Mecklenburg Vorpommern

Landesforschungsanstalt
für Landwirtschaft und Fischerei

ABSCHLUSSBERICHT

Einfluss der S-Düngung auf Ertrag und Qualität von Leguminosen



IMPRESSUM

Titel
Einfluss der S-Düngung auf Ertrag und Qualität von Leguminosen

Berichtzeitraum
2013 - 2020

Herausgeber
Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LFA)
Institut für Pflanzenproduktion und Betriebswirtschaft
Sachgebiet Acker- und Pflanzenbau
Dorfplatz 1/OT Gülzow • 18276 Gülzow-Prüzen
Telefon: 03843/789-0
Fax: 03843/789-111
poststelle@lfa.mvnet.de
www.lfamv.de

Autoren
Andreas Titze • Telefon: 03843/789-238
Carolina Wegner • Telefon: 03843/789-231
Dr. Harriet Gruber

Titelfoto
Andreas Titze

Gülzow, 30.08.2020

INHALT

Zusammenfassung **5**

1 Einleitung **5**

2 Bedeutung von Schwefel in Boden und Pflanze **6**
2.1 Schwefel im Boden 6
2.2 Schwefel in der Pflanze 6
2.3 Ziel der Schwefeldüngung 7

3 Material und Methode **7**
3.1 Schwefeldüngungsversuch zu Blauen Lupinen und Körnerfuttererbsen 7
3.2 Schwefeldüngungsversuch zu Kleegras 8
3.3 Status Quo in Öko-Betrieben 8

4 Ergebnisse Körnerleguminosen **9**
4.1 Bodengehalte 9
4.2 Pflanzengehalte 10
4.3 Kornertrag 10
4.4 S-Gehalte im Erntegut 11

5 Ergebnisse Kleegras **13**
5.1 Bodengehalte 13
5.2 S-Gehalte in der Pflanze 13
5.3 Leguminosenanteil 14
5.4 Trockenmasseertrag 16

6 Status Quo in Öko-Betrieben **17**
6.1 Einleitung 17
6.2 Smin-Gehalte im Boden 18
6.3 S-Gehalte im Kleegrasaufwuchs 19

7 Schlussfolgerungen **20**

8 Literaturverzeichnis **21**

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Variantenbeschreibung zu Körnerleguminosen....7
Tabelle 2: Variantenbeschreibung zu Kleegras, Versuch 2013-15 8
Tabelle 3: Variantenbeschreibung zu Kleegras ab 2016 8
Tabelle 4: Anzahl der Proben in Abhängigkeit von Region, Jahr und Ackerzahl (LFA)...18
Tabelle 5: Smin-Gehalt (kg/ha) im Boden unter Kleegras (2017 nur LMS) 18
Tabelle 6: Smin-Gehalt (kg/ha) im Boden unter Kleegras (LFA, MW 2016-17)....19
Tabelle 7: S- und N-Gehalt (% in der TM) im Kleegras, Mittelwert 2016-17 und Spannweite (Betriebsdaten)....20

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Schwefelkreislauf im Boden (Quelle: http://www.kali-gmbh.com)....6
Abbildung 2: Einfluss der S-Düngung auf die Smin-Gehalte im Boden (Mittel Erbse und Lupine, Gülzow, 2012-14)....9
Abbildung 3: Einfluss der S-Düngung auf die S-Gehalte in der Pflanze (Gülzow, 2012-14) 10
Abbildung 4: Einfluss der S-Düngung auf den Kornertrag (Gülzow, 2012-14) 11
Abbildung 5: Einfluss der S-Düngung auf den Strohertrag (Gülzow, 2012-14) 11
Abbildung 6: Einfluss der S-Düngung auf die S-Gehalte in Korn und Stroh (Mittel Erbse/ Lupine) (Gülzow, 2012-14) 12
Abbildung 7: Einfluss der S-Düngung auf den Rohproteingehalt im Korn (Gülzow, 2012 - 2014) 12
Abbildung 8: Einfluss der S-Düngung auf die Smin-Gehalte im Boden (0-30 cm Gülzow, 2013-19) 13
Abbildung 9: Einfluss der S-Düngung auf die S-Gehalte in der Pflanzenmasse des 1. Aufwuchses von Kleegras (Gülzow, MW 2013-19) 14
Abbildung 10: Leguminosenanteile in Kleegrasbeständen vor dem 1. Schnitt im HNJ in Abhängigkeit von der Schwefeldüngung (%) 15
Abbildung 11: Kleegras im Ansaatjahr – links ungedüngt, rechts mit Sulfat gedüngt, Foto Titze 15
Abbildung 12: Summe Trockenmasseerträge (relativ) von Kleegrasbeständen in Abhängigkeit von der Schwefeldüngung (%) 16
Abbildung 13: links Schwefelmangel im Kleegrasbestand, rechts ausreichende Versorgung, Foto Titze 19

Zusammenfassung

Während im konventionellen Landbau die Schwefeldüngung z. B. zu Raps Standard ist, hat im Öko-Landbau diese Maßnahme erst in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Verschiedene Untersuchungen in Praxisbetrieben haben gezeigt, dass die Schwefelgehalte im Boden und in den Pflanzen zum Teil sehr gering sind. Daher war es Ziel einer Erhebung in Ökobetrieben in Mecklenburg-Vorpommern einen umfassenderen Überblick über den Status Quo der Schwefelversorgung zu erlangen. Auf dem ökologischen Versuchsfeld der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern in Gülzow wurde in drei Versuchsserien der Effekt von Schwefeldünger auf Körnerleguminosen (Lupinen und Erbsen) und Kleegras getestet. Wenige Wochen nach der Düngung stieg der Schwefelgehalt im Boden an, was sich im Fall der Körnerleguminosen jedoch nicht in einer Ertragserhöhung auswirkte. Im Kleegras dagegen konnten mithilfe der Schwefeldüngung sowohl der Leguminosenanteil als auch der Trockenmasseertrag signifikant gesteigert werden. Der Schwefel- und Proteingehalt in den Pflanzen stieg ebenfalls an. Aus diesem Grund ist eine Überprüfung des Schwefelgehaltes im Boden für ökologisch wirtschaftende Betriebe zu empfehlen, insbesondere auf sandigen Standorten. Zur Schwefeldüngung im Frühjahr eignet sich aufgrund der schnelleren Aufnahme durch Leguminosen ein Schwefeldünger mit Sulfat eher als mit elementarem Schwefel.

1 Einleitung

Untersuchungen der LUFA Rostock haben ergeben, dass auf langjährig ökologisch bewirtschafteten Flächen der Gehalt an mineralischem Schwefel in 0-30 cm Bodentiefe mit weniger als 6 kg S/ha oft sehr gering ist (NAWOTKE, 2015; KAPE, 2017). Zwar ist der Nährstoff in der organischen Substanz vorhanden, muss aber von Bakterien mineralisiert werden (Oxidation durch Thiobacillus zu Sulfat). Dazu sind Temperaturen über 10°C und feuchte Bedingungen erforderlich. Besonders wenn Trockenphasen im Frühsommer auftreten, wird die Pflanze nicht ausreichend versorgt. Schwefel spielt bei der Proteinsynthese und der symbiontischen Stickstofffixierung eine wichtige Rolle. Beide Aspekte sind im Öko-Landbau von besonderer Bedeutung, da Proteingehalte z. B. im Backweizen häufig zu gering sind und Knöllchenbakterien eine wichtige Quelle einer zusätzlichen N-Lieferung darstellen. Darüber hinaus kann durch Schwefel die Stickstoffeffizienz verbessert werden. Da Stickstoff im Öko-Landbau häufig defizitär ist, bleibt seine effektive Nutzung oberstes Gebot. Vor diesem Hintergrund wurden deutschlandweit in den letzten Jahren im Öko-Landbau zu Backweizen, Körnerleguminosen und Kleegras Versuche angelegt, um die Wirkung einer Schwefeldüngung zu quantifizieren.

Seit 2012 sind auch an der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei in Mecklenburg-Vorpommern am Standort Gülzow zu Erbsen und Lupinen sowie Kleegras Untersuchungen durchgeführt und die Wirkung der Schwefeldüngung auf Boden-, Pflanzengehalte, Leguminosenanteile und Ertrag untersucht worden. In den Versuchen kamen schnell (Kieserit, Kaliumsulfat) und mittelfristig (Calciumsulfat) sowie langsam wirkende (Schwefellinsen) Dünger zum Einsatz. In den Düngern (außer bei Schwefellinsen) liegt der Schwefel als Sulfat vor, kann so direkt von den Pflanzen aufgenommen werden und ist dadurch vergleichsweise schnell wirksam. Auf Grund dieser Eigenschaften ist eine Frühjahrsdüngung angeraten, da Herbstapplikationen die Auswaschungsgefährdung erhöhen. Nach der Ausbringung der Schwefellinsen muss der elementare Schwefel mittels Bakterien in Sulfat umgewandelt werden. Dieser Prozess braucht Zeit und entsprechende Bedingungen (s. o.). Daher ist bei den Schwefellinsen von einer verzögerten Wirkung auszugehen, was sie wiederum für eine Herbstdüngung interessant erscheinen lässt.

2 Bedeutung von Schwefel in Boden und Pflanze

Während die Schwefeldüngung bei konventioneller Bewirtschaftung besonders im Winterweizen und Raps seit vielen Jahren zum Standard gehört und viele Versuche die Wirksamkeit nachgewiesen haben, hat der Ökolandbau diesbezüglich Nachholbedarf. Gesunkene Schwefeldioxidemissionen aus externen Quellen führen aber auch im Ökolandbau zunehmend zu einer geringen Schwefel-Verfügbarkeit und in der Folge zu niedrigeren S-Gehalten in den Pflanzen. Schwefel ist ein natürlich vorkommendes bergbauliches Abbauprodukt und ist als elementarer Schwefel und in Verbindungen mit Kalium, Calzium und Magnesium auch im Ökolandbau zugelassen (siehe Betriebsmittelliste). Die jüngst in verschiedenen Regionen Deutschlands unter ökologischen Anbaubedingungen durchgeführten Versuche zeigen, welche Kulturen positiv auf die Düngung reagieren. Die Höhe der Effekte kann vom Boden, von der Witterung und der Fruchtart abhängig sein.

