche Verluste kann in dieser Untersuchung nicht gegeben werden, da hierzu keine Messungen durchgeführt wurden.

Ein angenommener Eintrag aus atmosphärischer Deposition in Höhe von $10 \text{ kg S ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ kann das Defizit nicht ausgleichen.

Die Durchführung der Schlagbilanz für die Futterleguminosenbestände zeigte ein hohes Schwefeldefizit auf, wenn der Aufwuchs von der Fläche abgefahren wird. Eine Zufuhr von Schwefel über organische Düngemittel, welche eine ausgleichende Rolle spielen könnte, hatte nach Angaben der Betriebsleiter bei dem Anbau von Futterleguminosen bis dahin keine Bedeutung. Je nach Bestandesentwicklung müssen Entzüge bis zu $50 \text{ kg ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ angerechnet werden. Die Situation verschärft sich für den Schlag, wenn der Anbau der Futterleguminosen mehrjährig erfolgt. Das bedeutet, dass eine Schwefelmangelsituation für Futterleguminosen vor allem gerade dann auftreten kann, wenn ein mehrjähriger Anbau mit einer intensiven Nutzung und einem hohen Ertrag durchgeführt wird. Flächen, bei denen die Biomasse auf der Fläche verbleibt, weisen keinen Schwefelentzug auf und beinhalten daher ein geringeres Risiko. Entsprechend den Angaben der Betriebsleiter wurden die Aufwüchse alle einer Nutzung zugeführt, entweder zur betriebsinternen Fütterung, oder bei den viehlosen Betrieben in Kooperation mit einem viehhaltenden Betrieb (steil) oder einer Biogasanlage. Das also der gesamte Aufwuchs auf der Fläche verblieb, kam in dieser Untersuchung nicht vor.

Die Schwefelbilanzierungen zeigten ein deutliches Risiko an, dass Schwefelmangelsituationen für den Anbau von Futterleguminosen unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus auftreten können. Auf gesamtbetrieblicher Ebene spielt dabei vor allem die Auswaschung die größte Rolle. Auf Schlagebene findet unter Futterleguminosenschlägen der potentiell höchste Schwefelentzug statt, was insbesondere bei einem mehrjährigem Anbau negative Auswirkungen haben kann, insofern kein Ausgleich über organische oder mineralische Düngemittel erfolgt.

Auch der Schwefelschätzrahmen nutzt in erster Linie die Kenngrößen potentielle Auswaschung und S-Bedürftigkeit der Kulturen für seine Prognose. Daher ist es nahelie-

gend, das bei einem in Deutschland überwiegend vorherrschendem humiden Klima auf nahezu allen ökologisch wirtschaftenden Standorten, die noch nie gezielt Schwefel gedüngt haben, eine Schwefelmangelsituation für den Anbau von Futterleguminosen prognostiziert wird.

5.1.2 Bodenanalyse

Als einen mit Messungen hinterlegten Hinweis auf die Schwefelversorgungssituation eines Standortes kann der S_{\min} -Wert angesehen werden. Bisherige Einschätzungen bezüglich der Aussagefähigkeit dieses Wertes bezogen sich allerdings nur auf den Bedarf von konventionell angebautem Raps, der als besonders Schwefelbedürftig gilt. Die Angaben von Link (2002) besagen, dass ein S_{\min} -Wert im Frühjahr in der Tiefenstufe von 0-60 cm von $60 \text{ kg } S_{\min} \text{ ha}^{-1}$ anzustreben ist. Der Autor konnte zeigen, dass ab diesem Wert eine Schwefeldüngungsmaßnahme mit hoher Wahrscheinlichkeit bei Winterraps unwirksam bleibt. Diese Ergebnisse sind auch in den Standpunkt zur Schwefeldüngung der VDLUFA eingegangen (Koch et al. 2000).

Vergleicht man diesen Wert mit den auf 38 deutschlandweit untersuchten Öko-Futterleguminosenflächen (Abbildung 3) wird deutlich, dass die in der vorliegenden Untersuchung gefundenen Werte bei ökologisch bewirtschafteten Futterbausschlägen im Vergleich dazu mit großer Mehrheit als sehr niedrig anzusehen sind. Bei 50 % der untersuchten Fälle wurden S_{\min} -Werte in der Tiefenstufe von 0-60 cm von teilweise deutlich unter $20 \text{ kg } S \text{ ha}^{-1}$ gemessen. Weitere 13 % der untersuchten Standorte wiesen Werte nur knapp über $20 \text{ kg } S \text{ ha}^{-1}$ auf und nur 20 % wiesen Werte von über $30 \text{ kg } S \text{ ha}^{-1}$ auf.

Durch Mineralisations- und Oxidationsvorgänge (Schubert 2009) kann während eines Vegetationsverlauf bei entsprechenden Bodentemperaturen Schwefel in pflanzenverfügbare Sulfatform aus den Bodenvorräten bereitgestellt werden. Diese Vorgänge können dazu führen, dass der Schwefelbedarf eines Futterleguminosenbestandes, trotz eines niedrigen Vorrats an mineralischem, gelöstem Schwefel (S_{\min} -Wert), durch den Standort ohne eine zusätzliche Düngung gedeckt werden kann.

Nach Gutser und Ebertseder (2002) setzt die Mineralisation von Schwefel allerdings für Kulturen mit einem frühen Bedarf zu spät ein. Daher kann davon ausgegangen werden,

dass für die Ertragsbildung des ersten Schnitts eines Futterleguminosenbestandes in den meisten Fällen nur der Vorrat an S_{\min} im Frühjahr wirksam ist und ein niedriger S_{\min} -Wert zu Ertrags- und Leistungsdepressionen der Futterleguminosen führt. Herrschen auf dem Standort gute Wachstumsbedingungen vor, werden im ersten Aufwuchs bis zu 20 kg Schwefel ha^{-1} gebunden (Fischinger 2010).

Ein S_{\min} -Wert unter 20 kg $S_{\min} ha^{-1}$ in der Tiefenstufe 0-60 cm zu Vegetationsbeginn beinhaltet demnach eine hohe Wahrscheinlichkeit dafür, dass das Ertragspotential der Futterleguminosen aufgrund eines nicht ausreichendem Vorhandenseins von pflanzenverfügbarem Schwefel nicht ausgeschöpft werden kann. Von den 38 deutschlandweit untersuchten Futterleguminosenbeständen fällt mit 50 % ein sehr großer Anteil in diese Kategorie. Es ist natürlich prinzipiell zu beachten, dass eine Begrenzung des Untersuchungshorizontes auf 60 cm nicht immer ein vollständiges Bild über den Standort geben kann. Besonders bei einem tief durchwurzelten Boden können Schwefelvorkommen in unteren Bodenschichten ertragswirksam werden, was unter gegebenen Umständen Berücksichtigung finden sollte. Eine standardmäßige Ausweitung des Untersuchungshorizontes erfordert aber einen erhöhten Aufwand und muss nach Einzelentscheidung durchgeführt werden.

