



# Der Milchharnstoffwert als Indikator zur Reduktion von Ammoniakemissionen in der Milchproduktion

Möglichkeiten und Grenzen von Fütterungsmassnahmen auf Praxisbetrieben

Schlussbericht der Projekte:

- «Ausgewogene Milchviehfütterung - Analyse ausgewählter Milchwirtschaftsbetriebe»<sup>1</sup>
- «Auswertung von gesamtschweizerischen Milchharnstoffwerten»<sup>2</sup>

Auftraggeber: <sup>1</sup> Arbeitsgruppe Milchviehfütterung, Valentin Luzi  
<sup>2</sup> Bundesamt für Landwirtschaft BLW, Eva Wyss

Michael Sutter, Thomas Blättler, Caspar Stucki und Beat Reidy

Zollikofen, Juni 2019

**Berner Fachhochschule**  
Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL  
Agronomie

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	1
Tabellenverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis	3
Zusammenfassung	6
Abstract	7
1 Einleitung	8
1.1 Problemstellung	8
1.2 Fragestellung	10
2 Stand der Forschung	11
3 Material und Methoden	13
3.1 Analyse ausgewählter Betriebe des Projektes « <i>Ausgewogene Milchviehfütterung</i> »	13
3.2 Auswertung nationaler Milchwahnstoffwerte	19
4 Ergebnisse	22
4.1 « <i>Ausgewogene Milchviehfütterung - Analyse ausgewählter Milchwirtschaftsbetriebe</i> »	22
4.2 Auswertung nationaler Milchwahnstoffwerte	36
5 Diskussion	48
5.1 Milchwahnstoffwert und seine beeinflussenden Faktoren	48
5.2 Mögliche Zielkonflikte mit agrarpolitischen Zielen	53
5.3 Abschätzung der potentiellen Verlustreduktion	55
6 Folgerungen	57
7 Ausblick	58
8 Dank	59
9 Literaturverzeichnis	60
Anhang 1: Statistisches Modell A	63
Anhang 2: Statistisches Modell B	65
Anhang 3: Grafiken bereinigter Datensatz (ohne Betriebe mit Alpung)	67

## Abkürzungsverzeichnis

APDE	Absorbierbares Protein, das aufgrund der verfügbaren Energiemenge aufgebaut werden kann
APDN	Absorbierbares Protein im Darm, das aufgrund des abgebauten Rohproteins aufgebaut werden kann
dt	Dezitonnen
ECM	Energiekorrigierte Milchmengen
GMF	Graslandbasierte Milch- und Fleischproduktion
GVE	Grossvieheinheiten
MJ NEL	Megajoul Nettoenergielaktation
MUC	Milchharnstoffgehalt
MUN	Milchharnstoff-Stickstoff
MHW	Milchharnstoffwert
RAUS	Regelmässiger Auslauf ins Frei
TS	Trockensubstanz
UUC	Harnstoffgehalt im Harn
UUN	Stickstoff im Harnstoff, welcher über den Harn ausgeschieden wird
UZL	Umweltziele Landwirtschaft

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 : Operationalisierung der vier Hypothesen für die qualitative Befragung der Betriebsleiter.	18
Tabelle 2 : Analyisierte Betriebe nach Region, Milchleistung und Zone.	22
Tabelle 3 : Deskriptive Statistik des Milchharnstoffwertes in mg /dl basierend auf dem Datensatz Modell für die Jahre 2012 bis 2016 als gesamtes und aufgeteilt nach Jahr, Grossregion, landwirtschaftlicher Zone und der Teilnahme bei den Bundesprogrammen RAUS und GMF.	37
Tabelle 4 : Deskriptive Statistik des Milchharnstoffwertes in mg /dl basierend auf dem bereinigten Datensatz für die Jahre 2012 bis 2016 als gesamtes und aufgeteilt nach Jahr, Grossregion, landwirtschaftlicher Zone und der Teilnahme bei den Bundesprogrammen RAUS und GMF.	38
Tabelle 5 : Resultate der Anova Typ III für das Modell A.	43
Tabelle 6 : Resultate der Anova Typ III für das Modell B.	44
Tabelle 7 : Modell A mit den Faktoren welche einen signifikanten und relevanten Einfluss auf den Milchharnstoffwert haben, berechnet mit einem gemischten linearen Model aufgrund der Jahre 2012 bis 2016. Der Intercept beschreibt die Betriebe in der Talzone, der Region Espace Mittelland, ohne Teilnahme beim Programm RAUS für den Januar 2012. Der Betrieb wurde als zufälliger Effekt berücksichtigt. Kursive geschriebene fixe Faktoren sind signifikant ( $p < 0.05$ ). Aufgrund der Übersichtlichkeit ist die Interaktion Jahr:Monat nicht abgebildet. Die vollständige Tabelle ist im Anhang zu finden.	45
Tabelle 8 : Modell B mit den Faktoren welche einen signifikanten und relevanten Einfluss auf den Milchharnstoffwert haben, berechnet mit einem gemischten linearen Model aufgrund der Jahre 2014 bis 2016. Der Intercept beschreibt die Betriebe in der Talzone, der Region Espace Mittelland, ohne Teilnahme beim Programm RAUS & GMF für den Januar 2014. Der Betrieb wurde als zufälliger Effekt berücksichtigt. Kursive geschriebene fixe Faktoren sind signifikant ( $p < 0.05$ ). Aufgrund der Übersichtlichkeit ist die Interaktion Jahr:Monat nicht abgebildet. Die vollständige Tabelle ist im Anhang zu finden.	46
Tabelle 9 : Abschätzung des Reduktionspotential der Ammoniakemissionen in der Verkehrsmilchproduktion der Schweiz für die Jahre 2012 bis 2016 basierende auf den Milchharnstoffwerten. Das Emissionspotential berechnet auf der Basis der Milchharnstoffwerte basiert auf dem Modell von van Duinkerken et al. (2011), wobei für Milchharnstoffwert $\geq 30$ mg/dl von einem Reduktionspotential von 3.5% pro mg und bei einem Milchharnstoffwert zwischen 20 und 29 mg/dl von 2.5% pro mg ausgegangen worden ist. Das Modell basiert auf einem Versuch mit Stallfütterung und Weidehaltung (im Mittel 8.5h pro Tag).	47
Tabelle 10 : Fixe Faktoren welche in den Modellen der Auswertung der nationalen Milchharnstoffwerten (MHW) verwendet wurden und den Faktoren zugrunde gelegten Hypothesen.	52

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 : Fluss des total ammoniacal nitrogen (TAN) in der Milchproduktion der Schweiz (Quelle: Kupper et al. 2015).	8
Abbildung 2 : Wichtige Einflussfaktoren auf die Ammoniakemissionen in der Milchproduktion.	9
Abbildung 3 : Rumino-hepatischer Kreislauf: Einfluss des Rohproteingehaltes der Ration (Diet CP) auf den Anteil gesamthaft gebildeten Harnstoffs (UER), welcher über das Blut und den Speichel in den Pansen zurückfliesst (A) oder über den Harn und die Milch ausgeschieden wird (B) (Quelle: Reynolds und Kristensen 2008).	11
Abbildung 4 : Einfluss der Stickstoffausscheidung über den Milchnharnstoff (MUN) auf die Gesamtstickstoffausscheidung über den Harn (UN) geschätzt mit unterschiedlichen Modellen für eine Milchkuh mit 650 kg Lebendgewicht und einer Milchleistung von 30 kg /Tag (Quelle: Kauffman und St-Pierre 2001; Kohn et al. 2002; Broderick 2003; Nousiainen et al. 2004; Spek et al. 2013)	13
Abbildung 5 : Plausibilisierung der Futterrationen mit Hilfe des Nährstoffangebots und des Nährstoffbedarfs der laktierenden Milchkuhe.	15
Abbildung 6 : Methodik der Futterrationskostenberechnung am Beispiel eines Betriebes. Die Summe der Bruttokosten von allen Futtermitteln (grün & gelbe Spalten) dividiert durch die Futtermenge ergeben die Rationskosten der laktierenden Milchkuhe (blaue Spalte).	17
Abbildung 7 : Die sieben Grossregionen und die 26 Kantone der Schweiz gemäss Bundesamt für Statistik (Bundesamt für Statistik BFS 2018)	21
Abbildung 8 : Das Laktationsstadium (A), die mittlere Anzahl Laktationen (B), der geschätzte Gesamtverzehr pro Kuh und Tag (C) und das geschätzte mittlere Lebendgewicht der Milchkuhe für das Jahr 2014 basierend auf den Daten von den Zuchtverbänden und der Tierverkehrsdatenbank. Die gezeigten Boxplots basieren auf den monatlichen Mittelwerten (Gesamtverzehr und Lebendgewicht) oder auf dem monatlichen Median (Laktationsstadium und Anzahl Laktationen) pro Betrieb.	23
Abbildung 9 : Einzelbetriebliche Entwicklung der Jahresmittelwerte des Milchnharnstoffwertes (MHW) für die analysierten Jahre 2012 und 2014.	23
Abbildung 10 : Monatsmittel des Milchnharnstoffwertes (MHW) für das Referenzjahr 2012 und die Projektjahre 2013 bis 2015.	24
Abbildung 11 : Monatsmittel des Milchnharnstoffwertes (MHW) für das Referenzjahr 2012 und die Projektjahre 2013 bis 2015, unterteilt in die beiden Gruppen Ration nicht adaptiert und Ration adaptiert.	24
Abbildung 12 : Anteil an der Gesamtration (1 = 100%) der laktierenden Milchkuhe der Futtermittel Wiesenfutter (frisch & konserviert; A), frisches Wiesenfutter (nur die Monate April bis Oktober berücksichtigt; B), Ganzpflanzenmais (frisch & konserviert; C) und Kraftfutter (D). Die Boxplots zeigen die Gesamtrationsanteile im Monatsmittelwerte der laktierenden Kühe pro Betrieb. Der Mittelwert ist mit dem Dreiecksymbol und der eingetragenen Zahl aufgeführt.	25
Abbildung 13 : Anteil an der Gesamtration (1 = 100%) der laktierenden Milchkuhe der Futtermittel Wiesenfutter (frisch & konserviert; A), frisches Wiesenfutter (nur die Monate April bis Oktober berücksichtigt; B), Ganzpflanzenmais (frisch & konserviert; C) und Kraftfutter (D) für die Betriebsgruppe Ration nicht adaptiert und Ration adaptiert. Die Boxplots zeigen die Monatsmittelwerte der laktierenden Kühe pro Betrieb. Der Mittelwert ist mit dem Dreiecksymbol und der eingetragenen Zahl aufgeführt.	26
Abbildung 14 : Anteil an der Gesamtnährstoffversorgung für die Jahr 2012 und 2014 an MJ NEL (A), APDE (B) und APDN (C), welches aus dem Kraftfutter stammt. Die Boxplots zeigen die Monatsmittelwerte der laktierenden Kühe pro Betrieb.	26
Abbildung 15 : Anteil an der Gesamtnährstoffversorgung für die Jahr 2012 und 2014 an APDE (A) und APDN (B), welches aus dem Kraftfutter stammt für die Betriebsgruppe Ration nicht adaptiert und Ration adaptiert. Der Mittelwert ist mit dem Dreiecksymbol und der eingetragenen Zahl aufgeführt.	27

Abbildung 16 : Anteil an Wiesenfutter (frisch & konserviert) in der Gesamtration im Jahresmittel pro Betrieb gegenüber dem Jahresmittelwert des Milchharnstoffwertes für die Jahre 2012 und 2014. Einfaches lineares Modell, grau schattierte Fläche entspricht dem 95% Vertrauensintervall.	28
Abbildung 17 : Anteil an frischem Wiesenfutter in der Gesamtration im Jahresmittel für die Zeit April bis Oktober pro Betrieb gegenüber dem Jahresmittelwert des Milchharnstoffwertes für die Jahre 2012 und 2014. Einfaches lineares Modell, grau schattierte Fläche entspricht dem 95% Vertrauensintervall.	28
Abbildung 18 : Anteil an Kraftfutter in der Gesamtration im Jahresmittel pro Betrieb gegenüber dem Jahresmittelwert des Milchharnstoffwertes für die Jahre 2012 und 2014. Einfaches lineares Modell, grau schattierte Fläche entspricht dem 95% Vertrauensintervall.	29
Abbildung 19 : APDE-Überangebot in Gramm pro Kuh und Tag im Jahresmittel pro Betrieb gegenüber dem Jahresmittelwert des Milchharnstoffwertes für die Jahre 2012 und 2014. Einfaches lineares Modell, grau schattierte Fläche entspricht dem 95% Vertrauensintervall.	29
Abbildung 20 : APDE- Überangebot in Gramm pro Kuh und Tag im Jahresmittel pro Betrieb gegenüber dem Jahresmittelwert des Milchharnstoffwertes für die Jahre 2012 und 2014 für die Betriebsgruppe Ration nicht adaptiert und Ration adaptiert. Einfaches lineares Modell, grau schattierte Fläche entspricht dem 95% Vertrauensintervall.	30
Abbildung 21 : APDN-Überangebot in Gramm pro Kuh und Tag im Jahresmittel pro Betrieb gegenüber dem Jahresmittelwert des Milchharnstoffwertes für die Jahre 2012 und 2014. Einfaches lineares Modell, grau schattierte Fläche entspricht dem 95% Vertrauensintervall.	30
Abbildung 22 : APDN- Überangebot in Gramm pro Kuh und Tag im Jahresmittel pro Betrieb gegenüber dem Jahresmittelwert des Milchharnstoffwertes für die Jahre 2012 und 2014 für die Betriebsgruppe Ration nicht adaptiert und Ration adaptiert. Einfaches lineares Modell, grau schattierte Fläche entspricht dem 95% Vertrauensintervall.	31
Abbildung 23 : Futterrationskosten der untersuchten Betriebe für die Jahre 2012 und 2014 als gesamtes (A), für die beiden Gruppen Ration nicht adaptiert und Ration adaptiert (B) und differenziert nach Zone (C). Der Mittelwert ist mit dem Dreiecksymbol und der eingetragenen Zahl aufgeführt.	32
Abbildung 24 : Energiekorrigierte Milchmenge (A), Fettgehalt (B) und Proteingehalt (C) der monatlichen Herdenmittelwerte pro Betrieb für die Jahre 2012 und 2014. Der Mittelwert ist mit dem Dreiecksymbol und der eingetragenen Zahl aufgeführt.	33
Abbildung 25 : Energiekorrigierte Milchmenge (A), Fettgehalt (B) und Proteingehalt (C) der monatlichen Herdenmittelwerte pro Betrieb für die Jahre 2012 und 2014, differenziert nach den Gruppen Ration nicht adaptiert und Ration adaptiert. Der Mittelwert ist mit dem Dreiecksymbol und der eingetragenen Zahl aufgeführt.	34
Abbildung 26 : Durch die Betriebsleiter genannte Milchharnstoffbereiche welche angestrebt werden.	35
Abbildung 27 : Durch die Betriebsleiter genannte Milchharnstoffbereiche bei welchen noch keine Leistungsbussen eintreten sollten.	35
Abbildung 28 : Anteil Betriebe mit fehlenden Analyseresultaten pro Monat differenziert nach Zone über die Jahre 2012 bis 2016.	36
Abbildung 29 : Monatsmittelwerte basierend auf dem Datensatz Modell und dem bereinigten Datensatz des MHW in mg/dl des Auswertungszeitraums 2012 bis 2016.	39
Abbildung 30 : Jahresmittelwert des MHW aufgrund des Datensatzes Modell in mg/dl des Auswertungszeitraums 2012 bis 2016 aufgeteilt nach Zone. Die entsprechende Grafik basierend auf dem bereinigten Datensatz findet sich im Anhang 3.	39
Abbildung 31 : Jahresmittelwert des MHW in mg/dl basierenden auf dem Datensatz Modell des Auswertungszeitraums 2012 bis 2016 für die Kanton, welche das Ressourcenprojekt « <i>Ausgewogene Milchviehfütterung</i> » umgesetzt haben (Projektdauer: 2013 bis 2015 resp. GR 2016) und für die gesamte	

Schweiz. Die entsprechende Grafik basierend auf dem bereinigten Datensatz findet sich im Anhang 3. 40

Abbildung 32 : Verlauf des MHW basierende auf dem Datensatz Modell für die Jahre 2012 bis 2016 differenziert nach Zone und der Programmteilnahme RAUS (RAUS\_0 = keine Teilnahme; RAUS\_1= Teilnahme). Die entsprechende Grafik basierend auf dem bereinigten Datensatz ifindet sich im Anhang 3. 41

Abbildung 33 : Verlauf des MHW basierende auf dem Datensatz Modell für die Jahre 2014 bis 2016 differenziert nach Zone und der Programmteilnahme GMF (GMF\_0 = keine Teilnahme; GMF\_1= Teilnahme). Die entsprechende Grafik basierend auf dem bereinigten Datensatz findet sich im Anhang 3. 41

Abbildung 34 : Jahresverlauf der MHW basierend auf dem Datensatz Modell und dem bereinigten Datensatz für die Jahre 2014 bis 2016 differenziert nach der Teilnahme beim Programm GMF (GMF\_0 = keine Teilnahme; GMF\_1= Teilnahme, grüne Linien = 25mg / dl resp. 20 mg/dl). 42

Abbildung 35 : Verlauf des MHW basierend auf dem Datensatz für die Jahre 2012 bis 2016 differenziert nach den sieben Grossregionen der Schweiz. Die entsprechende Grafik basierend auf dem bereinigten Datensatz findet sich im Anhang 3. 42

Abbildung 36 : Energiekorrigierte Milchmenge pro Kuh und Tag im Jahresmittel pro Betrieb gegenüber dem Jahresmittelwert des Milchharnstoffwertes für die Jahre 2012 und 2014. Einfaches lineares Modell, grau schattierte Fläche entspricht dem 95% Vertrauensintervall. 48

Abbildung 37 : Monatsmittelwerte des Milchharnstoffwert für die Jahre 2012 bis 2016 der Milchproduktionsbetriebe in der Schweiz. Milchharnstoffwerte im Quantil  $\leq 0.1$  oder  $\geq 0.9$  sind nicht abgebildet. 49

Abbildung 38 : Differenz des Jahresmittelwertes des Milchharnstoffwertes der am Projekt «*Ausgewogene Milchviehfütterung*» beteiligten Kantone, sowie der analysierten Betriebe zum nationalen Jahresmittelwert für die Jahre 2012 bis 2015. 51

Abbildung 39 : Herkunft der Futtermittel der Gesamtration der laktierenden Milchkühe im Mittel der analysierten Betriebe für die Jahre 2012 (gestrichelte Linie) und 2014 (ausgezogene Linie) differenziert nach der Zoneneinteilung. Die Grafiken zeigen der Anteil an TS, MJ NEL, APDE & APDN der Gesamtration der laktierenden Milchkühe, welcher aus dem entsprechenden Radius kommt. 54

Abbildung 40 : Jahresmittelwert des MHW aufgrund des bereinigten Datensatzes in mg/dl des Auswertungszeitraums 2012 bis 2016 aufgeteilt nach Zone. 67

Abbildung 41 : Jahresmittelwert des MHW in mg/dl basierenden auf dem bereinigten Datensatz des Auswertungszeitraums 2012 bis 2016 für die Kanton, welche das Ressourcenprojekt «*Ausgewogene Milchviehfütterung*» umgesetzt haben (Projektdauer: 2013 bis 2015 resp. GR 2016) und für die gesamte Schweiz. 67

Abbildung 42 : Verlauf des MHW basierende auf dem bereinigten Datensatz für die Jahre 2012 bis 2016 differenziert nach Zone und der Programmteilnahme RAUS (RAUS\_0 = keine Teilnahme; RAUS\_1= Teilnahme). 68

Abbildung 43 : Verlauf des MHW basierende auf dem bereinigten Datensatz (ausgezogene Linie) für die Jahre 2014 bis 2016 differenziert nach Zone und der Programmteilnahme GMF (GMF\_0 = keine Teilnahme; GMF\_1= Teilnahme). 68

Abbildung 44 : Verlauf des MHW basierend auf dem bereinigten Datensatz für die Jahre 2012 bis 2016 differenziert nach den sieben Grossregionen der Schweiz. 69

## Zusammenfassung

SUTTER, Michael. Der Milhharnstoffwert als Indikator zur Reduktion von Ammoniakemissionen in der Milchproduktion

Die Umweltziele Landwirtschaft schreiben vor, dass längerfristig die Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft maximal 25'000 Tonnen Stickstoff pro Jahr betragen dürfen. Im Jahr 2014 betragen die Emissionen rund 48'000 Tonnen Stickstoff, weshalb die Ziellücke zu 25'000 Tonnen nach wie vor gross ist. Als Verursacher von rund 64 % dieser Emissionen steht die Rindviehhaltung und im Besonderen die Milchviehhaltung im Fokus von weiteren Reduktionsmassnahmen.

Verschiedene Arbeiten haben aufgezeigt, dass die ausgeschiedene Stickstoffmenge über den Harn stark mit dem Milhharnstoffgehalt (MUC) korreliert. Eine Reduktion des MUC bei Milchkühen führt somit zu einer Reduktion des ausgeschiedenen Stickstoffs über den Harn, wodurch wiederum potenziell weniger Ammoniakemissionen entstehen sollten.

In dieser Arbeit wurden 32 Betriebe analysiert, welche im Rahmen eines Pilotprojektes versucht haben den MUC durch gezielte Fütterungsmassnahmen zu senken. Die Datenerhebung auf den Betrieben umfasste die Futterrationen und die Berechnung der Futterrationskosten der Milchkühe im Referenzjahr 2012 und im Projektjahr 2014. Ziel der Analyse war es herauszufinden ob der MUC in einem Zusammenhang mit der Rationszusammensetzung und den umgesetzten Massnahmen stand. Weiter sollte untersucht werden, welche Auswirkungen die umgesetzten Massnahmen auf die Futterkosten und die Milchleistung haben. Abschliessend sollte evaluiert werden, ob die umgesetzten Massnahmen zu Zielkonflikten mit weiteren agrarpolitischen Massnahmen führten. Ergänzend zu den analysierten Betrieben sind die MUC von einem grossen Teil der Schweizer Milchbetriebe der Jahre 2012 bis 2016 ausgewertet worden, um das Reduktionspotenzial der Ammoniakemissionen aus der Milchviehhaltung besser abzuschätzen. Dazu standen neben dem MUC aus der öffentlich-rechtlichen Milchkontrolle auch weitere Parameter zu den Betrieben zur Verfügung: Landwirtschaftliche Zone, Kanton, Region, vermarktete Milchmengen und Teilnahme bei den Bundesprogrammen RAUS und GMF.

Die 32 untersuchten Betriebe zeigten, dass über alle Betriebe betrachtet die umgesetzten Massnahmen nicht kausal mit dem MUC in Verbindung standen. Bei der Erhebung der Futterrationen sind die Nährstoffgehalte der Grundfuttermittel mithilfe von Standwerten definiert worden. Dies könnte mit ein Grund sein, weshalb der Zusammenhang zwischen den Massnahmen und dem MUC nicht gegeben war. Hinzu kommt, dass weitere Faktoren wie Genetik, Laktationsstadium und Milchmenge den MUC ebenfalls beeinflussen.

Die untersuchten Betriebe, welche Fütterungsmassnahmen zur Reduktion des MUC ergriffen haben, setzten hauptsächlich mehr Ganzpflanzenmais und Kraftfutter auf Kosten des Wiesenfutters ein. Hier besteht somit potenziell ein Zielkonflikt zu einem möglichst hohen Anteil Wiesenfutter in den Rationen. Dagegen war die Teilnahme an den RAUS- und GMF-Programmen des Bundes bei den untersuchten Betrieben aufgrund der Reduktion des MUC und der Teilnahme an der Massnahme «*ausgewogenen Milchviehfütterung*» nicht infrage gestellt. Die mittleren Rationskosten zwischen dem Jahr 2012 und 2014 unterschieden sich nicht wesentlich. Es zeigte sich, dass die Qualität des Wiesenfutters einen wesentlichen Einfluss auf den MUC hat und somit der MUC bei Betrieben mit einem hohen Anteil Wiesenfutter in der Jahresration im Wesentlichen durch diese beeinflusst wird. Betriebe mit einem hohen Kraftfutteranteil, insbesondere proteinreiche Kraftfutter, erreichten durch eine gezieltere Fütterung deutliche Rückgänge des MUC bei gleicher Milchleistung. Bei den analysierten Betrieben konnte kein Zusammenhang zwischen dem MUC und dem Anteil Wiesenfutter oder Kraftfutter festgestellt werden. Im Mittel des Untersuchungszeitraums betrug der MUC der Schweizer Verkehrsmilchbetriebe  $22.22 \pm 6.63$  mg/dl, wobei 25 % der Messwerte unter 17.25 mg/dl und 95 % unter 34.25 mg/dl lagen. Mit  $21.31 \pm 6.40$  mg/dl sind im Jahr 2014 die tiefsten MUC gemessen worden. Über alle Betriebe betrachtet wurden in den Monaten August und September die höchsten und im Mai die tiefsten MUC gemessen. Mithilfe eines normalen gemischten linearen Modells konnte festgestellt werden, dass die MUC in der Bergzone III und höher signifikant tiefer waren als für die übrigen Zonen. Weiter beeinflussen folgende Faktoren den MUC signifikant: vermarktete Milchmenge, Region, Jahr, Monat und die Teilnahme beim Programm RAUS und GMF.

In den Jahren 2012 bis 2016 wurde 12 % der Milchmenge mit einem MUC von  $\geq 30$  mg/dl und 42 % mit einem MUC zwischen  $< 30$  mg/dl und einem möglichen Zielwert von 18 mg/dl produziert. Basierend auf einem Emissionsmodell mit Teilweide und Stallhaltung ergebe sich somit für die Milchproduktion der Jahre 2012 bis 2016 ein geschätztes jährliches Ammoniakemissions-Reduktionspotenzial von 9 %.

**Schlagwörter:** ammonia emission, milk urea, dairy cattle



## Abstract

SUTTER, Michael. The milk urea content as an indicator for the reduction of ammonia emissions in milk production

In the longer term, the ammonia emitted by Swiss agriculture should be reduced to 25,000 tonnes per year. In 2014, such emissions reached approximately 48,000 tonnes, which means there is a need to reduce ammonia emissions in the next few years by 23,000 tonnes. Dairy production caused around 64% of the agricultural ammonia emissions in Switzerland and is therefore the focus of efforts to reduce these emissions.

Various studies have shown clear positive correlations between milk urea content (MUC) and urinary urea nitrogen (UUN) and between UUN and ammonia emissions and MUC and ammonia emissions. Therefore a reduction in MUC leads to a decrease in ammonia emissions.

In this study, 32 dairy farms which were trying to reduce MUC by targeted feeding measures were examined. The data collected on the farms included the feed rations and the feeding costs of the dairy cows for the years 2012 (baseline) and 2014. The goals of this study were (1) to investigate whether there was a relation between targeted feeding measures and MUC, (2) to determine whether the targeted feeding measures led to a change in feeding costs and (3) to evaluate whether the targeted measures led to trade-offs with other agricultural policy objectives. In order to estimate the total ammonia emissions reduction potential, the MUC of almost all Swiss dairy farms for the years 2012 to 2016 was also analysed. In addition to MUC, this dataset also contained information about the climate conditions and geographic locations of the dairy farms, as well as the amount of milk marketed and participation in the RAUS and GMF agricultural policy programmes.

The overall analysis of the 32 dairy farms showed no relation between MUC and targeted feeding measures. The nutritional value of the forage was determined by default values, which could explain why no relation was found. Another reason could be that MUC is also affected by other factors such as breed, lactation stage and milk yield. At individual unit level, particularly on farms with a high amount of concentrates in the feed ration, a relation between targeted feeding measures and MUC could be shown. As a feeding measure to reduce MUC, the farms decreased the proportion of meadow forage and increased the proportion of maize in the rations. This led to a trade-off with the existing RAUS and GMF policy programmes, the goal of which is to promote pasture grazing and meadow-forage-based feed for dairy cows. There was no difference in the feeding costs between 2012 and 2014. It appears that the quality, i.e. the nutritional value, of the meadow forage has a substantial effect on MUC and that on farms with a high amount of meadow forage in the feed ration, MUC is mainly influenced by the nutritional value of the meadow forage. No relation between the amount of meadow forage or concentrates and MUC could be observed.

The MUC of almost all dairy farms in the years 2012 to 2016 was  $22.22 \pm 6.63$  mg/dl on average. 25% of the measured values were less than 17.25 mg/dl and 95% were less than 34.25 mg/dl. The lowest annual mean was calculated for the year 2014 with  $21.31 \pm 6.40$  mg/dl. Over all farms and years, the highest measured MUCs were found in August and September and the lowest in May. Using a linear mixed model, the significant effects of climate conditions, marketed annual milk volume, geographic location, year, month and participation in the RAUS and GMF agricultural policy programmes on MUC could be shown. From 2012 to 2016, an average of 12% of the milk produced had a MUC of  $\geq 30$  mg/dl and 42% a MUC of between  $<30$  and a possible target value of 18 mg/dl. Based on an ammonia emissions model with part-time grazing, an annual ammonia emissions reduction potential of 9 % was calculated.

**Keywords:** ammonia emission, milk urea, dairy cattle

# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung

In der Schweizer Landwirtschaft entstehen pro Jahr Stickstoffverlust in Form von Ammoniakemissionen von rund 48'000 Tonnen (Kupper et al. 2015). Die Milchproduktion trägt mit rund 49% der Emissionen den weitaus grössten Teil bei (Kupper et al. 2015). Die Stickstoffverluste über Ammoniakemissionen sind für die Landwirtschaft aus unterschiedlichen Punkten problematisch: Die Landwirtschaft verliert durch die Emissionen rund einen Viertel des Stickstoffes welcher als Hofdünger und mineralischer Dünger eingesetzt wird (Kupper et al. 2015). Da der in der Luft aufgelöste Stickstoff unter anderem in Form von Regen wieder in den Boden kommt, werden dadurch hochsensible Ökosysteme aufgedüngt und aus dem Gleichgewicht gebracht. Aus diesem Grund hat sich die Schweiz zu folgender Reduktion der Ammoniakemissionen verpflichtet (UNECE 2000):

- 1990 bis 2010: Reduktion um 13 %
- 2005 bis 2020: Reduktion um 8 %

Diese Verpflichtungen bildeten die Grundlage für die Umweltziele Landwirtschaft (UZL) (BAFU und BLW 2008). Im Bereich stickstoffhaltiger Luftschadstoffe geben die UZL vor, dass die Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft jährlich nicht mehr als 25'000 Tonnen N pro Jahr betragen dürfen (BAFU und BLW 2016). Somit besteht aktuell eine Ziellücke beim UZL Ammoniak von rund 23'000 Tonnen/N pro Jahr. Aufgrund des sehr hohen Anteils dieser Emissionen in der Milchviehhaltung, ist dieses Produktionssystem besonders stark gefordert weitere Schritte zur Reduktion der Ammoniakemissionen zu unternehmen.

Massnahmen zur Reduktion der Emissionen welche bei den Ausscheidungen der Tiere greifen sind am effektivsten, da dadurch die Emissionen auf allen nachfolgenden Stufen reduziert werden (Abbildung 1). Massnahmen welche hier ansetzen werden häufig auch als „Begin-of-Pipe“ Massnahmen deklariert.

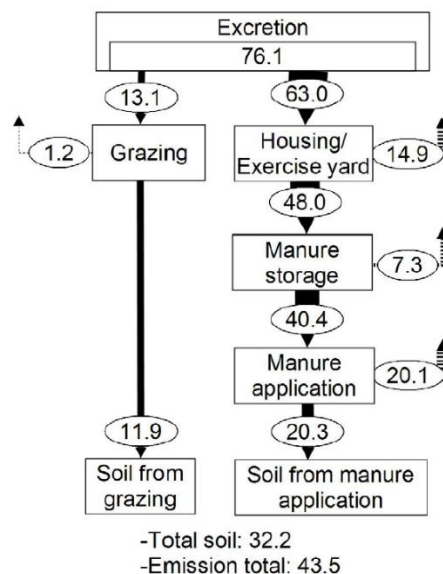


Abbildung 1 : Fluss des total ammoniacal nitrogen (TAN) in der Milchproduktion der Schweiz (Quelle: Kupper et al. 2015).

Das Produktionssystem Milch ist ein komplexes System, welches durch eine Vielzahl Faktoren beeinflusst wird. Bei Projekten zur Optimierung des Systems im Bereich Ammoniakemissionen stehen jedoch die in Abbildung 2 aufgeführten beeinflussenden Faktoren im Vordergrund. Ausserhalb der Systemgrenzen stehen die Faktoren Milchmarkt, wobei damit im Wesentlichen der Milchpreis gemeint ist, die Direktzahlungen und der Klimawandel.

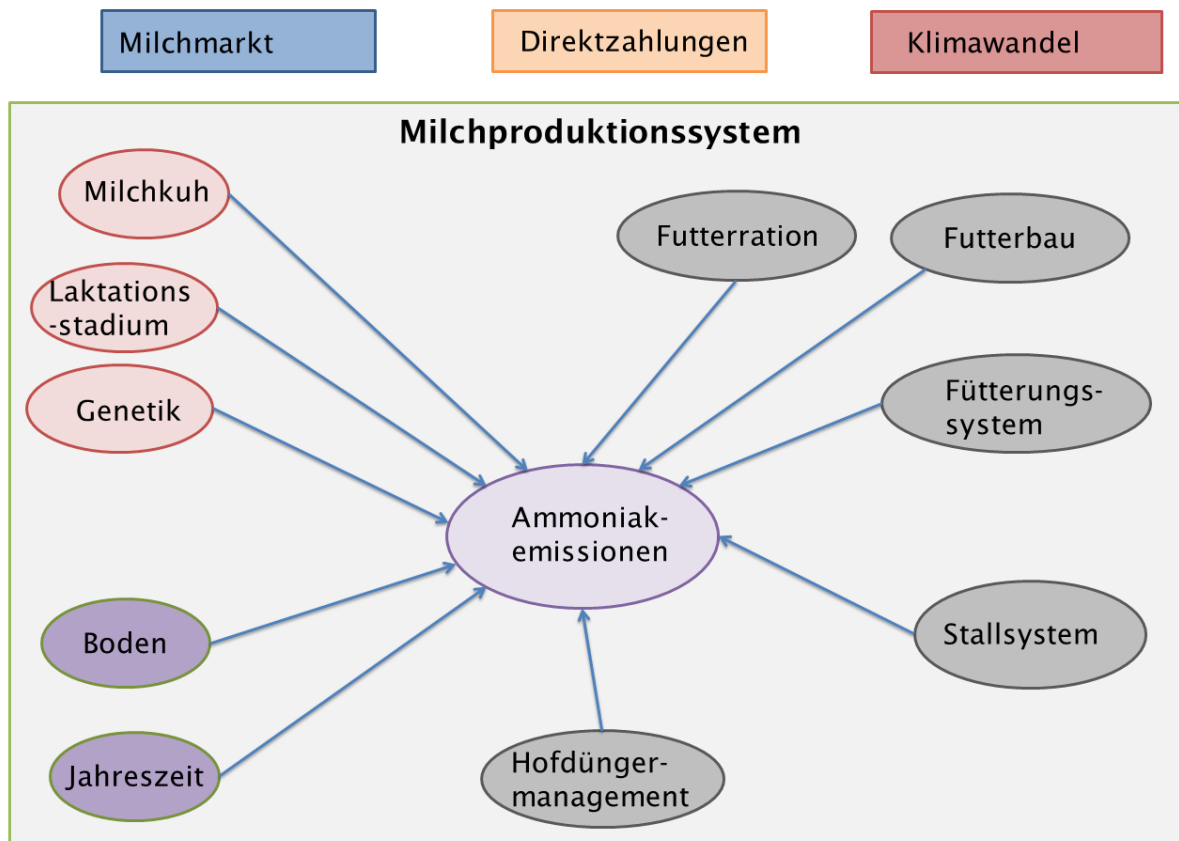


Abbildung 2 : Wichtige Einflussfaktoren auf die Ammoniakemissionen in der Milchproduktion.

Milchkühe scheiden rund 50 % des über das Futter aufgenommenen Stickstoffs über den Harn und rund 29 % über den Kot wieder aus (Tamminga 1992). Lediglich 19 % geht in die Milch und rund zwei Prozent werden zu tierischem Gewebe umgewandelt (Tamminga 1992).

Ammoniak entsteht bei der Hydrolyse von Harnstoff mittels Urease, wobei der Harnstoff vorwiegend vom Harn stammt, da der Stickstoff im Kot zum grössten Teil in organischer Form vorliegt (Bracher 2011). Urease ist auf verschmutzten Stallböden reichlich vorhanden, sodass die Entstehung von Ammoniakemissionen vorwiegend durch die vorhandene Harnstoffmenge limitiert wird. Temperaturen über zehn Grad Celsius beschleunigen die Umwandlung zudem stark (Schrade et al. 2012).

Verschiedene Studien haben gezeigt, dass es einen grossen Zusammenhang zwischen dem Milhharnstoffgehalt (MUC) und dem Harn-N-Gehalt (UUC) gibt (Bracher 2011; Spek et al. 2013). Aufgrund dieses engen Zusammenhangs sollte nicht nur mit dem UUC, sondern auch mit dem MUC die Ammoniakemissionen abgeschätzt werden können.

Diese Tatsache führte, in Kombination mit der bestehenden Ziellücke im Bereich Ammoniak, 2012 zur Lancierung des Projektes «Ausgewogene Milchviehfütterung» durch die Kantone Graubünden, Zug, Nidwalden, Obwalden und Uri. Im Rahmen dieses Projektes erhielten Milchviehbetriebe in den Jahren 2013, 2014 und 2015 (GR bis 2016) einen Beitrag, wenn der MUC welcher im Rahmen der öffentlichen Milchqualitätskontrolle basierend auf der Tankmilch gemessen wurde, um mindestens zwei mg/dl Milch im Vergleich zum Referenzwert des Jahres 2012 gesenkt wurde. Dabei sind jeweils die Jahresmittelwerte berücksichtigt worden.