2.1 Schwefel im Boden

Schwefel liegt im Boden zu 90 % organisch gebunden im Humus vor. Dazu zählt alle abgestorbene organische Substanz aus Pflanzenresten, Tierexkrementen aber auch Mikroorganismen. Der organisch gebundene Schwefel muss durch Mineralisierung in pflanzenverfügbare Formen umgewandelt werden. Die dabei tätigen Mikroorganismen (Thiobacillus) verwandeln durch Oxidation den kohlenstoffgebundenen Schwefel in Sulfat-Ionen um (SO_4^{-2}, $S_2O_3^{-2}$), die die Pflanze direkt aufnehmen kann. Die Mineralisierung hängt von verschiedenen Faktoren ab und ist besonders intensiv, wenn das C:N-Verhältnis kleiner als 20:1 ist, der pH-Wert eher im sauren Bereich liegt und der Boden mäßig durchfeuchtet ist (DICK et al., 2008). Jegliche Extreme fördern entweder die Festlegung oder die Auswaschung von Schwefel. Kälte im Frühjahr oder extreme Trockenheit schränken die Aktivität der Schwefel umwandelnden Thiobakterien stark ein. Je sandiger der Boden, umso eher kann Schwefelmangel auftreten.

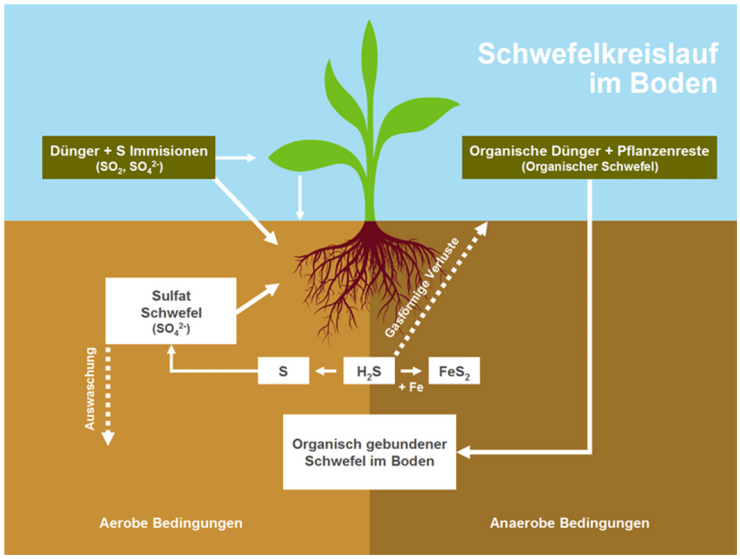


Abbildung 1: Schwefelkreislauf im Boden (Quelle: http://www.kali-gmbh.com)

2.2 Schwefel in der Pflanze

Schwefel ist ein essentieller Pflanzennährstoff und neben dem allgemeinen Wachstum insbesondere für die Proteinsynthese schwefelhaltiger Aminosäuren wie z. B. Cystein und Methionin erforderlich. Diese spielen in der Ernährung von Monogastriern eine wichtige Rolle. Darüber hinaus ist Schwefel ein wichtiger Baustein bei der symbiontischen Stickstofffixierung. Beide Aspekte sind besonders für Leguminosen von zentraler Bedeutung, denn neben dem Ziel hoher Erträge steht besonders die Eiweißqualität im Fokus. Pflanzen nehmen Schwefel hauptsächlich über die Wurzeln in Form von Sulfat auf. Die Regulation dieser Aufnahme nimmt

die Pflanze selbst vor und kann dafür verschiedene Mechanismen aktivieren (Aufnahme aus dem Boden, Umverteilung in der Pflanze oder Blockade der Schwefelaufnahme). Der in der Pflanze befindliche Schwefel ist überwiegend in den schwefelhaltigen Aminosäuren gebunden. Bei starkem Wachstum einzelner Organe (z. B. Blätter) wird verstärkt Schwefel über Transportproteine an diesen Orten bereitgestellt und bei abnehmendem Bedarf auch wieder abtransportiert (HANEKLAUS et al., 2003).

2.3 Ziel der Schwefeldüngung

Schwefelmangel zeigt sich am deutlichsten an stark aufgehellten jungen Blättern. Diese sogenannten Chlorosen verringern die Photosyntheseleistung und in der Folge das Pflanzenwachstum sowie die Knöllchenbildung. In für den Ökolandbau zugelassenen Schwefeldüngern liegt der Schwefel entweder in elementarer Form (z. B. Schwefellinsen) oder als Sulfat-Ion (z. B. Magnesium-, Calium-, Kaliumsulfat) vor. Wird Schwefel als Sulfat dem Boden zugeführt, ist dieser schnell wasserlöslich und kann als Ion von den Pflanzen aufgenommen werden. Dadurch erfolgt die Bedarfsdeckung vergleichsweise schnell und unabhängig von der Bodenmineralisierung. Während Raps einen sehr hohen Schwefelbedarf aufweist, nimmt der Bedarf über Getreide, Kartoffeln und Zuckerrüben bis hin zu den Erbsen ab. Dennoch haben auch Leguminosen infolge der Eiweißsynthese einen erhöhten S-Bedarf (MENGEL, 1984) und könnten von einer gezielten Schwefeldüngung profitieren. Nicht zuletzt ist dadurch eine verbesserte Symbioseleistung der Knöllchenbakterien möglich und für nicht legume Folgekulturen könnte mehr Stickstoff übrig bleiben (SCHMIDTKE, LUX, 2015).

3 Material und Methode

3.1 Schwefeldüngungsversuch zu Blauen Lupinen und Körnerfuttererbsen

In einem dreijährigen Versuch (2012-14, zweifaktorielle Spaltanlage mit 4 Wiederholungen) am Standort Gülzow (S-Gehalt 0-30 cm < 10 kg/ha) wurden zu Körnererbsen und Lupinen zur Aussaat 50 kg/ha Schwefel in Form verschiedener Schwefeldünger ausgebracht (Tabelle 1).

Tabelle 1: Variantenbeschreibung zu Körnerleguminosen

	Variante	Mittel
Faktor A	1	Lupine (Sorte Boregine, 100 Kö./m²)
	2	Erbse (Sorte Alvesta, 90 Kö./m²)
Faktor B	1	ohne
	2	Schwefellinsen (90 % S)
	3	Kieserit (22 % S)
	4	Kaliumsulfat (18 % S)
	5	Calciumsulfat (Naturgips 22 % S)

Die Versuchsdurchführung entsprach den Vorgaben für Sortenversuche bzw. agrotechnische Versuche im Rahmen des ökologischen Landbaus. Es erfolgte keine mineralische N-Düngung, Pflanzenschutzmaßnahmen wurden ebenfalls nicht durchgeführt. Die Pflege beschränkte sich auf je einen Striegeldurchgang vor bzw. nach dem Aufgang.

Vor der Düngung und 8-10 Wochen später (nur 2012 und 2013) wurden die Schwefelgehalte im Boden bis zu einer Bodentiefe von 30 cm (Bohrstock, VDLUFA I A 6.3.1), während der Vegetation in der Pflanze und nach der Ernte im Korn sowie im Stroh bestimmt (VDLUFA III 10.8.3). Neben dem Korn- wurde auch der Strohertrag ermittelt. Während die Boden-, Pflanzen- und Ernteproben variantenweise in einer Mischprobe aufbereitet wurden, erfolgte die Feststellung der Erträge parzellenweise. Korn- und Strohertrag wurden mittels f- und t-Test verrechnet.

3.2 Schwefeldüngungsversuch zu Kleegras

Von 2013 bis 2015 wurde jeweils im Kleegras-Schlag des ökologischen Versuchsfeldes in Gülzow ein Versuch (einfaktorielle Blockanlage mit 4 Wiederholungen) angelegt. Nach der Frühjahrsblanksaat einer Mischung aus 8 kg Rotklee, 3 kg Saatluzerne, 2 kg Hornklee, 5 kg Wiesenschweidel, 4 kg Deutschem Weidelgras und 2 kg Rotschwingel wurden 30 kg/ha Schwefel in Form von Kieserit bzw. Calciumsulfat ausgebracht (Tab. 2).

Calciumsulfat (Naturgips) enthält kein Magnesium und wurde bewusst als Kontrollvariante gewählt, um einen Magnesium-Düngeeffekt auszuschließen und eventuelle Effekte auf den Schwefel zurückführen zu können.

Tabelle 2: Variantenbeschreibung zu Kleegras, Versuch 2013-15

Variante	Mittel	S-Aufwandmenge kg/ha	Zeitpunkt
1	Ohne		
2	Kieserit (Ki)	30	Frühjahrsansaat
3	Calciumsulfat (Ca)	30	Frühjahrsansaat

Vor der Düngung, zum ersten Aufwuchs sowie zu Vegetationsende wurde der S_{min}-Gehalt im Boden in 0-30 und 30-60 cm Tiefe bestimmt (Bohrstock, VDLUFA I A 6.3.1). Der Schwefelgehalt wurde im Erntegut aller Aufwüchse bestimmt (VDLUFA III 10.8.3). Boden- und Pflanzenanalysen erfolgten variantenweise, die Ertragsermittlung und die Schätzung der Leguminosenanteile (Ertragsanteilschätzung nach Klapp) wurden parzellenweise vorgenommen. Leguminosenanteil und Trockenmasseertrag wurden mittels f- und t-Test verrechnet.

2015 wurde der bis dahin durchgeführte Versuch modifiziert und sowohl in der Düngermenge als auch im Hinblick auf die Düngerarten angepasst. Schwerpunkt war die Integration von elementarem Schwefel in Form von Schwefellinsen durch eine Herbstgabe sowie eine zusätzliche Kieseritgabe im ersten Hauptnutzungsjahr (Tab. 3).