Das mindestens die Hälfte der ökologisch bewirtschafteten Flächen eine für den Bedarf von Futterleguminosen unzureichende Schwefelversorgung aufweisen entspricht genau den Ergebnissen einer Untersuchung von Urbatzka et al. (2013). In diesen, allerdings nur auf Bayern begrenzten, Düngungsversuchen in Futterleguminosenbeständen zeigten sich bei 50 % der 77 Versuche zu den ersten beiden Schnitten optische Effekte bei einer Schwefeldüngung mit Calciumsulfat. Standortbedingungen und Viehbesatz hatten dabei nur eine untergeordnete Bedeutung.

5.1.3 Pflanzenanalyse:

Die in Abbildung 4 gezeigten die N- und S- Konzentrationen des ersten Schnittes Klee-gras 2012 auf den 38 deutschlandweit untersuchten Standorten geben einen deutlichen Hinweis, dass auf gut der Hälfte der Flächen die Futterleguminosen nicht ausreichend mit Schwefel versorgt waren. Die N-Konzentrationen im Gemenge lagen bei 52 % der Analysen unter 3 % in der Trockenmasse, die S-Konzentrationen etwa um 0,25 %. Das Verhältnis der N-Konzentration zur S-Konzentration im Leguminosen/Gras-

verengte sich in fast allen Fällen, in denen eine Düngung durchgeführt wurde, obwohl gleichzeitig die N-Konzentration in den Pflanzen durch die Schwefeldüngung anstieg.

Dabei werden weniger die durch die Pflanzenanalyse gezeigten Schwefelkonzentrationen in den Pflanzen als Indikator für diesen Schluss gesehen, sondern vielmehr die relativ niedrigen Stickstoffkonzentrationen in den Futteraufwüchsen. Vergleichbare Proben, die anhand der Aufwüchse des Gladbacherhofs untersucht wurden, zeigten bei ausreichend mit Schwefel versorgten Pflanzen N-Konzentrationen über 3 % bei gleichzeitigen S-Konzentrationen bis 0,4 % (Fischinger 2011). Eine niedrige N-Konzentration bei Leguminosen wird an dieser Stelle als ein Stoffwechselproblem interpretiert, die auf eine Unterversorgung mit beispielsweise Schwefel zurückzuführen ist. Eine Schwefeldüngung führt dann zu einer Erhöhung der Stickstoffkonzentration auf über 3 % in der TS. Damit einhergehende Verdünnungseffekte können dazu führen, dass die Schwefelkonzentration in der Pflanze nur gering ansteigt. Der von Rühlicke (1992) aufgestellte Grenzwert von 0,20 % in der TS kann daher nur in Zusammenhang mit der N-Konzentration bewertet werden. Anzustreben sind daher N-Konzentrationen von über 3 % und S-Konzentrationen von über 2 %, wobei das Verhältnis von N/S nicht weiter als 15 sein sollte. Mit ziemlicher Sicherheit kann dann von einer ausreichenden Schwefelversorgung ausgegangen werden, wenn die Stickstoffkonzentration über 3 % liegt und der N/S-Quotient enger als 10 ist (Becker et. al 2013).

5.2 Potentielle Ertragssteigerungen durch eine verbesserte Schwefelversorgung in Futterleguminosenbeständen (direkte Düngewirkung), 2012 und 2013

Die Futterleguminosenbestände auf den sieben Untersuchungsstandorten reagierten erwartungsgemäß unterschiedlich auf die durchgeführten Schwefeldüngungsmaßnahmen (Tabelle 24). Das erste Betriebspaar viehhaltend/viehlos aus dem Bodenklima-Raum 115 reagierte bei den Futterleguminosen in beiden Untersuchungsjahren mit einem deutlichen Anstieg der Schwefelkonzentration um ca. 0,1 % und einhergehend mit einem deutlichen Anstieg der Stickstoffkonzentration. Diese Verbesserung der Inhaltsstoffe lies Ertragssteigerungen der Futterleguminosenbestände erwarten. Tatsächlich konnte diese Erwartung aber nur teilweise beobachtet werden, nämlich dann, wenn im Gemenge ein ausreichender Anteil an Leguminosen etabliert war. Der

Anteil der Leguminosen am Gesamtertrag war nur in einem Fall deutlich positiv beeinflusst, und zwar auf dem viehlosen Standort im Jahr 2012. Da die Leguminosen anscheinend durchgehend zu niedrig mit Schwefel versorgt waren, aber dennoch bei Schwefeldüngung keinen Mehrertrag erzielten, erklärt sich auf dem viehhaltenden Standort im Jahr 2012 dadurch, dass die Leguminosen im Gemenge, vermutlich durch Mäuse, stark reduziert, bzw. vernichtet waren. Fallen im Gemenge die Futterleguminosen durch externe Einflüsse aus, kann sich bei einem Ausgleich einer Nährstoffmangelsituation keine positive Wirkung einstellen. Für die Praxis ist die Voraussetzung dafür, dass ein Ausgleich einer Schwefelmangelsituation in Futterleguminosenbeständen direkt spürbare Auswirkungen hat, dass die Leguminosen im Gemenge etabliert und gehalten werden können. Dies zeigte sich in abgeschwächter Form auf dem viehhaltenden Standort im Erntejahr 2013, in dem eine Ertragssteigerung um ca. 14 % bei Schwefeldüngung festgestellt werden konnte. Wird dem Bestand organischer Dünger, in einem viehhaltenden Betrieb der über Gülle, oder in einem viehlosen Betrieb, der über Gärreste verfügt, zugeführt, kann der Effekt einer Ertragssteigerung durch die verbesserte Schwefelversorgung der Leguminose durch die Zuführung externer Nährstoffe überdeckt, bzw. die symbiontische N-Versorgung durch die Gabe von organischem N ersetzt werden. Ein effizienterer Einsatz von Nährstoffen aus organischen Düngemitteln an anderer Stelle in der Fruchtfolge müsste geprüft werden.

Das Betriebspaar viehhaltend/viehlos aus dem Boden-Klima-Raum 145 zeigte erwartungsgemäß kaum Reaktionen auf die Schwefeldüngungen, die standortbedingte Schwefelversorgung war demnach bei beiden Betriebstypen als ausreichend einzustufen. Die Pflanzen haben zwar in geringem Maße mehr Schwefel aufgenommen, wenn Schwefel gedüngt wurde, Auswirkungen auf die Stickstoffkonzentration, die Ertragszusammensetzung oder die Ertragshöhe wurden dadurch aber nicht ausgelöst.