## 1.2 Fragestellung

Basierend aus den Erfahrungen des Projektes «*Ausgewogene Milchviehfütterung*», welche im Rahmen der Ammoniakressourcenprojekte im Kanton Graubünden und der Zentralschweiz als Pilot umgesetzt wurde, haben die an den Projekten beteiligten Kantone beim Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) die Idee für einen Ressourceneffizienzbeitrag (REB) im Rahmen des Direktzahlungssystems zur ausgewogenen Milchviehfütterung angestossen. Die HAFI wurde angefragt im Rahmen eines Projektes auf Basis der Erfahrungen aus den kantonalen Projekten ein REB wissenschaftlich zu beurteilen.

Im Rahmen dieses Projektes wurden die folgenden Fragestellungen basierend auf einer vertieften Analyse von rund 36 Betrieben, welche an den zwei Ammoniakprojekten teilgenommen haben bearbeitet (Projekt: «*Ausgewogenen Milchviehfütterung - Analyse ausgewählter Milchwirtschaftsbetriebe*»):

1. Analyse der Milchnitrostoffwerte auf den ausgewählten Betrieben vor und nach der Umsetzung von Massnahmen. Zeitliche Analyse der monatlichen Gehalte für eine Periode von 2-3 Jahren (absolute Höhe, monatliche Schwankungen).
2. Untersuchung des Zusammenhangs des Milchnitrostoffwerts mit dem Leistungsniveau der Herde und der Rationszusammensetzung.
3. Inwiefern stand die Reduktion des Milchnitrostoffwerts auf den Betrieben in einem kausalen Zusammenhang mit der Einführung von Massnahmen?
4. Beschreibung und Analyse der umgesetzten Massnahmen zu Reduktion des Milchnitrostoffwerts (detaillierte Beschreibung der Veränderung der Rationszusammensetzung)?
5. Quantifizierung des Einflusses der Massnahmen auf die Futterkosten (Kosten für Futtermittel, zusätzlicher Aufwand für Fütterung). Welcher Aufwand entstand für einen Betrieb, um den Milchnitrostoffwert im optimalen Bereich zu halten?
6. Bestimmung des Einflusses der Massnahmen auf die Milchleistung der Herde und auf allenfalls weitere damit verbundene relevante Parameter (z. B. Milchinhaltstoffe).
7. Analyse der Akzeptanz der umgesetzten Massnahmen durch die Landwirte. Analyse der Gründe, warum die Massnahmen nicht auch ohne Förderungen umgesetzt wurden, bzw. warum ein hoher Nitrostoffwert durch die Betriebsleiter akzeptiert wurde.
8. Diskussion von möglichen Zielkonflikten mit bestehenden agrarpolitischen Zielen und Instrumenten (insbesondere GMF). Eine detaillierte und tief greifende Analyse von möglichen Zielkonflikten würde den Rahmen des Projektes sprengen.

Zusätzlich hat das BLW einen weiteren Auftrag formuliert zur Beantwortung der unten stehenden Fragen basierend auf einer Auswertung der nationalen Milchnitrostoffwerte (Projekt: *Auswertung von gesamtschweizerischen Milchnitrostoffwerten*):

1. Statistische Auswertung der gesamtschweizerischen Milchnitrostoffwerte der Jahre 2012 bis 2016:
  - a. Unterscheidet sich der Jahresverlauf des Milchnitrostoffwertes zwischen den untersuchten Jahren (Jahreseffekte)?
  - b. Können saisonale Effekte (Sommer-, Winterfütterung; Frühjahr, Sommer, Herbst, Winter) welche sich auf den Milchnitrostoffwert auswirken festgestellt werden (Monateffekte)?
  - c. Gibt es regionale bzw. höhenabhängige Unterschiede in der Höhe des Milchnitrostoffwertes?
  - d. Kann ein Einfluss der Betriebsgrösse bzw. der vermarkteten Milchmengen auf die Höhe des Milchnitrostoffwertes festgestellt werden?

Nach Möglichkeit: Abschätzung der Verlustreduktion auf einzelnen Betrieben infolge der Optimierung der Milchnitrostoffwerte.

## 2 Stand der Forschung

Wie auf der Abbildung 3 ersichtlich wird, haben die Ammoniakemissionen den Ursprung in den Ausscheidungen der Milchkühe, wobei der Stickstoffgehalt dieser Ausscheidungen wesentlich durch die Futterration beeinflusst wird. So kann ein unausgeglichenes Verhältnis an Futterprotein (Diet CP) und -energie zu höheren Stickstoffmengen führen, welche über die Milch und den Harn ausgeschieden werden müssen. Höhere Rohproteinmengen in der Futterration führen tendenziell zu höheren Harnausscheidungen (Abbildung 3). Der Wiederkäuer ist in der Lage Blutharnstoff über die Pansenwand und den Speichel zu rezyklieren (rumino-hepatischer Kreislauf). Dies ermöglicht den Wiederkäuern die Stickstoffausscheidungen über die Milch und den Harn bei einer Mangelsituation gegen Null zu reduzieren (Abbildung 3).

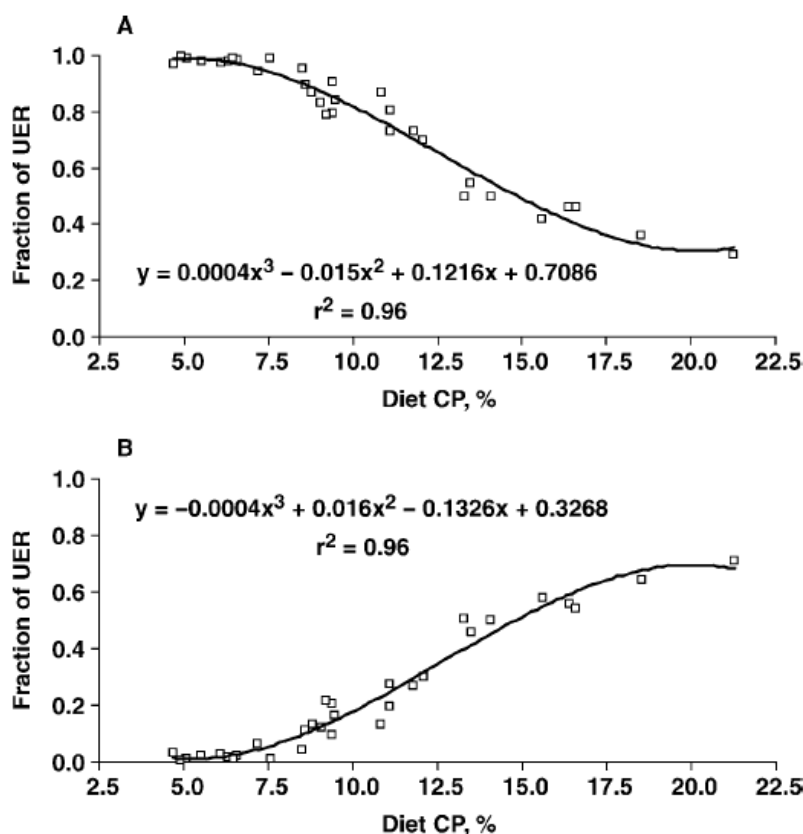


Abbildung 3 : Rumino-hepatischer Kreislauf: Einfluss des Rohproteinanteiles der Ration (Diet CP) auf den Anteil gesamthaft gebildeten Harnstoffs (UER), welcher über das Blut und den Speichel in den Pansen zurückfließt (A) oder über den Harn und die Milch ausgeschieden wird (B) (Quelle: Reynolds und Kristensen 2008).

Neben der Futterration beeinflusst das Fütterungssystem die Harnstoffausscheidung und die Höhe der Ammoniakemissionen. So trägt eine synchrone Verfügbarkeit von Protein- und Energiequellen im Pansen zu tieferen Harnstoffwerten bei (Bracher 2011; Spek et al. 2013), wobei diese neben der Zusammensetzung der Futterration auch durch die Häufigkeit der Futtermittelveränderung verändert werden kann. Weiter beeinflusst das Fütterungssystem die Höhe der Ammoniakemissionen dahingehend, dass durch das Fütterungssystem der Anteil Kot und Harn welcher im Stall ausgeschieden wird massgeblich bestimmt wird. So scheiden Milchkühe im Fütterungssystem Vollweide während der Vegetationsperiode den weitest grössten Teil an Harn und Kot auf der Weide aus. Auf der anderen Seite werden beim System mit Totalmischration ohne Weide alle Ausscheidungen im Stall gemacht. Da auf der Weide der Harn in der Regel mit dem Kot nicht gemischt wird und zudem der Harn rasch in tiefere Bodenregionen versickert, treten bei Ausscheidungen auf der Weide deutlich weniger Ammoniakemissionen auf als im Stall (Bracher 2011; Kupper et al. 2015; Selbie et al. 2015).

Das Stallsystem beeinflusst die Höhe der Ammoniakemissionen in der Hinsicht, dass grössere Flächen welche mit Kot und Harn verunreinigt werden tendenziell zu höheren Emissionen führen. Laufställe weisen deshalb deutlich höhere Emissionsraten auf als Anbindeställe (Kupper und Menzi 2013).

Da Ammoniak in der Luft gelöst ist, nimmt die Umwandlung von Harnstoff mit zunehmender Konzentration von Ammoniak in der Umgebungsluft ab. Bei offenen Ställen oder Ställen mit einer guten Luftzufuhr kommt es jedoch aufgrund der hohen Luftaustauschrate nicht zu einem Anstieg der Konzentration und somit auch nicht zu einem Rückgang der Umwandlung zu Ammoniak (Monteny 2000).

Das gleiche Prinzip wie beim Stallsystem gilt auch bei der Hofdüngerlagerung: Geschlossene Systeme weisen tiefere Emissionsraten auf, da die Umwandlung von Harnstoff durch die hohe Konzentration an Ammoniak in der Umgebungsluft gebremst wird (Monteny 2000). Beim Ausbringen der Hofdünger ist die Luftaustauschrate ebenfalls ein wichtiger Faktor: Je höher die Luftaustauschrate beim Ausbringen, desto höher fallen die Ammoniakemissionen potenziell aus. Deshalb weist das breitflächige Ausbringen der Hofdünger mittels Prallteller die höchsten Emissionen auf und das Einschlitzen der Gülle in den Boden die tiefsten (Häni et al. 2016).

Die Umwandlung von Harnstoff zu Ammoniak wird wesentlich durch die Temperatur beeinflusst (Schrade et al. 2012; Kupper et al. 2015). Deshalb spielt die Jahreszeit eine wichtige Rolle: In den heissen Sommermonaten entstehen deutlich mehr Ammoniakemissionen als in den kalten Wintermonaten (Monteny 2000).

Der Zustand des Bodens beeinflusst die Geschwindigkeit wie rasch die Gülle oder der Harn versickern kann und die Bodenbedeckung verursacht wesentlich die Luftaustauschrate über dem Boden. So kann die Gülle bei einem verdichteten oder trockenen Boden weniger gut versickern als bei einem gut durchlässigen, leicht feuchten Boden. Dadurch bleibt die Gülle länger auf dem Boden liegen, wodurch potenziell mehr Ammoniakemissionen entstehen können. Wenn die Gülle mittels Schleppschlauch oder Schleppschuh unter den Pflanzenbestand gebracht wird, ist diese einer deutlich tieferen Luftaustauschrate ausgesetzt womit die Ammoniakemissionen tendenziell tiefer ausfallen als bei der Ablage auf den nackten Boden (Häni et al. 2016).

Sowohl die Genetik als auch die Milchkuh selbst können einen Einfluss auf die Höhe des Milchwahnhstoffwertes haben (Aguilar et al. 2012; Spek et al. 2013). Offenbar beeinflusst die genetische Variation der Allele, welche innerhalb der Kuh für den Transport von Harnstoff verantwortlich sind, die Menge des Harnstoffes, welcher in die jeweiligen Organe transportiert wird (Aguilar et al. 2012). Deshalb kann es sein, dass bei Milchkühe unter gleichen Umweltbedingungen (Fütterung, Haltung, Laktationsstadium, Gewicht und Alter) unterschiedliche Milchwahnhstoffwert bei jedoch gleich grossen Harn-N-Mengen resultieren (Aguilar et al. 2012). Bracher (2011) kommt zum Schluss, dass es Unterschiede in der Höhe der Milchwahnhstoffwerte zwischen Milchkühen der Rasse Braunvieh und Kühen von anderen Rassen gibt. Wie bereits aufgezeigt hat die Synchronisation der Nährstoffverfügbarkeit im Pansen einen wesentlichen Einfluss auf die ausgeschiedene Harnstoffmenge. Die Synchronität der Nährstoffverfügbarkeit wird ebenfalls stark durch das Fressverhalten der Milchkuh beeinflusst. So kann ein selektives Fressen von einzelnen Futtermitteln zu einem Ungleichgewicht in der Nährstoffverfügbarkeit im Pansen und somit potenziell höheren Milchwahnhstoffgehalten führen (Spek et al. 2013).

Milchkühe scheiden Mitte bis Ende Laktation tendenziell höhere Harn-N-Mengen aus als zu Beginn der Laktation (Bracher 2011). Das Laktationsstadium ist somit ein weiterer beeinflussender Faktor und gemäss Broderick und Clayton (1997) hat auch die Anzahl der Laktationen einen Einfluss auf den Milchwahnhstoffgehalt. Gemäss dieser Studie kann mit steigender Anzahl Laktationen ein Rückgang des Milchwahnhstoffs festgestellt werden.

Das Abschätzen der Ammoniakemissionen basierend auf dem Milchwahnhstoffwert bedingt ein konstantes Verhältnis zwischen Milchwahnhstoffwert (MUC) und Harnstoffgehalt im Harn (UUC). Spek et al. (2013) konnten jedoch aufzeigen, dass dieses Verhältnis sehr variabel ist und durch verschiedenen Faktoren beeinflusst wird (Abbildung 4). Unter anderem führen hohe Aufnahmen von Mineralstoffe wie Natrium und Kalium zu einer gesteigerten Wasseraufnahme der Kuh. Eine grössere Wasseraufnahme führt zu einer grösseren Harnmenge, wodurch die Kuh mehr Harnstoff über den Harn als über die Milch ausscheidet (Spek et al. 2013). Das Verhältnis UUC:MUC wird somit kleiner. Genau umgekehrt ist die Situation, wenn die Kuh zu wenig Wasser zur Verfügung hat: Das Verhältnis UUC:MUC wird grösser, da die Kuh aufgrund der reduzierten Harnmenge versucht vermehrt Harnstoff über die Milch auszuschcheiden. Aufgrund der höheren Mineralstoffgehalte von Wiesenfutter konnte Campeneere et al. (2006) ein Verhältnis UUC:MUC von 1:0.13 bei einer Fütterung mit Grassilage und Kraftfutter und ein Verhältnis von 1:0.41 bei einer Fütterung mit Maissilage und Kraftfutter feststellen.

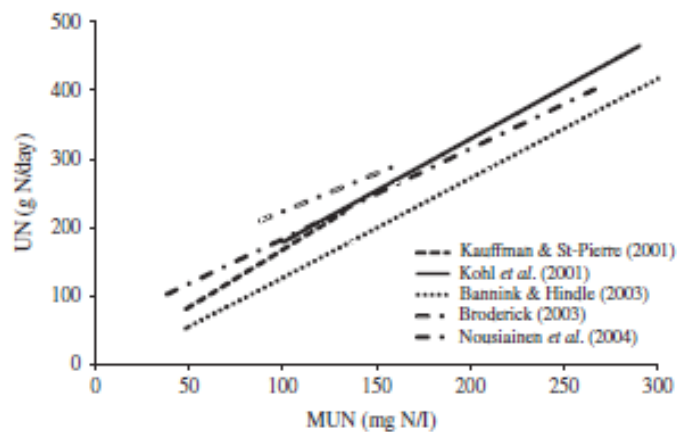


Abbildung 4 : Einfluss der Stickstoffausscheidung über den Milchharnstoff (MUN) auf die Gesamtstickstoffausscheidung über den Harn (UN) geschätzt mit unterschiedlichen Modellen für eine Milchkuh mit 650 kg Lebendgewicht und einer Milchleistung von 30 kg /Tag (Quelle: Kauffman und St-Pierre 2001; Kohn et al. 2002; Broderick 2003; Nousiainen et al. 2004; Spek et al. 2013)

## 3 Material und Methoden

### 3.1 Analyse ausgewählter Betriebe des Projektes «Ausgewogene Milchviehfütterung»

#### 3.1.1 Datengrundlage und Datenqualität

Für die Auswahl der Betriebe wurden drei Milchleistungsklassen definiert: < 6'500 kg, 6'500 bis 8'000 kg und > 8'000 kg Milch pro Kuh und Jahr. Ziel war es pro Klasse zwölf Betriebe zu untersuchen, wobei diese Betriebe weiter folgende Kriterien erfüllen sollten:

- Veränderung des Milchharnstoffwertes von > 25 mg/dl auf unter 25 mg/dl
- Mindestreduktion von zwei mg/dl in mindestens einem Projektjahr
- Teilnahme beim Projekt während mindestens zwei Jahren
- Einverständnis für Datenbezug bei Treuhandstelle Milch (TSM), den Zuchtverbänden und der Tierverkehrsdatenbank (TVD)

2012 war das erste Jahr, für welches die TSM Milchharnstoffwerte der abgelieferten Tankmilch gesamtschweizerisch erfasste. Davor wurden nur die Milchharnstoffwerte von Einzeltieren durch die Zuchtverbände erhoben bei den Verbandsmitgliedern erhoben. Deshalb war es im Projekt «Ausgewogenen Milchviehfütterung» nicht möglich den Referenzwert basierend auf einem Dreijahresmittel zur berechnen und somit den starken jährlichen Schwankungen des Milchharnstoffwertes gerecht zu werden. In der Folge wurden auch die jeweiligen jährlichen Zielwerte zur Ermittlung der Milchharnstoffreduktion, jeweils nur basierend auf den Werten eines Jahres, berechnet. Die Trägerschaften der beiden Ressourcenprojekte Graubünden und Zentralschweiz waren sich dieser Schwäche bewusst. Sie entschieden sich trotzdem bewusst dafür das Projekt «Ausgewogene Milchviehfütterung» pilotmässig umzusetzen, um Erfahrungen und Erkenntnisse zur Machbarkeit und um Akzeptanz in der Landwirtschaft für das Projekt zu gewinnen. Aufgrund der vorhanden finanziellen und personellen Ressourcen wurde nach Rücksprache mit dem Projektauftraggeber entschieden das Referenzjahr 2012 mit dem Projektjahr 2014 zu vergleichen und somit die übrigen Projektjahre in der Auswertung nicht zu berücksichtigen (2013, 2015 und 2016).

#### 3.1.2 Erhebung Futterrationen

Die Erhebung der Futterrationen wurde mit einer plausibilisierten Futterrationsberechnung durchgeführt. Grundlage dieser Methode sind die Daten der TVD und der Zuchtverbände. Mithilfe dieser Daten wurde pro Betrieb und Monat, jeweils für die beiden Datenbanken separat, die anwesenden Tiere berechnet. Dabei wurde zwischen Galt- und Milchkühen, Aufzuchttieren sowie Masttieren differenziert. Anhand dieser Zahlen konnte pro Monat der Mittelwert für das Alter, die Laktationstage und die Anzahl Laktationen der laktierenden Milchkühe berechnet werden. Mittels der Exterieurbeurteilung (lineare Beurteilung, LBE) durch die Zuchtverbände war es möglich das mittlere Lebendgewicht der Milchkühe pro

Monat zu schätzen. Dazu wurde die Methode von Cutullic und Flury (2011) verwendet wobei zusätzlich zur Exterieurbeurteilung auch die Rasse, das Laktationsstadium und die Anzahl Laktationen zur Berechnung des Lebendgewichtes berücksichtigt wurde. Mithilfe der Resultate der Milchwägungen durch die Zuchtverbände, war es möglich die energiekorrigierte Milchmenge (ECM) nach Jans et al. (2016) zu berechnen. Basierend auf den berechneten Tierzahlen, den Lebendgewichten und der energiekorrigierten Milchmenge wurde pro Monat und Betrieb eine durchschnittliche laktierende Milchkuh berechnet. Für diese mittlere Herdenkuh ist basierend auf den Regressionen des grünen Buches (Jans et al. 2016) der Gesamtverzehr geschätzt worden, welcher im Rahmen der Erhebung auf dem Betrieb bei reiner Dürrfutter-Fütterung um 0.6 kg pro Kuh und Tag korrigiert wurde. Weiter wurde für die mittlere Herdenkuh der Bedarf an MJ NEL, APDE und APDN ebenfalls nach den Regressionen des grünen Buches (Jans et al. 2016) unter Berücksichtigung des Lebendgewichtes, der energiekorrigierten Milchmenge und der Aktivität (Weide, Laufstall, Anbindestall) berechnet. Aufgrund dieser Daten war es möglich pro Monat den Bedarf an MJ NEL, APDE und APDN, sowie die Verzehrskapazität für die laktierenden Milchkühe zu berechnen.

Um die Futterrationsangaben zu Plausibilisieren ist der Nährstoffbedarf der laktierenden Milchkühe dem Angebot gegenübergestellt worden. Dazu sind alle selbstproduzierten und zugekauften Futtermittel in der entsprechenden Menge und Qualität erfasst worden. Für die Bestimmung der Menge an selbstproduzierten Futtermitteln wurde zum einen die Flächen und Erträge der Suisse Bilanz, sowie die Lagervolumen ( $\text{m}^3$  Siloraum oder Heuraum) berücksichtigt. Bei den zugekauften Futtermitteln wurden die Mengen aufgrund von Lieferscheinen, der Buchhaltung und Angaben des Betriebsleiters definiert. Zur Bestimmung der Qualität der selbstproduzierten Grundfuttermittel ist die botanische Zusammensetzung und das Nutzungsstadium beim Betriebsleiter erfragt worden und falls keine Futteranalysen vorhanden waren, sind die Nährstoffwerte der Datenbank Feedbase (Agroscope 2018) verwendet worden. Bei den Einzelfuttermitteln sind die Nährstoffangaben der Hersteller verwendet worden. Die Abgrenzung der Futtermengen gegenüber anderen Tieren der Kategorie Rindvieh, wurde mithilfe der Angaben des Betriebsleiters oder aufgrund der Anteil Grossvieheinheiten (GVE) gemacht. Zur Plausibilisierung wurde festgelegt, dass die für die laktierenden Milchkühe angebotenen Nährstoffe über die selbstproduzierten und zugekauften Futtermittel im Mittel über ein Jahr den Nährstoffbedarf der Tiere zu mindestens 90 % (blauer Doppelpfeil, Abbildung 5) decken musste und die verfügbaren Futtermittel zu  $\pm 10\%$  (gelber Doppelpfeil, Abbildung 5) verfüttert sein mussten.



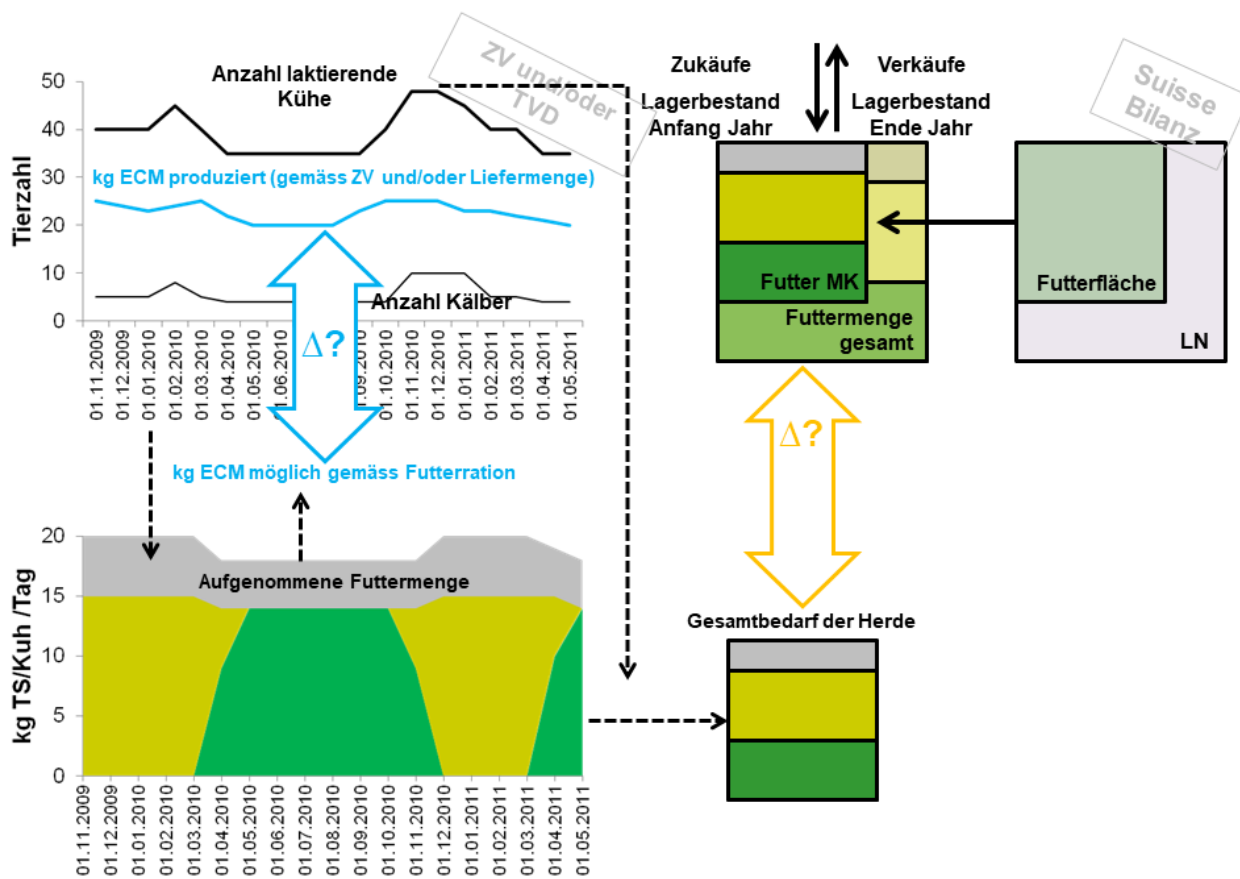


Abbildung 5 : Plausibilisierung der Futterrationen mit Hilfe des Nährstoffangebots und des Nährstoffbedarfs der laktierenden Milchkühe.

Vor dem Betriebsbesuch sind die Daten der TVD und Zuchtverbände wie beschrieben aufbereitet worden. Im Rahmen des Besuches auf dem Betrieb wurden die Daten durch den Betriebsleiter kontrolliert und die Futterration für jeden Monat erfragt. Weiter wurden das Weidesystem und die Weidedauer pro Tag und Jahr erhoben.

Die Berechnung der Futterrationen sind für das Jahr 2014 gemacht worden. Zur Simulation der Veränderung der Rationen zum Jahr 2012 sind die Unterschiede der Ration zwischen 2012 und 2014 erfragt worden. Anschliessend sind die Rationen mit diesen Veränderungen für das 2012 erfasst worden. Um den Einfluss der Rationsveränderung zwischen dem Jahr 2012 und 2014 auf den Milchharnstoffwert zu eruieren, mussten andere Faktoren wie die Anzahl Milchkühe, die Milchleistung, der Milchgehalt und die Altersstruktur der Herde möglichst konstant sein. Aus diesem Grund sind für die Berechnung der Rationen im Jahr 2012 die Tier- und Leistungszahlen des Jahres 2014 verwendet worden.

Die Berechnung der Futtermittelherkunft wurde bei den zugekauften Futtermitteln aufgrund der Angaben des Betriebsleiters oder ansonsten nach der Methode beschrieben in Cutullic et al. (2012) gemacht.

Die Einteilung der Betriebe in die Gruppen Ration adaptiert und Ration nicht adaptiert basiert auf einer Umfrage durch Agrofutura (Uebersax 2016).

Die Datenaufbereitung und -auswertung wurde mit dem Programm R Studio Version 1.1.383, welches das Statistik-Programm R Version 3.4.2 beinhaltet (R Core Team 2017) und folgenden Softwarepaketen durchgeführt:

- *Dplyr* Version 0.7.4 (Wickham et al. 2018)
- *data.table* Version 1.10.4-3 (Dowle und Srinivasan 2018)
- *lubridate* Version 1.7.1 (Grolemund und Wickham 2011)
- *zoo* Version 1.8-1 (Zeileis und Grothendieck 2005)
- *Cairo* Version 1.5-9 (Urbanek und Horner 2015)

- *doBy Version 4.5-15 (Højsgaard und Halekoh 2016)*
- *ggplot2 Version 2.2.1 (Wickham 2009)*
- *ggpmisc Version 0.2.16 (Aphalo 2016)*

Für die Berechnung der Regressionen wurde ein einfaches lineares Modell gemacht. Da pro Betrieb für jeden Wert ein Mittelwert über den ganzen Untersuchungszeitraum gerechnet wurde, stand pro Betrieb jeweils nur ein Wert pro Parameter zur Verfügung, weshalb die Daten unabhängig waren.

Zur Teilnahme der Betrieben an den Bundesprogrammen BTS oder RAUS standen keine Angaben zur Verfügung, weshalb dieser Aspekt in den Ergebnissen und der Diskussion nicht berücksichtigt werden konnte.

### 3.1.3 Erhebung Futterrationskosten

Die Berechnung der Futterrationskosten wurde mit dem an der HAFL entwickelten Programm FUKO gemacht, wobei die Futterrationskosten alle Kosten welche vom Feld (inkl. Ansaat, Düngung, Pflege) bis zur Futtervorlage in die Krippe der Kuh anfallen, umfassen. Grundlage der Berechnung bilden die Buchhaltung 2014 des Betriebes, die Maschinenkosten (Agroscope Tänikon 2014), sowie die Angaben des Betriebsleiters. Es wurde für jedes Futtermittel die Kosten pro Dezitonne (dt) Trockensubstanz (TS) für das Jahr 2014 berechnet. Zur Berechnung der Rationskosten sind die Kosten pro dt / TS mit der im Jahr 2014 verfütterten Menge multipliziert worden. Die Rationskosten des Jahres 2012 basieren auf den Kosten pro Futtermittel in dt/TS des Jahres 2014 multipliziert mit der Futtermenge des Jahres 2012. Für die Berechnung der Gesamtrationskosten sind die effektiv an die laktierenden Milchkühe verfütterten Mengen berücksichtigt worden (Abbildung 6).

Die Berechnung der Futterrationskosten basierte auf den effektiven Maschinenkosten. So wurden alle im Futterbau und der Fütterung eingesetzten Maschinen erfasst. Dabei wurden die Auslastung, der aktuelle Buchwert, die effektive Abschreibung und die Maschinenkosten gemäss der Buchhaltung erhoben. Mithilfe dieser Angaben sind die effektiven Kosten pro Maschineneinheit berechnet worden. Variable Einzelkosten, welche aufgrund eines Futtermittels zum Beispiel das Pressen von Grassiloballen anfallen, wurden direkt diesem zugewiesen. Zur Berechnung der Maschinen- und Arbeitskosten pro Futtermittel sind die jeweiligen Verfahrenskosten gemeinsam mit dem Betriebsleiter definiert worden. So wurden zum Beispiel beim Verfahren «Mähen für Futterkonservierung» definiert, welches Zugfahrzeug mit dem Mähwerk eingesetzt wird und wie viel Zeit der Betriebsleiter für das Bereitstellen der Maschinen, der Fahrt zum Feld und zurück und das Mähen selbst benötigt. Die aufgrund der Verfahren angefallenen Arbeitsstunden, Traktorenstunden und Maschineneinheiten (zum Beispiel Fuder oder Hektaren) sind den Angaben des Betriebsleiters gegenübergestellt worden und mussten plausibel sein. Die nicht bereits in den Verfahrenskosten erfassten Strukturkosten sind aufgrund eines definierten Schlüssels ebenfalls dem Futterbau zugewiesen worden. Die Aufteilung auf die einzelnen Futtermittel erfolgte betriebspezifisch zum Beispiel nach dt TS, Hektare, m<sup>3</sup> Lagerraum.

### Ergebnisse Futterkosten-Berechnung

Betrieb / Futter		Heu	Emd	Grassilage, Flachsilo	Weidegras	Grassilage, Ballen	Energiefutter	Proteinfutter
Jahr	2014	2014	2014	2014	2014	2014	2014	2014
Futterbaufläche	18.8 ha (alle Futter *)	3.8 ha	5.8 ha	6.8 ha	2.3 ha	0.0 ha	0.0 ha	0.0 ha
Futter in dt TS	2'097 dt (Kosten in Franken)	376 dt (Kosten in Franken)	568 dt (Kosten in Franken)	670 dt (Kosten in Franken)	226 dt (Kosten in Franken)	66 dt (Kosten in Franken)	118 dt (Kosten in Franken)	73 dt (Kosten in Franken)
Direktkosten	15'954 7.6	699 1.9	1'057 1.9	1'246 1.9	420 1.9	2'763 41.9	5'471 46.4	4'297 58.9
Fremde Strukturkosten	52'180 24.9	11'049 29.4	16'136 28.4	20'168 30.1	2'188 9.7	760 11.5	1'161 9.8	718 9.8
Maschinen	36'094 17.2	8'025 21.3	11'569 20.4	14'780 22.1	687 3.0	265 4.0	474 4.0	293 4.0
davon Arb. Dritte/Mieten	3'584 1.7	590 1.6	891 1.6	2'103 3.1	- -	- -	- -	- -
Einrichtungen	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
Boden, Meliorationen	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
Gebäude	2'617 1.2	526 1.4	794 1.4	937 1.4	- -	92 1.4	165 1.4	102 1.4
Allg. Betriebskosten	9'277 4.4	1'863 4.4	2'513 4.4	2'964 4.4	1'000 4.4	292 4.4	522 4.4	323 4.4
Personalkosten	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
Schuldzinsen	3'210 1.5	633 1.7	957 1.7	1'128 1.7	381 1.7	111 1.7	- -	- -
Pachtzinsen	984 0.5	201 0.5	304 0.5	358 0.5	121 0.5	- -	- -	- -
Fremdkosten	68'134 32.5	11'748 31.2	17'193 30.3	21'414 32.0	2'609 11.5	3'523 53.4	6'632 56.2	8'015 68.7
Eigene Strukturkosten	57'015 27.2	11'476 30.5	17'215 30.3	20'327 30.3	4'310 19.1	947 14.3	1'692 14.3	1'047 14.3
Zinsanspruch	201 0.1	36 0.1	55 0.1	64 0.1	22 0.1	6 0.1	11 0.1	7 0.1
Lohnanspruch	56'814 27.1	11'440 30.4	17'160 30.2	20'263 30.2	4'289 19.0	940 14.2	1'681 14.2	1'040 14.2
Bruttokosten	125'149 59.7	23'225 61.8	34'408 60.6	41'741 62.3	6'919 30.6	4'470 67.7	8'325 70.5	6'062 83.0
Futterkosten pro dt Trockensubstanz	59.7	61.8	60.6	62.3	30.6	67.7		
Variable Kosten pro dt TS	22	19	18	20	6	47		

\* Alle Futte: Alle eigenen und zugekauften Rau- und Kraftfutter miteingerechnet

Abbildung 6 : Methodik der Futterrationskostenberechnung am Beispiel eines Betriebes. Die Summe der Bruttokosten von allen Futtermitteln (grün & gelbe Spalten) dividiert durch die Futtermenge ergeben die Rationskosten der laktierenden Milchkühe (blaue Spalte).

### 3.1.4 Qualitative Befragung

Zur Beantwortung der Frage bezüglich Akzeptanz der umgesetzten Massnahmen und der Gründe weshalb die Massnahmen nicht ohne Förderung umgesetzt wurden, sind fünf Hypothesen aufgestellt worden:

- H1: Der Betriebsleiter sieht den Milchkarnstoffwert (MHW) als Steuergrösse für die Milchviehfütterung.
- H2: Der Betriebsleiter hat einen fixen MHW-Bereich welcher er anstrebt.
- H3: Der Betriebsleiter ist sich bewusst, dass eine Reduktion des MHW (<25 mg/dl) eine Reduktion der umweltschädlichen Stickstoffemissionen zur Folge hat.
- H4: Der Betriebsleiter geht davon aus, dass eine Reduktion des MHW < 25 mg/dl Mehrkosten und / oder Milchleistungseinbussen zur Folge haben.

In einem nächsten Schritt sind diese Hypothesen operationalisiert worden, damit die Fragestellung im Anschluss an die Befragung ausgewertet werden kann.

Tabelle 1 : Operationalisierung der vier Hypothesen für die qualitative Befragung der Betriebsleiter.

