

Milchharnstoffwerte als Indikator zur Reduktion der Ammoniakemissionen in der graslandbasierten Milchproduktion?

Eine statistische Analyse der Milchharnstoffwerte der Verkehrsmilchbetriebe in der Schweiz der Jahre 2012 bis 2016

M. SUTTER, C. KOPP UND B. REIDY

¹Hochschule für Agrar- Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL) 3052 Zollikofen

beat.reidy@bfh.ch

Einleitung und Problemstellung

Die Schweizer Landwirtschaft verursacht pro Jahr rund 48'000 Tonnen Stickstoff in Form von Ammoniakemissionen (Kupper et al. 2015). Mit rund 49 % Anteil trägt die Milchproduktion den weitaus grössten Teil dazu bei. Ammoniakemissionen sind aus unterschiedlichen Punkten problematisch: Der Landwirtschaft geht dadurch rund ein Viertel des Stickstoffes, der in Form von Hof- und Mineraldünger eingesetzt wird, verloren (Kupper et al. 2015). In der Umwelt belasten Stickstoffeinträge sensible Ökosysteme und tragen zur Versauerung und Nährstoffauswaschung bei. Im Rahmen von grenzüberschreitenden Abkommen hat sich die Schweiz verpflichtet die Ammoniakemissionen längerfristig auf maximal 25'000 Tonnen pro Jahr zu begrenzen (UNECE 2000). Die Ziellücke ist dementsprechend gross und es wird nach Massnahmen gesucht, um die Ammoniakemissionen effektiv zu reduzieren. Aufgrund des hohen Anteils an den Emissionen steigt der Druck auf die Milchproduktion die Emissionen zu reduzieren. Nebst einem Abbau der Tierzahlen wird eine Reduktion der Stickstoffausscheidungen, bei gleichbleibender Milchleistung, als erfolgversprechende Massnahme diskutiert.

Insbesondere in graslandbasierten Milchproduktionssystemen können im Jahresverlauf häufig erhöhte Milchharnstoffwerte beobachtet werden. Der Milchharnstoffgehalt von Milchkühen korreliert stark mit der Stickstoffausscheidung über den Harn (Kauffman und St-Pierre 2001; Kohn et al. 2002; Broderick 2003; Nousiainen et al. 2004; Bracher 2011; Spek et al. 2013). Tiefere Harn-N-Ausscheidungen führen zu potenziell geringeren Ammoniakemissionen. Um das Potenzial zur Reduktion von Ammoniakemissionen infolge erhöhter Milchharnstoffwerte abzuschätzen, wurden für den Zeitraum von 2012 bis 2016 die monatlich gemessenen Milchharnstoffwerte in Tankmilchproben aller Verkehrsmilchbetriebe in der Schweiz statistisch analysiert um darauf aufbauend, das Potenzial durch eine Anpassung der Gehalte in einen optimalen Bereich zu quantifizieren.

Material und Methoden

In der Schweiz werden seit Sommer 2011 flächendeckend von allen Verkehrsmilchbetrieben (n=23'887) die Analysen zur Zell- und Keimzahl, zum Gefrierpunkt der Milch, zum Hemmstoffnachweis sowie dem Milchharnstoffgehalt durchgeführt und zentral erfasst. In der Regel stehen pro Betrieb und Monat zwei Messungen zur Verfügung. Die Milchharnstoffwerte werden zentral in einem Labor (Suisselab AG, Zollikofen) durch Mittel-Infrarotspektroskopie bestimmt, wobei der Messbereich des Gerätes zwischen 10 mg/dl und 100 mg/dl liegt. Werte ausserhalb dieses Bereiches sind für die Auswertung nicht berücksichtigt worden, womit ein Datensatz mit insgesamt 2'317'475 Analyseergebnisse zur Verfügung stand. Die Analyseresultate dienen zur Festlegung der Bonus- und Maluszahlungen oder gar Liefersperrern, weshalb der Probenahmezeitpunkt immer variiert. So kann der Abstand zwischen zwei Analyseresultaten zwischen wenigen Tagen und einige Wochen betragen. Für die Berechnung des Monatmittelwertes pro Betrieb musste deshalb für jeden Tag ein Messwert basierend auf den Analyseresultaten

interpoliert werden. Aufgrund dieser Tageswerte sind anschliessend die Monatsmittelwerte berechnet worden.

Im Rahmen der durchgeführten Auswertung wurden die Analyseresultate der Jahre 2012 bis 2016 berücksichtigt. Ergänzend zu den aufgeführten Parametern standen folgende Informationen zu den Betrieben zur Verfügung: Datum der Probenahme, vermarktete Milchmenge pro Monat und Jahr, Angaben zur geografischen (Kanton & Postleitzahl) und klimatischen Einteilung (landwirtschaftliche Produktionszone; Talzone (TZ), Hügelzone (HZ), Bergzone I (BZI), Bergzone II (BZII), Bergzone III (BZIII) und Bergzone IV (BZIV)). Zusätzlich waren Angaben zur Teilnahme bei den staatlichen Förderprogrammen graslandbasierte Milch- und Fleischproduktion (GMF), regelmässiger Auslauf ins Freie (RAUS), zur Flächennutzung der Betriebe (Landwirtschaftliche Nutzfläche, Flächenanteile der landwirtschaftlichen Kulturen) sowie zur Anzahl der Milchkühe vorhanden.

Die Datenaufbereitung und die statistische Auswertung wurden mit dem Programm R Studio Version 1.1.383, welches das Statistik-Programm R Version 3.4.2 beinhaltet (R Core Team 2017) und den Paketen *dplyr* Version 0.7.4 (Wickham et al. 2017), *data.table* Version 1.10.4-3 (Dowle und Srinivasan 2017), *lubridate* Version 1.7.1 (Grolemund und Wickham 2011), *nlme* Version 3.1-131 (Pinheiro et al. 2017) und *zoo* Version 1.8-1 (Zeileis und Grothendieck 2005) durchgeführt.

Die Daten wurden mit normalen gemischten linearen Modellen modelliert, mit dem Betrieb als zufälligem Effekt und den erklärenden Variablen als festen Effekten. Die Messpunkte bilden eine Zeitreihe und die zeitliche Autokorrelation wurde mittels AR(1)-Prozess modelliert. Feste Effekte wurden mittels marginaler F-Tests getestet, wobei ein Signifikanzniveau von 5 % verwendet wurde. Dieser Schritt wurde wiederholt, bis nur noch statistisch signifikante, erklärende Variablen vorhanden waren.

Ergebnisse und Diskussion

Der mittlere Milchwahnharnstoffwert über alle untersuchten Betriebe und für den gesamten Untersuchungszeitraum von 2012 bis 2016 lag bei 22.22 mg/dl, wobei 75 % der Messpunkte kleiner oder gleich als 26.34 mg/dl waren (Tab. 1). Der tiefste Jahresmittelwert konnte im Jahr 2014 mit 21.31 mg/dl und der höchste mit 22.94 mg/dl im 2016 festgestellt werden. Der Jahreseffekt trat über alle Zonen auf, weshalb der Verlauf der Jahresmittel zwischen den Zonen mehrheitlich parallel verläuft (Abb.1). Die sehr tiefen Werte im Jahr 2014 wurden im Wesentlichen durch das Ausbleiben der sonst üblichen erhöhten Harnstoffwerte im Spätsommer verursacht. Witterungsbedingt konnte im Jahr 2014 ein unüblicher Verlauf des Graswachstums festgestellt werden (Kneubühler et al. 2016). Verursacht durch eine warme und trockene erste Jahreshälfte gefolgt von einem niederschlagsreichen Sommer (MeteoSchweiz 2015) traten die maximalen Wachstumsraten nicht im Frühjahr, sondern zeitverschoben in den Frühsommermonaten auf. Die speziellen Witterungsbedingungen hatten auch ausserordentliche Nährstoffgehalte im Wiesenfutter zur Folge. Im Mittel von rund 900 Dürrfutteranalysen aus allen Regionen der Schweiz konnte ein rund 20 % höherer NFC-Gehalt (nichtfaser-Kohlenhydrate) als 2012 gemessen werden (Augsburger et al. 2017). Gerade rasch pansenverfügbare Kohlenhydrate ermöglichen es, den Ammoniakgehalt im Pansen und somit im Blut und in der Milch zu reduzieren, da sie den Pansenmikroben die notwendige Energie für das Wachstum zur Verfügung stellen (Spek et al. 2013). Die hohen NFC-Gehalte (2012: 214 g/kg TM; 2014: 256 g/kg TM) im Wiesenfutter in Kombination mit eher tiefen Rohproteingehalten könnten somit eine wichtige Ursache für die deutlich tieferen Milchwahnharnstoffwerte im Jahr 2014 sein.

In Bezug auf die sieben Grossregionen der Schweiz fällt auf, dass die Zentralschweiz über den Untersuchungszeitraum mit 23.22 mg/dl den höchsten und die Nordwestschweiz mit 20.48 mg/dl den tiefsten Milchwahnharnstoffwert aufwies. Im Rahmen einer umfassenden Analyse der Milchinhaltstoffe in den grössten Milchproduktionsregionen Italiens wies Benedet et al. (2018) für die Zeit von November 2015 bis Oktober 2016 Milchwahnharnstoffwerte

von 23.38 mg/dl \pm 5.85 aus und somit einen leicht höheren Milchharnstoffwert, als in der Schweiz für das Jahr 2016 gemessen wurden (22.94 mg/dl \pm 6.4) aus.

In Abhängigkeit der landwirtschaftlichen Zonen kann festgestellt werden, dass die Bergzonen III und IV im Mittelwert tiefere Milchharnstoffwerte aufwiesen als die übrigen Zonen (Abb.1). Diese Zonen unterschieden sich signifikant von der Talzone. In den Bergzonen III und IV lagen die Werte insbesondere im Spätsommer deutlich tiefer.

Tab. 1: Mittlere Milchharnstoffwerte in mg /dl für die Jahre 2012 bis 2016 gegliedert nach Jahr, Grossregion, Landwirtschaftlicher Zone und Förderprogramm

	Anzahl Betriebe	Milchharnstoffwert [mg/dl]					
		Mittel	SD	5 % Quantil	25 % Quantil	75 % Quantil	95 % Quantil
Gesamtheit	23'887	22.22	6.63	12.69	17.25	26.34	34.25
<i>Jahr</i>							
2012	23'279	22.55	6.76	12.87	17.51	26.75	34.81
2013	22'472	21.80	6.59	12.50	16.85	25.88	33.89
2014	21'623	21.31	6.40	12.25	16.49	25.24	32.98
2015	21'027	22.50	6.86	12.59	17.33	26.83	34.89
2016	20'367	22.94	6.40	13.49	18.27	26.89	34.41
<i>Grossregion</i>							
Espace Mittelland	9'557	21.72	6.49	12.50	16.87	25.70	33.56
Genferseeregion	1'612	22.50	6.54	12.93	17.69	26.54	34.28
Nordwestschweiz	1'358	20.48	6.11	11.92	15.79	24.30	31.55
Ostschweiz	5'456	22.82	6.76	13.00	17.79	27.04	35.08
Tessin	131	22.63	6.53	13.22	17.89	26.59	34.30
Zentralschweiz	4'503	23.22	6.78	13.24	18.18	27.52	35.36
Zürich	1'270	21.16	6.34	12.12	16.36	25.12	32.60
<i>Landw. Zone</i>							
Talzone	9'097	22.31	6.73	12.64	17.28	26.45	34.53
Hügelzone	3'868	22.21	6.76	12.50	17.10	26.44	34.52
Bergzone I	3'951	22.36	6.72	12.75	17.29	26.62	34.52
Bergzone II	4'394	22.52	6.52	13.00	17.68	26.67	34.26
Bergzone III	1'725	21.05	5.98	12.47	16.57	24.70	31.75
Bergzone IV	852	20.55	5.45	12.56	16.56	23.94	30.24
<i>Förderprogramm</i>							
RAUS nicht erfüllt	6'018	21.74	6.87	12.15	16.48	26.02	34.34
RAUS erfüllt	19'110	22.34	6.56	12.86	17.48	26.41	34.22
GMF nicht erfüllt	7'835	21.93	6.27	12.70	17.32	25.79	33.10
GMF erfüllt	16'462	22.38	6.72	12.70	17.32	26.59	34.57

Der Verlauf der Milchharnstoffwerte weist eine deutlich Saisonalität auf. So konnten über alle untersuchten Jahre in den Monaten August und September die höchsten Werte und im Mai die tiefsten festgestellt werden (Abb. 2). Die Saisonalität ist über alle Zonen feststellbar, wobei jedoch der Verlauf der Mediane in den Bergzone III und IV deutlich flacher ist. Der beschriebene saisonale Verlauf findet sich für alle Grossregionen, wobei die Kurve für das Tessin deutlich flacher verläuft als für die übrigen Regionen. Der im Rahmen dieser Arbeit festgestellte Einfluss des Monats wird durch Benedet et al. (2018) nur teilweise bestätigt.

So wiesen die Autoren für die Monate November und Dezember die tiefsten und für Juli und August die höchsten Werte aus. Dabei waren die Unterschiede zwischen den Monaten November / Dezember und Juli / September und auch gegenüber den anderen Monaten signifikant.

Das angewendete statistische Modell berechnete einen signifikanten Einfluss der Zone, der Grossregion, des Förderprogrammes RAUS & GMF, des Jahres, des Monats und der Interaktion zwischen Monat und Jahr auf den Milchharnstoffgehalt. Im Förderprogramm RAUS müssen die Milchkühe vom 1. Mai bis 31. Oktober an mindestens 26 Tagen pro Monat Zugang zu einer Weide haben. Betriebe welche sich an diesem Programm beteiligen weisen signifikant höhere Milchharnstoffwerte auf. Beim Vergleich des Jahresverlaufes fällt auf, dass die Unterschiede zwischen den Betrieben mit und ohne RAUS vor allem in der ersten Jahreshälfte vorhanden sind. Das Förderprgramm GMF schreibt ein Rationsanteil von Wiesenfutter (frisch und konserviert) von 75% der Trockenmasse (TM) in der TZ & HZ und 85% in den Bergzonen vor. Betriebe welche die Auflagen von GMF erfüllen wiesen signifikant höhere Milchharnstoffwerte aus. Im Unterschied zu RAUS differenzierte sich der Jahresverlauf zwischen den Betrieben mit und ohne GMF-Teilnahme deutlicher. So wiesen Betriebe mit GMF im Frühjahr leicht tiefere Milchharnstoffwerte aus, als die übrigen Betriebe und dafür im Spätsommer (August, September, Oktober) deutlich höhere Werte. Es muss davon ausgegangen werden, dass die erhöhten Werte im Spätsommer durch den hohen Anteil Wiesenfutter in der Ration und dem, zu diesem Zeitpunkt vorhandenen, Ungleichgewicht zwischen Protein und Energie im Wiesenfutter verursacht wird.

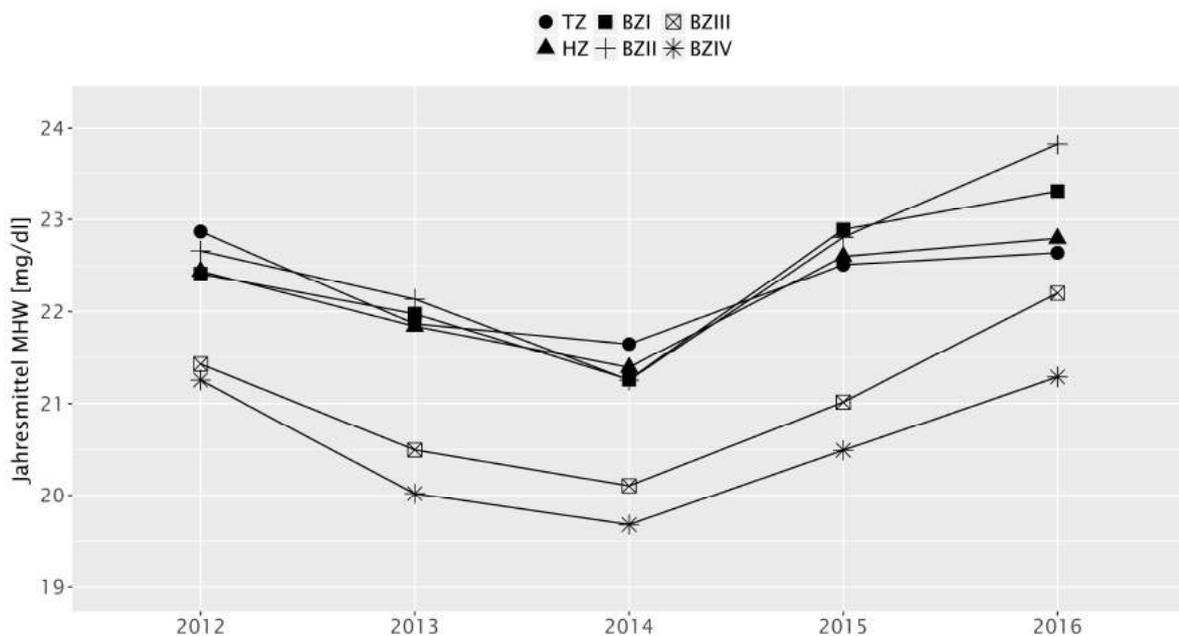


Abb.1: Jahresmittelwert des Milchharnstoffes (MHW) in mg/dl für den Auswertungszeitraum 2012 bis 2016 aufgeteilt nach landwirtschaftlichen Zone (TZ=Talzone, HZ=Hügelzone, BZ=Bergzone).

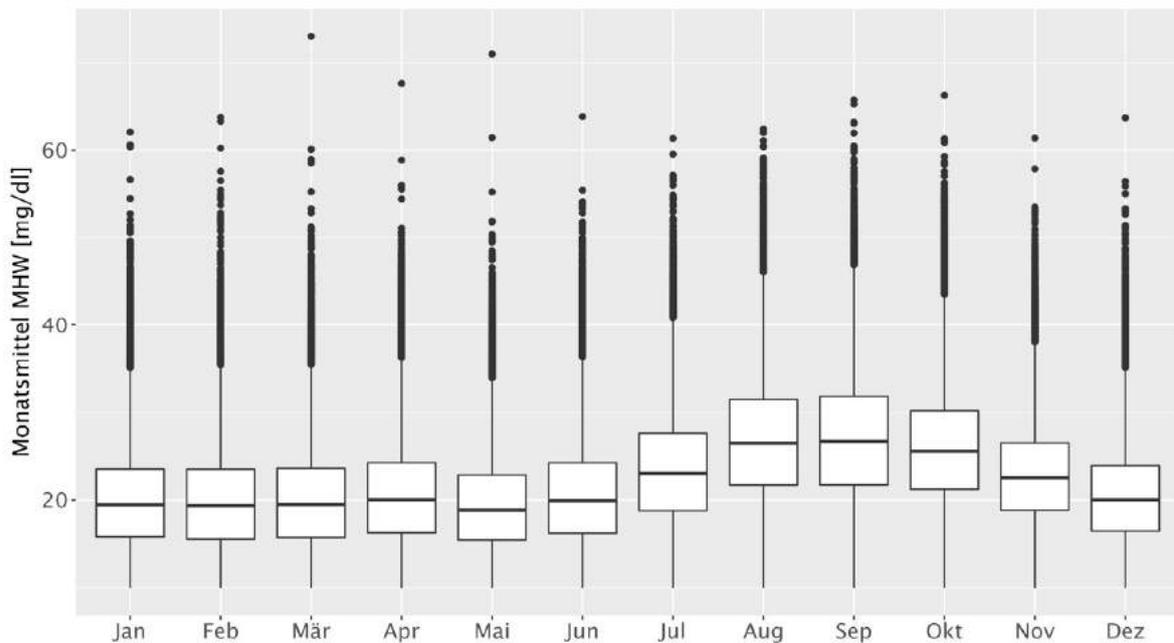


Abb. 2: Monatsmittelwerte des Milchharnstoffes (MHW) in mg/dl für den Auswertungszeitraums 2012 bis 2016.

Schlussfolgerungen

In der Schweiz enthält die Ration der Milchkühe im Mittel 76 % Wiesenfutter (Ineichen et al. 2016). Als Folge davon hat die Wiesenfutterqualität einen wesentlichen Einfluss auf die Höhe des Milchharnstoffwertes, womit ein grosser Teil des Jahreseffektes und saisonalen Verlaufes des Milchharnstoffwertes erklärt werden kann.

Die Auswertung zeigt, dass in der Schweiz rund zwölf Prozent der Milchmenge mit einem Milchharnstoffwert von 30 mg/dl oder höher produziert wird. Für diese Milchmenge besteht, durch eine Reduktion der Milchharnstoffwerte und damit verbundenen geringeren Stickstoffanteilen über den Harn, ein wesentliches Potential die Ammoniakemissionen zu reduzieren. Diese Massnahme alleine wird jedoch wohl kaum ausreichen das Ziel einer Reduktion auf 25'000 Tonnen zu erreichen. Erschwerend kommt hinzu, dass mit den Förderprogrammen RAUS und GMF ein Zielkonflikt zur Reduktion der Milchharnstoffwerte besteht, führt die aktuelle Umsetzung doch zu leicht höheren Milchharnstoffwerten.

Ammoniakemissionen werden, nebst durch die Menge des ausgeschiedenen Stickstoffs über den Harn, von einer Vielzahl weiterer Faktoren beeinflusst (z. B. Temperatur, Luftaustauschrate, Haltungssystem; Schrade et al. 2012; Kupper et al. 2015). Insbesondere auf der Weide entstehen im Vergleich zur Stallhaltung deutlich tiefere Emissionen (Kupper und Menzi 2013). Für eine differenzierte Abschätzung des Ammoniakemissionsreduktionspotenzial durch reduzierte Milchharnstoffwerte müssen deshalb Interaktionen mit weiteren Faktoren (z.B. Haltungssystem) berücksichtigt werden. Mit Hilfe des Simulationsmodelles «Agrammon» (Kupper et al. 2013) wird deshalb in einem nächsten Schritt das Ammoniakreduktionspotenzial durch reduzierte Milchharnstoffgehalte in Interaktion mit weiteren Faktoren berechnet.

Literaturverzeichnis

AUGSBURGER C., GULDIMANN K., BRACHER A. & SUTTER, F. (2017): Raufutter-Enquête 2013-2017, unveröffentlicht, Lindau.

BENEDET A., MANUELIAN C. L., PENASA M., CASSANDRO M., RIGHI F., STERNIERI M., GALIMBERTI P., ZAMBRINI A. V. & MARCHI, DE M. (2018): Factors associated with herd bulk milk composition and

technological traits in the Italian dairy industry. *Journal of dairy science*, 101 (2), 934–943, abgerufen am 31.05.2018.

BRACHER A., (2011): Möglichkeiten zur Reduktion von Ammoniakemissionen durch Fütterungsmassnahmen beim Rindvieh (Milchkuh), unveröffentlicht. Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft; Agroscope Liebefeld-Posieux, 128 S.

BRODERICK G. A. (2003): Effects of Varying Dietary Protein and Energy Levels on the Production of Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 86 (4), 1370–1381.

M., DOWLE & SRINIVASAN, A. (2017): data.table. Extension of 'data.frame', <https://CRAN.R-project.org/package=data.table>

GROLEMUND G. & WICKHAM, H. (2011): Dates and Times Made Easy with lubridate. *Journal of Statistical Software*, 40 (3), 1–25, <http://www.jstatsoft.org/v40/i03/>

INEICHEN S., SUTTER M. & REIDY B. (2016): Graslandbasierte Milchproduktion. Erhebung der aktuellen Fütterungspraxis und Ursachenanalyse für hohe bzw. geringe Leistungen aus dem Wiesenfutter, unveröffentlicht. Berner Fachhochschule, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften, Zollikofen, 108 S.

KAUFFMAN A. J. & ST-PIERRE, N. R. (2001): The Relationship of Milk Urea Nitrogen to Urine Nitrogen Excretion in Holstein and Jersey Cows. *Journal of Dairy Science*, 84 (10), 2284–2294.

KNEUBÜHLER L., AKERT F., FREY H., SCHMID H. & REIDY B. (2016): Saisonaler Verlauf des Graswachstums und Vergleich der Futterqualität von Weide- und Eingrasflächen. In: (Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V.) (Hrsg.). Tagungsband Weidetagung, Luxemburg, S. 27–32.

KOHN, R. A., KALSCHUR, K. F. & RUSSEK-COHEN, E. (2002): Evaluation of Models to Estimate Urinary Nitrogen and Expected Milk Urea Nitrogen. *Journal of Dairy Science*, 85 (1), 227–233.

KUPPER, T., BONJOUR, C. & MENZI, H. (2015): Evolution of farm and manure management and their influence on ammonia emissions from agriculture in Switzerland between 1990 and 2010. *Atmospheric Environment*, 103, 215–221.

KUPPER, T., BONJOUR, C., OETIKER, T. & ZAUCKER, F. (2013): Agrammon. Berner Fachhochschule, Hochschule für Agrar, Forst und Lebensmittelwissenschaften, Zollikofen.

KUPPER, T. & MENZI, H. (2013): Technische Parameter Modell Agrammon. Tierkategorien, Stickstoffausscheidungen der Tiere, Emissionsraten, Korrekturfaktoren, unveröffentlicht. Berner Fachhochschule, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften, Zollikofen, 19 S.

METEOSCHWEIZ (2015): Klimabulletin Jahr 2014, Zürich.

NOUSIAINEN, J., SHINGFIELD, K. J. & HUHTANEN, P. (2004): Evaluation of Milk Urea Nitrogen as a Diagnostic of Protein Feeding. *Journal of Dairy Science*, 87 (2), 386–398.

PINHEIRO, J., BATES, D., DEBROY, S., SARKAR, D. & TEAM, RC (2017): nlme. Linear and Nonlinear Mixed Effects Models, <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>

(R CORE TEAM) (2017): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

SCHRADE, S., ZEYER, K., GYGAX, L., EMMENEGGER, L., HARTUNG, E. & KECK, M. (2012): Ammonia emissions and emission factors of naturally ventilated dairy housing with solid floors and an outdoor exercise area in Switzerland. *Atmospheric Environment*, 47, 183–194.

SPEK, J. W., DIJKSTRA, J., VAN DUINKERKEN, G. & BANNINK, A. (2013): A review of factors influencing milk urea concentration and its relationship with urinary urea excretion in lactating dairy cattle. *The Journal of Agricultural Science*, 151 (03), 407–423, abgerufen am 15.12.2016.

UNECE (UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE) (2000): Protocol to the 1979 convention on long-range transboundary air pollution to abate acidification, eutrophication and ground-level ozone, <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/lrtap/full%20text/1999%20Multi.E.Amended.2005.pdf>

Wickham H., Francois R., Henry L., Müller K. (2017): dplyr. A Grammar of Data Manipulation.

Zeileis A., Grothendieck G. (2005): zoo. S3 Infrastructure for Regular and Irregular Time Series. *Journal of Statistical Software*, 14 (6), 1–27.