Entgegen der Erwartung reagierten die Standorte aus dem Boden-Klima-Raum 104 nur begrenzt auf eine Verbesserung des Schwefelangebotes. Die Messwerte von pflanzenverfügbarem Schwefel im Frühjahr zeigten niedrige Werte an, eine Ertragssteigerung der Futterleguminosenbestände konnte aber durch eine Schwefeldüngung nicht erreicht werden. Auslöser hierfür ist in dieser Region wahrscheinlich eine eingeschränkte Wasserversorgung, was niedrige Erträge bedingte und dadurch auch ein geringer Nährstoffbedarf vorherrschte. Von der Trockenheit schienen besonders die Legumino-

sen betroffen zu sein, so dass ein verbessertes Schwefelangebot in diesem Klimaraum in den Versuchsjahren kaum Ertragseffekte hervorrief. Dennoch sollte die Thematik auch an diesem Standort weiterverfolgt werden, da auf dem viehhaltenden Standort eine Verbesserung der Schwefel- und der Stickstoffkonzentration in den Leguminosen aufgezeigt werden konnte, was eine Verbesserung der Qualität in der Fütterung nach sich zieht. Um die Leguminosenanteile zu stärken, sollten Düngungsmaßnahmen mit Schwefel schon im ersten Anbaujahr durchgeführt werden. Ertragssteigernde Effekte könnten sich dann entfalten, da im Ansaatjahr die Reduktion des Leguminosenanteils durch Wassermangel noch weniger fortgeschritten ist. Zusätzlich sind auf diesen Standorten weitere Nährstoffdefizite und die Bodentreaction (pH-Wert) zu überprüfen. Insbesondere die Tatsache, dass auf dem Standort viehhaltend während der Vegetation der Leguminosenanteil stark zurückging, wirft die Überlegung auf, ob die Nutzungsdauer auf diesem Standort nicht verkürzt werden sollte. Eventuell negative Beeinflussungen eines möglicherweise sehr niedrigen pH-Wertes in tieferen Bodenschichten auf die Pflanzenwurzeln könnte so entgegengewirkt werden.

Tabelle 24: Einfluss einer Schwefeldüngung mit CaSO_4 (60 kg *ha^{-1}) bei unterschiedlichen Standort- und Bewirtschaftungsbedingungen auf Inhaltsstoffe und Ertrag von Futterleguminosen, 2012 und 2013

	S_{\min} Frühjahr 0 – 60 cm (kg ha^{-1})	Ertrag ungedüngt TS (dt ha^{-1})	Einfluss der Schwefeldüngung auf Futterleguminosen					
			S %	N %	Anteil Legumino- sen im Gemenge	TS- Ertrag	N- Flächen- ertrag	Nach- frucht
BKR 115 viehh 2012	20,1	80	+++	+++	o	o	o	o
BKR 115 viehh 2013	9,7	92	+++	+++	+	+	+	+
BKR 115 viehl 2012	20,4	100	+++	+++	+++	+++	+++	o
BKR 115 viehl 2013	5,2	75	+++	+	o	+	+	o
BKR 145 viehh 2012	21,7	60	+	o	o	o	o	o
BKR 145 viehh 2013	30,2	79	+	o	o	o	o	o
BKR 145 viehl 2012	38,4	65	+	o	o	o	o	o
BKR 145 viehl 2013	37,1	80	+	+	o	o	o	o
BKR 104 viehh 2012/2013	15,1	55	+	+	o	o	o	o
BKR 104 viehh 2013	20,9	45	+++	+++	o	++	+	o
BKR 104 viehl 2012	15,0	70	o	o	o	o	o	o
BKR 104 viehl 2013	10,0	17	o	o	o	o	+	o
BKR 133 viehh 2012	29,0	135	+	o	o	o	o	o
BKR 133 viehh 2013	40,9	80	o	o	o	o	o	o

Anhand der Untersuchungsergebnisse zur Wirkung einer Schwefeldüngung zu Futterleguminosen in ökologischen Praxisbetrieben in Deutschland lassen sich drei Kategorien bilden (

Tabelle 25).

Zur Kategorie 1 gehören demnach Schläge mit einem Gehalt an löslichem Schwefel in 0-60 cm Bodentiefe von ca. 30 kg S_{\min} ha⁻¹ und mehr im zeitigen Frühjahr. Auf diesen Schlägen bewirkte eine gezielte Schwefeldüngung keine Mehrerträge an Biomasse und Stickstoff. Daraus ist auf eine ausreichende Schwefelversorgung zu schließen.

Zur Kategorie 2 zählen Flächen mit einem Vorrat an S_{\min} von deutlich unter 30 kg ha⁻¹.
Wie aus

Tabelle 25 ersichtlich, wurde durch Schwefelgaben eine mittlere Ertragssteigerung (Trockenmasse) von 24 % sowie eine Zunahme des Stickstoffflächenertrages um 31 % erzielt. Dies spricht für eine Mangelsituation, ähnlich der ursprünglichen Lage auf dem Gladbacherhof, die durch Schwefeldüngung ausgeglichen werden konnte.

Zur Kategorie 3 zählen Flächen mit ähnlich niedrigen Schwefelgehalten wie in Kategorie 2. Jedoch zeigte die Schwefeldüngung keine Zunahme der Trockenmasseerträge und des Stickstoffflächenertrages. Die ausgebliebenen Effekte lassen vermuten, dass neben Defiziten in der Schwefelversorgung weitere ertragslimitierende Wachstumsfaktoren beteiligt waren bzw. sind, die den Schwefel daran hindern, seine Versorgungsfunktion zu entfalten. Das Wachstum der Futterleguminosen war, so die Beobachtung, insbesondere durch Wassermangel eingeschränkt. Aber auch Defizite im Bodenstrukturzustand, in der Bodenreaktion vor allem in tieferen Bodenschichten und in der Versorgung mit weiteren Mineralstoffen wie Phosphor, Kalium und/oder Magnesium u. Ä. könnten eine Rolle gespielt haben. Grundsätzlich sind weitere Untersuchungen erforderlich, um die ersten Erfahrungen zur Kategorienbildung und der Zuordnung von Untersuchungsflächen zu erhärten.

Tabelle 25: Kategorien der Schwefelversorgung zu Futterleguminosen im Mittel der zugeordneten Flächen (n = 13), beurteilt anhand der relativen Mehrerträge durch Schwefeldüngung gegenüber ungedüngt

	Behandlung mit S	S _{min} -Ausgangswert im Frühjahr in 0-60 cm Tiefe	Trockenmasseertrag		Stickstoffflächenertrag		Charakterisierung
			rel.	dt ha ⁻¹	rel.	dt ha ⁻¹	
		(kg ha ⁻¹)					
Kategorie 1 (5 Flächen)	ohne	> 30	100	86,6	100	229	guter Schwefelversorgungs-zustand
	mit ¹⁾		101	87,7	101	231	
Kategorie 2 (5 Flächen)	ohne	< 30	100	72,8	100	195	Schwefelmangel
	mit ¹⁾		124	90,0	131	258	
Kategorie 3 (3 Flächen)	ohne	< 30	100	69,7	100	187	Schwefelmangel, weitere Wachstumsfaktoren defizitär
	mit ¹⁾		99	68,0	102	191	

Abschließend stellt sich die Frage nach generellen Grenzwerten zum Gehalt des Bodens an mineralischem Schwefel (S_{min}, EUF) für den Anbau von Futterleguminosen. Ein VDLUFA-Standpunkt zu Fragen der Bedarfsprognose und Düngung mit Schwefel berücksichtigt die Futterleguminosen nicht (Koch et al. 2000).