Hypothese	Begriffe	Dimension	Indikator	Frage (was will ich wissen)	Skala (falls statistische Auswertung geplant)	Antwort-Items	Frage (so wie sie im Rahmen der Datenerhebung gestellt wurde)
H1	Steuergrösse	MHW	Milchharnstoffwert ist aktuell bekannt	Liegt der MHW der aktuellen Milchprobe vor? Wurde in den letzten Wochen aufgrund des MHW etwas an der Fütterung geändert?	nominal	Ja / nein	Ist Ihnen der aktuelle Milchharnstoffwert bekannt? Setzen Sie den MHW bei der Rationsgestaltung als Steuergrösse ein?
H2	Fixer MHW-Bereich	MHW	Fixer MHW-Bereich kann genannt werden	Gibt es für den Betriebsleiter einen optimalen MHW? Wo liegt aus sich der Betriebsleiter der optimale MHW?	Nominal Nominal	Ja/nein 0-15 mg 15-20 mg 20-25 mg 25-30 mg 30-40 mg	Streben Sie einen fixen MHW an? Wo liegt dieser fixe MHW-Bereich?
H3	Stickstoffemissionen	MHW	Zusammenhang Stickstoffemissionen / MHW ist bekannt	Ist sich der Landwirt bewusst, dass hohe MHW zu potenziell höheren Stickstoffemissionen führen kann?	Nominal	Ja / nein	Wissen Sie, weshalb eine Reduktion des MHW gefördert wurde?
H4	Mehrkosten	MHW	Höhere Fütterungskosten / Rückgang Milchleistung	Wo liegt der minimale MHW, bei welchem noch keine Milchleistungseinbussen eintreten? Wie hoch müsste der Beitrag pro Kuh sein, damit sie den MHW auf <25 mg reduzieren würden?	Nominal  Verhältnis	0-15 mg 15-20 mg 20-25 mg 25-30 mg 30-40 mg >0.-	Wie hoch würden Sie den minimalen MHW einschätzen, bei welchem noch keine Milchleistungseinbussen eintreten?  Wie hoch müsste der Beitrag pro Kuh sein, damit sie den MHW auf < 30 mg / <25 mg / <20 mg/ <15 mg reduzieren würden?

## 3.2 Auswertung nationaler Milchwahstoffwerte

### 3.2.1 Datengrundlage

Im Rahmen der öffentlich-rechtlichen Milchprüfung werden seit August 2011, ergänzend zu den bestehenden Parametern Zellzahl, Keimzahl, Gefrierpunkt und Hemmstoffnachweis, die Milchwahstoffwerte bestimmt und in der Datenbank der Treuhandstelle Milch (TSM) abgelegt. Diese Milchwahstoffwerte, welche in der Regel zweimal pro Monat aufgrund von Tankmilchproben analysiert werden, bilden die Grundlage für die vorliegende Arbeit. Die Milch von Milchproduzenten, welche ihre Milch selbst vertränten ist somit nicht berücksichtigt.

Insgesamt wurden von der TSM zwei Datensätze jeweils für die Jahre 2012 bis 2016 mit folgenden Parametern zur Verfügung gestellt:

- Anonymisierte Betriebs-ID
- Grund-PLZ: die ersten beiden Ziffern der Postleitzahl des Betriebes
- Die landwirtschaftliche Zonenzugehörigkeit des Betriebes
- Betriebstyp
- Kanton in welchem der Betrieb liegt
- Vermarktete Milchmenge pro Jahr & Betrieb (kg)
- Datum der Probenahme
- Milchwahstoffwert (mg/dl)
- Zellzahl (Zellen/ml)
- Keimzahl (KbE/ml)
- Gefrierpunkt (°C)
- Vermarktete Milchmenge pro Monat & Betrieb (kg)

Die Daten von Sömmerungsbetrieben sind vom Datenbezug ausgeschlossen worden.

Ergänzend zu den Daten von TSM sind aus der AGIS-Datenbank des Bundes weitere Parameter bezogen worden. Die Verknüpfung der Daten war aufgrund der durch die TSM zugewiesene Betriebs-ID möglich. Die bezogenen Daten von der AGIS-Datenbank umfassten ebenfalls die Jahre 2012 bis 2016, wobei lediglich die Daten der Betriebe von welche auch Daten von der TSM zur Verfügung standen, ausgezogen wurden. Der Bezug beinhaltete folgende Parameter:

- Betriebs-ID
- Jahr
- Erhielt Beiträge Programm GMF (ab 2014)
- Erhielt Beiträge Programm RAUS (nur Milchkühe)
- GVE-Milchkühe (ohne 2016)
- Landwirtschaftliche Nutzfläche (LN in m<sup>2</sup>)
- Flächen gemäss Formular A Flächenerhebung (m<sup>2</sup>)
  - Getreide siliert (Code: 543)
  - Silo- und Grünmais (Code: 521)
  - Futterrüben (Code: 523)
  - Offene Ackerfläche, beitragsberechtigt (Code: 594)
  - Offene Ackerfläche, nicht beitragsberechtigt (Code: 595)
  - Übrige offene Ackerfläche, beitragsberechtigt (Code: 597)
  - Übrige offene Ackerfläche, nicht beitragsberechtigt (Code: 598)
  - Kunstwiesen (Code: 601)
  - Übrige Kunstwiesen, beitragsberechtigt (Code: 602)
  - Extensiv genutzte Wiesen (Code: 611)
  - Wenig intensiv genutzte Wiesen (Code: 612)
  - Übrige Dauerwiesen (ohne Weiden) (Code: 613)
  - Weiden (Heimweiden, übrige Weiden ohne Sömmerungsweiden) (Code: 616)
  - Extensiv genutzte Weiden (Code 617)
  - Regiospezifische Biodiversitätsförderflächen (Weiden) (Code 693)
  - Regiospezifische Biodiversitätsförderflächen (Grünflächen, ohne Weiden) (Code 694)
  - Übrige Grünfläche (Dauergrünfläche), beitragsberechtigt (Code: 697)

- Übrige Grünfläche (Dauergrünfläche), nicht beitragsberechtigt (Code: 698)

### 3.2.2 Datenaufbereitung

Der Messbereich für Milchwahnharnstoff liegt beim verwendeten Gerät zwischen 10 mg/dl und 100 mg/dl (Stierli 2017a, persönliche Mitteilung). Basierend auf dieser Tatsache wurden alle Werte ausserhalb des Messbereiches aus dem Datensatz entfernt, wobei dies 5.3 % der Messpunkte entsprach.

In der Regel standen pro Betrieb und Monat zwei Messpunkte zur Verfügung, wobei diese Messpunkte zufällig über den Monat verteilt waren. So ist der Abstand zwischen den Messpunkten sehr unterschiedlich und kann von ein paar Tagen bis hin zu mehreren Wochen betragen. Damit dennoch pro Monat ein verlässlicher Mittelwert pro Betrieb berechnet werden konnte, ist für jeden Betrieb und jeden Tag ein Wert interpoliert worden und aufgrund dieser Werte ist anschliessend der Monatsmittelwert berechnet worden. Um zu exzessives interpolieren zu vermeiden, wurde die Interpolation bei mehr als 30 aufeinanderfolgenden fehlenden Messwerten unterbunden. Die Datenaufbereitung wurde mit dem Programm R Studio Version 1.1.383, welches das Statistik-Programm R Version 3.4.2 beinhaltet (R Core Team 2018) und folgenden Softwarepaketen durchgeführt:

- *Dplyr Version 0.7.4* (Wickham et al. 2018)
- *data.table Version 1.10.4-3* (Dowle und Srinivasan 2018)
- *lubridate Version 1.7.1* (Grolemund und Wickham 2011)
- *zoo Version 1.8-1* (Zeileis und Grothendieck 2005)

Für die Berechnung der Futterflächen aufgrund der Daten aus der Agis-Datenbank wurde wie folgt vorgegangen:

- Grünland = Kunstwiesen + übrige Kunstwiesen, beitragsberechtigt + extensiv genutzte Wiesen + Wenig intensiv genutzte Wiesen + übrige Dauerwiesen (ohne Weiden) + Weiden (Heimweiden, übrige Weiden ohne Sömmerungsweiden) + extensiv genutzte Weiden + Regiospezifische Biodiversitätsförderflächen (Weiden) + Regiospezifische Biodiversitätsförderflächen (Grünflächen, ohne Weiden) + übrige Grünfläche (Dauergrünfläche), beitragsberechtigt + übrige Grünfläche (Dauergrünfläche), nicht beitragsberechtigt
- Maisfläche = Silo- und Grünmais
- Hauptfutterfläche = Grünland + Maisfläche + Futterrüben

Die Regionenzuteilung erfolgte gemäss den sieben Grossregionen laut Bundesamt für Statistik (Bundesamt für Statistik BFS 2017). Eine Übersicht der Regionen ist in der Abbildung 7 abgebildet.

Grossregionen und Kantone der Schweiz  
Les grandes régions et les cantons de la Suisse



Schweizerische Eidgenossenschaft / Confédération suisse / Confederazione Svizzera / Confederaziun svizra  
Eidgenössisches Departement des Innern EDI / Département fédéral de l'intérieur DFI / Bundesamt für Statistik BFS / Office fédéral de la statistique OFS

Abbildung 7 : Die sieben Grossregionen und die 26 Kantone der Schweiz gemäss Bundesamt für Statistik (Bundesamt für Statistik BFS 2018)

### 3.2.3 Statistische Auswertung

Ergänzend zu der bereits aufgeführten Software für die Datenaufbereitung wurden für die statistische Auswertung folgendes Softwarepakete verwendet:

- *nlme Version 3.1-131* (Pinheiro et al. 2018)

Bei den verwendeten Modellen handelt es sich um normale gemischte lineare Modelle mit dem Betrieb als zufälliges Effekt und den erklärenden Variablen als fixe Faktoren. Die Messpunkte basieren auf einer Zeitreihe, weshalb die Modelle auf zeitliche Autokorrelation getestet worden sind. Basierend auf diesem Test konnte festgestellt werden, dass die Daten einer zeitlichen Autokorrelation unterliegen, weshalb dies in den Modellen entsprechend berücksichtigt worden ist. Die Normalverteilung der Residuen wurde mit dem Shapiro-Wilk-Test und visuell durch grafische Darstellungen geprüft. Die Auswahl des richtigen Modells basierte auf einem iterativen Prozess. In einem ersten Schritt sind alle vorhandenen erklärende Variablen in das Modell einbezogen worden. In einem nächsten Schritt sind alle erklärende Variablen, welche keinen signifikanten Einfluss auf den Milchwahstoffwert haben aus dem Modell entfernt worden. Der Test auf die Signifikanz wurde mittels Varianzanalyse (ANOVA, Typ=3) gemacht, wobei von einem Signifikanzniveau von 5 % ausgegangen wurde ( $p < 0.05$ ). Dieser Schritt wurde wiederholt, bis nur noch statistisch signifikante erklärende Variablen vorhanden waren. Anschliessend sind Variablen, welche zwar signifikant sind, jedoch nicht relevant (Einfluss auf Milchwahstoffwert  $< 0.05$  mg/dl) aus dem Modell ausgeschlossen worden.

### 3.2.4 Abschätzung der Verlustreduktion

Die Grundvoraussetzung für die Abschätzung des Reduktionspotenzials von Ammoniakemissionen basierende auf dem Milchwahstoffwert ist das Festlegen eines Milchwahstoffzielwertes. Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Zielwert bei 18 mg/dl basierend auf Schepers und Meijer (1998) festgelegt. Gemäss Aguilar et al. (2012) wurde dem Zielwert eine Sicherheitsmarge von 3.4mg/dl hinzuaddiert, sodass das Reduktionspotential ab einem Milchwahstoffwert von 21.4 mg/dl berechnet wurde. Das Modell zur

Schätzung der Ammoniakemissionen basierend auf dem Milchharnstoffwert stammt von van Duinkerken et al. (2011), wobei zur Vereinfachung für Milchharnstoffwerte zwischen 18 und kleiner als 30 mg/dl von einer Steigerung der Emissionen von 2.5 % pro mg Milchharnstoffwert und bei einem Milchharnstoffwert gleich oder grösser als 30 mg/dl von 3.5 % pro mg ausgegangen worden ist. Für die Berechnung des Modelles standen die Daten einer Milchviehherde, welche in einem Laufstall gehalten und während rund 8.5 Stunden pro Tag geweidet hatte, zur Verfügung. Dabei wurde die Herde in drei Gruppen unterteilt, welche sich durch einen unterschiedlichen Milchharnstoffwert differenzierten (15; 35; 55 mg/dl). Die Messung der Ammoniakemissionen geschah mit Hilfe des Tracergases Schwefelhexafluor (SF6) während 26 Wochen (April bis Oktober).

## 4 Ergebnisse

### 4.1 «Ausgewogene Milchviehfütterung - Analyse ausgewählter Milchwirtschaftsbetriebe»

#### 4.1.1 Beschreibung der untersuchten Betriebe

Im Rahmen der Datenerhebung konnten 33 Betriebe besucht werden, wobei ein Betrieb aufgrund ungenügender Datenqualität von der Auswertung ausgeschlossen worden ist und ein Betrieb nicht bereit war die Zahlen für die Berechnung der Futterrationskosten zur Verfügung zu stellen (Tabelle 2). Somit enthalten die Auswertungen der Futterrationen 32 Betriebe und die Auswertung der Futterrationskosten sowie die Analyse der Akzeptanz der Massnahmen 31.

Im Kanton Graubünden wurden auch Nicht-Verkehrsmilchbetriebe (Kälbermäster) zum Projekt zugelassen. Solche Betriebe unterstehen nicht der öffentlich-rechtlichen Milchqualitätskontrolle, weshalb von diesen keine Milchharnstoffwerte zur Verfügung stehen. Von den 33 besuchten Betrieben fällt ein Betrieb in diese Kategorie, weshalb bei der Auswertung der Milchharnstoffwert ebenfalls die Daten von 31 Betrieben zur Verfügung standen. Die beiden Projektregionen Zentralschweiz und Graubünden konnten gleichmässig mit jeweils, 16 resp. 15 untersuchten Betrieben berücksichtigt werden. Mit 14 Betrieben wurden in der Tal- und Hügelizeone am meisten Betriebe analysiert, gefolgt von der Bergzone III.

Tabelle 2 : Analysierte Betriebe nach Region, Milchleistung und Zone.

	Milchleistung [kg pro Kuh & Jahr]			Zone				Total
	< 6'500	6'500 – 8'000	> 8'000	TZ / HZ	BZ I	BZ II	BZ III	
Betriebe Kanton GR	6	5	6	4	1	3	9	17
Betriebe Kanton ZG	-	2	2	3	-	1	-	4
Betriebe Kanton UR	-	4	-	3	-	1	-	4
Betriebe Kanton NW	-	2	-	1	1	-	-	2
Betriebe Kanton OW	1	4	1	3	2	1	-	6
<b>Total besuchte Betriebe</b>	<b>7</b>	<b>17</b>	<b>9</b>	<b>14</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>33</b>
<b>Total Auswertung Ration</b>	<b>6</b>	<b>17</b>	<b>9</b>	<b>14</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>32</b>
<b>Total Auswertung MHW</b>	<b>6</b>	<b>16</b>	<b>9</b>	<b>14</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>31</b>

Die analysierten Betriebe hatten im Jahr 2014 im Mittel  $25.4 \pm 13.3$  laktierende Milchkühe, welche im Durchschnitt  $25.4 \text{ kg} \pm 4.7 \text{ ECM}$  gaben. Der Median des Laktationsstadiums lag bei 151 Tagen und ebenfalls im Median waren die laktierenden Milchkühe in der dritten Laktation (Abbildung 8, A & B). Acht Betriebe gingen mit allen Kühen auf die Alp, weshalb die Fütterung- und Leistungszahlen für diese Zeit in der Auswertung nicht berücksichtigt worden sind. Das Lebendgewicht der laktierenden Milchkühe, welches aufgrund der linearen Beurteilung geschätzt wurde, lag im Median bei 684 kg und der geschätzte Gesamtverzehr bei 19.7 kg pro Kuh und Tag (Abbildung 8, C & D).



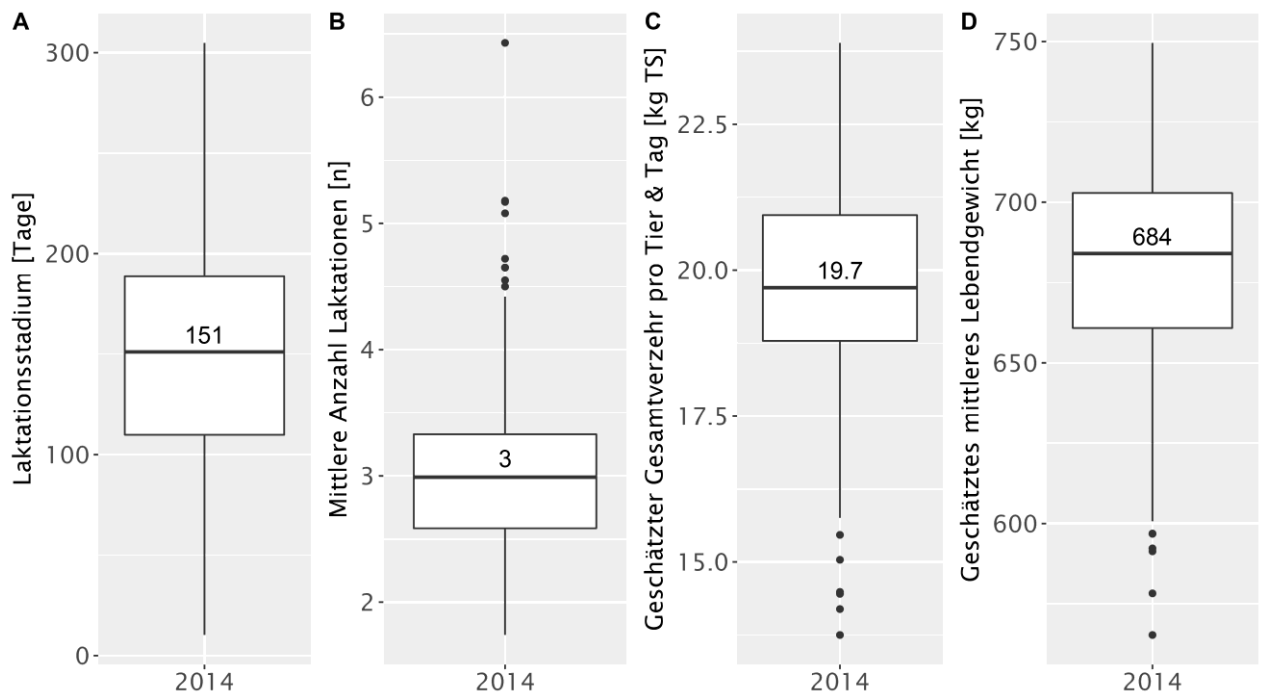


Abbildung 8 : Das Laktationsstadium (A), die mittlere Anzahl Laktationen (B), der geschätzte Gesamtverzehr pro Kuh und Tag (C) und das geschätzte mittlere Lebendgewicht der Milchkühe für das Jahr 2014 basierend auf den Daten von den Zuchtverbänden und der Tierverkehrsdatenbank. Die gezeigten Boxplots basieren auf den monatlichen Mittelwerten (Gesamtverzehr und Lebendgewicht) oder auf dem monatlichen Median (Laktationsstadium und Anzahl Laktationen) pro Betrieb.

#### 4.1.2 Milchwahstoffwerte

Von den analysierten Betrieben wiesen sieben bereits im Referenzjahr 2012 einen Milchwahstoffwert von unter 25 mg/dl auf (Abbildung 9). Betrachtet über die Projektdauer 2013 bis 2015 mit dem Referenzjahr 2012 wiesen alle Betriebe zumindest in einem Jahr einen Rückgang des Milchwahstoffwertes von 2 mg/dl und höher aus. Für das Jahr 2014 wiesen drei Betriebe gegenüber dem Referenzjahr höhere Milchwahstoffwerte auf und ein Betrieb wies einen Rückgang von lediglich 1 mg/dl auf, bei weiteren fünf Betrieben lag der Wert im 2014 immer noch über 25 mg/dl.

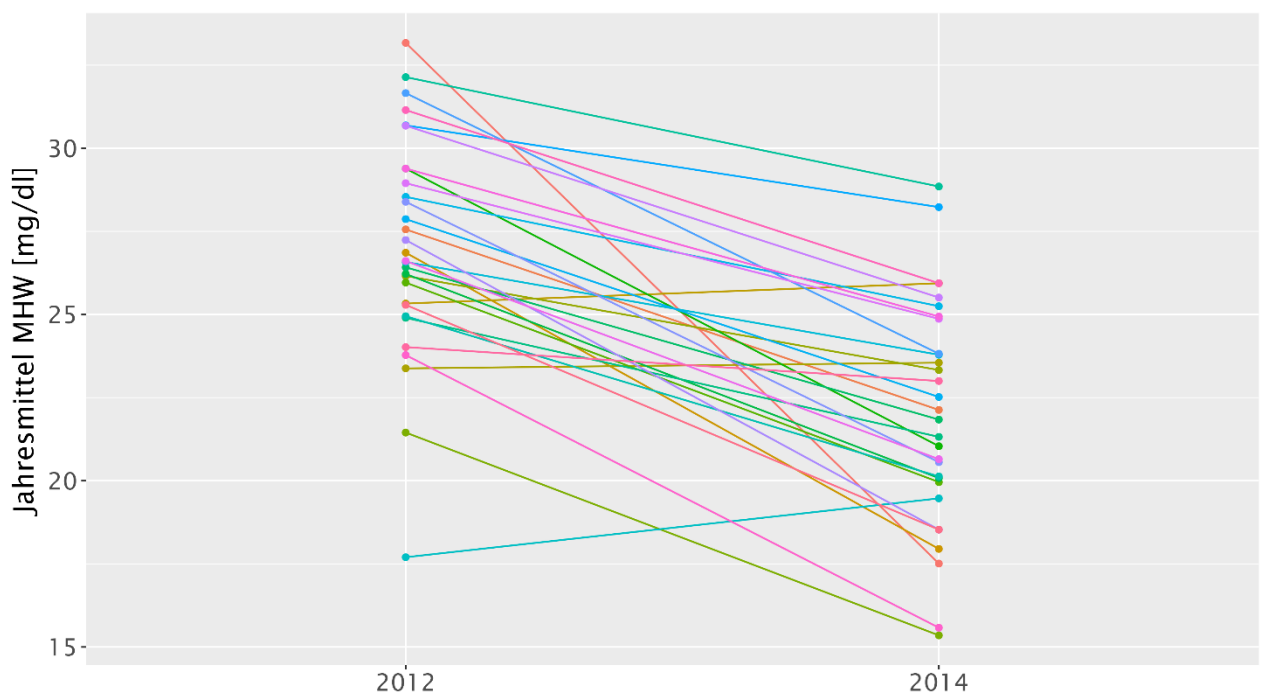


Abbildung 9 : Einzelbetriebliche Entwicklung der Jahresmittelwerte des Milchwahstoffwertes (MHW) für die analysierten Jahre 2012 und 2014.

Über alle untersuchten Betriebe betrachtet betrug der Rückgang des Milchharnstoffwertes im 2014 zum Jahr 2012 5.19 mg/dl (Abbildung 10). Von den drei Projektjahren wiesen die analysierten Betriebe im 2014 die tiefsten Milchharnstoffwerte aus, da die Werte im 2015 wieder leicht angestiegen sind.

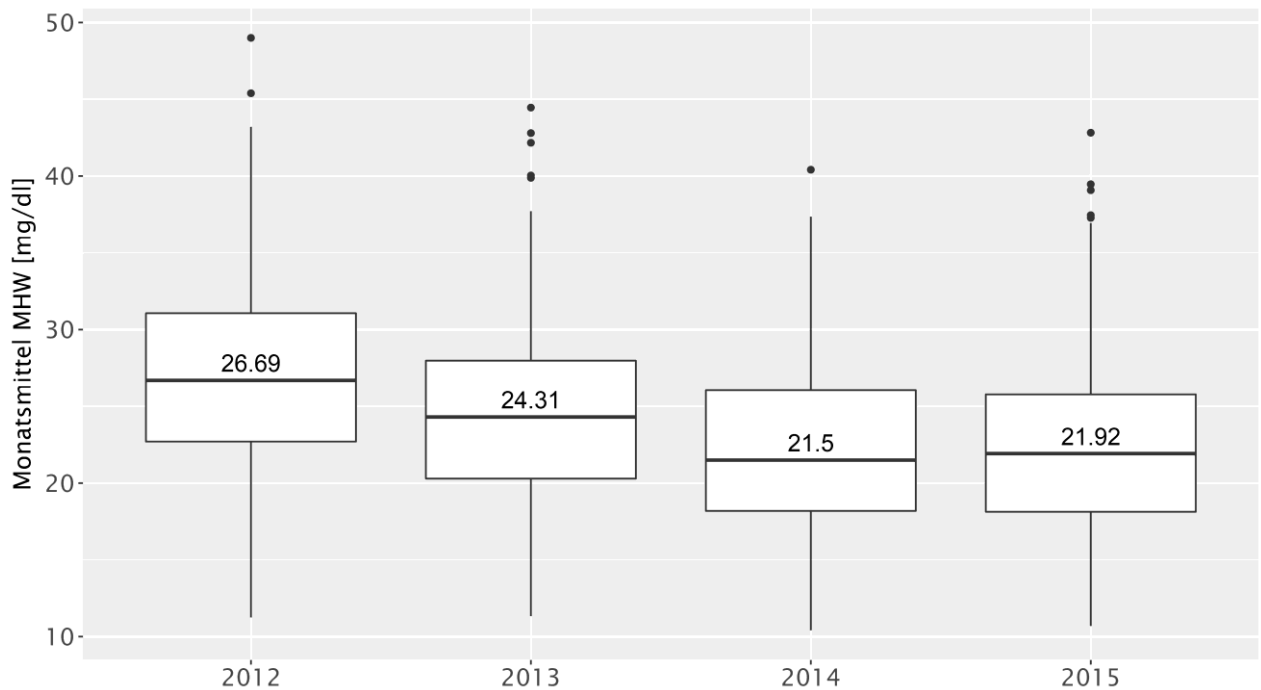


Abbildung 10 : Monatsmittel des Milchharnstoffwertes (MHW) für das Referenzjahr 2012 und die Projektjahre 2013 bis 2015.

Unterteilt man die Betriebe in die Gruppe Ration im Rahmen des Projektes adaptiert und nicht adaptiert fällt auf, dass die Betriebe welche die Ration adaptiert haben im Referenzjahr mit 27.57 mg/dl auf einem deutlich höheren Milchharnstoffwertniveau lagen als die anderen Betriebe mit 25.45 mg/dl (Abbildung 11). Beide Gruppen reduzieren den Milchharnstoffwert vom Referenzjahr zum 2014. Die Gruppe Ration adaptiert wiese jedoch eine um rund 1 mg/dl höhere Reduktion aus als die andere Gruppe (Ration nicht adaptiert: -4.54 mg/dl und Ration adaptiert: -5.61 mg/dl).

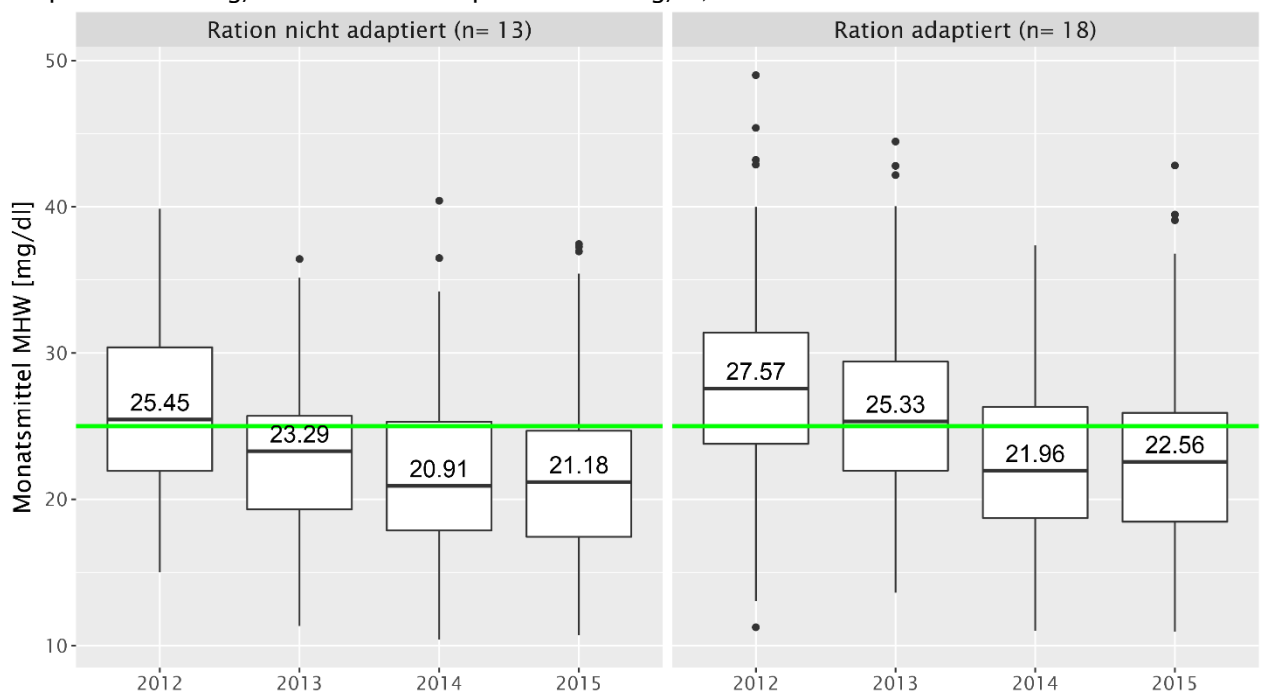


Abbildung 11 : Monatsmittel des Milchharnstoffwertes (MHW) für das Referenzjahr 2012 und die Projektjahre 2013 bis 2015, unterteilt in die beiden Gruppen Ration nicht adaptiert und Ration adaptiert.

### 4.1.3 Futterrationen

Der Wiesenfutteranteil an der Gesamtration lag im Mittelwert 2012 bei 73 % und im 2014 bei 72 % (Abbildung 12). Dabei umfasst Wiesenfutter alle Formen von Wiesenfutter (frisch und konserviert), jedoch nicht das künstlich getrocknete und importierte Luzernenheu. Der Rückgang des Wiesenfutters im 2014 wurde durch höheren Ganzpflanzenmaisanteil (+3 %) kompensiert. Dabei war der Rückgang des frischen Wiesenfutters leicht höher als dieser des Konservierten. Der Anteil anderer Futtermittel wie Zuckerrübenschnitzel, Biertreber oder auch künstlich getrocknetem Luzernenheu ist über alle Betriebe betrachtet nicht von Bedeutung. Auf Stufe Einzelbetrieb nehmen diese Futtermittel in einzelnen Monaten Anteile bis zu 30 % (Luzernenheu) und 15 % (Zuckerrübenschnitzel und Biertreber) in der Ration ein.

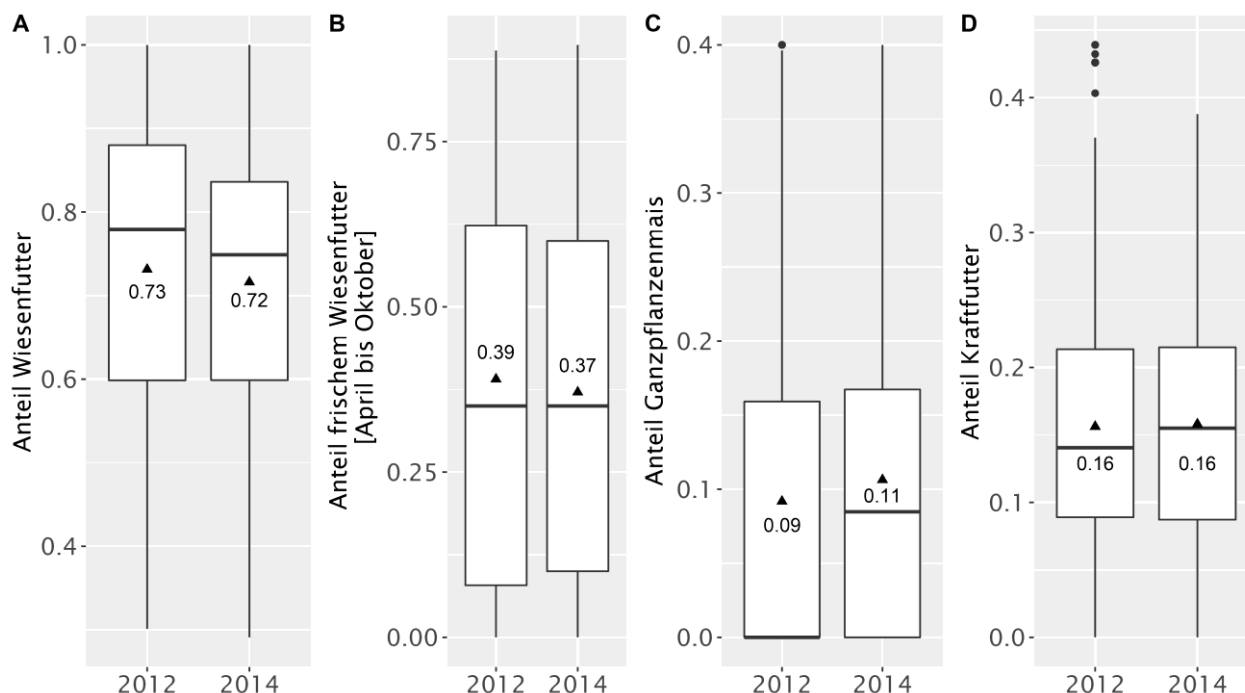


Abbildung 12 : Anteil an der Gesamtration (1 = 100%) der laktierenden Milchkühe der Futtermittel Wiesenfutter (frisch & konserviert; A), frisches Wiesenfutter (nur die Monate April bis Oktober berücksichtigt; B), Ganzpflanzenmais (frisch & konserviert; C) und Kraftfutter (D). Die Boxplots zeigen die Gesamtrationsanteile im Monatsmittelwerte der laktierenden Kühe pro Betrieb. Der Mittelwert ist mit dem Dreiecksymbol und der eingetragenen Zahl aufgeführt.

Werden die Rationen differenziert nach den Betrieben welche die Rationen aufgrund des Projektes adaptiert haben und solche welche nichts unternommen haben dargestellt, werden die Veränderungen noch deutlicher sichtbar (Abbildung 13). Die Gruppe Ration adaptiert reduzierte den Wiesenfutteranteil im Mittel um drei Prozent und den Wiesenfutteranteil frisch um zwei Prozent. Dennoch wies diese Gruppe auch im 2014 höhere Anteile an Wiesenfutter und Wiesenfutter frisch auf, als die andere Gruppe. Beim Anteil Ganzpflanzenmais wurden die Anteile bei der Gruppe mit der adaptierten Ration im Mittel um drei Prozent erhöht und die Kraftfuttermengen um ein Prozent.

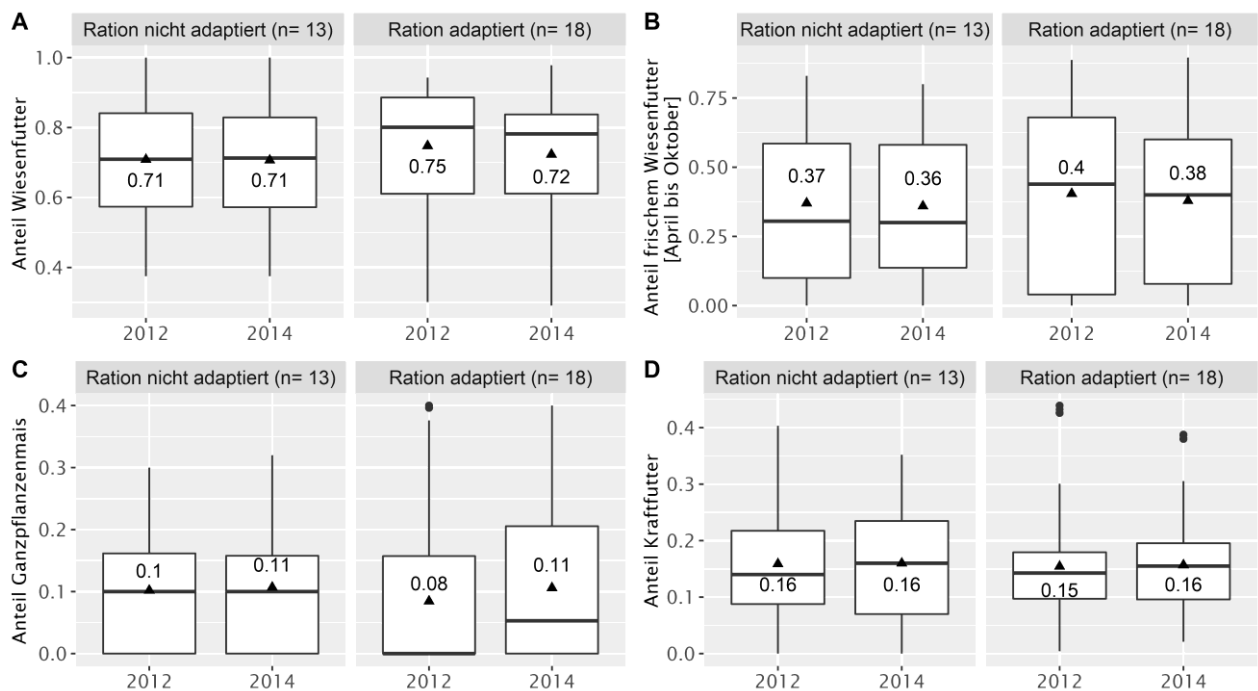


Abbildung 13 : Anteil an der Gesamtration (1 = 100%) der lactierenden Milchkühe der Futtermittel Wiesenfutter (frisch & konserviert; A), frisches Wiesenfutter (nur die Monate April bis Oktober berücksichtigt; B), Ganzpflanzenmais (frisch & konserviert; C) und Kraftfutter (D) für die Betriebsgruppe Ration nicht adaptiert und Ration adaptiert. Die Boxplots zeigen die Monatsmittelwerte der lactierenden Kühe pro Betrieb. Der Mittelwert ist mit dem Dreiecksymbol und der eingetragenen Zahl aufgeführt.

Die sehr hohen Kraftfutteranteile haben sich im Jahr 2014 gegenüber dem 2012 über alle Betriebe betrachtet reduziert (Abbildung 12, D). Es kann somit gemutmasst werden, dass einzelne Betriebe im Rahmen des Projektes sehr hohe Kraftfuttermengen in der Ration reduziert haben. Dies hat sich jedoch nicht im Mittelwert der Kraftfuttermengen zwischen den untersuchten Jahren niedergeschlagen. Da die Kraftfuttermenge die Nährstoffkonzentration nicht berücksichtigt, diese jedoch zwischen verschiedenen Kraftfuttern sehr stark variieren kann, sind in der Abbildung 14 die Anteile an Energie und APD (absorbierbares Protein im Darm) aus dem Kraftfutter stammend, abgebildet. Es zeigt sich, dass sich die Anteile aus dem Kraftfutter von 2012 zu 2014 im Mittel nicht verändert haben.

