

Zur Schwefelversorgung der Milchkühe

Prof. Dr. Manfred Hoffmann

Fütterungsberater beim LKV Sachsen

Vorbemerkung

Dieser Artikel wurde am 01.03.2024 eingestellt und ersetzt den Artikel vom 05.02.2024. Der Anlass waren Aussagen zu fehlenden Versorgungsempfehlungen für Schwefel durch die Gesellschaft für Ernährungsphysiologie in den neuen „Versorgungsempfehlungen für Milchkühe“ (DLG Verlag 2023). Dies ist so nicht korrekt (siehe Richtigstellung).

Die wichtigsten Funktionen des Schwefels in der Pflanze und im Organismus des Wiederkäuers sind im Folgenden zusammengefasst. Die Übersicht zeigt, dass bedeutende Stoffwechselprozesse durch das Vorhandensein von Schwefel ermöglicht werden und ihm eine große Rolle sowohl bei der Aminosäuren Synthese in der Pflanze als auch für die Stabilität und Gesundheit der Tiere zukommt. Besonders hervorgehoben werden soll die Rolle des Schwefels beim Proteinumsatz und als Bestandteil von endogenen Antioxydanzien.

Im Stoffwechsel der Pflanze

im Boden vorwiegend organisch gebunden, wird von Bakterien umgewandelt in elementaren Schwefel und zu Sulfat (SO₄) oxidiert, die Aufnahme durch die Pflanzen erfolgt als Sulfat.

- Aufbau von Proteinen (Eiweiß) – Bestandteil der schwefelhaltigen Aminosäuren, das Verhältnis von Stickstoff : Schwefel soll 10–15 : 1 betragen,
- Bestandteil der Zellmembran,
- Bestandteil verschiedener Enzyme,
- Bestandteil verschiedener Verbindungen gegen Insektenfraß,
- fördert Widerstandskraft gegen Trockenheit und erhöht Frostverträglichkeit,
- fördert bei einigen Nutzpflanzen die Resistenz gegenüber Pilzkrankheiten (Bloem u.a., 2012)

im Organismus des Wiederkäuers

die mit dem Futter und aus der Tränke aufgenommenen Schwefelverbindungen werden in organischer oder vorwiegend in anorganischer Form durch Pansenbakterien (vorwiegend *Desulfovibrio* spp) bei einem optimalen pH-Wert von 6,5 zu Sulfid abgebaut, das für die mikrobielle Aminosäuren- und Eiweißsynthese genutzt bzw. absorbiert wird und über die Leber „verstoffwechselt“ werden kann. Die Ausscheidung von Schwefel erfolgt über Harn und Kot.

Hinweise zum Datenschutz und zur Verarbeitung Ihrer Daten finden Sie unter:

<https://www.lkvsachsen.de/footer/navi/datenschutzerklaerung/>

- Bestandteil von Proteinen (Gehalt 0,5 – 2,0 % S), 90 % des Schwefels liegen im Organismus als Bestandteil der essentiellen Aminosäuren Methionin, Cystin und Cystein vor,
- Bestandteil von Keratin u. a. in Klauen/Horn, in Wolle/Haar, es bildet Sulfhydrylgruppen (-SH) und Disulfidgruppen in Strukturproteinen, als Chondroitinsulfat in Knorpel und Bindegewebe,
- Schwefel ist Bestandteil von Glutathion, eine der Schlüsselverbindungen im antioxidativen System,
- Bestandteil von Enzymen, besonders von Coenzym A im Energiestoffwechsel,
- Bestandteil von Vitaminen (Thiamin, Biotin,)
- Bestandteil von Hormonen (Insulin, Oxytocin),
- cysteinreiche Moleküle (Metallothioneine) wirken im Spurenelementstoffwechsel als Regulatoren und zur Entgiftung.

