

Regionale und zeitliche Variation der Sauerstoffisotope im Milchwasser

Chen, G., Schäufele, R. und Auerswald, K.
Lehrstuhl für Grünlandlehre, Technische Universität München
Alte Akademie 12, 85354 Freising-Weihenstephan
auerswald@wzw.tuzm.de

Einleitung und Problemstellung

Sauerstoffisotope im (Milch)wasser werden als guter Proxy der geographischen Herkunft angesehen, da es eine ausgeprägte, gut verstandene regionale Variation im Niederschlag gibt (Chesson *et al.* 2010). Wegen der starken Anreicherung von ^{18}O im Blattwasser könnte das Sauerstoffisotopenverhältnis ($\delta^{18}\text{O}$) auch als Nachweis für eine Frischgrasfütterung verwendet werden (Kornexl *et al.* 1997). Dieser Effekt wird verstärkt, weil gleichzeitig der hohe Wassergehalt im Frischfutter im Vergleich zur Silagefütterung zu einer niedrigen Aufnahme von Tränkwasser führt, das einen niedrigen $\delta^{18}\text{O}$ -Wert aufweist. Wie stark Fütterung und Haltung das $\delta^{18}\text{O}$ im Milchwasser beeinflussen, ist aber bisher nicht bekannt. Daher wurde $\delta^{18}\text{O}$ im Milchwasser über fast ein Jahr bei einem weiten Spektrum an Betrieben gemessen. Außerdem wurde $\delta^{18}\text{O}$ im Milchwasser mit Hilfe des mechanistischen ‚Munich Kohn Model‘ (MK-Modell) (Chen *et al.* 2017) prognostiziert, um die Einflüsse besser zu verstehen, denen $\delta^{18}\text{O}$ im Milchwasser unterliegt.

Material und Methoden

Von 28 im süddeutschen Raum (Schwarzwald bis Berchtesgaden; Abbildung 1) gelegenen Betrieben wurden im zweiwöchentlichen Abstand insgesamt 608 Tankmilchproben entnommen und auf $\delta^{18}\text{O}$ untersucht. Gleichzeitig wurde die Fütterung der Herde der vorausgegangenen 14 Tagen durch Interviews abgefragt. Dabei wurden die Futterumstellungen von Winter- auf Sommer- und wieder auf Winterfütterung erfasst. Die Betriebe wiesen eine große Bandbreite zwischen Hochleistungs-TMR-Betrieben, und extensiv, organisch bewirtschafteten Betrieben mit reiner Weidehaltung im Sommer auf (Abbildung 2; weitere Details s. Auerswald *et al.* 2016).

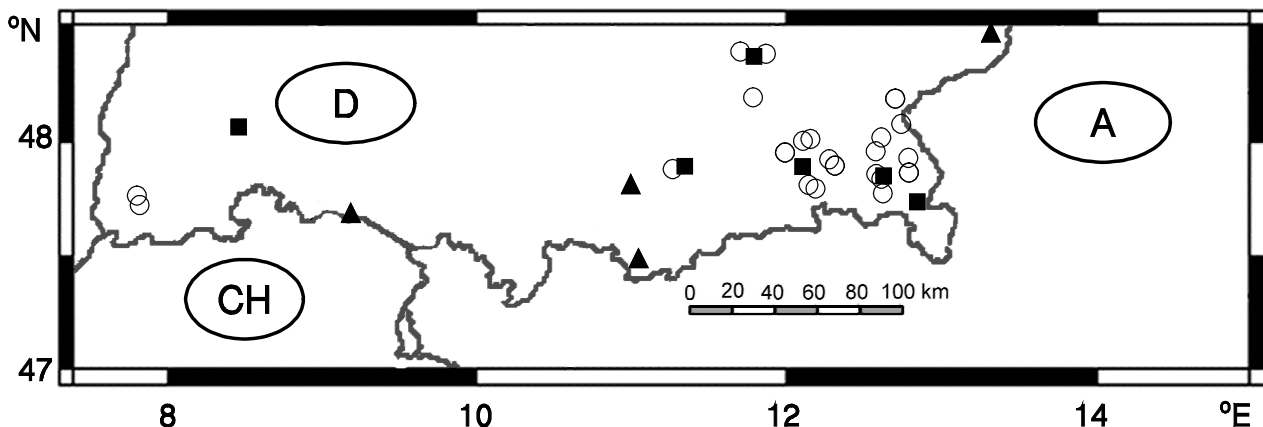


Abbildung 1: Lage der 28 Betriebe (Kreise), der sechs Wetterstationen (Quadrate) und der vier Isotopenstationen (Dreiecke)

Das MK-Modell berechnete auf Tagesbasis alle O-Flüsse in das Tier (Blattwasser, anhaftender Regen oder Tau, Tränkwasser, chemisch gebundener Sauerstoff, Luftsauerstoff) und alle O-Flüsse aus dem Tier (nasale und orale Atmung, Transpiration, Schweiß, Urin, Milch, Faeces) und bilanziert dabei ^{18}O und ^{16}O . Haupttreiber des Modells sind die Futtermenge und -zusammensetzung, Wetterparameter (Temperaturen, Niederschlag, Luftfeuchte) und die isotopische Zusammensetzung der O-Flüsse in das Tier. Das Modell hat sich als geeignet erwiesen, die saisonalen Veränderungen im Keratin-O über viele Jahre mit ca. 14-tägiger Auflösung nachzuvollziehen (Chen *et al.* 2017).