In Anlehnung an Koch et al. (2000) und Link (2002) sowie mit Blick auf die eigenen Ergebnisse aus der vorliegenden Untersuchung und den Untersuchungen auf dem Gladbacherhof (Riffel et al. 2014) werden in Tabelle 26 vorläufige Schwefelversorgungsklassen des Bodens zur Abschätzung des Düngebedarfs beim Anbau von Futterleguminosen dargestellt.

Tabelle 26: Vorläufige Schwefelversorgungsklassen des Bodens zur Abschätzung des Düngebedarfs bei Futterleguminosen, Messungen im zeitigen Frühjahr

S _{min} -Gehalt in 0-60 cm kg ha ⁻¹	S-Konzentration mg S _{min} /100 g Boden	S-Konzentration mg EUF-S/100 g Boden	Gehaltsstufe	Bewertung und Empfehlung
< 30 kg	< 0,35	< 0,5	A	niedrige Schwefelversorgung, Aufdüngung!
30-60 kg	0,35-0,67	0,5-1,0	C	mittlere Schwefelversorgung Entzugsdüngung!
> 60 kg	> 0,67	> 1,0	E	hohe Schwefelversorgung keine Düngung!

Böden mit einem S_{\min} -Gehalt im zeitigen Frühjahr über 60 kg ha^{-1} in 0-60 cm Tiefe werden dabei als mit Schwefel übertersorgt eingeschätzt (Kein Düngebedarf!).

Böden mit $30\text{-}60 \text{ kg } S_{\min} \text{ ha}^{-1}$ im zeitigen Frühjahr wären ausreichend mit Schwefel versorgt. Es wird angeregt, eine Schwefeldüngung gemäß dem zu erwartenden Entzug vorzunehmen. Eine Düngung sollte idealerweise zu Beginn eines jeden Hauptnutzungsjahres mit sulfathaltigen Düngemitteln erfolgen.

Böden mit weniger als $30 \text{ kg } S_{\min} \text{ ha}^{-1}$ im zeitigen Frühjahr sind als unterversorgt einzustufen. Hier empfiehlt sich in jedem Fall eine Düngung über den Entzug hinaus, um die Gehalte des Bodens in den mittleren Versorgungsbereich anzuheben. Auch die übrigen Kulturen in der Fruchtfolge dürften dann von einer verbesserten Schwefelversorgung profitieren.

5.3 Wirkung unterschiedlich gut mit Schwefel versorgter Leguminosenbestände auf die Nachfrucht (Fruchtfolgewirkung) 2013 und 2014

Eine positive Wirkung der verbesserten Schwefelversorgung von Futterleguminosenbeständen auf die Nachfrucht durch eine erhöhte Leistung der Futterleguminosen konnte nur ansatzweise beobachtet werden. Ein ausschlaggebender Grund hierfür ist sicherlich, dass auf allen Praxisbetrieben organische Dünger in Form von Gülle, Mist oder Biogasgärresten zur Nachfrucht eingesetzt wurden. Die Praxis setzt also mobile Nährstoffe an einer bevorzugten Fruchtfolgestellung, direkt nach mehrjährigem Futterbau, ein, um einen möglichst hohen Marktfruchtertrag zu erzielen. Eine eventuelle verminderte Vorfruchtleistung bei einer Schwefelmangelsituation kann so nicht deutlich abgebildet werden. Darüber hinaus war auf den Standorten, an denen ein Effekt erwartet werden konnte, nicht zuverlässig die Situation gegeben, dass ausreichend Leguminosen im Gemenge etabliert waren. Dieses Nährstoffmanagement zeigt auf, dass die untersuchten Betriebe die reine Vorfruchtleistung der Futterleguminosen in der Vergangenheit als nicht ausreichend empfunden haben und daher diesen Düngungszeitpunkt in der Fruchtfolge als notwendig und wirksam ansehen. Nährstoffe fehlen dann natürlich an anderer Stelle der Fruchtfolge. Diese Strategie ist zu überden-

ken und sollte an anderer Stelle weiter untersucht werden (vgl. auch Leithold et. al 2015).

Dass ein starker Effekt von einer Schwefeldüngungsmaßnahme in Futterleguminosen auf die Nachfrucht ausgehen kann, zeigen die Untersuchungen auf dem Gladbacherhof (Tabelle 2). Unter den dortigen Bedingungen wurde keine organische Stickstoffdüngung in der Nachfrucht durchgeführt und eine deutliche Ertragssteigerung in Winterweizen durch die Schwefeldüngung in der Vorfrucht konnte nachgewiesen werden.

Eine direkte Schwefelgabe zu Winterweizen zeigte in keinem der untersuchten Fälle positive Effekte. Diese Ergebnisse decken sich mit den Ergebnissen auf dem Gladbacherhof (Becker et. al. 2014).

6 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse; Möglichkeiten der Umsetzung oder Anwendung der Ergebnisse für die Praxis und Beratung

Anhand von Bilanzierungsmodellen und Bodenanalysen konnte gezeigt werden, dass auf einer Vielzahl von Standorten mit einer ertragsrelevanten Schwefelmangelsituation für den Anbau von Futterleguminosen gerechnet werden muss, wenn keine ausgleichenden Düngungsmaßnahmen durchgeführt werden. Es wird davon ausgegangen, dass im Zeitraum der Untersuchung über 50 % der Flächen von einer Schwefelmangelsituation betroffen waren. Deutlich wurde aber auch, dass außerdem weitere Voraussetzungen gegeben sein müssen, damit eine verbesserte Schwefelversorgung wirksam werden kann. Besonders wichtig ist, dass es dem Landwirt gelingt, einen stabilen Anteil an Leguminosen im Futterbaugemenge zu etablieren und das nicht durch Trockenheit, Kahlfröste oder Mäusebefall die Leguminosen aus dem Gemenge verschwinden.

Die Ergebnisse können in der Praxis leicht Anwendung finden. Eine Hoftorbilanz ist mit einem Vordruck einfach durchzuführen und gibt erste Hinweise auf die Ist-Situation.

Durch in der vorliegenden Untersuchung herausgearbeitete Grenzwerte bei Boden- und Pflanzenanalysen können direkte Parameter für die Einschätzung der Schwefelver-

sorgungssituation genutzt werden. Entsprechende Handlungsempfehlungen sind für den Praktiker herausgearbeitet (Tab. 26).

Mit für den ökologischen Landbau zugelassenen Düngemitteln (empfohlen werden sulfathaltige Düngemittel) kann der Landwirt einfach einen eigenen Düngeversuch anlegen. Dies sollte am Besten in Zusammenarbeit mit der Beratung stattfinden, um Düngemittel und Düngermenge in geeigneter Form zu wählen und anzuwenden.

Die Forschungsergebnisse zeigen, dass im ökologischen Landbau eine ausgeglichene Nährstoffversorgung, insbesondere beim Anbau von Futterleguminosen, sichergestellt sein muss. Die Futterleguminosen haben das höchste Potential um Stickstoff für die Fruchtfolge zu generieren. Ist das Wachstum der Futterleguminose z. B. durch ein Schwefeldefizit, gehemmt, kann ein Ausgleich für die Folgefrucht nur über zugelassene organische Stickstoffdünger erfolgen, die aber nicht unbegrenzt verfügbar sind und zudem zusätzliche Kosten verursachen.