Tabelle 3: Variantenbeschreibung zu Kleegras ab 2016

Variante	Mittel	S-Aufwandmenge kg/ha	Zeitpunkt
1	Ohne		
2	Schwefellinsen (elS)	1 x 30 kg/ha	Herbst Ansaatjahr
3	Kieserit (Ki)	2 x 30 kg/ha	Frühjahr Ansaatjahr + Hauptnutzungsjahr
4	Kieserit (Ki)	2 x 60 kg/ha	Frühjahr Ansaatjahr + Hauptnutzungsjahr

Die Aussaat erfolgte in Form eines lateinischen Quadrates mit der oben beschriebenen Kleegrasmischung ebenfalls als Frühjahrsblanksaat. Probenahme, Analyse und Auswertung entsprachen der Vorgehensweise im ersten Versuch.

3.3 Status Quo in Öko-Betrieben

Im Rahmen des Forschungsthemas „Schwefeldüngung“ wurde der Status Quo der Schwefelversorgung in Öko-Betrieben in Mecklenburg-Vorpommern erfasst. Dazu wurden zum einen die Daten des Nmin-Testnetzes Mecklenburg-Vorpommern der LMS-Agrarberatung, das auch Smin-Werte enthält (KAPE, NAWOTKE, 2017), herangezogen. Zum anderen wurden in weiteren Betrieben in Mecklenburg-Vorpommern verteilt Flächen beprobt und die Bodengehalte

ermittelt. Zu einem späteren Zeitpunkt erfolgte von den identischen Flächen die Entnahme von Pflanzenproben zur Bestimmung des Schwefelgehaltes. Für die Auswahl der Betriebe wurden drei Regionen gebildet, die zum einen die Betriebe räumlich einordnen, zum anderen die von West nach Ost abnehmende Bodengüte und Niederschlagsmenge berücksichtigen. Da die ausgewählten Flächen möglichst frei von anderen Einflussgrößen wie z. B. organischer Düngung sein sollten, wurden für die Beprobung Kleegrasbestände im Hauptnutzungsjahr ausgewählt, die in der Regel nicht organisch gedüngt werden. Darüber hinaus war aus eigenen Versuchen bekannt (GRUBER et al., 2015), dass Kleegras stärker auf eine Schwefeldüngung reagiert als andere Kulturen. 2016 wurden daher von Ende März bis Ende April 18 Kleegrasflächen in 14 Betrieben und 2017 noch einmal 17 Kleegrasflächen in 12 Betrieben beprobt (Tab. 1) und der Smin-Gehalt im Boden festgestellt (VDLUFA I 6.1.4.1.). Die Umrechnung des im Labor ermittelten Wertes (Smin mg/100 g Frischmasse) auf Smin in kg/ha erfolgte für einen „mittleren“ Boden unabhängig von der Schichttiefe mit dem Faktor 1,5. Bei der Beurteilung der Gehalte im Boden ist zu berücksichtigen, dass bei den Laborwerten eine Genauigkeit von 0,1 mg/100 g Boden möglich ist. Mit der Beprobung in den Betrieben wurden die Ackerzahl und die Düngung erfasst. Im Mai erfolgten eine Beprobung der Pflanzenbestände und die Bestimmung des S- und N-Gehaltes (VDLUFA III 10.7.1, VDLUFA III 4.1.1) in der grünen Biomasse. Darüber hinaus wurde der Kleegrasanteil im Bestand erfasst. In den zwei Jahren konnten insgesamt 39 Pflanzenproben untersucht werden (Tab. 1). Bei der Verrechnung der Daten mit SAS wurde die Korrelation zwischen den Merkmalen ermittelt und der Einfluss der Düngung (organisch und Sulfat) auf den Schwefelgehalt in der Pflanze varianzanalytisch bestimmt.

4 Ergebnisse Körnerleguminosen

4.1 Bodengehalte

Acht bis 10 Wochen nach der Düngung schnell und mittelfristig wirkender Dünger wurde ein deutlicher Anstieg der Smin-Gehalte festgestellt. Dagegen war bei der Düngung mit den langsam wirkenden Schwefellinsen der Smin-Bodengehalt ähnlich gering wie in der ungedüngten Kontrolle (Abb. 2). Zwischen Erbsen und Lupinen trat diesbezüglich kein Unterschied auf. Die geringe Wirkung der Schwefellinsen ist eindeutig auf die fehlende Umsetzung durch die Bakterien im Boden zurückzuführen.

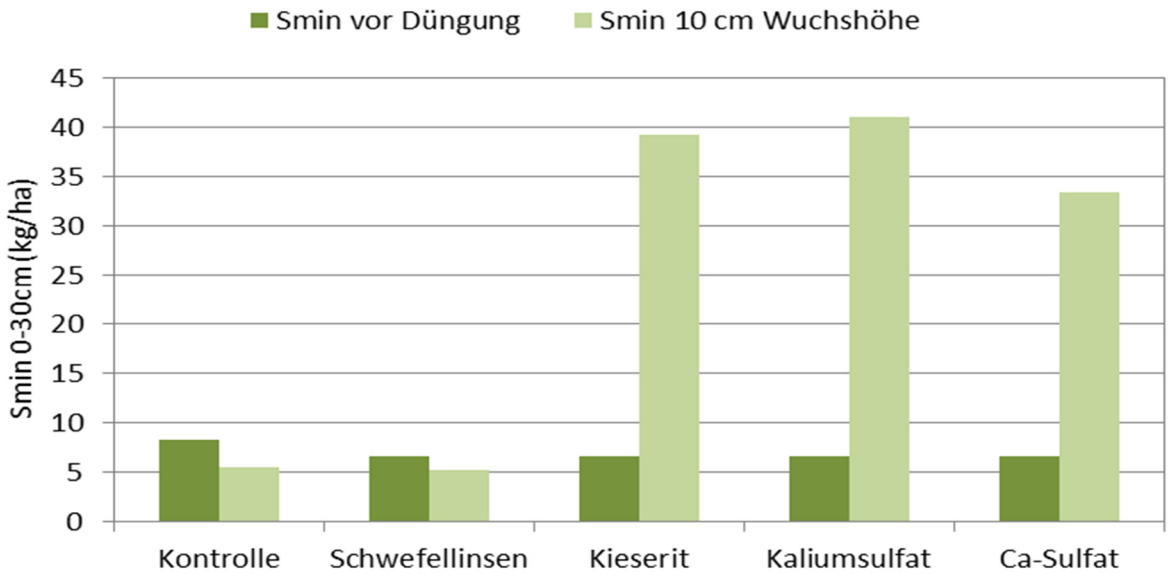


Abbildung 2: Einfluss der S-Düngung auf die Smin-Gehalte im Boden (Mittel Erbse und Lupine, Gülzow, 2012-14)

4.2 Pflanzengehalte

Entsprechend der Bodengehalte waren nach der Applikation der Sulfat-Dünger bei etwa 10 cm Wuchshöhe (vor der Blüte) höhere S-Gehalte in der Pflanze feststellbar. Im Mittel der drei Jahre waren diese in den Lupinen etwas höher als in den Erbsen. Mit etwa 0,4 % in der Trockenmasse werden Gehalte erreicht, die laut AULAKH (2003) unter dem opimalen Wert für Erbse von über 0,75 % liegen. Die LUFA-Richtwerte für Getreide (für Leguminosen liegen dort keine Richtwerte vor) zum gleichen Zeitpunkt liegen darunter (o. V., 2008). Nach der Düngung der Schwefellinsen war bei beiden Fruchtarten praktisch keine Veränderung der S-Gehalte in den Pflanzen zu verzeichnen (Abb. 3). MÜCKE et al. (2012) konnte ebenfalls keinerlei Veränderung der S-Gehalte in der Pflanze bei Körnerleguminosen feststellen.

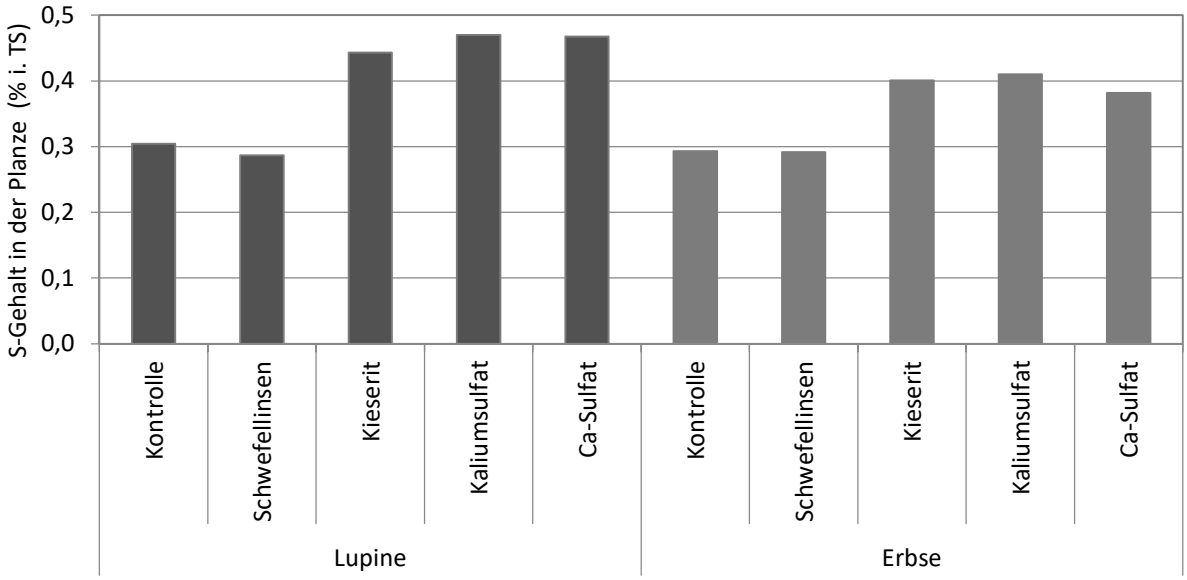


Abbildung 3: S-Gehalte in der Pflanze (vor der Blüte, Gülzow, 2012-14)

4.3 Kornertrag

Im dreijährigen Mittel war kein signifikanter Einfluss des Faktors Düngung (f-Test bei α = 5 %) auf den Ertrag nachweisbar. Nur bei α = 7 % waren die Unterschiede bei den Lupinen zu sichern. Danach führte die Düngung mit schnell und mittelfristig wirkenden Düngern zu einer Ertragsreduzierung (Abb. 4). Auch in einjährigen Versuchen mit Ackerbohnen und Erbsen in Köln-Auweiler (NRW) wurden überwiegend geringere Erträge durch die Ausbringung schnell und mittelfristig wirkender Dünger festgestellt. Die Wirkung der Schwefellinse war, ähnlich wie am Standort Gülzow, vergleichbar mit der Variante ohne Düngung (HOF-KAUTZ, 2015). URBATZKA et al. (2014) führten an vier bayerischen Standorten zu Körnererbsen zweijährige *Versuche* durch. Die Düngung mit Magnesiumsulfat und Gips hatte auch hier keinen positiven Einfluss auf den Kornertrag.