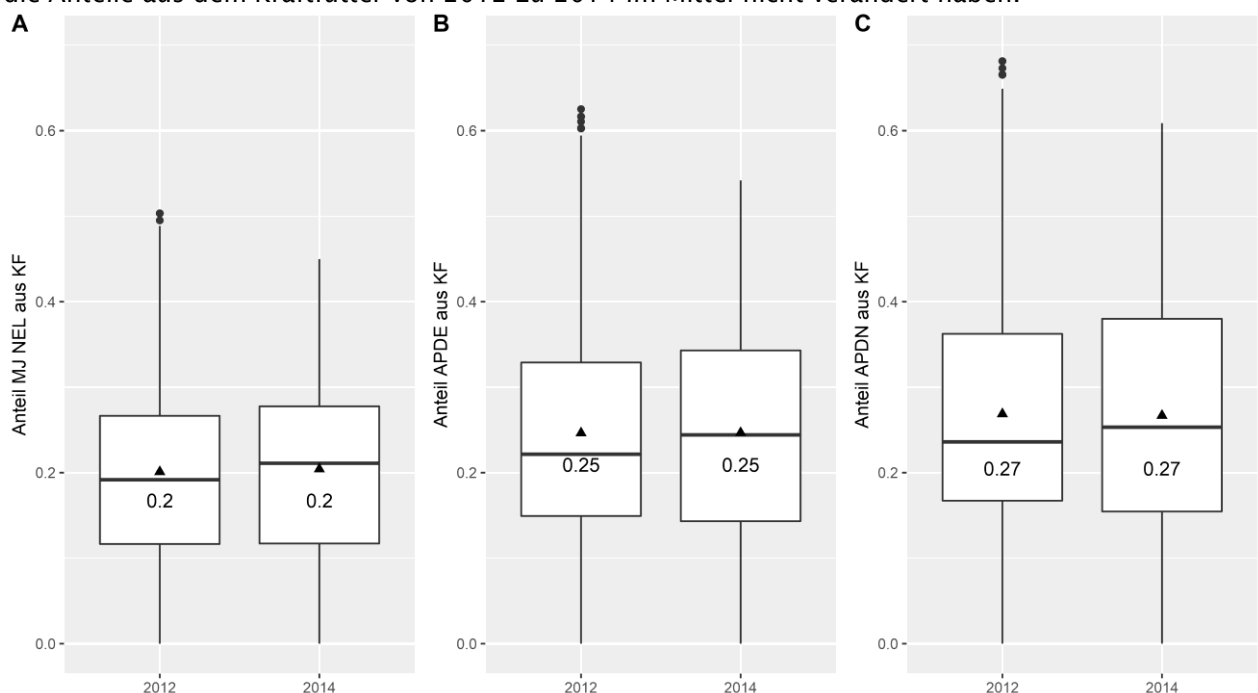


Abbildung 14 : Anteil an der Gesamtnährstoffversorgung für die Jahr 2012 und 2014 an MJ NEL (A), APDE (B) und APDN (C), welches aus dem Kraftfutter stammt. Die Boxplots zeigen die Monatsmittelwerte der lactierenden Kühe pro Betrieb.

Die beiden Gruppen Ration adaptiert und Ration nicht adaptiert unterscheiden sich beim Anteil Energie aus dem Kraftfutter in beiden Projektjahren nicht. Bei beiden Betriebsgruppen stammt rund 20 % des Gesamtenergiebedarfs der laktierenden Kühe aus dem Kraftfutter. Bezüglich APDE weist die Gruppe Ration adaptiert im Jahr 2014 eine Steigerung von einem Prozent gegenüber dem Jahr 2012 aus (Abbildung 15). Bei der Gruppe Ration nicht adaptiert bleibt der Anteil in beiden Jahren im Mittel gleich. Anders verhält es sich beim APDN: Hier gibt es im Mittel der Gruppe Ration adaptiert keine Veränderung und bei der Gruppe Ration nicht adaptiert einen Rückgang von einem Prozent.

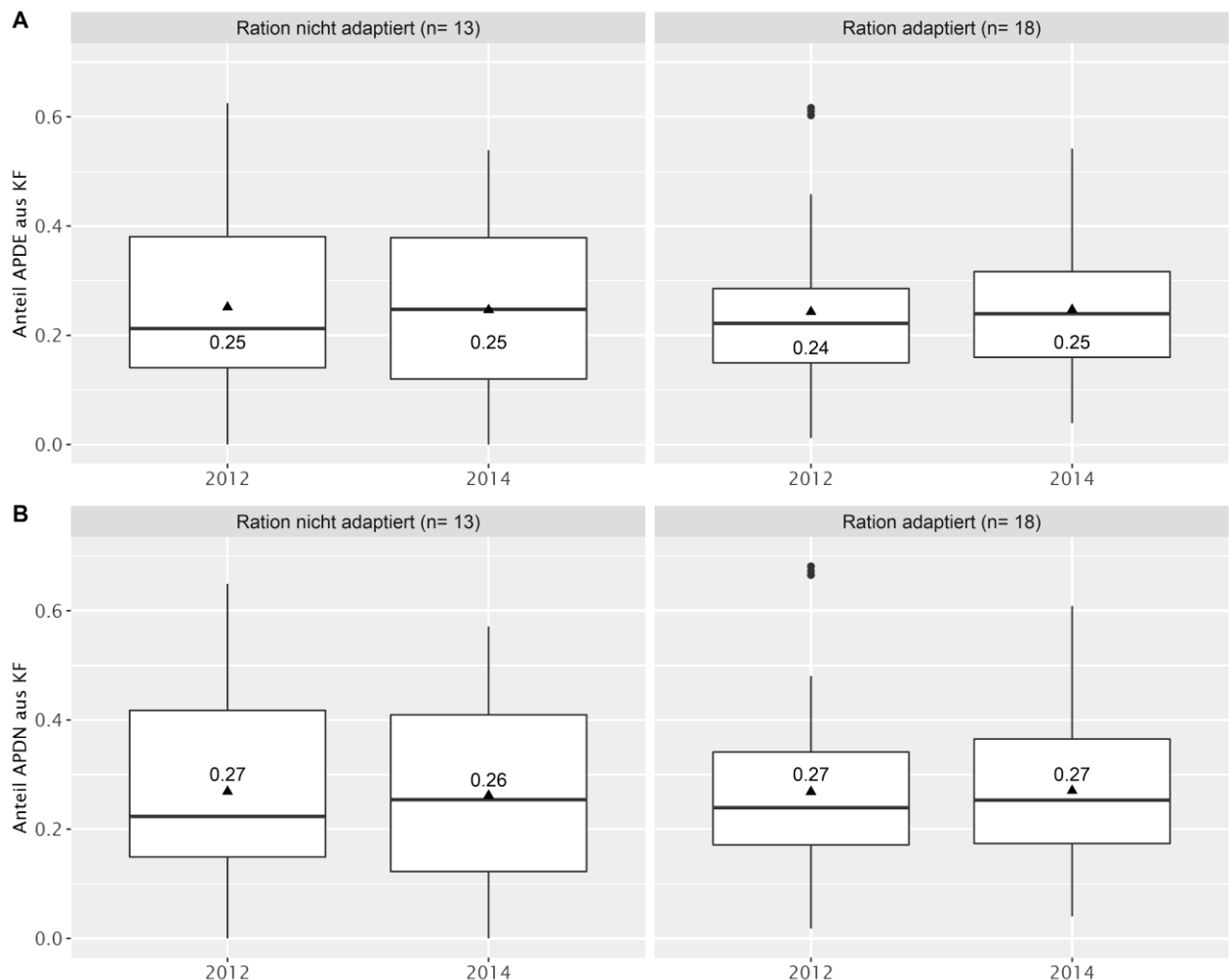


Abbildung 15 : Anteil an der Gesamtnährstoffversorgung für die Jahr 2012 und 2014 an APDE (A) und APDN (B), welches aus dem Kraftfutter stammt für die Betriebsgruppe Ration nicht adaptiert und Ration adaptiert. Der Mittelwert ist mit dem Dreieckssymbol und der eingetragenen Zahl aufgeführt.

Die Auswertung der analysierten Betriebe zeigte keinen Zusammenhang zwischen dem Wiesenfutteranteil und dem Milchnährstoffwert im Jahresmittel (Abbildung 16). Deutlich zu erkennen ist das tiefere Milchnährstoffwertniveau des Jahres 2014 gegenüber dem 2012. Ähnlich ist das Bild bei der Gegenüberstellung des Anteils Wiesenfutter frisch, dem Kraftfutteranteil und dem Milchnährstoffwert: Es besteht kein Zusammenhang (Abbildung 17 & Abbildung 18).

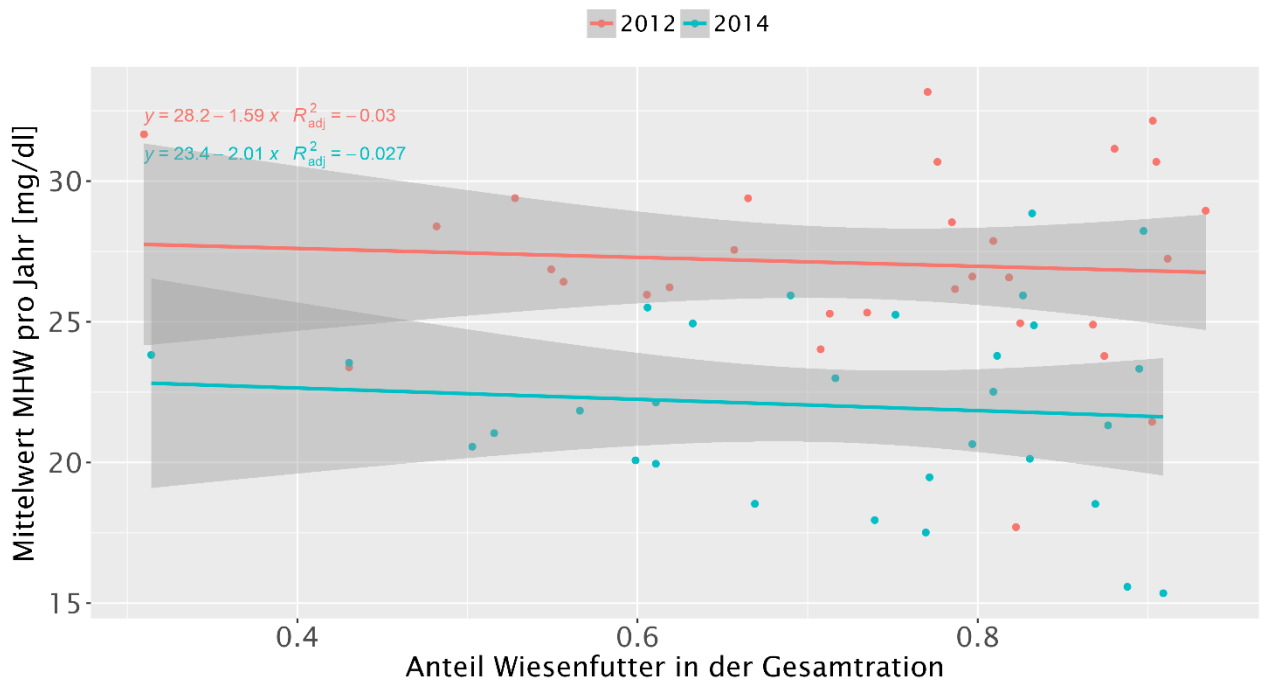


Abbildung 16 : Anteil an Wiesenfutter (frisch & konserviert) in der Gesamtration im Jahresmittel pro Betrieb gegenüber dem Jahresmittelwert des Milchharnstoffwertes für die Jahre 2012 und 2014. Einfaches lineares Modell, grau schattierte Fläche entspricht dem 95% Vertrauensintervall.

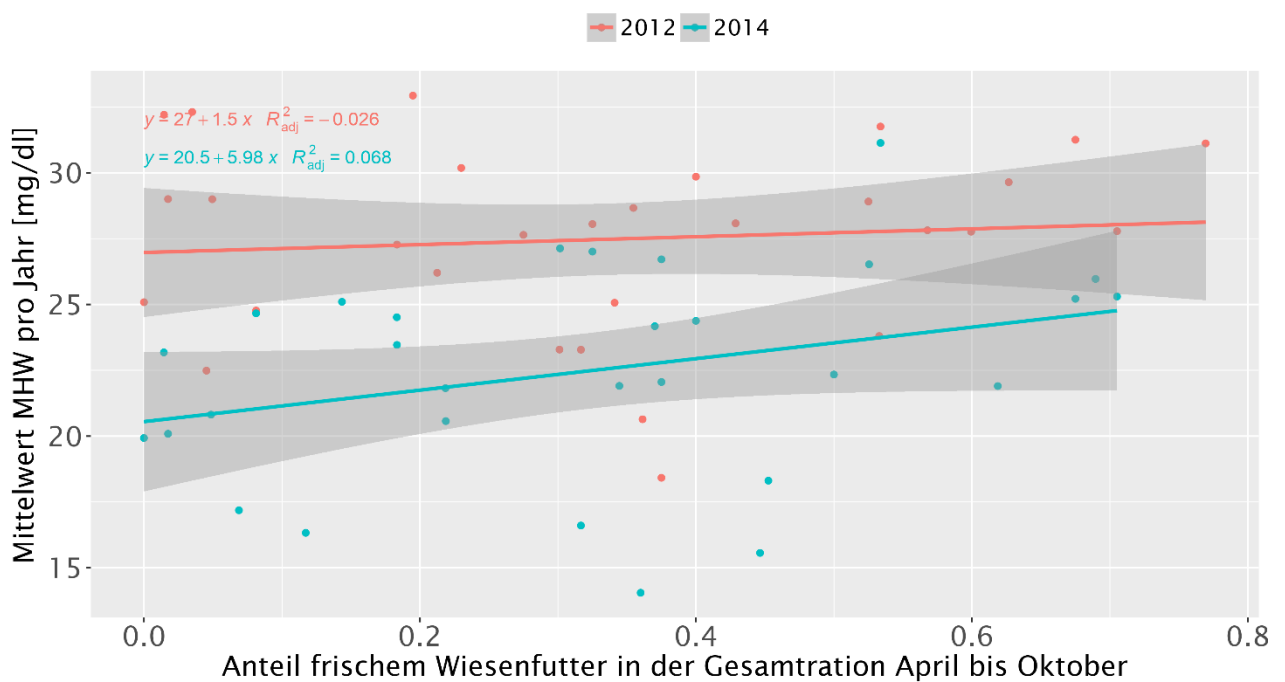


Abbildung 17 : Anteil an frischem Wiesenfutter in der Gesamtration im Jahresmittel für die Zeit April bis Oktober pro Betrieb gegenüber dem Jahresmittelwert des Milchharnstoffwertes für die Jahre 2012 und 2014. Einfaches lineares Modell, grau schattierte Fläche entspricht dem 95% Vertrauensintervall.

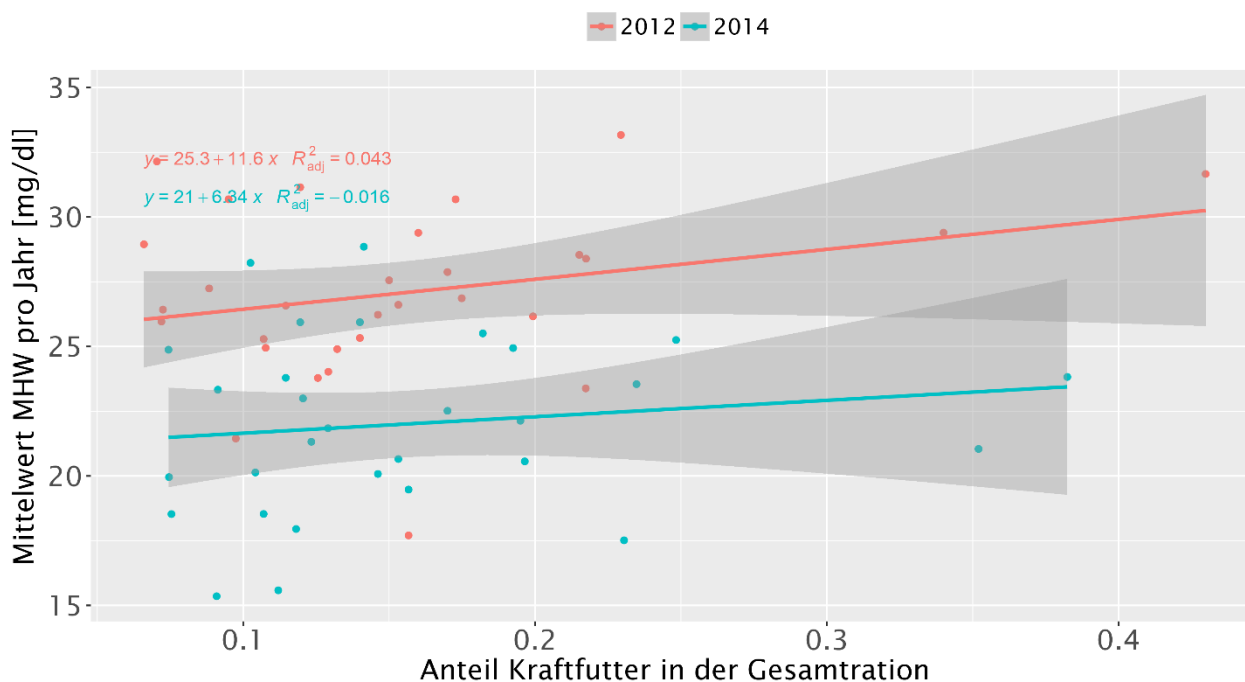


Abbildung 18 : Anteil an Kraftfutter in der Gesamtration im Jahresmittel pro Betrieb gegenüber dem Jahresmittelwert des Milchnitrostoffwertes für die Jahre 2012 und 2014. Einfaches lineares Modell, grau schattierte Fläche entspricht dem 95% Vertrauensintervall.

Ein leichter Zusammenhang konnte aufgrund der analysierten Betriebe zwischen dem APDE-Überangebot und dem Milchnitrostoffwert für das Jahr 2012 festgestellt werden (Abbildung 19). Interessanterweise ist der Zusammenhang für die Gruppe Ration adaptiert stärker als für die Gruppe Ration nicht adaptiert (Abbildung 20). Mit einem korrigierten Bestimmtheitsmass ( $R^2_{adj}$ ) von 0.31 besteht im Jahr 2012 für die Gruppe Ration adaptiert ein leichter Zusammenhang zwischen dem APDE-Gehalt der Gesamtration und dem Milchnitrostoffwert, welcher bei der Gruppe Ration nicht adaptiert nicht festgestellt werden kann ( $R^2_{adj} = 0.045$ ; Abbildung 20). Für das Jahr 2014 kann kein Zusammenhang festgestellt werden.

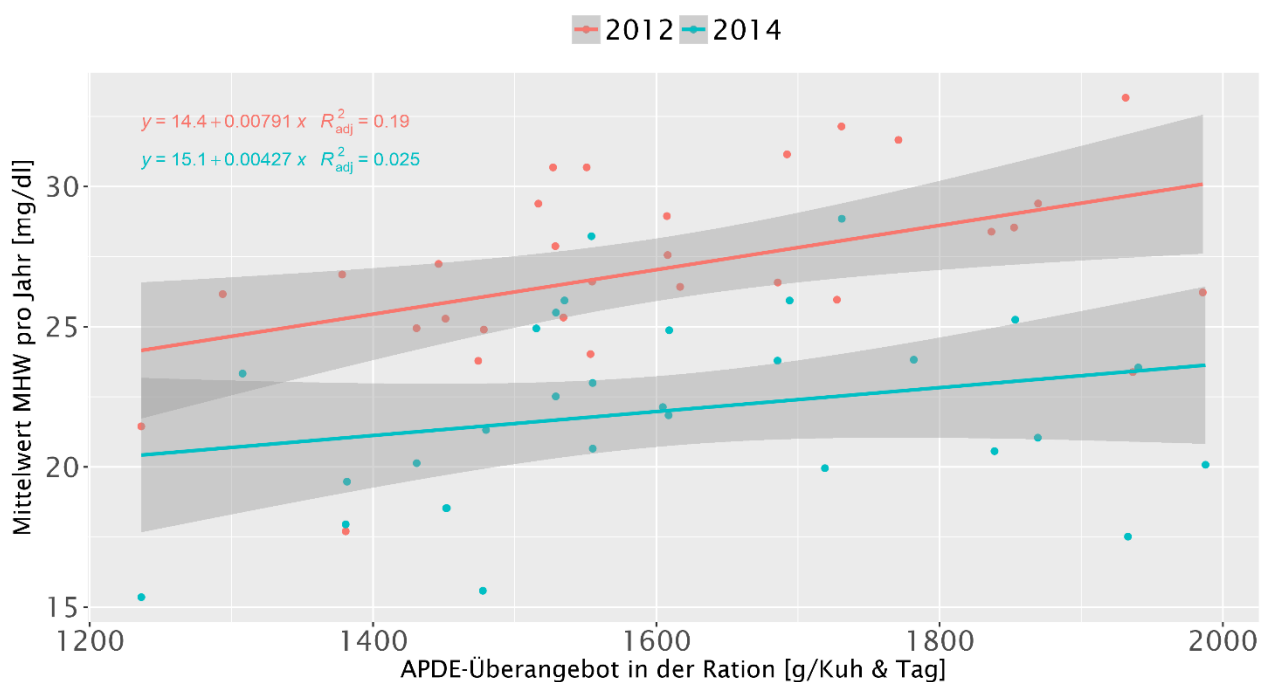


Abbildung 19 : APDE-Überangebot in Gramm pro Kuh und Tag im Jahresmittel pro Betrieb gegenüber dem Jahresmittelwert des Milchnitrostoffwertes für die Jahre 2012 und 2014. Einfaches lineares Modell, grau schattierte Fläche entspricht dem 95% Vertrauensintervall.

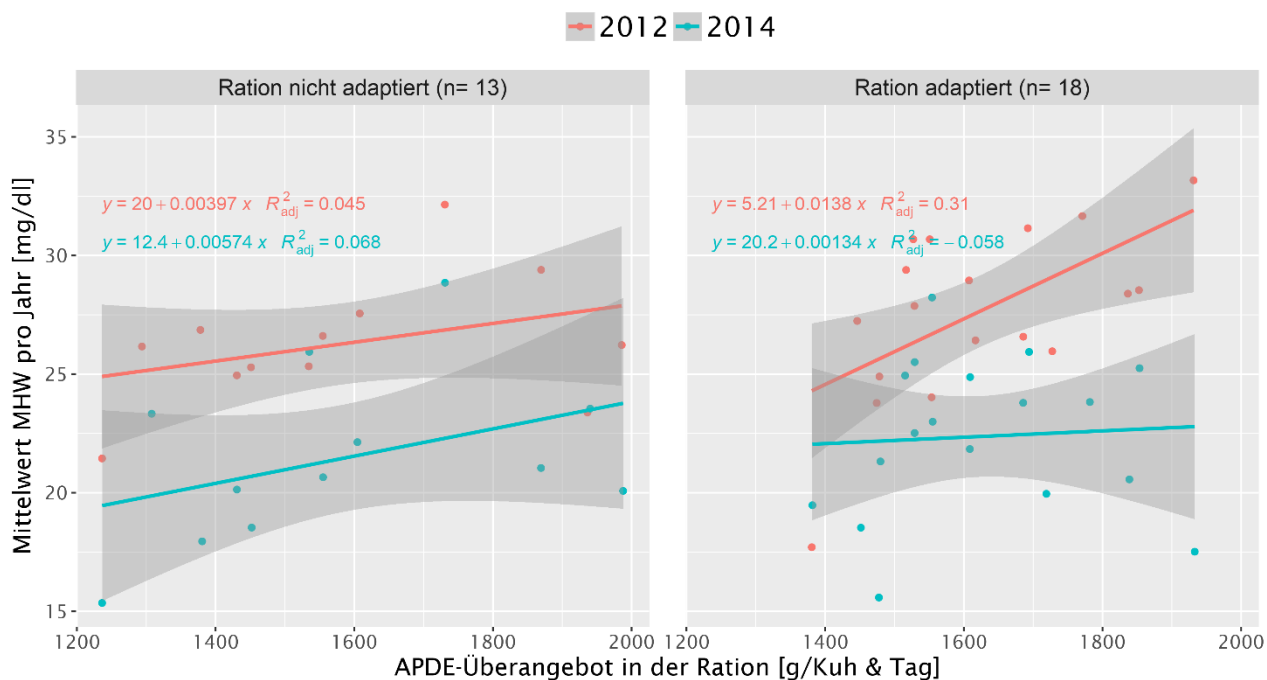


Abbildung 20 : APDE- Überangebot in Gramm pro Kuh und Tag im Jahresmittel pro Betrieb gegenüber dem Jahresmittelwert des Milchnitrogenwertes für die Jahre 2012 und 2014 für die Betriebsgruppe Ration nicht adaptiert und Ration adaptiert. Einfaches lineares Modell, grau schattierte Fläche entspricht dem 95% Vertrauensintervall.

Ein ähnliches Bild wie beim Überangebot an APDE zeigt sich beim APDN: Ein leichter Zusammenhang über alle Betriebe betrachtet für das 2012 (Abbildung 21), jedoch kein Zusammenhang für die Betriebe der Gruppe Ration nicht adaptiert und ein noch deutlicherer Zusammenhang für die Gruppe Ration adaptiert im Jahr 2012 ( $R^2_{adj} = 0.29$ ; Abbildung 22).

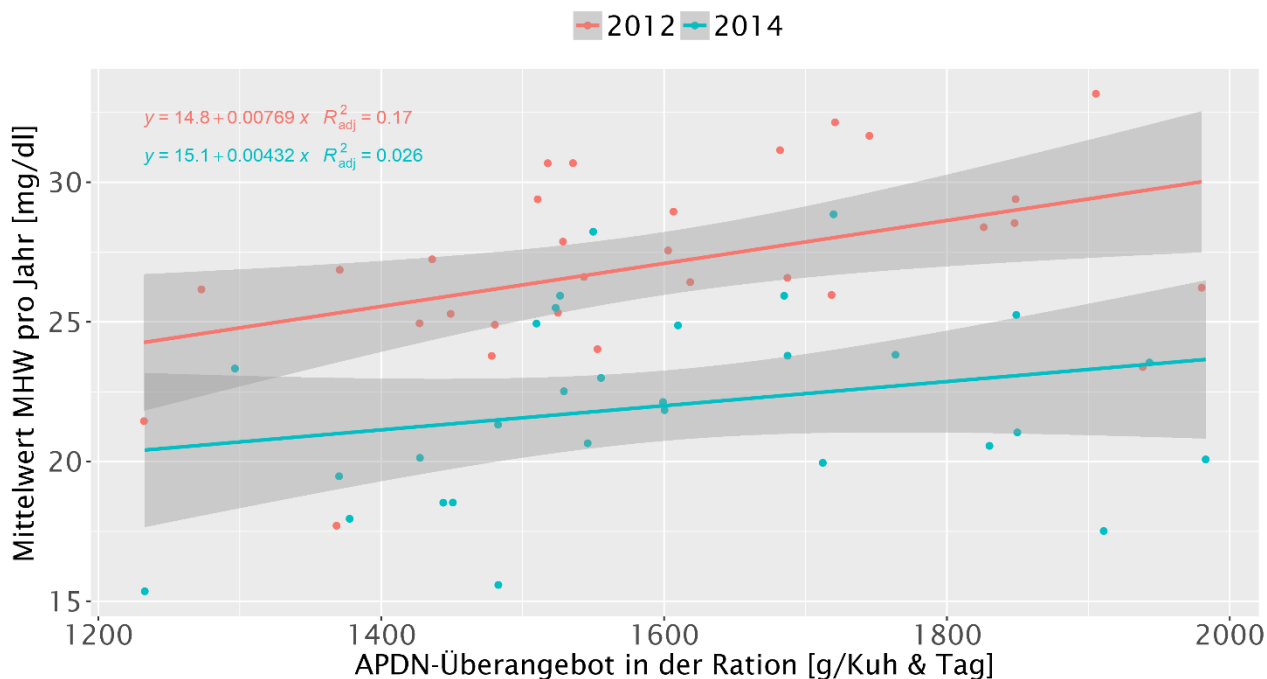


Abbildung 21 : APDN-Überangebot in Gramm pro Kuh und Tag im Jahresmittel pro Betrieb gegenüber dem Jahresmittelwert des Milchnitrogenwertes für die Jahre 2012 und 2014. Einfaches lineares Modell, grau schattierte Fläche entspricht dem 95% Vertrauensintervall.



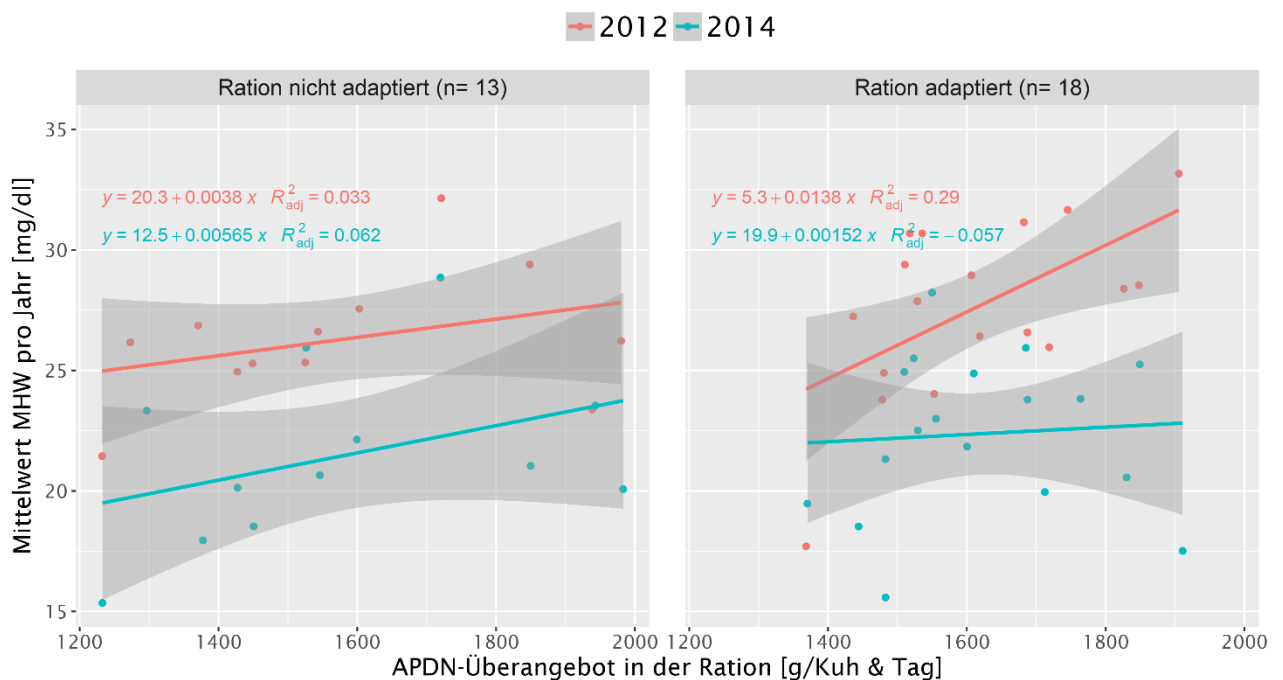


Abbildung 22 : APDN- Überangebot in Gramm pro Kuh und Tag im Jahresmittel pro Betrieb gegenüber dem Jahresmittelwert des Milchharnstoffwertes für die Jahre 2012 und 2014 für die Betriebsgruppe Ration nicht adaptiert und Ration adaptiert. Einfaches lineares Modell, grau schattierte Fläche entspricht dem 95% Vertrauensintervall.

Im Gegensatz zu den Resultaten über alle Betriebe betrachtet, kann auf Stufe Einzelbetrieb bei Betrieben mit überdurchschnittlichen Kraftfuttermengen in der Ration teilweise ein Zusammenhang zwischen den im Rahmen des Projektes ergriffenen Fütterungsmassnahmen und dem Rückgang des Milchharnstoffwertes festgestellt werden. Dies insbesondere bei Betrieben, welche den Einsatz der proteinreichen Kraftfuttermittel zu wenig auf die Tierleistung und die Grundfutterqualität abgestimmt haben. So erreicht z.B. ein Betrieb einen Rückgang des Milchharnstoffwertes von 31.86 mg/dl im 2012 auf 17.01 mg/dl im 2014 durch eine Reduktion des Sojaschroteinsatzes um 24% und einer Erhöhung des Einsatzes von Gerste um 15%. Trotz dieser grossen Veränderung der Kraftfuttermengen, veränderte sich der Anteil Kraftfutter an der Gesamtration nicht und lag in beiden Jahren bei 23%. Bei diesem Betrieb führte die Reduktion der Futterproteinmenge zu einer Reduktion des Milchharnstoffwertes.

#### 4.1.4 Einfluss der Massnahmen auf Kosten und Leistungen

Im Mittel über alle Betriebe liegen die Futter- und Fütterungskosten für die laktierenden Milchkühe 2012 bei Fr. 73.- pro dt TS und 2014 bei Fr. 71.- pro dt TS (Abbildung 23, A). Zwischen den Gruppen Ration nicht adaptiert und Ration adaptiert kann bezogen auf den Mittelwert kein wesentlicher Unterschied ausgemacht werden (Abbildung 23, B). Einzig der Kostenrückgang vom 2012 zum 2014 ist bei der Gruppe Ration nicht adaptiert grösser als bei der anderen Gruppe (Abbildung 23, B).

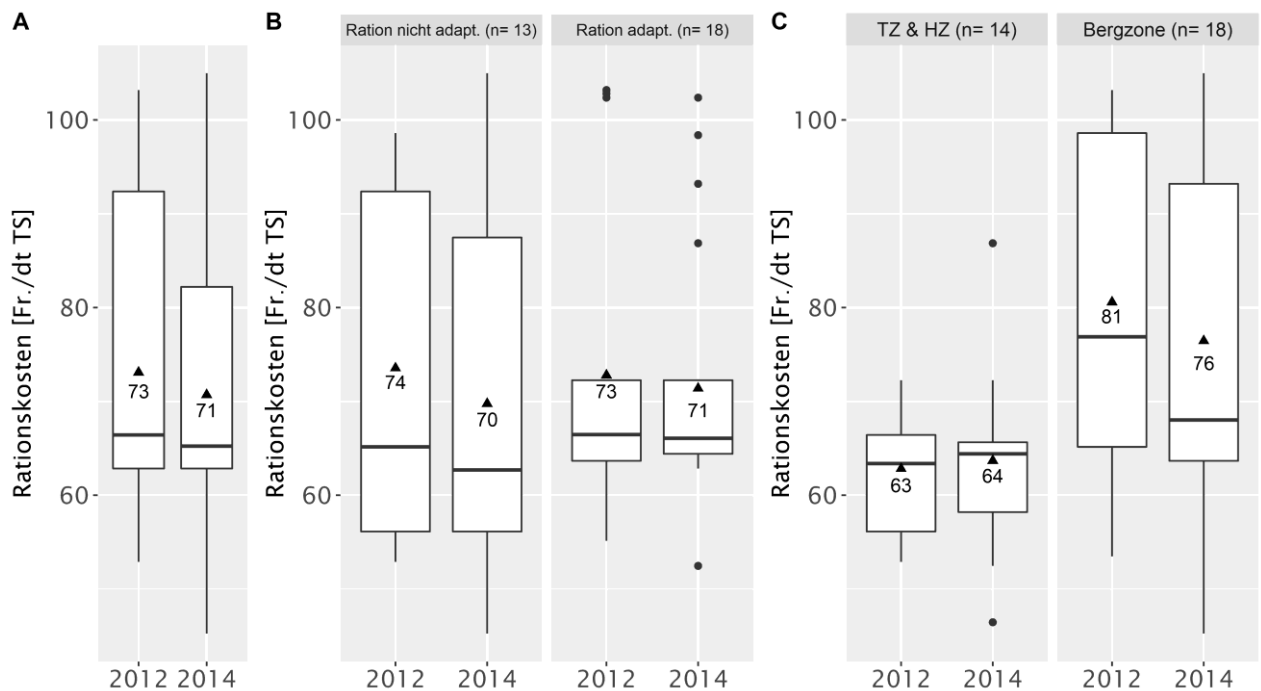


Abbildung 23 : Futterrationskosten der untersuchten Betriebe für die Jahre 2012 und 2014 als gesamtes (A), für die beiden Gruppen Ration nicht adaptiert und Ration adaptiert (B) und differenziert nach Zone (C). Der Mittelwert ist mit dem Dreieckssymbol und der eingetragenen Zahl aufgeführt.

Die Streuung innerhalb desselben Jahres ist sehr gross, so liegen die berechneten Kosten für das 2012 zwischen Fr. 53.- pro dt TS und Fr. 103.- pro dt TS und im Jahr 2014 zwischen Fr. 45.- und Fr. 105.- pro dt TS. Die grosse Streuung ist unter anderem bedingt durch die Heterogenität der untersuchten Betriebe bezüglich Fütterungssystem und Zoneneinteilung. So befinden sich in der Stichprobe Betriebe von der Talzone bis in die Bergzone III und Betriebe welche aufgrund der Rohmilchkäseproduktion silofrei füttern müssen. In der Abbildung 23 (C) sind deshalb die Futter- und Fütterungskosten differenziert nach Tal- und Hügelzone und Bergzone dargestellt. Aufgrund der erschwerten Bedingungen in der Bergzone, der teureren Mechanisierung und der kürzeren Vegetationsdauer liegen die Kosten in der Bergzone deutlich über den Kosten in der Tal- und Hügelzone. So liegen die Kosten in der Tal- und Hügelzone in beiden Jahren im Mittel zwischen Fr. 63.- bis Fr. 64.- pro dt TS und in der Bergzone zwischen Fr. 81.- und Fr. 76.- pro dt TS.