Bedeutung für die Fütterungspraxis hat außerdem die Erkenntnis, dass durch eine ausgeglichene Schwefelversorgung die Schwefelkonzentration im Grundfutter und damit einhergehend über den Anstieg der Stickstoffkonzentration der Rohproteingehalt im Grundfutter steigt. Eine höhere Qualität durch den einerseits höheren Rohproteingehalt und andererseits die höhere Schwefelkonzentration wirkt sich in höheren Leistungen bei der Rinderhaltung aus. Durch eine Schwefeldüngung kann die Wertigkeit des Grundfutters erhöht werden.

7 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlichen Zielen; Hinweise auf weiterführende Fragestellungen

1. Erfassung des S-Versorgungszustandes auf langjährig ökologisch bewirtschafteten Flächen verschiedener Boden-Klima-Räume Deutschlands anhand üblicher Prognose- und Schätzverfahren.

Erreichtes Ziel: Die Prognose- und Schätzverfahren haben ergeben, dass durch Entzug und Verkauf, sowie durch Auswaschungsverluste potentiell jeder Standort ein bilanziertes Schwefeldefizit aufweist, insofern nicht gezielt schwefelhaltige Düngemittel eingesetzt werden. Je nach Standortbedingungen und Betriebstyp war das Defizit unterschiedlich ausgeprägt.

2. Ermittlung des tatsächlichen Schwefelversorgungszustandes der Futterleguminosenbestände mittels Pflanzen- und Bodenproben;

Erreichtes Ziel: Die Analyse der Bodenproben zeigte, dass deutschlandweit ein niedriger Gehalt an pflanzenverfügbarem Schwefel auf ökologisch wirtschaftenden Flächen vorherrscht. Eine mit konventionellen Maßstäben als ausreichend anzusehende Schwefelversorgung konnte nur auf maximal 30 % der untersuchten Flächen festgestellt werden. Die Ergebnisse der Pflanzenanalysen zeigten ein entsprechendes Bild.

3. Eruiieren von potentiell geeigneten Parametern für die Prognose der S- Verfügbarkeit auf Böden des ökologischen Landbaus;

Erreichtes Ziel: Als potentiell geeigneter Parameter für eine Prognose zur S-Verfügbarkeit hat sich die Bodenanalyse mit dem S_{\min} -Wert oder über die EUF-Analyse herausgestellt. Um die Werte einordnen zu können wurden Grenzwerte formuliert. Andere Maßnahmen wie Bilanzierungsverfahren, Pflanzenanalysen oder Düngefenster sollten zur Erfolgskontrolle begleitend durchgeführt werden.

4. und 5. Erfassung schwefelmangelbedingter Ertragsverluste in Futterleguminosenbeständen; Quantifizierung schwefelmangelbedingter Defizite des N-Flächenertrages der Futterleguminosenbestände

Erreichtes Ziel: Es konnte gezeigt werden, dass unter Schwefelmangelbedingungen Ertragsverluste in Futterleguminosen, einhergehend mit einem reduzierten N-Flächenertrag auftreten können. Unter Praxisbedingungen wird die Schwefelmangelsituation aber häufig von anderen Faktoren überdeckt: Geringer bis kein Leguminosenanteil im Gemenge, Wassermangel, evtl. weitere Nährstoffdefizite, Einsatz organischer, stickstoffhaltiger Dünger.

Weiterführende Fragestellung: Es ist naheliegend, dass ein Ausgleich eines Schwefeldefizites dazu führt, dass weitere Nährstoffe im Makro- und Mikronährstoffbereich ertragshemmend wirksam werden. Es ist eine Gesamtbetrachtung aller Nährstoffe vorzunehmen und bezüglich der Relevanz zu überprüfen.

6. Quantifizierung der durch eine Schwefeldüngung verbesserten Vorfruchtwirkung der Futterleguminosen am Beispiel Winterweizen;

Erreichtes Ziel: Unter den geprüften Praxisbedingungen war eine Quantifizierung einer verbesserten Vorfruchtwirkung nur eingeschränkt möglich, da in den meisten Fällen organische stickstoffhaltige Dünger zur Nachfrucht gegeben wurden, die Effekte überlagern haben.

Weiterführende Fragestellung: Unter dem Stichwort N-Effizienz sollte überprüft werden, an welcher Stelle der Fruchtfolge organische Düngemittel am effizientesten eingesetzt werden sollten, unter der Bedingung, dass das Fruchtfolglied Futterleguminose optimal geführt wird und dadurch einen hohen, direkten Vorfruchtwert bietet.

7. Vergleich einer direkten Schwefeldüngewirkung im Winterweizen mit der indirekten Düngewirkung über die Futterleguminosen;

Erreichtes Ziel: Eine direkte Düngung von Schwefel zur Nachfrucht hatte in keinem Fall eine Wirkung und kann anhand des momentanen Standes des Wissens nicht empfohlen werden.

8. Ableiten von Handlungsempfehlungen für die Praxis;

Erreichtes Ziel: Für die Praxis wurden Grenzwerte für verschiedene Düngungsempfehlungen entwickelt. Speziell für Praxis und Beratung wurde eine Broschüre geschrieben, die den aktuellen Stand des Wissens abbildet.

8 Zusammenfassung

Mit dem Rückgang der Schwefelemissionen aus anthropogenen Verbrennungsprozessen seit Mitte der 1990er Jahre ist auch der Schwefeleintrag in landwirtschaftlich genutzte Flächen stark zurückgegangen, sodass eine Schwefelversorgung, insbesondere von Kulturpflanzen mit einem hohen Schwefelbedarf, über diesen Weg nicht mehr gewährleistet wird.

Eine besondere Bedeutung für den ökologischen Landbau haben die Futterleguminosen, welchen aufgrund der Bereitstellung von Stickstoff, der Anreicherung von Humus, der Verbesserung des Bodengefüges und durch den Aufschluss von Mineralien eine zentrale Rolle innerhalb der Fruchtfolge zukommt.

Gerade die mehrschnittigen Futterleguminosen haben einen hohen Schwefelbedarf. In eigenen, praxisnahen Vorversuchen auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb für ökologischen Landbau der Universität Gießen, Gladbacherhof, konnte gezeigt werden, dass die Ertrags- und die Stickstofffixierleistung von Leguminosen/Grasgemengen in einem erheblichen Maße von einem verbesserten Angebot an pflanzenverfügbarem Schwefel beeinflusst wurde.

Ziel des Vorhabens war es aufzuzeigen, inwieweit sich die aktuelle Schwefelverfügbarkeit unter Praxisbedingungen in verschiedenen Anbauregionen begrenzend auf die Ertragsentwicklung von Futterleguminosenbeständen auswirkt und damit verallgemeinerbar einen limitierenden Faktor für die Bodenfruchtbarkeit des ökologischen Landbaus darstellt.