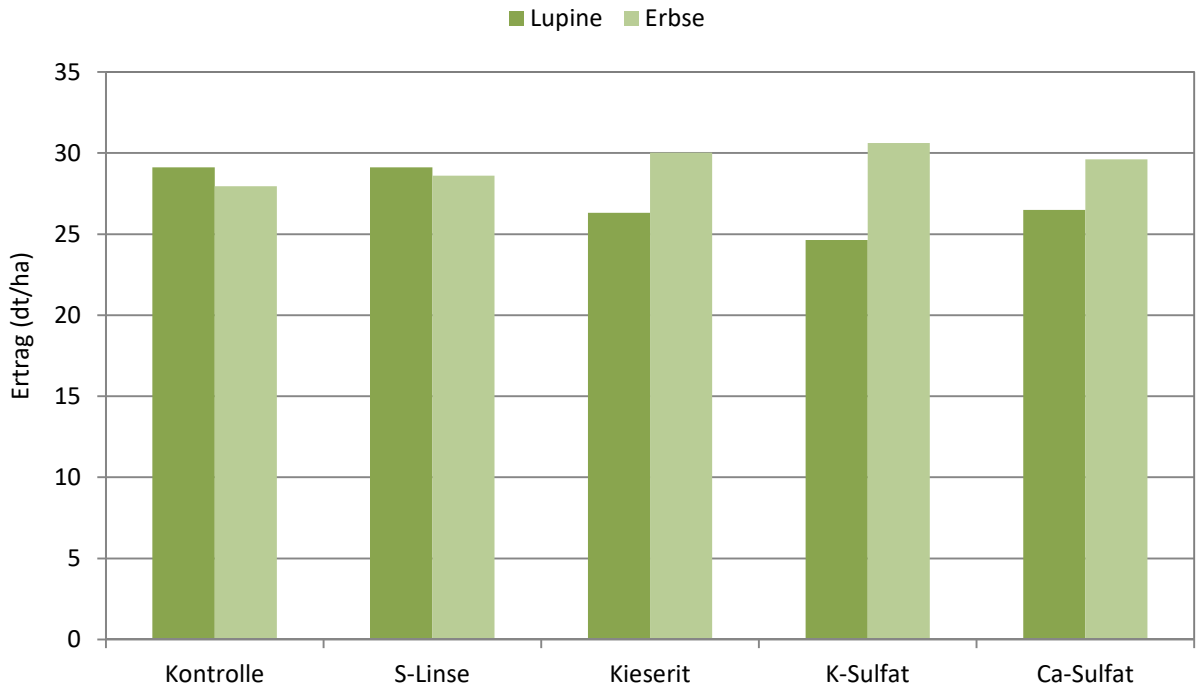


Abbildung 4: Einfluss der S-Düngung auf den Kornertrag (Gülzow, 2012-14)

Ähnlich wie der Kornertrag verhielt sich in den eigenen Versuchen auch der Strohertrag, jedoch war hier der Unterschied zwischen den beiden Leguminosenarten signifikant (Abb. 5). Der Faktor Düngung blieb auch im Strohertrag ohne gesicherten Einfluss.

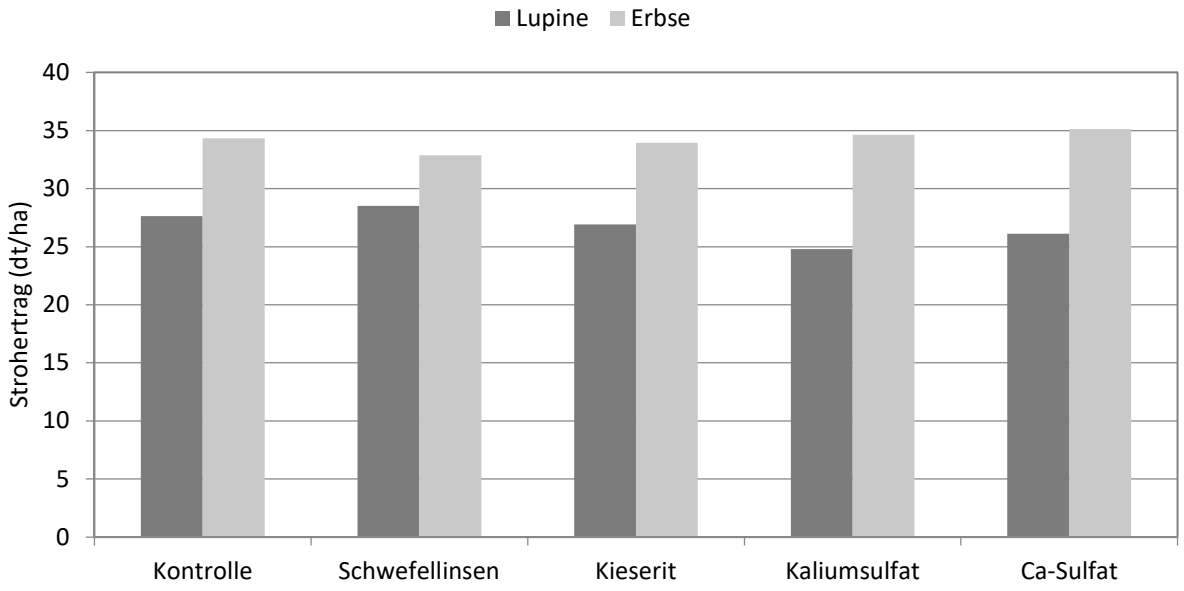


Abbildung 5: Einfluss der S-Düngung auf den Strohertrag (Gülzow, 2012-14)

4.4 S-Gehalte im Erntegut

Im Stroh und Korn war bei den Lupinen in allen Varianten ein deutlich höherer S-Gehalt festgestellt worden als bei den Erbsen (Abb. 6). Ursache kann der damit in Verbindung stehende artspezifisch höhere Proteingehalt sein. Zwischen den Varianten verhielten sich beide Arten ähnlich und reagierten mit deutlich erhöhten S-Gehalten auf die Sulfatdüngung. Dabei war der Anstieg im Stroh erheblich höher als der im Korn. Auf die Ertragsbildung hatte das, wie bereits besprochen, keinen Einfluss.

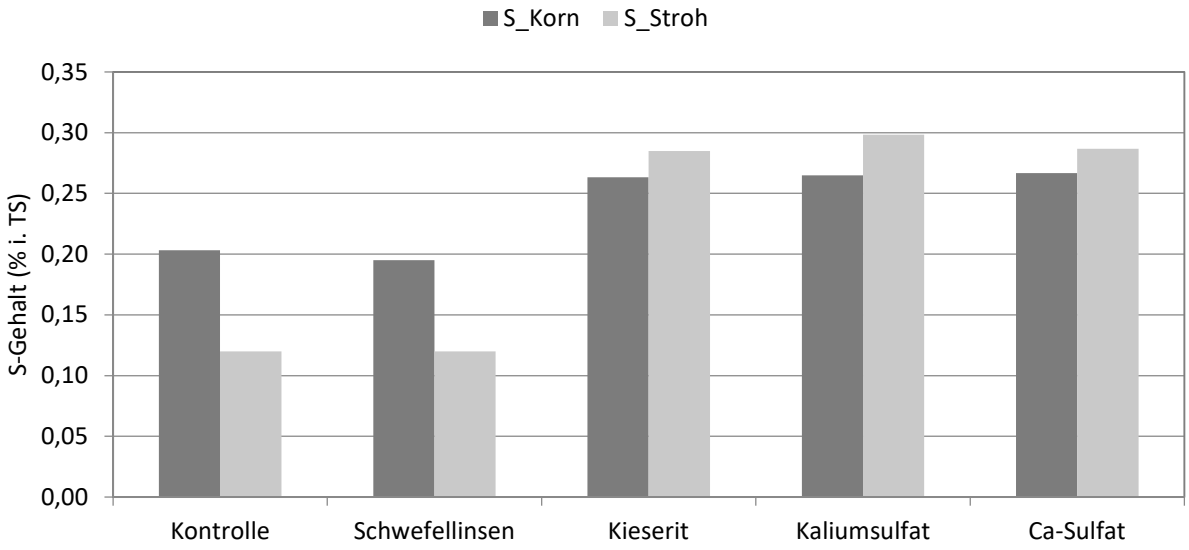


Abbildung 6: Einfluss der S-Düngung auf die S-Gehalte in Korn und Stroh (Mittel Erbse/ Lupine) (Gülzow, 2012-14)

Im Mittel der drei Untersuchungsjahre war bei den Lupinen der **Rohproteingehalt** im Vergleich zur Kontrolle leicht erhöht. Bei den Erbsen war diesbezüglich in keiner Variante ein Einfluss der Düngung festzustellen (Abb. 7).