Bei einem Mangel an Schwefel muss mit folgenden Auswirkungen gerechnet werden:

- Störungen der bakteriellen Proteinsynthese im Pansen, besonders begrenzt ein Methioninmangel die Bildung von bakteriellem Protein von und vermindert die Intensität der Pansenfermentation,
- Erhöhung der Wiederkauzeit, sowie erhöhter Speichel- und Tränenfluss,
- Verminderung der Futteraufnahme mit den bekannten Folgen,
- Erhöhung der Zahl der somatischen Zellen in der Milch (Zellzahl),
- Verminderung der Zelluloseverdaulichkeit,
- Verminderung des antibiotischen Potenzials,
 - ungenügende Synthese von Glutathionperoxidasen, die als endogene Antioxydanzien „freie Radikale“ zurückdrängen und den Organismus vor negativen Faktoren des oxidativen und nitrosativen Stress schützen, sowie die Immunität und die Abwehrkräfte gegen Haltungs- und Fütterungsfehler, sowie gegen Infektionen stärken, gestörte Keratinbildung in den Klauen (ungenügende Festigkeit), vermehrtes Auftreten der Klauenrehe,
- Schwefel ist mit Chlor als anionisch wirkendes Element „Gegenspieler“ der Alkalien Kalium und Natrium, bei Mangel kommt es zu einer erhöhten DCAB und damit zu einem erhöhten Gebärparese-Risiko,
- bei längerem Schwefelmangel kann es zu erhöhter Mortalität kommen.

Für die Rationsberechnung und zur Kontrolle der Gesamtration werden die in Tabelle 1 zum Schwefelbedarf der Milchkühe angegebenen Werte empfohlen.

Tab. 1: Schwefelbedarf der Milchkühe

	Futteraufnahme	Schwefel
--	----------------	----------

Hinweise zum Datenschutz und zur Verarbeitung Ihrer Daten finden Sie unter:

<https://www.lkvsachsen.de/footer/navi/datenschutz/erklaerung/>

	kg TS	g /Tier u. Tag	g / kg TM
laktierende Kühe			
10**	12,5	15	1,2
20	16,5	23	1,4
30	19,5	36	1,8
40	23,0	46	2,0
50	26,0	56	2,2
trockenstehende Kühe			
bis 3. W.a.p.	12,0	18	1,5
ab 3. W. a.p.	12,0	18 - 24	1,5 - 2,0

* 650 - 700 kg Körpermasse ** kg Milch je Tier u. Tag

Bei Stoffwechseluntersuchungen kann mit folgenden Referenzwerten gerechnet werden:

für Serum 750 - 1200 mg S / l

für Harn 350 - 2000 mg S / l.

Zu beachten ist, dass bei den hier angegebenen Grenzwerten sowohl die negativen Auswirkungen bei Mangel an Schwefel in der Ration als auch die gesundheitlichen Schäden bei einem Überangebot angezeigt werden.

Eine Besonderheit des Schwefels ist der relativ kleine Bereich einer optimalen Versorgung, der zwischen 1,5 – 2,2 g Schwefel/kg Trockenmasse der Gesamtration liegt.

Eine weitere Besonderheit des Schwefels ist der enge Abstand der optimalen Versorgung vom Gehaltsbereich, in dem bereits mit negativen Auswirkungen gerechnet werden muss. Schon bei einem Gehalt ab 3 g Schwefel/kg TM tritt ein merklicher Rückgang der Futteraufnahme ein. Bei Gehaltswerten über 4 g Schwefel/kg TS treten physiologische Störungen sowie Imbalancen mit anderen Mineralstoffen ein. Besonders bei Kupfer und Selen wird durch einen Schwefelüberschuss die Absorption stark eingeschränkt, so dass sekundärer Kupfer- und Selenmangel festgestellt wird.

Ein Überangebot an Schwefel in allen möglichen Formen (Sulfit, Sulfide, Sulfat, elementar aufgenommener Schwefel, sowie auch H₂S und SO₂) ist in der Regel mit einem hohen Anfall von Sulfid und Schwefelwasserstoff im Pansen verbunden und führt sowohl zu diarrhöischen und/oder respiratorisch-zerebralen Symptomen (Stöber et al. 2002). Schon bei geringem Überschuss setzt eine Senkung der Futteraufnahme ein, die erheblich sein kann. Ab etwa 4 g Schwefel/kg TM der Gesamtration kommt es schließlich zu verschiedenen physiologischen Störungen und subklinischen, sowie klinischen Erscheinungen. Ihre Ausprägung hängt erheblich von den Haltungs- und Ernährungsbedingungen ab.