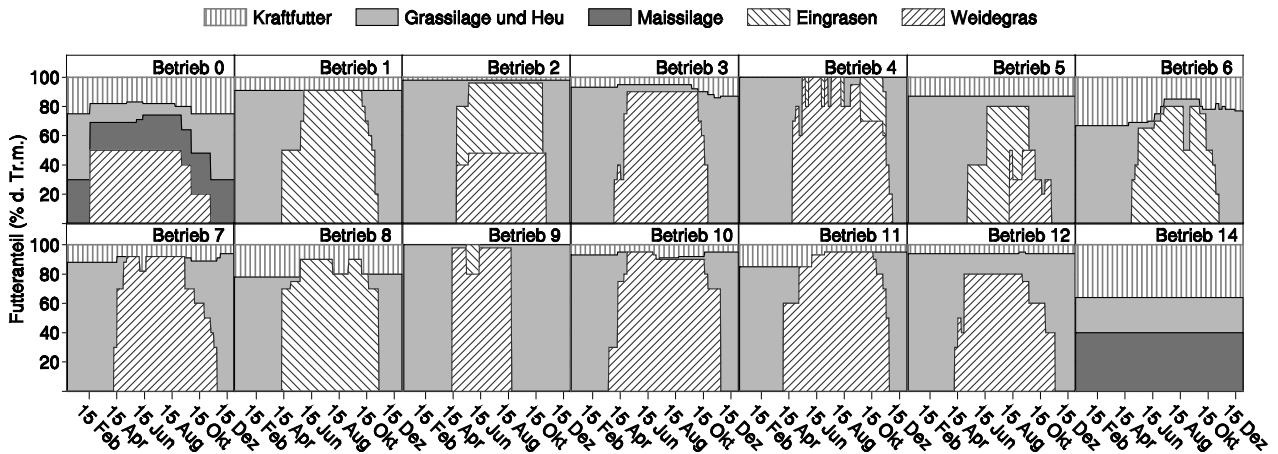


Abbildung 2: Saisonale Variation der Futterration von 14 der 28 Betriebe

Ergebnisse

$\delta^{18}\text{O}$ in Milch variierte von -2 ‰ bis -10 ‰, wobei die höchsten Werte im Sommer bei hohen Anteilen von Frischgras auftraten (Abbildung 3 und 4).