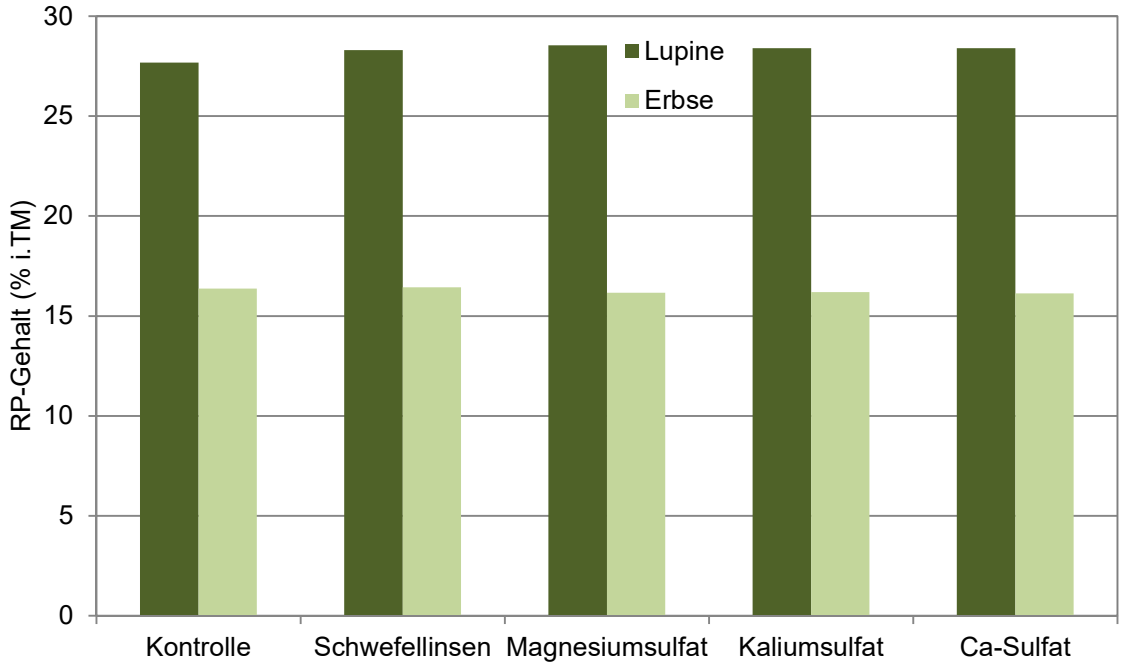


Abbildung 7: Einfluss der S-Düngung auf den Rohproteingehalt im Korn (Gülzow, 2012-2014)

5 Ergebnisse Kleegras

5.1 Bodengehalte

Der Standort Gülzow ist durch vergleichsweise geringe S-Gehalte im Boden (</= 10 mg/kg Boden) gekennzeichnet. Es kann deshalb auch im Kleegras-Düngungsversuch grundsätzlich von einer unzureichenden Schwefelversorgung aus der Bodenlösung ausgegangen werden. Die Düngung mit Kieserit bzw. Calciumsulfat hatte 6 Wochen später einen deutlichen Anstieg der Bodengehaltswerte zur Folge (Abb. 8). Im Ansaatjahr war der Düngungseffekt besonders bei Kieserit nachweisbar, was auf die schnellere Wirkung des Düngers im Vergleich zum Gips zurückgeführt werden kann. Von einem vergleichbaren Ergebnis nach der Düngung eines Luzerne-Kleegrasbestandes mit Bittersalz bzw. Calciumsulfat berichten auch FISCHINGER u. a. (2011).

Eine Düngewirkung im Boden war nur für den Bereich bis 30 cm Tiefe nachweisbar. Dagegen war ein Einfluss der Düngung im Bereich von 30 bis 60 cm während des gesamten Untersuchungszeitraums nicht festzustellen. Zu Vegetationsbeginn des Hauptnutzungsjahres, also ein Jahr nach der Düngungsmaßnahme, hatten die S_{min}-Werte auch im Krumenbereich annähernd wieder das ursprüngliche Niveau erreicht.

Wie bereits in der ersten Versuchsserie trug die Düngung mit Kieserit im Frühjahr des Ansaatjahres deutlich zur Erhöhung der Bodengehalte im Herbst bei. Die zweite Düngung im Hauptnutzungsjahr erhöhte den Gehalt im Boden weiter. Die Höhe der Düngung hatte dagegen keinen Einfluss mehr. Die Düngung mit Schwefellinsen, also elementarem Schwefel, hatte am Standort Gülzow bis zum Frühjahr nach der Ausbringung keine Wirkung auf die Bodengehalte. Im Ansaatjahr der zweiten Serie wurden vor der Düngung ähnlich geringe Werte gemessen wie schon in der ersten Serie.

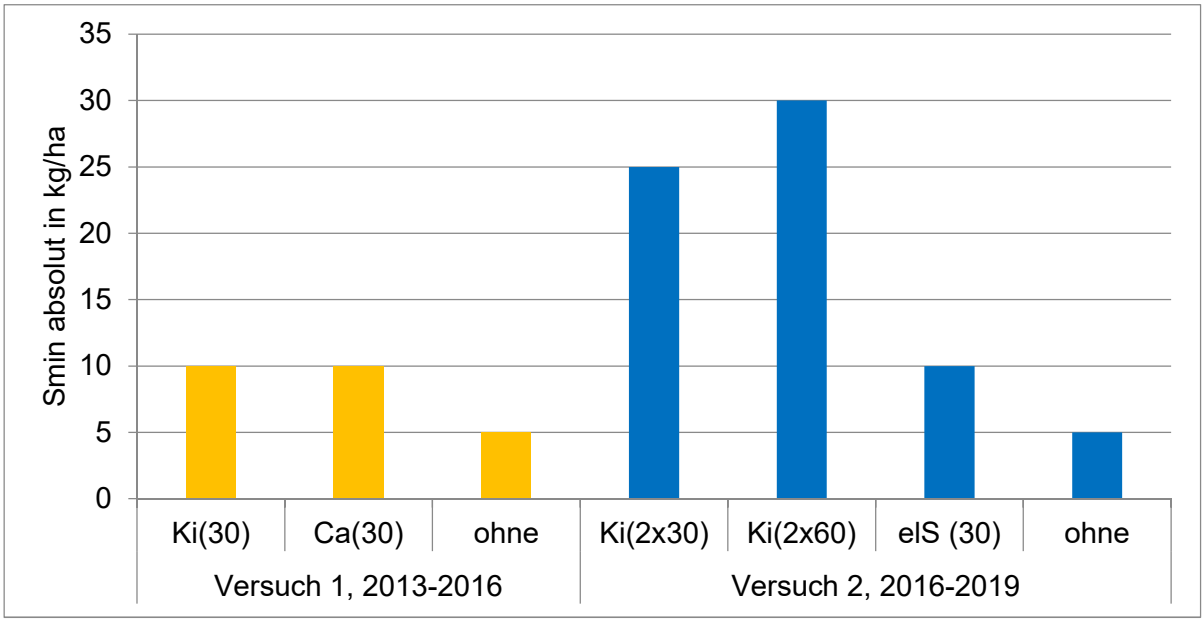


Abbildung 8: Einfluss der S-Düngung auf die Smin-Gehalte im Boden (0-30 cm Gülzow, MW 2013-19)

5.2 S-Gehalte in der Pflanze

Insbesondere im Ansaatjahr zeigte die Analyse des ersten Aufwuchses beider Versuchsreihen, dass Schwefel nach einer Düngung mit Magnesiumsulfat und Calciumsulfat durch die sich entwickelnden Jungpflanzen rasch aufgenommen wurde (Abb. 9). Die Aufwüchse beider Düngungsvarianten waren insbesondere im Ansaatjahr sowohl durch erhöhte S-Werte als auch

durch höhere Proteingehalte (ca. 10 %) gekennzeichnet. Beides sind Hinweise auf die in den Blättern der Futterleguminosen verstärkt stattfindende Schwefel-Assimilation, in deren Verlauf u.a. die essentielle Aminosäure Methionin synthetisiert wird (HELDT, 1996). Die S-Gehalte in der Pflanze lagen aber auch in den Varianten mit zweimaliger Düngung und höheren Düngermengen häufig unter dem Zielwert von 2 g/kg Trockenmasse. Bei nur einmaliger Düngung wie in der ersten Versuchsserie waren im ersten Aufwuchs des Hauptnutzungsjahres keine signifikanten Unterschiede mehr zwischen den Varianten messbar.

Dieses Ergebnis korrespondiert mit den zu diesem Zeitpunkt ermittelten S-Gehalten im Boden. Verglichen mit bislang vorliegenden Richtwerten der VDLUFA (o. V., 2000) sind selbst die Gehaltswerte in den gedüngten Varianten aber immer noch an der unteren Grenze des angestrebten Versorgungsbereichs angesiedelt.

Der im Herbst des Ansaatjahres gedüngte elementare Schwefel hatte praktisch keine Auswirkungen auf den S-Gehalt in den Aufwüchsen des Hauptnutzungsjahres.

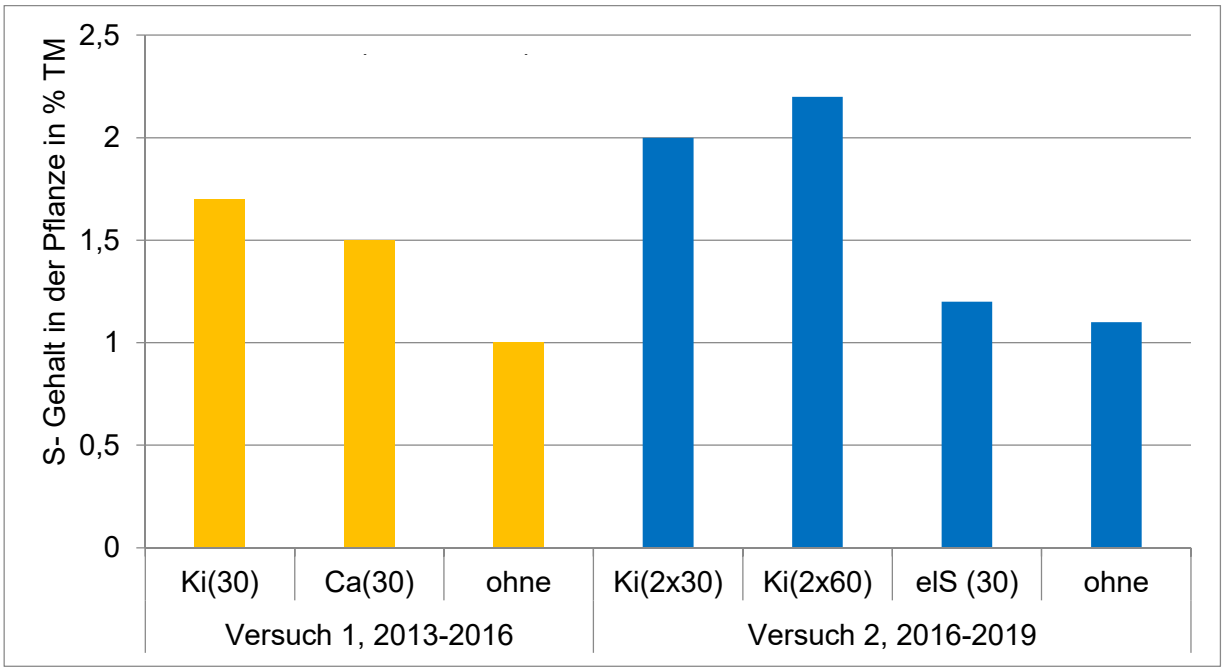


Abbildung 9: Einfluss der S-Düngung auf die S-Gehalte in der Pflanzenmasse des 1. Aufwuchses von Kleegras (Gülzow, MW 2013-19)

In den Untersuchungen zeigte sich auch, dass die S-Gehalte des Kleegrases im Hauptnutzungsjahr in den deutlich ertragsschwächeren Folgeaufwüchsen stets höher als im ersten Aufwuchs waren. Ursächlich dafür dürften Verdünnungseffekte der Inhaltsstoffe durch den hohen Ertrag des ersten Aufwuchses als auch eine höhere Schwefel-Mineralisierungsrate während der Sommermonate sein.

5.3 Leguminosenanteil

In beiden Versuchsserien zeigte sich ein signifikanter Einfluss (f-Test bei α = 5 %) der Schwefel-Düngung insbesondere auf den Leguminosenanteil (Abb. 10). Dieser fiel umso deutlicher aus, je besser die Witterungsbedingungen für Schwefel-Assimilation und Knöllchenwachstum waren.

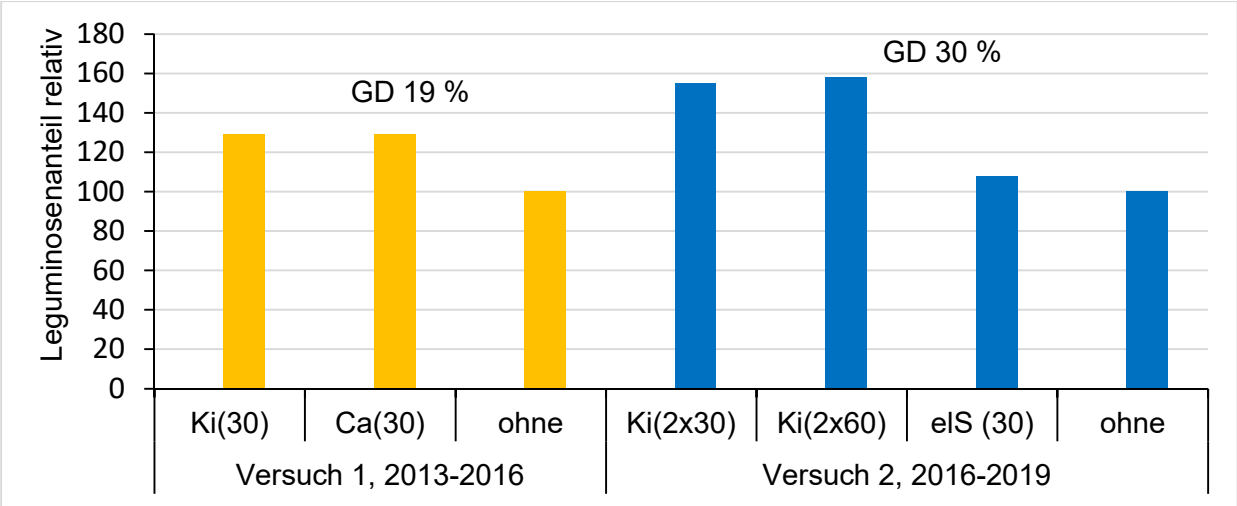


Abbildung 10: Leguminosenanteile in Kleegrasbeständen vor dem 1. Schnitt im HNJ in Abhängigkeit von der Schwefeldüngung (%)

Zu einzelnen Aufwüchsen konnten die Leguminosenanteile teilweise verdoppelt werden. Zudem machten die Einzelpflanzen aufgrund dunklerer Färbung sowie eines höheren Blattflächenanteils einen vitaleren Eindruck (Abb. 11). Dieser Effekt hielt bis weit in das Hauptnutzungsjahr an, selbst wenn keine erneute Düngung erfolgte. Auch FISCHINGER u. a. (2011) beschreiben den kräftigeren Wuchs eines mit Schwefel gedüngten Kleegrasbestandes. Durch das günstigere Blatt-Stängel-Verhältnis der Bestände in Gülzow verbesserte sich die Konkurrenzkraft der Leguminosen gegenüber den Gräsern im Bestand. Dieser Effekt zeigte sich stärker in länger anhaltenden Trockenphasen im Ansaatjahr. Unter den Bedingungen Mecklenburg-Vorpommerns sind diese besonders im Frühsommer auftretenden Trockenphasen eine der Hauptursachen für die unzureichende Etablierung von Kleegrasbeständen.

Obwohl die einzelnen Versuchsjahre durch extrem unterschiedliche Witterungs- und Wachstumsverhältnisse gekennzeichnet waren (2017 vs. 2018), hatte die Düngung mit Kieserit im Ansaatjahr stets eine ähnliche Wirkung.



Abbildung 11: Kleegras im Ansaatjahr – links ungedüngt, rechts mit Sulfat gedüngt, Foto Titze

In der ungedüngten Variante war eine um 30 % geringere Anzahl von Leguminosenpflanzen im Hauptnutzungsjahr im Vergleich zu den gedüngten Varianten festzustellen. Dies kann auf eine bessere Überwinterung der gedüngten Pflanzen hindeuten. In der Literatur finden sich Hinweise darauf, dass Pflanzen nach einer S-Düngung weniger stressanfällig sind (BLOEM et al., 2005).

Stichprobenartige Untersuchungen zeigten wesentlich stärker ausgebildete Knöllchen an den Leguminosenwurzeln in den gedüngten Varianten. Größere Wurzelknöllchen enthalten mehr Rhizobien und sind ein Zeichen für bessere N_2-Fixierleistungen. Dies erhöht einerseits die Futterqualität von Ackerfutterbeständen selbst und steigert andererseits deren Vorfruchtwert.

In der zweiten Versuchsserie führte die zusätzliche Gabe Kieserit im Frühjahr des Hauptnutzungsjahres zu einem Anstieg der Leguminosenanteile im Bestand um mehr als 50 % gegenüber der ungedüngten Variante (Abb. 11). Eine Bestandsverbesserung während der Etablierungsphase des Kleegrases wurde in allen Versuchsjahren bereits nach einmaliger Düngung zur Ansaat erreicht. Minimale Effekte konnten nach Düngung mit elementarem Schwefel erst im Herbst des Hauptnutzungsjahres festgestellt werden. In allen Düngungsvarianten war das Verhältnis der Leguminosenanteile über die Aufwüchse ähnlich wie in der Variante ohne Düngung.

5.4 Trockenmasseertrag

Die Wirkung auf die Trockenmasseerträge hingegen fiel wegen des höheren Wassergehaltes der kleereicheren Bestände mit 18 bis 30 Prozent Mehrertrag etwas niedriger aus als der steigende Leguminosenanteil vermuten lässt (Abb.12). Kieserit und Gips unterschieden sich in ihrer Wirkung nicht voneinander, sodass man ausschließlich von einem Schwefeleffekt ausgehen kann.

Die Trockenmasseerträge erhöhten sich nach der zweimaligen Magnesiumsulfat-Düngung im Mittel um knapp 30 % im Vergleich zur ungedüngten Variante. Weil der Eiweißgehalt in allen Aufwüchsen anstieg, konnte ein signifikant höherer Eiweiß- bzw. Stickstoffertrag gegenüber der ungedüngten Kontrolle erzielt werden. Insgesamt sind also deutliche Hinweise auf eine verbesserte Stickstofffixierungsleistung der Leguminosen zu verzeichnen.

Nach Düngung mit elementarem Schwefel im Herbst konnten erst zum dritten Aufwuchs des folgenden Hauptnutzungsjahres minimale Effekte festgestellt werden. Elementarer Schwefel erfordert eine bakterielle Umsetzung im Boden. Dazu sind Temperaturen über 10° C und eine gute Wasserversorgung notwendig. Weil das unter den klimatischen Bedingungen im Nordosten Deutschlands häufig nicht der Fall ist, steht der Nährstoff in der entscheidenden Phase meist nicht zur Verfügung.

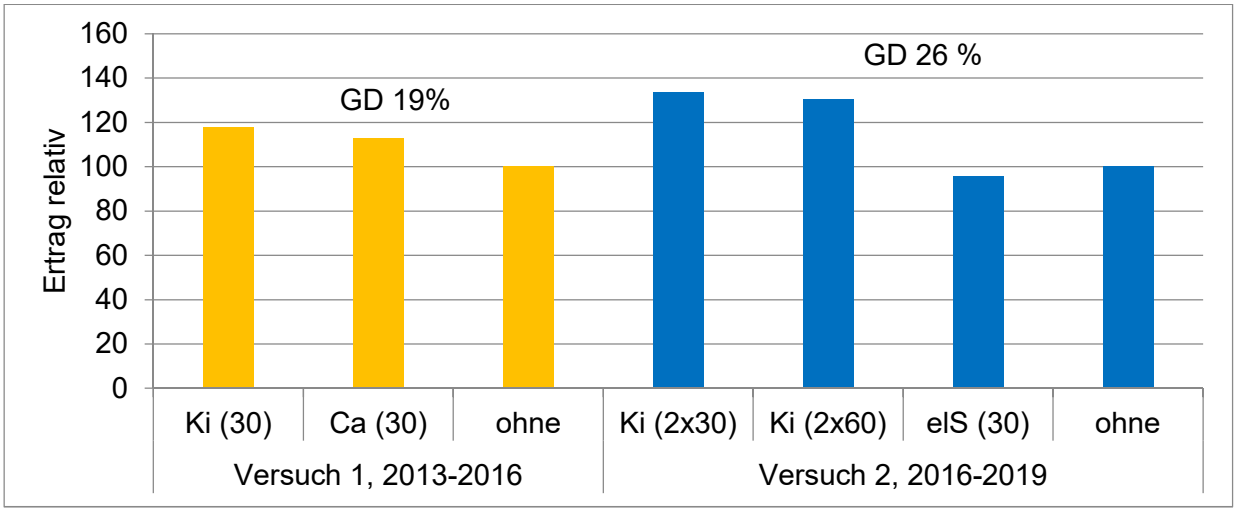


Abbildung 12: Summe Trockenmasseerträge (relativ) von Kleegrasbeständen in Abhängigkeit von der Schwefeldüngung (%)

In zwei Versuchsjahren führte die Verdopplung der Kieserit-Menge auf jeweils 60 kg je Hektar und Jahr zu keinem Mehrertrag im Vergleich zur Düngung von 30 kg/ha. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt BÖHM (2013, 2017), auch bei längerer Standzeit der Bestände. FISCHINGER et al. (2011) und RIFFEL et al. (2015) dagegen konnten auf einem Gunststandort auch mit Schwefelgaben von bis zu 60 kg/ha den Ertrag eines Kleegrasbestandes deutlich steigern. Eigene Ergebnisse zeigen, dass höhere Trockenmasseerträge immer stark mit höheren Leguminosenanteilen korrespondierten und damit die vor Versuchsbeginn erhofften Erwartungen im Laufe der Untersuchungen bestätigt wurden.

Durch Bilanzierung von Zufuhr (Dünger) und Entzug (S-Gehalte in Biomasse, Ertrag) aller Nutzungsjahre lässt sich unter Berücksichtigung der S_{min}-Werte der Verbleib des Sulfates aus den Düngern nur in den Varianten mit jeweils 30 kg Schwefel über Kieserit oder Gips (Calciumsulfat) nahezu gänzlich nachweisen. Dies gilt sowohl für die erste Versuchsserie als auch für die zweite Serie, bei der zusätzlich eine zweite Gabe Schwefel (Kieserit) im Frühjahr des Hauptnutzungsjahres erfolgte. Daher kann bei einer Düngung mit geringen Düngergaben wie in den beschriebenen Versuchsserien eine vollständige Aufnahme des Schwefels angenommen werden. Deshalb empfiehlt SOMMER (2015) wegen der geringen natürlichen S-Deposition neben Humus- oder Stickstoffbilanzen auch eine Schwefelbilanzierung für Betriebe des ökologischen Landbaus, um Hinweise auf eine mögliche Nährstofflimitierung zu erhalten.

Da sich der Entzug bei erhöhter Schwefelmenge von jeweils 60 kg/ha lediglich um 10 kg/ha erhöhte, muss davon ausgegangen werden, dass überschüssige Nährstoffmengen zwischen 20 und 40 kg/ha - ähnlich wie Nitrat - in tiefere Bodenschichten verlagert, ausgewaschen und/oder mikrobiell bzw. in organischer Substanz festgelegt wurden. Ein experimenteller Nachweis im Hinblick auf deren tatsächlichen Verbleib war im Rahmen der Versuchsanstellung nicht möglich.

6 Status Quo in Öko-Betrieben

6.1 Einleitung

Auf den Öko-Versuchsflächen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern in Gülzow wurden trotz Kleegras- und Zwischenfruchtanbau sowie einer regelmäßigen organischen Düngung in der Fruchtfolge geringe Smin-Gehalte im Boden festgestellt. Es ist davon auszugehen, dass auch in Praxisbetrieben die Versorgung mit Schwefel defizitär ist. Anhaltspunkte für eine schlechte Schwefelversorgung gab es auch durch Ergebnisse des Nmin -Testflächennetzes Mecklenburg-Vorpommern, welches durch die LMS-Agrarberatung betreut wird. In Mecklenburg-Vorpommern wirtschaften Öko-Betriebe meist auf sandigen oder anlehmigen Böden. Die Humusgehalte liegen häufig unter 2 % in der Ackerkrume. Darüber hinaus ist die Auswaschungsgefahr von Schwefel auf diesen meist durchlässigen Böden hoch. Durch weitere Betriebserhebungen sollte die Datenbasis erweitert und parallel zu den Bodengehalten auch der Gehalt im Pflanzenaufwuchs bestimmt werden. Daher wurden 2016 und 2017 Boden- und Pflanzenuntersuchungen in Betrieben durchgeführt, um so im Zusammenhang mit Feldversuchsergebnissen Empfehlungen zur Schwefeldüngung ableiten zu können.

Tabelle 4: Anzahl der Proben in Abhängigkeit von Region, Jahr und Ackerzahl (LFA)

Region	Jahr	Ackerzahl	n Bodenproben	n Pflanzenproben
West MV	2016	38-52	5	5
	2017	39-58	3	4
	2016	18	2	3
	2017	18-30	4	6
Mitte MV	2016	42-48	3	3
	2017	39-50	6	6
	2016	20-22	2	2
	2017	18-31	2	2
Ost MV	2016	20-23	3	4
	2017	20-25	2	1
	2016	39-40	3	3

Ost MV - 2017 ohne Böden mit höherer AZ

6.2 Smin-Gehalte im Boden

Ergebnisse aus dem Nmin-Testnetz der LMS-Agrarberatung MV zeigen, dass in Öko-Betrieben der Smin-Gehalt, der seit 2007 neben dem Nmin-Gehalt bestimmt wird, sehr gering ist. Ab 2015 wurden konstant in neun Öko-Betrieben auf insgesamt 25 Flächen vor Vegetationsbeginn Bodenproben entnommen und mit Hilfe gängiger Methoden untersucht. Während in 2015 und 2016 nur vereinzelt Gehalte über 20 kg/ha Smin in der Bodenschicht 0-60 cm festgestellt wurden, traten im Jahr 2017 häufiger höhere Werte auf. Daher werden die Jahre einzeln dargestellt. Die Mittelwerte der einzelnen Jahre zeigen eine deutliche Unterversorgung mit Schwefel (Tab. 5). Ein Einfluss der Bodengruppe ist nicht auszumachen. Urbatzka et al. (2013) gibt als Richtwert 20 kg/ha Smin in 0-60 cm Bodentiefe an. LEITHOLD und BECKER (2010) fordern 30 kg/ha in dieser Bodentiefe.

Die Auswertung der Betriebserhebungen der LFA in den Jahren 2016 und 2017 ergab im Mittel aller Betriebe und Flächen einen Smin-Gehalt von etwa 10 kg/ha in der Bodenschicht von 0-60 cm (Tab. 5).

Tabelle 5: Smin-Gehalt (kg/ha) im Boden unter Kleegras (2017 nur LMS)

Region	Bodengruppe	n	Smin-Gehalt kg/ha im Boden 0-60 cm		
			2015	2016	2017
West	schwer	3*	11	11	25
	mittel	1	10	10	15
Mitte	schwer	1	11	10	19
	mittel	5	11	10	20
	leicht	4	9	9	15
Ost	schwer	4	11	11	18
	mittel	4	10	14	22
	leicht	2	10	10	15

*Extremwert bereinigt

Ein Unterschied zwischen den Jahren 2015 und 2016 war nicht feststellbar. Wie bereits bei den Daten von KAPE und NAWOTKE (2017) konnte auch bei den eigenen Erhebungen keine Beeinflussung durch die Region festgestellt werden.



Abbildung 13: links Schwefelmangel im Kleegrasbestand, rechts ausreichende Versorgung, Foto Titze

Die Auswertung ergab darüber hinaus keine Korrelation der Smin-Gehalte zu Ackerzahl und Düngung (organisch oder Sulfate). Bei diesen sehr einheitlichen Werten stellt sich durchaus die Frage nach dem Sinn der Smin-Untersuchungen zu Vegetationsbeginn als Entscheidungshilfe für die Düngung.