Es sollten geeignete Parameter ermittelt werden, um die Schwefelbedürftigkeit für die Anforderungen innerhalb einer ökologischen Fruchtfolge prognostizieren zu können. Für die Praxis des ökologischen Landbaus sollten konkrete Handlungsempfehlungen abgeleitet werden und damit die Ertragsleistung der Kulturen nachhaltig sichergestellt oder erhöht werden.

Die Untersuchung war in drei Teilprojekte gegliedert.

Status Quo-Analyse

Im ersten Teilprojekt wurden im Jahr 2012 auf insgesamt 38 Standorten deutschlandweit von ökologisch bewirtschafteten legumen Futterbauschlägen vor Vegetationsbeginn Bodenproben entnommen und auf den Gehalt an löslichem Schwefel untersucht (S_{\min} CaCl₂). Von 32 Standorten wurden Pflanzenproben zum Zeitpunkt des ersten Schnittes auf die Inhaltsstoffe Schwefel und Stickstoff untersucht. Zusätzlich wurden auf den Betrieben Schwefelbilanzierungen durchgeführt.

Düngewirkung von Schwefel in Futterleguminosen

Im zweiten Teilprojekt wurden 2012 sowie 2013 auf sieben ausgewählten Betrieben aus vier unterschiedlichen Boden-Klima-Räumen Schwefeldüngungsversuche in Futterleguminosenbeständen angelegt. Gedüngt wurden 60 kg Schwefel ha⁻¹*a⁻¹ in Form von im ökologischen Landbau als Düngemittel zugelassenem MgSO₄ und CaSO₄. Untersucht wurden die Schwefel- und Stickstoffgehalte in Boden und Pflanze sowie die Trockensubstanzbildung der Futterbaugemenge.

Wirkung einer Schwefeldüngung in Futterleguminosen auf die Nachfrucht

Im dritten Teilprojekt wurde überprüft, welche Auswirkungen die Schwefeldüngung in den Futterleguminosen auf das Wachstum und den Ertrag der Nachfrucht hatte. Zusätzlich überprüft wurde die Auswirkung einer Schwefeldüngergabe direkt zur Nachfrucht.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Eine Schwefelbilanzierung auf Hoftorbasis weist bei Beachtung von Auswaschungsverlusten bei allen Betriebstypen des ökologischen Landbaus einen negativen Saldo aus. Viehaltende Betriebe, die große Mengen an Futter zukaufen, importieren darüber zwar größere Mengen an Schwefel als direkt über den Verkauf verlorengelassen, bedingt durch die Auswaschung ist die Bilanz ohne einen zusätzlichen Schwefelimport dennoch nicht ausgeglichen.

Die deutschlandweiten Bodenanalysen zeigten auf, dass auf mehr als 70 % der getesteten Betriebsflächen der Gehalt des Bodens an Sulfatschwefel (S_{\min}) in 0-60 cm Tiefe bei oder unter 30 kg ha⁻¹ lag, was auf eine Schwefelunterversorgung bei schwefelbedürftigen Kulturen hindeutet. Diese Einschätzung wurde gestützt durch parallel durchge-

führte Pflanzenanalysen, die bei über der Hälfte sowohl zu niedrige Schwefelkonzentrationen und damit einhergehend niedrige Stickstoffkonzentrationen aufwiesen.

In den Jahren 2012 und 2013 durchgeführte Schwefeldüngungsversuche in vier verschiedenen Boden-Klima-Räumen Deutschlands zeigten, dass Flächen in drei Kategorien eingeteilt werden können.

Zur Kategorie 1 gehören Schläge mit einem Gehalt an löslichem Schwefel in 0-60 cm Bodentiefe von ca. $30 \text{ kg S}_{\text{min}} \text{ ha}^{-1}$ und mehr im zeitigen Frühjahr. Eine gezielte Schwefeldüngung mit Calcium- und Magnesiumsulfat (60 kg ha^{-1}) bewirkte in den 2012 und 2013 durchgeführten Untersuchungen keine Mehrerträge an Biomasse und Stickstoff. Daraus ist auf eine ausreichende Schwefelversorgung zu schließen.

Zur Kategorie 2 zählen Flächen mit einem Vorrat an S_{min} von deutlich unter 30 kg ha^{-1} . Durch Schwefelgaben wurde bei den untersuchten Standorten eine mittlere Ertragssteigerung von 24 % sowie eine Zunahme des Stickstoffflächenertrages um 31 % erzielt.

Zur Kategorie 3 zählen Flächen mit ähnlich niedrigen Schwefelgehalten wie in Kategorie 2. Jedoch zeigte die Schwefeldüngung keine Zunahme der Trockenmasseerträge oder des Stickstoffflächenertrages. Es scheint naheliegend, dass in dieser Kategorie weitere limitierende Faktoren zum Tragen kommen. Neben den unter Praxisbedingungen grundsätzlichen Problemen einer ausreichenden und dauerhaften Etablierung von Leguminosen im Gemenge mit Gras und einem zu geringen Wasserangebot bei Trockenheit können auch Defizite in der Bodenstruktur, dem pH-Wert und in der Versorgung mit weiteren Makro- und Mikronährstoffen eine Rolle spielen.

Zur Prognose der Schwefelversorgung bei Futterleguminosen wurde für die Bodenanalyse Grenzwerte formuliert, die als Richtlinie für die Praxis eine Notwendigkeit einer Aufdüngung oder einer Entzugsdüngung eingrenzen.

Bilanzierungsrechnungen verdeutlichten, dass auf den meisten Standorten, insbesondere aufgrund von Auswaschung, ein Schwefeldefizit entsteht, wenn keine externen Dünger zugeführt werden.

Die durchgeführten Pflanzenanalysen an Futterleguminosen zeigten, dass insbesondere eine niedrige Stickstoffkonzentration in der Pflanze Hinweise auf eine Mangelsituation geben. Die Stickstoffkonzentration in der Futterleguminose zum idealen Erntezeitpunkt (Ende Knospenstadium/Anfang Blüte) sollte nicht unter 3 % (TM) betragen.

Unter den geprüften Praxisbedingungen konnten Wirkungen in der Nachfrucht einer Schwefeldüngung in der Vorfrucht Futterleguminosen nur in geringem Maße beobachtet werden. Zum einen stand das häufig in Zusammenhm hohen Ausfall an Leguminosen im Vorfruchtgemenge. Zum anderen wurden in den untersuchten Praxisbetrieben stickstoffhaltige organische Dünger wie Mist, Gülle oder Gärreste eingesetzt, so dass Vorfruchteffekte überlagert wurden. Sofern das Düngungsregime der Praxisbetriebe nicht umgestellt wird, liegt unter diesen Bedingungen der Vorteil einer Schwefeldüngung in Futterleguminosen in höheren Stickstoffmengen, die über die Biomasse in den Betriebskreislauf eingespeist werden und über ein mehr an verfügbarem organischen Dünger innerhalb der Fruchtfolge wirksam werden können.

Eine direkte Schwefeldüngung zur Nachfrucht brachte in keinem der untersuchten Fälle eine Ertragssteigerung und sollte daher, anders als im konventionellen Landbau, nicht als Standardmaßnahme empfohlen werden.