Die Auswertung der Resultate der Milchkontrollen durch die Zuchtverbände zeigt keinen Einfluss auf die Leistung der Jahre 2012 und 2014 (Abbildung 24). So unterscheiden sich die energiekorrigierten Milchmengen nur geringfügig zwischen den beiden Jahren. Zwar sind die Fettgehalte im Jahr 2014 leicht geringer als im 2012, aufgrund der etwas höheren Milchmengen und des leicht höheren Proteingehaltes ist die energiekorrigierte Milchmenge im Jahr 2014 sogar etwas höher als 2012.

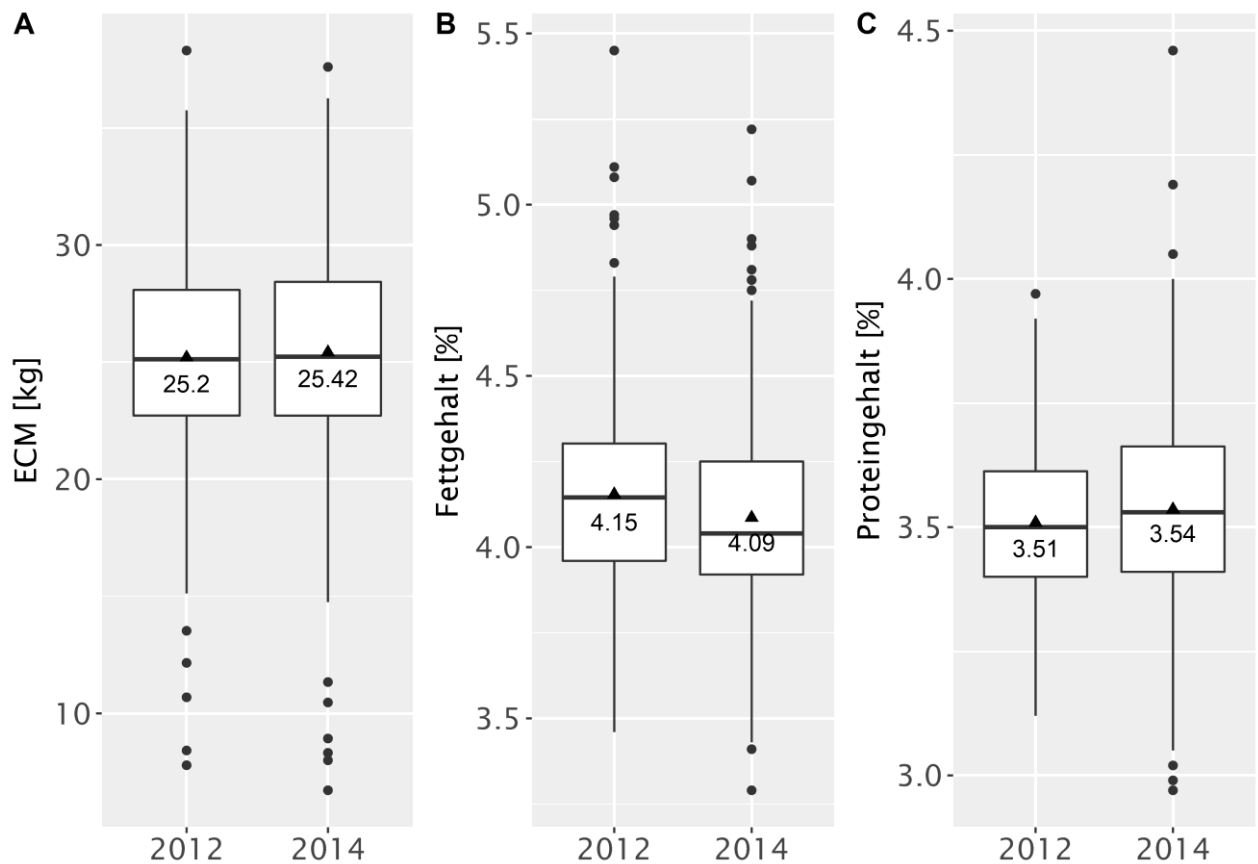


Abbildung 24 : Energiekorrigierte Milchmenge (A), Fettgehalt (B) und Proteingehalt (C) der monatlichen Herdenmittelwerte pro Betrieb für die Jahre 2012 und 2014. Der Mittelwert ist mit dem Dreieckssymbol und der eingetragenen Zahl aufgeführt.

Werden die Milchleistungsdaten differenziert nach den beiden Gruppen Ration nicht adaptiert und Ration adaptiert dargestellt fällt auf, dass die Betriebe der Gruppe Ration adaptiert im Mittel in beiden Jahren mehr energiekorrigierte Milch produziert haben und höhere Proteingehalte ausweisen (Abbildung 25). Der Jahreseffekt ist jedoch bei beiden Gruppen in etwa gleich: Leicht tiefere Fettgehalte im 2014 als 2012, leicht höhere Proteingehalte im 2014 als 2012 und insgesamt in etwa gleiche energiekorrigierte Milchmenge in beiden Jahren.

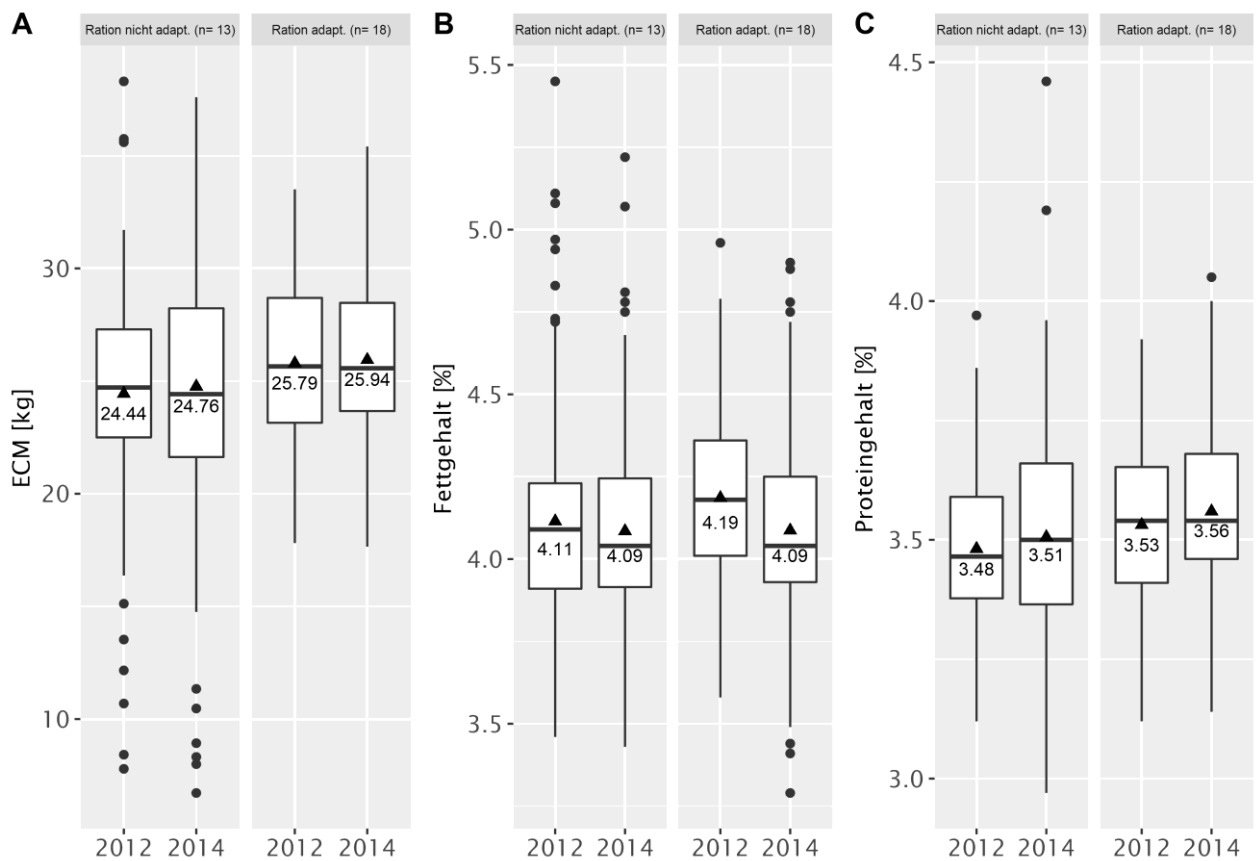


Abbildung 25 : Energiekorrigierte Milchmenge (A), Fettgehalt (B) und Proteingehalt (C) der monatlichen Herdenmittelwerte pro Betrieb für die Jahre 2012 und 2014, differenziert nach den Gruppen Ration nicht adaptiert und Ration adaptiert. Der Mittelwert ist mit dem Dreiecksymbol und der eingetragenen Zahl aufgeführt.

#### 4.1.5 Analyse der Akzeptanz der umgesetzten Massnahmen

Die Befragung der Betriebsleiter im Rahmen des Betriebsbesuches hat gezeigt, dass allen (n=32) der aktuelle Milchharnstoffwert der Tankmilch bekannt war. Zudem setzt eine Mehrheit (n=28) der Betriebsleiter den Milchharnstoffwert als Steuergrösse für die Rationsgestaltung ein und passt somit die Fütterung aufgrund dieses Wertes an. Dabei strebt die Mehrheit (n=29) der Betriebe einen fixen Milchharnstoffwertbereich an. Eine grosse Mehrheit der Betriebe (n=22) nannte somit einen Bereich zwischen 15 und 25 mg/dl als angestrebten Milchharnstoffwertbereich.

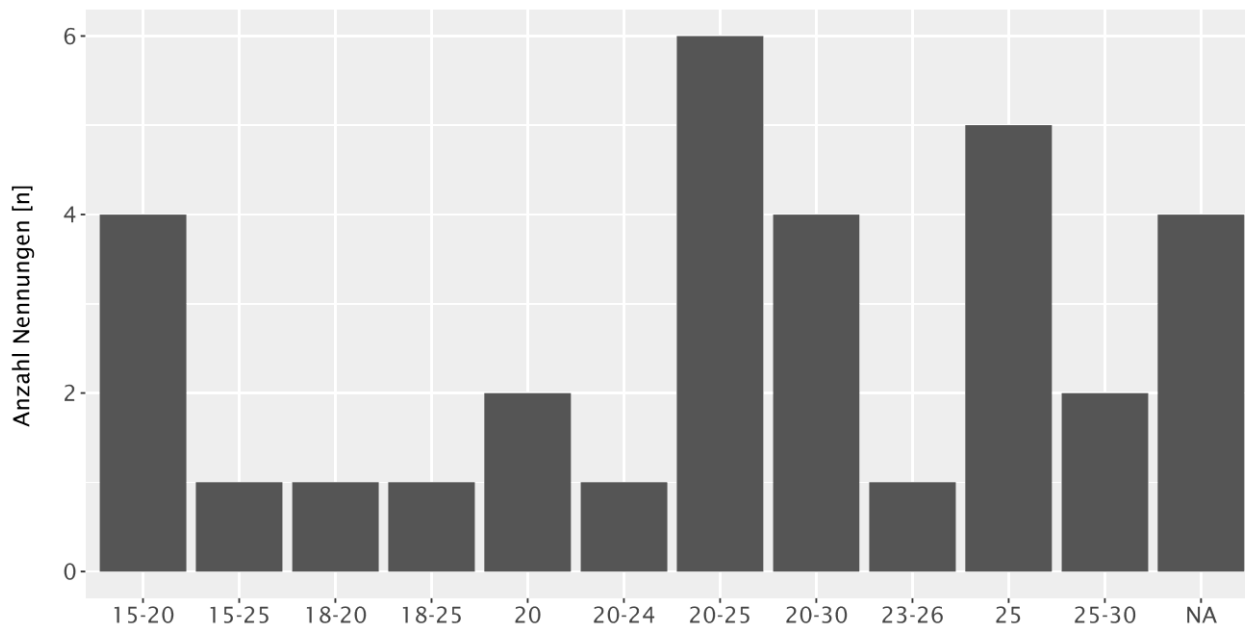


Abbildung 26 : Durch die Betriebsleiter genannte Milchharnstoffbereiche welche angestrebt werden.

28 der 32 befragten Betriebsleiter wussten, dass das Projekt «Ausgewogene Milchviehfütterung» zum Ziel hatte die Ammoniakemissionen aus der Milchviehhaltung zu reduzieren. Bei der Erfragung des minimalen Milchharnstoffwerts bei welchem noch keine Milchleistungseinbussen entstehen, wurden folgende Bereiche genannt:

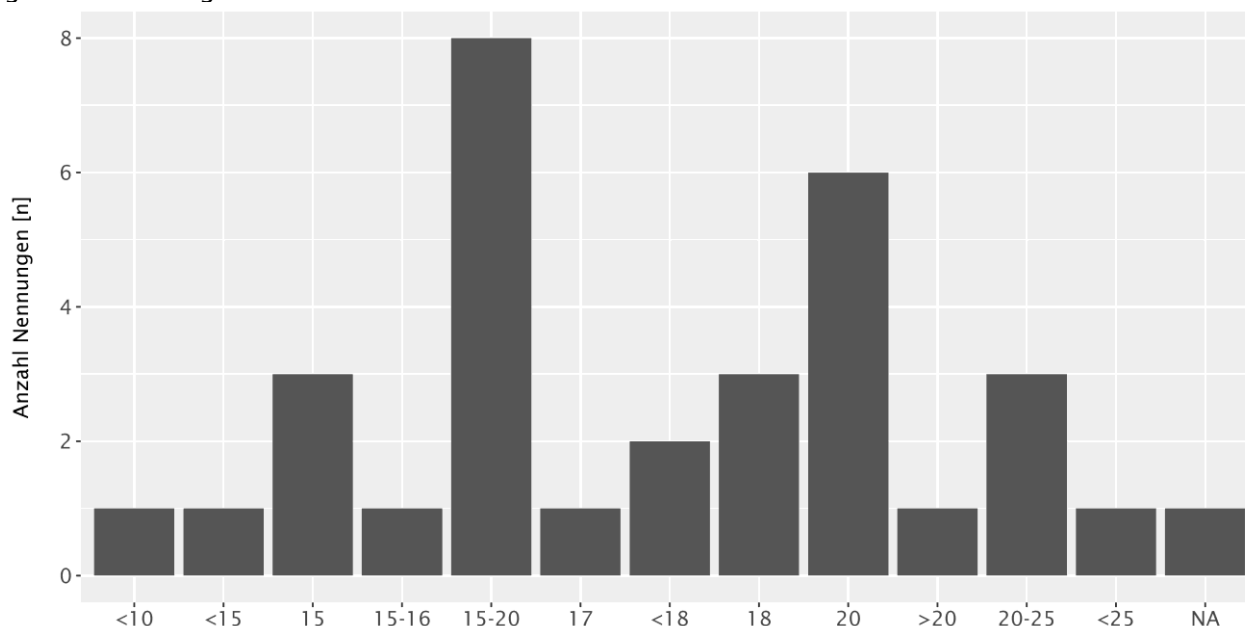


Abbildung 27 : Durch die Betriebsleiter genannte Milchharnstoffbereiche bei welchen noch keine Leistungsbussen eintreten sollten.

Eine grosse Mehrheit (n=26) der Betriebe nannte einen minimalen Milchharnstoffwertebereich zwischen 15 und 20 mg/dl.

## 4.2 Auswertung nationaler Milchnährstoffwerte

### 4.2.1 Deskriptive Statistik

Differenziert nach Zone betrachtet bestehen pro Monat für 2 bis 82 % der Betriebe keine Milchnährstoffwerte zur Verfügung. Die höchsten Anteile werden in der Bergzone III und IV in den Sommermonaten erreicht (Abbildung 28). Es kann davon ausgegangen werden, dass es sich dabei zu einem grossen Teil um Betriebe handelt, welche die Kühe auf die Alp geben. Für die statistische Auswertung der Daten mit dem Modell sind die fehlenden Monatswerte aus dem Datensatz gelöscht worden. In den Sommermonaten werden tendenziell die höchsten Milchnährstoffwerte gemessen. Das Fehlen dieser, insbesondere in der Bergzone III und IV, führt somit zu einer Unterschätzung der mittleren Milchnährstoffwerte. Im Modell wird dies durch den Faktor Monat berücksichtigt. Um diesem Umstand im Teil deskriptive Statistik gerecht zu werden, sind die Daten wie sie im Modell eingeflossen sind (fehlende Monatswerte sind nicht berücksichtigt worden → *Datensatz Modell*), sowie bereinigt nach den Betrieben mit fehlenden Monatswerten dargestellt. Für den *bereinigten Datensatz* wurden alle Milchnährstoffwerte eines Betriebes und Jahres gelöscht, falls im Verlaufe des Jahres ein Milchnährstoffwert fehlt.

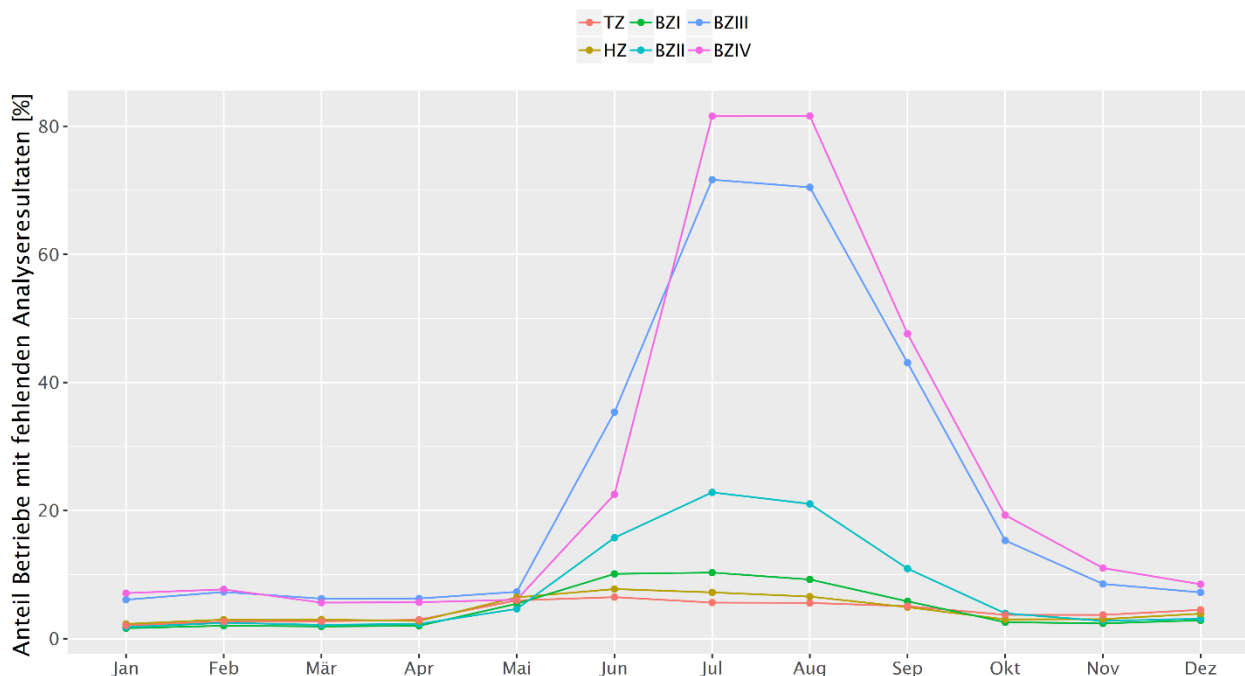


Abbildung 28 : Anteil Betriebe mit fehlenden Analyseergebnissen pro Monat differenziert nach Zone über die Jahre 2012 bis 2016.

Der mittlere Milchnährstoffwert über alle untersuchten Betriebe und für den gesamten Untersuchungszeitraum von 2012 bis 2016 lag bei 22.86 mg/dl, wobei 75 % der Messpunkt gleich oder kleiner als 26.94 mg/dl waren (Tabelle 4). Der tiefste Mittelwert konnte im Jahr 2014 mit 22.11 mg/dl und der höchste mit 23.30 mg/dl im Jahr 2016 festgestellt werden. Beim Betrachten der sieben Grossregionen fällt auf, dass das Tessin und die Zentralschweiz über den Untersuchungszeitraum mit 24.07 resp. 23.71 mg/dl den höchsten und die Nordwestschweiz mit 21.28 mg/dl den tiefsten Milchnährstoffwert aufweist. Wird der Milchnährstoffwert differenziert nach den landwirtschaftlichen Zonen betrachtet kann festgestellt werden, dass die Bergzone III und IV im Mittelwert tiefere Milchnährstoffwerte aufweist als die übrigen Regionen.

Tabelle 3 : Deskriptive Statistik des Milchwahstoffwertes in mg /dl basierend auf dem Datensatz Modell für die Jahre 2012 bis 2016 als gesamtes und aufgeteilt nach Jahr, Grosse region, landwirtschaftlicher Zone und der Teilnahme bei den Bundesprogrammen RAUS und GMF.

	Milchwahstoffwert (MHW) [mg/dl]							Anzahl Monatsmittel	Anzahl Betriebe
	Mittel	Median	SD	5 % Quantil	25 % Quantil	75 % Quantil	95 % Quantil		
Gesamtheit	22.22	21.51	6.63	12.69	17.25	26.34	34.25	1'198'041	23'887
2012	22.55	21.83	6.76	12.87	17.51	26.75	34.81	257'625	23'279
2013	21.80	21.00	6.59	12.50	16.85	25.88	33.89	246'129	22'472
2014	21.31	20.58	6.40	12.25	16.49	25.24	32.98	236'182	21'623
2015	22.50	21.79	6.86	12.59	17.33	26.83	34.89	230'595	21'027
2016	22.94	22.37	6.40	13.49	18.27	26.89	34.41	227'510	20'367
Espace Mittel-land	21.72	20.98	6.49	12.50	16.87	25.70	33.56	484'691	9'557
Genfersee-region	22.50	21.89	6.54	12.93	17.69	26.54	34.28	67'470	1'612
Nordwest-schweiz	20.48	19.84	6.11	11.92	15.79	24.30	31.55	66'533	1'358
Ostschweiz	22.82	22.12	6.76	13.00	17.79	27.04	35.08	276'350	5'456
Tessin	22.63	21.97	6.53	13.22	17.89	26.59	34.30	4'937	131
Zentral-schweiz	23.22	22.61	6.78	13.24	18.18	27.52	35.36	234'172	4'503
Zürich	21.16	20.46	6.34	12.12	16.36	25.12	32.60	63'888	1'270
TZ	22.31	21.61	6.73	12.64	17.28	26.45	34.53	460'516	9'097
HZ	22.21	21.48	6.76	12.50	17.10	26.44	34.52	200'293	3'868
BZI	22.36	21.61	6.72	12.75	17.29	26.62	34.52	207'745	3'951
BZII	22.52	21.87	6.52	13.00	17.68	26.67	34.26	223'748	4'394
BZIII	21.05	20.45	5.98	12.47	16.57	24.70	31.75	71'174	1'725
BZIV	20.55	20.04	5.45	12.56	16.56	23.94	30.24	34'565	852
RAUS_0/GMF_0	21.57	20.8	6.7	12.06	16.51	25.68	33.73	51'527	2'132
RAUS_0/GMF_1	21.82	20.94	6.91	12.21	16.5	26.15	34.54	82'776	3'133
RAUS_0/NA	21.75	20.81	6.91	12.16	16.44	26.11	34.46	112'076	5'596
RAUS_1/GMF_0	22.04	21.55	6.12	12.96	17.58	25.83	32.91	160'718	5'877
RAUS_1/GMF_1	22.49	21.81	6.68	12.83	17.5	26.68	34.57	399'266	13'640
RAUS_1/NA	22.31	21.57	6.62	12.85	17.39	26.39	34.35	391'678	18'232

Tabelle 4 : Deskriptive Statistik des Milchwahstoffwertes in mg /dl basierend auf dem bereinigten Datensatz für die Jahre 2012 bis 2016 als gesamt und aufgeteilt nach Jahr, Grossregion, landwirtschaftlicher Zone und der Teilnahme bei den Bundesprogrammen RAUS und GMF.

	Milchwahstoffwert (MHW) [mg/dl]							Anzahl Monatsmittel	Anzahl Betriebe
	Mittel	Median	SD	5 % Quantil	25 % Quantil	75 % Quantil	95 % Quantil		
Gesamtheit	22.86	22.17	6.57	13.38	18	26.94	34.78	872'196	18'971
2012	23.13	22.40	6.73	13.44	18.11	27.32	35.35	194'172	16'181
2013	22.50	21.70	6.55	13.19	17.63	26.55	34.53	173'148	14'429
2014	22.11	21.43	6.31	13.05	17.43	25.97	33.57	161'880	13'490
2015	23.19	22.51	6.77	13.34	18.14	27.46	35.39	164'400	13'700
2016	23.30	22.72	6.35	13.95	18.68	27.21	34.71	178'596	14'883
Espace Mittel- land	22.38	21.67	6.41	13.20	17.63	26.32	34.06	350'352	7'791
Genfersee- region	23.65	23.03	6.68	13.81	18.73	27.80	35.64	34'128	810
Nordwest- schweiz	21.28	20.75	5.90	12.75	16.88	24.93	31.88	48'600	1'159
Ostschweiz	23.44	22.74	6.74	13.63	18.44	27.64	35.70	201'588	4'251
Tessin	24.07	23.12	7.55	13.40	18.58	28.40	37.45	996	31
Zentral- schweiz	23.71	23.10	6.72	13.79	18.74	27.95	35.74	185'676	3'799
Zürich	21.79	21.15	6.14	12.99	17.23	25.56	32.84	50'856	1'130
TZ	22.83	22.14	6.55	13.38	18.01	26.81	34.72	370'788	8'092
HZ	22.82	22.09	6.63	13.25	17.88	26.92	34.90	158'352	3'440
BZI	22.87	22.13	6.65	13.33	17.89	27.06	34.92	163'524	3'475
BZII	23.08	22.44	6.50	13.58	18.26	27.20	34.79	158'172	3'360
BZIII	22.31	21.71	6.31	13.25	17.56	26.20	33.55	17'172	470
BZIV	21.55	20.94	5.86	13.05	17.17	25.01	32.33	4'188	134
RAUS_0/GMF_0	22.47	21.79	6.53	13.15	17.67	26.35	34.27	36'792	1'525
RAUS_0/GMF_1	22.65	21.80	6.91	12.94	17.37	26.99	35.26	56'472	2'213
RAUS_0/NA	22.59	21.68	6.92	12.94	17.33	26.96	35.27	78'132	3'958
RAUS_1/GMF_0	22.49	22.00	5.95	13.67	18.20	26.12	33.07	132'252	4'943
RAUS_1/GMF_1	23.18	22.51	6.65	13.48	18.23	27.36	35.16	279'360	10'048
RAUS_1/NA	22.90	22.17	6.58	13.45	18.02	26.97	34.90	289'188	13'700



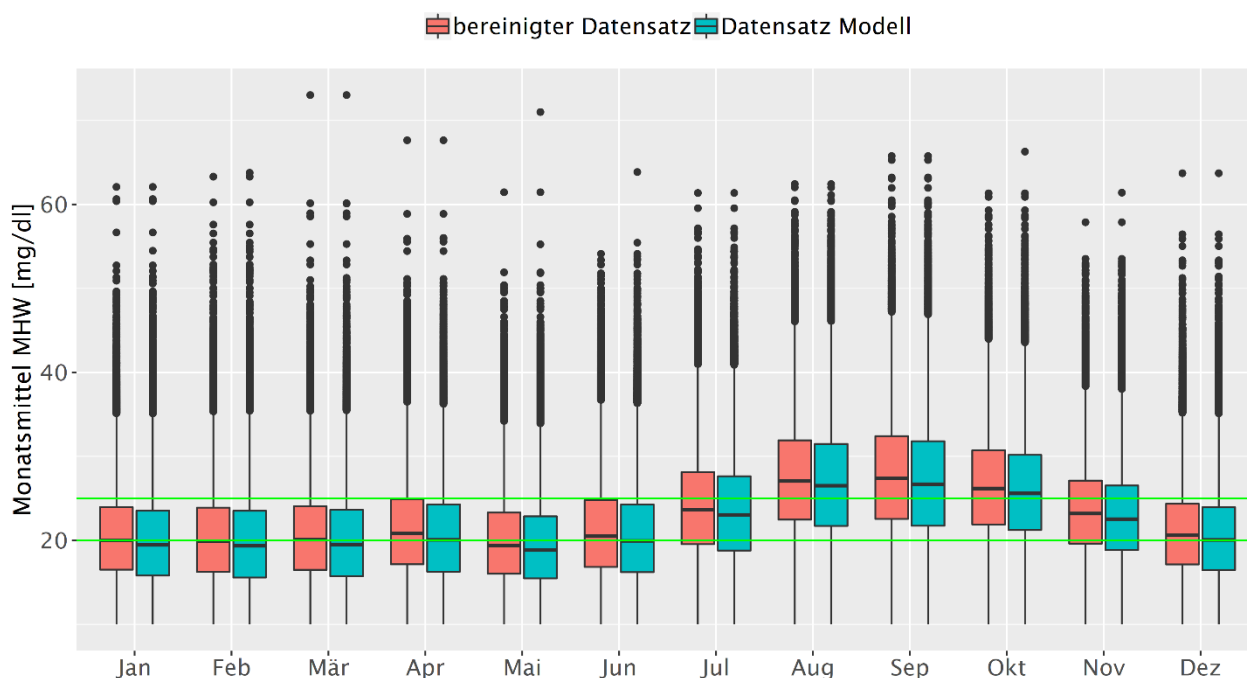


Abbildung 29 : Monatsmittelwerte basierend auf dem Datensatz Modell und dem bereinigten Datensatz des MHW in mg/dl des Auswertungszeitraums 2012 bis 2016.

Die Milchharnstoffwerte weisen eine deutliche Saisonalität auf. So konnte über alle untersuchten Jahre in den Monaten August und September die höchsten Milchharnstoffwerte und im Mai die tiefsten festgestellt werden (Abbildung 29). Die Saisonalität ist über alle Zonen feststellbar, wobei jedoch der Verlauf der Mediane in der Bergzone III und IV deutlich flacher ist. Der beschriebene saisonale Verlauf findet in allen Grossregionen statt, wobei die Kurve für das Tessin sich von den übrigen Regionen leicht unterscheidet.

Der Jahreseffekt konnte über alle Zonen gemessen werden, weshalb der Verlauf der Jahresmittel zwischen den Zonen mehrheitlich parallel ist (Abbildung 30). Wobei die Jahresmittel der Bergzone III und IV auf tieferem Niveau verlaufen.

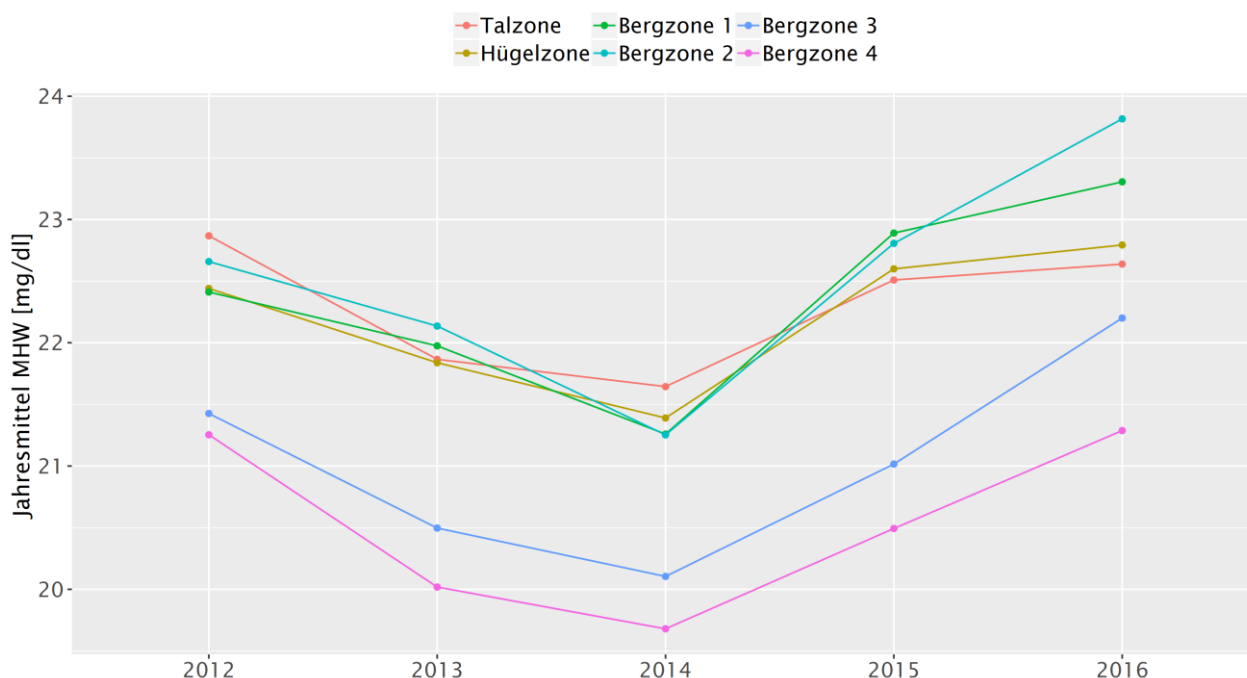


Abbildung 30 : Jahresmittelwert des MHW aufgrund des Datensatzes Modell in mg/dl des Auswertungszeitraums 2012 bis 2016 aufgeteilt nach Zone. Die entsprechende Grafik basierend auf dem bereinigten Datensatz findet sich im Anhang 3.

Im Rahmen des Ressourcenprojektes «*Ausgewogene Milchviehfütterung*» haben die Kantone Graubünden, Nidwalden, Obwalden, Uri und Zug in den Jahren 2013 bis 2015, resp. Graubünden bis 2016 Beiträge an Betrieb ausbezahlt, welche den Milchharnstoffwert senkten. Beim Betrachten der Jahresverläufe dieser Kantone im Vergleich zur ganzen Schweiz fällt auf, dass insbesondere die Betriebe im Bündnerland die Milchharnstoffwerte unter das schweizweite Niveau senken konnten (Abbildung 31).

In der Abbildung 32 ist der Jahresverlauf des Milchharnstoffwertes differenziert nach der Programmteilnahme bei RAUS aufgezeigt. Tendenziell weisen die Betriebe, welche die RAUS Anforderungen erfüllen leicht höhere Milchharnstoffwerte aus. Der Jahreseffekt scheint jedoch unabhängig des Programms zu sein.

2014 wurde das Bundesprogramm GMF eingeführt. In der Abbildung 33 sind die Milchharnstoffwerte differenziert nach der Teilnahme bei GMF für die Jahre 2014 bis 2016 aufgezeigt. Betriebe in der Bergzone III & IV, welche GMF erfüllen, scheinen leicht tiefere Milchharnstoffwerte auszuweisen als die Betriebe welche GMF nicht erfüllen. In der Talzone sind die Milchharnstoffwerte der Betriebe mit Teilnahme bei GMF tendenziell etwas höher.

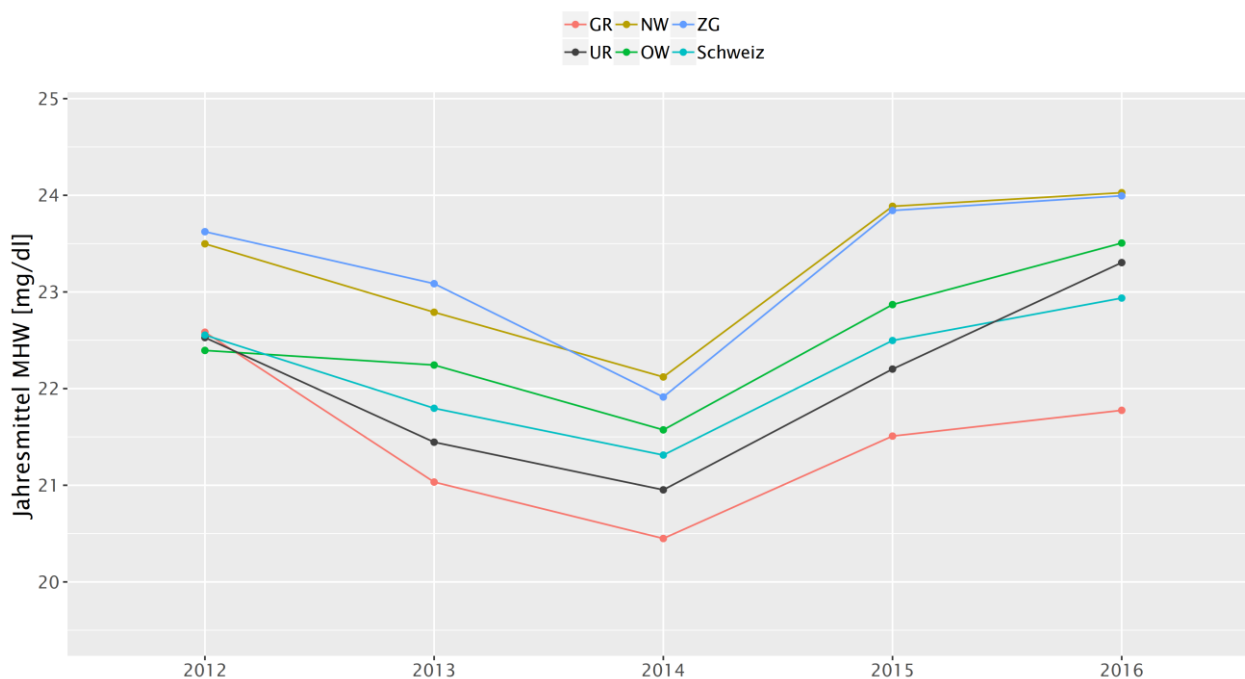


Abbildung 31 : Jahresmittelwert des MHW in mg/dl basierend auf dem Datensatz Modell des Auswertungszeitraums 2012 bis 2016 für die Kantone, welche das Ressourcenprojekt «*Ausgewogene Milchviehfütterung*» umgesetzt haben (Projektdauer: 2013 bis 2015 resp. GR 2016) und für die gesamte Schweiz. Die entsprechende Grafik basierend auf dem bereinigten Datensatz findet sich im Anhang 3.

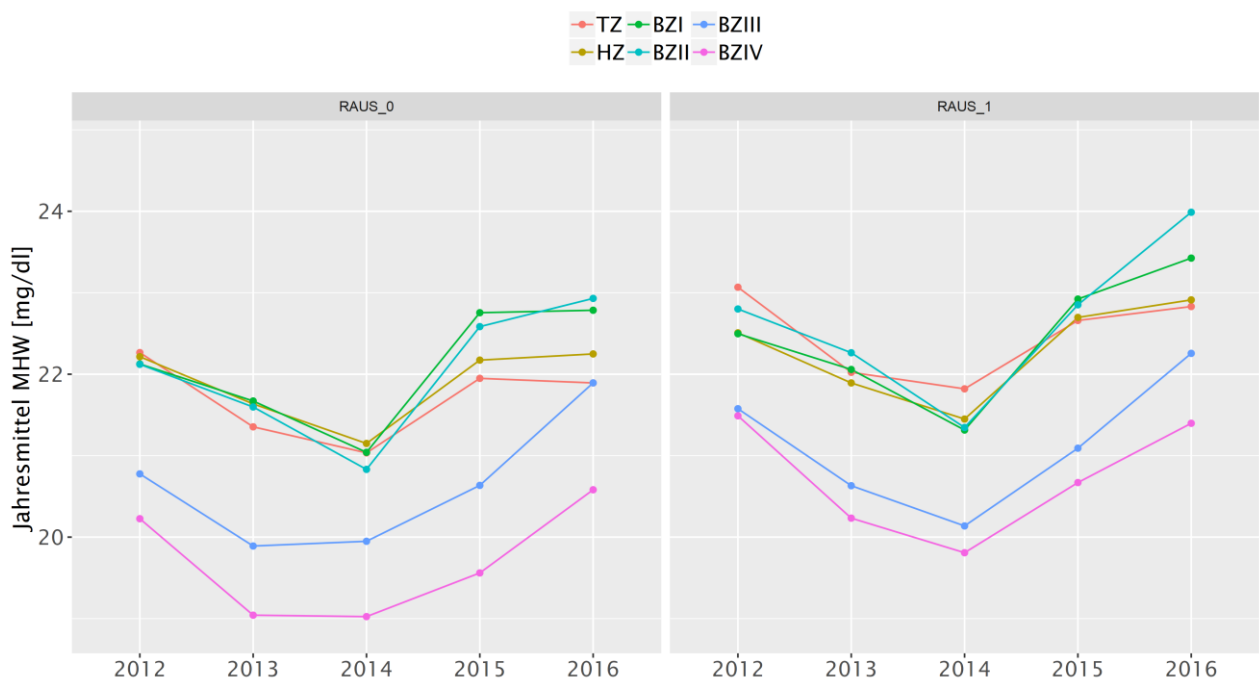


Abbildung 32 : Verlauf des MHW basierende auf dem Datensatz Modell für die Jahre 2012 bis 2016 differenziert nach Zone und der Programmteilnahme RAUS (RAUS\_0 = keine Teilnahme; RAUS\_1= Teilnahme). Die entsprechende Grafik basierend auf dem bereinigten Datensatz ifindet sich im Anhang 3.

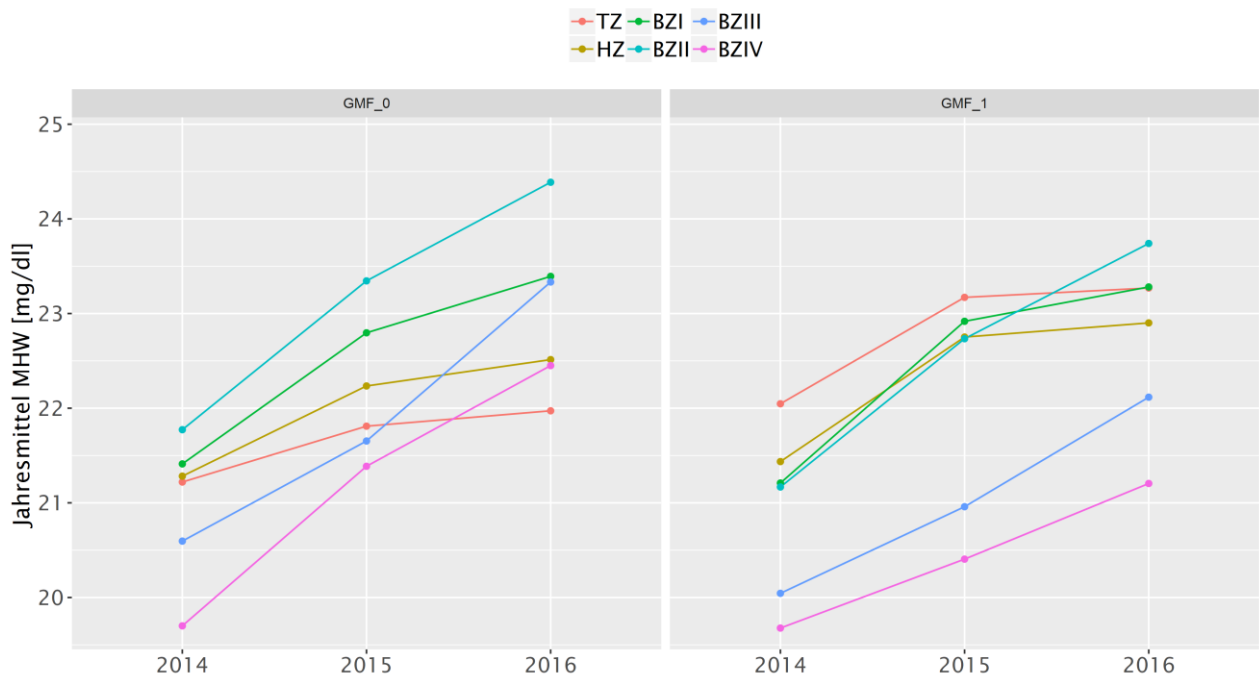


Abbildung 33 : Verlauf des MHW basierende auf dem Datensatz Modell für die Jahre 2014 bis 2016 differenziert nach Zone und der Programmteilnahme GMF (GMF\_0 = keine Teilnahme; GMF\_1= Teilnahme). Die entsprechende Grafik basierend auf dem bereinigten Datensatz findet sich im Anhang 3.

Auffallend ist, dass die Betriebe welche die Anforderungen von GMF erfüllten in den Monaten August, September und Oktober deutlich höhere Werte und im Mai tiefere Milchharnstoffwerte aufweisen als die übrigen Betriebe (Abbildung 34).

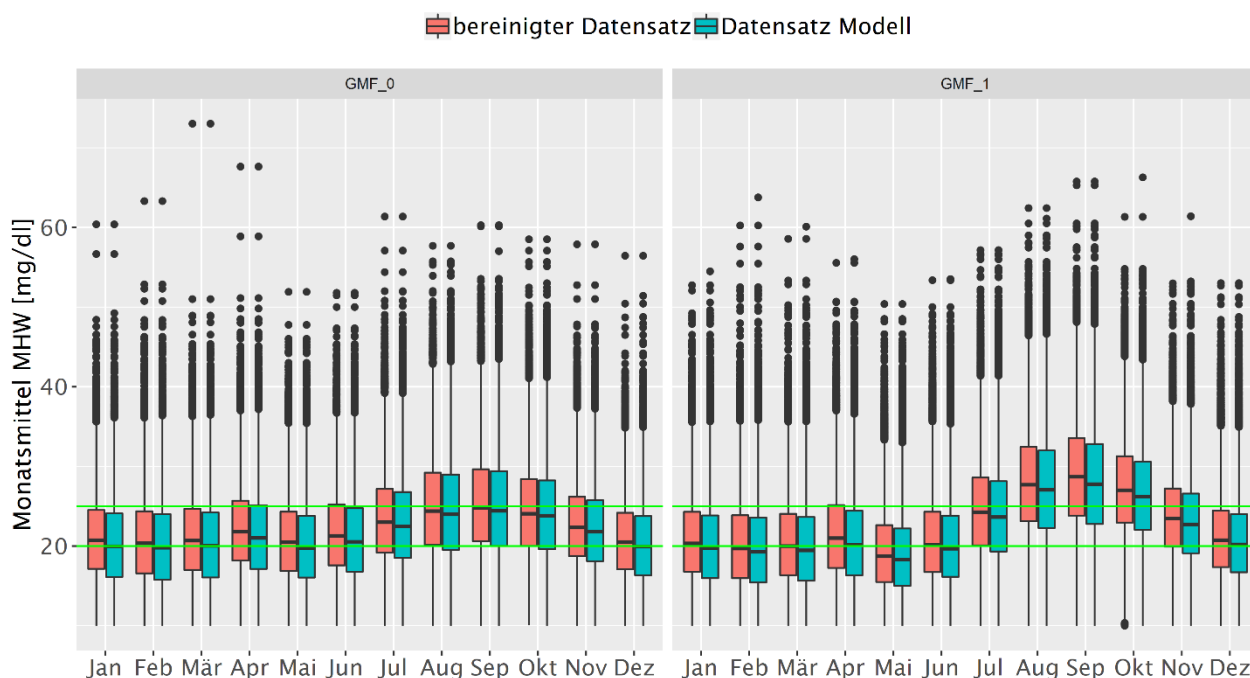


Abbildung 34 : Jahresverlauf der MHW basierend auf dem Datensatz Modell und dem bereinigten Datensatz für die Jahre 2014 bis 2016 differenziert nach der Teilnahme beim Programm GMF (GMF\_0 = keine Teilnahme; GMF\_1= Teilnahme, grüne Linien = 25mg / dl resp. 20 mg/dl).

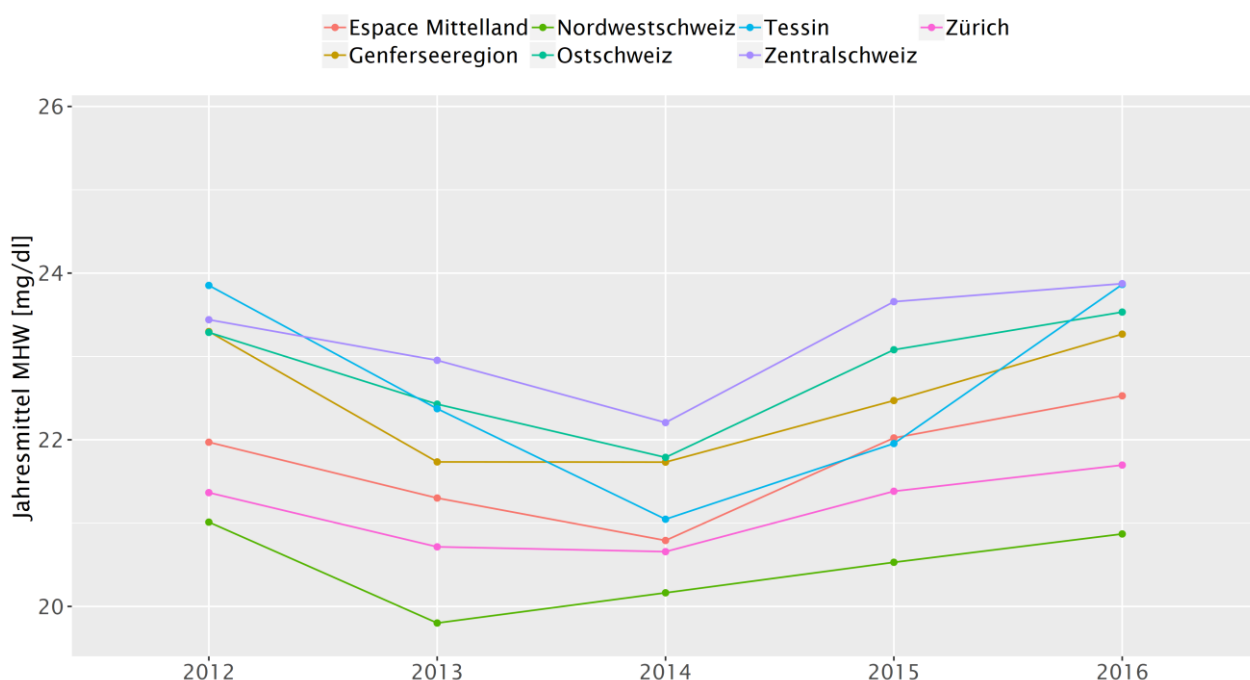


Abbildung 35 : Verlauf des MHW basierend auf dem Datensatz für die Jahre 2012 bis 2016 differenziert nach den sieben Grossregionen der Schweiz. Die entsprechende Grafik basierend auf dem bereinigten Datensatz findet sich im Anhang 3.

Das Jahresmittel des Milchwahstoffwertes unterscheidet sich sowohl im Verlauf als auch bezüglich Höhe zwischen den sieben Grossregionen deutlich (Abbildung 35). Die mit Abstand tiefsten Werte weist die Region Nordwestschweiz auf und die höchsten Jahresmittelwerte sind in der Region Tessin und Zentralschweiz zu finden. Die grössten Schwankungen zwischen den Jahren weist das Tessin auf. Dabei gilt es die unterschiedliche Anzahl Betriebe pro Region zu beachten. Der Jahresmittelwert für die Grossregion Tessin umfasst lediglich 131 resp. 31 Betriebe, wohingegen die Region Espace Mittelland 9'557 resp. 7'791, Ostschweiz 5'456 resp. 4'251, Zentralschweiz 4'503 resp. 3'799, Genferseeregion 1'612 resp. 810, Nordwestschweiz 1'358 resp. 1'159 und Zürich 1'270 resp. 1'130 Betriebe umfasst.

#### 4.2.2 Statistisches Modell

Für die statistische Auswertung der Daten wurden zwei Modelle erstellt, damit auch Aussagen über allfällige Zusammenhänge mit dem Bundesprogramm GMF, welches erst 2014 eingeführt wurde, gemacht werden können.

Im ersten Modell (Tabelle 7, Modell A) sind folgende fixe Faktoren integriert und die Daten der Jahre 2012 bis 2016 berücksichtigt worden:

- Vermarktete Jahresmilchmenge in Tonnen
- Landwirtschaftliche Zoneneinteilung (sechs Stufen)
- Grossregion (sieben Regionen)
- Teilnahme Programm RAUS (ja/nein)
- Jahr (2012 bis 2016)
- Monat (Januar bis Dezember)
- Interaktion Jahr: Monat

Wobei alle fixen Faktoren als auch die Interaktion einen signifikanten Einfluss auf den Milchharnstoffwert haben (Tabelle 5,  $p= 0.05$ ).

Tabelle 5 : Resultate der Anova Typ III für das Modell A.

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1174093	59095.2	0
Verm. Jahresmilchmenge	1	1174093	482.4	0
Landw. Zone	5	23875	37.4	0
Region	6	23875	249.2	0
Teilnahme RAUS	1	1174093	108.7	0
Jahreseffekt	4	1174093	506.1	0
Monatseffekt	11	1174093	5121.0	0
Interaktion Monatseffekt:Jahreseffekt	44	1174093	1609.0	0

Alle im Modell A getesteten fixen Faktoren haben einen signifikanten Einfluss auf den Milchharnstoffwert. Der Milchharnstoffwert in der Talzone unterscheidet sich nicht von diesem in der Hügelzone, jedoch von diesen in der Bergzone. So weisen die Bergzone III und IV 0.6 mg/dl respektive 1.0 mg/dl tiefere Milchharnstoffwerte auf als die Talzone.

Betriebe welche beim Programm RAUS teilnahmen, wiesen signifikant höhere Milchharnstoffwerte auf als Betriebe, welche die RAUS-Anforderungen nicht erfüllten. Mit 0.46 mg/dl fällt die Erhöhung durch die Teilnahme bei RAUS gering aus. Weitaus höher fällt der Einfluss der Monate August und September aus. In diesen Monaten sind die Werte um mehr als 8 mg/dl signifikant höher als im Januar.

Aufgrund des sehr umfassenden Datensatzes ist das 95 % Vertrauensintervall sehr schmal. Mit dem Modell können somit die Milchharnstoffwerte sehr genau geschätzt werden.

Für die Berechnung des  $R^2$  von gemischten linearen Modellen gibt es verschiedene Methoden (Nakagawa und Schielzeth 2013). Nach der Methode von Nakagawa et al. (2017) und Johnson (2014) weist das Modell A ein  $R^2_{GLMM(m)}$  von 23 % und ein  $R^2_{GLMM(c)}$  von 46 % auf. Dabei beschreibt  $R^2_{GLMM(m)}$  die Varianz welche durch die fixen Faktoren erklärt werden kann und  $R^2_{GLMM(c)}$  die Varianz, welche durch das gesamte Modell erklärt werden kann, wobei sowohl die fixen als auch die zufälligen Faktoren berücksichtigt werden.

Im zweiten Modell (Tabelle 8, Modell B) sind folgende fixe Faktoren integriert und die Daten der Jahre 2014 bis 2016 berücksichtigt worden:

- Vermarktete Jahresmilchmenge in Tonnen
- Landwirtschaftliche Zoneneinteilung (sechs Stufen)
- Grossregion (sieben Regionen)
- Teilnahme Programm RAUS (ja/nein)
- Teilnahme Programm GMF (ja/nein)
- Jahr (2014 bis 2016)
- Monat (Januar bis Dezember)
- Interaktion Jahr: Monat

Wobei alle fixen Faktoren als auch die Interaktion einen signifikanten Einfluss auf den Milchharnstoffwert haben (Tabelle 6,  $p= 0.05$ ).

Tabelle 6 : Resultate der Anova Typ III für das Modell B.

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	672322	44315.7	0e+00
Verm. Jahresmilchmenge	1	672322	377.7	0e+00
Landw. Zone	5	21915	44.4	0e+00
Region	6	21915	194.8	0e+00
Teilnahme RAUS	1	672322	83.9	0e+00
Teilnahme GMF	1	672322	26.9	2e-07
Jahreseffekt	2	672322	739.9	0e+00
Monatseffekt	11	672322	4835.2	0e+00
Interaktion Monatseffekt:Jahreseffekt	22	672322	1968.9	0e+00

Resultate des Modelles B stimmen mehrheitlich mit diesen des Modelles A überein. Im Unterschied zum Modell A unterscheidet sich der Milchharnstoffwert des Jahres 2015 nicht signifikant vom 2014. Neben der Teilnahme beim Programm RAUS hat auch die Teilnahme beim Programm GMF einen signifikanten Einfluss auf die Höhe des Milchharnstoffwertes. Aufgrund dieses Modelles kann davon ausgegangen werden, dass die Teilnahme beim Programm RAUS zu einer Erhöhung des Milchharnstoffwertes um 0.5 mg/dl und beim Programm GMF um 0.22 mg/dl führt.

Nach der Methode von Nakagawa et al. (2017) und Johnson (2014) weist das Modell B ein  $R^2_{GLMM(m)}$  von 22 % und ein  $R^2_{GLMM(c)}$  von 45 % auf. Dabei beschreibt  $R^2_{GLMM(m)}$  die Varianz welche durch die fixen Faktoren erklärt werden kann und  $R^2_{GLMM(c)}$  die Varianz welche durch das gesamte Modell erklärt werden kann, wobei sowohl die fixen als auch die zufälligen Faktoren berücksichtigt werden.

Analog zu den beiden bereits aufgeführten Modellen wurden weitere Modelle aufgestellt, in welchen unter anderem der Einfluss des Kantons anstelle der Grossregionen untersucht wurde. Dabei konnte festgestellt werden, dass der Kanton einen signifikanten Einfluss auf den Milchharnstoffwert hat. Einzige Ausnahme bilden die Kantone Solothurn und Genf, welche sich nicht signifikant vom Kanton Aargau unterscheiden.

Tabelle 7 : Modell A mit den Faktoren welche einen signifikanten und relevanten Einfluss auf den Milchharnstoffwert haben, berechnet mit einem gemischten linearen Model aufgrund der Jahre 2012 bis 2016. Der Intercept beschreibt die Betriebe in der Talzone, der Region Espace Mittelland, ohne Teilnahme beim Programm RAUS für den Januar 2012. Der Betrieb wurde als zufälliger Effekt berücksichtigt. Kursive geschriebene fixe Faktoren sind signifikant ( $p < 0.05$ ). Aufgrund der Übersichtlichkeit ist die Interaktion Jahr:Monat nicht abgebildet. Die vollständige Tabelle ist im Anhang zu finden.

Modell A Fixe Faktoren	Geschätzter Koeffizient [mg/dl]	p-Wert	95% - Vertrauensintervall	
			untere	obere
<i>(Intercept)</i>	17.677	0.000	17.534	17.819
<i>Verm. Jahresmilchmenge</i>	0.004	0.000	0.003	0.004
Hügelzone	0.096	0.155	-0.036	0.229
<i>Bergzone I</i>	0.240	0.000	0.105	0.374
<i>Bergzone II</i>	0.412	0.000	0.281	0.543
<i>Bergzone III</i>	-0.613	0.000	-0.801	-0.424
<i>Bergzone IV</i>	-0.987	0.000	-1.241	-0.734
<i>Genferseeregion</i>	1.301	0.000	1.112	1.491
<i>Nordwestschweiz</i>	-1.399	0.000	-1.601	-1.197
<i>Ostschweiz</i>	1.166	0.000	1.050	1.283
<i>Tessin</i>	2.686	0.000	2.071	3.301
<i>Zentralschweiz</i>	1.583	0.000	1.460	1.706
<i>Zürich</i>	-0.734	0.000	-0.941	-0.526
<i>Teilnahme RAUS ja</i>	0.459	0.000	0.373	0.546
<i>2013</i>	0.541	0.000	0.449	0.633
<i>2014</i>	0.329	0.000	0.235	0.422
<i>2015</i>	0.338	0.000	0.244	0.433
<i>2016</i>	1.990	0.000	1.895	2.084
<i>Februar</i>	0.539	0.000	0.476	0.602
<i>März</i>	0.784	0.000	0.707	0.861
<i>April</i>	0.812	0.000	0.728	0.896
<i>Mai</i>	0.739	0.000	0.651	0.826
<i>Juni</i>	3.615	0.000	3.525	3.705
<i>Juli</i>	6.098	0.000	6.005	6.191
<i>August</i>	8.505	0.000	8.411	8.598
<i>September</i>	8.380	0.000	8.288	8.473
<i>Oktober</i>	5.695	0.000	5.603	5.787
<i>November</i>	4.031	0.000	3.940	4.123
<i>Dezember</i>	1.610	0.000	1.518	1.702

Tabelle 8 : Modell B mit den Faktoren welche einen signifikanten und relevanten Einfluss auf den Milchharnstoffwert haben, berechnet mit einem gemischten linearen Model aufgrund der Jahre 2014 bis 2016. Der Intercept beschreibt die Betriebe in der Talzone, der Region Espace Mittelland, ohne Teilnahme beim Programm RAUS & GMF für den Januar 2014. Der Betrieb wurde als zufälliger Effekt berücksichtigt. Kursive geschriebene fixe Faktoren sind signifikant ( $p < 0.05$ ). Aufgrund der Übersichtlichkeit ist die Interaktion Jahr:Monat nicht abgebildet. Die vollständige Tabelle ist im Anhang zu finden.

Modell B Fixe Faktoren	Geschätzter Koeffizient [mg/dl]	p-Wert	95% - Vertrauensintervall	
			untere	obere
<i>(Intercept)</i>	17.835	0.000	17.669	18.001
<i>Verm. Jahresmilchmenge</i>	0.004	0.000	0.003	0.004
Hügelzone	0.180	0.013	0.037	0.323
<i>Bergzone I</i>	0.422	0.000	0.277	0.566
<i>Bergzone II</i>	0.551	0.000	0.408	0.693
<i>Bergzone III</i>	-0.536	0.000	-0.740	-0.333
<i>Bergzone IV</i>	-1.047	0.000	-1.318	-0.776
<i>Genferseeregion</i>	1.240	0.000	1.034	1.447
<i>Nordwestschweiz</i>	-1.359	0.000	-1.578	-1.140
<i>Ostschweiz</i>	1.095	0.000	0.970	1.220
<i>Tessin</i>	2.144	0.000	1.483	2.806
<i>Zentralschweiz</i>	1.561	0.000	1.429	1.692
<i>Zürich</i>	-0.609	0.000	-0.833	-0.385
<i>Teilnahme RAUS ja</i>	0.503	0.000	0.395	0.611
<i>Teilnahme GMF ja</i>	0.217	0.000	0.135	0.299
2015	-0.035	0.467	-0.131	0.060
2016	1.614	0.000	1.518	1.710
<i>Februar</i>	-1.043	0.000	-1.109	-0.978
<i>März</i>	-0.402	0.000	-0.483	-0.322
<i>April</i>	0.166	0.000	0.078	0.253
<i>Mai</i>	-1.795	0.000	-1.887	-1.703
<i>Juni</i>	-0.309	0.000	-0.403	-0.215
<i>Juli</i>	3.522	0.000	3.426	3.619
<i>August</i>	4.029	0.000	3.932	4.125
<i>September</i>	4.206	0.000	4.111	4.302
<i>Oktober</i>	6.866	0.000	6.772	6.961
<i>November</i>	2.792	0.000	2.697	2.886
<i>Dezember</i>	0.420	0.000	0.325	0.515



#### 4.2.3 Abschätzung Verlustreduktion national

Die untersuchten Verkehrsmilchbetriebe produzierten in den Jahren 2012 bis 2016 zwischen 3.1 und 3.2 Millionen Tonnen (t) Milch (Tabelle 9). Zwischen 10 % und 14 % dieser Milchmenge wurde im untersuchten Zeitraum mit einem Milchharnstoffwert grösser oder gleich 30 mg/dl produziert. Die Differenz zum Zielwert von 18 resp. 21.4 mg/dl lag im Mittelwert zwischen 12.7 und 13.0 mg/dl. Multipliziert mit dem Emissionsfaktor von 3.5 % ergibt sich für diese Milchmengen ein Ammoniakemissions-Reduktionspotenzial von 45 bis 46 %.

Zwischen 39 und 46 % der Milchmenge wurde mit einem Milchharnstoffwert kleiner als 30 mg/dl produziert. Der Abstand zum Zielwert betrug im Mittelwert zwischen 3.6 und 3.8 mg/dl. Daraus ergibt sich für diese Milchmenge ein Reduktionspotenzial zwischen 9 und 10 %. Über die gesamte Milchmenge betrachtet ergibt sich somit ein Reduktionspotenzial der Ammoniakemissionen aus der Verkehrsmilchproduktion für die Jahre 2012 bis 2016 welches zwischen 8 und 10 % und im Mittel über diesen Zeitraum bei 9 % liegt.

Tabelle 9 : Abschätzung des Reduktionspotential der Ammoniakemissionen in der Verkehrsmilchproduktion der Schweiz für die Jahre 2012 bis 2016 basierende auf den Milchharnstoffwerten. Das Emissionspotential berechnet auf der Basis der Milchharnstoffwerte basiert auf dem Modell von van Duinkerken et al. (2011), wobei für Milchharnstoffwert  $\geq 30$  mg/dl von einem Reduktionspotential von 3.5% pro mg und bei einem Milchharnstoffwert zwischen 20 und 29 mg/dl von 2.5% pro mg ausgegangen worden ist. Das Modell basiert auf einem Versuch mit Stallfütterung und Weidehaltung (im Mittel 8.5h pro Tag).

			2012	2013	2014	2015	2016
<b>Milchharnstoffwerte <math>\geq 30</math> mg/dl</b>	<b>Vermarktete Milchmenge</b>	[Mio. t]	0.437	0.346	0.303	0.422	0.411
	<b>Anteil der vermarkteten Milchmenge</b>	[%]	14	11	10	13	13
	<b>Mittelwert Differenz Milchharnstoffwert zu 18 resp. 21.4 mg/dl</b>	[mg/dl]	13.0	12.9	12.7	13.0	12.8
	<b>Reduktionspotenzial Ammoniakemissionen</b>	[%]	46	45	45	45	45
<b>Milchharnstoffwerte <math>&lt; 30</math> mg/dl</b>	<b>Vermarktete Milchmenge</b>	[Mio. t]	1.320	1.223	1.240	1.329	1.470
	<b>Anteil der vermarkteten Milchmenge</b>	[%]	42	40	39	42	46
	<b>Mittelwert Differenz Milchharnstoffwert zu 18 resp. 21.4 mg/dl</b>	[mg/dl]	3.8	3.7	3.6	3.8	3.8
	<b>Reduktionspotenzial Ammoniakemissionen</b>	[%]	9	9	9	10	9
<b>Vermarktete Milchmenge</b>		[Mio. t]	3.152	3.099	3.200	3.183	3.182
<b>Reduktionspotenzial Ammoniakemissionen Verkehrsmilchproduktion insgesamt</b>		[%]	10	9	8	10	10

## 5 Diskussion

### 5.1 Milchwahstoffwert und seine beeinflussenden Faktoren

Die im Rahmen dieser Arbeit gezeigten und ausgewerteten Milchwahstoffwerte wurden alle mit Mittelinfrarot-Spektroskopie bestimmt. In der Schweiz werden sowohl die öffentlich-rechtlichen Analysen als auch die Analysen der Zuchtverbände durch die Firma Suisselab in Zollikofen durchgeführt. Für die Bestimmung der Milchwahstoffwerte wird das Gerät Milkoscan FT 6500 eingesetzt. Gemäss Stierli (2017b, persönliche Mitteilung) liegt die Messunsicherheit bei  $\pm 20\%$  (mit einer Wahrscheinlichkeit von 95%). Bei grossen Stichproben, wie im Rahmen der Auswertung der nationalen Milchwahstoffwerte kann diese Messgenauigkeit vernachlässigt werden. Werden jedoch Einzelwerte betrachtet gilt diese Einschränkung bei der Interpretation zu beachten.

Neben der Fütterung der Milchkühe beeinflussen offenbar weitere Faktoren den Milchwahstoffwert. So kamen Broderick und Clayton (1997) zum Schluss, dass neben dem Energie- und Proteingehalt der Ration das Lebendgewicht der Tiere einen Einfluss auf den Milchwahstoffwert hat. Neuere Studien kommen zum Schluss, dass folgende Faktoren den Milchwahstoffwert wesentlich beeinflussphysiologische Mechanismen innerhalb der Kuh, Betriebsmanagement, tierindividuelle Unterschiede, die Fütterung und die Analysemethode (Spek et al. 2013). Weit aus der grösste Einflussfaktor ist dem Rohproteingehalt resp. dem Verhältnis zwischen Rohprotein und Futterenergie in der Milchviehration zuzuschreiben (Nousiainen et al. 2004; Aguilar et al. 2012). Gemäss Huhtanen et al. (2015) ist der Einfluss der phänotypischen Faktoren auf den Milchwahstoffwert grösser als die Genotypischen.

Das höhere Einzeltierleistungen zu tendenziell höheren Milchwahstoffwerten führen, wurde in verschiedenen Studien gezeigt (Godden et al. 2001; Broderick 2003) und kann zumindest für das Jahr 2012 mit den analysierten Projektbetrieben bestätigt werden. Wie in der Abbildung 36 ersichtlich hat im Jahr 2012 die energiekorrigierte Milchmenge pro Tier und Tag einen leicht positiven Einfluss auf den Milchwahstoffwert. Eine mögliche Erklärung für diesen Zusammenhang könnte sein, dass die höhere Milchleistung durch einen höheren Rohproteingehalt in der Ration erreicht wurde. Höhere Rohproteingehalte in der Ration werden mit einem höheren Verzehr in Verbindung gebracht (Godden et al. 2001).

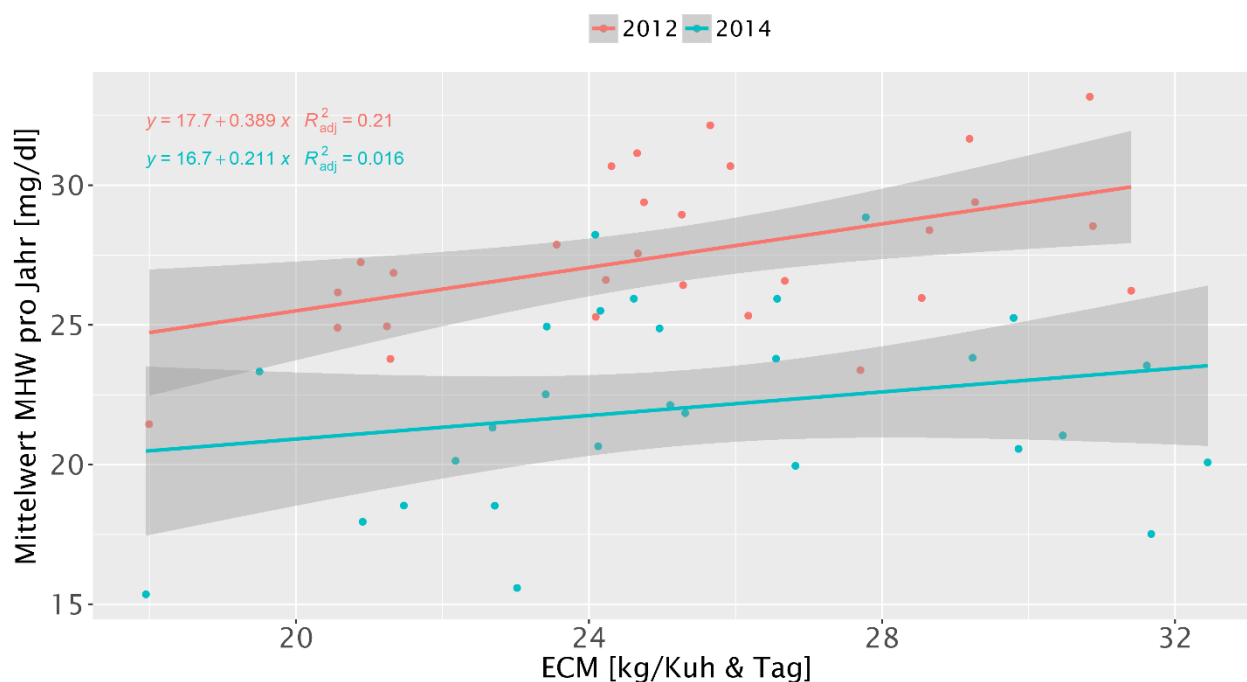


Abbildung 36 : Energiekorrigierte Milchmenge pro Kuh und Tag im Jahresmittel pro Betrieb gegenüber dem Jahresmittelwert des Milchwahstoffwertes für die Jahre 2012 und 2014. Einfaches lineares Modell, grau schattierte Fläche entspricht dem 95% Vertrauensintervall.

Der Milchwahstoffwert ist somit multifaktoriell beeinflusst und dies wird mit ein Grund sein, weshalb es im Rahmen des Projektes «Ausgewogene Milchviehfütterung - Analyse ausgewählter Milchwirtschaftsbetriebe» zwar auf der Ebene „Einzelbetrieb“, nicht aber über alle Betriebe betrachtet möglich

war einen Zusammenhang zwischen den Fütterungsmassnahmen und dem Milchwahstoffwert festzustellen. Aufgrund der in der Schweiz hohen Anteile an Wiesenfutter in der Ration von Milchkühen (Ineichen et al. 2016), bestimmt dieses zu einem wesentlichen Teil das Nährstoffangebot der Kuh. Die Qualität des Wiesenfutters unterscheidet sich jedoch im Jahresverlauf, aber auch zwischen einzelnen Jahren teilweise deutlich (Ineichen et al. 2016; Kneubühler et al. 2016). Von den untersuchten Betrieben wiesen nur sehr wenige Betriebe Futteranalysen der Wiesenfutter auf. Aus diesem Grund sind die Nährstoffgehalte dieser Futtermittel mittels Standardwerte berechnet worden. Damit werden jedoch die auf den Betrieben effektiv aufgetretenen jährlichen Unterschiede in den Nährwerten der Wiesenfutter überlagert. Erschwerend kommt hinzu, dass in vielen Regionen der Schweiz das Graswachstum im Jahr 2014 sehr aussergewöhnlich war: Das in normalen Jahren auftretende sehr hohe Graswachstum im Frühjahr und die Wachstumsdepression im Hochsommer blieben aus (Kneubühler et al. 2016). Dies führte ebenfalls zu aussergewöhnlichen Milchwahstoffwerten auf nationaler Ebene, wie die Auswertung zeigt. So liegt das tiefste Monatsmittel mit  $18.15 \pm 5.16$  mg/dl im Mai 2014 und auch das tiefste Monatsmittel im August mit  $23.84 \pm 6.76$  mg/dl ist im Jahr 2014 gemessen worden. Dieser Jahresverlauf unterscheidet sich von Benedet et al. (2018b), welche die tiefsten Werte im November / Dezember und die höchsten in den Monaten Juli / August feststellten. Wie aus der Abbildung 37 ersichtlich fehlte im Jahr 2014 der Milchwahstoffwert-Peak in den Monaten August und September beinahe vollständig. Die Ursache für diese tiefen Werte könnten höhere Mengen an nicht-faser Kohlenhydraten (NFC)- oder tiefere Proteingehalte sein. Die Resultate von Dürrfutteranalysen der beiden Jahre bestätigen diese Hypothese. So weist die Dürrfutterenquôte für die Jahre 2012 mit 214 g NFC /kg TS deutlich tiefere Werte auf als im Jahr 2014 mit 256 g NFC /kg TS (Guldemann et al. 2014). Weiter weisen die untersuchten Dürrfutterproben leicht tiefere Rohproteingehalte (127 g vs. 120 g) auf. 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 im Wiesenfutter in Kombination mit eher tiefen Rohproteingehalten könnten somit die wichtigsten Ursachen für die sowohl national als auch bei den ausgewählten Projektbetrieben (Abbildung 10) sehr tiefen Milchwahstoffwerte im Jahr 2014 sein.

Aus der Arbeit von Ineichen et al. (2016) und der jährlich durchgeführten Raufutter-Enquôte durch die Agridea (Augsburger et al. 2017) wird ersichtlich, dass es ebenfalls regionale Unterschiede im Gehalt der Wiesenfutter gibt. So weist die Region Nordwestschweiz tendenziell sowohl tiefere MJ NEL-Gehalte als auch Rohproteingehalte auf als die übrigen Regionen. Insbesondere die um bis zu 22 % tieferen Rohproteingehalte der Region 5 (Teil der Nordwestschweiz) gegenüber der Region 6 (Teile der Zentralschweiz) würden die deutlich tieferen Milchwahstoffwerte der Region Nordwestschweiz erklären.

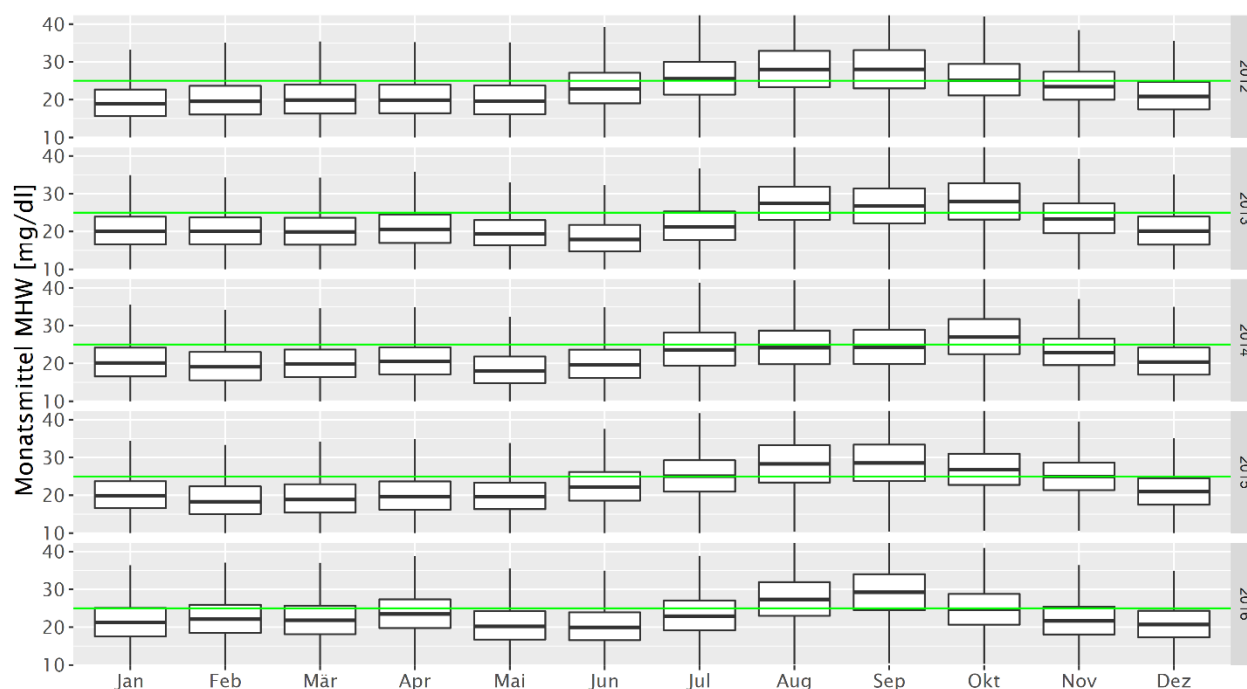


Abbildung 37 : Monatsmittelwerte des Milchwahstoffwertes für die Jahre 2012 bis 2016 der Milchproduktionsbetriebe in der Schweiz. Milchwahstoffwerte im Quantil  $\leq 0.1$  oder  $\geq 0.9$  sind nicht abgebildet.

Im Rahmen einer umfassenden Analyse der Milchhaltsstoffe in den grössten Milchproduktionsregionen Italiens wies Benedet et al. (2018b) für die Zeit von November 2015 bis Oktober 2016 im Mittel Milchwahnharnstoffwerte von 23.38 mg/dl±5.85 und somit leicht höhere Werte als in der Schweiz für das Jahr 2016 gemessen wurden (22.94 mg/dl±6.4) aus. Benedet et al. (2018b) stellten ebenfalls signifikante Unterschiede im Milchwahnharnstoffwert zwischen den Milchregionen fest. Der im Rahmen dieser Arbeit festgestellte Einfluss des Monates konnte diese Studie nur teilweise bestätigen. 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 Monate November / Dezember und Juli / September und auch gegenüber den anderen Monaten signifikant (Benedet et al. 2018b). Bastin et al. (2009) werteten die Milchwahnharnstoffwerte von über 600'000 erstlaktierenden Milchkühen in der Region Wallonien in Belgien aus. Für den Zeitraum Januar 2003 bis Mai 2008, wurde in dieser Studie ein mittlerer Milchwahnharnstoffwert von 25.51 mg/dl ausgewiesen. Dieser Wert liegt gut 3 mg/dl höher als der in der Schweiz für die Jahre 2012 bis 2016 gemessen wurde. Untersuchungen des Milchwahnharnstoffwertes von gut 3'000 Milchkühen im Nordosten von Spanien im Jahr 2006 ergaben einen mittleren Milchwahnharnstoffwert von 29.9 mg/dl (Bach et al. 2008), was somit ebenfalls deutlich höher ist, als dieser der vorliegenden Auswertung mit 22.22 mg/dl.

Die Teilnahme der Betriebe beim Projekt «*Ausgewogene Milchviehfütterung*» im Jahr 2014 unterschied sich zwischen den Kantonen deutlich. Im Kanton Graubünden erhielten 2014 14 % der Verkehrsmilchbetriebe einen Beitrag, da sie den Milchwahnharnstoffwert im Vergleich zum Referenzjahr 2012 um mindestens 2 mg/dl gesenkt hatten. Ähnliche Teilnahme der Betriebe konnte in den Kantonen Obwalden (14 %) und Nidwalden (13 %) festgestellt werden. Mit acht Prozent war die Teilnahme im Kanton Uri am tiefsten und mit 29 % im Kanton Zug mit Abstand am höchsten. In der Abbildung 38 ist ersichtlich, dass die analysierten Betriebe im Jahr 2012 im Jahresmittel einen um mehr als 4.5 mg/dl höheren Milchwahnharnstoffwert auswiesen. Bis zum Jahr 2015 reduzierten diese Betriebe die Differenz zum nationalen Mittelwert auf unter 1 mg/dl. Aufgrund der sehr hohen Projektbeteiligung im Kanton Zug wäre zu erwarten gewesen, dass sich die Differenz zum nationalen Milchwahnharnstoffwert in diesem Kanton verringert. Wie aus der Abbildung 38 ersichtlich ist, hat sich das Projekt jedoch nicht nachhaltig auf den kantonalen Milchwahnharnstoffwert ausgewirkt. Gleiche Situation bei jedoch deutlich kleinerer Projektteilnahme ist für den Kanton Nidwalden festzustellen. Der kantonale Milchwahnharnstoffwert von Obwalden wies in den Projektjahren sogar eine grössere Differenz zum nationalen Milchwahnharnstoffwert auf. Trotz der geringsten Teilnahme hat sich der Milchwahnharnstoffwert des Kantons Uri im Vergleich zum nationalen Milchwahnharnstoffwert stärker reduziert. Der stärkste Rückgang des Milchwahnharnstoffwertes gegenüber des nationalen Milchwahnharnstoffwertes wies der Kanton Graubünden aus. Ob dieser Rückgang durch die am Projekt teilgenommenen Betriebe verursacht worden ist, lässt sich aufgrund der vorhandenen Daten nicht abschliessend feststellen. Ebenfalls aufgrund fehlender Daten kann keine Aussage über die Entwicklung des Milchwahnharnstoffwertes der Projektbetriebe nach dem Ende des Projektes 2015, respektive 2016 für den Kanton Graubünden, gemacht werden.

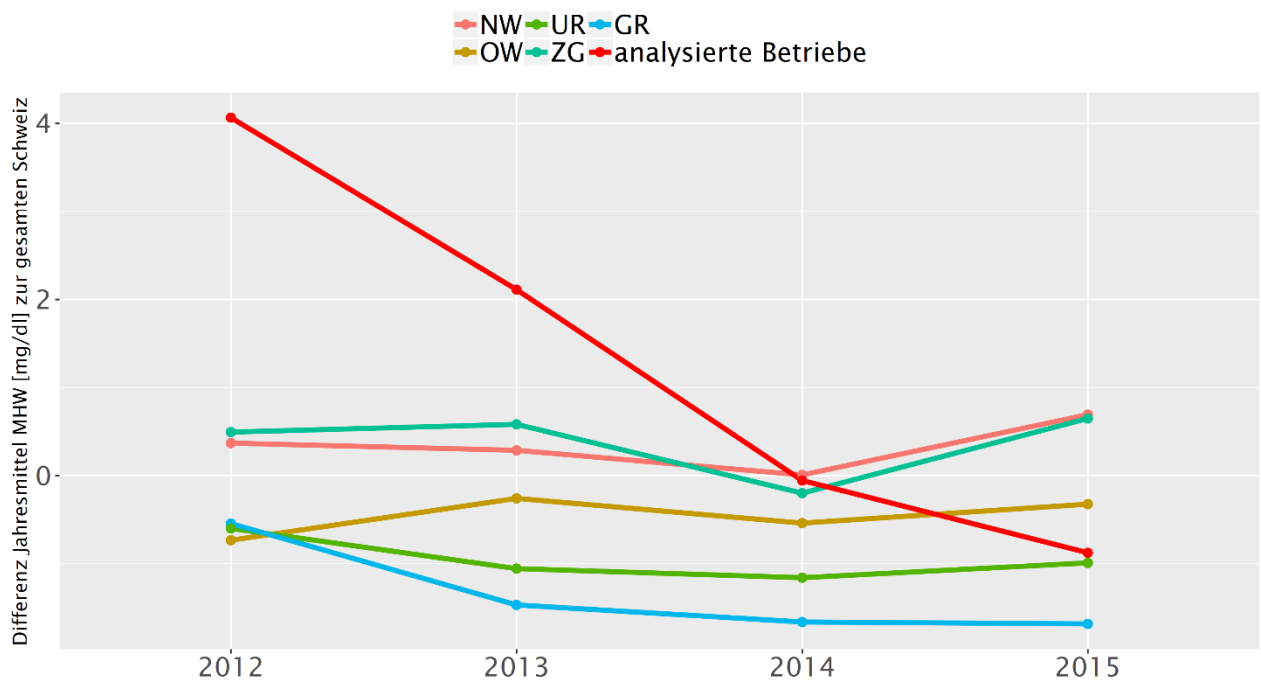


Abbildung 38 : Differenz des Jahresmittelwertes des Milchnitrogenwertes der am Projekt «Ausgewogene Milchviehfütterung» beteiligten Kantone, sowie der analysierten Betriebe zum nationalen Jahresmittelwert für die Jahre 2012 bis 2015.

Die im Modell verwendeten fixen Faktoren stehen nicht notwendigerweise in einem kausalen Zusammenhang mit dem Milchnitrogenwert. So erlaubt die Datengrundlage der Auswertung nationaler Milchnitrogenwerte keine direkten Rückschlüsse auf die Fütterung der Milchkühe. Es standen nur indirekte Angaben zur Flächennutzung zur Verfügung. Da jedoch auf einer Mehrheit der Betriebe nicht nur Milchkühe gehalten werden, konnte eine exakte Zuweisung der Futterflächen zur Milchproduktion nicht gemacht werden. In der Tabelle 10 sind die fixen Faktoren der Modelle und die zugrunde gelegten Hypothesen sowie die Erläuterung dazu aufgeführt.

Tabelle 10 : Fixe Faktoren welche in den Modellen der Auswertung der nationalen Milchharnstoffwerten (MHW) verwendet wurden und den Faktoren zugrunde gelegten Hypothesen.

Fixe Faktoren	Hypothese	Erläuterung
Vermarktete Milchmenge	Grössere Betriebe weisen höhere MHW auf, da sie die Fütterung bzgl. Kosten und Milchleistung optimieren woraus resultiert, dass sie eine Ration verfüttern, welche eher einen Rohprotein- als einen Energieüberschuss hat.	Die Ergebnisse zeigen, dass grössere Betriebe leicht höhere MHW aufweisen.
Landw. Zone	Betriebe in der Bergzone weisen aufgrund der unterschiedlichen botanischen Zusammensetzung der Wiesen und Weiden tiefere MHW auf, als Betriebe in den übrigen Zonen.	Die Ergebnisse zeigen, dass sich die MHW ab der BZ signifikant von den tieferliegenden Zonen unterscheiden. Wobei BZI & BZII leicht höhere MHW und BZIII & BZIV tiefere MHW aufweisen als die TZ/HZ. Ob die tieferen Werte der BZIII & BZIV auf die kräuterreichen Wiesen zurückzuführen sind, kann mit dieser Arbeit nicht abschliessend beantwortet werden. Da die wesentlichen Unterschiede in den Sommer- & Herbstmonaten festzustellen sind, kann vermutet werden, dass die botanische Zusammensetzung des Wiesenfutters einen wichtigen Einfluss hat.
Region / Kanton	Die regionalen Unterschiede in der Raufutterqualität basierend auf den Raufutterenquôte sind auch beim MHW feststellbar.	Die Raufutterenquôte (Augsburger et al. 2017) zeigen seit Jahren deutliche regionale Unterschiede in der Qualität der Raufutter. Aufgrund des hohen Anteils an Raufutter in den Milchviehrationen wurde vermutet, dass sich dies auf die Milchharnstoffwerte auswirken wird. Die Ergebnisse bestätigen die Hypothese, da die MHW durch die Region signifikant beeinflusst wird.
Teilnahme RAUS	Betriebe, welche beim Programm RAUS teilnehmen, weisen höhere MHW aus, da bei diesen Betrieben der Weidefutteranteil höher ist.	Die Ergebnisse zeigen, dass die Teilnahme bei RAUS zu höheren MHW führt. Ob der Zusammenhang Teilnahme RAUS = höherer Weideanteil in der Milchviehration gegeben ist, kann im Rahmen dieser Arbeit nicht beantwortet werden.
Teilnahme GMF	Betriebe, welche beim Programm GMF teilnehmen, weisen höhere MHW aus, da bei diesen Betrieben der Wiesenfutteranteil höher ist.	Die Ergebnisse zeigen, dass die Teilnahme bei GMF zu höheren MHW führt. Ob der Zusammenhang Teilnahme GMF = höherer Wiesenfutteranteil in der Milchviehration gegeben ist, kann im Rahmen dieser Arbeit nicht beantwortet werden (Erfüllung der GMF-Anforderung wird gesamtbetrieblich betrachtet).
Jahreseffekt	Die MHW unterscheiden sich zwischen den Jahren signifikant, da sich die Wiesenfutterqualität ebenfalls von Jahr zu Jahr ändert.	Wie verschiedene Studien gezeigt haben wird der MHW im Wesentlichen durch die Milchviehration, resp. dem Angebot an Futterenergie und -protein beeinflusst (Nousiainen et al. 2004; Aguilar et al. 2012). Da die Milchviehrationen in der Schweiz grösstenteils aus Wiesenfutter bestehen (Ineichen et al. 2016) kann davon ausgegangen werden, dass die Wiesenfutterqualität den MHW in der Schweiz wesentlich beeinflusst. Der Jahreseffekt spiegelt somit vor allem die jährliche Veränderung der Wiesenfutterqualität wider.
Monatseffekt	Die MHW unterscheiden sich zwischen den Monaten signifikant, da sich die Futterrationen (Anteil frisches Wiesenfutter) und die Qualität des frischen Wiesenfutters im Jahresverlauf stark ändert.	Verschieden Studien konnten einen Einfluss des Monats auf den MHW, verursacht durch eine sich im Jahresverlauf verändernden Wiesenfutterqualität feststellen (Godden et al. 2001; Benedet et al. 2018a). Die sehr hohen Werte in den Spätsommermonaten können zu einem grossen Teil durch das ungünstige Verhältnis an Futterenergie und -protein, welches zu dieser Jahreszeit im frischen Wiesenfutter besteht, zugeschrieben werden.
Interaktion Monatseffekt: Jahreseffekt	Aufgrund des zwischen den Jahren unterschiedlichen Vegetationsverlaufs und Witterungseinflusses ist der Monatseffekt nicht in jedem Jahr derselbe.	Insbesondere der Weideaustrieb im Frühling und das Einstellen der Tiere im Herbst kann sich zwischen den Jahren um mehrere Wochen verschieben.

## 5.2 Mögliche Zielkonflikte mit agrarpolitischen Zielen

Zur Reduktion des Milchharnstoffwertes verabreichten einige Betriebe weniger proteinreiche Kraftfuttermittel, der grössere Teil der Betriebe steigerte jedoch den Einsatz an energiereichen Futtermitteln. So wurde insbesondere mehr Ganzpflanzenmais auf Kosten des Wiesenfutters eingesetzt. Auf das ganze Jahr betrachtet wurde das konservierte Wiesenfutter mit -0.4 % weniger stark reduziert als das frische Wiesenfutter (Weide und Eingrasen) mit einem Rückgang von -1.1 %. Die Tatsache, dass die Betriebe eine Reduktion des Milchharnstoffwertes mit einer Reduktion des Wiesenfutteranteils in der Ration erreichten, kann in Widerspruch stehen mit der allgemein anerkannten Zielsetzung eines möglichst hohen Wiesenfutteranteils in der Ration der Milchkühe. Da es in den vorliegenden Projekten um die Reduktion der Ammoniakemissionen aus der Milchproduktion geht und der Zusammenhang zwischen Milchharnstoff und Emissionen stark vom Fütterungs- und Stallhaltungssystem beeinflusst wird, muss dieser Zielkonflikt jedoch relativiert werden. So reduzieren sich im Sommer nach Bracher (2011) die Emissionen mit jeder zusätzlichen Weidestunde über alle Emissionsstufen aufaddiert um 1.3 kg NH<sub>3</sub>-N pro Tier. Wobei gemäss Bracher (2011) in der Schweiz bei Teilweide von jährlichen Ammoniakemissionen zwischen 31.7 und 48.2 kg N pro Milchkuh ausgegangen werden kann. Nach dem Modell Agrammon führt eine Halbtagesweide (acht Stunden Weidedauer) gegenüber keinem Weidegang über alle Emissionsstufen aufaddiert zu einem Rückgang der jährlichen Emissionen von zehn Prozent (Kupper 2018, persönliche Mitteilung).

Die Teilnahme an den Bundesprogrammen RAUS (+0.459 mg/dl SE 0.044) und GMF (+0.22 mg/dl SE 0.042) führen auf nationaler Ebene zu leicht höheren Milchharnstoffwerten. RAUS schreibt per Definition während der Vegetationszeit regelmässiger Auslauf auf die Weide vor. 82 % der Milchwirtschaftsbetriebe welche GMF erfüllen, erfüllen ebenfalls die RAUS Anforderungen. Da somit Betriebe welche RAUS und/oder GMF erfüllen tendenziell die Kühe mehr auf der Weide halten, kann gemutmasst werden, dass die Betriebe zwar leicht höhere Milchharnstoffwerte aufweisen, diese jedoch nicht zwingend in höheren Ammoniakemissionen resultieren. Als Folge sollte somit unter Berücksichtigung des Haltungssystems kein Zielkonflikt zwischen den Bundesprogrammen RAUS/GMF und der Reduktion von Ammoniakemissionen bestehen.

Ansätze zur Reduktion der Ammoniakemissionen in der Milchproduktion sollten somit zwingend nicht einzig über den Milchharnstoffwert, sondern immer unter Berücksichtigung des Haltung- und Fütterungssystems gemacht werden, was durch die Arbeit von Bracher (2011) bestätigt wird. Dies umso mehr, da für die Milchbranche ein hoher Wiesenfutteranteil in der Ration ein wichtiges Alleinstellungsmerkmal ist.

Dass sich Milch aufgrund des Wiesenfutteranteils differenzieren lässt haben verschiedene Studien gezeigt (Couvreux et al. 2006; Coppa et al. 2015; Coppa et al. 2017; Sutter et al. 2017). Ein wichtiges Verkaufsargument von Labels wie zum Beispiel Wiesenmilch, ist die Herkunft der Futtermittel für die Milchkühe (Gfeller 2015). So verstehen Konsumenten unter Wiesenmilch, Milch welche mit regionalem Futter, vorwiegend von Wiesen und Weiden produziert wird (Gfeller 2015).

Bei den untersuchten Betrieben hatte die Veränderung der Futtrationen einen unterschiedlichen Einfluss auf die Herkunft der Futtermittel gehabt. Bei den Betrieben in der Talzone (n=9) hat sich nach TS und MJ NEL zwischen den Jahren 2012 und 2014 bezüglich Futtermittelherkunft nichts verändert (Abbildung 39). Durch den Rückgang der Rationsanteile von künstlich getrockneter Luzerne, anderen Futtermitteln (Zuckerrübenschnitzel oder Birtreber) und des Proteinkonzentrates konnte die regionale Herkunft von APDE und APDN gesteigert werden. Die Betriebe der Hügelzone (n=5) weisen auf allen Stufen einen Rückgang der regionalen Herkunft der Futtermittel von 2012 zum 2014 auf. Im Gegensatz zu den Betrieben der Talzone haben diese Betriebe mehr Kraftfutter und mehr (betriebsfremden) Ganzpflanzenmais eingesetzt. Die Betriebe der Bergzone I (n=4) haben die Rationen vorwiegend bei den energiereichen Futtermitteln adaptiert. Deshalb sind die Unterschiede bei APDE und APDN zwischen den Jahren nur gering. Durch den erhöhten Einsatz von Ganzpflanzenmais, anderen Futtermitteln (Zuckerrübenschnitzel oder Birtreber) und energiereichen Kraftfuttermitteln sank die regionale Versorgung nach MJ NEL dieser Betriebe vom 2012 zum 2014. Betriebe der Bergzone II (n=6) steigerten vom 2012 zum 2014 den Kraftfutteranteil und den Ganzpflanzenmaisanteil. Aufgrund des erhöhten Einsatzes von proteinreichen Kraftfuttern stieg der Anteil APDE und APDN aus dem Kraftfutter auf Kosten des Wiesenfutters. Betriebe der Bergzone III (n=8) erreichten durch einen reduzierten Kraftfutareinsatz im Jahr 2014 eine, insbesondere bezüglich APDE und APDN, regionalere Futtermittelherkunft.

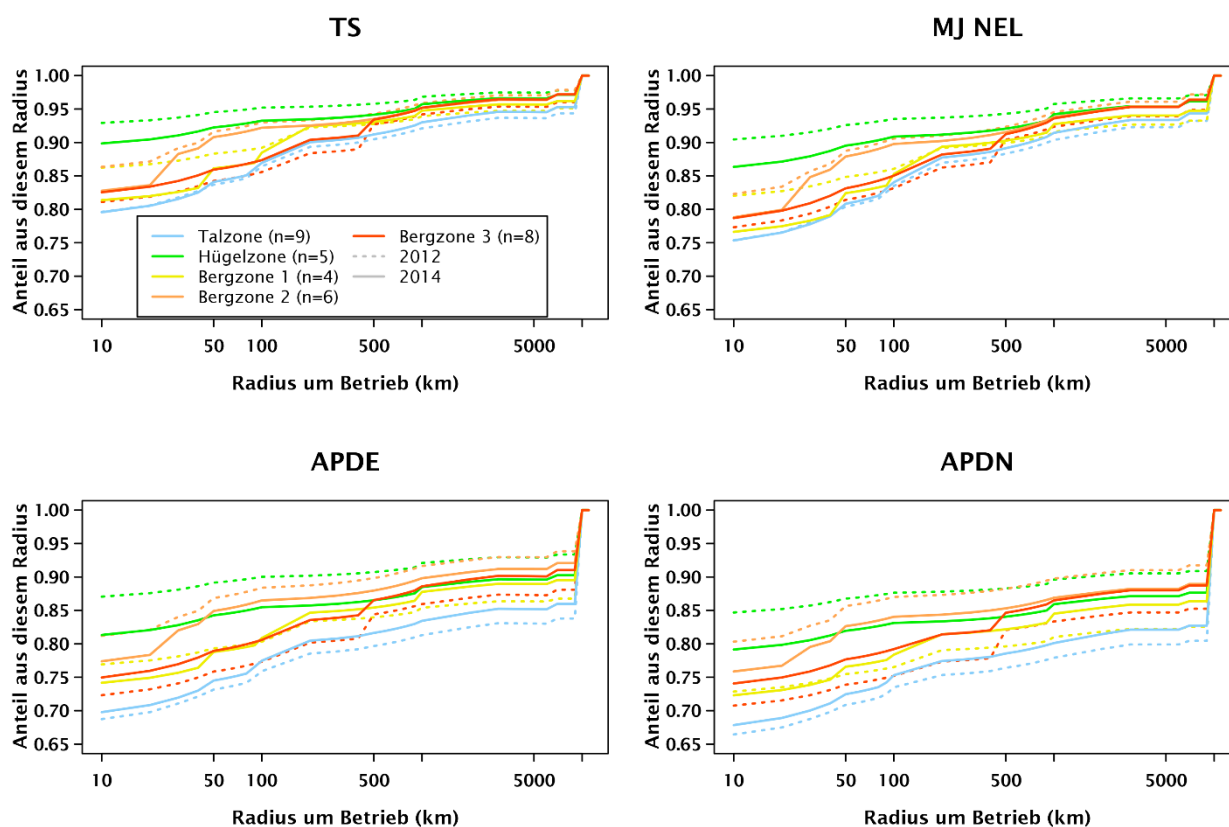


Abbildung 39 : Herkunft der Futtermittel der Gesamtration der laktierenden Milchkühe im Mittel der analysierten Betriebe für die Jahre 2012 (gestrichelte Linie) und 2014 (ausgezogene Linie) differenziert nach der Zoneneinteilung. Die Grafiken zeigen den Anteil an TS, MJ NEL, APDE & APDN der Gesamtration der laktierenden Milchkühe, welcher aus dem entsprechenden Radius kommt.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist es fraglich ob eine Reduktion des Wiesenfutteranteils, insbesondere des frischen, nachhaltig ist. So weisen gemäss Haas und Hofstetter (2017) Milchviehbetriebe mit Vollweide und saisonaler Milchproduktion einen deutlich höheren Arbeitsverdienst aus als die übrigen Betriebe.

Hofstetter et al. (2011) wiesen unter schweizerischen Fütterungsbedingungen eine Futtermittelverwertung zwischen 1.08 und 1.28 kg ECM / kg TS aus. Wobei 1.08 bei einer Kraftfutterintensitat von 53.9 g Frischsubstanz (FS) pro kg ECM und 1.28 bei einer Intensität von 131.1 g FS pro kg ECM erreicht wurde. Bei der Annahme einer mittleren Futtermittelverwertung von 1.18 kg ECM / kg TS entsprechen die Futter- und Fütterungskosten pro dt TS dividiert mit dem Faktor 1.18 den Futter- und Fütterungskosten pro kg ECM. Somit liegen die berechneten Kosten im Berggebiet zwischen Fr. 0.69 und Fr. 0.64 pro kg ECM und in der Tal- und Hügelzone bei Fr. 0.53 und Fr. 0.54 pro kg ECM. Dies entspricht leicht höheren Futter- und Fütterungskosten als in der Literatur anzutreffen ist (World mapping of animal feeding systems in the dairy sector 2014). Dabei handelt es sich jedoch auch um deutlich grösseren Milchviehherden als im Rahmen dieser Auswertung untersucht wurden. Weiter liegt die Mehrheit der Betriebe in der Bergzone, wodurch die Kosten aufgrund der teureren Mechanisierung und des höheren Arbeitskraftbedarfs pro dt TS, tendenziell höher ausfallen als im Talgebiet.



### 5.3 Abschätzung der potenziellen Verlustreduktion

Für die Abschätzung der potenziellen Reduktion der Stickstoffverluste durch Ammoniak muss ein Milchnharnstoffzielwert festgelegt werden. Wie im Kapitel 5.1 aufgezeigt wird der Milchnharnstoffwert durch sehr unterschiedliche Faktoren beeinflusst. Dies erschwert das Festlegen eines Zielwertes zusätzlich, weshalb auch in der Literatur sehr unterschiedliche Werte genannt werden. Bracher (2011) weist einen Optimalbereich des Milchnharnstoffwertes von 17-26 mg/dl aus, Nousiainen et al. (2004) gehen davon, dass es für einen gut funktionierenden Pansen einen Wert von 25 mg/dl benötigt wird und van Duinkerken et al. (2011) weist ein Zielwert von 18 mg/ 100 g Milch aus. Abhängig von der Dichte der Milch entspricht dies in etwa 18 mg/dl. Die befragten Betriebsleiter gaben einen Milchnharnstoffwertebereich zwischen 15 bis 20 mg/dl an.

Aufgrund der phänotypischen Effekte auf den Milchnharnstoffwert beurteilt Aguilar et al. (2012) das Festlegen eines Zielwertes als problematisch. Umweltbedingte und genetische Faktoren könnten zu herdenspezifischen abnormalen Milchnharnstoffwerten führen (Aguilar et al. 2012). Im Hinblick auf die Reduktion der Stickstoffausscheidungen über den Harn ist es möglich, dass Milchkühe mit einem erhöhten Milchnharnstoffwert aufgrund eines genetisch bedingten verringerten Blutharnstofftransportes weniger Harnstoff über den Harn (UUC) ausscheiden als Tiere mit einem normalen Milchnharnstoffwert (Aguilar et al. 2012). Die Autoren dieser Studie weisen darauf hin, dass Zielwerte nur mit einem herdenspezifischen Korrekturfaktor eingesetzt werden sollten. Falls dies nicht möglich ist, müsste der Zielwert mit einer genügend grossen Sicherheitsmarge berechnet werden. Die Autoren schlagen als Sicherheitsmarge die in dieser Studie berechnete herdenspezifische Variation von 1.6 mg/dl Milchnharnstoff-N (MUN) vor. Dies entspricht einem Milchnharnstoffwert (MHW) von 3.4 mg/dl.

Die Entstehung von Ammoniak wird neben der Menge des ausgeschiedenen Stickstoffs über den Harn, weiter durch die Temperatur, die Luftaustauschrate sowie das Haltungssystem beeinflusst (Schrade et al. 2012; Kupper et al. 2015). Weiter unterscheiden sich die Emissionsraten aufgrund des Haltungssystems der Milchkühe und der Weidedauer pro Tag und Jahr (Kupper und Menzi 2013). So reduziert eine Halbtagesweide (acht Stunden Weidedauer) die Ammoniakemissionen im Vergleich zur Haltung ohne Weide über alle Emissionsstufen aufaddiert um zehn Prozent (Kupper 2018, persönliche Mitteilung).

Diese Ausführungen zeigen, dass eine Abschätzung des Reduktionspotenzials der Ammoniakemissionen mit sehr vielen Unsicherheiten behaftet ist.

Um dennoch eine Grössenordnung über das Reduktionspotenzial zu erhalten ist im Rahmen dieser Arbeit mithilfe des Modelles von van Duinkerken et al. (2011) für den Zeitraum 2012 bis 2016 ein jährliches Reduktionspotenzial von 9 % berechnet worden. Gemäss Kupper et al. (2015) verursachte die Milchviehhaltung in der Schweiz im 2010 49 % der Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung und dem Hofdüngermanagement. Basierend auf dieser Studie verursachte die Milchproduktion 2010 Ammoniakemissionen in der Höhe von 21'305 Tonnen Stickstoff. Eine Reduktion dieser Emissionen um 9 % würden 1'917 Tonnen Stickstoff entsprechen. Basierend auf diesen Berechnungen und bei einem Zielwert von 18 mg/dl würde die Milchviehhaltung mit der Reduktion des Milchnharnstoffwertes, rund 8 % zur beauftragten Reduktion der Ammoniakemissionen von 23'000 Tonnen Stickstoff beitragen. Dabei ist ein möglicher Anhebungseffekt für Betriebe mit einem Milchnharnstoffwert < 18 mg/dl und den daraus resultierenden potenziell höheren Ammoniakemissionen nicht berücksichtigt.

Um ein Verhältnis über den Einfluss der Begin-of-Pipe-Massnahme Milchnharnstoffreduktion gegenüber dem Einfluss des Haltungssystems zu erhalten, wurde mit dem Modell Agrammon (Kupper und Menzi 2013) basierend auf der letzten nationalen Emissionsschätzung aus dem Jahr 2015, der Einfluss der Weidedauer auf die Ammoniakemissionen eruiert. Aufbauend auf dieser Ausgangslage, bei welcher von 174 Weidetagen pro Jahr und 8.2 Weidestunden pro Tage ausgegangen wurde, führte eine Erhöhung der Weidestunden auf 19 h pro Tag ebenfalls zu einer Reduktion von 9 % der Ammoniakemissionen aus der Milchproduktion. Wobei die Reduktionsabschätzung basierend auf dem Modell Agrammon im Gegensatz zum Modell van Duinkerken die realen Bedingungen in der Schweiz abbildet und somit mit wesentlich weniger Unsicherheiten behaftet i.



## 6 Folgerungen

Mit der vorliegenden Arbeit konnte nicht gezeigt werden, dass die durch die Betriebe im Rahmen des Projektes «*Ausgewogene Milchviehfütterung*» ergriffenen Fütterungsmassnahmen, über alle Betriebe betrachtet, in einem kausalen Zusammenhang mit der Veränderung des Milchharnstoffwertes stehen. Auf Stufe Einzelbetrieb, insbesondere bei Betrieben mit überdurchschnittlichen Kraftfuttermengen, war es möglich einen Zusammenhang zwischen den ergriffenen Fütterungsmassnahmen und dem Milchharnstoffwert aufzuzeigen.

Die Veränderungen der Futtrationen resultierten in einem Rückgang des Wiesenfutters- und einer Erhöhung des Ganzpflanzenmaisanteils. Wobei beim Wiesenfutter der Anteil frisches Wiesenfutter stärker reduziert wurde als der Anteil Konserviertes. Im Mittel sind die Kraftfuttermengen auf gleichem Niveau geblieben, jedoch sind teilweise proteinreiche Kraftfuttermittel durch energiereiche ersetzt worden. Durch die Veränderung der Futtrationen hat die regionale Herkunft der Futtermittel, über alle Betriebe betrachtet, abgenommen.

Basierend auf den untersuchten Betrieben konnten keine nennenswert höheren Futter- und Fütterungskosten aufgrund des Projektes «*Ausgewogene Milchviehfütterung*» festgestellt werden. Die berechneten Rationskosten lagen in Jahre 2012 und 2014 zwischen Fr. 0.64 und Fr. 0.53 pro kg ECM, wobei es deutliche Unterschiede zwischen den Betrieben und zwischen den landwirtschaftlichen Zonen gab.

Sowohl die Milchgehalte als auch die Milchmenge ausgedrückt in kg ECM wurden durch die tieferen Milchharnstoffwerte der Projektbetriebe nicht massgeblich beeinflusst.

Die qualitative Befragung der Betriebsleiter hat gezeigt, dass eine Mehrheit den Milchharnstoffwert als wichtige Steuergrösse zur Anpassung der Futtration bereits heute einsetzt. Als minimaler Milchharnstoffwert bei welchem noch keine Leistungseinbussen feststellbar sein sollten, nannte eine Mehrheit der Betriebe Werte zwischen 15 und 20 mg/dl.

Die Analyse der Projektbetriebe als auch die Auswertung der nationalen Milchharnstoffwerte haben gezeigt, dass zwischen einem möglichst hohen Anteil an Wiesenfutter in der Ration und tiefen Milchharnstoffwerten potenziell ein Zielkonflikt besteht. Dagegen war die Teilnahme an den RAUS und GMF-Programmen des Bundes auf den untersuchten Betrieben durch die Teilnahme am Projekt «*Ausgewogene Milchviehfütterung*» und durch die Senkung des Milchharnstoffwertes nicht gefährdet. Betriebe, welche sich an den Programmen RAUS und GMF beteiligten, wiesen leicht höhere Milchharnstoffwerten auf. Mindestens im Fall von RAUS muss dieser Zusammenhang jedoch relativiert werden, da die Weidehaltung im Vergleich zur Stallhaltung geringere Ammoniakemissionen aufweist.

Der Rohproteingehalt und die - art in der Ration resp. das Verhältnis Rohprotein zu Futterenergie haben den grössten Einfluss auf den Milchharnstoffwert, wobei jedoch die Analysemethode und physiologische Mechanismen innerhalb der Kuh ebenfalls einen Einfluss haben können.

Erstmals sind die im Rahmen der öffentlich-rechtlichen Milchkontrolle analysierten Milchharnstoffwerte statistisch ausgewertet worden. Für die Zeitperiode 2012 bis 2016 lag der Milchharnstoffwert bei  $22.22 \pm 6.63$  mg/dl. Die Höhe des Milchharnstoffwertes wird wesentlich durch folgende Faktoren beeinflusst: verkaufte Milchmenge, landwirtschaftliche Zoneneinteilung, Region, Teilnahme bei den Programmen RAUS und GMF, Jahres- und Monatseffekt.

Eine einfache Abschätzung aufgrund eines bestehenden Ammoniakemissionsmodelles, ohne der Berücksichtigung der effektiven Haltungssysteme und Weidedauer, ergab bei einem Zielwert von 18 mg/dl, ein jährliches Reduktionspotenzial der Ammoniakemissionen für die Jahre 2012 bis 2016 von 9 %.

## 7 Ausblick

Aufgrund der vorliegenden Arbeit stehen erstmals detaillierte Angaben zu den Milchwahstoffwerten differenziert nach Region, Höhenstufe und Betriebsgrösse (Milchmenge, Anzahl Milchkühe) zur Verfügung. Der Zusammenhang zwischen Milchwahstoffwert und Harnstoff aus dem Harn ist in verschiedenen Studien gut dokumentiert. Es wäre somit möglich, pro Betrieb die über den Harn ausgeschiedene Stickstoffmenge mit einer hohen Genauigkeit abzuschätzen. Mithilfe des Modelles Agrammon wäre es in einem nächsten Schritt möglich, die TAN-Flüsse (Total Ammoniacal Nitrogen) zu berechnen. Mit dem Modell Agrammon können die Ammoniakemissionen aus der Milchproduktion unter Berücksichtigung der Haltungssysteme und der Fütterung berechnet werden. Es wäre somit möglich eine sehr genaue Schätzung des Emissionsreduktionspotenzials für die Milchproduktion der Schweiz zu erstellen. Basierend auf diesen Angaben wäre es möglich, die Wirkung und Kosteneffizienz von möglichen Ressourceneffizienzbeiträgen abzuschätzen.

## 8 Dank

Für die Datenerhebung und die Auswertungen wurden von verschiedenen Stellen Daten zur Verfügung gestellt und es sind verschiedene fachliche Inputs eingebracht worden. Namentlich möchten wir folgenden Organisationen / Personen für die unterstützende Zusammenarbeit danken:

- Michael Jenni, Treuhandstelle Milch TSM, Bern
- Nicolas Berger, Swissherdbook, Zollikofen
- Berli Hansueli, Braunvieh Schweiz, Zug
- Yanick Blaser, Identitas AG, Bern
- Chris Kopp, Dozent Statistik HAFL, Zollikofen
- Annelies Uebersax, Agrofutura AG, Rotkreuz

## 9 Literaturverzeichnis

- Agroscope, 2018. Feedbase, abgerufen am 17.03.2018, <https://www.feedbase.ch/index.php> (Agroscope Tänikon) (Hrsg.), 2014. Maschinenkosten 2014. Agroscope Tänikon, Ettenhausen, 52 S.
- Aguilar M, Hanigan MD, Tucker HA, Jones BL, Garbade SK, McGilliard ML, Stallings CC, Knowlton KF, James RE, 2012. Cow and herd variation in milk urea nitrogen concentrations in lactating dairy cattle. *Journal of dairy science*, 95 (12), 7261–7268, abgerufen am 31.05.2018.
- Almeida J, Beretta C, 2012. Lebensmittelverluste in der Schweiz - Ausmass und Handlungsoptionen, unveröffentlicht, Zürich, 16 S.
- Analyseregionen, 2018, 15.02.2018, abgerufen am 15.02.2018, <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/querschnittsthemen/raeumliche-analysen/raeumliche-gliederungen/analyseregionen.html>
- Aphalo PJ, 2016. Learn R ...as you learnt your mother tongue. Leanpub.
- Augsburger C, Guldemann K, Bracher A, Sutter F, 2017. Raufutter-Enquête 2013-2017, unveröffentlicht, Lindau.
- Bach A, Valls N, Solans A, Torrent T, 2008. Associations between nondietary factors and dairy herd performance. *Journal of dairy science*, 91 (8), 3259–3267.
- (BAFU), (BLW) (Hrsg.), 2008. Umweltziele Landwirtschaft. Hergeleitet aus rechtlichen Grundlagen. Bundesamt für Umwelt, Bern, 221 S.
- (BAFU), (BLW) (Hrsg.), 2016. Umweltziele Landwirtschaft. Statusbericht 2016. Bundesamt für Umwelt, Bern, 114 S.
- Bastin C, Laloux L, Gillon A, Miglior F, Soyeurt H, Hammami H, Bertozzi C, Gengler N, 2009. Modeling milk urea of Walloon dairy cows in management perspectives. *Journal of dairy science*, 92 (7), 3529–3540.
- Benedet A, Manuelian CL, Penasa M, Cassandro M, Righi F, Sternieri M, Galimberti P, Zambrini AV, Marchi M de, 2018a. 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.
- Benedet A, Manuelian CL, Penasa M, Cassandro M, Righi F, Sternieri M, Galimberti P, Zambrini AV, Marchi M de, 2018b. Factors associated with herd bulk milk composition and technological traits in the Italian dairy industry. *Journal of dairy science*, 101 (2), 934–943.
- Bracher A, 2011. Möglichkeiten zur Reduktion von Ammoniakemissionen durch Fütterungsmassnahmen beim Rindvieh (Milchkuh), unveröffentlicht. Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft; Agroscope Liebefeld-Posieux, 128 S.
- Broderick GA, 2003. Effects of Varying Dietary Protein and Energy Levels on the Production of Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 86 (4), 1370–1381.
- Broderick GA, Clayton MK, 1997. A Statistical Evaluation of Animal and Nutritional Factors Influencing Concentrations of Milk Urea Nitrogen. *Journal of dairy science*, 80 (11), 2964–2971, abgerufen am 15.12.2016, [http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(97\)76262-3/pdf](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(97)76262-3/pdf)
- Campeneere S de, Brabander DL de, Vanacker JM, 2006. Milk urea concentration as affected by the roughage type offered to dairy cattle. *Livestock Science*, 103 (1-2), 30–39.
- Coppa M, Chassaing C, Ferlay A, Agabriel C, Laurent C, Borreani G, Barcarolo R, Baars T, Kusche D, Harstad OM, Verbič J, Golecký J, Delavaud C, Chilliard Y, Martin B, 2015. Potential of milk fatty acid composition to predict diet composition and authenticate feeding systems and altitude origin of European bulk milk. *Journal of Dairy Science*, 98 (3), 1539–1551, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030214008856>
- Coppa M, Revello-Chion A, Giaccone D, Tabacco E, Borreani G, 2017. Could predicting fatty acid profile by mid-infrared reflectance spectroscopy be used as a method to increase the value added by milk production chains? *Journal of dairy science*, 100 (11), 8705–8721.
- Couvreur S, Hurtaud C, Lopez C, Delaby L, Peyraud JL, 2006. The Linear Relationship Between the Proportion of Fresh Grass in the Cow Diet, Milk Fatty Acid Composition, and Butter Properties. *Journal of Dairy Science*, 89 (6), 1956–1969, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030206722639>
- Cutullic E, Chevalley S, Thomet P, Piccand V, 2012. Etat des lieux sur l'affouragement des vaches laitières. Enquêtes sur les exploitations en lait de centrale de Prolait, unveröffentlicht. Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires, Zollikofen, 38 S.

- Cutullic E, Flury C, 2011. Efficacité laitière : prise en compte du poids vif estimé par description linéaire dans les valeurs d'élevage de 3 races laitières suisses. *Revue des intérêts et risques, potentiel d'application aux différentes races*, unveröffentlicht, Zollikofen, 76 S.
- Die sieben Grossregionen der Schweiz. Die Schweiz im europäischen Regionalsystem, 2017, abgerufen am 15.02.2018, <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/kataloge-datenbanken/medienmitteilungen.assetdetail.11611.html>
- Dowle M, Srinivasan A, 2018. data.table. Extension of 'data.frame'.
- Gfeller M, 2015. Vermarktung der IP-Suisse Wiesenmilch. Wie können ihre Mehrwerte den Konsumenten verständlich gemacht werden? Bachelor Thesis, unveröffentlicht. Berner Fachhochschule, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften, Zollikofen, 159 S.
- Godden SM, Lissemore KD, Kelton DF, Leslie KE, Walton JS, Lumsden JH, 2001. Factors Associated with Milk Urea Concentrations in Ontario Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 84 (1), 107–114.
- 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/>
- Guldemann K, Bracher A, Sutter F, 2014. Dürrfutter-Enquête 2014. Agridea Raufutter-Enquête.
- Haas T, Hofstetter P, 2017. Milchproduktion: Verkaufte Milchmenge und Weideanteil beeinflussen den Arbeitsverdienst. *Agrarforschung Schweiz*, 8 (9), 356–363.
- Häni C, Sintermann J, Kupper T, Jocher M, Neftel A, 2016. Ammoniak-Emissionen nach Ausbringung von Gülle, unveröffentlicht, Zollikofen, 166 S.
- Hofstetter P, Frey H-J, Petermann R, Gut W, Herzog L, Kunz P, 2011. Stallhaltung versus Weidehaltung - Futter, Leistung und Effizienz. *Agrarforschung Schweiz*, 2 (9), 402–411, abgerufen am 06.10.2011.
- Højsgaard S, Halekoh U, 2016. doBy. Groupwise Statistics, LSmeans, Linear Contrasts, Utilities.
- Huhtanen P, Cabezas-Garcia EH, Krizsan SJ, Shingfield KJ, 2015. Evaluation of between-cow variation in milk urea and rumen ammonia nitrogen concentrations and the association with nitrogen utilization and diet digestibility in lactating cows. *Journal of dairy science*, 98 (5), 3182–3196.
- 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, 73 S.
- Jans F, Kessler J, Mürger A, Schori F, Schlegel P, 2016. Fütterungsempfehlungen für die Milchkuh. In: (Agroscope) (Hrsg.). Fütterungsempfehlung für Wiederkäuer. Grünes Buch, Posieux, Schweiz, S. 1–23.
- Johnson PC, 2014. Extension of Nakagawa & Schielzeth's R2GLMM to random slopes models. *Methods in ecology and evolution*, 5 (9), 944–946.
- Kauffman AJ, St-Pierre NR, 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 RA, Kalscheur KF, 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, 2018. Weide und NH<sub>3</sub>. schriftlich vom 07.11.2018.
- 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, 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.
- Monteny G-J, 2000. Modelling of ammonia emissions from dairy cow houses. PhD Thesis, unveröffentlicht. Wageningen University, Wageningen.
- Nakagawa S, Johnson PCD, Schielzeth H, 2017. The coefficient of determination R<sup>2</sup> and intra-class correlation coefficient from generalized linear mixed-effects models revisited and expanded. *Journal of the Royal Society, Interface*, 14 (134).
- Nakagawa S, Schielzeth H, 2013. A general and simple method for obtaining R<sup>2</sup> from generalized linear mixed-effects models. *Methods in Ecology and Evolution*, 4 (2), 133–142.

- Nemecek T, Jungbluth N, i Canals LM, Schenck R, 2016. Environmental impacts of food consumption and nutrition. Where are we and what is next? *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21 (5), 607–620.
- Nousiainen J, Shingfield KJ, 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, 2018. *nlme*. Linear and Nonlinear Mixed Effects Models.
- R Core Team, 2018. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Reutimann J, Heldstab J, Leippert F, 2013. Stickstoff in der Land- & Ernährungswirtschaft. Stickstoffflüsse, Verluste und Reduktionspotentiale, unveröffentlicht. INFRAS, Zürich, 44 S.
- Reynolds CK, Kristensen NB, 2008. Nitrogen recycling through the gut and the nitrogen economy of ruminants. An asynchronous symbiosis. *Journal of Animal Science*, 86 (14 Suppl), E293-305.
- Schepers AJ, Meijer RGM, 1998. Evaluation of the Utilization of Dietary Nitrogen by Dairy Cows Based on Urea Concentration in Milk. *Journal of Dairy Science*, 81 (2), 579–584.
- 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.
- Schweizerische Eidgenossenschaft vom 18. Oktober 2017. Verordnung über die Direktzahlungen an der Landwirtschaft (Direktzahlungsverordnung, DZV).
- Selbie DR, Buckthought LE, Shepherd MA, 2015. The Challenge of the Urine Patch for Managing Nitrogen in Grazed Pasture Systems, 129, 229–292.
- Spek JW, 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.
- Stierli M, 2017a. Messbereich Milhharnstoffwert MilkoScan. Email vom 05.10.2017.
- Stierli M, 2017b. Messungenauigkeit Analysemethode Milhharnstoff mittels MilkoScan. Email vom 05.10.2017.
- Sutter M, Bär C, Egger C, Portmann R, Bisig W, Reidy B, 2017. Erarbeitung von Differenzierungsmerkmalen von Wiesenmilch: Einfluss der wiesenfutterbasierten Fütterung auf die Milchzusammensetzung und die Futterautonomie. In: (Professur für Landnutzungssysteme am Albrecht Daniel Thaer-Institut für Agrar- und Gartenbauwissenschaften der Humboldt-Universität zu Berlin) (Hrsg.). Mitteilung der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau. Nachhaltige Futterproduktion auf Niedermoorgrünland, 24. bis 26. August 2017, S. 117–122.
- Tamminga S, 1992. Nutrition Management of Dairy Cows as a Contribution to Pollution Control. *Journal of Dairy Science*, 75 (1), 345–357.
- Uebersax A, 2016. Ressourcenprojekt Ammoniak Zentralschweiz: Schlussbericht 2015, unveröffentlicht, Rotkreuz, 21 S.
- 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>
- Urbanek S, Horner J, 2015. Cairo. R graphics device using cairo graphics library for creating high-quality bitmap (PNG, JPEG, TIFF), vector (PDF, SVG, PostScript) and display (X11 and Win32) output.
- van Duinkerken G, Smits MCJ, Andre G, Sebek LBJ, Dijkstra J, 2011. Milk urea concentration as an indicator of ammonia emission from dairy cow barn under restricted grazing. *Journal of dairy science*, 94 (1), 321–335.
- Wickham H, 2009. *ggplot2. Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.
- Wickham H, Francois R, Henry L, Müller K, 2018. *dplyr. A Grammar of Data Manipulation*.
- World mapping of animal feeding systems in the dairy sector, 2014. FAO, Rome, ca. 163 S.
- Zeileis A, Grothendieck G, 2005. zoo. S3 Infrastructure for Regular and Irregular Time Series. *Journal of Statistical Software*, 14 (6), 1–27.



## Anhang 1: Statistisches Modell A

Modell A Fixe Faktoren	MHW	Std.Error	p-Wert	95% - Vertrauensintervall	
				untere	obere
(Intercept)	17.677	0.073	0.000	17.534	17.819
Verm. Jahresmilchmenge	0.004	0.000	0.000	0.003	0.004
Hügelzone	0.096	0.068	0.155	-0.036	0.229
Bergzone I	0.240	0.069	0.000	0.105	0.374
Bergzone II	0.412	0.067	0.000	0.281	0.543
Bergzone III	-0.613	0.096	0.000	-0.801	-0.424
Bergzone IV	-0.987	0.129	0.000	-1.241	-0.734
Genferseeregion	1.301	0.097	0.000	1.112	1.491
Nordwestschweiz	-1.399	0.103	0.000	-1.601	-1.197
Ostschweiz	1.166	0.060	0.000	1.050	1.283
Tessin	2.686	0.314	0.000	2.071	3.301
Zentralschweiz	1.583	0.063	0.000	1.460	1.706
Zürich	-0.734	0.106	0.000	-0.941	-0.526
Teilnahme RAUS ja	0.459	0.044	0.000	0.373	0.546
2013	0.541	0.047	0.000	0.449	0.633
2014	0.329	0.048	0.000	0.235	0.422
2015	0.338	0.048	0.000	0.244	0.433
2016	1.990	0.048	0.000	1.895	2.084
Februar	0.539	0.032	0.000	0.476	0.602
März	0.784	0.039	0.000	0.707	0.861
April	0.812	0.043	0.000	0.728	0.896
Mai	0.739	0.045	0.000	0.651	0.826
Juni	3.615	0.046	0.000	3.525	3.705
Juli	6.098	0.047	0.000	6.005	6.191
August	8.505	0.048	0.000	8.411	8.598
September	8.380	0.047	0.000	8.288	8.473
Oktober	5.695	0.047	0.000	5.603	5.787
November	4.031	0.047	0.000	3.940	4.123
Dezember	1.610	0.047	0.000	1.518	1.702
2013:Februar	-0.612	0.045	0.000	-0.702	-0.523
2014:Februar	-1.557	0.046	0.000	-1.648	-1.466
2015:Februar	-1.835	0.047	0.000	-1.927	-1.743
2016:Februar	0.235	0.046	0.000	0.144	0.326
2013:März	-0.934	0.056	0.000	-1.044	-0.824

2014:März	-1.150	0.057	0.000	-1.261	-1.038
2015:März	-1.614	0.057	0.000	-1.726	-1.502
2016:März	-0.247	0.057	0.000	-0.359	-0.134
2013:April	-0.366	0.061	0.000	-0.485	-0.246
2014:April	-0.606	0.062	0.000	-0.727	-0.485
2015:April	-0.981	0.062	0.000	-1.102	-0.859
2016:April	1.154	0.062	0.000	1.032	1.276
2013:Mai	-1.176	0.064	0.000	-1.300	-1.051
2014:Mai	-2.494	0.065	0.000	-2.621	-2.368
2015:Mai	-0.856	0.065	0.000	-0.983	-0.729
2016:Mai	-1.556	0.065	0.000	-1.683	-1.429
2013:Juni	-5.270	0.066	0.000	-5.400	-5.141
2014:Juni	-3.884	0.067	0.000	-4.014	-3.754
2015:Juni	-1.382	0.067	0.000	-1.513	-1.251
2016:Juni	-4.537	0.067	0.000	-4.669	-4.406
2013:Juli	-4.829	0.068	0.000	-4.962	-4.696
2014:Juli	-2.533	0.068	0.000	-2.667	-2.399
2015:Juli	-1.224	0.069	0.000	-1.359	-1.090
2016:Juli	-4.314	0.069	0.000	-4.450	-4.179
2013:August	-1.538	0.069	0.000	-1.673	-1.404
2014:August	-4.432	0.069	0.000	-4.567	-4.298
2015:August	-0.343	0.069	0.000	-0.478	-0.208
2016:August	-2.584	0.069	0.000	-2.720	-2.448
2013:September	-2.082	0.068	0.000	-2.216	-1.948
2014:September	-4.130	0.068	0.000	-4.262	-3.997
2015:September	0.071	0.068	0.299	-0.063	0.205
2016:September	-0.770	0.069	0.000	-0.905	-0.636
2013:Oktober	1.803	0.069	0.000	1.667	1.938
2014:Oktober	1.217	0.067	0.000	1.085	1.349
2015:Oktober	0.950	0.068	0.000	0.817	1.082
2016:Oktober	-2.525	0.068	0.000	-2.658	-2.391
2013:November	-0.907	0.071	0.000	-1.046	-0.768
2014:November	-1.194	0.067	0.000	-1.326	-1.063
2015:November	0.665	0.068	0.000	0.533	0.798
2016:November	-3.677	0.068	0.000	-3.811	-3.544
2013:Dezember	-1.477	0.075	0.000	-1.624	-1.329
2014:Dezember	-1.146	0.067	0.000	-1.278	-1.014
2015:Dezember	-0.680	0.068	0.000	-0.813	-0.547

2016:Dezember	-2.049	0.068	0.000	-2.183	-1.915
---------------	--------	-------	-------	--------	--------

## Anhang 2: Statistisches Modell B

Modell B Fixe Faktoren	MHW	Std.Error	p-Wert	95% - Vertrauensintervall	
				untere	obere
(Intercept)	17.835	0.085	0.000	17.669	18.001
Verm. Jahresmilchmenge	0.004	0.000	0.000	0.003	0.004
Hügelzone	0.180	0.073	0.013	0.037	0.323
Bergzone I	0.422	0.074	0.000	0.277	0.566
Bergzone II	0.551	0.073	0.000	0.408	0.693
Bergzone III	-0.536	0.104	0.000	-0.740	-0.333
Bergzone IV	-1.047	0.138	0.000	-1.318	-0.776
Genferseeregion	1.240	0.105	0.000	1.034	1.447
Nordwestschweiz	-1.359	0.112	0.000	-1.578	-1.140
Ostschweiz	1.095	0.064	0.000	0.970	1.220
Tessin	2.144	0.338	0.000	1.483	2.806
Zentralschweiz	1.561	0.067	0.000	1.429	1.692
Zürich	-0.609	0.114	0.000	-0.833	-0.385
Teilnahme RAUS ja	0.503	0.055	0.000	0.395	0.611
Teilnahme GMF ja	0.217	0.042	0.000	0.135	0.299
2015	-0.035	0.049	0.467	-0.131	0.060
2016	1.614	0.049	0.000	1.518	1.710
Februar	-1.043	0.034	0.000	-1.109	-0.978
März	-0.402	0.041	0.000	-0.483	-0.322
April	0.166	0.044	0.000	0.078	0.253
Mai	-1.795	0.047	0.000	-1.887	-1.703
Juni	-0.309	0.048	0.000	-0.403	-0.215
Juli	3.522	0.049	0.000	3.426	3.619
August	4.029	0.049	0.000	3.932	4.125
September	4.206	0.049	0.000	4.111	4.302
Oktober	6.866	0.048	0.000	6.772	6.961
November	2.792	0.048	0.000	2.697	2.886
Dezember	0.420	0.048	0.000	0.325	0.515
2015:Februar	-0.250	0.048	0.000	-0.343	-0.156
2016:Februar	1.818	0.047	0.000	1.725	1.911
2015:März	-0.425	0.058	0.000	-0.540	-0.311
2016:März	0.939	0.058	0.000	0.825	1.054
2015:April	-0.333	0.063	0.000	-0.457	-0.209

2016:April	1.799	0.063	0.000	1.675	1.924
2015:Mai	1.678	0.066	0.000	1.548	1.807
2016:Mai	0.977	0.066	0.000	0.847	1.107
2015:Juni	2.542	0.068	0.000	2.409	2.676
2016:Juni	-0.612	0.068	0.000	-0.746	-0.478
2015:Juli	1.352	0.070	0.000	1.215	1.489
2016:Juli	-1.738	0.070	0.000	-1.876	-1.601
2015:August	4.133	0.071	0.000	3.994	4.272
2016:August	1.892	0.070	0.000	1.754	2.030
2015:September	4.244	0.070	0.000	4.106	4.382
2016:September	3.404	0.070	0.000	3.268	3.540
2015:Oktober	-0.223	0.071	0.002	-0.363	-0.084
2016:Oktober	-3.696	0.069	0.000	-3.832	-3.561
2015:November	1.904	0.073	0.000	1.760	2.047
2016:November	-2.438	0.069	0.000	-2.573	-2.303
2015:Dezember	0.510	0.077	0.000	0.358	0.661
2016:Dezember	-0.860	0.069	0.000	-0.995	-0.724

### Anhang 3: Grafiken bereinigter Datensatz (ohne Betriebe mit Alpung)

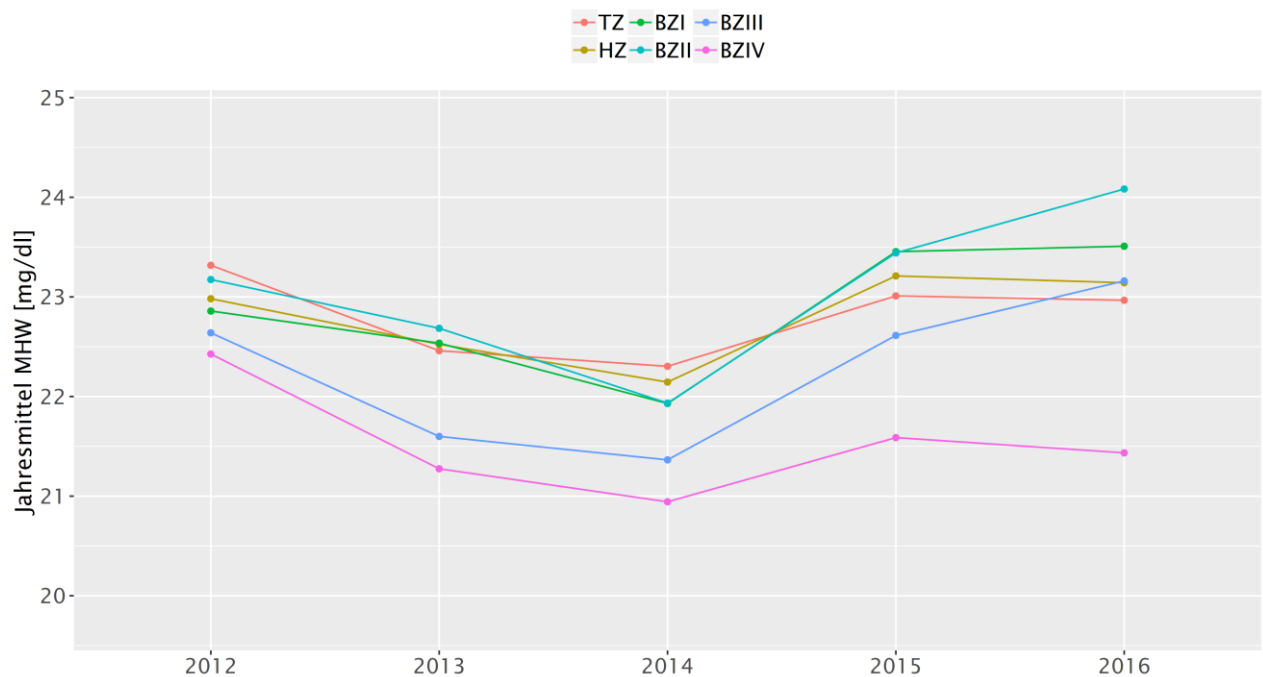


Abbildung 40 : Jahresmittelwert des MHW aufgrund des bereinigten Datensatzes in mg/dl des Auswertungszeitraums 2012 bis 2016 aufgeteilt nach Zone.

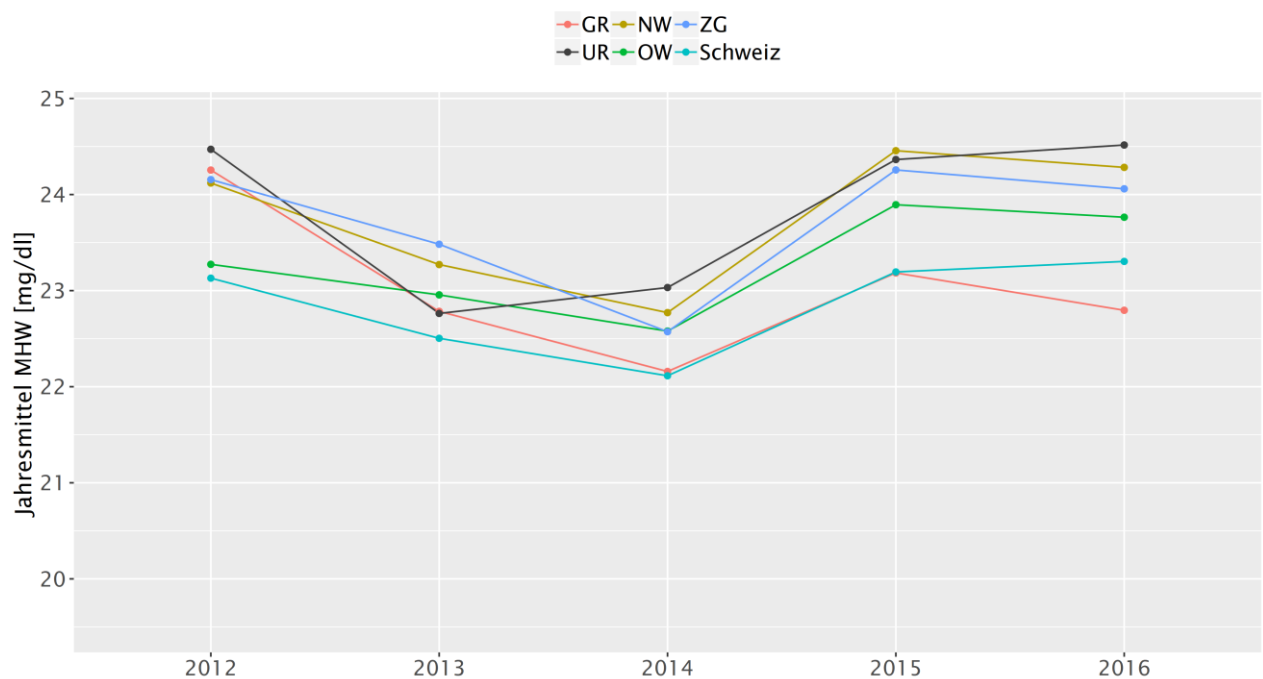


Abbildung 41 : Jahresmittelwert des MHW in mg/dl basierend auf dem bereinigten Datensatz des Auswertungszeitraums 2012 bis 2016 für die Kanton, welche das Ressourcenprojekt «Ausgewogene Milchviehfütterung» umgesetzt haben (Projektdauer: 2013 bis 2015 resp. GR 2016) und für die gesamte Schweiz.

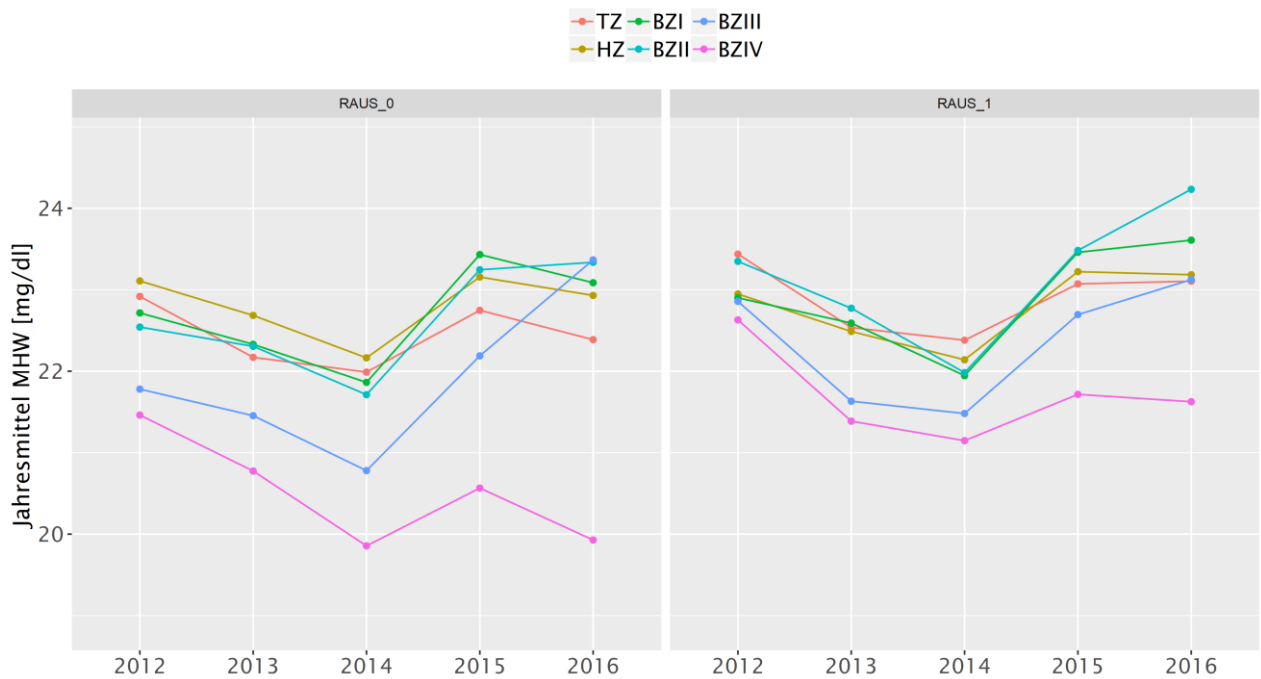


Abbildung 42 : Verlauf des MHW basierende auf dem bereinigten Datensatz für die Jahre 2012 bis 2016 differenziert nach Zone und der Programmteilnahme RAUS (RAUS\_0 = keine Teilnahme; RAUS\_1= Teilnahme).

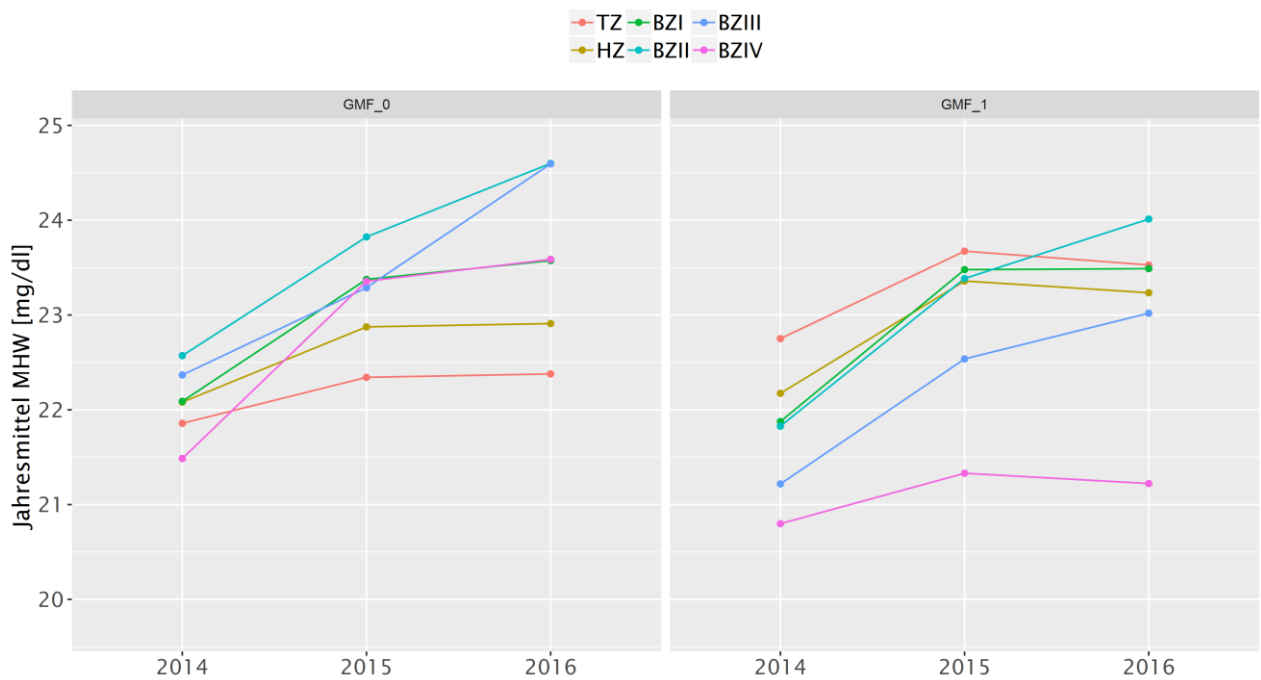


Abbildung 43 : Verlauf des MHW basierende auf dem bereinigten Datensatz (ausgezogene Linie) für die Jahre 2014 bis 2016 differenziert nach Zone und der Programmteilnahme GMF (GMF\_0 = keine Teilnahme; GMF\_1= Teilnahme).

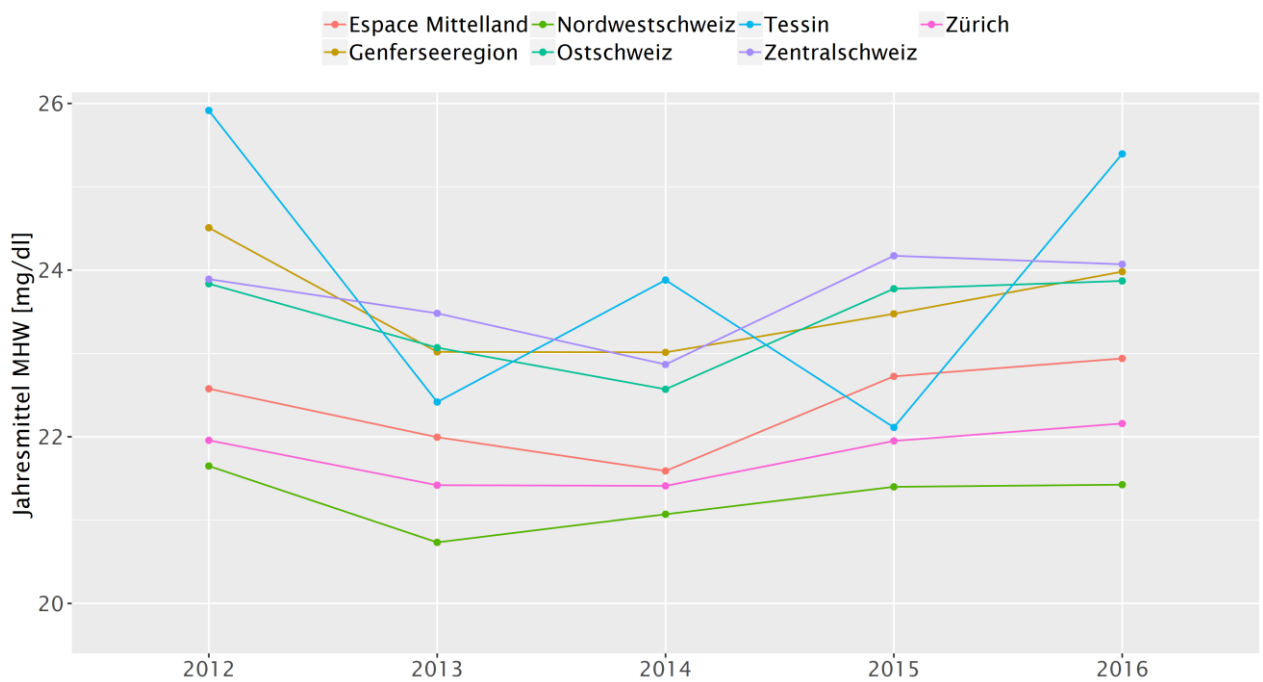


Abbildung 44 : Verlauf des MHW basierend auf dem bereinigten Datensatz für die Jahre 2012 bis 2016 differenziert nach den sieben Grossregionen der Schweiz.