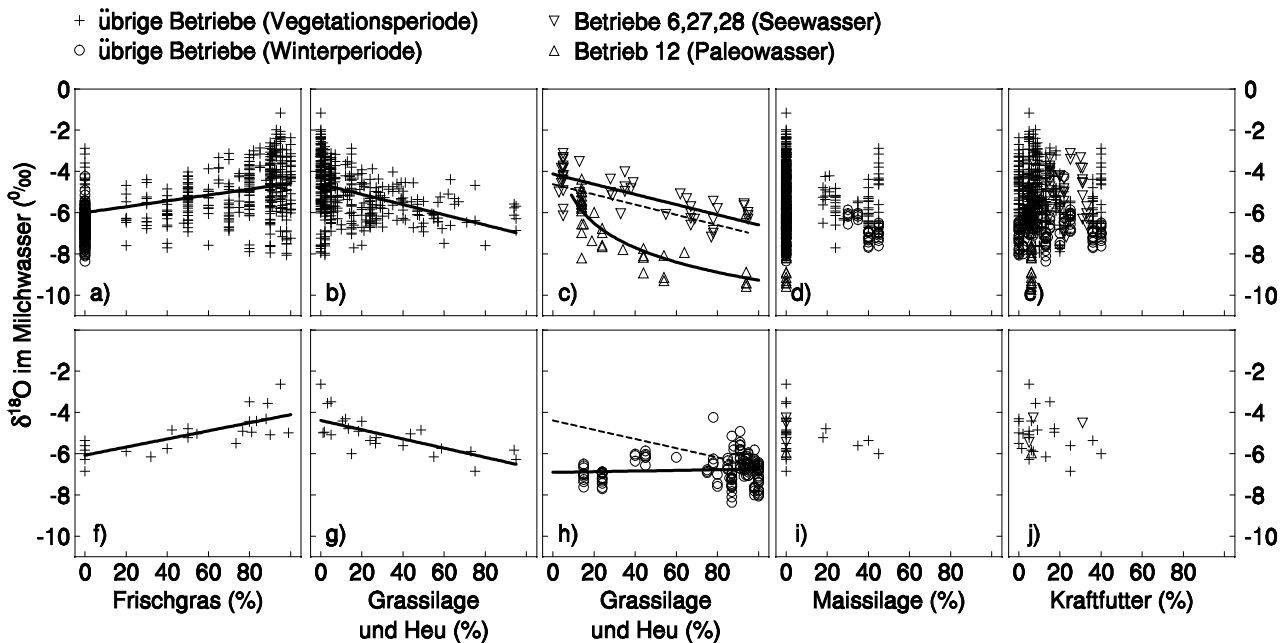


Abbildung 3: Korrelation zwischen den Anteilen der Futterkomponenten (% der Trockenmasse) und $\delta^{18}\text{O}$ im Milchwasser mit den jeweiligen Regressionen, sofern sie signifikant waren (durchgezogene Linien)
 a), c), d), e) zeigen das gesamte Jahr,
 f), g), i), j) zeigen nur Mai-Werte,
 b) zeigt nur Werte der Vegetationsperiode,
 c) zeigt nur Betriebe mit besonderen Tränkekwasserquellen (die Regression der übrigen Betrieben während der Vegetationsperiode aus Tafel b ist zum Vergleich gestrichelt mit eingetragen),
 h) zeigt nur Winterwerte (die Regression der Vegetationsperiode aus Tafel b ist zum Vergleich gestrichelt mit eingetragen).

Frischgrasverfütterung im Stall und Weidegang unterschieden sich nicht. Bei Silagefütterung waren die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte niedriger (im Sommer um ca. 1,5‰), wiesen aber auch einen ausgeprägten Jahrgang auf, selbst wenn ganzjährig TMR vorgelegt worden war (siehe Betrieb 14 in Abbildung 4). Die niedrigsten $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Milchwasser traten im Winter bei Betrieb 12 auf (Abbildung 4).

Dieser Betrieb verfütterte außerhalb der Vegetationsperiode 96 % Heu, was zu einer hohen Tränkewasseraufnahme führte. Das Tränkewasser dieses Betriebes war ca. 8000 Jahre altes Tiefenwasser, das um ca. 2‰ unter dem rezenten Grundwasser lag und die besonders niedrigen $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Milchwasser bedingte (Abbildung 3c).

Ein Teil des saisonalen Signals entsteht demnach durch das saisonal wechselnde Futter. Der andere Teil entsteht aber durch das Tier selbst, besonders da die transcutane Verdunstung im Sommer zu einer stärkeren Anreicherung von ^{18}O im Körperwasser führt. Bei Futterquellen traten die größten Unterschiede zwischen dem angereicherten Blattwasser im Frischfutter und dem Tränkewasser auf. Wasser in Maissilage war relativ ähnlich dem Frischgraswasser, da bei der Mäusernte ebenfalls verdunstende Pflanzenteile geerntet werden. Grassilage und Heu lieferten dagegen Wasser das relativ ähnlich dem Tränkewasser war, da bei der Bodentrocknung das Blattwasser isotopisch mit dem Bodenwasser austauscht (Sun *et al.* 2015) und Bodenwasser auch Grundwasser speist und damit die Quelle von Tränkewasser ist.

Das Tränkewasser war unerwartet variabel und konnte sich stark zwischen benachbarten Betrieben unterscheiden, je nachdem, ob die Wasserwerke rezentes Grundwasser, Paleowasser (Betrieb 12) oder Seewasser (Betrieb 6, 27,28) lieferten oder ob hofeigene Quellen verwendet wurden (Abbildung 3c). In einer multiplen Regression wurden 56 % der Variation durch die relative Luftfeuchte, den Trockenmasseanteil von Frischgras in der Ration, die mittlere Lufttemperatur und das $\delta^{18}\text{O}$ des Tränkewassers erklärt.

Auch die Modellierung mit dem MK-Modell erklärte die Variation gut (RMSE 1,1‰; Abbildung 4). Die Modellierung zeigte, dass innerhalb kurzer Zeit sehr große Fluktuationen auftreten können, die durch die Variation der Umgebungsbedingungen hervorgerufen werden. Sie wirken vor allem über das Blattwasser, den Tränkewasserbedarf und die Wasserausscheidungen des Tieres. Die Milchleistung hat dagegen keinen Einfluss, weil streng gekoppelt Futteraufnahme und Tränkewasseraufnahme mit zunehmender Milchleistung zunehmen.