Hinweise zum Datenschutz und zur Verarbeitung Ihrer Daten finden Sie unter:

<https://www.lkvsachsen.de/footer/navi/datenschutz/erklaerung/>

Im Folgenden wird versucht, eine Zusammenfassung zu geben:

- Senkung der Futteraufnahme und Pansenfermentationsstörungen, Durchfall, im allgemeinen dunkelgefärbter Kot, der nach Schwefelwasserstoff (H₂S) riechen kann, kolikartige Unruhe („Trippelschritte“),
- metabolische Azidose,
- antagonistische Wirkungen auf Kupfer und Selen, evtl. auch Mangan und Zink, Kupfermangel wird schon bei geringem Schwefelüberschuss durch die Bildung von schwerlöslichem Kupfersulfid im Pansen ausgelöst, Folgeerscheinungen des Spurenelementmangels,
- niedrige DCAB,
- vielfältige Stoffwechselstörungen, die sich aus der Funktion des Schwefels im Stoffwechsel ergeben (siehe Übersicht „Funktionen des Schwefels“)
- starke Leberbelastung,
- portal anflutendes Sulfid (durch die Pfortader direkt der Leber zugeführt) wird in der Leber wieder zu Sulfat oxidiert. In Abhängigkeit von der S-Quelle werden 30 – 80 % absorbiert, die Ausscheidung erfolgt über Kot, Harn und Milch,
- Schwefel aus der Gülle (H₂S) kann auch über den pulmonalen Weg (Atmung) unter Umgehung der Leber in den Stoffwechsel gelangen,
- bei Überfrachtung von Schwefel im Pansen können große Mengen von gasförmigem Schwefel (H₂S) auftreten, die negativen Auswirkungen auf den Stoffwechsel haben. Durch die gasförmigen Schwefelverbindungen kann eine Polioencephalomalazie ausgelöst werden (Appetitlosigkeit, Muskelzuckungen, Inkordination und andere schwere neurologische Symptome), die durch Thiamingaben nicht therapiert werden können. Bei hohen Außentemperaturen („Hitzestress“) können diese Symptome in Verbindung mit Atemnot verstärkt werden.

Der Schwefelgehalt in den Futtermitteln ist abhängig von der Pflanzenart, von der Verfügbarkeit im Boden, vom Vegetationsstadium sowie von der Düngung.

Über 80 % des Schwefels liegen im Boden in organisch gebundener Form vor. Die Pflanze kann Schwefel aus dem Boden nur als Sulfat aufnehmen, der dann in die Aminosäure Cystin eingebaut wird, aus der alle anderen schwefelhaltigen Inhaltsstoffe (u.a. Methionin) gebildet werden.

Sulfat kann leicht ausgewaschen werden, so dass eine Vorratsdüngung nicht möglich ist und besonders leichte Böden als potentielle Mangelstandorte gelten. Der Düngerbedarf wird einmal durch die Bodenanalyse ermittelt, kann aber auch relativ sicher durch die Pflanzenanalyse bestimmt werden (Richtwert für ausreichende Versorgung bei Gras 1. Schnitt:

Hinweise zum Datenschutz und zur Verarbeitung Ihrer Daten finden Sie unter:

<https://www.lkvsachsen.de/footer/navi/datenschutz/erklaerung/>

3,0 g S / kg TS (vorläufig, VDLUFA)). Eine Düngung erfolgt in Sulfatform mit 20 – 30 kg S / ha mit verschiedenen Düngemittelarten. Eine Schwefelanreicherung wird durch Stallmist (3 – 8 kg /100 dt) und durch Gülle (2 – 7 kg S /10 m³) erreicht, sie eignen sich aber nicht bei akutem S-Mangel im zeitigen Frühjahr (Albert, 2004).

Leider liegen für den Schwefelgehalt in Futtermitteln nur unzureichend zusammenfassende aktuelle Tabellen vor, so dass auf teilweise ältere Tabellen (Nehring et al.1972) oder auf wissenschaftliche Zusammenfassungen zurückgegriffen werden muss (Steinhöfel et al., Rekesan-Journal 2017, 24, 13-15).

In der LKS-mbH Lichtenwalde werden seit 2006 Schwefeluntersuchungen durchgeführt. Die Ergebnisse der umfangreicher Silageuntersuchungen zeigt Tabelle 2. Die Werte für Maissilage sind relativ niedrig und konstant, sie zeigen Schwankungen von 0,7 – 1,3 g S / kg TM. Bei den Grassilagen liegen die Schwefelgehalte höher und schwanken von 1,8 – 4,6 g S / kg TM.

Die Zahlen bestätigen die Fütterungspraxis, dass bei maissilagebetonten Rationen und bei den trockenstehenden Kühen mit hohem Stroheinsatz (Gehalt 1,2 – 1,4 g S/kg TM Stroh) auf eine ausreichende Schwefelversorgung zu achten ist. Von Kessler (1996) wird empfohlen, bei maissilagebetonten Rationen, die mit Harnstoff ergänzt werden, je 100 g Harnstoff 3 – 4 g Schwefel zusätzlich zu verabreichen (in Form von Na- oder Kaliumsulfat).

Tab. 2: Gesamtschwefelgehalt in Silagen (g /kg TM)

Jahr	Gras- und Leguminosensilagen	Maissilage	Futterroggen-silage	Luzerne-silagen
2006	2,5	1,1		
2007	2,3	1,0		
2008	2,3	1,0		
2009	2,4	1,0		
2010	2,3	1,1		
2011	2,3	0,9		
2012	2,6	1,0		
2013	2,4	1,1		
2014	2,2	1,0		
2015	2,2	1,0		
2016	2,4	1,0		
2017	2,4	1,0		
2018	2,6	1,0	1,9	2,7
2019	2,2	1,0	1,9	2,4

Hinweise zum Datenschutz und zur Verarbeitung Ihrer Daten finden Sie unter:

<https://www.lkvsachsen.de/footer/navi/datenschutz/erklaerung/>

2020	2,3	0,9	1,8	2,5
2021	2,3	1,0	1,8	2,3
2022	2,3	1,0	1,9	2,5
2023	2,3	1,0	1,7	2,4

Quellen: Datenbank der LKS Lichtenwalde, 2022

Die Konzentrate zeigen je nach Herkunft einen sehr unterschiedlichen Schwefelgehalt (Tabelle 3). Hier muss besonders auf den hohen Schwefelgehalt des Rapsextraktionsschrotes aufmerksam gemacht werden, der bei dem in der Praxis hohen Einsatz dieses Extraktionsschrotes notwendige Restriktionen erfordert. Besonders im Zusammenhang mit den Erkenntnissen zur DCAB bei trockenstehenden und bei laktierenden Kühen spielt die Schwefelversorgung eine große Rolle. Der Einsatz von Rapsextraktionsschrot liegt teilweise sehr hoch. Die futtermittelspezifische Restriktion wird mit 4 kg/Kuh (650 kg LM) und Tag angegeben (Hoffmann und Steinhöfel,2023).

Verändert werden müssen auch die Angaben für Mineralfutter. Kalzium, Phosphor, Natrium und Magnesium reichen nicht mehr, um eine sichere Versorgung zu gewährleisten. Zu jedem Mineralfutter müssen auch die Gehaltswerte für Kalium, Chlor und Schwefel angegeben sein, um eine Ration korrekt zu berechnen.

Tab. 3: Schwefelgehalt in ausgewählten Konzentraten

Futtermittel	g S / kg TS
Biertreber	0,9
Erbsen	1,4
Getreide	1,6
Harnstoff	0,0
Maiskleber	6,8
Maiskleberfutter	3,5
Melasse	2,6
Pressschnitzel	3,5
Rapsextraktionsschrot	16,5
Rapsextraktionsschrot, behandelt	16,5
Sojaextraktionsschrot	4,6
Sojaextraktionsschrot, behandelt	4,6
Trockengrünfutter, Luzerne	3,4

Quellen: Datenbank der LKS Lichtenwalde, 2022

Hinweise zum Datenschutz und zur Verarbeitung Ihrer Daten finden Sie unter:

<https://www.lkvsachsen.de/footer/navi/datenschutz/erklaerung/>

Da Sulfat aus dem Tränkwasser in gleicher Weise in den Pansen- und Intermediärstoffwechsel einbezogen wird, wie die Schwefelverbindungen aus dem Futter, muss die Schwefelaufnahme aus dem Tränkwasser mit in die Ration einbezogen werden (zulässiger Grenzwert kleiner als 500 mg Sulfat = 167 mg Schwefel/l). Die ungenügende Beachtung dieser Faktoren haben in Herden zu Leistungsrückgang und gesundheitlichen Beeinträchtigungen geführt.

Von besonderer Bedeutung ist der Gehalt an Schwefel in der Gesamtration. In der LKS Lichtenwalde wird seit vielen Jahren eine große Anzahl Mischrationen untersucht. Dabei lagen die mittleren Werte für die Jahre 2006 bis 2022 zwischen 2,6 bis 2,8 g/kg TM. Die Zahlen zeigen, dass die Mischrationen teilweise erheblich über dem Optimalbereich von 1,5 – 2,2 liegen. Aus diesem Grund wurde für das Jahr 2021 eine weitergehende Auswertung vorgenommen, die Ergebnisse sind in der Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Schwefelgehalt [g/kg TM] in Mischrationen (TMR)

	Laktierende Kühe	Trockenstehende Kühe	
		bis 3. Wo. a. p.	ab 3. Wo. a. p.
Anzahl der Proben	203	94	113
Mittelwert	2,6	2,5	2,9
min.	1,3	1,5	1,5
max	4,8	5,3	8,6
Anteil Proben > 3 g S/kg TM [%]	15	18	27
Anteil Proben > 4 g S/kg TM [%]	1	5	10

Datenbank der LKS Lichtenwalde; Richardt, W. (2022)

Zwischen den einzelnen Rationen (Betrieben) treten erhebliche Schwankungen auf. Besonders besorgniserregend ist die Tatsache, dass bei den laktierenden Kühen 15 % der Rationen über 3 g S/kg TM liegen. Katastrophal ist das Bild bei den trockenstehenden Kühen und hier besonders im sensiblen Abschnitt drei Wochen vor dem Kalben. Über ein Viertel aller Mischrationen haben einen Schwefelgehalt, der gravierend die Futterraufnahme senkt und 10 % der Rationen haben eine Schwefelbelastung, die ernsthafte gesundheitliche Folgen hat. Da über 100 Betriebe erfasst wurden, ist davon auszugehen, dass es sich hier um ein allgemein verbreitetes Phänomen handelt und dringender Handlungsbedarf besteht.

Ein Zitat aus der älteren veterinärmedizinischen Literatur soll noch einmal zeigen, dass die Folgen eines Schwefelüberschusses schon lange bekannt sind, im Jahre 1984 schreibt Kanylis: „Bei einer Überschreitung von S-Gehalten von 3-4 g je kg Trockensubstanz als elementarer Schwefel oder als Sulfat muss bereits mit toxischen Effekten gerechnet werden“. Auch Dänicke und Schenkel (2009) stellen die enge Grenze von Bedarf und Toxizität beim Schwefel heraus und empfehlen, 3 g S/kg TM in Rationen für Milchkühe auf keinen Fall zu überschreiten. In den USA wird ein Schwefelgehalt von 2 g/kg TM bei Nutzung von NPN-Verbindungen als optimal angesehen und vor einem Überschreiten dieses Gehaltes gewarnt (NRC, 2001).

Hinweise zum Datenschutz und zur Verarbeitung Ihrer Daten finden Sie unter:

<https://www.lkvsachsen.de/footer/navi/datenschutz/erklaerung/>

Es wird dringend empfohlen:

- grundsätzlich den Schwefel bei der Rationsberechnung zu berücksichtigen,
- es ist zu gewährleisten, dass die Grenzwerte für den Optimalbereich der Schwefelversorgung eingehalten werden, um sowohl Mangelzustände als auch Überschüsse zu vermeiden,
- den Schwefelgehalt bei allen Grobfutteruntersuchungen, besonders der Silagen und im Tränkwasser regelmäßig bestimmen zu lassen,
- bei Mineralfuttermitteln sind die Schwefelgehalte der jeweiligen Mischung anzugeben,
- bei zugekauften Futtermitteln sollte grundsätzlich bei der Angabe der Inhaltsstoffe der Schwefelgehalt mit aufgenommen werden.

Beispiel zur Schwefelbelastung in der Milchviehherde eines Betriebes.

Situation: zu geringe Futteraufnahme, erhöhte Zellzahl, zunehmend Klauenprobleme u.a. Stoffwechseluntersuchungen weisen sowohl für die laktierenden als auch für die trockenstehenden Kühe eine azidotische Belastung aus. Beim pH-Wert im Harn zeigt sich, dass mehr Werte über 8,4, aber keine unter 7,0 auftreten. Bei den trockenstehenden Kühen fällt das extrem niedrige Natrium-Niveau auf.

Die Tränkwasseruntersuchung ergibt einen Sulfat-Gehalt von 1,5 g/l. Die Rationszusammensetzung zeigt keine Besonderheiten. Richtigerweise wurden zuerst die Mischrationen untersucht:

Ration für laktierende Kühe (IK): 2,7 g S/kg TM, DCAB lag mit 129 mval/kg TM niedrig.

Ration trockenstehende Kühe (tr.K.) 3,5 g S/kg TM.

In beiden Mischrationen waren alle anderen Mineralstoffe im Bereich des Bedarfes.

Ermittlung der Gesamtaufnahme an Schwefel aus Tränkwasser + Ration:

Schwefelaufnahme aus dem Tränkwasser (Umrechnungsfaktor S aus SO₄ x 0,334):

Tr.K: bei 50 l/Tier und Tag 75 g Sulfat = 25,1 g S

IK: bei 100 l/Tier und Tag 150 g Sulfat = 50,1 g S

Es wurde eine tägliche Futteraufnahme von 22 kg TM bei den laktierenden Kühen und von 12 kg TM bei den trockenstehenden Kühen angenommen.

Daraus ergibt sich folgende Schwefelaufnahme in g S/kg TM der Ration aus Mischration + Tränkwasser:

tr.K. : 3,5 (aus Mischration) + 2,1 (aus Tränkwasser, 25,1/12) ≈ 5,6 g S/kg TM

IK.: : 2,7 (aus Mischration) + 2,3 (aus Tränkwasser, 50,1/22) ≈ 5,0 g S/kg TM

Hinweise zum Datenschutz und zur Verarbeitung Ihrer Daten finden Sie unter:

<https://www.lkvsachsen.de/footer/navi/datenschutz/erklaerung/>

In beiden Rationen liegt der Schwefelgehalt in der Ration erheblich über dem Grenzwert und die überhöhte Schwefelmenge ist eindeutig Ursache der aufgetretenen Störungen.

Notwendige Maßnahmen: die Rationen müssen unter Berücksichtigung des Schwefelgehaltes der einzelnen Rationskomponenten neu zusammengesetzt werden. Schwefelreiche Futtermittel sind restriktiv einzusetzen. Schwefelhaltige Salze in Mineralfuttermitteln sind zu vermeiden, auch im geburtsnahen Zeitraum. Unter den vorliegenden Bedingungen sind Chlorverbindungen (Bio-Chlor oder CaCl_2 mikroverkapselt) zur Absenkung der DCAB zu empfehlen.

Das Tränkwasser ist für Milchkühe aufgrund des hohen Sulfatgehaltes nicht geeignet. Es muss aufbereitet (Angebote einholen) oder durch andere Wasserquellen ersetzt werden.

Überarbeitete und ergänzte Fassung der Veröffentlichungen in dlz-agrarheute Rind Heft 4/2015 und Heft 3/2022, sowie im BLOG „Fütterungsberater“ 2022 des LKV Sachsen <https://www.lkvsachsen.de/fuetterungsberater/blogbeitrag/artikel/zur-schwefelversorgung-der-milchkuehe/>.

Stand: März 2024