9 Literaturverzeichnis

- Becker, K., & Leithold, G. (2009). Winterraps in der Fruchtfolge des Ökologischen Landbaus. (D. J. Mayer, Hrsg.) 1, S. 213-214.
- Becker, K., Heilmann, S., Riffel, A., Leithold, G., & Fischinger, S. A. (2013). *Wirkung einer Schwefel- und Gölledüngung auf den Trockensubstanz- und Stickstofftrag eines Futterleguminosenbestandes*. (C. S. Dr. D. Neuhoff, Hrsg.) Berlin: Dr. Köster.
- Becker, K., Riffel, A., Fischinger, & Leithold, G. (2014). *Benefit of Sulfate fertilisation in Alfalfa- and clover mixtures in organic farming* (Bd. 20). (R. G. Bridges, Hrsg.) Braunschweig: Thuenen Report.
- Bergmann, W. (1993). *Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen*. Stuttgart: Gustav-Fischer Verlag Jena.
- D. Rossberg, M. V., & Graf, R. N. (2007). Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes*.
- DeBoer, D. L., & Stanley, H. D. (1982). Effects of sulphur nutrition on nitrogen and carbon metabolism in lucerne (*Medicago sativa* L.). *Physiologia Plantarum*, 54 (3), S. 343-350.
- Erikson, J., Olesen, J. E., & Askegaard, M. (2002). Sulphate leaching and sulphur balances of an organic cereal crop rotation on three Danish soils. *European Journal of Agronomy*, 17 (1), S. 1-9.
- Fischinger, S. A., & Schulze, J. (2010). The importance of nodule CO₂ fixation for the efficiency of symbiotic nitrogen fixation in pea at vegetative growth and during pod formation. *Journal of Experimental Botany*, 61, S. 2281-2291.
- Fischinger, S. A., & Becker, K. (2011). Doppelt so viel N pro Hektar. *Bioland-Fachmagazin*, 02, S. 20-21.
- Gutser, R., & Ebertseder, T. (2002). *Grundlagen zur Nährstoff- und Sonderwirkung sowie zur optimalen Einsatzstrategien von Komposten im Freiland*. (Z. G. e.V., Hrsg.) In: Kompost im Gartenbau S. 47-72
- Habtemichael, K. H., Singh, B. R., & Aune, J. B. (2007). Wheat response to N₂ fixed by faba bean (*Vicia faba* L.) as affected by sulfur fertilization and rhizobial inoculation in semi-arid Northern Ethiopia. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170, S. 412-418.
- Hansen, S., Bakken, A. K., Strom, T., Govasmark, E., & Steinshan, H. (2005). *Sulphur supply: a challenge for organic farming?* NJF 369.

- Hawkesford, M. J., & De Kok, L. J. (2006). Managing sulphur metabolism in plants. *Plant, Cell and Environment*, 29, S. 382-395.
- Isermeyer, F., Nieberg, H., Dabbert, S., Hess, J., Dosch, T., & Löwenstein, F. (2001). Entwurf der vom BMVEL beauftragten Projektgruppe. (FAL_Braunschweig, Hrsg.)
- Jäger, K., & Schmidt, A. (1992). Open questions about sulfur metabolism in plants. *Annual review of plant biology*, 43, S. 325–349.
- Koch, H.-J. (2000). *Schwefelversorgung von Kulturpflanzen - Bedarfsprognose und Düngung*. (V. D.-u. Forschungsanstalten, Hrsg.) Darmstadt: VDLUFA, Selbstverlag.
- Leithold, G., Becker, K., Riffe, A., Schulz, F., Schmid-Eisert, A., & Brock, C. (2015). *Stickstoff und Schwefel im Ökologischen Landbau* (Bd. 1). Berlin: Dr. Köster.
- Link, A. (2002). : Schwefeldüngung. Thüringer Düngungstagung 2001. , S. 33-40. *Schriftenreihe der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) H. 11* .
- Paulsen, H. M., & Schochow, M. (2007). *Nährstoffgehalte und Nährstoffentzüge von Pflanzen in Mischfruchtanbausystemen mit Ölpflanzen im ökologischen Landbau*. In: Paulsen & Schochow Anbau von Mischkulturen mit Ölpflanzen zur Verbesserung der Flächenproduktivität im ökologischen Landbau - Nährstoffaufnahme, Unkrautunterdrückung, Schaderregerbefall und Produktqualitäten, Abschlussbericht zum BÖLN-Forschungsprojekt 03OE113.
- Rühlicke. (1992). *Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen*. (W. Bergmann, Hrsg.) Stuttgart: Gustav-Fischer-Verlag Jena S. 123
- Riffel, A., Hornischer, H., Fischinger, S. A., & Becker, K. (2013). *Wirkung einer Schwefeldüngung zu einem Luzerne-Klee gras-Bestand auf den Korn ertrag der Nachfrucht Winterweizen*. (C. S. Dr. D. Neuhoff, Hrsg.) Berlin: Dr. Köster.
- Scherer, H. W., Pacyna, S., Spoth, K. R., & Schulz, M. (2008). Low levels of ferredoxin, ATP and leghemoglobin contribute to limited N₂ fixation of peas (*Pisum sativum* L.) and alfalfa (*Medicago sativa* L.) under S deficiency conditions. *Biology and Fertility of Soils*, 44, S. 909-916.
- Schubert, S. (2011). *Pflanzen ernährung Grundwissen Bachelor* (Bd. 2). Stuttgart: UTB.
- Umweltbundesamt. (2009). *Umweltbundesamt*. Von http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/2_abb_schwefeldioxid-emi_2015-06-01.pdf abgerufen
- Urbatzka, P., Schneider, R., & Offenberger, K. (2013). Schwefelmangel auch im Klee gras? *Ökologie & Landbau*, 166 (2/2013), S. 36.

- Varin, S., Lemauviel-Lavenant, S., Cliquet, J. B., Diquélou, S., & Michaelson-Yeates, T. P. (2009). Functional plasticity of *Trifolium repens* L. in response to sulphur and nitrogen availability. *Plant Soil*, 317, S. 189-200.
- VDLUFA-Standpunkt. (2007). *Nährstoffbilanzierung im landwirtschaftlichen Betrieb*. (G. Baumgarten, G. Breitschuh, T. Ebertseder, H. Eckert, R. Gutser, U. Hege, et al., Hrsg.)