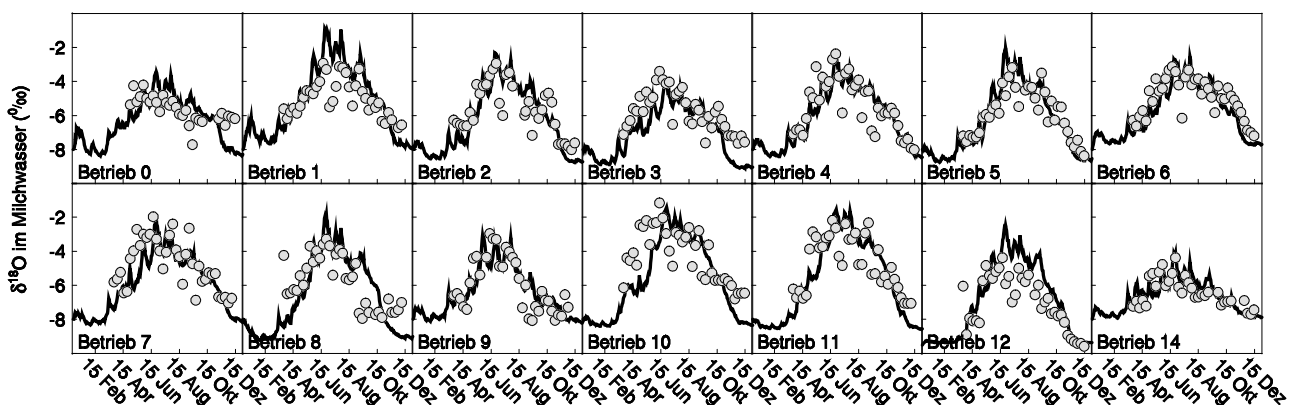


Abbildung 4: Saisonale Variation der gemessenen (Punkte) und modellierten $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Milchwasser von 14 der 28 Betriebe

Die größten Unsicherheiten der Prognose resultieren aus:

- 1) dem Niederschlag, da er bei einzelnen Regen in Menge und isotopischer Zusammensetzung kleinräumig stark variieren kann.
- 2) dem Graseverhalten der Tiere (z.B. Meiden großer Hitze oder Meiden zu nasser Vegetation beim Grasen), da die Tageszeit einen starken Einfluss auf die Blattwassersignatur hat.
- 3) dem Verhalten des Landwirts (z.B. Zeitpunkt des Grasschnitts), das von Tag zu Tag wechseln kann

Schlussfolgerungen:

Die isotopische Zusammensetzung des Milchwassers lässt nur eingeschränkt Rückschlüsse auf die geographische Herkunft oder das Fütterungsregime zu, da beide Einflüsse sich nicht trennen lassen und zusätzlich eine starke Streuung auf Grund nicht prognostizierbarer Einflüsse auftritt.

Das MK-Modell ist ein mächtiges Instrument, um die Wirkung verschiedene Einflüsse (z.B. Haltungsform, Nutzungsintensität) zu prognostizieren und so zu quantitativen Hypothesen zu kommen, die sich dann experimentell überprüfen lassen. Durch die Verwendung der Isotopenverhältnisse weiterer Elemente lässt sich die Trennung verbessern, wobei $\delta^{13}\text{C}$ vor allem den Maisanteil, $\delta^{15}\text{N}$ vor allem die betrieblichen N-Verluste und $\delta^{32}\text{S}$ vor allem den geologischen Untergrund anzeigen. $\delta^{18}\text{O}$ variiert dagegen, sofern der geographische Raum begrenzt ist, vor allem mit der Jahreszeit und dies umso ausgeprägter, je höher der Frischgrasanteil im Sommer ist.

Literatur

- Auerswald, K., Schäufele, R. und Bellof, G. (2015): Routing of fatty acids from fresh grass to milk restricts the validation of feeding information by measuring ^{13}C in milk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 63, 10500–10507, DOI: 10.1021/acs.jafc.5b03646.
- Chen, G., Schnyder, H. und Auerswald, K. (2017): Model explanation of the seasonal variation of $\delta^{18}\text{O}$ in cow (*Bos taurus*) hair under temperate conditions. *Scientific Reports* 320, DOI:10.1038/s41598-017-00361-y.
- Chesson, L.A., Valenzuela, L.O., O'Grady, S.P., Cerling, T.E. und Ehleringer, J.R. (2010): Hydrogen and oxygen stable isotope ratios of milk in the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58, 2358–2363.
- Kornexl, B.E., Werner, T., Rossmann, A. und Schmidt, H.L. (1997): Measurement of stable isotope abundances in milk and milk ingredients – A possible tool for origin assignment and quality control. *Food Research Technology* 205, 19–24.
- Sun, L.Z., Auerswald, K., Schäufele, R. und Schnyder, H. (2014): Oxygen and hydrogen isotope composition of silage water. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62, 4493–4501, dx.doi.org/10.1021/jf405703g.