Tabelle 6: Smin-Gehalt (kg/ha) im Boden unter Kleegras (LFA, MW 2016-17)

Region	Ackerzahl	Smin-Gehalt im Boden 0-30 cm	Smin-Gehalt Boden 30-60 cm
West	38-58	6,0	6,0
	18-30	4,5	4,5
Mitte	39-50	4,5	4,5
	18-31	4,5	5,6
Ost	39-40	4,5	4,5
	20-25	4,5	7,2

6.3 S-Gehalte im Kleegrasaufwuchs

Die mittleren Schwefelgehalte in der Pflanze schwanken zwischen den Ackerzahlbereichen nur im Osten etwas deutlicher. In allen Regionen ist die Spannweite vergleichsweise hoch. Alle Proben erreichen nicht den für Kleegras angestrebten Wert von 0,2 % in der Trockenmasse. In der Auswertung konnte ein positiver Zusammenhang (R = 0.60) zwischen S- und N-Gehalt im Kleegras nachgewiesen werden. Darüber hinaus war auch die Korrelation zwischen Kleeanteil und N-Gehalt in der Pflanze sehr eng (R = 0.81). Hohe Kleeanteile wirken sich also positiv auf den N-Gehalt in der Pflanze aus. Mit einer Ausnahme ist das N:S-Verhältnis jedoch zu hoch, teilweise viel zu hoch (Tab. 4).

Ein optimales Stickstoff-Schwefel-Verhältnis sollte unter 15:1, im Idealfall unter 10:1 liegen. N:S-Verhältnisse über 15:1 zeugen von einem deutlichen Schwefelmangel. BECKER et al. (2015) geben dafür als Grenzwert für die N-Konzentration 3 % und für die Schwefelkonzentration 0,2 % an. Diese Vorgaben werden in der eigenen Erhebung nur bei drei untersuchten Futterproben (knapp 8 %) erreicht. Bei zwei dieser Proben wurde das Kleegras mit Schwefel gedüngt. Mit der varianzanalytischen Verrechnung ließ sich jedoch kein signifikanter Einfluss der Düngung nachweisen.

Tabelle 7: S- und N-Gehalt (% in der TM) im Kleegras, Mittelwert 2016-17 und Spannweite (Betriebsdaten)

Region	Ackerzahl	S-Gehalt		N-Gehalt		N:S
		Mittelwert	Spannweite	Mittelwert	Spannweite	Verhältnis
West	38-58	0,15	0,10-0,19	2,5	1,5-3,0	17:1
	18-30	0,16	0,10-0,23	2,4	2,0-3,4	15:1
Mitte	39-50	0,14	0,09-0,22	2,4	1,3-3,0	17:1
	18-31	0,14	0,10-0,19	2,1	1,3-3,7	15:1
Ost	39-40	0,10	0,08-0,11	2,1	1,9-2,5	21:1
	20-25	0,19	0,11-0,30	2,3	1,6-3,1	12:1

7 Schlussfolgerungen

- Sandige Böden und Böden mit geringem Humusgehalt sind häufiger von Schwefelmangel betroffen. Die Ergebnisse der Erhebungen in verschiedenen Betrieben legen nahe, dass die Schwefelgehalte im Boden in vielen Betrieben in Mecklenburg-Vorpommern sehr gering sind.
- Die Feststellung des Boden-Schwefelgehaltes im Frühjahr gibt nur einen Anhaltspunkt über den Versorgungsgrad, da der meiste Schwefel noch organisch gebundenen ist und erst im Laufe der Vegetation mineralisiert wird.
- In den Praxiserhebungen wurden im Kleegras häufig Schwefelgehalte unter 0,2 % festgestellt, was in Verbindung mit dem Stickstoffgehalt zu einem ungünstigen Stickstoff-Schwefel-Verhältnis führt. Während die zu Vegetationsbeginn ermittelten Bodengehalte ungeeignet erscheinen, um Maßnahmen abzuleiten, geben die Schwefelgehalte in der Pflanze in Verbindung mit dem N:S-Verhältnis eher Auskunft darüber, ob eine Düngung sinnvoll oder überflüssig ist. Das N:S-Verhältnis sollte nicht über 15:1 liegen.
- Im Ergebnis der Parzellenversuche am Standort Gülzow führte eine Schwefeldüngung in Leguminosen-Grasbeständen bei S_{min}-Gehalten unter 10 kg/ha (0-30 cm) zu höheren Leguminosenanteilen und Trockenmasseerträgen.
- Eine Düngung zur Ansaat erhöht die Leguminosenanteile in der Phase der Jugendentwicklung, was insgesamt auch zu höheren Erträgen führen kann. Das Anlegen eines Düngefensters wird empfohlen.
- Die Düngermenge sollte zwischen 30 und 40 kg/ha Schwefel liegen. Im Frühjahr zur Saat können verschiedene zugelassene Dünger mit schneller und mittlerer S-Wirkung eingesetzt werden. Mengen von 60 kg/ha Schwefel brachten in Versuchen bisher keine Vorteile.
- Nach einer Herbstdüngung im bereits etablierten Kleegras zeigte elementarer Schwefel (Schwefellinsen) unter den Gülzower Bedingungen nahezu keine Wirkung.
- Die Düngung zu Körnerleguminosen brachte zwar höhere S_{min}-Gehalte im Boden und in der Pflanze, jedoch ohne signifikante Auswirkungen auf den Ertrag. Daher wird eine S-Düngung hier nicht empfohlen.

8 Literaturverzeichnis

AULAKH, M. (2003): Crop responses to sulphur nutrition. In: sulphur in plants. Dordrecht: Kluwer Academic, pp. 341-358.

BECKER, K., RIFFEL, A., LEITHOLD, G. (2015): Schwefeldüngung in Futterleguminosen. http://www.orgprints.org/29689/7/29689-10OE104-uni-giessen-leithold-2015-luzerne-kleegrasbestaende-merkblatt.pdf abgerufen 06.03.2019

BLOEM, E., HANEKLAUS, S., SCHNUG, E. (2005): Significance of Sulfur Compounds in the Protection of Plants Against Pests and Diseases. In: Jounrnal of Plant Nutrition 28, pp. 763-784, Verlag Taylor & Francis Inc.

BÖHM, H. (2013): Auswirkungen einer Schwefeldüngung auf den Ertrag und die Nährstoffzusammensetzung eines Kleegrasbestandes. In: Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung ökologischer Landbau, Bonn 5.-8. März 2013, Verlag Dr. Köster Berlin.

DICK, W., KOST, D., CHEN, L. (2008): Availability of sulfur to crops from soil and other Sources. In: A missing link between soils, crops and nutrition. Madison: Amerikan society of agronomy, inc., pp. 59-82.

FISCHINGER, A. S., BECKER, K., LEITHOLD, G. (2011): Auswirkungen unterschiedlicher S-Versorgungszustände auf den N-Flächenertrag eines Luzerne-Kleegrasbestandes. In: Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung ökologischer Landbau, Gießen, Verlag Dr. Köster Berlin.

GRUBER, H., TITZE, A., WEGNER, C. (2015): Schwefeldüngung von Leguminosen im Ökolandbau. In: Beiträge zum Ökologischen Landbau, Mitteilungsheft der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, 62-70.

HANEKLAUS, S., BLOEM, E., SCHNUG, E, (2003): The global sulphur cycle and its links to the plant environment In: sulphur in plants. Dodrecht: Kluwer academic pp 1-28.

HELDT, H.-W. (1996): Pflanzenbiochemie. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, pp. 321-333.

HOF-KAUTZ, C. (2015): Schwefeldüngung zu Körnerleguminosen. http://www.oekolandbau.nrw.de/forschung/projekte-versuche-nrw/detail.php?mID=847&text=Schwefeld%26uuml%3Bngung 03.11.2015.

KAPE, H.- E., NAWOTKE, C. (2017): Ergebnisse der Nmin/Smin-Untersuchungen – Ökolandbau 2017 https://www.lms-beratung.de/export/sites/lms/de/.galleries/Downloads_LFB/DueV/Nmin-Bodenwerte-2017-Oekoflaechen.pdf abgerufen 04.03.2019.

MENGEL, K (1984): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. VEB Gustav Fischer Verlag Jena.

MÜCKE, M., SEIDEL, K., SCHOLVIN, A., HEPLER, J., MEYERCORDT, A. (2012): Analyse und Bewertung des Versuchs „Schwefeldüngung in Körnerleguminosen (Ackerbohne, Erbse, Lupine) im Öko-Lanbau, Versuchsjahr 2011“. In: Versuchsergebnisse im Ökologischen Landbau 2011, Landwirtschaftskammer Niedersachsen

NAWOTKE, K. (2015): Schwefelgehalte in ökologisch wirtschaftenden Betrieben in MV, Auswertungen der LUFA Rostock. unveröffentlicht.

o. V. (2008): Richtwerte für die Untersuchung und Beratung zur Umsetzung der Düngeverordnung in Mecklenburg-Vorpommern. Hrsg. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern, 2008.

o. V. (2000): Schwefelversorgung von Kulturpflanzen – Bedarfsprognose und Düngung: Standpunkt des VDLUFA: Hrsg. VDLUFA, 2000.

RIFFEL, A., BECKER, K. U. LEITHOLD, G. (2015): Bemessung einer Schwefel-Düngung in einem Luzerne-Kleegras-Bestand im 2. Hauptnutzungsjahr. In: Beiträge zur 13. Wissenschaftstagung ökologischer Landbau, Eberswalde 17.-20. März 2015, Verlag Dr. Köster Berlin.

SOMMER, H. (2015): Die Schwefelbilanz auf dem Ackerland zur Beurteilung des Schwefelmanagements im ökologisch wirtschaftenden Gemischtbetrieb. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 27, S. 195-196.

SCHMIDTKE, K., LUX, G., (2015): Wirkung verschiedener Verfahren der Schwefeldüngung auf Ertragsleistung und Vorfruchtwert von Körnerleguminosen im Ökologischen Landbau. **http://www.orgprints.org/29783/** Abschlussbericht zum Verbundvorhaben BOELN 2811OE110 u. BOELN 2811OE111.

URBATZKA, P., OFFENBERGER, K., SCHNEIDER, R. UND JACOB, I. (2014): **Schwefeldüngung zu Leguminosen im ökologischen Pflanzenbau.** In: Wiesinger, Klaus; Cais, Kathrin und Obermaier, Sabine (Hrsg.) **Angewandte Forschung und Beratung für den ökologischen Landbau in Bayern,** Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, D-Freising, Schriftenreihe der LfL, Nr. 2, S. 132-138.