10 Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichung zum Projekt, bisherige und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse

<p>16.06.2012</p> <p>Feldtag Gladbacherhof, Villmar</p>	<p>Vorstellung von Versuchen und Versuchsergebnissen zur Schwefelforschung in legumen Feldfutterbau</p>
<p>17.01-18.01.2013</p> <p>Treffen der EUF Forschergruppe in Ochsenfurt</p>	<p>Vorstellung von Versuchsergebnissen und Wissensaustausch</p>
<p>31.01.2013</p> <p>Naturlandstammtisch</p>	<p>Naturlandstammtisch Lich-Eberstadt, Thema Schwefelversorgung von Futterleguminosen</p>
<p>07.02.2013</p> <p>Biorüben-Infotag der Südzucker, Hausen Fährbrück</p>	<p>Bedeutung der Schwefelversorgung für die Fruchtfolge im Ökologischen Landbau</p>
<p>05.03-08.03.2013</p> <p>12. Wissenschaftstag ökologischer Landbau, Bonn</p>	<p>. Beiträge: 1. Fischinger et al.: Effekte einer Schwefel- und Phosphordüngung auf Futterleguminosen auf einem Schwefel- und Phosphormangelstandort.</p> <p>2. Riffel et al.: Wirkung einer Schwefeldüngung zu einem Luzerne-Klee gras-Bestand auf den Kornertrag der Nachfrucht Winterweizen</p> <p>3. Becker et al.: Wirkung einer Schwefel- und Gölledüngung auf den Trockensubstanz- und Stickstoff ertrag eines Futterleguminosenbestandes</p>

<p>Juli 2013</p> <p>Artikel in Zeitschrift Ökologie und Landbau</p>	<p>Urbatzka, P., Schneider, R., & Offenberger, K., Becker, K. Riffel A, Leithold, G. (2013). Schwefelmangel auch im Klee-gras? Ökologie & Landbau , 166 (2/2013), S. 36</p>
<p>02.07.2013</p> <p>Feldtag zur Schwefelfor- schung Gladbacherhof</p>	<p>Schwefelversorgung im ökologischen Landbau - Situation und Bedeutung für den Anbau von Futterleguminosen_ Vorträge und Versuchsbesichtigung</p>
<p>12.11.2013</p> <p>Agritechnica Hannover</p>	<p>Poster und Beratungsgespräche am Stand der JLU-Giessen: Schwefelversorgung von Futterleguminosen im Ökologi- schen Landbau</p>
<p>29.01.2014</p> <p>Bauerntage BIO Austria Puchberg-Wels</p>	<p>Schwefeldüngung im biologischen Landbau – Effekte bei verschiedenen Kulturen</p>
<p>04.02.2014</p> <p>Wintertagung Bioland in Rauischholzhausen</p>	<p>Schwefeldüngung in Futterleguminosen (K. Becker) Fütterung von Wiederkäuern (Jürgen Sprenger, LLH Öko- team, Kassel)</p>
<p>25.02-26.02.2014</p> <p>Treffen der EUF For- schergruppe in Tulln, Agrana Österreich</p>	<p>Vergleich EUF mit anderen Extraktionsverfahren</p>
<p>27.02.2014</p> <p>Naturland Stammtisch Brandenburg</p>	<p>Die Schwefelversorgung landwirtschaftlicher Kulturen im Ökologischen Landbau. Situation und Bedeutung in ver- schiedenen Regionen Deutschlands Schwerpunkt Ogrosen und Sielow)</p>
<p>07.03.2014</p> <p>Schwefel-Workshop im Liebigmuseum Gießen</p>	<p>Vorträge und Diskussion gemeinsam mit Projekt zu Körner- leguminosen, Prof. Schmidtke</p>

12.03.2014 Bioland Regionaltreffen Niedersachsen	Vorstellung von Versuchsergebnissen auf dem Untersuchungsbetrieb Marienhagen, Hillerse
April 2014 Artikel in Zeitschrift Bio Austria 2/2014	Versuche: Schwefeldüngung bei Futterleguminosen „Wenn der Schwefel fehlt“ S 36-37
11.06.2014 Bioland Regionaltreffen Niedersachsen in Hameln	Vorstellung von Versuchsergebnissen, Diskussion
18.06.2014 Feldtag Gladbacherhof	Bodenfruchtbarkeit und Schwefelversorgung, Vorstellung von Düngungsversuchen
30.07.2014 Vortragsveranstaltung der Bioland-Regionalgruppe Allgäu und Augsburg Süd	Bedeutung der Schwefelversorgung für den Anbau von Futterleguminosen im ökologischen Landbau. Auswirkungen auf Ertrag, Qualität und Vorfruchtwert.
September 2014 Artikel in der Zeitschrift Bioland 09/2014	Futterleguminosen-Motor des Ackerbaus S. 10-11
23.01.2015 Bodengesundheitsdienst Südzucker Ochsenfurt	Fachlicher Austausch mit der Bioland- und der Naturlandberatung, Vorstellung von Versuchsergebnissen und Formulierung von Forschungsbedarf

<p>27.01.2015</p> <p>Bioland Wintertagung Nordrhein-Westfalen, Hamm</p>	<p>Futterleguminosen als Motor ökologischer Fruchtfolgen</p>
<p>28.01.2015</p> <p>Bioland Wintertagung Baden-Württemberg, Bad-Boll</p>	<p>Futterleguminosen als Motor ökologischer Fruchtfolgen</p>
<p>03.02.2015</p> <p>Bioland Wintertagung Bayern, Plankstetten</p>	<p>Futterleguminosen als Motor ökologischer Fruchtfolgen, in: Raps und Senfsaat im ökologischen Landbau. Geht das überhaupt?</p>
<p>05.02.2015,</p> <p>Naturland Ackerbauta- gung Nord-Ost</p>	<p>Futterleguminosen als Motor ökologischer Fruchtfolgen, In: Raps unter ökologischen Bedingungen. Wie kann das gelin- gen und wo sind Wissenslücken</p>
<p>17.03.-20.03.2015</p> <p>13. Wissenschaftsta- gung ökologischer Landbau, Eberswalde</p>	<p>Beiträge: Riffel et al.: Bemessung einer Schwefel-Düngung in einem Luzerne-Klee gras-Bestand im 2. Hauptnutzungs- jahr</p> <p>Becker et al.: Ertragswirksamkeit einer Gülledüngung zu Winterweizen im Vergleich zur Vorfruchtwirkung eines mit Schwefel versorgten Klee grasses nach einheitlicher Vorfrucht klee gras,</p>
<p>16.06.2015</p> <p>Öko Feldtag KWS Wieb- rechtshausen</p>	<p>Düngungsmaßnahmen im Klee gras –Auswirkung auf die Folgefucht Winterweizen</p>
<p>Oktober 2015</p> <p>Broschüre der Professur</p>	<p>G. Leithold, K. Becker u. a.: Stickstoff Und Schwefel Im Öko- logischen Landbau. Ratgeber für eine bessere Nährstoffver-</p>

für Organischen Land- bau	sorgung von Ackerkulturen Verlag Dr. Köster, Berlin ISBN978-3-89574-882-0
In Vorbereitung Broschüre	Schwefelversorgung von Futter- und Körnerleguminosen im ökologischen Landbau. Hrsg.: BLE

12 Anhang zum Schlussbericht: kurzgefasster Kontrollbericht

12.1 Beitrag zu förderpolitischen Zielen

12.2 Wissenschaftliches/technisches Ergebnis, Nebenergebnis,
gesammelte wesentliche Erfahrungen

12.3 Erfindungen/Schutzrechtanmeldungen

12.4 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

12.5 Wissenschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

12.6 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für
eine mögliche nächste Phase

12.7 Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer

12.8 Die Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung