

Aus dem Institut für Tierernährung und Stoffwechselfysiologie  
der Christian-Albrechts-Universität Kiel

---

**Statistische Analyse der Beziehungen zwischen  
Fermentationscharakteristika von Silagen und der  
Futteraufnahme sowie Milchleistung und  
Milchzusammensetzung bei Kühen**

Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät  
der Christian-Albrechts-Universität Kiel

---

vorgelegt von  
**M. Sc. Ivan Eisner**  
aus Weißrussland

Kiel 2007

Gedruckt mit Genehmigung der Agrarwissenschaftlichen Fakultät  
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Dekan: Prof. Dr. J. Krieter  
1. Berichterstatter: Prof. Dr. K.-H. Südekum  
2. Berichterstatter: Prof. Dr. A. Susenbeth  
Tag der mündlichen Prüfung: 19.07.2007

meinen Lieben

## ZUSAMMENFASSUNG

Ivan Eisner

### **Statistische Analyse der Beziehungen zwischen Fermentationscharakteristika von Silagen und der Futteraufnahme sowie Milchleistung und Milchezusammensetzung bei Kühen**

Der Futterwert einer Silage wird vor allem durch die Gehalte an Nettoenergie-Laktation sowie die Gehalte an und die Zusammensetzung des Rohproteins und der Zellwandbestandteile definiert. Ein Einfluss dieser Größen auf die Silageaufnahme ist unbestritten und wurde umfangreich untersucht. Die Qualität einer Silage wird außerdem durch die während der Fermentation entstehenden Produkte bestimmt, welche die Akzeptanz der Silage bei Milchkühen beeinflussen. In einer Reihe von Einzelstudien konnte bereits gezeigt werden, dass Veränderungen in diesen Eigenschaften die Futteraufnahme modifizieren. Das Bild ist jedoch heterogen, es gibt auch widersprüchliche Befunde. Anhand von Daten aus der Literatur wurde der Versuch unternommen, mittels einer Meta-Analyse den Einfluss einzelner Fermentationsprodukte auf die Futteraufnahme sowie auf Milchleistung und -zusammensetzung bei Milchkühen zu quantifizieren. Außerdem wurde geprüft, inwieweit die Schätzung der Futteraufnahme sowie der Milchleistung und -zusammensetzung durch eine Einbeziehung von Fermentationscharakteristika in die jeweiligen Modelle verbessert werden kann.

Die Meta-Analyse umfasste 70 Versuche mit 321 Beobachtungen (eine Beobachtung entsprach dabei dem Mittelwert der Silagecharakteristika sowie der Leistungsparameter einer Versuchsgruppe pro Versuchsperiode) bei getrennter Vorlage von Grob- und Konzentratfutter und 15 Versuche mit 63 Beobachtungen bei Einsatz von Gesamtmischrationen.

Die Ergebnisse der Meta-Analyse definierten Essigsäure als das Fermentationsprodukt, welches deutliche negative Auswirkungen auf die Silageaufnahme bei getrennter Vorlage von Grob- und Konzentratfutter hat. Der Gehalt an Essigsäure (g/kg Trockenmasse [TM]) war die am besten geeignete Einzelvariable für die Schätzung der Silage-TM-Aufnahme sowohl für alle Silagearten (Bestimmtheitsmaß [ $R^2$ ] = 0,16; Standardabweichung der Residuen [root mean square error, RMSE] = 2,32 kg TM) als auch bei ausschließlicher Berücksichtigung der Grasanweilsilagen ( $R^2$  = 0,24; RMSE = 2,34 kg TM). Es konnte jedoch kein deutlicher Einfluss anderer kurzkettiger Fettsäuren sowie von Ammoniak auf die Silageaufnahme festgestellt werden. Die Daten aus der Literatur lieferten widersprüchliche Aussagen über das Ausmaß und die Art der Beziehungen zwischen diesen Fermentationsprodukten und der Silageaufnahme, oder aber die Einflüsse wurden in stärkerem Maße durch Wechselwirkungen

zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten modifiziert. Desweiteren gibt es verschiedene Hinweise, dass die Proteinqualität einen wesentlichen Einfluss auf die Silageaufnahme hat. Der Proteinabbau während der Silierung führt zu hohen Gehalten an löslichen Stickstoffverbindungen in den Silagen, die sich negativ auf die Silageaufnahme auswirken. Ob die während einer Decarboxylierung von Aminosäuren durch Clostridien entstehenden biogenen Amine die Silageaufnahme negativ beeinflussen, konnte nicht schlüssig nachgewiesen werden. Bei Fütterung von Gesamtmischrationen (total mixed rations, TMR) wurde der Gesamtsäuregehalt als der am stärksten negativ auf die Futteraufnahme wirkende Einflussfaktor festgestellt ( $R^2 = 0,44$ ; RMSE = 2,69 kg TM).

Bei der Schätzung der Gesamtfutteraufnahme wurden das Körpergewicht, die Milchmenge und die Konzentratfutteraufnahme als Einflussgrößen in das Modell einbezogen. Die Einbeziehung des Gesamtsäuregehaltes (total acids, TA) und  $TA^2$  in das Grundmodell führte zur Erhöhung des  $R^2$  von 0,64 (RMSE = 1,50 kg TM) auf 0,80 (RMSE = 1,11 kg TM) bei allen Silagearten und bei alleiniger Berücksichtigung der Grasanwelksilagen von  $R^2 = 0,44$  (RMSE = 1,58 kg TM) auf 0,81 (RMSE = 0,92 kg TM). Die Einbeziehung des TA-Gehaltes in das Modell mit Einflussgrößen wie Körpergewicht und Milchmenge führte zur Verbesserung der Futteraufnahmeschätzung von  $R^2 = 0,57$  (RMSE = 2,19 kg TM) bis auf  $R^2 = 0,71$  (RMSE = 1,80 kg TM).

Der negative Einfluss von den Fermentationsprodukten auf Milchleistung und -zusammensetzung bei einer getrennten Vorlage der Rationsbestandteile war nur schwach ausgeprägt. Der Gehalt an organischer Masse in der Frischsubstanz war die Einzelvariable mit dem stärksten, positiven Einfluss auf die Milchleistung und -zusammensetzung. Bei Fütterung von TMR war der negative Einfluss der Fermentationsprodukte auf die Milchleistung sowie -zusammensetzung nahezu vollständig auf die negative Wirkung der Fermentationsprodukte auf die Futteraufnahme zurückzuführen. Der kritische TM-Gehalt der Grasanwelksilagen für die maximale energiekorrigierte Milchleistung sowie die maximale Milchfett- und Milchproteinmenge lag im Bereich zwischen 410 und 430 g/kg. Der kritische pH-Wert der Silage für eine maximale Milchfett- und Milchproteinmenge lag im Bereich zwischen 4,3 und 4,5. Die Modelle für die Vorhersage der Futteraufnahme sowie Milchleistung und -zusammensetzung wiesen eine Restvarianz von 20 bis 40 % auf, was auf die Notwendigkeit einer Weiterentwicklung der Schätzungen hinweist.

## **SUMMARY**

**Ivan Eisner**

### **Statistical evaluation of the relationships between silage fermentation characteristics and feed intake, milk yield and milk composition of dairy cows**

The feeding value of silage is defined mainly by the net energy for lactation concentration and by the contents and composition of crude protein and cell wall components. Effects of these variables on feed intake are undoubted and well-documented. In addition, the quality of silage is determined by fermentation products. A number of experiments have shown that the varying concentrations of fermentation products affect feed intake. Unfortunately, the results are often controversial. Therefore, this study, based on literature data, had the objective to quantify the effects of fermentation products on feed intake and milk production variables by means of a meta analysis. In addition, the accuracy of multiple regression models was tested by including silage fermentation characteristics into equations for the prediction of the feed intake and milk production variables.

The meta-analysis included 70 trials with 321 observations for diets when forage and concentrate offered separately and 15 trials with 63 observations for diets fed total mixed rations. One observation included mean values for silage fermentation characteristics and performance data of each animal group for each trial period. The results of the meta-analysis revealed that the concentration of acetic acid was closely and negatively correlated with silage intake when concentrate and forage were offered separately. The acetic acid concentration was the best single predictor for silage dry matter (DM) intake ( $R^2 = 0.16$ ; [root mean square error, RMSE = 2.32 kg DM] for all silage types and  $R^2 = 0.24$  [RMSE = 2.34 kg DM] for wilted grass silage). The effects of other short-chain fatty acids, of lactic acid and ammonia were indistinct. Literature data were either controversial or effects were affected by collinearity between fermentation products. Protein quality appears to be an important factor governing feed intake. Proteolysis during ensiling has increased the concentration of soluble nitrogen in silage and consistently reduced silage intake. Amines have been suggested as being responsible for reduced silage intake but experimental evidence so far did not support this hypothesis. Total acid concentration was closely and negatively related to total DM intake in diets fed as total mixed rations ( $R^2 = 0.44$ ).

In the data set used for the meta-analysis of diets with forage and concentrate offered separately, inclusion of the acetic acid concentration in a model with animal-associated factors such as milk yield and body weight resulted in an improved accuracy of the prediction

of total DM intake. The total acid concentration was the best single factor that increased the fit of a model for DM intake prediction when diets were fed as total mixed rations.

The negative effect of fermentation products on milk yield and composition was weak. The organic matter content was the best single predictor for milk production variables when concentrate and forage were offered separately. The critical DM content of wilted grass silage for maximum energy corrected milk yield and for fat and protein yield was between 410 and 430 g/kg. The critical pH value for maximum performance was between 4.3 and 4.5.

The residual variance of predicting multiple models was between 20 and 40 %. In conclusion, current equations for predicting feed intake and performance of dairy cows need further development and refinement.



## Inhaltsverzeichnis

Kapitel		Seite
	Abkürzungsverzeichnis	IV
	Tabellenverzeichnis	V
	Abbildungsverzeichnis	X
Kapitel I:	Einleitung	1
Kapitel II:	Statistische Analyse der Beziehungen zwischen Fermentationscharakteristika von Silagen und der Futteraufnahme von Milchkühen	7
1	Futteraufnahme bei Milchkühen	9
1.1	Regulation der Futteraufnahme bei Milchkühen	9
1.2	Einflussfaktoren auf die Futteraufnahme	11
1.3	Fermentationscharakteristika von Silagen	13
1.4	Meta-Analyse	16
2	Eigene Untersuchungen	18
2.1	Material	18
2.2	Auswertungsmodell	19
3	Ergebnisse	22
3.1	Getrennte Vorlage der Rationsbestandteile	22
3.1.1	Struktur der Datenbasis	22
3.1.2	Beziehungen zwischen den Fermentationscharakteristika von Silagen und der Silage-TM-Aufnahme	26
3.2	Gesamtmischrationen	36
3.2.1	Struktur der Datenbasis	36
3.2.2	Beziehungen zwischen den Gehalten an Fermentationsprodukten und der Gesamtfutteraufnahme	38
3.3	Einbeziehung der Fermentationscharakteristika in die Gesamtfutteraufnahme-Schätzung	42

4	Diskussion	43
4.1	Trockenmassegehalt der Silage	43
4.2	pH-Wert	46
4.3	Milchsäuregehalt	46
4.4	Andere kurzkettige Fettsäuren	48
4.5	Gesamtsäuregehalt	49
4.6	Ethanol	50
4.7	Restzucker	50
4.8	Stickstofffraktionen	51
4.9	Einbeziehung der Fermentationscharakteristika in die Gesamtfutteraufnahme-Schätzung	54
5	Fazit	56
Kapitel III: Statistische Analyse der Beziehungen zwischen Fermentationscharakteristika von Silagen und der Milchleistung sowie Milchezusammensetzung von Kühen		
		67
1	Einfluss der Fermentationscharakteristika von Silagen auf die Milchleistung sowie Milchezusammensetzung von Kühen	69
2	Eigene Untersuchungen	71
2.1	Material	71
2.2	Auswertungsmodell	73
3	Ergebnisse	74
3.1	Getrennte Vorlage der Rationsbestandteile	74
3.1.1	Struktur der Datenbasis	74
3.1.2	Beziehungen zwischen den Fermentationscharakteristika von Silagen und der Milchleistung von Kühen	75
3.1.3	Beziehungen zwischen den Fermentationscharakteristika von Silagen und dem Milchfettgehalt sowie der Milchfettmenge	78
3.1.4	Beziehungen zwischen den Fermentationscharakteristika von Silagen und dem Milchproteingehalt sowie der Milchproteinmenge	82

3.2	Gesamtmischrationen	88
3.2.1	Struktur der Datenbasis	88
3.2.2	Beziehungen zwischen den Gehalten an Fermentationsprodukten und der Milchleistung von Kühen	89
3.2.3	Beziehungen zwischen den Gehalten an Fermentationsprodukten und dem Milchfettgehalt sowie der Milchfettmenge	90
3.2.4	Beziehungen zwischen den Gehalten an Fermentationsprodukten und dem Milchproteingehalt sowie der Milchproteinmenge	91
3.3	Einbeziehung der Fermentationscharakteristika in die Schätzung der Milchleistung sowie –zusammensetzung	94
4	Diskussion	101
4.1	Milchfettgehalt und -menge	102
4.2	Milchproteingehalt und –menge	104
4.3	Milch- und ECM-Menge	107
4.4	Einbeziehung der Fermentationscharakteristika in die Schätzung der Milchleistung sowie -zusammensetzung	108
5	Fazit	109
Kapitel IV: Schlussbetrachtung		117
Anhang:	Quellenverzeichnis der in die statistische Analyse einbezogenen Daten	125

## Abkürzungsverzeichnis

BS	-	Buttersäure
CNPS	-	Cornell Net Carbohydrate and Protein System
ECM	-	energiekorrigierte Milch (energy corrected milk)
ES	-	Essigsäure
Eth	-	Ethanol
FP	-	Fermentationsprodukt
GS	-	Gesamtsäure
KG	-	Körpergewicht
KKFS	-	kurzkettige Fettsäuren
ln	-	natürlicher Logarithmus
lösl. N	-	lösliche Stickstoffverbindungen
Max	-	maximaler Wert
Min	-	minimaler Wert
MM	-	Milchmenge
MS	-	Milchsäure
N	-	Stickstoff
NH <sub>3</sub>	-	Ammoniak
NPN	-	Nicht-Protein-Stickstoff
OM	-	organische Masse
PS	-	Propionsäure
R <sup>2</sup>	-	Bestimmtheitsmaß
RMSE	-	Standardabweichung der Residuen (root mean square error)
SD	-	Standardabweichung
TM	-	Trockenmasse
TMR	-	Gesamtmischung (total mixed ration)
WLK	-	wasserlösliche Kohlenhydrate

## Tabellenverzeichnis

Tabelle	Titel	Seite
Tabelle 2.1	Einfluss der Zwischenlagerungsdauer von Silage auf die Trockenmasse- und Energieaufnahme bei Milchkühen (Relativwerte)	15
Tabelle 2.2	Anzahl der Datensätze, aufgeteilt nach Silageart bzw. Gemisch aus verschiedenen Silagearten	22
Tabelle 2.3	Anzahl der Datensätze, aufgeteilt nach Land	23
Tabelle 2.4	Struktur der Datenbasis (alle Silagearten)	23
Tabelle 2.5	Struktur der Datenbasis (nur Grasanwelksilagen)	24
Tabelle 2.6	Korrelationskoeffizienten zwischen den einzelnen Kenngrößen der Fermentationscharakteristika der Silagen	25
Tabelle 2.7	Lineare Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten (FP g/kg Trockenmasse) aller Silagearten und der Silage-Trockenmasse-Aufnahme (kg) ( $y = a + b \times \text{FP}$ )	27
Tabelle 2.8	Lineare Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten (FP g/kg Trockenmasse) von Grasanwelksilagen und der Silage-Trockenmasse-Aufnahme (kg) ( $y = a + b \times \text{FP}$ )	28
Tabelle 2.9	Quadratische Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten (FP g/kg Trockenmasse) von Silagen und der Silage-Trockenmasse-Aufnahme (kg) ( $y = a + b \times \text{FP} + c \times \text{FP}^2$ )	30
Tabelle 2.10	Quadratische Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten (FP g/kg Trockenmasse) von Grasanwelksilagen und der Silage-Trockenmasse-Aufnahme (kg) ( $y = a + b \times \text{FP} + c \times \text{FP}^2$ )	31

Tabelle 2.11	Logarithmische Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten (FP g/kg Trockenmasse) und der Silage-Trockenmasse-Aufnahme (kg) ( $y = a + b \times \ln(\text{FP})$ )	32
Tabelle 2.12	Logarithmische Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten (FP g/kg Trockenmasse) und der Grassilage-Trockenmasse-Aufnahme (kg) ( $y = a + b \times \ln(\text{FP})$ )	33
Tabelle 2.13	Multiple Gleichungen ( $y = a + b \times x_1 + c \times x_2 + d \times x_3$ ) mit den Fermentationsprodukten (g/kg Trockenmasse) als Regressionsvariablen für die Schätzung der Silage-Trockenmasse-Aufnahme (kg /Tag)	34
Tabelle 2.14	Multiple Gleichungen <sup>1</sup> ( $y = a + b \times x_1 + c \times x_2$ ) mit den Fermentationsprodukten (g/kg Trockenmasse) als Regressionsvariablen für die Schätzung der Grassilage-Trockenmasse-Aufnahme (kg /Tag)	35
Tabelle 2.15	Anzahl der Datensätze, aufgeteilt nach Silageart bzw. Gemisch aus zwei Grobfuttermitteln	36
Tabelle 2.16	Anzahl der Datensätze, aufgeteilt nach Land (Gesamtmischrationen)	37
Tabelle 2.17	Struktur der Datenbasis (Gesamtmischrationen)	37
Tabelle 2.18	Lineare Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten (FP g/kg Trockenmasse der Gesamtmischration) und der Gesamtfutteraufnahme (kg Trockenmasse) ( $y = a + b \times \text{FP}$ )	39
Tabelle 2.19	Logarithmische Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten (FP g/kg Trockenmasse der Gesamtmischration) und der Gesamtfutteraufnahme (kg Trockenmasse) ( $y = a + b \times \ln(\text{FP})$ )	40

Tabelle 2.20	Multiple Gleichungen ( $y = a + b \times x_1 + c \times x_2$ ) mit den Fermentationsprodukten als Regressionsvariablen für die Schätzung der Gesamtfutteraufnahme (kg Trockenmasse /Tag)	41
Tabelle 2.21	Multiple Gleichungen ( $y = a + bx_1 + cx_2 + \dots + fx_i$ ) für die Schätzung der täglichen Gesamt-Trockenmasse-Aufnahme (kg/Tag) unter Verwendung der Faktoren Milchmenge (MM, kg), Körpergewicht (KG, kg), Konzentratfuttermenge (KFA, kg Trockenmasse/Tag) und Fermentationsprodukte (g/kg Trockenmasse)	42
Tabelle 3.1	Struktur der Datenbasis (alle Silagearten)	74
Tabelle 3.2	Struktur der Datenbasis (Grasanwelksilagen)	75
Tabelle 3.3	Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsparametern (FP) aller Silagearten und der energiekorrigierten Menge (kg) ( $y = a + b \times FP$ )	76
Tabelle 3.4	Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsparametern (FP) der Grasanwelksilagen und der energiekorrigierten Milchmenge (kg) ( $y = a + b \times FP + c \times FP^2$ )	77
Tabelle 3.5	Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsparametern (FP) aller Silagearten und dem Milchfettgehalt (g/kg Milch) ( $y = a + b \times FP + c \times FP^2$ )	79
Tabelle 3.6	Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsparametern (FP) der Grasanwelksilagen und dem Milchfettgehalt (g/kg Milch) ( $y = a + b \times FP + c \times FP^2$ )	80
Tabelle 3.7	Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsparametern (FP) aller Silagearten und der Milchfettmenge (g/Tag) ( $y = a + b \times FP + c \times FP^2$ )	81

Tabelle 3.8	Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsparametern (FP) der Grasanwelksilagen und der Milchfettmenge (g/Tag) ( $y = a + b \times FP + c \times FP^2$ )	82
Tabelle 3.9	Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsparametern (FP) aller Silagearten und dem Milchproteingehalt (g/kg Milch) ( $y = a + b \times FP + c \times FP^2$ )	83
Tabelle 3.10	Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsparametern (FP) der Grasanwelksilagen und dem Milchproteingehalt (g/kg Milch) ( $y = a + b \times FP + c \times FP^2$ )	84
Tabelle 3.11	Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsparametern (FP) aller Silagearten und der Milchproteinmenge (g/Tag) ( $y = a + b \times FP + c \times FP^2$ )	85
Tabelle 3.12	Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsparametern (FP) der Grasanwelksilagen und der Milchproteinmenge (g/Tag) ( $y = a + b \times FP + c \times FP^2$ )	86
Tabelle 3.13	Struktur der Datenbasis (Gesamtmischrationen)	89
Tabelle 3.14	Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten (FP g/kg Trockenmasse der Gesamtmischration) und der täglichen Milchmenge (kg) ( $y = a + b \times FP$ )	90
Tabelle 3.15	Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten (FP g/kg Trockenmasse der Gesamtmischration) und dem Milchfettgehalt (g/kg Milch) ( $y = a + b \times FP$ )	91
Tabelle 3.16	Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten (FP g/kg Trockenmasse der Gesamtmischration) und dem Milchproteingehalt (g/kg Milch) ( $y = a + b \times FP + c \times FP^2$ )	92

Tabelle 3.17	Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten (FP g/kg Trockenmasse der Gesamtmischrtion) und der Milchproteinmenge (g/Tag) ( $y = a + b \times FP + c \times FP^2$ )	93
Tabelle 3.18	Multiple Gleichungen ( $y = a + bx_1 + cx_2^2$ ) für die Schätzung der Milchmenge (kg/Tag) unter Verwendung der Faktoren Gesamtfutteraufnahme (kg Trockenmasse/Tag) und Fermentationsprodukte (g/kg Trockenmasse der Silage bzw. Gesamtmischration)	95
Tabelle 3.19	Multiple Gleichungen ( $y = a + bx_1 + cx_2^2$ ) für die Schätzung der energiekorrigierten Milchmenge (kg/Tag) unter Verwendung der Faktoren Gesamtfutteraufnahme (kg Trockenmasse/Tag) und Fermentationsprodukte (g/kg Trockenmasse der Silage bzw. Gesamtmischration)	96
Tabelle 3.20	Multiple Gleichungen ( $y = a + bx_1 + cx_2^2$ ) für die Schätzung der Fettmenge (g/Tag) unter Verwendung der Faktoren Gesamtfutteraufnahme (kg Trockenmasse/Tag) und Fermentationsprodukte (g/kg Trockenmasse der Silage bzw. Gesamtmischration)	97
Tabelle 3.21	Multiple Gleichungen ( $y = a + bx_1 + cx_2^2$ ) für die Schätzung der Proteinmenge (g/Tag) unter Verwendung der Faktoren Gesamtfutteraufnahme (kg Trockenmasse/Tag) und Fermentationsprodukte (g/kg Trockenmasse der Silage bzw. Gesamtmischration)	98

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung	Titel	Seite
Abbildung 2.1	Steuerung der Futteraufnahme durch physiologische und physikalische Faktoren	10
Abbildung 2.2	Geschätzter Einfluss der tier- und futterbedingten Faktoren auf die Futteraufnahme von Milchkühen ohne Berücksichtigung von Rasse, Region, Management, Laktationsstadium und Laktationsnummer	13
Abbildung 2.3	Einfluss des Gesamtsäuregehaltes auf die Aufnahme von Grasanwelksilage	31
Abbildung 2.4	Einfluss des Essigsäuregehaltes auf die Aufnahme von Grasanwelksilage	34
Abbildung 3.1	Einfluss des Trockenmassegehaltes der Grasanwelksilagen auf die energiekorrigierte Milchmenge (korrigiert um den zufälligen Einfluss des Versuches)	78
Abbildung 3.2	Einfluss der organischen Masse der Grasanwelksilagen auf die Milchproteinmenge (korrigiert um den zufälligen Einfluss des Versuches)	87
Abbildung 3.3	Einfluss der Trockenmasse der Grasanwelksilagen auf die Milchproteinmenge (korrigiert um den zufälligen Einfluss des Versuches)	87
Abbildung 3.4	Einfluss des Ammoniakgehaltes der Grasanwelksilagen auf die Milchproteinmenge (korrigiert um den zufälligen Einfluss des Versuches)	88

Abbildung 3.5	Einfluss des Essigsäuregehaltes der Gesamtmischung auf den Milchproteingehalt (korrigiert um den zufälligen Einfluss des Versuches)	93
Abbildung 3.6	Einfluss des Ammoniakgehaltes der Gesamtmischung auf die Milchproteinmenge (korrigiert um den zufälligen Einfluss des Versuches)	94
Abbildung 3.7	Beziehung zwischen dem Gehalt an organischer Masse und der täglichen Milchmenge, geschätzt nach der Gleichung: $y = 6,73 + 1,24 \times \text{FUA} - 0,0126 \times \text{OM}$ , $R^2 = 0,65$ ; FUA: Gesamtfutteraufnahme, kg Trockenmasse/Tag; OM: Gehalt an organischer Masse, g/kg	100
Abbildung 3.8	Beziehung zwischen dem Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten und der täglichen energiekorrigierten Milchmenge, geschätzt nach der Gleichung: $y = - 0,17 + 1,49 \times \text{FUA} - 0,020 \times \text{WLK}$ , $R^2 = 0,77$ ; FUA: Gesamtfutteraufnahme, kg Trockenmasse/Tag; WLK: Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten, g/kg Trockenmasse	100
Abbildung 3.9	Beziehung zwischen dem Gesamtsäuregehalt und der täglichen Fettmenge, geschätzt nach der Gleichung: $y = - 368 + 67,10 \times \text{FUA} + 0,0414 \times \text{GS}^2$ , $R^2 = 0,67$ ; FUA: Gesamtfutteraufnahme, kg Trockenmasse/Tag; GS <sup>2</sup> : quadrierter Gesamtsäuregehalt, (g/kg Trockenmasse) <sup>2</sup>	101



# KAPITEL I

## **Einleitung**



## Kapitel I

Die Höhe der Futterraufnahme, präziser der Energie- und Nährstoffaufnahme der Milchkuh ist eine wesentliche Bestimmungsgröße für die Leistungsfähigkeit der Tiere, wobei hierbei nicht nur die Milchleistung, sondern auch das Fruchtbarkeits- und Gesundheitsgeschehen als biologisch und ökonomisch bedeutsame Leistungsmerkmale betroffen sind. Es fehlt deshalb nicht an Ansätzen, mittels möglichst präziser und dennoch einfach am Tier zu erfassender und (oder) in den Futtermitteln einer Ration zu bestimmender Kenngrößen die Futterraufnahme von Milchkühen schätzen oder vorhersagen zu können (Schwarz und Kirchgessner, 1985; INRA, 1989; Schwarz et al., 1996; Roseler et al., 1997; RAP 1999).

Beeindruckendes Beispiel in der jüngeren Literatur für diese Vorgehensweise ist eine Arbeit von Gruber et al. (2004). Die Modelle zur Vorhersage der Futterraufnahme konnten je nach System der Futtermittelvorgabe (Gesamtmischration (total mixed ration, TMR) oder getrennte Vorlage der Rationsbestandteile) 83 bis 86 % der Gesamtvarianz der Futterraufnahme von Milchkühen erklären.

Grundsätzlich wird die Futterraufnahme der Tiere durch sogenannte physiologische (tierbedingte) und physikalische (futterbedingte) Faktoren reguliert. Unter futterbedingten Faktoren wird in der Regel die Qualität des Futters verstanden. Zur Beurteilung der Qualität von Silagen werden oftmals nur die Größen Nettoenergie-Gehalt, Rohprotein-gehalt und Rohfasergehalt herangezogen. Der Nettoenergie-Gehalt des Grundfutters ist schon in der Formel von Gruber et al. (2004) als Regressionsvariable enthalten. Einige Studien zeigten aber, dass die Fermentationscharakteristika der Silage auch einen wesentlichen Einfluss auf die Silage-Trockenmasse-Aufnahme ausüben (Rook et al., 1991; Steen et al., 1998; Huhtanen et al., 2002). Zu den Fermentationscharakteristika einer Silage gehören vor allem folgende Größen: Azidität, Gehalt an Milchsäure und kurzkettigen Fettsäuren, Abbauprodukte von Proteinen und Aminosäuren. Eine Einbeziehung dieser Faktoren in die Futterraufnahme-Schätzung könnte die Präzision der Vorhersage der Futterraufnahme weiter verbessern.

Fermentationsprodukte (kurzkettige Fettsäuren, Abbauprodukte von Protein und Aminosäuren) der Nährstoffumsetzungen in den Vormägen und der mikrobiellen Umsetzungen bei der Silagebereitung können nicht nur die Energie und Nährstoffaufnahme von Kühen sondern je nach Menge und anteiliger Zusammensetzung auch Einfluss auf die Milchleistung und -zusammensetzung nehmen (Huhtanen et al., 2003).

Als Instrument für eine Überprüfung der oben genannten Aussagen bietet sich eine sogenannte Meta-Analyse an. Eine Meta-Analyse ist eine Zusammenfassung von Primär-

## Kapitel I

Untersuchungen, die mit quantitativen, statistischen Mitteln arbeitet. Der Begriff wurde von Glass (1976) eingeführt. Er definierte Meta-Analyse als „analysis of analyses.“ Weiter schreibt Glass (1976): „I use it to refer to the statistical analysis of a large collection on analysis results from individual studies for the purpose of integrating the findings.“

In der vorliegenden Arbeit wurden folgende Hauptziele verfolgt:

1. Quantifizierung der Beziehungen zwischen Fermentationscharakteristika von Silagen und der Futterraufnahme sowie Milchleistung und –zusammensetzung von Milchkühen mittels einer Meta-Analyse.
2. Charakterisierung der Bereiche, in denen bisher zu wenige (zuverlässige) Daten für die Etablierung belastungsfähiger Beziehungen wie unter 1. genannt vorliegen. Hierzu sollen Hypothesen für geeignete experimentelle Ansätze formuliert werden, mit denen Wissenslücken geschlossen und die Vorhersagbarkeit der Futterraufnahme sowie Milchleistung und –zusammensetzung weiter verbessert werden kann.

### **Literatur**

Glass GV (1976) Primary, secondary and meta-analysis of research. Educational Researcher 5: 3-8.

Gruber, L, Schwarz, F J, Erdin, D, Fischer, B, Spiekers, H, Steingass, H, Meyer, U, Chassot, A, Jilg, T, Obermaier, A, Guggenberger, T. (2004) Vorhersage der Futterraufnahme von Milchkühen: Kooperation von 10 Forschungs- und Universitätsinstituten Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. 31. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 27.-28. April 2004, Bericht BAL Gumpenstein 2004, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, 21-39.

Huhtanen P, Khalili H, Nousiainen JI, Rinne M, Jaakkola S, Heikkilä T, Nousiainen J (2002) Prediction of relative intake potential of grass silage by dairy cows. Livestock Production Science 73: 111-130.

## Kapitel I

- Huhtanen P, Nousiainen JI, Khalili H, Jaakola S, Heikkilä T (2003) Relationships between silage fermentation characteristics and milk production parameters: analyses of literature data. *Livestock Production Science* 81: 57-73.
- INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) (1989) Ruminant Nutrition. Recommended Allowances and Feed Tables. INRA, Paris: pp 389 S.
- RAP (Eidgenössische Forschungsanstalt für Nutztiere) (1999) Fütterungsempfehlungen für die Milchkuh - Schätzung des Futtermittelsverzehrs. In: RAP Fütterungs-empfehlungen und Nährwerttabellen für Wiederkäuer, Posieux: pp 83-112.
- Rook AJ, Gill M, Willink RD, Lister SJ (1991) Prediction of voluntary intake of grass silages by lactating cows offered concentrates at a flat rate. *Animal Production* 52: 407-420.
- Roseler DK, Fox DG, Chase LE, Pell AN, Stone WC (1997) Development and evaluation of equations for prediction of feed intake for lactating holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science* 80: 878-893.
- Schwarz FJ, Heindl U, Kirchgessner M (1996) Zur Schätzung der Grundfutteraufnahme von Milchkühen. *Züchtungskunde* 68: 65-76.
- Schwarz FJ, Kirchgessner M (1985) Grundfutteraufnahme von Milchkühen in Abhängigkeit von Lebendgewicht, Zahl der Laktationen, Kraftfutterzufuhr und Grundfutterqualität. *Züchtungskunde* 57: 267-277.
- Steen RWJ, Gordon F J, Dawson LER, Park RS, Mayne CS, Agnew RE, Kilpatrick DJ, Porter MG (1998) Factors affecting the intake of grass silage by cattle and prediction of silage intake. *Animal Science* 99: 115-127.



## KAPITEL II

### **Statistische Analyse der Beziehungen zwischen Fermentationscharakteristika von Silagen und der Futteraufnahme von Milchkühen**



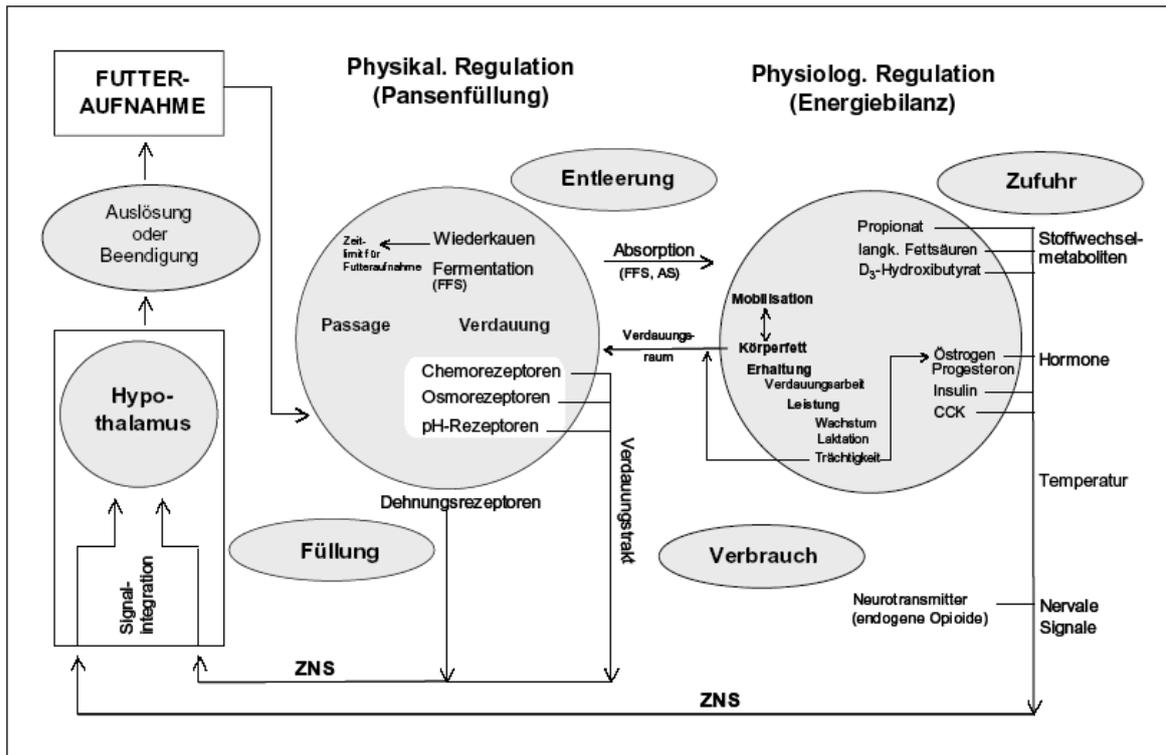
### 1 FUTTERAUFNAHME BEI MILCHKÜHEN

#### 1.1 Regulation der Futteraufnahme bei Milchkühen

Es gibt zwei Theorien, welche die Mechanismen der Futteraufnahme bei Wiederkäuern erklären. Die Theorie der physikalischen Regulation besagt, dass die Futteraufnahme durch die Fähigkeit des Tieres, unverdauliche Substanz aufzunehmen, limitiert ist (Blaxter et al., 1961; Campling und Balch, 1961). Die Theorie der physiologischen Regulation geht davon aus, dass das Futteraufnahmevermögen ein Resultat des Bemühens des Tieres ist, durch die Futteraufnahme den Bedarf an Energie und Nährstoffen zu decken (Montgomery und Baumgardt, 1965; Wangsness und Muller, 1981). Conrad et al. (1964) stellten zur Diskussion, dass beide Faktoren die Futteraufnahme beeinflussen, wobei je nach Qualität des Futters einer von beiden die entscheidende Rolle übernimmt. Für Kühe, die mit Futter gefüttert werden, das einen niedrigen Gehalt an verdaulicher organischer Substanz hat, ist die Futteraufnahme eine Konsequenz der physikalischen Regulation, weil die für die Deckung des Energiebedarfs des Tieres notwendige Futteraufnahme das Futteraufnahmevermögen übersteigt, welches wiederum durch die physikalischen Eigenschaften des Futters bestimmt ist. Für Kühe, die mit dem Futter gefüttert werden, das einen höheren Gehalt an verdaulicher organischer Substanz hat, ist nach Conrad et al. (1964), die Futteraufnahme ein Resultat des Energiebedarfs und unterliegt der physiologischen Regulation, weil die für die Deckung des Energiebedarfs notwendige Futteraufnahme niedriger ist, als die Futteraufnahme, die durch physikalische Eigenschaften des Futters erzielt werden kann. In der Abbildung 2.1 ist die Vielzahl an Faktoren, die steuernd Einfluss auf die Futteraufnahme beim Wiederkäuer nehmen, vereinfacht zusammengefasst. Der Organismus verbraucht Energie für Erhaltung und Leistung. Dieser Energieverbrauch verursacht den Impuls, die verbrauchten Nährstoffe durch Futteraufnahme wieder aufzunehmen. Die Informationen zur Energiebilanz kommen über die kurzkettigen Fettsäuren (Essigsäure, Propionsäure) aus dem Pansenstoffwechsel, aus Stoffwechselprodukten ( $\beta$ -Hydroxybuttersäure, freie Fettsäuren aus dem Fettdepotabbau) und Hormonen (Östrogen, Progesteron, Leptin). Die Signale werden über das Nervensystem in das Gehirn geleitet und dort verarbeitet.

Ganz entscheidend wird die Futteraufnahme von der Pansenfüllung bestimmt. Je schneller der Panseninhalt abnimmt, desto höher ist die Futteraufnahme. Einerseits wird die Füllung des Pansen durch Ausmaß und Geschwindigkeit der mikrobiellen Fermentation und andererseits durch die Passagerate des Futters bestimmt. Der mikrobielle Abbau des Futters

wird stark von der Futterqualität (Verdaulichkeit, Abbaurate) beeinflusst. Die Passerate hängt neben der Verdaulichkeit von der Futterpartikelgröße und der Futterstruktur ab. Die Futterstruktur wirkt über ihren Einfluss auf die Speichelproduktion wieder auf die mikrobielle Verdauung zurück. Allerdings bedeuten zu hohe Strukturwerte verlängerte Wiederkauzeiten und verringern damit die für die Futteraufnahme zur Verfügung stehende Zeit.



**Abbildung 2.1:** Steuerung der Futteraufnahme durch physiologische und physikalische Faktoren (aus Gruber et al. (2001) nach Langhans (1989), Van Soest (1994), Forbes (1995), Forbes (1996) und Schwarz (1997))

Die von der Pansenfüllung ausgehenden Signale werden durch sogenannte Dehnungsrezeptoren ebenfalls über das Nervensystem an das Gehirn weitergeleitet. Das Ergebnis ist je nach dem Stand der Energiebilanz und der Pansenfüllung das Auslösen oder die Beendigung der Futteraufnahme (Van Soest, 1994; Forbes, 1995; Allen, 2000).

### 1.2 Einflussfaktoren auf die Futteraufnahme

Ausgehend von den oben beschriebenen Regulationsmechanismen sind folgende Faktoren von entscheidendem Einfluss auf die Futteraufnahme von Milchkühen (Schwarz und Gruber, 1999):

- Tierbedingte Faktoren:
  - Rasse
  - Körpergewicht
  - Milchleistung
  - Laktationszahl
  - Laktationsstadium
  - Trächtigkeit
  - gesundheitlicher Status
- Futterbedingte Faktoren:
  - Energiegehalt des Futters
  - Anteil pflanzlicher Gerüstsubstanzen
  - Verdaulichkeit der organischen Substanz
  - Konzentratfutteranteil
- Fütterungstechnik
  - Vorlage von Konzentrat- und Grobfutter (getrennte Vorlage bzw. Gesamtmischung (total mixed ration, TMR))
  - Fütterungsfrequenz
  - Fressplatz-Tierverhältnis

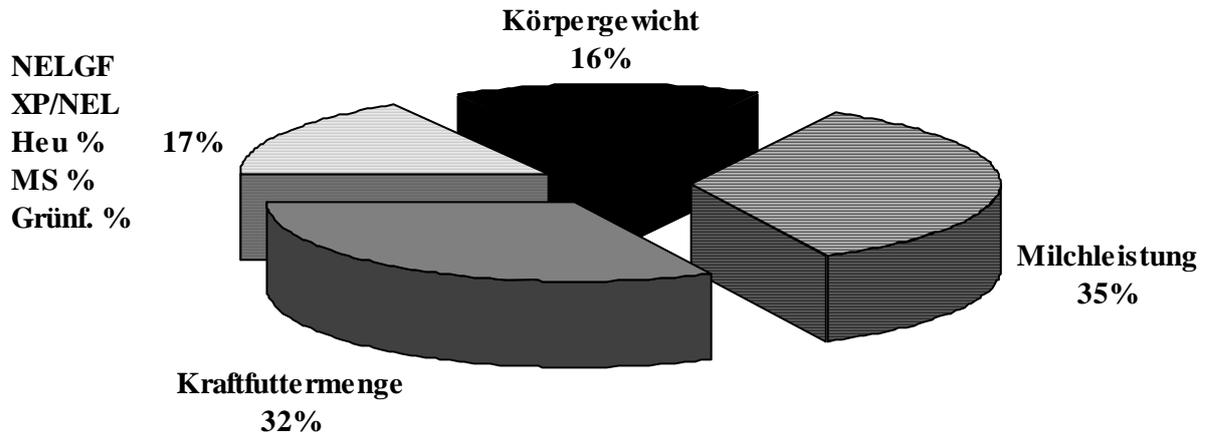
Eine Quantifizierung der Auswirkungen der Einflussfaktoren auf die Futteraufnahme ermöglichte eine Erstellung von Schätzgleichungen mit dem Ziel einer möglichst präzisen Vorhersage der Futteraufnahme. Die Einflussfaktoren, die in anerkannten Schätzgleichungen (INRA, 1989; AFRC, 1993; NRC, 2001) berücksichtigt wurden, und die ermittelten Regressionskoeffizienten unterscheiden sich aber je nach Region. Die Unterschiede beruhen vor allem auf sehr unterschiedlichen Bedingungen, unter welchen die Gleichungen erstellt wurden, und außerdem sind viele oben aufgeführte Faktoren untereinander und mit anderen Parametern korreliert, so dass sie nicht losgelöst voneinander zu interpretieren sind. Schätzungen der Futteraufnahme mittels verschiedener gängiger Gleichungen unter Verwendung unabhängiger Datensätze (Rook et al., 1991;

## Kapitel II

Schwarz und Gruber, 1999; Keady et al., 2004) zeigten große Ungenauigkeiten. Der mittlere quadrierte Schätzfehler (mean squared prediction error, MSPE) in der Studie von Keady et al. (2004) lag im Bereich von 2,9 bis 10,8 (kg/Tag)<sup>2</sup>, in der Studie von (Schwarz und Gruber, 1999) im Bereich von 2,1 bis 19,5 (kg/Tag)<sup>2</sup> und in der Studie von (Rook et al., 1991) im Bereich von 1,72 bis 5,75 (kg/Tag)<sup>2</sup>. Dies bedeutet, dass die geschätzte Trockenmasse-Aufnahme im besten Fall eine Abweichung vom tatsächlichen Wert von  $\pm 2,64$  kg zeigte.

Im Januar 2006 wurden für die Schätzung der Futteraufnahme im deutschsprachigen Raum Schätzgleichungen von Gruber et al. (2004a) empfohlen (DLG-Information 1/2006). Der zur Auswertung und weiteren Verrechnung verwendete Datensatz umfasste Ergebnisse aus Fütterungsversuchen mit 2.264 Kühen mit im Mittel 28 Versuchswochen aus 10 Versuchseinrichtungen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. Die besten Ergebnisse wurden erreicht, wenn folgende Einflussfaktoren in die Regressionsgleichungen einbezogen wurden: Interaktion Land x Rasse, Laktationszahl, Laktationstag, Körpergewicht, Milchmenge, Kraftfuttermenge bzw. Kraftfutteranteil, Nettoenergie-Gehalt im Grobfutter, prozentuale Anteile an Heu, Mais, Grünfutter, Rohprotein:Energie-Verhältnis in der Gesamtration. Bemerkenswert ist, dass der Einfluss des Laktationsstadiums im Gegensatz zu den bisherigen Schätzungen (INRA, 1989; AFRC, 1993; NRC, 2001) nicht nur als einzelner Faktor sondern auch als Einflussgröße auf die Rolle anderer Regressionsparameter im Verlauf der Laktation berücksichtigt wurde. Das Bestimmtheitsmaß der Regressionen lag im Bereich von 83,8 % im Fütterungssystem „TMR“ bis 87 % im Fütterungssystem „getrennte Vorlage von Rationsbestandteilen“. Die Standardabweichung der Residuen lag im Bereich von 1,30 bis 1,46 kg Trockenmasse (TM) pro Tag, was bedeutet, dass die tatsächliche Futteraufnahme von der geschätzten bis zu 2,9 kg TM abwich.

Nach Gruber et al. (2004a) lässt sich etwa je die Hälfte der Varianz in der Futteraufnahme auf tier- bzw. futterbedingte Faktoren zurückführen (Abbildung 2.2). Die Qualität des Grobfutters wurde in den Gleichungen nur über den Gehalt an Nettoenergie-Laktation (NEL), also die Energiedichte, dargestellt. Einige Studien zeigten aber, dass die Fermentationscharakteristika der Silagen, deren Anteil in einer Winterration dominiert, auch einen wesentlichen Einfluss auf die Silage-TM-Aufnahme ausübten (Rook et al., 1991; Steen et al., 1998; Huhtanen et al., 2002). Eine Einbeziehung der Fermentationscharakteristika in die Futteraufnahme-Schätzung könnte die Präzision der Vorhersage der Futteraufnahme weiter verbessern.



**Abbildung 2.2:** Geschätzter Einfluss der tier- und futterbedingten Faktoren auf die Futteraufnahme von Milchkühen ohne Berücksichtigung von Rasse, Region, Management, Laktationsstadium und Laktationsnummer (DLG-Information 1/2006) ( $NEL_{GF}$  – Energiegehalt im Grobfutter (MJ NEL);  $XP/NEL$  – Rohproteingehalt je MJ NEL in der Gesamtration (g  $XP/MJ$  NEL); Heu %, MS % und Grünf. % - Anteile an Heu, Maissilage und Grünfutter (% der Grobfuttermenge in der TM))

### 1.3 Fermentationscharakteristika von Silagen

Zu den Fermentationscharakteristika einer Silage gehören vor allem folgende Größen:

- pH-Wert
- Gehalt an Milchsäure und kurzkettigen Fettsäuren
- Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten
- Abbauprodukte des Proteins und von Aminosäuren

#### pH-Wert

Dieser Wert resultiert aus der Säurebildung und Abpufferung während der Silierung. Ziel der Silierung ist eine schnelle Absenkung des pH-Wertes auf eine Stufe, auf der keine Vermehrung unerwünschter Mikroorganismen (vor allem Clostridien und Enterobakterien) stattfinden kann. Der kritische pH-Wert für Clostridien ist von den Konzentrationen an Säuren, besonders an undissoziierten Säuren in einer Silage und von dem TM-Gehalt der Silage abhängig (McDonald et al., 1991), wobei eine gewisse Interaktion zwischen dem pH-Wert und dem TM-Gehalt besteht (Honig, 1987). Weissbach (1975) definierte den kritischen pH-Wert für die Erzeugung einer lagerstabilen Silage mit 35 % TM-Gehalt mit

4,6, während bei nassen Silagen (TM-Gehalt < 30 %) der kritische pH-Wert bei 4,2 (McDonald et al., 1991) liegt.

### **Milchsäure**

Milchsäure ist ein erwünschtes Fermentationsprodukt in einer Silage. Sie wird zum größten Teil von milchsäurebildenden Bakterien synthetisiert, wobei keine nennenswerten Verluste von Energie und TM entstehen (McDonald et al., 1973). Die Milchsäuresynthese während der Einsilierung führt zur Anreicherung von Wasserstoffionen (Senkung des pH-Wertes), deren Konzentration ab einem bestimmten Niveau die Vermehrung von unerwünschten Mikroorganismen verhindert (McDonald und Whittenbury, 1973). Im Pansen wird die Milchsäure aus der Silage schnell zu Propion- und Buttersäure umgebaut (Chamberlain et al., 1983), so dass keine Gefahr einer Pansenazidose besteht.

Die Gehalte an Milchsäure in Silagen weisen eine sehr breite Streuung auf und liegen im Bereich von ca. 3 bis 180 g/kg. Eine derart große Schwankung im Milchsäuregehalt wird von einer ganzen Reihe von Einflussfaktoren verursacht. Dazu gehören Pflanzenart, Anwelkgrad, Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten (WLK) im Grünfutter, Besiedlung des Grünfutters mit milchsäurebildenden Bakterien, die Erntetechnologie, Siliermittelart und -menge, Gärungsverlauf und weitere Faktoren (McDonald et al., 1991). Bei der großen Variation der Milchsäuregehalte und den beachtlichen Mengen von bis zu 180 g/kg TM, die während einer Fermentation synthetisiert werden können, ist anzunehmen, dass die Milchsäurekonzentration in einer Silage einen Einfluss auf die Silageaufnahme ausüben kann.

### **Andere kurzkettigen Säuren**

Buttersäure als Hauptfermentationsprodukt der Clostridien und z.T. Propionsäure in der Silage weisen grundsätzlich auf eine Fehlgärung hin. Als Ausgangssubstrat fungiert in diesem Fall Milchsäure, was zu einem Anstieg des pH-Wertes führt und letztlich zu einem Verderb der Silage als Resultat der Vermehrung von unerwünschten Mikroorganismen (McDonald und Whittenbury, 1973). Außerdem sind Clostridien in der Lage, Aminosäuren (AS) abzubauen (Ohshima und McDonald, 1978), was die Qualität einer Silage stark beeinträchtigt. Dabei werden biogene Amine gebildet, welche die Silageaufnahme durch ihre toxische Wirkung negativ beeinflussen können (Krizek, 1991). Essigsäure als Fermentationsprodukt von heterofermentativen milchsäurebildenden Bakterien wird zum Teil wegen ihrer hemmenden Wirkung auf Hefepilze als erwünscht

## Kapitel II

angesehen, und zwar wegen einer Verbesserung der aeroben Stabilität der Silagen (Kleinschmit und Kung, 2006). Im Gegensatz zur Milchsäurebildung ist eine Essigsäurebildung mit dem Abbau von Energie und organischer Masse in der Silage verbunden, so dass höhere Gehalte von über 30 g/kg TM zu vermeiden sind (DLG-Information 2/2006).

### **Wasserlösliche Kohlenhydrate**

Die WLK setzen sich überwiegend aus leicht löslichen Zuckerverbindungen zusammen. Der Gehalt an WLK, auch Restzucker genannt, variiert zwischen Silagen sehr stark und kann im Bereich von 0 bis 200 g/kg TM schwanken (Steen et al., 1998; Huhtanen et al., 2002). Der Gehalt an WLK in der Silage hängt vor allem von ihrem Gehalt im Grünfutter und der Fermentationsintensität ab, die ihrerseits vom Anwelkgrad, der Pufferkapazität der Silage sowie der Art (chemisch, biologisch) und Menge des Silierzusatzes abhängig ist (Gordon, 1989). Andererseits bringen hohe Gehalte an Restzucker die Gefahr des aeroben Verderbs von Silagen nach einer Öffnung des Silos mit sich (McDonald et al., 1991), was dann zu einem rapiden Verlust an Energie und Trockenmasse in den Silagen und zu einem Rückgang der Silageaufnahme führt. Daraus hat Hoffmann (1990) folgende Größenordnungen abgeleitet (Tabelle 2.1).

**Tabelle 2.1:** Einfluss der Zwischenlagerungsdauer von Silage auf die Trockenmasse- und Energieaufnahme bei Milchkühen (Relativwerte)

	Zwischenlagerung der Silage in Std.		
	< 6	12	24
Trockenmasse-Aufnahme	100	94	89
Energiegehalt	100	95	89
Energieaufnahme aus Silage	100	89	79

Quelle: aus Hoffmann (1990)

### **Abbauprodukte des Proteins und von Aminosäuren**

Zu einer Bildung von Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) während der Fermentation kommt es infolge der Nitratreduktion, später auch infolge des Proteinabbaus durch Clostridien (Ohshima und McDonald, 1978). Aus diesen Gründen wird der Ammoniakgehalt in der Silage als einer

## Kapitel II

der Hauptkriterien zur Beurteilung der Silagequalität herangezogen. Nach Huhtanen (2002) weist eine durchschnittlich gute Silage einen Gehalt an Ammoniak-Stickstoff ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) bis zu 50 g im Gesamt-N auf. Silagen mit Gehalten von über 150 g  $\text{NH}_3\text{-N}$  im Gesamt-N sind als verdorben einzustufen (Thaysen, 2004).

Der Silierprozess beginnt bereits nach dem Mähen mit der Aktivität der pflanzeigenen proteinspaltenden Enzyme und setzt sich mit der Milchsäurebildung fort. Je nach Ausmaß der enzym- und der proteinspaltenden Mikroorganismenaktivität werden Proteine zu Aminosäuren und anderen Stickstoffverbindungen abgebaut (Charmley, 2001), was als löslicher Stickstoff definiert wird. Der Großteil des Rohproteins in Silagen (bis zu 70 %) liegt folglich in löslicher Form vor (Steen et al., 1998).

Während einer Decarboxylierung von Aminosäuren durch unerwünschte Mikroorganismen entstehen biogene Amine (Krizek, 1991), stickstoffhaltige Verbindungen, die im Organismus toxische Wirkungen aufweisen (Til et al., 1997). Die Hypothese, dass biogene Amine, die während eines Siliervorganges entstehen, die Futtermittelaufnahme negativ beeinflussen, konnte in einer Reihe von Versuchen, in denen die Amine direkt in den Pansen infundiert oder einer Silage vor der Fütterung zugesetzt wurden, jedoch nicht bestätigt werden (Dawson und Mayne, 1995; Van Os et al., 1995; Dawson und Mayne, 1996, 1997).

In einer Reihe von Einzelstudien konnte bereits gezeigt werden, dass einzelne Fermentationsprodukte, die während des Silierprozesses entstehen, die Futtermittelaufnahme beeinflussen können (Harris und Raymond, 1963; Wilkins et al., 1971; Buchanan-Smith, 1990; Choung und Chamberlain, 1993). Das Bild ist jedoch heterogen, es gibt auch widersprechende Befunde (Forbes, 1995; Forbes, 1996). Gründe dafür liegen hier vor allem in den unterschiedlichen Versuchsbedingungen (Land, Ort, Institut, Tiere, Silagen, Laktationsstadium usw.), welche die Werte für die Fermentationscharakteristika und die Futtermittelaufnahme beeinflussen können. Mit Hilfe moderner statistischer Auswertungsverfahren können alle diese Einflussfaktoren indirekt berücksichtigt werden, so dass ein Einfluss einzelner Fermentationsprodukte anhand von zahlreichen Ergebnissen der Einzelstudien genauer geschätzt werden kann. Als Instrument für solche Überprüfung bietet sich eine sogenannte Meta-Analyse an.

### **1.4 Meta-Analyse**

Eine Meta-Analyse als eine Zusammenfassung von Primär-Untersuchungen arbeitet mit quantitativen, statistischen Mitteln. Der Begriff wurde von Glass (1976) eingeführt. Er

## Kapitel II

definierte Meta-Analyse als „analysis of analyses.“ Weiter schreibt Glass (1976): „I use it to refer to the statistical analysis of a large collection on analysis results from individual studies for the purpose of integrating the findings.“ Anwendungsmöglichkeiten für Meta-Analysen in den Nutztierwissenschaften, insbesondere der Ernährung, wurden von St-Pierre (2001) dokumentiert. In einer Meta-Analyse wird die „Mixed Model“-Regressionsanalyse als Hauptwerkzeug angewendet. Ein wesentlicher Bestandteil von „Mixed Model“ ist eine Einbeziehung des Versuches als zufälliger Einflussfaktor. Bei der Schätzung werden Unterschiede im Futteraufnahme-Niveau und eine Abhängigkeit der Einflüsse einzelner Fermentationsparameter vom Futteraufnahme-Niveau berücksichtigt. In der Literatur findet sich bisher nur eine einzige Meta-Analyse der Beziehungen zwischen Fermentationscharakteristika von Silagen und der Silageaufnahme von Milchkühen (Huhtanen et al., 2002). Eine Besonderheit der Studie war, dass die Datenbasis, die zur Auswertung herangezogen wurde, nur Grassilagen enthielt. Es wurden vor allem relativ feuchte, intensiv fermentierte Silagen berücksichtigt. Stärker angewellte Silagen (TM-Gehalt über 30 %), wie sie in Deutschland hergestellt werden, sind weniger intensiv fermentiert (Morgan et al., 1980). Maissilagen, die in vielen Regionen europa- und weltweit den wesentlichen Rationsbestandteil von Milchproduktionssystemen darstellen, fehlten, ebenso wie Gras-Klee-Gemenge oder reine Leguminosensilagen. Die Studie von Huhtanen et al. (2002) wurde anhand von Versuchen mit getrennter Vorlage von Grund- und Konzentrat-Rationsbestandteilen durchgeführt, obwohl immer mehr Betriebe ihren Bestand mit TMR füttern, so dass die Gehalte an Fermentationsprodukten in der kompletten Ration „verdünnt“ werden und die Möglichkeit der Interaktion zwischen Rationskomponenten auf die Futteraufnahme bestehen kann.

Wegen der genannten Besonderheiten und Restriktionen der bisher publizierten Literaturlauswertung wurden in der vorliegenden Arbeit die Studien an Milchkühen gesondert untersucht, in denen Silagen mit einem Mindest-TM-Gehalt von 25 % verfüttert wurden, sofern es sich um Grassilagen handelte. Zusätzlich wurden Studien einbezogen, in denen Mais- und Leguminosensilagen verfüttert wurden, sowohl als alleinige Grobfutterkomponente als auch in Kombination mit Grassilagen.

### 2 EIGENE UNTERSUCHUNGEN

#### 2.1 Material

Zur Erstellung einer Meta-Analyse mit dem Ziel, die Einflüsse der Fermentationscharakteristika von Silagen auf deren Futteraufnahme zu quantifizieren, wurden Daten aus veröffentlichten Studien mit laktierenden Kühen der Jahre 1980 – 2005 gesammelt. Die verwendeten Studien verfolgten unterschiedliche Ziele, welche folgendermaßen gruppiert werden können:

- Einfluss des Anwelkens auf die Silageaufnahme und Milchleistung
- Auswirkungen von Konservierungsmitteln auf die Silagequalität, Silageaufnahme und Milchleistung
- Auswirkungen unterschiedlicher Konzentratfutterangebote (Menge, Art) auf die Silage- bzw. Futteraufnahme und Milchleistung.

In die Auswertung wurden Versuche mit bekannten Werten für die folgenden Fermentationscharakteristika einbezogen:

- pH-Wert
- Gehalte an Milchsäure und kurzkettigen Fettsäuren (KKFS)
- Ammoniak-N im Gesamt-N bzw. im kg TM
- Gehalt an löslichen Stickstoffverbindungen
- Gehalte an WLK und Ethanol

Die Meta-Analyse umfasste 70 Versuche mit 321 Beobachtungen (eine Beobachtung umfasste dabei die Mittelwerte der Silagecharakteristika und Leistungsparameter einer Versuchsgruppe pro Versuchsperiode) bei getrennter Vorlage von Grob- und Konzentratfutter und 15 Versuche mit 63 Beobachtungen bei Einsatz von TMR. Bei den Silagen handelte es sich um Gras-, Mais- und Leguminosensilagen. Bei faktoriellen Versuchsanordnungen (z. B. Fütterung von verschiedenen Silagen bei gleichem Konzentratfutterangebot) wurden die Versuche in Subversuche unterteilt. Für das Fütterungssystem „Getrennte Futtervorlage“ wurde die Analyse sowohl für alle Silagearten als auch nur für die Grasanwelksilagen ( $TM > 25\%$ ) durchgeführt, so dass die Meta-Analyse für die Grasanwelksilagen 37 Versuche mit 123 Beobachtungen umfasste. Für die TMR wurde

aufgrund zu weniger Beobachtungen keine Berechnung des Einflusses der WLK, Ethanol und der löslichen Stickstoffverbindungen auf die Futteraufnahme vorgenommen.

### 2.2 Auswertungsmodell

Die Beziehungen zwischen den Fermentationscharakteristika von Silagen und der Futteraufnahme von Milchkühen wurden mittels der „Mixed Model“ Regressionsanalyse geprüft (SAS, 1999). Folgende Modellgleichung wurde erstellt:

$$y = \text{Subversuch (Versuch)} + a + \varepsilon$$

$y$  = Silage-TM-Aufnahme (getrennte Futtevorlage) bzw. Gesamt-TM-Aufnahme bei Einsatz von TMR

Subversuch (Versuch) = zufälliger Effekt des Subversuches innerhalb des Versuches

$a$  = jeweilige Fermentationsprodukte

$\varepsilon$  = Schätzfehler

Es wurden lineare, quadratische und logarithmische Beziehungen zwischen den Fermentationsprodukten und der Silage- bzw. Gesamtfutteraufnahme geschätzt. Die Beziehungen zwischen geschätzter und beobachteter Silage- bzw. Gesamtfutteraufnahme wurden mittels linearer Regression dargestellt. Für den Vergleich verschiedener Modelle wurden folgende Größen berechnet:

- Standardabweichung der Residuen ( $RMSE_{\text{exp}}$ ) bereinigt um den zufälligen Effekt des Versuches
- Bestimmtheitsmaß [ $R^2(\text{FP})$ ] als der durch die jeweiligen Fermentationsprodukte erklärte Anteil der Gesamtvarianz in der Silage- bzw. Futteraufnahme
- Bereinigtes Bestimmtheitsmaß [ $R^2_{\text{adj}}(\text{Exp})$ ] als der durch die jeweiligen Fermentationsprodukte erklärte Anteil der Gesamtvarianz in der um den zufälligen Effekt des Versuches korrigierten Silage- bzw. Futteraufnahme

Für die Berechnung oben genannter Größen wurden die mittels „Mixed Model“ geschätzten Werte für die Silage- bzw. Futteraufnahme und die Abweichungen zwischen geschätzten und tatsächlich beobachteten Werten für die Silage- bzw. Futteraufnahme herangezogen. Der Aufbau eines „Mixed Model“ sieht folgendermaßen aus:

## Kapitel II

$$y = X\beta + Z\gamma + \varepsilon$$

- $y$  = beobachtete Silage-TM-Aufnahme (getrennte Futtervorlage) bzw. Gesamt-TM-Aufnahme bei Einsatz von TMR
- $X$  und  $Z$  = fixe bekannte Designmatrizen
- $\beta$  = Vektor der fixen Effekte
- $\gamma$  = Vektor der zufälligen Effekte
- $\varepsilon$  = der zufällige Schätzfehler

Für die Berechnung mittels „Mixed Model“-Regressionsanalyse wurden zwei Datensätze erstellt. Der Datensatz 1 enthielt geschätzte Werte für den fixen Einfluss der Fermentationsprodukte und den zufälligen Effekt des Versuches:

$$y = \hat{X}\hat{\beta} + \hat{Z}\hat{\gamma} + e_1$$

- $y$  = Silage- bzw. Gesamt-TM-Aufnahme
- $\hat{\beta}$  = geschätzter Einfluss der Fermentationsprodukte
- $\hat{\gamma}$  = geschätzter Einfluss des zufälligen Effektes des Subversuches
- $\hat{X}\hat{\beta} + \hat{Z}\hat{\gamma}$  = geschätzte Silage- bzw. Gesamt-TM-Aufnahme
- $e_1$  = Abweichung zwischen dem geschätzten und tatsächlich beobachteten Wert für die Silage- bzw. Gesamt-TM-Aufnahme

Der Datensatz 2 enthielt geschätzte Werte nur für den fixen Einfluss der Fermentationsprodukte:

$$y = \hat{X}\hat{\beta} + e_2$$

- $y$  = Silage- bzw. Gesamt-TM-Aufnahme
- $\hat{\beta}$  = geschätzter Einfluss der Fermentationsprodukte
- $\hat{X}\hat{\beta}$  = geschätzte Silage- bzw. Gesamt-TM-Aufnahme ohne Korrektur um den zufälligen Effekt des Versuches
- $e_2$  = Abweichung zwischen dem geschätzten und tatsächlich beobachteten Wert für die Silage- bzw. Gesamt-TM-Aufnahme

## Kapitel II

Die Berechnung der Silage- bzw. Gesamt-TM-Aufnahme, die um den zufälligen Effekt des Versuches korrigiert wurde, erfolgte, indem die geschätzte Silage- bzw. Gesamt-TM-Aufnahme aus dem Datensatz 2 mit der Abweichung zwischen dem geschätzten und tatsächlich beobachteten Wert für die Silage- bzw. Gesamt-TM-Aufnahme aus dem Datensatz 1 aufsummiert wurde:

$$y_{\text{adj}} = \hat{X\beta} + e_1$$

- $y_{\text{adj}}$  = Silage- bzw. Gesamt-TM-Aufnahme, korrigiert um den zufälligen Effekt des Versuches
- $\hat{X\beta}$  = geschätzte Silage- bzw. Gesamt-TM-Aufnahme aus dem Datensatz 2
- $e_1$  = Abweichung zwischen dem geschätzten und tatsächlich beobachteten Wert für die Silage- bzw. Gesamt-TM-Aufnahme aus dem Datensatz 1

Die Korrektur der Silage- bzw. Gesamt-TM-Aufnahme um den zufälligen Effekt des Versuches erfolgte, indem die Abweichung  $e_2$  zwischen der tatsächlich beobachteten Silage- bzw. Gesamt-TM-Aufnahme und der geschätzten Silage- bzw. Gesamt-TM-Aufnahme, die anhand der festgestellten Beziehungen zwischen den Fermentationsprodukten ermittelt wurde, durch die Abweichung  $e_1$  ersetzt wurde, da der  $e_1$ -Wert ermittelt wurde, wenn die geschätzte Silage- bzw. Gesamt-TM-Aufnahme um den zufälligen Effekt des Versuches korrigiert wurde.

Der  $\text{RMSE}_{\text{exp}}$ - und  $R^2_{\text{adj}}(\text{Exp})$ -Wert wurden mittels einfacher linearer Regressionsanalyse zwischen der geschätzten Silage- bzw. Gesamt-TM-Aufnahme aus dem Datensatz 2 und der Silage- bzw. Gesamtfutteraufnahme, die um den zufälligen Effekt des Versuches korrigiert wurde, ermittelt. Der  $R^2(\text{FP})$ -Wert wurde mittels einfacher linearer Regressionsanalyse zwischen der geschätzten Silage- bzw. Gesamt-TM-Aufnahme aus dem Datensatz 2 und der tatsächlich beobachteten Silage- bzw. Gesamtfutteraufnahme ermittelt.

Die Anwendung der „Mixed Model“-Theorie für Meta-Analysen wurde einer Arbeit von St-Pierre (2001) entnommen.

### 3 ERGEBNISSE

#### 3.1 Getrennte Vorlage der Rationsbestandteile

##### 3.1.1 Struktur der Datenbasis

Tabelle 2.2 zeigt die Verteilung der verschiedenen Silagearten innerhalb der Datenbasis, auf deren Grundlage die Meta-Analyse durchgeführt wurde. Die Silagen wurden entweder als alleinige Grobfutterkomponente oder als Gemisch aus zwei Silagen gefüttert.

**Tabelle 2.2:** Anzahl der Datensätze, aufgeteilt nach Silageart bzw. Gemisch aus verschiedenen Silagearten

Grobfutterkomponente	Anzahl Datensätze	Anteil %
Grassilage	283	88
davon Grasanwelksilage	123	38
Gras-/Maissilage	19	6
Luzernesilage	12	4
Rotkleesilage	3	0,7
Maissilage	2	0,65
Luzerne-/Maissilage	2	0,65
Summe	321	100

Ein Großteil der für die Meta-Analyse verwendeten Datenbasis (88 %) bestand aus Ergebnissen von Versuchen, in welchen Grassilage als alleinige Grobfutterkomponente gefüttert wurde, 38 % aller Datensätze entfallen davon auf die Versuche mit Grasanwelksilagen. Die Anzahl der Datensätze aus Versuchen mit Mais-, Leguminosensilagen oder Mischungen aus zwei Grobfutterkomponenten war sehr gering.

Die Aufteilung der Datenbasis auf die Länder, in denen die Versuche durchgeführt wurden, ist in Tabelle 2.3 dargestellt. Die meisten Versuche wurden im Vereinigten Königreich durchgeführt (77 %), davon stammten rund 30 % der Datensätze von Versuchen aus Nordirland. Die Anzahl der Versuche aus anderen Ländern war gering (1,5 - 7 % aller Datensätze). Es fehlten Versuche aus Deutschland, Frankreich und Österreich, bei denen die kompletten Fermentationscharakteristika der Silagen analysiert wurden.

Die Struktur der für die Meta-Analyse verwendeten Datenbasis, die alle Silagearten enthält, ist in Tabelle 2.4 dargestellt.

## Kapitel II

**Tabelle 2.3:** Anzahl der Datensätze, aufgeteilt nach Land

Land	Anzahl Datensätze	Anteil %
Vereinigtes Königreich	248	77
davon Nordirland	97	30
Irland	21	7
Schweden	20	6
Kanada	16	5
Schweiz	6	2
Finnland	5	1,5
USA	5	1,5
Summe	321	100

**Tabelle 2.4:** Struktur der Datenbasis (alle Silagearten)

Variable	Einheit	n	Mittelwert	Q <sub>75</sub>	Min	Max
Trockenmasse der Silage	%	321	26	28	16	47
pH-Wert		302	4,05	4,2	3,5	5,3
Milchsäure	g/kg TM	321	84	110	3,5	176
Essigsäure	g/kg TM	321	22	26	0,8	66
Buttersäure	g/kg TM	321	2,6	3,1	0	47
Propionsäure	g/kg TM	321	1,8	1,9	0	25
Gesamtsäure	g/kg TM	321	110	137	18	218
Wasserlösliche Kohlenhydrate	g/kg TM	197	33	49	0	169
Ethanol	g/kg TM	189	13	15	0,2	45
NH <sub>3</sub> -N	g/kg N	321	93	109	7	356
Löslicher N	g/kg N	91	611	646	291	730
Körpergewicht der Kühe	kg	211	562	585	445	686
Milchmenge	kg/Tag	321	23,9	26,9	10,0	39,6
Gesamtfutteraufnahme	kg TM/Tag	321	16,5	18,2	5,6	23,9
Silage-TM-Aufnahme	kg TM/Tag	321	10,2	11,2	4,4	19,7
Konzentratfutter-Aufnahme	kg TM/Tag	321	6,1	7,9	0,0	15,5

n: Anzahl der Datensätze; Q<sub>75</sub> : der Wert, unterhalb dessen sich 75 % aller Fälle der Verteilung befinden;  
 Min: minimaler Wert; Max: maximaler Wert; N: Stickstoff; TM: Trockenmasse

## Kapitel II

Die Datenbasis enthielt sowohl sehr feuchte Silagen als auch stark angewelkte Silagen. Feuchte Silagen stellten den Großteil der Datenbasis dar (75 % aller Datensätze enthielten Versuchsergebnisse von Silagen mit einem TM-Gehalt unter 28 %). In der Datenbasis sind sowohl intensiv fermentierte Silagen (Gesamtsäuregehalt über 150 g/kg TM, keine WLK nachweisbar) als auch extrem restriktiv fermentierte Silagen enthalten (Gesamtsäuregehalt unter 50 g/kg TM, Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten über 100 g/kg TM). Hinsichtlich der Silierqualität ist zu bemerken, dass der Großteil der Silagen einen pH-Wert unter 4,2, einen Essigsäuregehalt unter 30 g/kg TM und einen Buttersäuregehalt unter 3,1 g/kg TM aufwies. Nach dem neuen DLG-Schlüssel für die Beurteilung der Silagequalität gibt es für solche Werte keine bzw. minimale Punktabzüge, was bedeutet, dass ein Großteil der Silagen in die Kategorie „Silagequalität sehr gut“ eingestuft werden kann. Die Silagen wurden sowohl als alleiniges Futtermittel gefüttert als auch mit Konzentratfutter. Die tägliche Gesamtfutteraufnahme lag im Bereich von „sehr niedrig“ (5,6 kg TM) bis „sehr hoch“ (23,9 kg TM).

In Tabelle 2.5 ist die Datenstruktur für den Teil der Datenbasis, die nur Grasanwelksilagen enthält, dargestellt.

**Tabelle 2.5:** Struktur der Datenbasis (nur Grasanwelksilagen)

Variable	Einheit	n	Mittelwert	Q <sub>75</sub> *	Min	Max
Trockenmasse	%	123	31	33	25	47
pH		123	4,13	4,4	3,7	5,0
Milchsäure	g/kg TM	123	77	86	15	161
Essigsäure	g/kg TM	123	16	22	0,8	47
Buttersäure	g/kg TM	123	2,3	3,0	0	16
Propionsäure	g/kg TM	123	1,2	1,7	0	10,5
Gesamtsäuren	g/kg TM	123	96	116	18	178
Wasserlösliche Kohlenhydrate	g/kg TM	73	56	49	12	169
Ethanol	g/kg TM	53	7,8	10	3,0	19
NH <sub>3</sub> -N	g/kg N	123	90	104	35	158
Löslicher N	g/kg N	49	625	646	498	700
Gesamtfutteraufnahme	kg TM/Tag	123	17,6	17,6	11,1	23,9
Silage-TM-Aufnahme	kg TM /Tag	123	11,1	12,5	6,4	19,6
Konzentratfutter-Aufnahme	kg TM/Tag	123	6,0	7,9	0,0	11,7

n: Anzahl der Datensätze; Q<sub>75</sub> : der Wert, unterhalb dessen sich 75 % aller Fälle der Verteilung befinden; Min: minimaler Wert; Max: maximaler Wert; N: Stickstoff; TM: Trockenmasse

## Kapitel II

Die Grasanwelksilagen wiesen im Mittel geringere Werte für Gehalte an Milchsäure und Gesamtsäuren im Vergleich zu den Mittelwerten der Silagen aus dem kompletten Datensatz auf (77 vs. 84 g Milchsäure/kg TM; 96 vs. 110 g Gesamtsäuren/kg TM). Demgegenüber war der durchschnittliche Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten bei den Grasanwelksilagen um 23 g/kg TM höher als bei Betrachtung aller Silagen des Datensatzes (56 vs. 33 g/kg TM). Mehr als die Hälfte des Rohproteins der Grasanwelksilagen lag in löslicher Form vor. Ein Großteil der Grasanwelksilagen wies einen pH-Wert von unter 4,4, einen Essigsäuregehalt von unter 22 g/kg TM und einen Buttersäuregehalt von unter 3,0 g/kg TM auf, was auch in diesem Fall bedeutet, dass die Silagen in die Kategorie „Silagequalität sehr gut“ eingestuft werden können.

In Tabelle 2.6 sind die Korrelationskoeffizienten zwischen den einzelnen Fermentationscharakteristika der Silagen dargestellt.

**Tabelle 2.6:** Korrelationskoeffizienten zwischen den einzelnen Kenngrößen der Fermentationscharakteristika der Silagen

	TM	pH	MS	ES	BS	PS	KKFS	GS	MS/GS	Eth	WLK	NH <sub>3</sub>
TM												
pH	<b>0,47</b>											
MS	<b>-0,46</b>	<b>-0,60</b>										
ES	<b>-0,49</b>	-0,08	<b>0,20</b>									
BS	<b>-0,18</b>	<b>0,28</b>	<b>-0,14</b>	<b>0,44</b>								
PS	<b>-0,32</b>	<b>0,22</b>	-0,11	<b>0,61</b>	<b>0,67</b>							
KKFS	<b>-0,44</b>	0,12	0,04	<b>0,94</b>	<b>0,72</b>	<b>0,80</b>						
GS	<b>-0,61</b>	<b>-0,53</b>	<b>0,91</b>	<b>0,54</b>	0,13	<b>0,25</b>	<b>0,46</b>					
MS/GS	<b>0,14</b>	<b>-0,36</b>	<b>0,46</b>	<b>-0,70</b>	<b>-0,67</b>	<b>-0,66</b>	<b>-0,80</b>	0,07				
Eth	<b>-0,34</b>	<b>-0,34</b>	0,14	0,03	-0,13	-0,12	-0,10	0,09	<b>0,18</b>			
WLK	<b>0,50</b>	<b>0,20</b>	<b>-0,47</b>	<b>-0,38</b>	<b>-0,21</b>	-0,15	<b>-0,32</b>	<b>-0,52</b>	0,06	-0,06		
NH <sub>3</sub>	<b>-0,16</b>	<b>0,26</b>	0,00	<b>0,42</b>	<b>0,70</b>	<b>0,54</b>	<b>0,65</b>	<b>0,15</b>	<b>-0,64</b>	-0,09	<b>-0,34</b>	
Lösl.N	<b>-0,28</b>	<b>-0,23</b>	<b>0,45</b>	0,16	0,16	<b>0,30</b>	<b>0,42</b>	<b>0,65</b>	0,00	<b>0,31</b>	<b>-0,30</b>	<b>0,36</b>

TM: Trockenmasse-Gehalt, g/kg; pH: pH-Wert; MS: Milchsäuregehalt, g/kg TM; ES: Essigsäuregehalt, g/kg TM ; BS: Buttersäuregehalt, g/kg TM; PS: Propionsäuregehalt g/kg TM; KKFS: Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren g/kg TM; GS: Gesamtsäuregehalt g/kg TM; MS/GS: Fermentationsmuster; Eth: Ethanolgehalt, g/kg TM; WLK: Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten g/kg TM; NH<sub>3</sub>: Gehalt an Ammoniak-N in g/kg gesamt N; Lösl.N: Gehalt an löslichen Stickstoffverbindungen in g/kg gesamt N. Fettgedruckte Werte bedeuten statistisch signifikante Korrelationskoeffizienten (p < 0,05)

## Kapitel II

Es wurden signifikante negative Beziehungen zwischen dem TM-Gehalt von Silagen und den Gehalten an Säuren, Ammoniak-N und dem Gehalt an löslichen Stickstoffverbindungen festgestellt, wobei Gesamtsäuregehalt, Milchsäuregehalt und Essigsäuregehalt am stärksten vom TM-Gehalt beeinflusst wurden. Dem entsprechend wurden mittelstarke positive Beziehungen zwischen dem TM-Gehalt und dem pH-Wert (0,47) sowie dem Gehalt an WLK (0,50) festgestellt. Die Beziehungen zwischen dem TM-Gehalt und den Gehalten an Buttersäure und Ammoniak waren schwach ausgeprägt (- 0,18 und - 0,16). Ein ansteigender Gehalt an Trockenmasse in der Silage beeinflusste das Fermentationsmuster (Verhältnis vom Milchsäuregehalt zum Gesamtsäuregehalt) zwar positiv, aber nur in einem geringen Umfang ( $r = 0,14$ ). Es wurde eine starke negative Beziehung ( $r = -0,60$ ) zwischen dem Milchsäuregehalt und dem pH-Wert der Silagen festgestellt. Bemerkenswert ist die starke positive Beziehung ( $r = 0,80$ ) zwischen dem Buttersäuregehalt und dem Gehalt an Ammoniak-N. Der Gehalt an löslichen Stickstoffverbindungen wird vor allem durch das Ausmaß der Fermentation in Silagen (Korrelationskoeffizient zwischen dem Gesamtsäuregehalt und Gehalt an löslichen Stickstoffverbindungen 0,65) und weniger durch die Synthese einzelner kurzkettiger Fettsäuren beeinflusst.

### **3.1.2 Beziehungen zwischen den Fermentationscharakteristika von Silagen und der Silage-TM-Aufnahme**

In Tabelle 2.7 sind die linearen Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten sowie dem TM-Gehalt und der Silage-TM-Aufnahme bei allen Silagearten dargestellt. Mit Ausnahme des Ethanolgehaltes wurden signifikante, lineare Beziehungen zwischen allen Fermentationsprodukten und der Silage-TM-Aufnahme festgestellt. Wenn die Silage-TM-Aufnahme um den zufälligen Effekt des Versuches korrigiert wurde, lagen die Bestimmtheitsmaße auf einem relativ hohen Niveau. Dabei wiesen die Modelle mit dem Gehalt an löslichen Stickstoffverbindungen im Gesamt-N ( $R^2 = 0,92$ ), dem Gehalt an WLK, Summe von KKFS und dem Essigsäuregehalt (0,77; 0,76 und 0,74) die höchsten Werte auf. Diese Modelle wiesen auch die kleinsten Abweichungen der geschätzten Werte für die Silage-TM-Aufnahme von den um den zufälligen Effekt des Versuches korrigierten (RMSE 0,37 - 0,59) TM-Aufnahmen auf. Die einzelnen Fermentationsprodukte erklärten nur geringe Anteile an der Gesamtvariation. Der Gehalt an löslichen Stickstoffverbindungen erklärte den höchsten Anteil an der Gesamtvariation bei der Silage-TM-

## Kapitel II

Aufnahme ( $R^2 = 0,22$ ) gefolgt von dem Essigsäuregehalt, der 16 % der Gesamtvariation bei der Silage-TM-Aufnahme erklärte.

**Tabelle 2.7:** Lineare Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten (FP) aller Silagearten und der Silage-Trockenmasse-Aufnahme (kg) ( $y = a + b \times \text{FP}$ )

Fermentationsprodukt	a	b	P-Wert	$R^2_{\text{adj}}(\text{Exp})$	$\text{RMSE}_{\text{exp}}$	$R^2(\text{FP})$
Trockenmasse g/kg	6,49	0,016	< 0,0001	0,71	0,65	0,08
pH-Wert	1,42	2,23	0,0002	0,52	0,70	0,07
Milchsäure g/kg TM	12,03	- 0,018	< 0,0001	0,47	0,68	0,05
Essigsäure g/kg TM	12,01	- 0,081	< 0,0001	0,74	0,59	0,16
Buttersäure g/kg TM	10,79	- 0,098	0,005	0,20	0,82	0,02
Propionsäure g/kg TM	11,01	- 0,362	0,0008	0,67	0,66	0,02
KKFS g/kg TM	11,90	- 0,065	< 0,0001	0,76	0,60	0,13
Gesamtsäuren g/kg TM	11,47	- 0,022	< 0,0001	0,63	0,66	0,12
WLK g/kg TM	9,59	0,028	< 0,0001	0,77	0,51	0,09
Ethanol g/kg TM	10,01	- 0,004	0,81	0,00	0,86	0,00
MS/GS	7,45	4,1	< 0,0001	0,33	0,81	0,05
$\text{NH}_3\text{-N}$ g/kg N	11,98	- 0,014	0,001	0,48	0,66	0,03
Lösl. N g/kg N	22,00	- 0,018	0,004	0,92	0,37	0,22

a: Konstante; b: Regressionskoeffizient; P-Wert: Irrtumswahrscheinlichkeit;  $R^2_{\text{adj}}(\text{Exp})$ : um den zufälligen Effekt des Versuches bereinigtes Bestimmtheitsmaß;  $\text{RMSE}_{\text{exp}}$ : um den zufälligen Effekt des Versuches bereinigte Standardabweichung der Residuen;  $R^2(\text{FP})$ : Bestimmtheitsmaß für den Effekt des Fermentationsproduktes; TM: Trockenmasse; KKFS: Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren; WLK: Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten; MS/GS: Fermentationsmuster;  $\text{NH}_3\text{-N}$ : Ammoniak-Stickstoff; Lösl. N: lösliche Stickstoffverbindungen

Das Ausmaß der Fermentation hatte insgesamt einen negativen Einfluss auf die Silageaufnahme. Die Regressionskoeffizienten für die Gehalte an Säuren, Ammoniak-N und an löslichen Stickstoffverbindungen waren negativ. Die Zunahme des Gehaltes an löslichen Stickstoffverbindungen im Gesamt-N um 1 g führte zu einer Senkung der täglichen Silageaufnahme um 18 g TM, während eine Zunahme des Essigsäuregehaltes um 1 g zu einer Verringerung der täglichen Silageaufnahme um 81g TM führte. TM-Gehalt, Fermentationsmuster, pH-Wert und der Gehalt an WLK hatten einen positiven Einfluss auf die Silage-TM-Aufnahme, erklärten aber nur 5 - 9 % der Gesamtvariation bei der Silage-TM-Aufnahme. Obwohl signifikante negative Beziehungen zwischen den Gehalten an Buttersäure, Propionsäure und Ammoniak-N auf die Silage-TM-Aufnahme festgestellt

## Kapitel II

wurden, erklärten diese Fermentationsprodukte nur sehr geringe Anteile (2 - 3 %) an der Gesamtvariation bei der Silageaufnahme. Dies bedeutet, dass die Unterschiede bei der Silage-TM-Aufnahme in erster Linie durch die Varianz zwischen den Versuchen (zufälliger Effekt des Versuches) verursacht wurden.

Bei ausschließlicher Betrachtung der Grasanweltsilagen wurden folgende lineare Beziehungen zwischen den Fermentationsprodukten sowie dem TM-Gehalt und der Silage-TM-Aufnahme festgestellt (Tabelle 2.8):

**Tabelle 2.8:** Lineare Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten (FP) von Grasanweltsilagen und der Silage-Trockenmasse-Aufnahme (kg) ( $y = a + b \times \text{FP}$ )

Fermentationsprodukt	a	b	P-Wert	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> (Exp)	RMSE <sub>exp</sub>	R <sup>2</sup> (FP)
Trockenmasse g/kg	8,19	0,0108	< 0,0001	0,77	0,35	0,00
pH-Wert	- 3,89	3,67	0,001	0,83	0,51	0,11
Milchsäure g/kg TM	13,15	- 0,021	0,001	0,73	0,48	0,06
Essigsäure g/kg TM	13,02	- 0,129	0,0001	0,94	0,29	0,24
Buttersäure g/kg TM	12,10	- 0,26	0,0002	0,77	0,43	0,03
Propionsäure g/kg TM	12,05	- 0,97	0,0015	0,96	0,29	0,01
KKFS g/kg TM	12,84	- 0,095	0,0002	0,95	0,27	0,18
Gesamtsäuren g/kg TM	13,11	- 0,023	0,003	0,89	0,33	0,11
WLK g/kg TM	10,62	0,008	0,18	0,59	0,25	0,00
Ethanol g/kg TM	10,59	- 0,018	0,52	0,05	0,29	0,00
MS/GS	4,67	8,32	< 0,0001	0,86	0,32	0,12
NH <sub>3</sub> -N g/kg N	12,17	- 0,007	0,18	0,31	0,30	0,00
Lösl. N g/kg N	24,06	- 0,021	0,004	0,94	0,25	0,29

a: Konstante; b: Regressionskoeffizient; P-Wert: Irrtumswahrscheinlichkeit; R<sup>2</sup><sub>adj</sub>(Exp): um den zufälligen Effekt des Versuches bereinigtes Bestimmtheitsmaß; RMSE<sub>exp</sub>: um den zufälligen Effekt des Versuches bereinigte Standardabweichung der Residuen; R<sup>2</sup> (FP): Bestimmtheitsmaß für den Effekt des Fermentationsproduktes; TM: Trockenmasse; KKFS: Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren; WLK: Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten; MS/GS: Fermentationsmuster; NH<sub>3</sub>-N: Ammoniak-Stickstoff; Lösl. N: lösliche Stickstoffverbindungen

Mit Ausnahme von WLK, Ethanol und Ammoniak wurden signifikante Einflüsse von Fermentationscharakteristika auf die Silage-TM-Aufnahme festgestellt. Die Gehalte an Säuren waren negativ mit der Silageaufnahme korreliert. Der Gehalt an löslichem Stickstoff und der Essigsäuregehalt erklärten den größten Anteil an der Gesamtvariation

## Kapitel II

bei der Silageaufnahme der Grasanwelksilagen (29 und 24 %), genauso wie im Datensatz mit allen Silagearten (Tabelle 2.7). Ein Anstieg des Anteils des Ammoniak-Stickstoffs im Gesamt-N um 1 g/kg führte zu einer Senkung der täglichen Silageaufnahme um 21 g TM, und ein Anstieg des Essigsäuregehaltes um 1 g/kg TM führte zu einer Senkung der täglichen Silageaufnahme um 129 g TM pro Tag. Die Gehalte an Buttersäure und Propionsäure erklärten nur sehr geringe Anteile an der Gesamtvariation bei der Silageaufnahme (1 - 3 %), obwohl signifikante negative Einflüsse von diesen Fermentationsprodukten auf die Silageaufnahme festgestellt wurden. Der Gehalt an Milchsäure an sich übte einen negativen Einfluss auf die Silageaufnahme aus, demgegenüber wurde ein positiver Einfluss des Fermentationsmusters (Milchsäure/Gesamtsäuren) festgestellt, der stärker ausgeprägt war ( $R^2(\text{FP}) = 0,12$ ) als der alleinige Einfluss der Milchsäure ( $R^2(\text{FP}) = 0,06$ ). Der TM-Gehalt und der pH-Wert hatten ebenfalls einen positiven Einfluss auf die Silageaufnahme, wobei der Trockenmassegehalt 77 % der Variation bei der Silageaufnahme erklärte, die um den zufälligen Effekt des Versuches korrigiert wurde. Der durch den Trockenmassegehalt erklärte Anteil der Gesamtvariation bei der unkorrigierten Silageaufnahme war aber unbedeutend ( $R^2(\text{FP}) = 0$ ). Demgegenüber war der positive Einfluss des pH-Wertes auf die Silageaufnahme mit einem Anteil von 11 % an der Gesamtvariation in der unkorrigierten Silage-TM-Aufnahme deutlicher ausgeprägt.

Allgemein wiesen die Modelle für die Schätzung der Silage-TM-Aufnahme anhand der jeweiligen Fermentationsprodukte für die Grasanwelksilagen höhere Bestimmtheitsmaße und niedrigere Standardabweichungen der Residuen auf im Vergleich zu den Modellen für den Datensatz, der alle Silagearten enthielt (Tabellen 2.7 und 2.8).

Um zu überprüfen, ob der Einfluss der Fermentationsprodukte auf die Silageaufnahme konzentrationsabhängig ist, wurden Modelle mit quadratischen und logarithmischen Beziehungen erstellt. In Tabelle 2.9 sind die Ergebnisse der Schätzung der quadratischen Beziehungen zwischen den Fermentationsprodukten und der Silageaufnahme für alle Silagearten dargestellt. Es sind nur die Ergebnisse dargestellt, deren Bestimmtheitsmaße höher waren als die Bestimmtheitsmaße der jeweiligen Modelle für lineare Beziehungen. Eine Einbeziehung der quadrierten Gehalte an Essigsäure, der Summe der kurzkettigen Fettsäuren und der Gesamtsäuren führte zu einer deutlichen Verbesserung der Schätzung der Silage-TM-Aufnahme, was sich in höheren Anteilen an der Gesamtvariation in der unkorrigierten Silageaufnahme, die durch die jeweiligen Fermentationsprodukte erklärt wurden, im Vergleich zu Modellen mit linearen Beziehungen widerspiegelt (Tabelle 2.7 und 1.9). Es wurde ebenfalls eine konzentrationsabhängige Wirkung auf die

## Kapitel II

Silageaufnahme für Milchsäure und wasserlösliche Kohlenhydrate festgestellt, die Schätzung der Silage-TM-Aufnahme wurde dadurch aber nur unwesentlich verbessert im Vergleich zu Modellen mit linearen Beziehungen ( $R^2(\text{FP})$  für Milchsäure linear 0,05 vs. 0,09 quadratisch,  $R^2_{\text{adj}}(\text{FP})$  für WLK linear 0,09 vs. 0,11 quadratisch).

**Tabelle 2.9:** Quadratische Beziehungen<sup>1</sup> zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten (FP g/kg Trockenmasse) von Silagen und der Silage-Trockenmasse-Aufnahme (kg) ( $y = a + b \times \text{FP} + c \times \text{FP}^2$ )

Fermentationsprodukt	a	b	c	$R^2_{\text{adj}}(\text{Exp})$	$\text{RMSE}_{\text{exp}}$	$R^2(\text{FP})$
Milchsäure	13,97	- 0,048	0,00017	0,54	0,69	0,09
Essigsäure	12,69	- 0,142	0,0012	0,70	0,62	0,22
KKFS	12,29	- 0,093	0,00047	0,67	0,67	0,19
Gesamtsäuren	14,71	- 0,059	0,00017	0,68	0,64	0,20
WLK	9,21	0,052	- 0,00022	0,74	0,51	0,11

a: Konstante; b und c: Regressionskoeffiziente;  $R^2_{\text{adj}}(\text{Exp})$ : um den zufälligen Einfluss des Versuches bereinigtes Bestimmtheitsmaß;  $\text{RMSE}_{\text{exp}}$ : um den zufälligen Einfluss des Versuches bereinigtes Standardabweichung der Residuen;  $R^2(\text{FP})$ : Bestimmtheitsmaß für den Effekt des Fermentationsproduktes; KKFS: Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren; WLK: Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten  
<sup>1</sup> Einflüsse der Gehalte an Fermentationsprodukten und der quadrierten Gehalte signifikant bei  $p < 0,05$

Der Gehalt an Essigsäure war die beste Einzelvariable für die Schätzung der Silage-TM-Aufnahme, gefolgt von dem Gesamtsäuregehalt und dem Gehalt an KKFS insgesamt ( $R^2(\text{FP}) = 0,22; 0,20$  und  $0,19$ ).

Bei ausschließlicher Betrachtung der Grasanwelksilagen wurden folgende signifikante quadratische Beziehungen zwischen den Fermentationsprodukten und der Silage-TM-Aufnahme festgestellt (Tabelle 2.10). Eine Einbeziehung von quadrierten Gehalten an Essigsäure, der Summe der kurzkettigen Fettsäuren und der Gesamtsäuren führte zur deutlichen Verbesserung der Schätzung der Grasanwelksilageaufnahme, das Gleiche gilt für den Datensatz mit allen Silagearten. Im Vergleich zum Modell mit der linearen Beziehung ( $R^2(\text{FP}) = 0,28$  vs.  $0,06$ ) führte auch eine Einbeziehung des quadrierten Milchsäuregehaltes zur deutlichen Verbesserung der Schätzung der Grassilageaufnahme (1.8 und 1.10) im Gegensatz zum Datensatz mit allen Silagearten (Tabelle 2.9). Bei der Annahme einer quadratischen Beziehung erwies sich der Gesamtsäuregehalt als die Einzelvariable mit dem größten Anteil erklärter Variation bei der Grassilageaufnahme (36 %). Insgesamt wiesen die Regressionen für Grasanwelksilagen nach der Korrektur der Silageaufnahme um den zufälligen Effekt des Versuches höhere  $R^2_{\text{adj}}(\text{Exp})$ -Werte und

niedrigere  $RMSE_{exp}$ -Werte auf im Vergleich zu Regressionen, die am kompletten Datensatz errechnet wurden.

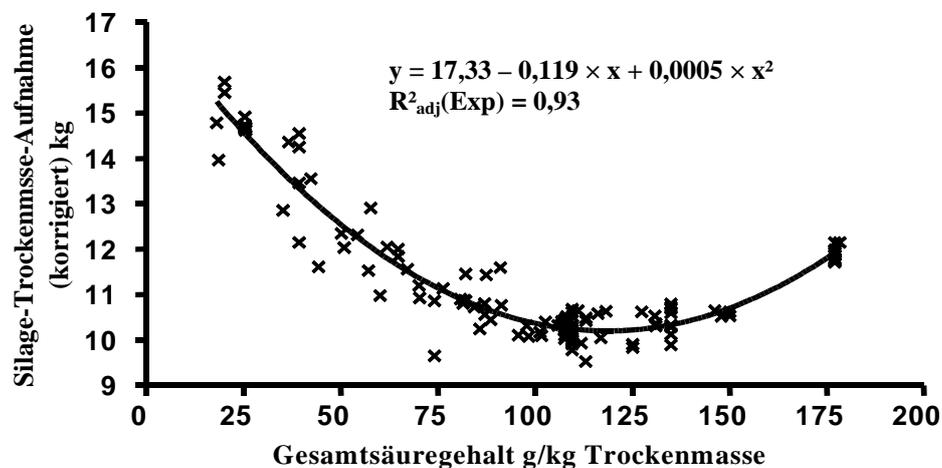
**Tabelle 2.10:** Quadratische Beziehungen<sup>1</sup> zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten (FP g/kg Trockenmasse) von Grasanwelksilagen und der Silage-Trockenmasse-Aufnahme (kg) ( $y = a + b \times FP + c \times FP^2$ )

Fermentationsprodukt	a	b	c	$R^2_{adj}(Exp)$	$RMSE_{exp}$	$R^2(FP)$
Milchsäure	16,39	- 0,120	0,00058	0,87	0,50	0,28
Essigsäure	14,39	- 0,296	0,00475	0,94	0,31	0,33
KKFS	13,86	- 0,193	0,00224	0,93	0,29	0,28
Gesamtsäuren	17,33	- 0,119	0,0005	0,93	0,42	0,36

a: Konstante; b und c: Regressionskoeffiziente;  $R^2_{adj}(Exp)$ : um den zufälligen Effekt des Versuches bereinigtes Bestimmtheitsmaß;  $RMSE_{exp}$ : um den zufälligen Effekt des Versuches bereinigte Standardabweichung der Residuen;  $R^2(FP)$ : Bestimmtheitsmaß für den Effekt des Fermentationsproduktes; KKFS: Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren

<sup>1</sup>Einflüsse der Gehalte an Fermentationsprodukten und der quadrierten Gehalte signifikant bei  $p < 0,05$

Eine quadratische Beziehung setzt eine Veränderung des Einflusses des jeweiligen Fermentationsproduktes auf die Silageaufnahme in Abhängigkeit vom Gehalt voraus. Wird aus den festgestellten Funktionen eine Ableitung gezogen und diese gleich Null gesetzt, so wird nach der Lösung der Gleichung der Gehalt des Fermentationsproduktes ermittelt, ab dem sich der Einfluss desselben auf die Silageaufnahme in seiner Wirkung umkehrt. So war z. B. der Einfluss von Essigsäure auf die Silageaufnahme für den Datensatz mit allen Silagearten (Tabelle 2.9) bis zu einem Gehalt von 59 g/kg TM abnehmend negativ, ab einem höheren Gehalt zunehmend positiv.



**Abbildung 2.3:** Einfluss des Gesamtsäuregehaltes auf die Aufnahme von Grasanwelksilage

## Kapitel II

Bei ausschließlicher Betrachtung von Grasanwelksilagen wiesen desweiteren die Gesamtsäuren bis zu einem Gehalt von 119 g/kg TM eine abnehmend negative Wirkung auf die Silageaufnahme, bei einem höheren Gehalt eine zunehmend positive Wirkung auf (Abbildung 2.3). Ein derartiger Einfluss von Gärsäuren auf die Silageaufnahme ist auf den ersten Blick schwer zu interpretieren, weshalb geprüft wurde, ob die Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten einen logarithmischen Verlauf zeigten. In der Tabelle 2.11 sind die besten logarithmischen Beziehungen zwischen einzelnen Fermentationsprodukten und der Silageaufnahme für den Datensatz mit allen Silagearten dargestellt.

**Tabelle 2.11:** Logarithmische Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten (FP g/kg Trockenmasse) und der Silage-Trockenmasse-Aufnahme (kg) ( $y = a + b \times \ln(\text{FP})$ )

Fermentationsprodukt	a	b	P-Wert	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> (Exp)	RMSE <sub>exp</sub>	R <sup>2</sup> (FP)
Essigsäure	14,86	- 1,57	< 0,0001	0,74	0,65	0,27
KKFS	14,88	- 1,49	< 0,0001	0,72	0,65	0,23
Gesamtsäuren	20,61	- 2,20	< 0,0001	0,70	0,67	0,21

a: Konstante; b: Regressionskoeffizient; ln(FP): natürlicher Logarithmus von den Gehalten an Fermentationsprodukten; P-Wert: Irrtumswahrscheinlichkeit; R<sup>2</sup><sub>adj</sub>(Exp): um den zufälligen Effekt des Versuches bereinigtes Bestimmtheitsmaß; RMSE<sub>exp</sub>: um den zufälligen Effekt des Versuches bereinigte Standardabweichung der Residuen; R<sup>2</sup>(FP): Bestimmtheitsmaß für den Effekt des Fermentationsproduktes; KKFS: Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren

Die Annahme, dass der Einfluss von Fermentationsprodukten konzentrationsabhängig ist, wobei mit steigenden Gehalten die negative Wirkung auf die Silageaufnahme abnimmt, führte zu einer Verbesserung der Schätzung der Silageaufnahme mit dem Gehalt an Essigsäure (R<sup>2</sup>(FP) = 0,27 für die logarithmische Beziehung vs. 0,22 für die quadratische Beziehung), der Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren (0,23 vs. 0,19) und dem Gesamtsäuregehalt (0,21 vs. 0,20) als Regressionsvariablen (Tabellen 2.9 und 2.11). In diesem Fall war der Essigsäuregehalt mit 27 % der erklärten Gesamtvariation bei der Silage-TM-Aufnahme der beste einzelne Einflussparameter für die Schätzung der Silage-TM-Aufnahme.

Bei ausschließlicher Betrachtung von Grasanwelksilagen wurden die folgenden engsten konzentrationsabhängigen logarithmischen Beziehungen zwischen Fermentationsprodukten und der Silageaufnahme festgestellt (Tabelle 2.12).

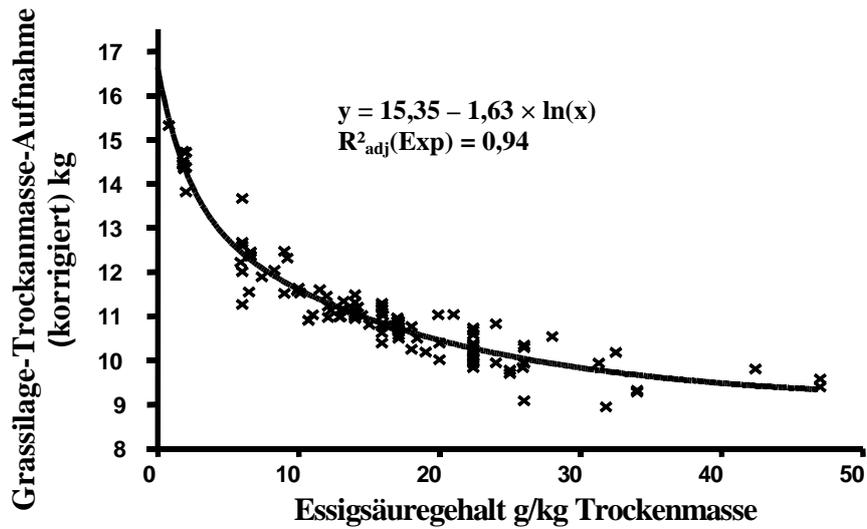
**Tabelle 2.12:** Logarithmische Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten (FP g/kg Trockenmasse) und der Grassilage-Trockenmasse-Aufnahme (kg) ( $y = a + b \times \ln(\text{FP})$ )

Fermentationsprodukt	a	b	P-Wert	$R^2_{\text{adj}}(\text{Exp})$	$\text{RMSE}_{\text{exp}}$	$R^2(\text{FP})$
Essigsäure	15,35	- 1,63	< 0,0001	0,94	0,34	0,36
KKFS	15,29	- 1,48	< 0,0001	0,93	0,33	0,30
Gesamtsäuren	19,99	- 1,99	0,0003	0,92	0,33	0,24

a: Konstante; b: Regressionskoeffizient;  $\ln(\text{FP})$ : natürlicher Logarithmus von den Gehalten an Fermentationsprodukten; P-Wert: Irrtumswahrscheinlichkeit;  $R^2_{\text{adj}}(\text{Exp})$ : um den Effekt des Versuches bereinigtes Bestimmtheitsmaß;  $\text{RMSE}_{\text{exp}}$ : um den Effekt des Versuches bereinigte Standardabweichung der Residuen;  $R^2(\text{FP})$ : Bestimmtheitsmaß für den Effekt des Fermentationsproduktes; KKFS: Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren

Die Annahme, dass die negative Wirkung von Essigsäure und der Summe an kurzkettigen Fettsäuren mit steigenden Gehalten in der Silage kontinuierlich abnimmt, führte zur Verbesserung der Schätzung der Grassilageaufnahme. Der Anteil an der Gesamtvariation in der Grassilageaufnahme, der durch den Essigsäuregehalt erklärt wurde, erhöhte sich im Vergleich zum quadratischen Modell von 33 auf 36 %. Der durch die Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren erklärte Anteil an der Gesamtvariation erhöhte sich von 28 auf 30 %. Die Annahme, dass die Beziehung zwischen dem Gesamtsäuregehalt und der Grassilageaufnahme einen logarithmischen Charakter aufweist, führte zu schlechteren Schätzergebnissen. Das Bestimmtheitsmaß für das Modell fiel von 0,36 auf 0,24 im Vergleich zu dem quadratischen Modell. Insgesamt wiesen die Regressionen für Grasanwelksilagen nach Korrektur der Silageaufnahme um den zufälligen Effekt des Versuches, höhere  $R^2_{\text{adj}}(\text{Exp})$ -Werte und niedrigere  $\text{RMSE}_{\text{exp}}$ -Werte auf im Vergleich zu Regressionen, die am kompletten Datensatz errechnet wurden. Die abnehmende negative Wirkung mit steigenden Gehalten an Fermentationsprodukten auf die Silageaufnahme ist am Beispielt der Regression mit dem natürlichen Logarithmus des Essigsäuregehaltes als Regressionsvariable in der Abbildung 2.4 dargestellt.

Mittels multipler Regressionsanalyse wurde geprüft, ob durch eine Einbeziehung von mehreren Fermentationsprodukten in das Modell die Schätzung des Einflusses von den Fermentationscharakteristika auf die Silageaufnahme verbessert werden kann. In Tabelle 2.13 sind die Regressionen mit den höchsten  $R^2(\text{FP})$ -Werten für den kompletten Datensatz dargestellt.



**Abbildung 2.4:** Einfluss des Essigsäuregehaltes auf die Aufnahme von Grasanweilsilage

**Tabelle 2.13:** Multiple Gleichungen<sup>1</sup> ( $y = a + b \times x_1 + c \times x_2 + d \times x_3$ ) mit den Fermentationsprodukten (g/kg Trockenmasse) als Regressionsvariablen für die Schätzung der Silage-Trockenmasse-Aufnahme (kg/Tag)

Fermentationsprodukte	a	b	c	d	R <sup>2</sup> (FP)
WLK, MS, KKFS/GS	12,24	0,015	- 0,014	- 4,20	0,18
ln(GS), TM	14,17	- 1,38	0,0102		0,19
MS, MS/GS	8,21	- 0,027	5,92		0,20
MS, ES	12,91	- 0,015	- 0,055		0,20
ln(KKFS), TM	10,76	- 1,018	0,0103		0,21
GS, GS <sup>2</sup> , ln(NH <sub>3</sub> -N)	16,86	- 0,047	0,00012	- 0,64	0,21
ln(GS), TM	14,17	- 1,38	0,0102		0,22
ln(ES), ln(TM)	- 0,33	- 1,10	2,49		0,24
MS, ln(KKFS)	15,32	- 0,012	- 1,27		0,24
ln(KKFS), pH	7,60	- 1,45	1,77		0,26
ln(ES), pH	9,68	- 1,39	1,15		0,27
MS, ln(ES)	15,14	- 0,007	- 1,45		0,27

a: Konstante; b, c und d: Regressionskoeffizienten; R<sup>2</sup>(FP): Bestimmtheitsmaß für den Effekt der Fermentationsprodukte; ln: natürlicher Logarithmus von den Gehalten an Fermentationsprodukten; WLK: Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten; MS: Milchsäuregehalt; KKFS: Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren; GS: Gesamtsäuregehalt; TM: Trockenmassegehalt g/kg; ES: Essigsäuregehalt; NH<sub>3</sub>-N: Ammoniak-Stickstoff im Gesamt-Stickstoff, g; pH: pH-Wert

<sup>1</sup> Einflüsse von Fermentationsprodukten signifikant bei  $p < 0,05$

## Kapitel II

Die genauesten Gleichungen für die Schätzung der Silageaufnahme wurden erzielt, wenn der natürliche Logarithmus des Gehaltes an Essigsäure zusammen mit dem Gehalt an Milchsäure oder dem pH-Wert als Variablen in die multiple Regressionsanalyse einbezogen wurde. Allerdings lagen die Bestimmtheitsmaße für diese Regressionen auf dem gleichem Niveau mit der Gleichung mit dem natürlichen Logarithmus des Essigsäuregehaltes als Einzelvariable (Tabelle 2.11). Die Einbeziehung von anderen Fermentationsprodukten als Variable in die multiple Regressionsanalyse führte zwar zur Verbesserung der Schätzung der Silageaufnahme im Vergleich zu einfachen linearen Regressionen (Tabelle 2.7), was sich in den höheren  $R^2_{adj}(FP)$ -Werten widerspiegelte. Allerdings waren diese  $R^2(FP)$ -Werte niedriger als für das Modell mit dem natürlichen Logarithmus des Essigsäuregehaltes als Einzelvariable ( $R^2_{adj}(FP) < 0,27$ ).

Mit der gleichen Vorgehensweise wurde für den Datensatz mit Grasanwelksilagen geprüft, ob durch eine Einbeziehung von mehreren Fermentationsprodukten in das Modell die Schätzung des Einflusses der Fermentationscharakteristika auf die Silageaufnahme verbessert werden kann. In Tabelle 2.14 sind die Regressionen mit den höchsten  $R^2_{adj}(FP)$ -Werten bei ausschließlicher Betrachtung von Grasanwelksilagen dargestellt.

**Tabelle 2.14:** Multiple Gleichungen<sup>1</sup> ( $y = a + b \times x_1 + c \times x_2$ ) mit den Fermentationsprodukten (g/kg Trockenmasse) als Regressionsvariablen für die Schätzung der Grassilage-Trockenmasse-Aufnahme (kg /Tag)

Fermentationsprodukte	a	b	c	$R^2(FP)$
ES, pH	3,17	- 0,105	2,39	0,23
MS, MS/GS	7,36	- 0,0187	6,89	0,24
ln(KKFS), TM	12,90	- 1,24	0,0056	0,24
ES, TM	15,50	- 0,156	0,0066	0,27

a: Konstante; b, c und d: Regressionskoeffizienten;  $R^2(FP)$ : Bestimmtheitsmaß für den Effekt der Fermentationsprodukte; ln: natürlicher Logarithmus von den Gehalten an Fermentationsprodukten; MS: Milchsäuregehalt; KKFS: Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren; GS: Gesamtsäuregehalt; TM: Trockenmassegehalt; ES: Essigsäuregehalt; pH: pH-Wert

<sup>1</sup> Einflüsse von Fermentationsprodukten signifikant bei  $P < 0,05$

Die genaueste Gleichung für die Schätzung der Silageaufnahme wurde erzielt, wenn der Essigsäuregehalt zusammen mit dem TM-Gehalt in die multiple Regressionsanalyse einbezogen wurde. Allerdings lag das Bestimmtheitsmaß für diese Regression auf einem niedrigeren Niveau als bei den Gleichungen mit dem natürlichen Logarithmus des

## Kapitel II

Essigsäuregehaltes als Einzelvariable oder mit dem Gesamtsäuregehalt und dem quadrierten Gesamtsäuregehalt (0,27 vs. 0,36). Bemerkenswert ist eine deutliche Verbesserung der Schätzung der Grassilageaufnahme, wenn der Milchsäuregehalt zusammen mit dem Fermentationsmuster (Milchsäuregehalt/Gesamtsäuregehalt) in die Regression einbezogen wurde. Der  $R^2(\text{FP})$ -Wert für die multiple Regression war 0,24 vs. 0,06 für die einfache lineare Regression mit dem Milchsäuregehalt als Regressionsvariable und 0,12 mit dem Fermentationsmuster als Regressionsvariable.

### 3.2 Gesamtmischrationen

#### 3.2.1 Struktur der Datenbasis

Tabelle 2.15 zeigt die Verteilung der verschiedenen Silagearten in den totalen Mischrationen innerhalb der Datenbasis, auf deren Grundlage die Meta-Analyse durchgeführt wurde. Die Silagen wurden entweder als alleinige Grobfutterkomponente oder als Gemisch aus zwei Grobfuttermitteln gefüttert.

**Tabelle 2.15:** Anzahl der Datensätze, aufgeteilt nach Silageart bzw. Gemisch aus zwei Grobfuttermitteln

Grobfutterkomponente	Anzahl Datensätze	Anteil %
Grassilage	20	32
Maissilage/Heu	13	21
Luzernesilage	10	16
Maissilage	9	15
Gras-/Luzernesilage	6	9
Luzerne-/Maissilage	3	4
Gras-/Maissilage	2	3
Summe	63	100

Ein Drittel der für die Meta-Analyse verwendeten Datenbasis (32 %) bestand aus Ergebnissen von Versuchen, in welchen Grassilage als alleinige Grobfutterkomponente gefüttert wurde. Bei 21 % der Datensätze wurde Heu als zusätzliche Grobfutterkomponente zur Maissilage verwendet. Maissilage wurde in 15 % der Fälle als alleinige Grobfutterkomponente gefüttert und Luzernesilage in 16 %. Die Anzahl der Datensätze aus Versuchen mit Mischungen aus zwei Silagen war sehr gering.

## Kapitel II

Die Aufteilung der Datenbasis auf die Länder, in denen die Versuche durchgeführt wurden ist in Tabelle 2.16 dargestellt.

**Tabelle 2.16:** Anzahl der Datensätze, aufgeteilt nach Land (TMR)

Land	Anzahl Datensätze	Anteil %
USA	34	54
Kanada	16	25
Nordirland	13	21
Summe	63	100

Die für die Meta-Analyse verwendeten Daten stammten aus Versuchen, die in den USA, Kanada und Nordirland durchgeführt wurden, davon entfiel mehr als die Hälfte auf die Versuche in den USA (54 %).

In Tabelle 2.17 ist die Struktur der für die Meta-Analyse verwendeten Datenbasis dargestellt.

**Tabelle 2.17:** Struktur der Datenbasis (Gesamtmischrationen)

Variable	Anzahl Datensätze	Mittelwert	Q <sub>75</sub> *	Min	Max
Milchsäure g/kg TM der TMR	63	54	69	18	114
Essigsäure g/kg TM der TMR	63	18	23	3,5	54
Buttersäure g/kg TM der TMR	63	1,6	1,2	0	13
Propionsäure g/kg TM der TMR	63	1,8	1,9	0	15
Gesamtsäure g/kg TM der TMR	63	75	94	24	144
NH <sub>3</sub> -N g/kg TM der TMR	57	1,7	1,9	0,2	6,7
Körpergewicht der Kühe kg	47	631	661	527	695
Milchmenge kg/Tag	63	31,2	36,0	14,5	49,3
Gesamtfuttermenge kg TM/Tag	63	22,1	25,6	14,5	28,6
Konzentratfutter-Anteil %	63	43	45	6	80

Q<sub>75</sub>\*: der Wert, unterhalb dessen sich 75 % aller Fälle der Verteilung befinden; Min: minimaler Wert; Max: maximaler Wert; TM: Trockenmasse; TMR: Gesamtmischration

Eine genaue Beurteilung der Silierqualität anhand der Werte in Tabelle 2.17 konnte nicht vorgenommen werden, da die Rationen in einem Teil der Versuche zwei

Grobfutterkomponenten enthielten, und die Berechnung der Gehalte an Fermentationsprodukten für den gesamten Grobfutteranteil erfolgte, so dass in einigen Fällen möglicherweise eine „schlechte“ Silage mit einer „guten“ in der TMR ausgeglichen werden könnte. Für die nachfolgende statistische Analyse wurden aber die Gehalte an Fermentationsprodukten bezogen auf die TM der TMR herangezogen. Insgesamt lagen die Gehalte an Fermentationsprodukten auf einem niedrigeren Niveau als in der Datenbasis für die getrennte Vorlage von Rationsbestandteilen. Die durchschnittliche Körpergewicht der Kühe, die Milchmenge und die Gesamtfutteraufnahme lagen auf einem höheren Niveau im Vergleich zu der Datenbasis für die getrennte Vorlage der Rationsbestandteile (Tabelle 2.4). Die durchschnittliche Gesamtfutteraufnahme war hoch (22,1 kg TM), wobei die Werte für die Gesamtfutteraufnahme in 25 % der Fälle auf einem sehr hohen Niveau lagen (über 25,6 kg TM). Der Konzentratfutteranteil lag im Bereich von „sehr niedrig“ (6 %) bis „sehr hoch“ (80%).

### **3.2.2 Beziehungen zwischen den Gehalten an Fermentationsprodukten und der Gesamtfutteraufnahme.**

In Tabelle 2.18 sind die linearen Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten und der Gesamtfutteraufnahme bei Fütterung von TMR dargestellt. Mit Ausnahme des Milchsäure/Gesamtsäure-Verhältnisses wurden signifikante lineare Beziehungen zwischen allen Fermentationsprodukten und der Gesamtfutteraufnahme festgestellt. Der Einfluss des WLK-Gehaltes wurde aufgrund zu weniger Datensätze nicht ermittelt. Nach Korrektur der Gesamtfutteraufnahme um den zufälligen Effekt des Versuches lagen die Bestimmtheitsmaße auf einem relativ hohen Niveau. Dabei wiesen die Modelle mit dem Gehalt an Essigsäure, Summe von KKFS und dem Gesamtsäuregehalt den höchsten Werte auf (0,89). Diese Modelle wiesen auch die kleinsten Abweichungen der geschätzten Werte für die Gesamtfutteraufnahme von den um den zufälligen Effekt des Versuches korrigierten TM-Aufnahmen auf (RMSE = 0,77 - 0,78) auf. Der Gesamtsäuregehalt erklärte den höchsten Anteil an der Gesamtvariation bei der Gesamtfutteraufnahme ( $R^2 = 0,44$ ) gefolgt von dem Milchsäuregehalt, der 34 % der Gesamtvariation bei der Gesamtfutteraufnahme erklärte. Das Ausmaß der Fermentation hatte insgesamt einen negativen Einfluss auf die Silageaufnahme. Die Regressionskoeffizienten für die Gehalte an Säuren, und Ammoniak-N waren negativ.

## Kapitel II

**Tabelle 2.18:** Lineare Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten (FP g/kg Trockenmasse der Gesamtmischung) und der Gesamtfutteraufnahme (kg Trockenmasse) ( $y = a + b \times \text{FP}$ )

Fermentationsprodukt	a	b	P-Wert	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> (Exp)	RMSE <sub>exp</sub>	R <sup>2</sup> (FP)
Milchsäure g/kg TM	26,28	- 0,148	< 0,0001	0,87	0,84	0,34
Essigsäure g/kg TM	24,79	- 0,319	< 0,0001	0,89	0,77	0,27
Buttersäure g/kg TM	22,45	- 0,974	0,01	0,58	1,26	0,04
Propionsäure g/kg TM	22,39	- 1,101	< 0,0001	0,80	0,96	0,07
KKFS g/kg TM	24,50	- 0,251	< 0,0001	0,89	0,78	0,25
Gesamtsäuren g/kg TM	26,32	- 0,109	< 0,0001	0,89	0,77	0,44
MS/GS			0,86			
NH <sub>3</sub> -N g/kg ges. N	23,32	- 0,061	0,0002	0,82	0,98	0,09
NH <sub>3</sub> -N g/kg TM	22,76	- 1,444	0,0035	0,66	1,15	0,07

a: Konstante; b: Regressionskoeffizient; P-Wert: Irrtumswahrscheinlichkeit; R<sup>2</sup><sub>adj</sub>(Exp): um den zufälligen Einfluss des Versuches bereinigtes Bestimmtheitsmaß; RMSE<sub>exp</sub>: um den zufälligen Einfluss des Versuches bereinigte Standardabweichung der Residuen; R<sup>2</sup>(FP): Bestimmtheitsmaß für den Effekt des Fermentationsproduktes; TM: Trockenmasse; KKFS: Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren; MS/GS: Fermentationsmuster; NH<sub>3</sub>-N: Ammoniak-Stickstoff

Ein Anstieg des Gesamtsäuregehaltes um 1 g/kg TM in der TMR führte zu einer Senkung der täglichen TM-Aufnahme um 109 g TM, während eine Zunahme des Milchsäuregehaltes zu einer Verringerung der täglichen Gesamtfutteraufnahme um 148 g TM führte. Obwohl signifikante negative Beziehungen zwischen den Gehalten an Buttersäure, Propionsäure und Ammoniak-N im Gesamt-N und der TM-Aufnahme festgestellt wurden, erklärten diese Fermentationsprodukte nur sehr geringe Anteile (4 - 9 %) an der Gesamtvariation bei der Gesamtfutteraufnahme. Das Modell mit dem Gehalt an Ammoniak-N in der TM als Einflussfaktor wies niedrigere Bestimmtheitsmaße auf im Vergleich zu dem Modell mit dem Ammoniak-N im Gesamt-N als Variable. Die geringen Anteile an der Gesamtvarianz, die durch die Fermentationsprodukte erklärt wurden, bedeuten, dass die Hauptursache für die Unterschiede in der TM-Aufnahme bei der Varianz zwischen den Versuchen (zufälliger Effekt des Versuches) lag.

Um zu überprüfen, ob der Einfluss der Fermentationsprodukte auf die Gesamtfutteraufnahme bei der Fütterung von TMR konzentrationsabhängig ist, wurden Modelle mit quadratischen und logarithmischen Beziehungen erstellt. Es wurden keine signifikanten quadratischen Beziehungen ( $y = a + b \times \text{FP} + c \times \text{FP}^2$ ) zwischen den

## Kapitel II

Fermentationsprodukten und der Gesamtfutteraufnahme festgestellt ( $p > 0,05$ ). In Tabelle 2.19 sind die Ergebnisse der Schätzung der logarithmischen Beziehungen zwischen den Fermentationsprodukten und der Gesamtfutteraufnahme bei der Fütterung von TMR dargestellt. Es wurden nur die Ergebnisse ausgewählt, deren Bestimmtheitsmaße höher waren als die Bestimmtheitsmaße in den jeweiligen linearen Modellen.

**Tabelle 2.19:** Logarithmische Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten (FP g/kg Trockenmasse der Gesamtmischung) und der Gesamtfutteraufnahme (kg Trockemassee) ( $y = a + b \times \ln(\text{FP})$ )

Fermentationsprodukt	a	b	P-Wert	$R^2_{\text{adj}}(\text{Exp})$	$\text{RMSE}_{\text{exp}}$	$R^2(\text{FP})$
Essigsäure	29,18	- 3,58	< 0,0001	0,88	0,94	0,30
Buttersäure	20,53	- 1,60	0,0022	0,75	1,25	0,11
KKFS	29,75	- 3,62	< 0,0001	0,89	0,93	0,28

a: Konstante; b: Regressionskoeffizient;  $\ln(\text{FP})$ : natürlicher Logarithmus von den Gehalten an Fermentationsprodukten; P-Wert: Irrtumswahrscheinlichkeit;  $R^2_{\text{adj}}(\text{Exp})$ : um den zufälligen Effekt des Versuches bereinigtes Bestimmtheitsmaß;  $\text{RMSE}_{\text{exp}}$ : um den zufälligen Effekt des Versuches bereinigte Standardabweichung der Residuen;  $R^2(\text{FP})$ : Bestimmtheitsmaß für den Effekt des Fermentationsproduktes; KKFS: Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren

Die Annahme, dass die negative Wirkung von Essigsäure, Buttersäure und der Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren mit steigenden Gehalten in der TMR kontinuierlich abnimmt, führte zu einer leichten Erhöhung des Anteils an der Gesamtvariation, der durch die Fermentationsprodukte erklärt wurde, im Vergleich zu den Modellen mit den linearen Beziehungen. Allerdings wiesen die Regressionen nach Korrektur der Gesamtfutteraufnahme um den zufälligen Effekt des Versuches höhere  $\text{RMSE}_{\text{exp}}$ -Werte auf als die Regressionen, die mit den untransformierten Gehalten berechnet wurden, was auf eine fehlerhafte Schätzung der Einflüsse hindeutet, wenn ein logarithmischer Charakter der Beziehungen angenommen wurde.

Mittels multipler Regressionsanalyse wurde geprüft, ob durch eine Einbeziehung von mehreren Fermentationsprodukten in das Modell die Schätzung des Einflusses der Fermentationsprodukte auf die Gesamtfutteraufnahme verbessert werden kann. In Tabelle 2.20 sind die Regressionen mit den höchsten  $R^2(\text{FP})$ -Werten dargestellt. Die genaueste Gleichung für die Schätzung der Gesamtfutteraufnahme wurde erzielt, wenn der Gesamtsäuregehalt und der natürlicher Logarithmus des Trockenmassegehaltes der TMR als Variablen in die multiple Regressionsanalyse einbezogen wurden. Das

## Kapitel II

Bestimmtheitsmaß war mit 0,47 um 0,03 höher im Vergleich zu dem Modell mit dem Gesamtsäuregehalt als Einzelvariable.

**Tabelle 2.20:** Multiple Gleichungen<sup>1</sup> ( $y = a + b \times x_1 + c \times x_2$ ) mit Fermentationsprodukten als Regressionsvariablen für die Schätzung der Gesamtfutteraufnahme (kg Trockenmasse /Tag)

Fermentationsprodukte	a	b	c	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> (Exp)	R <sup>2</sup> (FP)
GS, ln(TM)	- 7,94	- 0,064	5,24	0,90	0,47
GS, TM	19,14	- 0,069	0,011	0,89	0,46
MS, ES	26,31	- 0,099	- 0,159	0,89	0,44
MS, KKFS	26,22	- 0,098	- 0,131	0,89	0,44
ES, TM	14,45	- 0,134	0,0174	0,89	0,41
KKFS, TM	14,39	- 0,107	0,0173	0,89	0,40
MS, BS	26,53	- 0,138	- 0,694	0,89	0,40
MS, PS	25,84	- 0,124	- 0,459	0,88	0,37
NH <sub>3</sub> -N, PS	23,27	- 0,041	- 0,776	0,89	0,14

a: Konstante; b, c und d: Regressionskoeffizienten; R<sup>2</sup><sub>adj</sub>(Exp): um den zufälligen Effekt des Versuches bereinigtes Bestimmtheitsmaß; R<sup>2</sup>(FP): Bestimmtheitsmaß für den Effekt der Fermentationsprodukte; GS: Gesamtsäuregehalt g/kg Trockenmasse der Gesamtmischung (TMR); TM: Trockenmassegehalt der TMR, g; ln: natürlicher Logarithmus von den Gehalten an Fermentationsprodukten; MS: Milchsäuregehalt g/kg TM der TMR; KKFS: Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren, g/kg TM der TMR; ES: Essigsäuregehalt, g/kg TM der TMR; BS: Buttersäuregehalt, g/kg TM der TMR; PS: Propionsäuregehalt, g/kg TM der TMR; NH<sub>3</sub>-N: Ammoniak-Stickstoff im Gesamtstickstoff der TMR, g

<sup>†</sup> Einflüsse von Fermentationsprodukten signifikant bei  $p < 0,05$

Das Bestimmtheitsmaß für die multiplen Regressionen mit dem Milchsäuregehalt zusammen mit dem Essigsäuregehalt oder der Summe an kurzkettigen Fettsäuren war um 0,03 niedriger als für die multiple Regression mit dem Gesamtsäuregehalt und dem natürlichen Logarithmus des Trockenmassegehaltes der TMR, aber im Vergleich zum Modell mit dem Milchsäuregehalt als Einzelvariable verbesserte sich die Schätzung um 0,1. Die Einbeziehung von anderen Fermentationsprodukten als Variable in die multiple Regressionsanalyse führte zwar zur Verbesserung der Schätzung der Gesamtfutteraufnahme im Vergleich zu den einfachen linearen Regressionen (Tabelle 2.18), was sich in den höheren R<sup>2</sup>(FP)-Werten widerspiegelte, allerdings waren die Werte niedriger als für das Modell mit dem Gesamtsäuregehalt und dem natürlichen Logarithmus des Trockenmassegehaltes der TMR.

### 3.3 Einbeziehung der Fermentationscharakteristika in die Gesamtfutteraufnahme-Schätzung

Anhand der ermittelten Beziehungen zwischen den vorher beschriebenen Fermentationsprodukten und der Silage- bzw. Futteraufnahme wurde in der vorliegenden Meta-Analyse der Versuch unternommen, eine mögliche Verbesserung der Schätzung der Gesamtfutteraufnahme durch eine Einbeziehung der Fermentationscharakteristika der Silagen in ein Modell mit tierbedingten Einflussfaktoren zu untersuchen.

**Tabelle 2.21 :** Multiple Gleichungen<sup>1</sup> ( $y = a + bx_1 + cx_2 + \dots + fx_i$ ) für die Schätzung der täglichen Gesamt-Trockenmasse-Aufnahme (kg/Tag) unter Verwendung der Faktoren Milchmenge (MM, kg), Körpergewicht (KG, kg), Konzentratfuttermenge (KFA, kg Trockenmasse/Tag) und Fermentationsprodukte (g/kg Trockenmasse)

Datensatz	a	MM	KG	KFA	e	f	R <sup>2</sup>	RMSE
<i>Getrennte Futtervorlage</i>								
<i>Alle Silagen:</i>								
Grundgleichung (GG)	- 6,21	0,28	0,028	0,078			0,64	1,50
GG + ln(ES)	0,08	0,26	0,022	0,24	- 1,09		0,76	1,22
GG + GS + GS <sup>2</sup>	1,08	0,23	0,023	0,22	- 0,06	0,0002	0,80	1,11
<i>Grasanwelksilagen:</i>								
Grundgleichung (GG)	- 4,68	0,20	0,030	0,043			0,45	1,58
GG + ln(ES)	4,56	0,18	0,018	0,24	- 1,43		0,81	0,93
GG + GS + GS <sup>2</sup>	4,09	0,18	0,021	0,22	- 0,08	0,0003	0,81	0,93
<i>TMR</i>								
Grundgleichung (GG)	- 9,31	0,36	0,032				0,58	2,19
GG + GS	3,98	0,27	0,020		- 0,061		0,71	1,80

a: Konstante; MM: Regressionskoeffizient für die Milchmenge; KG: Regressionskoeffizient für das Körpergewicht; KFA: Regressionskoeffizient für die Konzentratfuttermenge; e und f: Regressionskoeffizienten für die jeweilige Fermentationsprodukte; R<sup>2</sup>: Bestimmtheitsmaß; RMSE: Standardabweichung der Residuen, kg; ln(ES): natürlicher Logarithmus von dem Essigsäuregehalt; GS: Gesamtsäuregehalt; GS<sup>2</sup>: quadrierter Gesamtsäuregehalt; TMR: Gesamtmischung

<sup>1</sup> Einflüsse von Einflussfaktoren signifikant bei  $p < 0,05$

In Tabelle 2.21 sind die Regressionsgleichungen dargestellt, welche die höchsten Bestimmtheitsmaße aufwiesen. Eine Einbeziehung des natürlichen Logarithmus des

## Kapitel II

Essigsäuregehaltes oder des Gesamtsäuregehaltes zusammen mit dem quadrierten Gesamtsäuregehalt in das Modell führte zu einer deutlichen Verbesserung der Schätzung der Gesamtfuttermenge bei getrennter Vorlage von Rationsbestandteilen im Vergleich zum Modell mit ausschließlich tierbedingten Faktoren und der Konzentratfuttermenge als Regressionsvariablen. Der Anteil an der Gesamtvarianz, der durch die Einflussfaktoren erklärt wurde, erhöhte sich von 64 auf 76 % im Datensatz mit allen Silagearten und von 45 auf 81 % im Datensatz mit Grasanwelksilagen, wenn der natürliche Logarithmus des Essigsäuregehaltes in das Modell einbezogen wurde. Wenn der Gesamtsäuregehalt und der quadrierte Gesamtsäuregehalt in das Modell einbezogen wurden, erhöhte sich der Anteil an der Gesamtvarianz, der durch die Einflussfaktoren erklärt wurde, auf 80 % im Datensatz mit allen Silagearten und auf 81 % im Datensatz mit Grasanwelksilagen. Die Standardabweichung der Residuen nahm gleichzeitig ab. Die genaueste Schätzung der TM-Aufnahme bei Fütterung von TMR wurde erzielt, wenn der Gesamtsäuregehalt der Ration in das Modell mit den tierbedingten Einflussfaktoren Milchmenge und Körpergewicht einbezogen wurde. Der Anteil an der Gesamtvarianz, der durch die Einflussfaktoren erklärt wurde, erhöhte sich von 58 auf 71 %. Die Standardabweichung der Residuen wurde dabei von 2,19 auf 1,80 kg TM reduziert.

## 4 Diskussion

### 4.1 Trockenmassegehalt der Silage

Das Anwelken von Gras vor dem Einsilieren ist in Deutschland mittlerweile eine Routinemaßnahme. Dabei werden folgende Ziele verfolgt:

- Minimierung der Nährstoffverluste und der Umweltbelastung durch Silo-Sickersaft
- Verbesserung der Fermentationseigenschaften des Siliergutes

Ein Wasserentzug durch das Anwelken begrenzt die Vermehrung von Mikroorganismen in der Silage, was die Intensität und das Ausmaß der Fermentation reduziert. Betroffen sind dabei alle Gruppen von Mikroorganismen, ausgenommen Schimmelpilze. Da Clostridien weniger osmotolerant sind als milchsäurebildende Bakterien, soll das Anwelken die Aktivität von Clostridien in stärkerem Maße hemmen als von milchsäurebildenden Bakterien, was eine Bildung von Buttersäure in der Silage verhindern würde (Wieringa, 1958). Untersuchungen von Morgan et al. (1980) zeigten deutlich, welche Auswirkungen

## Kapitel II

das Anwelken von Gras auf die Fermentation hat. So lag der Gehalt an WLK im frischen Gras in der Studie von Morgan et al. (1980) auf einem hohen Niveau (193 g/kg TM), was eine sehr hohe Aktivität von milchsäurebildenden Bakterien während der Konservierung begünstigte. Das Anwelken von Gras mit einem Ausgangs-TM-Gehalt von 175 g/kg bis auf einen TM-Gehalt von 360 g/kg vor der Konservierung führte zur Senkung des Milchsäuregehaltes in der Silage von 165 g/kg TM auf 34 g/kg TM. Die gut konservierte Grasanwelksilage wies einen höheren pH-Wert (5,09) im Vergleich zu der nicht angewelkten Grassilage (4,00) auf. Eine Hemmung der Aktivität der milchsäurebildenden Bakterien und der anderen Mikroorganismen durch die Senkung des Wassergehaltes zeigte sich deutlich in einem höheren Restzuckergehalt in der Grasanwelksilage. Infolge des Anwelkens waren auch die Gehalte an anderen Fermentationsprodukten, insbesondere Essig- und Buttersäure, verringert (Morgan et al., 1980).

Verschiedene Autoren diskutierten den Einfluss des Anwelkens von Gras auf die Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen anhand der Ergebnisse mehrerer veröffentlichter Studien. Es wurden folgende relative Unterschiede in der TM-Aufnahme bei Milchkühen zwischen angewelkten und nicht angewelkten Silagen festgestellt: 0,13 (Marsh, 1979); 0,12 (Wilkins, 1984) und 0,06 (Gordon, 1989).

Alle diese Studien hatten einen Nachteil: Sie untersuchten Unterschiede in der TM-Aufnahme als „angewelkt versus nicht angewelkt“ und liefern folglich keine eindeutige Aussage über die Auswirkung des Anwelckgrades auf die TM-Aufnahme. Mittels der Meta-Analyse konnte der Einfluss des TM-Gehaltes auf die Silage-TM-Aufnahme bei getrennter Vorlage von Rationsbestandteilen quantifiziert werden (Tabelle 2.7 und 2.8). Die Ergebnisse zeigen, dass der TM-Gehalt sowohl bei allen Silagearten als auch bei ausschließlicher Betrachtung der Grasanwelksilagen einen positiven, hoch signifikanten ( $p < 0,0001$ ) Einfluss auf die Silage-TM-Aufnahme ausübt. Eine Erhöhung des TM-Gehaltes um 1 g führte zu einem Anstieg in der Silage-TM-Aufnahme um 16 g bei allen Silagearten bzw. um 11 g bei Grasanwelksilagen. Das bereinigte Bestimmtheitsmaß innerhalb eines Versuches [ $R^2_{\text{adj}}(\text{Exp})$ ] und die Standardabweichung der Residuen innerhalb eines Versuches [ $\text{RMSE}_{\text{exp}}$ ] sagen aus, wie gut die Schätzung eines Einflusses ist, wenn die abhängige Variable – in vorliegendem Fall die Silage-TM-Aufnahme – um den zufälligen Effekt des Versuches korrigiert wird. Der höhere Wert für  $R^2_{\text{adj}}(\text{Exp})$  und der niedrigere Wert für  $\text{RMSE}_{\text{exp}}$  bei den Grasanwelksilagen deuten auf eine genauere Schätzung des Einflusses des TM-Gehaltes hin als bei allen Silagearten, was auf Unterschiede in den mittleren TM-Gehalten und deren Streubreiten für die jeweiligen

## Kapitel II

Silagearten zurückzuführen ist. Obwohl ein signifikanter Einfluss des TM-Gehaltes auf die Silage-TM-Aufnahme festgestellt wurde, ist der Anteil an der Gesamtvariation, der allein durch den TM-Gehalt der Silage erklärt wurde [ $R^2_{adj}(TM)$ ], beim gesamten Datensatz (alle Silagenarten) sehr gering (0,08) und bei Grasanwelksilagen gleich Null. Dies bedeutet, dass der Großteil der Unterschiede in der Silage-TM-Aufnahme durch die Unterschiede zwischen den Versuchen (zufälliger Effekt des Versuches) erklärt wird. Ein zufälliger Effekt setzt sich aus mehreren anderen Faktoren zusammen, die einen Einfluss auf die Silage-TM-Aufnahme speziell im jeweiligen Versuch hatten. Dazu gehören z. B. das Institut, in dem ein Versuch durchgeführt wurde, Rasse, Körpergewicht der Tiere, Laktationsstadium, Konzentratfuttermenge und -art sowie die Fermentationscharakteristika der Silagen. Rohr und Thomas (1984) berichteten anhand von 13 Studien mit wachsenden Rindern von einer durchschnittlich um 9 % höheren Futteraufnahme bei einer Verfütterung von angewelkten Grassilagen, die aber eine Streuung (Differenz innerhalb einzelner Studien) von -4 bis +28 % aufwies. Patterson et al. (1998) führten 16 Vergleichsversuche zwischen nicht angewelkten und angewelkten Grassilagen durch. In jedem Versuch wurden die Silagen mit gleicher Erntetechnik im gleichen Jahr geerntet und mit gleicher Fütterungstechnik verfüttert. Es wurden bei angewelkten Silagen mit einem ähnlichen TM-Gehalt Unterschiede in der TM-Aufnahme von 3 bis 35 % im Vergleich zu nicht angewelkten Silagen beobachtet. Diese Studien und die Ergebnisse vorliegender Meta-Analyse bestätigen, dass der positive Einfluss des Anwelkens auf die Futteraufnahme eher instabil und von einer Reihe anderer Faktoren abhängig ist. So stellten z. B. Wright et al. (2000) fest, dass der Effekt des Anwelkens zum größten Teil von der Geschwindigkeit (Wasserverlust in kg Wasser/kg TM pro Stunde) und dem Umfang (Wasserverlust in kg Wasser/kg TM) einer Trocknung beeinflusst wird. Je schneller der Wasserentzug erfolgte und je mehr Wasser entzogen wurde, desto höhere TM-Aufnahmen wurden erreicht. Kaiser und Weiß (2006) stellten fest, dass das Anwelken allein für eine Herstellung von buttersäurefreien Silagen nicht ausreicht. Neben dem Anwelkgrad und dem Gehalt an WLK spielt auch der Gehalt an Nitrat ( $NO_3$ ) eine wesentliche Rolle für die Vergärbarkeit des Grünfutters. Nitrat wirkt als Clostridieninhibitor und führt bis zu seiner vollständigen Reduktion im Verlauf des Milchsäureabbaus zur Synthese von Essigsäure und nicht von Buttersäure. Die allgemeine Aussage, dass das Anwelken die Fermentation in der Silage hemmt und auch die Vergärbarkeit des Grünfutters verbessert, trifft folglich nur zum Teil zu. Die berechneten Korrelationskoeffizienten zwischen dem TM-Gehalt der Silage und den Gehalten an Fermentationsprodukten im verwendeten Datensatz (Tabelle 2.6) waren

## Kapitel II

alle statistisch signifikant, variierten aber in einem niedrigen bis mittleren Bereich (-0,18 zwischen dem TM-Gehalt und dem Buttersäuregehalt; -0,46 zwischen dem TM-Gehalt und dem Milchsäuregehalt). Die Korrelationskoeffizienten zwischen dem TM-Gehalt und den Fermentationsprodukten bei Grassilagen in einer Studie von Huhtanen et al. (2002) lagen auf einem ähnlichen Niveau, wobei sogar eine schwache positive Beziehung zwischen dem TM-Gehalt und dem Buttersäuregehalt festgestellt wurde (Korrelationskoeffizient 0,17).

Die oben genannten Beispiele führen zu dem Schluss, dass nicht der TM-Gehalt per se, sondern die Qualitätseigenschaften der hergestellten Silage die TM-Aufnahme beeinflussen. Zu diesen Qualitätseigenschaften gehören auch die Fermentationscharakteristika.

### 4.2 pH-Wert

Allgemein gilt, dass der pH-Wert der Silagen keinen oder nur einen unwesentlichen Einfluss auf die Silageaufnahme ausübt (Charmley, 2001). Das wurde in mehreren Studien gezeigt (Rooke, 1995; Offer, 1997; Huhtanen et al., 2002). Steen et al. (1998) kalkulierten anhand eines Versuches mit Ochsen eine schwache quadratische Beziehung ( $R^2 = 0,09$ ) zwischen dem pH-Wert und der Silageaufnahme, wobei die Silageaufnahme bis zu einem pH-Wert von 4,2 zunächst anstieg und danach abnahm. Die Ergebnisse der hier vorgestellten Meta-Analyse zeigten einen positiven Einfluss des pH-Wertes auf die Silageaufnahme. Es wurde keine signifikante quadratische Beziehung zwischen dem pH-Wert und der Silageaufnahme festgestellt. Die niedrigen  $R^2$ (FP)-Werte für die lineare Beziehung (0,07 bei allen Silagearten bzw. 0,11 bei Grasanwelksilagen) bedeuten, dass offensichtlich andere Faktoren einen stärkeren Einfluss auf die Silageaufnahme ausüben als der pH-Wert allein. Nach Rooke (1995) und Offer (1997) hat der pH-Wert an sich keinen Einfluss auf die Silageaufnahme, sondern der Gehalt an freien Säuren in den Silagen.

### 4.3 Milchsäuregehalt

Die Gehalte an Milchsäure in Silagen weisen eine sehr breite Streuung auf. In dem vorliegenden Datensatz variierten die Gehalte an Milchsäure im Bereich von 3 bis 176 g/kg TM mit einem Mittelwert von 80 g/kg TM. Eine dermaßen große Schwankung im Milchsäuregehalt wird von einer ganzen Reihe von Einflussfaktoren verursacht. Dazu gehören Pflanzenart, Anwelkgrad, Gehalt an WLK im Grünfutter, Besiedlung des Grünfutters mit milchsäurebildenden Bakterien, die Erntetechnologie, Siliermittelart und

## Kapitel II

-menge, Gärungsverlauf und weitere Faktoren (McDonald et al., 1991). Choung und Chamberlain (1993) beobachteten einen kontinuierlichen Rückgang der Silage-TM-Aufnahme bei Milchkühen, wenn die Milchsäure direkt zu einer Silage zugegeben wurde (0; +50; +100 g/kg TM), um verschiedene Milchsäurekonzentrationen in den verfütterten Silagen zu erreichen. Die Ergebnisse von (Choung and Chamberlain, 1993) wurden aber in Versuchen mit einer ähnlichen Versuchsanordnung von anderen Autoren nicht bestätigt (Doherty und Mayne, 1996; Dawson und Mayne, 1997, 1998). Jedoch ist nicht die Zulage von Milchsäure interessant, sondern die futterbürtige Milchsäure, da die Milchsäurebildung während der Konservierung parallel zu und in Abhängigkeit von anderen Fermentationsprozessen stattfindet. Die Ergebnisse der Meta-Analyse von Huhtanen et al. (2002) und der hier vorgestellten Meta-Analyse bestätigen die These, dass die Milchsäure einen hoch signifikanten negativen Einfluss auf die Silage- bzw. Futteraufnahme ausübt. In der hier vorgestellten Studie führte eine Erhöhung des Milchsäuregehaltes um 1 g pro kg TM zu einer Abnahme der Silage-TM-Aufnahme von 13 bis 18 g TM bei getrennter Vorlage von Grob- und Konzentratfuttersubstrat und um 148 g TM der Gesamtfutteraufnahme bei Verfütterung von TMR. Die stärkere negative Wirkung der Milchsäure auf die Futteraufnahme bei Verfütterung von TMR ist zum Teil darauf zurückzuführen, dass eine relative Zunahme an Milchsäure in der TMR im Vergleich zur getrennten Futtevorlage höhere absolute Milchsäuregehalte zur Folge hat. So bedeutet z. B. bei einem Anteil an Konzentratfutter von 50 % in einer TMR eine Veränderung des Milchsäuregehaltes um 1 g/kg TM im Futter die tatsächliche Veränderung des Milchsäuregehaltes in der Silage von 2 g/kg TM. Die niedrigen Werte für  $R^2(\text{FP})$  bei getrennter Futtevorlage deuten aber wieder daraufhin, dass der Großteil der Unterschiede in der Silage-TM-Aufnahme durch unterschiedliche Versuchsbedingungen verursacht wurde. Die Annahme, dass die Beziehung zwischen Milchsäuregehalt und Silageaufnahme nicht linear, sondern konzentrationsabhängig ist, verbesserte die Schätzung für die Grasanweilksilagen (Tabelle 2.10). Eine derartige Beziehung unterstellt allerdings, dass ab Milchsäuregehalten von 100 g/kg TM mit einem Anstieg in der Silage-TM-Aufnahme zu rechnen ist, was sich anhand bisheriger Studien anderer Autoren (Steen et al., 1998; Huhtanen et al., 2002) nicht bestätigen lässt. Der Grund, warum der Einfluss der Milchsäure so variabel ist, liegt vor allem in der Vielfalt der Faktoren, welche die Milchsäurebildung beeinflussen. Außerdem wird der Milchsäuregehalt nicht nur durch die Intensität der Fermentation bestimmt. Im Fall einer Fehlgärung wird die gebildete Milchsäure von unerwünschten Mikroorganismen zu weiteren Fermentationsprodukten

(Buttersäure, Essigsäure, Propionsäure) umgebaut (McDonald et al., 1991), so dass die Silagen bei einem identischen Milchsäuregehalt sehr unterschiedliche Konzentrationen an anderen organischen Säuren aufweisen können und dementsprechend unterschiedlich von Kühen aufgenommen werden.

#### 4.4 Andere kurzkettige Säuren

Buttersäure wurde als erste kurzkettige Fettsäure definiert, die einen negativen Einfluss auf die Silageaufnahme ausübt (Harris und Raymond, 1963). Später wurden auch negative Auswirkungen von Propion- und Essigsäure auf die Silageaufnahme festgestellt. Brown und Radcliffe (1971) beobachteten an Schafen negative Korrelationen zwischen dem Essigsäuregehalt und der Silageaufnahme ( $r = -0,57$ ) sowie zwischen dem Propionsäuregehalt und der Silageaufnahme ( $r = -0,55$ ). Wilkins et al. (1971) fanden bei Schafen ebenfalls eine negative Beziehung zwischen dem Essigsäuregehalt und der Silageaufnahme ( $R^2 = 0,25$ ). Gill et al. (1988) stellten bei Kühen einen engeren negativen Zusammenhang zwischen dem Essigsäuregehalt und der Silageaufnahme als zwischen dem Buttersäuregehalt und der Silageaufnahme fest ( $R^2 = 0,15$  versus  $0,03$ ). Buchanan-Smith (1990) berichtete ebenfalls von einem negativen Einfluss der Essigsäure auf die Silageaufnahme bei Schafen. Die oben genannten Ergebnisse basierten auf Versuchen mit einer begrenzten Anzahl von Tieren und Silagen oder die Säuren wurden den Silagen vor der Verfütterung zugesetzt oder in den Pansen infundiert. In Studien, in denen mit großen Datensätzen gearbeitet wurde (Stehen et al., 1998; Wright et al., 2000; Huhtanen et al., 2002), konnten nur sehr schwache Beziehungen zwischen den Gehalten an Essig-, Butter- und Propionsäure und der Silageaufnahme ( $R^2 = 0,03 - 0,15$ ) ermittelt werden. Die Ergebnisse der vorliegenden Meta-Analyse zeigten ebenfalls sehr schwache negative Beziehungen zwischen den Gehalten an Butter- und Propionsäure und der Silageaufnahme ( $R^2(\text{FP}) = 0,01 - 0,10$ ). Der Gehalt an Essigsäure war die bedeutendste Einflussgröße auf die Silageaufnahme bei getrennter Vorlage von Grob- und Konzentratfutter sowohl bei allen Silagearten als auch bei ausschließlicher Betrachtung der Grasanwelksilagen, wobei die Annahme, dass die Wirkung der Essigsäure konzentrationsabhängig ist, zu einer Verbesserung der Schätzung der Silageaufnahme führte (Tabelle 2.11 und 2.12).

Während Buttersäure- und Propionsäuresynthese in der Silage grundsätzlich eine Fehlgärung bedeuten (McDonald et al., 1991), wird Essigsäure als Fermentationsprodukt von heterofermentativen milchsäurebildenden Bakterien zum Teil wegen ihrer hemmenden Wirkung auf Hefepilze als erwünscht angesehen, und zwar wegen einer Verbesserung der

aeroben Stabilität der Silagen (Kleinschmit und Kung, 2006). Das erklärt die abnehmende negative Wirkung der Essigsäure auf die Silageaufnahme mit steigender Konzentration und bessere  $R^2_{\text{adj}}(\text{FP})$ -Werte für die logarithmische Beziehung anhand der Ergebnisse vorliegender Meta-Analyse.

### 4.5 Gesamtsäuregehalt

Der Gesamtsäuregehalt repräsentiert die Summe der Gehalte an allen in der Silage enthaltenen organischen Säuren. Bei einem Großteil der erwähnten Studien erklärten die Wirkungen einzelner Säuren nur einen geringen Teil der Gesamtvariation der Silageaufnahme. Wenn angenommen wird, dass die beobachteten negativen Wirkungen einzelner Säuren additiv sind, könnte sich der Gesamtsäuregehalt als Summe der Gehalte an einzelnen organischen Säuren, als eine universelle Einflussgröße darstellen. Wilkins et al. (1971) und Wilkins et al. (1978) stellten allerdings bei Schafen keinen Zusammenhang zwischen dem Gesamtsäuregehalt und der Silageaufnahme fest. In einer Studie von Steen et al. (1998) wurde ebenfalls kein signifikanter Einfluss des Gesamtsäuregehaltes auf die Silageaufnahme bei Ochsen beobachtet. Die Ergebnisse der Meta-Analyse von Huhtanen et al. (2002) und der vorliegenden Meta-Analyse zeigen jedoch, dass sich die Variable „Gesamtsäuregehalt“ unter den verschiedenen Einflussgrößen als am besten geeignet erwies, eine Schätzung der Silageaufnahme bei getrennter Vorlage von Grob- und Konzentratfutter und der Gesamtfuttermittelaufnahme bei Verfütterung von TMR vorzunehmen (Tabellen 2.10 und 2.18). Obwohl sich der Gesamtsäuregehalt in beiden Studien als die am besten geeignete Einzelvariable für die Schätzung der Silageaufnahme erwies, war die Art der Beziehungen recht unterschiedlich. Die hier vorgestellte Meta-Analyse zeigte eine konzentrationsabhängige Wirkung der Gesamtsäuren, wobei die negative Wirkung mit steigender Konzentration abnahm und ab Gehalten von 148 g/kg TM im Datensatz mit allen Silagearten und ab Gehalten von 119 g/kg TM bei den Grasanwelksilagen der Gesamtsäuregehalt einen positiven Einfluss auf die Silageaufnahme ausübte. In der Studie von Huhtanen et al. (2002) verstärkte sich dagegen die negative Wirkung des Gesamtsäuregehaltes mit steigender Konzentration. Die Unterschiede zwischen den Studien und zwischen den Datensätzen innerhalb der eigenen Studie deuten auf eine Abhängigkeit des Gesamtsäureeinflusses von der Silageart und von der Art der Futtermittelvorgabe hin. Dafür sprechen auch die in vorliegender Meta-Analyse festgestellten niedrigeren Werte für  $R^2_{\text{adj}}(\text{Exp})$  und die höheren Standardabweichungen der Residuen ( $\text{RMSE}_{\text{exp}}$ ) im Datensatz mit allen Silagearten im Vergleich zum Datensatz mit Grasanwelksilagen. Bei

## Kapitel II

Verfütterung von TMR wurde keine konzentrationsabhängige Beziehung zwischen dem Gesamtsäuregehalt und der Gesamtfutteraufnahme festgestellt, weil die auf die TM der TMR umgerechneten Gesamtsäuregehalte auf weit niedrigerem Niveau als bei den reinen Silagen lagen.

### **4.6 Ethanol**

Ethanol wird während der Fermentation sowohl von heterofermentativen milchsäurebildenden Bakterien als auch von den meisten unerwünschten Mikroorganismen als Nebenprodukt synthetisiert. Unter anaeroben Bedingungen ist Ethanol ein Hauptfermentationsprodukt des Abbaus von WLK durch Hefepilze, welche die Hauptursache für den Verderb von Silagen durch Sauerstoffzutritt nach der Öffnung des Silos sind (Beck und Gross 1964). Im Fall eines aeroben Verderbs werden Ethanol sowie die organischen Säuren durch Hefepilze vollständig zu Wasser und Kohlenstoffdioxid abgebaut (Middelhoven und Van Baalen 1988), so dass der Gehalt an Ethanol an sich kein Indikator für einen eventuellen aeroben Verderb einer Silage ist. Die Synthese von Ethanol ist immer mit einem erheblichen TM- und Energieverlust verbunden und wird somit als unerwünscht angesehen (McDonald et al., 1991). Es wurde aber kein signifikanter Einfluss von Ethanol auf die Silageaufnahme sowohl in dieser als auch in Studien anderer Autoren (Steen et al., 1998; Huhtanen et al., 2002) festgestellt, was auf die Tatsache zurückzuführen ist, dass die Synthese von Ethanol als Nebenprodukt parallel zu anderen wichtigen Fermentationsvorgängen abläuft.

### **4.7 Restzucker**

Der Gehalt an Restzucker (WLK) variiert zwischen Silagen sehr stark. In unserem Datensatz z. B. variierten die Gehalte an WLK im Bereich von 0 bis 206 g/kg TM. Der Gehalt an WLK in Silagen hängt vor allem von ihrem Gehalt im Grünfutter und der Fermentationsintensität ab, die ihrerseits vom Anwelkgrad, der Pufferkapazität der Silage sowie der Art (chemisch, biologisch) und Menge des Silierzusatzes abhängig ist. Ergebnisse sowohl dieser Studie als auch der Studien von Steen et al. (1998) und Huhtanen et al. (2002) zeigen einen positiven Einfluss von WLK auf die Silageaufnahme. Der Anteil an der Gesamtvariation, der durch den Gehalt an WLK erklärt wird, liegt aber in der eigenen Studie auf einem sehr niedrigem Niveau von nur 0,06 im Vergleich zur 0,22 in der Studie von Steen et al. (1998), was sicherlich auf die Unterschiede in den verwendeten Datensätzen zurückzuführen ist. Engere negative Korrelationen zwischen dem Gehalt an

WLK und den Gehalten an Essig-, Butter-, und Propionsäure im Datensatz von Steen et al. (1998) deuten auf einen größeren Anteil von Silagen mit Fehlgärung hin als in der hier beschriebenen Studie. Einerseits deutet ein hoher Gehalt an Restzucker in Silagen auf eine restriktive Fermentation hin, was sich in niedrigen Gehalten an organischen Säuren widerspiegelt, so dass die positive Wirkung des Restzuckers auf die Silageaufnahme auf die geringen Säuregehalte zurückzuführen ist. Andererseits bringen hohe Gehalte an Restzucker die Gefahr des aeroben Verderbs von Silagen nach einer Öffnung des Silos mit sich (McDonald et al. 1991), was zu einem rapiden Verlust von Energie und TM in den Silagen und zu einem Rückgang der Silageaufnahme führt. Nach Hoffmann (1990) nahm der Energiegehalt einer Silage nach einer Zwischenlagerung von 24 Stunden um 11 % ab, was bei Milchkühen eine Senkung der Silage-TM-Aufnahme um 11 % verursachte (siehe Tabelle 2.1).

### **4.8 Stickstofffraktionen**

Der Gehalt an Ammoniak-N wird seit langem mit einer reduzierten Silageaufnahme in Verbindung gebracht (Wilkins et al., 1971; Wilkins et al., 1978; Gill et al., 1988; Rook and Gill, 1990). Die Bildung von Ammoniak während der Fermentation ist zunächst ein Effekt der Reduktion von Nitrat und später auch die Folge des Protein- und Aminosäurenabbaus durch Clostridien (Ohshima and McDonald, 1978). Aus diesen Gründen wird der Ammoniakgehalt in der Silage häufig als eines der Hauptkriterien zur Beurteilung der Silagequalität herangezogen. Wilkins et al. (1971, 1978) berichteten, dass Ammoniak-N (ausgedrückt als Anteil am Gesamt-N) von 38 bis 42 % der Gesamtvariation bei der Silageaufnahme von Schafen erklärte, während die Bestimmtheitsmaße für lineare Beziehungen zwischen dem Ammoniak-N bezogen auf den Gesamt-N und der Futteraufnahme in Schätzungen von Rook und Gill (1990) stärker variierten und im Bereich von 0,16 bis 0,44 lagen. Huhtanen et al. (2002) stellten negative logarithmische Beziehung zwischen dem Gehalt an Ammoniak-N im Gesamt-N und der Grassilageaufnahme fest, was auf eine stärkere negative Wirkung des Ammoniaks bei niedrigen als bei hohen Konzentrationen hinweist. Es gibt aber bisher keine konkreten Belege, dass der Ammoniakgehalt per se negative Auswirkungen auf die Silageaufnahme ausübt. Kung et al. (1989) beobachteten keine Unterschiede in der Futteraufnahme von Milchkühen, die mit Luzernesilagen vergleichbarer Qualität, aber mit extrem unterschiedlichen Gehalten an Ammoniak-N (206 vs. 84 g/kg Gesamt-N), verursacht durch eine Zugabe von wässriger Ammoniaklösung vor der Einsilierung, gefüttert wurden. Buchanan-

## Kapitel II

Smith (1990) sowie Van Os et al. (1995) stellten bei Schafen bzw. bei Milchkühen ebenfalls keinen Einfluss von Ammoniak auf die Silageaufnahme fest, wenn das Ammoniak einer Silage unmittelbar vor der Fütterung zugesetzt wurde. Die Ergebnisse vorliegender Meta-Analyse bestätigen die Aussage, dass der Ammoniakgehalt keine Auswirkungen auf die Silageaufnahme hat. Bei der getrennten Vorlage von Konzentrat- und Grundfutter wurde im Datensatz mit allen Silagen eine sehr schwache negative Beziehung ( $R^2_{\text{adj}}(\text{NH}_3\text{-N}) = 0,03$ ) und bei Grasanwelksilagen gar keine Beziehung ( $p > 0,05$ ) zwischen dem Gehalt an Ammoniak-N im Gesamt-N und der Silageaufnahme festgestellt. Im Datensatz für die TMR wurde eine negative logarithmische Beziehung zwischen dem Ammoniak-N im Gesamt-N der Ration und der Futteraufnahme festgestellt, das Bestimmtheitsmaß von 0,13 lag aber auf einem niedrigeren Niveau als bei den anderen Fermentationsparametern. Eine Schätzung der Silage- bzw. Futteraufnahme mittels multipler Regressionen mit anderen Fermentationsprodukten (z.B. Milchsäuregehalt, Essigsäuregehalt, Gesamtsäuregehalt) wurde nicht verbessert, wenn der Gehalt an Ammoniak-N im Gesamt-N in die Gleichungen einbezogen wurde. Obwohl Rook und Gill (1990) einen signifikant negativen Einfluss vom Ammoniak als Einzelvariable auf die Silageaufnahme feststellten, wurde dieser Einfluss durch eine Berücksichtigung von sehr engen Korrelationen zwischen den Gehalten an kurzkettigen Fettsäuren und dem Gehalt an Ammoniak-N nivelliert, so dass von den Autoren die kurzkettigen Fettsäuren als primäre Ursachen für die sinkenden Silageaufnahmen interpretiert wurden. Eine Einbeziehung des Gehaltes an Ammoniak-N bezogen auf die TM führte in unserer Analyse zu keiner Verbesserung der Schätzung der Silage- bzw. Gesamt-TM-Aufnahme. In der Studie von Steen et al. (1998) wurde ebenfalls keine signifikante Beziehung zwischen dem Ammoniakgehalt und der Silageaufnahme festgestellt, wenn die Ammoniakkonzentration auf die Trockenmasse der Silage bezogen wurde, obwohl bezogen auf Gesamt-N eine signifikante Beziehung beobachtet wurde. Höhere Schätzgenauigkeiten für Modelle mit Berücksichtigung des Gehaltes an Ammoniak-N bezogen auf Gesamt-N im Vergleich zu Modellen mit dem Gehalt an Ammoniak-N bezogen auf die Silage-TM geben einen Hinweis, dass der Proteinabbau, aufgrund von Desaminierung der Aminosäuren durch Clostridien und Enterobakterien, eine negative Auswirkung auf die Silageaufnahme ausüben könnte.

Nach Charmley (2001) ist der Gehalt an löslichen Stickstoffverbindungen ebenfalls eine Größe, die einen Einfluss auf die Silageaufnahme ausübt. Die ruminale Ammoniakkonzentration kann nach einer Silagefütterung Werte bis 800 mg/L erreichen,

## Kapitel II

die nicht mit dem Ammoniakgehalt der Silage, sondern mit dem Gehalt an löslichen Stickstoffverbindungen positiv korreliert sind (Charmley und Veira, 1990a). Choung et al. (1990) stellten eine reduzierte Silageaufnahme bei steigenden ruminalen Ammoniakkonzentrationen ab 250 mg/L bei Milchkühen fest, wenn Harnstoff parallel zur Silagefütterung in den Pansen infundiert wurde. Daraus ist zu folgern, dass hohe Gehalte an löslichem Stickstoff in einer Silage in zweifacher Weise die Silageaufnahme negativ beeinflussen können: Auf der einen Seite führen hohe Gehalte an löslichem Stickstoff zu hohen Konzentrationen von Ammoniak im Pansen, welche toxische Wirkungen im Organismus haben können, und damit – nach Choung et al. (1990) – direkt zur Senkung der Silageaufnahme führen. Auf der anderen Seite weisen hohe Konzentrationen von ruminalen Ammoniak auf eine niedrige Effizienz der mikrobiellen Proteinsynthese und damit auf eine mögliche Unterversorgung der Tiere mit den verfügbaren AS am Duodenum hin (Van Vuuren et al., 1995). Eine niedrige Effizienz der mikrobiellen Proteinsynthese bei einer Verfütterung von Silagen mit hohen Gehalten an löslichem Stickstoff ist auf einen mangelnden Synchronismus des Protein- und Kohlenhydratabbaus im Pansen zurückzuführen (Blank et al. 1998). Nach einer Denaturierung der pflanzeigenen Proteasen vor der Einsilierung von Luzerne erstellten Charmley und Veira (1990a,b) eine Silage mit einem Gehalt an löslichem Stickstoff von 390 g/kg Gesamt-N, während die Kontrollsilage einen wesentlich höheren Gehalt an löslichem Stickstoff (770 g/kg Gesamt-N) aufwies. Die Senkung des Gehaltes an löslichem Stickstoff führte zu einer deutlich höheren Silage-TM-Aufnahme bei Lämmern (37 vs. 28 g pro kg metabolisches Körpergewicht) und zu höheren Mengen an Rohprotein am Duodenum (182 vs. 151 g/Tag). Die Ergebnisse vorliegender Meta-Analyse bestätigen die Aussage von Charmley (2001), dass eine enge negative Beziehung zwischen der Silageaufnahme und dem Gehalt an löslichem Stickstoff besteht (Tabellen 2.7 und 2.8). Es wurde eine signifikante, negative lineare Beziehung zwischen dem Gehalt an löslichem Stickstoff und der Silageaufnahme festgestellt. Die relativ hohen  $R^2(\text{FP})$ -Werte von 0,22 und 0,29 lagen auf einem etwas niedrigerem Niveau als bei den Beziehungen zwischen den Gehalten an Essig- und Gesamtsäure und der Silageaufnahme. Die Ergebnisse vorliegender Meta-Analyse unterscheiden sich aber von Ergebnissen der Studie von Steen et al. (1998) in der eine signifikante konzentrationsabhängige Wirkung von löslichem Stickstoff auf die Silageaufnahme bei Ochsen festgestellt wurde, wobei für Gehalte an löslichem Stickstoff bis ca. 590 g/kg Gesamt-N ein positiver Einfluss und bei höheren Gehalten ein negativer Effekt von löslichem Stickstoff auf die Silageaufnahme festgestellt wurde. Eine mögliche

Ursache für die Unterschiede bei der Art der festgestellten Beziehungen liegt zum Teil in unterschiedlichen Qualitäten der untersuchten Silagen. Es wurde schon erwähnt, dass der Anteil der Silagen mit Fehlgärungen im Datensatz von Steen et al. (1998) größer war als in dem hier untersuchten Datensatz.

Biogene Amine, die bei der Decarboxylierung von Aminosäuren durch Mikroorganismen entstehen, wurden ebenfalls als stickstoffhaltige Verbindungen identifiziert, welche die Silageaufnahme negativ beeinflussen können (Krizek, 1991). Dieser Befund konnte aber in einer Reihe von Versuchen, in denen die Amine direkt in den Pansen infundiert oder einer Silage vor der Fütterung zugesetzt wurden, nicht bestätigt werden (Van Os, 1995; Dawson and Mayne, 1995, 1996, 1997). Die Anzahl der veröffentlichten Studien mit laktierenden Kühen, in welchen die Gehalte an biogenen Aminen in Silagen untersucht wurden, war aber so gering, dass es sich als unmöglich erwies, eine Meta-Analyse zum Einfluss von biogenen Aminen auf die Futteraufnahme von Milchkühen durchzuführen.

### **4.9 Einbeziehung der Fermentationscharakteristika in die Gesamtfutteraufnahme-Schätzung**

Lewis (1981) sowie Rook et al. (1991) unternahmen den Versuch, durch eine Einbeziehung der Fermentationscharakteristika von Silagen die Schätzung der Silage- bzw. Futteraufnahme bei Milchkühen mittels multipler Regressionen zu verbessern. Von den Fermentationsprodukten fanden nur der Gehalt an Ammoniak-N (Lewis, 1981; Rook et al., 1991) und der pH-Wert der Silagen (Rook et al., 1991) eine Berücksichtigung. Allerdings waren die Bestimmtheitsmaße für die erstellten Gleichungen niedriger als 0,70. Validierungen der meistbenutzten Formeln für die Schätzung der Futteraufnahme bei Milchkühen mit einem unabhängigen Datensatz zeigten große Ungenauigkeiten der Schätzungen. Der mittlere quadrierte Schätzfehler (mean squared prediction error, MSPE) in der Studie von Keady et al. (2004) lag im Bereich von 2,9 bis 10,8 (kg/Tag)<sup>2</sup> und in der Studie von Rook et al. (1991) im Bereich von 1,72 bis 5,75 (kg/Tag)<sup>2</sup>. Dies bedeutet, dass die geschätzte Silage-TM-Aufnahme im besten Fall eine Abweichung vom tatsächlichen Wert von  $\pm 2,64$  kg/TM zeigte. Huhtanen et al. (2002) schlugen anhand der Ergebnisse ihrer Meta-Analyse vor, einen Grassilage-TM-Aufnahme-Index (silage dry matter intake-index, SDMI-Index) für die Schätzung der Gesamtfutteraufnahme (bei getrennter Vorlage von Grob- und Konzentratfuttermitteln) zu verwenden:

## Kapitel II

$$SDMI\ index = 100 + 0,151 \times (D\text{-value} - 690) - 0,000531 \times (TA^2 - 6400) - 4,765 \times [\ln(\text{Ammonia N}) - \ln(50)]$$

- D-value - Gehalt an verdaulicher organischer Masse in der Trockenmasse, g/kg TM
- TA<sup>2</sup> - quadrierter Gesamtsäuregehalt (g/kg TM)<sup>2</sup>
- Ln(Ammonia-N) - natürlicher Logarithmus des Gehaltes an Ammoniak-N im Gesamt-N, g/kg

Nach Huhtanen et al. (2002) weist eine durchschnittlich gute Silage einen Gehalt an verdaulicher organischer Masse von 690 g/kg TM, einen Gesamtsäuregehalt von 80 g/kg TM und einen Gehalt an Ammoniak-N von 50 g im Gesamt-N auf. Nach dem SDMI-Index wird diese Silage mit 100 Punkten bewertet und mit einer Silage-TM-Aufnahme von 10 kg/Tag gleichgesetzt. Jede Änderung des Indexes um einen Punkt hat eine Veränderung in der Silage-TM-Aufnahme um 0,1 kg TM pro Tag zur Folge. Um Interaktionswirkungen zwischen der Konzentratfuttermenge und -art (Energie- versus. Proteinsupplementierung) mit der Silage-TM-Aufnahme abschätzen zu können, wurden von Huhtanen (2002) mittels ähnlicher Vorgehensweise Indizes für die Konzentrat- und Proteinsupplementierung erstellt. Bei einer Schätzung der Gesamtfutteraufnahme mittels eines aus drei Indizes (für Silageaufnahme, Konzentrat- und Proteinsupplementierung) bestehenden Modells wurden relativ niedrige Abweichungen zwischen den geschätzten und tatsächlichen TM-Aufnahmen festgestellt (RMSE = 0,42 kg TM). Die im SDMI-Index von (Huhtanen et al., 2002) angenommenen Beziehungen zwischen den Fermentationscharakteristika und der Silageaufnahme unterscheiden sich grundsätzlich von den Beziehungen, die in vorliegender Meta-Analyse festgestellt wurden. Der Grund liegt in den Unterschieden zwischen den für die Analysen verwendeten Datensätzen. Der Datensatz in der Studie von Huhtanen et al. (2002) enthielt vorwiegend nasse Grassilagen mit einem durchschnittlichen TM-Gehalt von nur 230 g/kg, während für die eigene Studie der eine Datensatz gewisse Anteile an Mais und Leguminosensilagen und der andere ausschließlich Grasanwelksilagen (TM-Gehalt > 250 g/kg) enthielt. Deshalb ist eine Nutzung des Modells von Huhtanen (2002) unter Annahme der Allgemeingültigkeit nicht sinnvoll.

Ergebnisse der eigenen Meta-Analyse zeigen, dass eine Einbeziehung der Fermentationscharakteristika der Silagen in ein Modell mit tierbedingten Einflussfaktoren zu einer Verbesserung der Gesamtfutteraufnahme führen kann (Tabelle 2.21). Höhere R<sup>2</sup>- und

niedrigere RMSE-Werte für die um die Fermentationsprodukte erweiterten Modelle im Vergleich zu den Grundmodellen zeigten, dass eine Einbeziehung des logarithmierten Essigsäuregehaltes oder des Gesamtsäuregehaltes und des quadrierten Gesamtsäuregehaltes in das Grundmodell zu einer deutlichen Verbesserung der Schätzung der Gesamtfutteraufnahme in Datensätzen mit getrennter Vorlage von Grob- und Konzentratfuttermitteln führte. In dem Datensatz mit TMR wurde ebenfalls eine Verbesserung der Schätzung der Futteraufnahme durch eine Einbeziehung des Gesamtsäuregehaltes in das Grundmodell erzielt. Allerdings enthielten die Grundmodelle nicht alle Regressionsvariablen, die in den Schätzformeln von Gruber et al. (2004b) genutzt wurden. Es konnte z. B. kein Gehalt an Nettoenergie-Laktation im Grobfutter (MJ/kg TM) und kein Rohprotein:Energie-Verhältnis der Ration aufgrund der unterschiedlichen Methoden für die Schätzung der Umsetzbaren Energie in den Versuchen berücksichtigt werden. Deshalb kann noch keine eindeutige Aussage darüber gemacht werden, inwieweit die Schätzung der Gesamtfutteraufnahme bei Milchkühen durch eine Einbeziehung von Fermentationscharakteristika der Silagen in vorhandene Schätzformeln zu Verbesserungen bei der Vorhersage der Futteraufnahme führt.

### 5 FAZIT

- Hinsichtlich der Silageaufnahme ist eine milde Durchsäuerung von Silagen einer intensiven Säurebildung überlegen.
- Der Gehalt an Essigsäure ist die am besten geeignete Einzelvariable für die Schätzung der Silage-TM-Aufnahme bei getrennter Vorlage von Grob- und Konzentratfutter. Die Gehalte an anderen kurzkettigen Fettsäuren und an Ammoniak spielen nur eine untergeordnete Rolle.
- Der Gesamtsäuregehalt ist die am besten geeignete Einzelvariable für die Schätzung der Futteraufnahme bei Verfütterung von TMR.
- Die Rohproteinqualität, insbesondere das Ausmaß des Proteinabbaus während der Einsilierung, spielt eine wichtige Rolle bei der Silageaufnahme von Milchkühen. Eine Minimierung des Proteinabbaus führt zur Erhöhung der Silageaufnahme.

## Kapitel II

- Die Einbeziehung der Fermentationscharakteristika der Silage, vor allem des Essigsäuregehaltes bei getrennter Vorlage von Grob- und Konzentratfutter und des Gesamtsäuregehaltes bei Verfütterung von TMR, in das Modell mit tierbedingten Einflussfaktoren verbessert die Schätzung der Gesamtfutteraufnahme.
- Das Anwelken des Grünfutters bleibt nach wie vor die wichtigste Maßnahme zur Gewinnung von Silagen mit nur moderater Säurebildung. Die positive Wirkung des Anwelkens ist jedoch von anderen Einflussfaktoren wie der Geschwindigkeit des Wasserentzuges, dem Nitratgehalt im Grünfutter und der Verschmutzung abhängig.

### Literatur

AFRC (1993) Energie and Protein Requirements of Ruminants. An advisory manual prepared by the AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients. CAB International, Wallingford, UK.

Allen MS (2000) Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 83: 1598-1624.

Beck TH, Gross F (1964) Ursachen der unterschiedlichen Haltbarkeit von Gärfutter. *Das Wirtschaftseigene Futter* 10: 45-54.

Blank R, Südekum K-H, Immig I, Kleinmans J (1998) Synchroner Abbau von Kohlenhydraten und Rohprotein in den Vormägen – eine neue Variable für die Rationsgestaltung? *Übersichten zur Tierernährung* 26: 157-188

Blaxter KL, Weinman FW, Wilson RS (1961) The regulation of food intake by sheep. *Animal Production* 3: 51-61.

Brown DC, Radcliffe JC (1971) Relationship between intake of silage and its chemical composition and in vitro digestibility. *Australian Journal of Agricultural Research* 23: 25-33.

## Kapitel II

- Buchanan-Smith JG (1990) An investigation into palatability as a factor responsible for reduce intake of silage by sheep. *Animal Production* 50: 253-260.
- Campling RC, Balch CC (1961) Factors affecting the voluntary intake of food by cows: 1. Preliminary observations on the effect, on the volutary intake of hay, of changes in the amount of the reticulo-ruminal contents. *British Journal of Nutrition* 15: 523-530.
- Chamberlain DG, Thomas PC, Anderson FJ (1983) Volatile fatty acid proportions and lactic acid metabolism in the rumen of sheep and cattle receiving silage diets. *Journal of Agricultural Science (Camb)* 101: 47-58.
- Charmley E (2001) Towards improved silage quality – A review. *Canadian Journal of Animal Science* 81: 157-168.
- Charmley E, Veira DM (1990a) Inhibition of proteolysis at harvest using heat in alfalfa silages - effects on silage composition and digestion by sheep. *Journal of Animal Science* 68: 758-766.
- Charmley E, Veira DM (1990b) Inhibition of proteolysis in alfalfa silages using heat at harvest - effects on diegestion in the rumen, voluntary intake and animal performance. *Journal of Animal Science* 68: 2042-2051.
- Choung JJ, Chamberlain DG (1993) Effect of addition of lactic acid and post-ruminal supplementation with casein on the nutritional value of grass silage for milk production in dairy cows. *Grass and Forage Science* 48: 380-386.
- Choung JJ, Chamberlain DG, Thomas PC, Bradbury I (1990) The effect of intraruminal infusions of urea on the volutary intake and milk production of cows receiving grass silage diets. *Journal of Dairy Research* 57: 455-464.
- Conrad HR, Pratt AD, Hibbs JW (1964) Regulation of feed intake in dairy cows. 1. Change in importance of physical and physiological factors with increasing digestibility. *Journal of Dairy Science* 47: 54-62.

## Kapitel II

Dawson LER, Mayne CS (1995) The effects of either dietary additions or intraruminal infusion of amines and juice extracted from grass silage on the voluntary intake of steers offered grass silage. *Animal Feed Science and Technology* 56: 119-131.

Dawson LER, Mayne CS (1996) The effect of intraruminal infusions of amines and gamma amino butyric acid on rumen fermentation parameters and food intake of steers offered grass silage. *Animal Feed Science and Technology* 63: 35-49.

Dawson LER, Mayne CS (1997) The effect of infusion of putrescine and gamma amino butyric acid on the intake of steers offered grass silage containing three levels of lactic acid. *Animal Feed Science and Technology* 66: 15-29.

Dawson LER, Mayne CS (1998) The effect of silage fermentation characteristics on dry-matter intake of steers. *Animal Science* 66: 105-113.

DLG-Information 1/2006 (2006) Schätzung der Futteraufnahme bei der Milchkuh.  
DLG e, V.

DLG-Information 2/2006 (2006) Grobfutterbewertung Teil B: DLG-Schlüssel zur Beurteilung der Gärqualität von Grünfuttersilagen auf der Basis der Chemischen Untersuchung. DLG e, V.

Doherty JG, Mayne CS (1996) The effect of concentrate type and supplementary lactic acid or soya oil on milk production characteristics in dairy cows offered grass silages of contrasting fermentation type. *Animal Science* 62: 187-198.

Forbes JM (1995) *Voluntary Food Intake and Diet Selection in Farm Animals*. CABI, Wallingford, UK.

Forbes JM (1996) Integration of regulatory signals controlling forage intake in ruminants. *Journal of Animal Science* 74: 3029-3035.

## Kapitel II

- Gill M, Rook AJ, Thiago LRS (1988) Factors affecting the voluntary intake of roughages by the dairy cow. In: Garnsworthy PC (ed) Nutrition and Lactation in the Dairy Cow. Butterworths, London.: pp 262-279.
- Glass GV (1976) Primary, secondary and meta-analysis of research. Educational Researcher 5: 3-8.
- Gordon FJ (1989) Effects of silage additives and wilting on animal performance. In: Haresign W and Cole D-J-A (eds) Recent Advances in Animal Nutrition. Butterworths, London: pp 159-173.
- Gruber L, Guggenberger T, Steinwider A, Häusler J, Schaeue, A, Steinwender R, Wenzl W, Steiner B. (2001) Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen auf Basis der Fütterungsversuche der BAL Gumpenstein. 28. Viehwirtschaftliche Fachtagung, Bericht BAL Gumpenstein 2001, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein: 11-36.
- Gruber L, Schwarz FJ, Erdin D, Fischer B, Spiekers H, Steingass H, Meyer U, Chassot A, Jilg T, Obermaier A, Guggenberger T. (2004a) Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen - Datenbasis von 10 Forschungs- und Universitätsinstituten Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. VDLUFA-Schriftenreihe - Kongressband 60: 484-504.
- Gruber L, Schwarz FJ, Erdin D, Fischer B, Spiekers H, Steingass H, Meyer,U, Chassot A, Jilg T, Obermaier A, Guggenberger, T. (2004b) Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen: Kooperation von 10 Forschungs- und Universitätsinstituten Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. 31.Viehwirtschaftliche Fachtagung, 27.-28. April 2004, Bericht BAL Gumpenstein 2004, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, 21-39.
- Harris CE, Raymond WF (1963) The effect of ensiling on crop digestibility. Journal of the British Grassland Society 18: 204-212.
- Hoffmann M (1990) Tierfütterung. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.

## Kapitel II

- Honig H. (1987) Gärbiologische Voraussetzungen zur Gewinnung qualitätsreicher Anwelksilagen. In: Grünfütterernte und Konservierung. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft Landwirtschaftsverlag GmbH e.V., Münster-Hiltrup, West Germany, KTBL-Schrift 318: 47-58.
- Huhtanen, P. (2002) New developments in the prediction of intake of silage based diets. Gechie, L M and Thomas C. (eds) Proceedings of 13th International Silage Conference. 11-9-2002. Auchincruive, Scotland: 236-251.
- Huhtanen P, Khalili H, Nousiainen JI, Rinne M, Jaakkola S, Heikkilä T, Nousiainen J (2002) Prediction of relative intake potential of grass silage by dairy cows. Livestock Production Science 73: 111-130.
- INRA (1989) Ruminant Nutrition. Recommended Allowances and Feed Tables. INRA Paris: pp 389 S.
- Kaiser E, Weiß K. Nitratgehalt im Grünfütter - Bedeutung für Gärqualität und siliertechnische Maßnahmen. (2006) 118.VDLUFA-Kongress 19.-22.09.2006 in Freiburg. Kurzfassungen der Referate: pp. 122 S.
- Keady TWJ, Mayne CS, Kilpatrick DJ (2004) An evaluation of five models commonly used to predict food intake of lactating dairy cattle. Livestock Production Science 89: 129-138.
- Kleinschmit DH, Kung L (2006) A meta-analysis of the effects of *Lactobacillus buchneri* on the fermentation and aerobic stability of corn and grass and small-grain silages. Journal of Dairy Science 89: 4005-4013.
- Krizek M (1991) The determination of biogenic amines in silage. Archives of Animal Nutrition 41: 97-104.
- Kung L Jr, Craig WM, Satter LD (1989) Ammonia-treated alfalfa silage for lactating dairy cows. Journal of Dairy Science 72: 2565-2572.

## Kapitel II

- Langhans W (1989) Die Regulation der Futteraufnahme beim Wiederkäuer. Schweizer Archiv für Tierheilkunde 131: 117-126.
- Lewis M. (1981) Equations for predicting silage intake by beef and dairy cattle. Proceedings of the Sixth Silage Conference, Edinburgh: 35-36.
- Marsh R (1979) The effects of wilting on fermentation in the silo and on the nutritive value of silage. Grass and Forage Science 34: 1-10.
- McDonald P, Henderson AR, Heron SJE (1991) The Biochemistry of Silage. Cambrian Printers Ltd., Aberystwyth.
- McDonald P, Henderson AR, Ralton I (1973) Energy changes during ensilage. Journal of the Science of Food and Agriculture 24: 827-834.
- McDonald P, Whittenbury R (1973) The ensilage process. In: Butler GW and Bailey RW (eds) Chemistry and Biochemistry of Herbage, Academic Press, New York: pp 33-60.
- Middelhoven, VJ, Van Baalen, AHM (1988) Development of the yeast flora of whole-crop maize during ensiling and during subsequent aerobiosis. Journal of the Science of Food and Agriculture 42: 199-207.
- Montgomery MJ, Baumgardt BR (1965) Regulation of food intake in ruminants. 1. Pelleted rations varying in energy concentrations. Journal of Dairy Science 48: 569-574.
- Morgan CA, Edwards RA, McDonald P (1980) Intake and metabolism studies with fresh and wilted silages. Journal of Agricultural Science (Cambridge) 94: 287-298.
- NRC (National Research Council, 2001) Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th rev. ed. National Academy Press, Washington

## Kapitel II

- Offer NW (1997) A comparison of the effects on voluntary intake by sheep of dietary addition of either silage juices or lactic acid solutions of the same neutralizing value. *Animal Science* 64: 331-337.
- Ohshima M, McDonald P (1978) A review of the changes in nitrogenous compounds of herbage during ensilage. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 29: 497-505.
- Patterson DC, Yan T, Gordon FJ, Kilpatrick DJ (1998) Effect of bacterial inoculation of unwilted and wilted grass silages. 2. Intake, performance and eating behaviour by dairy cattle. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)* 131: 113-119.
- Rohr K, Thomas C (1984) Intake, digestibility and animal performance. In: Zimmer E and Wilkins RJ (eds) *Efficiency of silage Systems. a Comparison Between Unwilted and Wilted Silages*. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft: pp 64-70.
- Rook AJ, Gill M (1990) Prediction of the voluntary intake of grass silages by beef cattle. 1. Linear regression analyses. *Animal Production* 50: 425-438.
- Rook AJ, Gill M, Willink RD, Lister SJ (1991) Prediction of voluntary intake of grass silages by lactating cows offered concentrates at a flat rate. *Animal Production* 52: 407-420.
- Rooke JA (1995) The effect of increasing acidity or osmolality of grass silage by the addition of free or partially neutralized lactic acid on silage intake by sheep and upon osmolality and acid-base balance. *Animal Science* 61: 285-292.
- SAS (1999) *User's Guide, Version 8, Volumes 1, 2, and 3*. SAS Publishing, Cary, NC.
- Schwarz FJ (1997) Zur Futteraufnahme der Milchkuh. *Schriftenreihe des FBN* 10: 14-26.
- Schwarz FJ, Gruber L (1999) Futteraufnahme - Einflussfaktoren und Abschätzung. In: *Fütterung der 10.000-Liter-Kuh: Erfahrungen und Empfehlungen für die Praxis*. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V., Frankfurt am Main: pp 171-191.

## Kapitel II

- St-Pierre NR (2001) Invited review: Intergrating quantitative findings from multiple studies using mixed model methodology. *Journal of Dairy Science* 84: 741-755.
- Steen RWJ, Gordon F J, Dawson LER, Park RS, Mayne CS, Agnew RE, Kilpatrick DJ and Porter MG (1998) Factors affecting the intake of grass silage by cattle and prediction of silage intake. *Animal Science* 99: 115-127.
- Thaysen J (2004) Die Produktion von qualitativ hochwertigen Grassilagen. *Übersichten zur Tierernährung* 32: 57-102.
- Til HP, Falke HE, Prinsen MK, Willems MI (1997) Acute and subacute toxicity of tyramine, spermidine, spermine, putrescine and cadaverine in rats. *Food and Chemical Toxicology* 35: 337-348.
- Van Os M, Dulphy JP, Baumont R (1995) The influence of ammonia and amines on grass silage intake and intake behaviour in dairy cows. *Annales de Zootechnie* 44: 73-85.
- Van Soest PJ (1994) *Nutritional Ecology of the Ruminant*. 2nd Edition. Cornell University Press, Ithaca, NY, USA.
- Van Vuuren AM, Huhtanen P, Dulphy J-P (1995) Improving the feeding and health value of ensiled forages. In: Journet M, Grenet E, Farce M-H, Theriez M, Demarquilly D (eds) *Recent Developments in the Nutrition of Herbivores*. INRA, Paris: pp 297-307.
- Wangsness PJ, Muller LD (1981) Maximum forage for dairy cows. *Journal of Dairy Science* 64: 1-13.
- Weissbach, F. (1975) *Methoden und Tabellen zur Schätzung der Vergärbarkeit*. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften, Berlin.
- Wieringa GW (1958) The effect of wilting on butyric acid fermentation in silage. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 6: 204-210.

## Kapitel II

Wilkins RJ (1984) A review of the effects of wilting on the composition and feeding values of silages. In: Zimmer E and Wilkins RJ (eds) Efficiency of Silage systems: A Comparison Between Wilted and Unwilted Silages. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft: pp 5-12.

Wilkins, RJ, Fenlon, JS, Cook, JE, Wilson, RF. (1978) A further analysis of relationships between silage composition and voluntary intake by sheep. Proceeding 5th Silage Conference. Ayr, UK: pp 34-35.

Wilkins RJ, Hutchinson KJ, Wilson RF, Harris CE (1971) The voluntary intake of silage by sheep. 1. Interrelationships between silage composition and intake. Journal of Agricultural Science (Cambridge) 77: 531-537.

Wright DA, Gordon FJ, Stehen RWJ, Patterson DC (2000) Factors influencing the response in intake of silage and animal performance after wilting of grass before ensiling: A review. Grass and Forage Science 55: 1-13.



## KAPITEL III

**Statistische Analyse der Beziehungen zwischen  
Fermentationscharakteristika von Silagen und der  
Milchleistung sowie Milchzusammensetzung von Milchkühen**



### **1 EINFLUSS DER FERMENTATIONSCHARAKTERISTIKA VON SILAGEN AUF DIE MILCHLEISTUNG SOWIE –ZUSAMMENSETZUNG VON KÜHEN**

Anhand früherer Studien von Rook et al. (1991), Steen et al. (1998) sowie Huhtanen et al. (2002b) und der Ergebnisse vorliegender Meta-Analyse wurde dargestellt, dass die Fermentationscharakteristika von Silagen die Futteraufnahme von Milchkühen beeinflussen. Zusätzlich wurde in einer Reihe weiterer Studien ein Einfluss der Fermentationscharakteristika auf die Menge der im Verdauungstrakt der Milchkühe absorbierten Nährstoffe und deren Einflüsse auf die Milchzusammensetzung festgestellt (Chamberlain und Choung, 1993; Van Vuuren et al., 1995; Huhtanen, 1998). Ausgangssubstrate für die Milchinhaltsstoffe (Fett, Protein und Laktose) sind direkt oder indirekt die Futterinhaltsstoffe. Generell gilt, dass eine Erhöhung der aufgenommenen Menge an Nährstoffen zu einer Erhöhung der produzierten Menge an Milchinhaltsstoffen führt. Allerdings kann beispielsweise eine Erhöhung der aufgenommenen Proteinmenge bei konstanter Energiezufuhr nur zu einer geringen oder überhaupt keiner Erhöhung der Milchproteinmenge, eine Erhöhung der aufgenommenen Fettmenge sogar zur einem Absinken der Milchfettmenge führen. Ein Grund dafür ist zum einen die Komplexität der Nährstoffumsetzungen im Verdauungstrakt bei Wiederkäuern, insbesondere im Pansen (Sutton, 1989). Ein anderer Grund ist im speziellen Falle der Silagen die Veränderung der Nährstoffzusammensetzung während der Fermentation (Chamberlain, 1987; Charmley, 2001).

Da Milchprotein aus ökonomischer Sicht der wichtigste Milchinhaltsstoff ist, stellt sich nicht die Menge allein, sondern vor allem die Proteinqualität einer Silage als Hauptproblempunkt dar. Mehrere Studien zeigten, dass auf Silagen basierte Rationen stark auf eine Proteinsupplementierung über das Konzentratfutter sowohl bei wachsenden Rindern (Veira et al., 1985, 1990, 1994) und Milchkühen (Robinson et al., 1992; Broderick, 1995) als auch bei Fleischrindern (Charmley et al., 1999) angewiesen sind. Die Hauptursache dafür liegt hier in einer niedrigen Effizienz der Silage-Stickstoffverwertung im Pansen (Agricultural and Food Research Council, 1984), so dass eine Supplementierung der Ration mit im Pansen unabgebautem Protein zu einer Leistungssteigerung bei den Tieren führt (Gordon und Small, 1990; Broderick, 1992).

Eine niedrige Effizienz der Stickstoffverwertung bei Wiederkäuern resultiert zum einen aus einem hohen Anteil an löslichen Stickstoffverbindungen in der Silage und ist zum anderen in der Fermentation der wasserlöslichen Kohlenhydrate (WLK) zu kurzkettigen Fettsäuren (KKFS) und Milchsäure während des Siliervorganges begründet (Charmley,

2001). Die Energieausbeute für die Pansenmikroorganismen ist aus kurzkettigen Fettsäuren und Milchsäure viel niedriger als aus der Fermentation der Kohlenhydrate, weil die kurzkettigen Fettsäuren aus der Silage direkt im Pansen absorbiert werden und die Milchsäure weniger ATP liefert im Vergleich zu einer äquivalenten Menge an wasserlöslichen Kohlenhydraten. Nach Chamberlain (1987) liefert eine intensiv fermentierte Silage mit einem Gehalt an Milch- und Essigsäure von 150 und 40 g/kg TM eine um 15 bis 20 % niedrigere Menge an ATP im Vergleich zu einer restriktiv fermentierten Silage mit Gehalten an Milch- und Essigsäure von 60 und 20 g/kg TM. Eine Reduzierung der Menge an energieliefernden schnell fermentierbaren Substraten für die Pansenmikroorganismen bei einem gleichzeitigen Überangebot an löslichen Stickstoffverbindungen in Silagen hemmt die mikrobielle Proteinsynthese und die Effizienz der Stickstoffausnutzung (Blank et al., 1998). Das mikrobielle Protein entspricht hinsichtlich des Aminosäuremusters weitgehend dem Kuhmilchprotein und gilt als beste Rohproteinquelle für die Milchsäure (Santos et al., 1998). Aus diesem Grund stellt die Maximierung der mikrobiellen Rohproteinsynthese einen der wichtigsten Faktoren zur Verbesserung der Versorgung von Milchkühen mit Aminosäuren dar (Coenen, 1996).

Die Fermentation von wasserlöslichen Kohlenhydraten in der Silage hat direkte Auswirkungen auf das Verhältnis von kurzkettigen Fettsäuren im Pansen. Intensiv fermentierte Silagen enthalten meistens keine WLK, jedoch mehr als 100 g/kg Trockenmasse (TM) Milchsäure, zusätzlich können bis zu 60 g/kg der TM in Form von kurzkettigen Fettsäuren vorhanden sein. Die KKFS werden im Pansen direkt absorbiert, während Milchsäure zu Propionsäure umgebaut wird. In diesem Falle kommt es zu einer Verschiebung der Anteile an KKFS im Pansen von lipogenen zu glucogenen Vorstufen (Jaakkola und Huhtanen, 1992; Martin et al., 1994), was eine Senkung des Milchfettgehaltes zur Folge hat (Cushnahan und Mayne, 1995; Keady und Murphy, 1996). Ein Teil der Strukturkohlenhydrate kann in der Silage durch pflanzeigene Enzyme oder durch eine Zugabe von enzymhaltigen Silierzusätzen zu Nicht-Struktur-Kohlenhydraten und später zu Milchsäure und KKFS umgewandelt werden (Charmley und Veira, 1991; Choung und Chamberlain, 1992). Sheperd et al. (1995) und Nadeau et al. (1996) stellten fest, dass die Anwendung von enzymhaltigen Siliermitteln zu einer Verminderung des Abbaus von Struktur-Kohlenhydraten im Pansen führt, was wiederum eine Senkung der Milchfettsynthese zur Folge haben kann.

Die Fermentationscharakteristika der Silagen können durch Erntezeitpunkt, Anwelken und die Anwendung von biologischen und chemischen Silierzusätzen beeinflusst werden. Das

Ausmaß der Auswirkungen dieser Faktoren ist jedoch von zahlreichen anderen Einflussfaktoren abhängig wie Klima, Wetter, Pflanzenart, Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten und an Nitrat im Siliergut, Menge und Art der Silierzusätze, Zerkleinerungsgrad usw. (Gordon, 1980, 1986, 1989; Wright et al., 2000). Deshalb weisen z. B. die Ergebnisse von Versuchen zum Einfluss des Anwelkgrades oder von Silierzusätzen auf die Milchleistung von Kühen eine geringe Wiederholbarkeit auf. Insofern ist eine Vorhersage des Einflusses des Konservierungsverfahrens der Silage auf die Milchleistung von Kühen schwierig. Eine Quantifizierung der Auswirkungen einzelner Fermentationsprodukte auf Milchleistung und -zusammensetzung mittels einer Meta-Analyse ist die beste Möglichkeit, eine möglichst genaue Schätzung der Einflüsse von Fermentationscharakteristika auf Milchleistung und -zusammensetzung vorzunehmen. Die Auswirkungen der Fermentationscharakteristika werden dabei unabhängig von den unterschiedlichen Versuchsbedingungen der einzelnen Studien geschätzt, da diese als zufälliger Einflussfaktor „Versuch“ mitberücksichtigt werden. In der Literatur findet sich bisher nur eine einzige Meta-Analyse der Beziehungen zwischen den Fermentationscharakteristika von Silagen und der Milchleistung und -zusammensetzung von Kühen (Huhtanen et al., 2003). Diese Meta-Analyse wurde anhand der Datenbasis aus der Studie von Huhtanen et al. (2002a) durchgeführt. Die Besonderheiten dieser Studie wurden ausführlich im Kapitel II der vorliegenden Arbeit beschrieben (siehe Seite 17). Ziel vorliegender Meta-Analyse der Beziehungen zwischen den Fermentationscharakteristika von Silagen und der Milchleistung sowie -zusammensetzung von Kühen war, diejenigen Studien gesondert zu untersuchen, in denen Silagen mit einem Mindest-TM-Gehalt von 25 % verfüttert wurden, sofern es sich um Grassilagen handelte. Zusätzlich wurden Studien einbezogen, in denen Mais- und Leguminosensilagen verfüttert wurden, sowohl als alleinige Grobfutterkomponente als auch in Kombination mit Grassilagen.

## **2 EIGENE UNTERSUCHUNGEN**

### **2.1 Material**

Zur Erstellung einer Meta-Analyse mit dem Ziel, die Einflüsse der Fermentationscharakteristika von Silagen auf die Milchleistung bzw. -zusammensetzung zu quantifizieren, wurden Daten aus veröffentlichten Studien mit laktierenden Kühen der Jahre 1980 – 2005 gesammelt. Die verwendeten Studien verfolgten unterschiedliche Ziele, welche folgendermaßen gruppiert werden können:

### Kapitel III

- Einfluss des Anwelkens auf die Silageaufnahme und Milchleistung
- Auswirkungen von Konservierungsmitteln auf die Silagequalität, Silageaufnahme und Milchleistung
- Auswirkungen unterschiedlicher Konzentratfutterangebote (Menge, Art) auf die Silage- bzw. Futteraufnahme und Milchleistung.

In die Auswertung wurden Versuche mit bekannten Werten für die folgenden Fermentationscharakteristika einbezogen:

- pH-Wert
- Gehalte an Milchsäure und KKFS
- Ammoniak-Stickstoff (Ammoniak-N) im Gesamtstickstoff (Gesamt-N) bzw. im kg TM
- Gehalt an löslichen Stickstoffverbindungen
- Gehalte an WLK und Ethanol

Die Meta-Analyse umfasste 70 Versuche mit 321 Beobachtungen (eine Beobachtung umfasste dabei die Mittelwerte der Silagecharakteristika und Leistungskenngrößen einer Versuchsgruppe pro Versuchsperiode) bei getrennter Vorlage von Grob- und Konzentratfutter und 15 Versuche mit 63 Beobachtungen bei Einsatz von Gesamtmischrationen (total mixed rations, TMR). Bei den Silagen handelte es sich um Gras-, Mais- und Leguminosensilagen. Bei faktoriellen Versuchsanordnungen (z. B. Fütterung von verschiedenen Silagen bei gleichem Konzentratfutterangebot) wurden die Versuche in Subversuche unterteilt. Für das Fütterungssystem „Getrennte Futtevorlage“ wurde die Analyse sowohl für alle Silagearten als auch gesondert nur für die Grasanwelksilagen (TM > 25 %) durchgeführt, so dass die Meta-Analyse für die Grasanwelksilagen 37 Versuche mit 123 Beobachtungen umfasste. Für die TMR wurde aufgrund zu weniger Beobachtungen keine Berechnung des Einflusses der WLK, Ethanol und löslichen Stickstoffs auf die Milchleistung bzw. -zusammensetzung vorgenommen.

### 2.2 Auswertungsmodell

Die Beziehungen zwischen den Fermentationscharakteristika von Silagen und der Milchleistung sowie -zusammensetzung wurden mittels der „Mixed Model“ Regressionsanalyse geprüft (SAS 1990). Folgende Modellgleichung wurde erstellt:

$$y = \text{Subversuch (Versuch)} + a + \varepsilon$$

y = Milchleistungsparameter (Milchmenge, energiekorrigierte Milchmenge (ECM), Milchfettgehalt, Milchfettmenge, Milcheiweißgehalt, Milcheiweißmenge)

Subversuch (Versuch) = zufälliger Effekt des Subversuches innerhalb des Versuches

a = jeweilige Fermentationsprodukte

$\varepsilon$  = Schätzfehler

Die ECM-Menge wurde nach folgender Formel berechnet (Schwark, 1985):

$$\text{ECM} = (\text{Fett \%} \times 0,1153 + \text{Eiweiß \%} \times 0,0724 + 0,3039) \times \text{Milchmenge in kg}$$

Es wurden lineare, quadratische und logarithmische Beziehungen zwischen den Fermentationsprodukten und den Milchleistungskenngrößen geprüft. Die Beziehungen zwischen den geschätzten und beobachteten Milchleistungskenngrößen wurden mittels linearer Regression dargestellt. Für den Vergleich verschiedener Modelle wurden folgende Größen berechnet:

- Standardabweichung der Residuen ( $\text{RMSE}_{\text{exp}}$ ), bereinigt um den zufälligen Effekt des Versuches
- Bestimmtheitsmaß [ $\text{R}^2(\text{FP})$ ] als der durch die jeweiligen Fermentationsprodukte erklärte Anteil der Gesamtvarianz in den Milchleistungsparametern
- Bereinigtes Bestimmtheitsmaß [ $\text{R}^2_{\text{adj}}(\text{Exp})$ ] als der durch die jeweiligen Fermentationsprodukte erklärte Anteil der Gesamtvarianz in den um den zufälligen Effekt des Versuches korrigierten Milchleistungskenngrößen

Die genaue Vorgehensweise für die Berechnung oben genannter Größen wurde im Kapitel II beschrieben (siehe Seiten 19-21).

Die Anwendung der „Mixed Model“-Theorie für Meta-Analysen wurde einer Arbeit von (St-Pierre, 2001) entnommen.

### 3 ERGEBNISSE

#### 3.1 Getrennte Vorlage der Rationsbestandteile

##### 3.1.1 Struktur der Datenbasis

Die Verteilung der verschiedenen Silagearten innerhalb der Datenbasis, auf deren Grundlage die Meta-Analyse durchgeführt wurde, die Aufteilung der Datenbasis auf die Länder, in denen die Versuche durchgeführt wurden, sowie die Fermentationscharakteristika der Silagen wurden in Tabelle 2.2, 2.3, 2.4 und 2.5 im Kapitel II dargestellt. In Tabelle 3.1 ist die Struktur der Datenbasis, die alle Silagearten enthält, hinsichtlich der Körpergewicht der Kühe, Fütterung sowie Milchleistung und -zusammensetzung dargestellt.

**Tabelle 3.1:** Struktur der Datenbasis (alle Silagearten)

Variable	Anzahl Datensätze	Mittelwert	SD	Min	Max
Körpergewicht der Kühe kg	211	562	40,6	445	686
Gesamtfutteraufnahme kg TM	321	16,5	2,6	5,6	23,9
Silage-TM-Aufnahme kg	321	10,2	2,5	4,4	19,7
Konzentratfutter-Aufnahme kg TM	321	6,1	2,7	0,0	15,5
Milchmenge kg	321	23,9	4,4	10,0	39,6
ECM kg	321	23,7	4,6	8,8	37,0
Fett %	321	4,07	0,34	3,22	4,93
Protein %	321	3,11	0,21	2,66	3,61
Fett g/Tag	321	970	197	344	1564
Protein g/Tag	321	744	151	305	1162

SD: Standardabweichung; Min: minimaler Wert; Max: maximaler Wert; TM: Trockenmasse; ECM: energiekorrigierte Milchmenge

Die Daten wiesen eine große Variabilität auf. Die Durchschnittswerte für die Körpergewicht der Kühe, Gesamtfutteraufnahme, Milchmenge und Menge an Milch Inhaltsstoffen lagen im relativ niedrigen Bereich. Nur wenige Versuche wurden mit Kühen durchgeführt, die hohe Milchleistungen und Gesamtfutteraufnahmen aufwiesen.

Die Datenstruktur für den Teil der Datenbasis, die nur Grasanwekksilagen enthält, ist in Tabelle 3.2 dargestellt.

**Tabelle 3.2:** Struktur der Datenbasis (Grasanwekksilagen)

Variable	Anzahl Datensätze	Mittelwert	SD	Min	Max
Körpergewicht der Kühe kg	109	571	38,6	464	686
Gesamtfutteraufnahme kg TM	123	17,6	2,2	11,1	23,9
Silage-TM-Aufnahme kg	123	11,1	2,7	6,4	19,6
Konzentratfutter-Aufnahme kg TM	123	6,0	2,3	0,0	11,7
Milchmenge kg	123	24,4	3,7	12,9	32,3
ECM kg	123	24,7	3,7	12,0	32,3
Fett %	123	4,19	0,35	3,57	4,93
Protein %	123	3,21	0,20	2,78	3,61
Fett g/Tag	123	1017	163	482	1384
Protein g/Tag	123	782	126	391	1042

SD: Standardabweichung; Min: minimaler Wert; Max: maximaler Wert; TM: Trockenmasse; ECM: energiekorrigierte Milchmenge

Der Teil der Datenbasis, die nur Grasanwekksilagen enthält, weist insgesamt leicht höhere Werte für die Gesamtfutteraufnahme und Milchleistungsparameter im Vergleich zu der Datenbasis, die alle Silagearten enthält, auf. Ein direkter Vergleich der Datenstrukturen ist aber nicht sinnvoll, da die Ergebnisse der Versuche mit Grasanwekksilagen ein Bestandteil der gesamten Datenbasis sind.

### 3.1.2 Beziehungen zwischen den Fermentationscharakteristika von Silagen und der Milchleistung von Kühen

Die Beziehungen zwischen den Fermentationsprodukten und der Milchmenge wiesen insgesamt niedrigere  $R^2$ - und RMSE-Werte auf (ohne Darstellung) im Vergleich zu Beziehungen zwischen den Fermentationsprodukten und der energiekorrigierten ECM-Menge. Die signifikanten Beziehungen ( $p < 0,05$ ) zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten, dem Gehalt an TM bzw. organischer Masse (OM) und der ECM-Menge bei allen Silagearten sind in Tabelle 3.3 dargestellt.

**Tabelle 3.3:** Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsparametern (FP) aller Silagearten und der energiekorrigierten Milchmenge (kg) ( $y = a + b \times \text{FP}$ )

Fermentationsprodukt	a	b	P-Wert	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> (Exp)	RMSE <sub>exp</sub>	R <sup>2</sup> (FP)
TM g/kg	22,5	0,006	0,004	0,14	1,07	0,14
ln(TM)	12,9	1,976	0,011	0,16	1,07	0,15
OM g/kg	21,6	0,011	0,002	0,27	1,02	0,17
ES g/kg TM	24,4	- 0,023	0,041	0,07	1,06	0,02
ln(ES)	25,5	- 0,564	0,024	0,12	1,05	0,02
BS g/kg TM	24,1	- 0,071	0,022	0,07	1,05	0,00
KKFS g/kg TM	24,4	- 0,019	0,016	0,08	1,06	0,02
GS g/kg TM	25,0	- 0,010	0,008	0,11	1,05	0,05
WLK g/kg TM	23,1	0,017	0,001	0,25	1,01	0,00
NH <sub>3</sub> -N g/kg N	24,7	- 0,008	0,003	0,11	1,04	0,00
ln(NH <sub>3</sub> )	27,7	- 0,858	0,004	0,17	1,03	0,00
Lösl. N g/kg N	39,9	- 0,021	0,004	0,63	1,15	0,05
ln(Lösl. N)	96,2	- 11,29	0,002	0,63	1,14	0,06

a: Konstante; b: Regressionskoeffizient; P-Wert: Irrtumswahrscheinlichkeit; R<sup>2</sup><sub>adj</sub>(Exp): um den Effekt des Versuches bereinigtes Bestimmtheitsmaß; RMSE<sub>exp</sub>: um den Effekt des Versuches bereinigte Standardabweichung der Residuen; R<sup>2</sup>(FP): Bestimmtheitsmaß für den Effekt des Fermentationsparameters; TM: Trockenmasse; ln: natürlicher Logarithmus; OM: Gehalt an organischer Masse; ES: Essigsäuregehalt; BS: Buttersäuregehalt; KKFS: Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren; GS: Gesamtsäuregehalt; WLK: Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten; NH<sub>3</sub>-N: Gehalt an Ammoniak-Stickstoff im Gesamtstickstoff; Lösl. N: Gehalt an löslichen Stickstoffverbindungen im Gesamtstickstoff

Die TM- und OM-Gehalte erklärten die höchsten Anteile an der Gesamtvariation in der ECM-Menge (0,14 – 0,17). Es wurden keine signifikanten Beziehungen zwischen dem pH-Wert, dem Milch- und Propionsäuregehalt und der ECM-Menge festgestellt ( $p > 0,05$ ). Mit Ausnahme des Gehaltes an löslichen Stickstoffverbindungen lagen die Bestimmtheitsmaße (R<sup>2</sup><sub>adj</sub>(Exp)-Wert) trotz der Korrektur um den zufälligen Effekt des Versuches auf einem relativ niedrigen Niveau (0,07 - 0,27). Diese relativ niedrigen R<sup>2</sup><sub>adj</sub>(Exp)-Werte deuten auf nur schwache Beziehungen zwischen den Charakteristika der Silagen und der ECM-Menge hin. Die R<sup>2</sup>(FP)-Werte für die Fermentationsprodukte von 0 bis 0,06 bedeuten, dass die Unterschiede bei der ECM-Menge in erster Linie durch die Variation zwischen den Versuchen (zufälliger Effekt des Versuches) verursacht wurden. Insgesamt hatte das Ausmaß der Fermentation einen schwachen negativen Einfluss auf die energiekorrigierte Milchleistung.

### Kapitel III

Bei ausschließlicher Betrachtung der Grasanweilsilagen wurden folgende signifikante Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten, dem TM- bzw. OM-Gehalt und der ECM-Menge festgestellt (Tabelle 3.4):

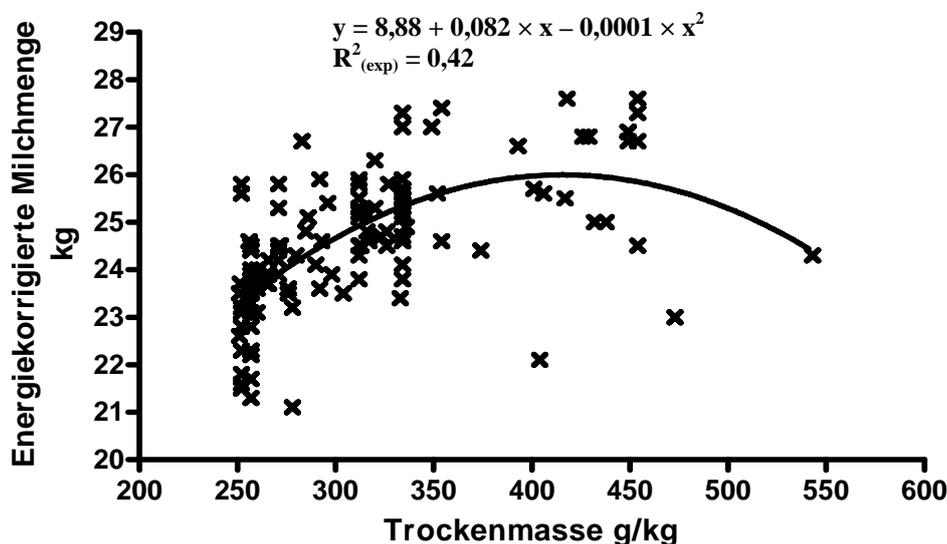
**Tabelle 3.4:** Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsparametern (FP) der Grasanweilsilagen und der energiekorrigierten Milchmenge (kg) ( $y = a + b \times FP + c \times FP^2$ )

Fermentationsprodukt	a	b	c	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> (Exp)	RMSE <sub>exp</sub>	R <sup>2</sup> (FP)
TM g/kg	21,7	0,009		0,21	1,13	0,11
TM + TM <sup>2</sup>	8,9	0,082	- 0,0001	0,42	1,10	0,12
OM g/kg	20,9	0,014		0,31	1,21	0,18
ln(OM)	- 1,2	4,624		0,35	1,20	0,19
BS g/kg TM	25,3	- 0,329		0,48	1,06	0,07
KKFS g/kg TM	25,6	- 0,055		0,29	1,08	0,05
MS/GS	19,5	6,298		0,24	1,06	0,01
NH <sub>3</sub> -N g/kg N	27,0	- 0,027		0,32	1,12	0,12
ln(NH <sub>3</sub> )	35,6	- 2,493		0,36	1,11	0,13

a: Konstante; b und c: Regressionskoeffizienten; R<sup>2</sup><sub>adj</sub>(Exp): um den Effekt des Versuches bereinigtes Bestimmtheitsmaß; RMSE<sub>exp</sub>: um den Effekt des Versuches bereinigte Standardabweichung der Residuen; R<sup>2</sup>(FP): Bestimmtheitsmaß für den Effekt des Fermentationsproduktes; TM: Trockenmasse; ln: natürlicher Logarithmus; OM: Gehalt an organischer Masse; BS: Buttersäuregehalt; KKFS: Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren; MS/GS: Verhältnis des Milchsäuregehaltes zum Gesamtsäuregehalt; NH<sub>3</sub>-N: Gehalt an Ammoniak-Stickstoff im Gesamtstickstoff

Es wurde kein signifikanter Einfluss der Gehalte an Milch-, Essig- und Propionsäure sowie des Gesamtsäuregehaltes auf die energiekorrigierte Milchmenge festgestellt ( $p > 0,05$ ). Der OM-Gehalt in der Frischsubstanz war die am besten geeignete Einflussgröße für die Schätzung der ECM-Menge, gefolgt von dem Ammoniakstickstoffgehalt im Gesamt-N und dem TM-Gehalt. Der Einfluss der Gehalte an Buttersäure, KKFS und dem Ammoniak-N im Gesamt-N waren negativ, während für das Fermentationsmuster ein positiver Einfluss auf die ECM-Menge festgestellt wurde. Die Annahme, dass mit steigender Konzentration der Gehalt an OM und der Gehalt an Ammoniak-N im Gesamt-N eine abnehmende Wirkung aufweisen (Verwendung des natürlichen Logarithmus des Gehaltes), führte zu einer leichten Verbesserung der Schätzung der ECM-Menge, was sich in höheren R<sup>2</sup><sub>adj</sub>(Exp)- und niedrigeren RMSE<sub>exp</sub>-Werten widerspiegelte. Das Modell mit den Regressionsvariablen TM-Gehalt und quadrierter TM-Gehalt wies ebenfalls höhere

Bestimmtheitsmaße und eine niedrigere Standardabweichung der Residuen im Vergleich zu dem linearen Modell auf. Das Modell setzt eine Veränderung des Einflusses der TM auf die ECM-Menge in Abhängigkeit vom Gehalt voraus (Abbildung 3.1):



**Abbildung 3.1:** Einfluss des Trockenmassegehaltes der Grasanweilsilagen auf die energiekorrigierte Milchmenge (korrigiert um den zufälligen Einfluss des Versuches)

Die Abbildung zeigt, dass die TM der Grasanweilsilage bis zu einem Gehalt von 410 g/kg eine abnehmend positive Wirkung und ab höheren Gehalten mit großer Wahrscheinlichkeit eine zunehmend negative Wirkung auf die energiekorrigierte Milchleistung hat.

### 3.1.3 Beziehungen zwischen den Fermentationscharakteristika von Silagen und dem Milchfettgehalt sowie der Milchfettmenge

In Tabelle 3.5 sind die festgestellten signifikanten Beziehungen ( $p < 0,05$ ) zwischen einzelnen Fermentationsprodukten, dem TM- bzw. OM-Gehalt und dem Milchfettgehalt bei allen Silagearten dargestellt. Es wurde kein signifikanter Einfluss des Gehaltes an Buttersäure, Ammoniak-N im Gesamt-N und löslichen Stickstoffverbindungen auf den Milchfettgehalt festgestellt ( $p > 0,05$ ). Der OM-Gehalt erklärte den höchsten Anteil an der Gesamtvariation im Milchfettgehalt, gefolgt vom TM-Gehalt (15 und 12 %). Das Ausmaß der Fermentation (Gehalte an organischen Säuren) hatte insgesamt einen negativen Einfluss auf den Milchfettgehalt. Die relativ niedrigen  $R^2_{adj}(Exp)$ -Werte deuten auf schwache Beziehungen zwischen den Charakteristika der Silagen und dem Milchfettgehalt hin. Die Annahme, dass die TM mit steigendem Gehalt eine abnehmend positive Wirkung hat, führte zu einer leichten Verbesserung der Schätzung, was sich in den höheren  $R^2$ -

### Kapitel III

Werten widerspiegelte. Die festgestellte quadratische Beziehung zwischen dem pH-Wert der Silage und dem Milchfettgehalt zeigt, dass der Einfluss des pH-Wertes der Silage auf den Milchfettgehalt ab dem Wert von 4,51 zunehmend negativ wird.

**Tabelle 3.5:** Beziehungen zwischen einzelnen Fermentationsparametern (FP) aller Silagearten und dem Milchfettgehalt (g/kg Milch) ( $y = a + b \times FP + c \times FP^2$ )

Fermentationsprodukt	a	b	c	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> (Exp)	RMSE <sub>exp</sub>	R <sup>2</sup> (FP)
TM g/kg	39,3	0,005		0,08	1,16	0,12
ln(TM)	30,9	1,757		0,13	1,15	0,13
OM g/kg	39,1	0,007		0,09	1,21	0,15
pH + pH <sup>2</sup>	1,32	17,66	- 1,96	0,13	1,15	0,06
MS g/kg TM	41,8	- 0,014		0,18	1,11	0,03
ES g/kg TM	41,4	- 0,040		0,16	1,12	0,05
ln(PS)	40,5	- 0,394		0,18	1,00	0,05
KKFS g/kg TM	41,3	- 0,031		0,18	1,05	0,05
GS g/kg TM	42,3	- 0,016		0,26	1,09	0,06
WLK g/kg TM	39,9	0,017		0,19	1,13	0,00

a: Konstante; b und c: Regressionskoeffizienten; R<sup>2</sup><sub>adj</sub>(Exp): um den Effekt des Versuches bereinigtes Bestimmtheitsmaß; RMSE<sub>exp</sub>: um den Effekt des Versuches bereinigte Standardabweichung der Residuen; R<sup>2</sup>(FP): Bestimmtheitsmaß für den Effekt des Fermentationsproduktes; TM: Trockenmasse; ln: natürlicher Logarithmus; OM: Gehalt an organischer Masse; MS: Milchsäuregehalt; ES: Essigsäuregehalt; BS: Buttersäuregehalt; PS: Propionsäuregehalt, g/kg TM; KKFS: Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren; GS: Gesamtsäuregehalt; WLK: Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten

Bei ausschließlicher Betrachtung der Grasanwelksilagen wurden folgende Beziehungen zwischen einzelnen Fermentationsprodukten, dem TM- bzw. OM-Gehalt und dem Milchfettgehalt festgestellt (Tabelle 3.6). Der OM-Gehalt erklärte den höchsten Anteil an der Gesamtvariation des Milchfettgehaltes, wenn eine logarithmische Beziehung zwischen der organischen Masse der Grasanwelksilage und dem Milchfettgehalt angenommen wurde. Mit steigenden Gehalten wies Buttersäure eine zunehmend negative Wirkung auf den Milchfettgehalt auf, während Ammoniak-N bis zu einem Gehalt von 95 g/kg N eine abnehmende negative und ab 95 g/kg N eine zunehmend positive Wirkung aufwies. Buttersäuregehalt und Ammoniak-N erklärten aber nur sehr geringe Anteile an der Gesamtvariation im Milchfettgehalt (5 und 8 %), was bedeutet, dass die Unterschiede im Milchfettgehalt in erster Linie durch die Varianz zwischen den Versuchen (zufälliger Effekt des Versuches) verursacht wurden.

**Tabelle 3.6:** Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsparametern (FP) der Grasanwelksilagen und dem Milchfettgehalt (g/kg Milch) ( $y = a + b \times FP + c \times FP^2$ )

Fermentationsprodukt	a	b	c	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> (Exp)	RMSE <sub>exp</sub>	R <sup>2</sup> (FP)
TM + TM <sup>2</sup>	23,2	0,101	- 0,0001	0,49	0,89	0,18
ln(OM)	9,7	5,705		0,59	0,91	0,20
pH + pH <sup>2</sup>	- 30,0	32,52	- 3,65	0,33	0,85	0,12
BS <sup>2</sup>	41,8		- 0,0152	0,40	0,87	0,08
NH <sub>3</sub> + NH <sub>3</sub> <sup>2</sup>	44,7	- 0,076	0,0004	0,22	0,82	0,05

a: Konstante; b und c: Regressionskoeffizienten; R<sup>2</sup><sub>adj</sub>(Exp): um den Effekt des Versuches bereinigtes Bestimmtheitsmaß; RMSE<sub>exp</sub>: um den Effekt des Versuches bereinigte Standardabweichung der Residuen; R<sup>2</sup>(FP): Bestimmtheitsmaß für den Effekt des Fermentationsproduktes; TM: Trockenmasse g/kg; ln: natürlicher Logarithmus; OM: Gehalt an organischer Masse g/kg TM; BS: Buttersäuregehalt g/kg TM; NH<sub>3</sub>: Ammoniak-Stickstoff im Gesamtstickstoff, g

Es wurden quadratische Beziehungen zwischen der Trockenmasse sowie dem pH-Wert der Silage und dem Milchfettgehalt festgestellt. Der Milchfettgehalt stieg bis zu einem Trockenmassegehalt von 505 g/kg und einem pH-Wert von 4,45 an. Höhere Werte führten zu einer Verringerung des Milchfettgehaltes. Es wurden keine signifikanten Beziehungen zwischen den Gehalten an Milch-, Essig-, Propionsäure, Gesamtsäuregehalt sowie dem Gehalt an löslichen Stickstoffverbindungen und dem Milchfettgehalt festgestellt ( $p > 0,05$ ). In Tabelle 3.7 sind die signifikanten Beziehungen ( $p < 0,05$ ) zwischen einzelnen Fermentationsprodukten, dem Gehalt an TM bzw. OM und der Milchfettmenge bei allen Silagearten dargestellt. Bei Annahme einer logarithmischen Beziehung zwischen der OM der Grasanwelksilage und dem Milchfettgehalt erklärte der Gehalt an OM den höchsten Anteil an der Gesamtvariation des Milchfettgehaltes. Die Annahme, dass die positive Wirkung der Trockenmasse der Silage mit steigendem Gehalt abnimmt, führte zur Verbesserung der Schätzung der um den zufälligen Einfluss des Versuches korrigierten Milchfettmenge. Der negative Einfluss des Essigsäure- und Ammoniak-N-Gehaltes sowie der Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren war schwach ausgeprägt sowohl bei der tatsächlich beobachteten (R<sup>2</sup><sub>adj</sub>-Wert 0,00 - 0,07), als auch bei der um den zufälligen Einfluss des Versuches korrigierten Milchfettmenge (R<sup>2</sup><sub>adj</sub>-Wert 0,06 - 0,07). Von allen Fermentationsprodukten war die negative Wirkung des Gehaltes an löslichen Stickstoffverbindungen und dem Gesamtsäuregehalt am deutlichsten ausgeprägt (höchste R<sup>2</sup>-Werte sowohl für das Modell mit der korrigierten Milchfettmenge als abhängige Variable als auch für das Modell mit der tatsächlich beobachteten Milchmenge).

**Tabelle 3.7:** Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsparametern (FP) aller Silagearten und der Milchfettmenge (g/Tag) ( $y = a + b \times FP + c \times FP^2$ )

Fermentationsprodukt	a	b	c	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> (Exp)	RMSE <sub>exp</sub>	R <sup>2</sup> (FP)
TM g/kg	909	0,25		0,11	47	0,17
ln(TM)	253	131		0,32	44	0,17
ln(OM)	249	136		0,34	44	0,21
pH + pH <sup>2</sup>	- 764	792	- 89	0,12	47	0,09
MS g/kg TM	1018	- 0,51		0,13	46	0,05
ES g/kg TM	997	- 1,07		0,07	47	0,03
KKFS g/kg TM	994	- 0,79		0,07	47	0,02
GS g/kg TM	1038	- 0,57		0,19	46	0,07
WLK g/kg TM	933	0,89		0,29	46	0,01
NH <sub>3</sub> -N g/kg N	1000	- 0,26		0,06	46	0,00
Lösl. N g/kg N	1544	- 0,93		0,60	54	0,07

a: Konstante; b und c: Regressionskoeffizienten; R<sup>2</sup><sub>adj</sub>(Exp): um den Effekt des Versuches bereinigtes Bestimmtheitsmaß; RMSE<sub>exp</sub>: um den Effekt des Versuches bereinigte Standardabweichung der Residuen; R<sup>2</sup>(FP): Bestimmtheitsmaß für den Effekt des Fermentationsproduktes; TM: Trockenmasse; ln: natürlicher Logarithmus; OM: Gehalt an organischer Masse, g/kg TM; MS: Milchsäuregehalt; ES: Essigsäuregehalt; KKFS: Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren; GS: Gesamtsäuregehalt; WLK: Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten; NH<sub>3</sub>-N: Gehalt an Ammoniak-Stickstoff im Gesamtstickstoff; Lösl. N: Gehalt an löslichen Stickstoffverbindungen im Gesamtstickstoff

Die festgestellte quadratische Beziehung zwischen dem pH-Wert der Silage und der Milchfettmenge zeigt, dass eine Verfütterung von Silagen mit einem pH-Wert größer als 4,45 eine Senkung der Milchfettmenge zur Folge hatte.

Bei ausschließlicher Betrachtung der Grasanwelksilagen wurden folgende signifikante Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten, dem Gehalt an TM bzw. OM und der Milchfettmenge festgestellt (Tabelle 3.8). Der OM-Gehalt in der Frischsubstanz erklärte den höchsten Anteil an der Gesamtvariation der Milchfettmenge (20 %). Bei Korrektur der Milchfettmenge um den zufälligen Einfluss des Versuches hatte das Modell mit der OM als Einflussfaktor ebenfalls das höchste Bestimmtheitsmaß. Der natürliche Logarithmus des Gehaltes an Ammoniak-N im Gesamt-N erwies sich als ein guter Parameter für die Schätzung der täglichen Milchfettmenge. Der negative Einfluss des Ammoniak-N auf die Milchfettmenge zeigte mit steigendem Gehalt eine abnehmende Wirkung.

**Tabelle 3.8:** Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsparametern (FP) der Grasanwelksilagen und der Milchfettmenge (g/Tag) ( $y = a + b \times FP + c \times FP^2$ )

Fermentationsprodukt	a	b	c	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> (Exp)	RMSE <sub>exp</sub>	R <sup>2</sup> (FP)
TM + TM <sup>2</sup>	228	4,15	- 0,0051	0,49	44	0,14
OM g/kg TM	723	1,06		0,66	44	0,20
pH + pH <sup>2</sup>	- 2611	1637	- 183	0,34	43	0,10
BS g/kg TM	1041	- 14,29		0,51	43	0,09
KKFS g/kg TM	1053	- 2,36		0,31	44	0,07
ln(NH <sub>3</sub> -N)	1524	- 115,8		0,49	40	0,15

a: Konstante; b und c: Regressionskoeffizienten; R<sup>2</sup><sub>adj</sub>(Exp): um den Effekt des Versuches bereinigtes Bestimmtheitsmaß; RMSE<sub>exp</sub>: um den Effekt des Versuches bereinigte Standardabweichung der Residuen; R<sup>2</sup>(FP): Bestimmtheitsmaß für den Effekt des Fermentationsproduktes; TM: Trockenmasse, g/kg; ln: natürlicher Logarithmus; OM: Gehalt an organischer Masse; BS: Buttersäuregehalt; KKFS: Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren; NH<sub>3</sub>-N: Gehalt an Ammoniak-Stickstoff im Gesamtstickstoff, g

Die quadratischen Beziehungen zwischen dem Trockenmassegehalt sowie dem pH-Wert der Silage und dem Milchfettgehalt zeigen, dass die Verfütterung von Silage mit einem Trockenmassegehalt bis zu 407 g/kg oder einem pH-Wert bis zu 4,47 zu steigenden Milchfettmengen führte. Eine Verfütterung von Silage mit höheren TM-Gehalten und höheren pH-Werten verursachte eine Abnahme der Milchfettmenge.

### 3.1.4 Beziehungen zwischen den Fermentationscharakteristika von Silagen und dem Milchproteingehalt sowie der Milchproteinmenge

Die signifikanten Beziehungen ( $p < 0,05$ ) zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten, dem Gehalt an Trockenmasse bzw. organischer Masse und dem Milchproteingehalt bei allen Silagearten sind in Tabelle 3.9 dargestellt. Der OM-Gehalt in der Frischsubstanz und der TM-Gehalt erklärten die höchsten Anteile an der Gesamtvariation des Milchproteingehaltes sowohl im Modell mit dem tatsächlich beobachteten als auch mit dem um den zufälligen Effekt des Versuches korrigierten Milchproteingehalt als abhängige Variable. Die ermittelten Beziehungen bedeuten, dass die positive Wirkung der OM- und TM-Gehalte mit steigenden Gehalten abnimmt. Die ermittelte quadratische Beziehung zwischen dem pH-Wert der Silage und dem Milchproteingehalt gibt einen Hinweis darauf, dass eine Verfütterung von Silagen mit einem pH-Wert bis zu 4,28 einen steigenden und ab höheren Werten einen sinkenden Milchproteingehalt zu Folge hat.

**Tabelle 3.9:** Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsparametern (FP) aller Silagearten und dem Milchproteingehalt (g/kg Milch) ( $y = a + b \times FP + c \times FP^2$ )

Fermentationsprodukt	a	b	c	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> (Exp)	RMSE <sub>exp</sub>	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> (FP)
ln(TM)	18,8	2,252		0,52	0,50	0,20
ln(OM)	17,0	2,643		0,57	0,54	0,26
pH + pH <sup>2</sup>	- 6,1	17,59	- 2,054	0,24	0,57	0,07
ES g/kg TM	32,0	- 0,036		0,43	0,50	0,03
PS g/kg TM	31,5	- 0,139		0,32	0,53	0,03
KKFS g/kg TM	31,9	- 0,027		0,43	0,50	0,03
GS g/kg TM	32,0	- 0,007		0,19	0,56	0,02
WLK g/kg TM	31,1	0,014		0,39	0,58	0,04
MS/GS	29,7	2,068		0,39	0,50	0,01
NH <sub>3</sub> -N g/kg N	31,7	- 0,005		0,12	0,57	0,00

a: Konstante; b und c: Regressionskoeffizienten; R<sup>2</sup><sub>adj</sub>(Exp): um den Effekt des Versuches bereinigtes Bestimmtheitsmaß; RMSE<sub>exp</sub>: um den Effekt des Versuches bereinigte Standardabweichung der Residuen; R<sup>2</sup>(FP): Bestimmtheitsmaß für den Effekt des Fermentationsproduktes; TM: Trockenmasse, g/kg; ln: natürlicher Logarithmus; OM: Gehalt an organischer Masse, g/kg; ES: Essigsäuregehalt; PS: Propionsäuregehalt; KKFS: Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren; GS: Gesamtsäuregehalt, g/kg TM; WLK: Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten; MS/GS: Verhältnis des Milchsäuregehaltes zum Gesamtsäuregehalt; NH<sub>3</sub>-N: Ammoniak-Stickstoff im Gesamtstickstoff, g

Obwohl signifikante negative Einflüsse zwischen den Gehalten an Essigsäure, Propionsäure, Gesamtsäure und Ammoniak-N auf den Milchproteingehalt festgestellt wurden, erklärten diese Fermentationsprodukte nur sehr geringe Anteile (0 - 3 %) an der Gesamtvariation des Milchproteingehaltes. Diese geringen Anteile an der Gesamtvarianz, die durch die Fermentationsprodukte erklärt wurden, bedeuten, dass die Unterschiede im Milchproteingehalt in erster Linie durch die Varianz zwischen den Versuchen (zufälliger Effekt des Versuches) verursacht wurden. Es wurde ein positiver Einfluss des Gehaltes an wasserlöslichen Kohlenhydraten und des Fermentationsmusters auf die Milchproteinmenge festgestellt, der ebenfalls stark dem zufälligen Einfluss des Versuches unterlag.

Bei ausschließlicher Betrachtung der Grasanwelksilagen wurden folgende signifikante Beziehungen zwischen einzelnen Fermentationsprodukten, dem Gehalt an Trockenmasse bzw. organischer Masse und dem Milchproteingehalt festgestellt (Tabelle 3.10):

### Kapitel III

**Tabelle 3.10:** Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsparametern (FP) der Grasanwelksilagen und dem Milchproteingehalt (g/kg Milch) ( $y = a + b \times FP + c \times FP^2$ )

Fermentationsprodukt	a	b	c	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> (Exp)	RMSE <sub>exp</sub>	R <sup>2</sup> (FP)
TM + TM <sup>2</sup>	19,5	0,0065	- 0,00008	0,82	0,39	0,27
ln(OM)	10,0	3,967		0,80	0,36	0,32
pH + pH <sup>2</sup>	- 3,34	16,277	- 1,857	0,24	0,47	0,17
ES	32,6	- 0,031		0,33	0,41	0,00
ln(BS)	32,1	- 0,310		0,45	0,43	0,04
PS <sup>2</sup>	32,2		- 0,0296	0,39	0,47	0,04
KKFS <sup>2</sup>	32,3		- 0,00043	0,32	0,46	0,02
NH <sub>3</sub> + NH <sub>3</sub> <sup>2</sup>	34,8	- 0,055	0,00025	0,40	0,44	0,08
Eth + Eth <sup>2</sup>	33,6	- 0,324	0,0144	0,44	0,29	0,00

a: Konstante; b und c: Regressionskoeffizienten; R<sup>2</sup><sub>adj</sub>(Exp): um den Effekt des Versuches bereinigtes Bestimmtheitsmaß; RMSE<sub>exp</sub>: um den Effekt des Versuches bereinigte Standardabweichung der Residuen; R<sup>2</sup>(FP): Bestimmtheitsmaß für den Effekt des Fermentationsproduktes; TM: Trockenmasse, g/kg; ln: natürlicher Logarithmus; OM: Gehalt an organischer Masse, g/kg; ES: Essigsäuregehalt, g/kg TM; BS: Buttersäure, g/kg TM; PS: Propionsäuregehalt, g/kg TM; KKFS: Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren, g/kg TM; NH<sub>3</sub>: Ammoniak-Stickstoff im Gesamtstickstoff, g; Eth: Ethanol, g/kg TM

Der Gehalt an OM in der Frischsubstanz und der TM-Gehalt der Grasanwelksilagen erklärten die höchsten Anteile an der Gesamtvariation des Milchproteingehaltes. Diese Beziehungen wurden noch enger, wenn der beobachtete Milchproteingehalt um den zufälligen Einfluss des Versuches korrigiert wurde. Die positive Wirkung der organischen Masse nahm mit steigendem Gehalt ab. Die quadratischen Beziehungen zwischen dem TM-Gehalt und dem pH-Wert der Grasanwelksilage bedeuten, dass eine Verfütterung von Grasanwelksilage mit einem Trockenmassegehalt bis zu 404 g/kg oder einem pH-Wert bis zu 4,38 einen steigenden und ab höheren Werten einen sinkenden Milchproteingehalt zur Folge hatte. Es wurden keine signifikanten Beziehungen zwischen den Gehalten an Milchsäure, Gesamtsäure, wasserlöslichen Kohlenhydraten sowie dem Gehalt an löslichen Stickstoffverbindungen und dem Milchproteingehalt festgestellt ( $p > 0,05$ ). Andere Fermentationsprodukte erklärten keine oder nur sehr geringe Anteile (0 - 8 %) an der Gesamtvariation des Milchproteingehaltes. Diese geringen Anteile an der Gesamtvarianz, die durch die Fermentationsprodukte erklärt wurden, bedeuten, dass die Unterschiede im Milchproteingehalt in erster Linie durch die Varianz zwischen den Versuchen (zufälliger Effekt des Versuches) verursacht wurden.

### Kapitel III

In Tabelle 3.11 sind die festgestellten signifikanten Beziehungen ( $p < 0,05$ ) zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten, dem TM – und OM-Gehalt und der Milchproteinmenge bei allen Silagearten dargestellt.

**Tabelle 3.11:** Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsparametern (FP) aller Silagearten und der Milchproteinmenge (g/Tag) ( $y = a + b \times FP + c \times FP^2$ )

Fermentationsprodukt	a	b	c	$R^2_{adj}(\text{Exp})$	$RMSE_{exp}$	$R^2(\text{FP})$
ln(TM)	108	116,8		0,40	33	0,18
ln(OM)	133	115,5		0,37	35	0,21
pH + pH <sup>2</sup>	- 704	686,8	- 80,28	0,11	35	0,01
ln(ES)	808	- 19,94		0,14	36	0,01
BS <sup>2</sup>	756		- 0,058	0,04	36	0,00
PS <sup>2</sup>	757	- 0,177	- 0,177	0,05	36	0,00
KKFS	773	- 0,733		0,10	36	0,01
GS	788	- 0,302		0,10	36	0,05
WLK	731	0,649		0,30	33	0,01
ln(NH <sub>3</sub> )	872	- 26,52		0,17	32	0,00
Lösl. N	1003	- 0,412		0,42	35	0,00

a: Konstante; b und c: Regressionskoeffizienten;  $R^2_{adj}(\text{Exp})$ : um den Effekt des Versuches bereinigtes Bestimmtheitsmaß;  $RMSE_{exp}$ : um den Effekt des Versuches bereinigte Standardabweichung der Residuen;  $R^2(\text{FP})$ : Bestimmtheitsmaß für den Effekt des Fermentationsproduktes; TM: Trockenmasse, g/kg; ln: natürlicher Logarithmus; OM: Gehalt an organischer Masse, g/kg; ES: Essigsäuregehalt, g/kg TM; BS: Buttersäuregehalt, g/kg TM; PS: Propionsäuregehalt, g/kg TM; KKFS: Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren, g/kg TM; GS: Gesamtsäuregehalt, g/kg TM; WLK: Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten, g/kg TM; NH<sub>3</sub> - N: Ammoniak-Stickstoff im Gesamtstickstoff, g; Lösl. N: lösliche Stickstoffverbindungen im Gesamtstickstoff, g

Die Gehalte an OM und TM waren die am besten geeigneten Einzelvariablen für die Schätzung der täglichen Milchproteinmenge, wenn eine konzentrationsabhängige Wirkung angenommen wurde. Der positive Einfluss nahm mit steigenden Gehalten ab. Es wurde kein signifikanter Einfluss der Milchsäure auf die Milchproteinmenge festgestellt ( $p > 0,05$ ). Obwohl signifikante Einflüsse anderer Fermentationsprodukte festgestellt wurden, erklärten diese Fermentationsprodukte keine oder nur sehr geringe Anteile (0 - 5 %) an der Gesamtvariation der Milchproteinmenge. Die  $R^2_{adj}(\text{Exp})$ -Werte lagen im niedrigen bis mittleren Bereich (0,04 - 0,40), wenn die beobachtete Milchproteinmenge um den zufälligen Einfluss des Versuches korrigiert wurde. Die quadratische Beziehung des pH-

### Kapitel III

Wertes der Silage auf die Milchproteinmenge zeigt, dass die zunächst abnehmende positive Wirkung des pH-Wertes ab dem Wert von 4,28 zunehmend negativ wurde.

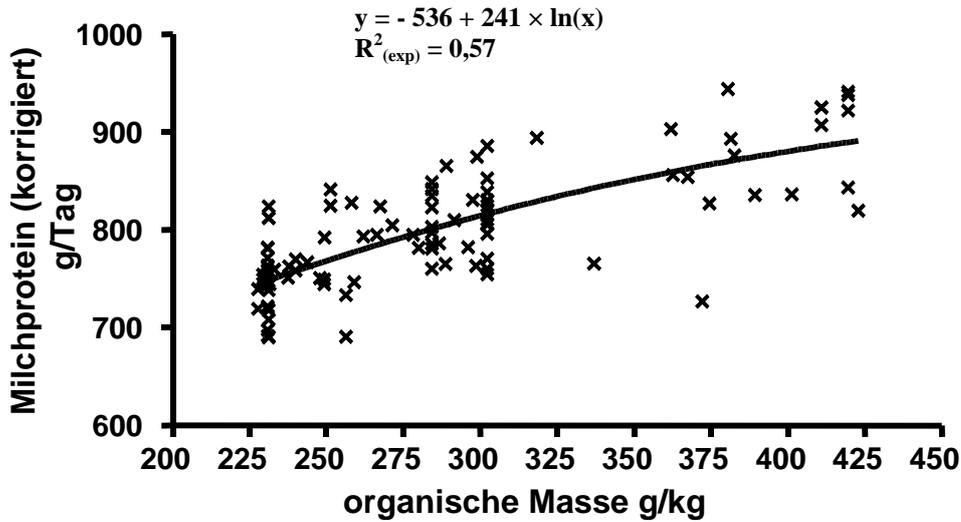
Es wurden folgende signifikante Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten, dem Gehalt an TM bzw. OM und der Milchproteinmenge bei ausschließlicher Betrachtung der Grasanwelksilagen festgestellt (Tabelle 3.12):

**Tabelle 3.12:** Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsparametern (FP) der Grasanwelksilagen und der Milchproteinmenge (g/Tag) ( $y = a + b \times FP + c \times FP^2$ )

Fermentationsprodukt	a	b	c	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> (Exp)	RMSE <sub>exp</sub>	R <sup>2</sup> (FP)
TM + TM <sup>2</sup>	174	3,104	- 0,0036	0,52	39	0,14
ln(OM)	- 563	241,0		0,57	40	0,20
pH + pH <sup>2</sup>	- 1564	1065	- 120,0	0,19	40	0,07
ln(BS)	781	- 20,37		0,32	32	0,03
KKFS	811	- 1,779		0,25	38	0,01
MS/GS	578	246,7		0,29	37	0,00
ln(NH <sub>3</sub> )	1252	- 106,5		0,54	33	0,12

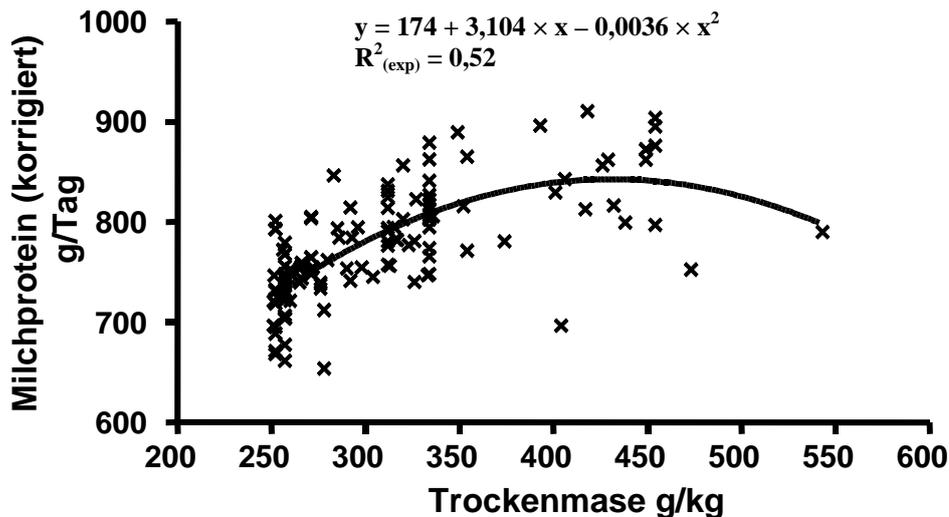
a: Konstante; b und c: Regressionskoeffizienten; R<sup>2</sup><sub>adj</sub>(Exp): um den Effekt des Versuches bereinigtes Bestimmtheitsmaß; RMSE<sub>exp</sub>: um den Effekt des Versuches bereinigte Standardabweichung der Residuen; R<sup>2</sup>(FP): Bestimmtheitsmaß für den Effekt des Fermentationsproduktes; TM: Trockenmasse, g/kg; ln: natürlicher Logarithmus; OM: Gehalt an organischer Masse, g/kg; BS: Buttersäuregehalt, g/kg TM; KKFS: Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren, g/kg TM; MS/GS: Verhältnis des Milchsäuregehaltes zum Gesamtsäuregehalt; NH<sub>3</sub>: Ammoniak-Stickstoff im Gesamtstickstoff, g

Die Gehalte an OM und TM waren die am besten geeigneten Einzelvariablen für die Schätzung der täglichen Milchproteinmenge. Der positive Einfluss der organischen Masse war mit steigenden Gehalten abnehmend positiv (Abbildung 3.2). Die festgestellten quadratischen Beziehungen zwischen dem Trockenmassegehalt sowie dem pH-Wert der Grasanwelksilage und der Milchproteinmenge deuten darauf hin, dass eine Verfütterung von Grasanwelksilage ab einem Trockenmassegehalt von 431 g/kg oder einem pH-Wert von 4,44 eine abnehmende Milchproteinmenge zur Folge hat. Diese Beziehung war für den TM-Gehalt deutlicher ausgeprägt als für den pH-Wert, was sich in den höheren R<sup>2</sup><sub>adj</sub>-Werten widerspiegelte.



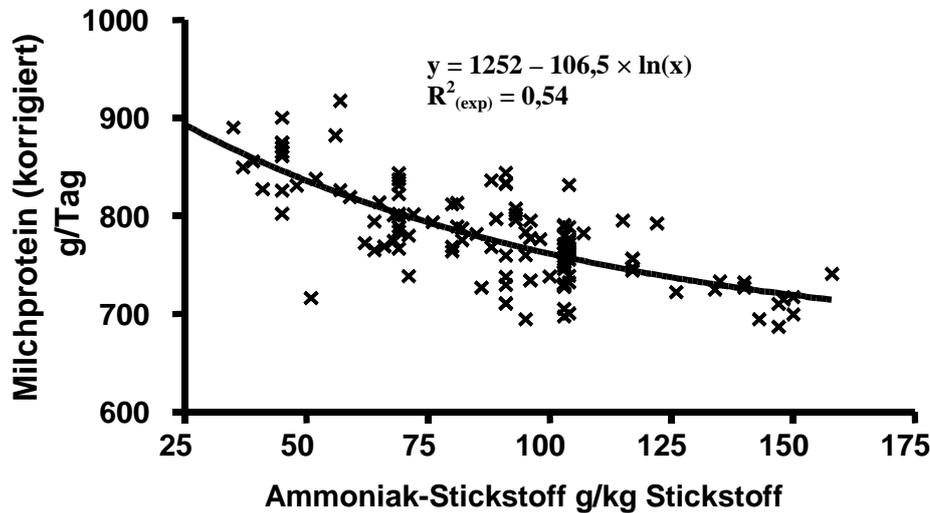
**Abbildung 3.2:** Einfluss der organischen Masse der Grasanweklsilagen auf die Milchproteinmenge (korrigiert um den zufälligen Einfluss des Versuches)

In Abbildung 3.3 ist die tägliche Milchproteinmenge, die um den zufälligen Effekt des Versuches korrigiert wurde, in Abhängigkeit von dem Trockenmassegehalt der Grasanweklsilage grafisch dargestellt.



**Abbildung 3.3:** Einfluss der Trockenmasse der Grasanweklsilagen auf die Milchproteinmenge (korrigiert um den zufälligen Einfluss des Versuches)

Es wurde ein deutlicher negativer Einfluss des Gehaltes an Ammoniak-N im Gesamt-N auf die Milchproteinmenge festgestellt. Die negative Wirkung des Ammoniak-N auf die Milchproteinmenge nahm mit steigenden Gehalten ab (Abbildung 3.4):



**Abbildung 3.4:** Einfluss des Ammoniakgehaltes der Grasanweilksilagen auf die Milchproteinmenge (korrigiert um den zufälligen Einfluss des Versuches)

## 3.2 Gesamtmischrationen

### 3.2.1 Struktur der Datenbasis

Die Verteilung der verschiedenen Silagearten innerhalb der Datenbasis, auf deren Grundlage die Meta-Analyse durchgeführt wurde, die Aufteilung der Datenbasis auf die Länder, in denen die Versuche durchgeführt wurden, sowie die Fermentationscharakteristika der Silagen wurden in Tabelle 2.15, 2.16, und 2.17 im Kapitel II der vorliegenden Arbeit dargestellt (siehe Seiten 36 - 37). In Tabelle 3.13 ist die Struktur der Datenbasis hinsichtlich der Körpergewicht der Kühe, der Fütterung sowie der Milchleistung und -zusammensetzung dargestellt.

Die Daten wiesen eine große Variabilität auf. Die Durchschnittswerte für die Körpergewicht der Kühe, Gesamtfutteraufnahme, Milchmenge und Menge an Milchinhaltstoffen lagen auf einem relativ hohen Niveau.

**Tabelle 3.13:** Struktur der Datenbasis (Gesamtmischrationen)

Variable	Anzahl Datensätze	Mittelwert	SD	Min	Max
Körpergewicht der Kühe kg	47	631	43,0	527	695
Gesamtfuttermenge kg TM	63	22,1	3,6	14,5	28,6
Konzentratfutteranteil %	63	43,4	14,3	5,5	80
Milchmenge kg	63	31,2	7,9	14,5	49,3
ECM kg	63	30,3	7,2	14,2	45,4
Fett %	63	3,82	0,39	3,04	4,74
Protein %	63	3,22	0,29	2,63	3,72
Fett g/Tag	63	1187	302	560	1810
Protein g/Tag	63	990	209	470	1430

SD: Standardabweichung; Min: minimaler Wert; Max: maximaler Wert; TM: Trockenmasse; ECM: energiekorrigierte Milchmenge

### 3.2.2 Beziehungen zwischen den Gehalten an Fermentationsprodukten und der Milchleistung von Kühen

Die Beziehungen zwischen den Fermentationsprodukten und der Milchmenge wiesen insgesamt höhere  $R^2$ - und RMSE-Werte auf im Vergleich zu den Beziehungen zwischen den Fermentationsprodukten und der ECM-Menge (ohne Darstellung). Die signifikanten Beziehungen ( $p < 0,05$ ) zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten und der täglichen Milchmenge sind in Tabelle 3.14 dargestellt. Es wurde bei allen Fermentationsprodukten ein signifikanter negativer Einfluss auf die tägliche Milchmenge festgestellt. Der Gesamtsäuregehalt war die am besten geeignete Einzelvariable für die Schätzung der Milchmenge ( $R^2(\text{FP}) = 0,28$ ). Die Annahme, dass die negative Wirkung der Essigsäure mit steigendem Gehalt abnimmt, führte zur Verbesserung der Schätzung der Milchmenge, was sich in höheren Bestimmtheitsmaßen widerspiegelte. Der natürliche Logarithmus des Essigsäure- oder des Gesamtsäuregehaltes erklärte 28 % an der Gesamtvariation der täglichen Milchmenge. Höhere  $R^2_{\text{adj}}(\text{Exp})$ -Werte im Vergleich zu dem Datensatz für getrennte Vorlage der Rationsbestandteile deuten auf eine stärker ausgeprägte Wirkung der Fermentationsprodukte auf die Milchmenge hin. Obwohl signifikante Einflüsse der Gehalte an Butter- und Propionsäure festgestellt wurden, erklärten diese Fermentationsprodukte keine oder nur sehr geringe Anteile (0 - 7 %) an der Gesamtvariation der Milchmenge.

**Tabelle 3.14:** Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten (FP g/kg Trockenmasse der Gesamtmischung) und der täglichen Milchmenge (kg) ( $y = a + b \times \text{FP}$ )

Fermentationsprodukt	a	b	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> (Exp)	RMSE <sub>exp</sub>	R <sup>2</sup> (FP)
MS	35,8	- 0,193	0,83	1,31	0,21
ln(MS)	50,4	- 6,226	0,86	1,31	0,17
ES	33,2	- 0,346	0,77	1,32	0,17
ln(ES)	41,0	- 5,330	0,89	1,30	0,28
BS	30,9	- 1,420	0,66	1,53	0,03
PS	30,4	- 1,006	0,59	1,47	0,00
ln(PS)	27,7	- 1,790	0,75	1,51	0,07
KKFS	32,8	- 0,264	0,76	1,33	0,14
ln(KKFS)	41,6	- 5,273	0,90	1,30	0,27
GS	35,2	- 0,128	0,79	1,30	0,28
ln(GS)	54,2	- 6,671	0,85	1,30	0,27
NH <sub>3</sub> -N g/kg N	32,0	- 0,089	0,85	1,30	0,12
NH <sub>3</sub> -N g/kg TM	31,4	- 2,408	0,79	1,42	0,11

a: Konstante; b: Regressionskoeffizient; R<sup>2</sup><sub>adj</sub>(Exp): um den zufälligen Effekt des Versuches bereinigtes Bestimmtheitsmaß; RMSE<sub>exp</sub>: um den zufälligen Effekt des Versuches bereinigte Standardabweichung der Residuen; R<sup>2</sup>(FP): Bestimmtheitsmaß für den Effekt des Fermentationsproduktes; ln: natürlicher Logarithmus; MS: Milchsäuregehalt, g/kg Trockenmasse (TM); ES: Essigsäuregehalt g/kg TM; BS: Buttersäuregehalt, g/kg TM; PS: Propionsäuregehalt, g/kg TM; KKFS: Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren g/kg TM; GS: Gesamtsäuregehalt g/kg TM; NH<sub>3</sub>-N: Gehalt an Ammoniak-Stickstoff im Gesamtstickstoff bzw. in der Trockenmasse der Gesamtmischung, g

In diesem Fall wurden die Unterschiede bei der Milchmenge in erster Linie durch die Varianz zwischen den Versuchen (zufälliger Effekt des Versuches) verursacht. Der Einfluss des Ammoniak-N bezogen auf die Trockenmasse der Ration war schwächer ausgeprägt im Vergleich zum Ammoniak-N bezogen auf den Gesamt-N der Ration.

### 3.2.3 Beziehungen zwischen den Gehalten an Fermentationsprodukten und dem Milchfettgehalt sowie der Milchfettmenge

In Tabelle 3.15 sind die festgestellten signifikanten Beziehungen ( $p < 0,05$ ) zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten und dem Milchfettgehalt dargestellt.

**Tabelle 3.15:** Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten (FP g/kg Trockenmasse der Gesamtmischung) und dem Milchfettgehalt (g/kg Milch) ( $y = a + b \times \text{FP}$ )

Fermentationsprodukt	a	b	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> (Exp)	RMSE <sub>exp</sub>	R <sup>2</sup> (FP)
MS	33,59	0,155	0,67	1,60	0,33
ES	35,57	0,289	0,59	1,64	0,18
ln(BS)	39,81	1,270	0,49	1,95	0,13
ln(PS)	40,02	1,431	0,53	1,96	0,20
KKFS	35,76	0,233	0,61	1,64	0,17
GS	33,30	0,120	0,70	1,55	0,39

a: Konstante; b: Regressionskoeffizient; R<sup>2</sup><sub>adj</sub>(Exp): um den zufälligen Effekt des Versuches bereinigtes Bestimmtheitsmaß; RMSE<sub>exp</sub>: um den zufälligen Effekt des Versuches bereinigte Standardabweichung der Residuen; R<sup>2</sup>(FP): Bestimmtheitsmaß für den Effekt des Fermentationsproduktes; ln: natürlicher Logarithmus; MS: Milchsäuregehalt, g/kg Trockenmasse (TM); ES: Essigsäuregehalt, g/kg TM; BS: Buttersäuregehalt, g/kg TM; PS: Propionsäuregehalt, g/kg TM; KKFS: Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren, g/kg TM; GS: Gesamtsäuregehalt, g/kg TM

Mit Ausnahme des Ammoniaks wurden signifikante positive Beziehungen zwischen den Fermentationsprodukten und dem Milchfettgehalt festgestellt. Der Gesamtsäuregehalt erwies sich als am besten geeignete Variable für die Schätzung des Milchfettgehaltes. Die positive Wirkung von Butter- und Propionsäure nahm mit steigendem Gehalt ab.

Es wurden keine signifikanten Beziehungen zwischen den Fermentationsprodukten und der täglichen Milchfettmenge festgestellt ( $p > 0,05$ , ohne Darstellung).

### 3.2.4 Beziehungen zwischen den Gehalten an Fermentationsprodukten und dem Milchproteingehalt sowie der Milchproteinmenge

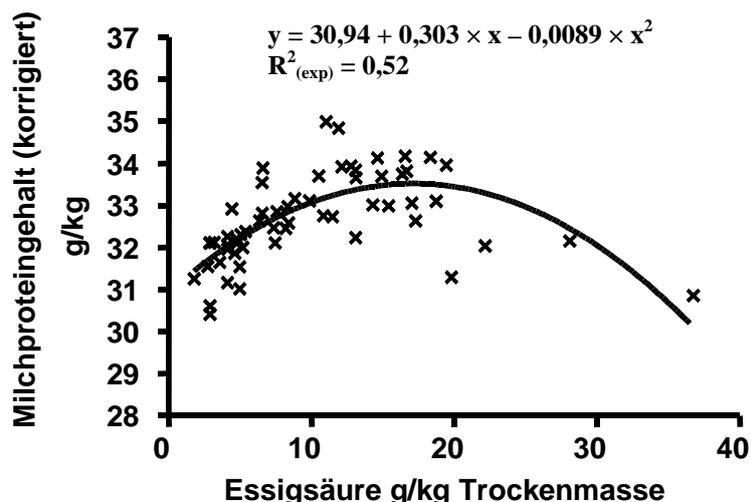
In Tabelle 3.16 sind die signifikanten Beziehungen ( $p < 0,05$ ) zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten und dem Milchproteingehalt dargestellt. Im Gegensatz zu den festgestellten linearen Beziehungen zwischen den Gehalten an Milch-, Essig-, Gesamtsäuren sowie KKFS und dem Milchfettgehalt, wiesen die Beziehungen zum Milchproteingehalt eine konzentrationsabhängige Wirkung auf. Der Essigsäuregehalt oder der Gehalt an KKFS erklärten 25 % der Gesamtvariation des Milchproteingehaltes.

**Tabelle 3.16:** Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten (FP g/kg Trockenmasse der Gesamtmischung) und dem Milchproteingehalt (g/kg Milch) ( $y = a + b \times FP + c \times FP^2$ )

Fermentationsprodukt	a	b	c	$R^2_{adj}(\text{Exp})$	$RMSE_{exp}$	$R^2(\text{FP})$
MS + MS <sup>2</sup>	30,66	0,129	- 0,0016	0,35	0,69	0,00
ES + ES <sup>2</sup>	30,94	0,303	- 0,0089	0,52	0,71	0,25
BS	33,18	- 0,489		0,58	0,63	0,00
KKFS + KKFS <sup>2</sup>	31,20	0,218	- 0,0051	0,50	0,69	0,25
GS <sup>2</sup>	33,23		- 0,0002	0,37	0,57	0,20
GS + GS <sup>2</sup>	28,64	0,175	- 0,0016	0,66	0,60	0,07
NH <sub>3</sub> -N	33,57	- 0,024		0,67	0,59	0,00

a: Konstante; b und c: Regressionskoeffizienten;  $R^2_{adj}(\text{Exp})$ : um den zufälligen Effekt des Versuches bereinigtes Bestimmtheitsmaß;  $RMSE_{exp}$ : um den zufälligen Effekt des Versuches bereinigte Standardabweichung der Residuen;  $R^2(\text{FP})$ : Bestimmtheitsmaß für den Effekt des Fermentationsproduktes; MS: Milchsäuregehalt, g/kg Trockenmasse (TM); ES: Essigsäuregehalt, g/kg TM; BS: Buttersäuregehalt g/kg TM; KKFS: Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren, g/kg TM; GS: Gesamtsäuregehalt, g/kg TM; NH<sub>3</sub>-N: Ammoniak-Stickstoff im Gesamtstickstoff, g

Die festgestellte quadratische Beziehung zwischen dem Essigsäuregehalt und dem Milchproteingehalt zeigt, dass der Einfluss der Essigsäure bis zu einem Gehalt von 17 g/kg TM in der Ration abnehmend positiv und ab höheren Werten zunehmend negativ war (Abbildung 3.5). Das Modell mit dem quadrierten Gesamtsäuregehalt als Regressionsvariable wies einen höheren  $R^2(\text{FP})$ -Wert auf als das Modell mit dem einfachen und quadrierten Gesamtsäuregehalt zusammen. Ein Vergleich der Verteilung der Residuen beider Modelle zeigte, dass die Residuen bei dem Modell mit dem quadrierten Gesamtsäuregehalt als Einzelparameter nicht normal verteilt waren. Aus diesem Grund sollte dem Modell mit dem einfachen Gesamtsäuregehalt und dem quadrierten Gehalt der Vorzug gegeben werden, wofür auch der höhere  $R^2_{adj}(\text{Exp})$ -Wert (0,60 vs. 0,37) spricht, wenn der Milchproteingehalt um den zufälligen Effekt des Versuches korrigiert wurde. Obwohl ein signifikanter Einfluss von Milchsäure- und Buttersäuregehalt sowie von Ammoniak-N auf den Milchproteingehalt festgestellt wurde, erklärten diese Parameter keinen Anteil an der Gesamtvariation des tatsächlich beobachteten Milchproteingehaltes, was bedeutet, dass die beobachteten Beziehungen in erster Linie versuchsabhängig waren.



**Abbildung 3.5:** Einfluss des Essigsäuregehaltes der Gesamtmischung auf den Milchproteingehalt (korrigiert um den zufälligen Einfluss des Versuches)

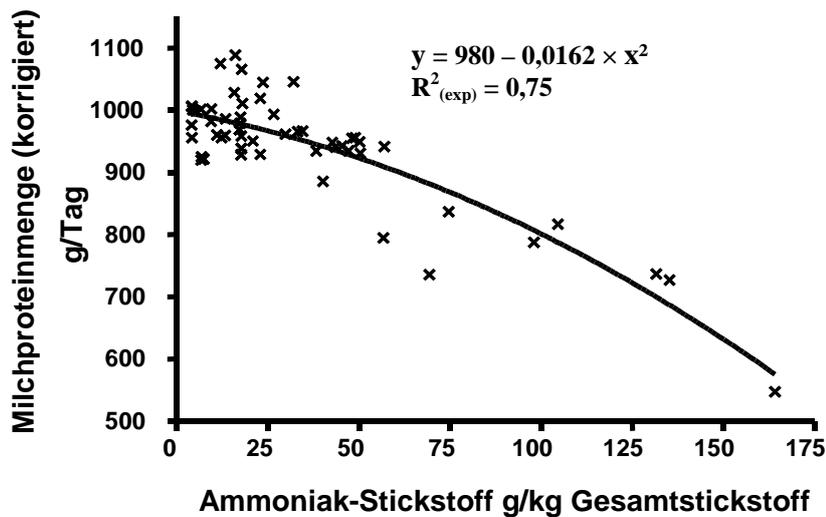
Es wurden folgende signifikante Beziehungen ( $p > 0,05$ ) zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten und der Milchproteinmenge festgestellt (Tabelle 3.17):

**Tabelle 3.17:** Beziehungen zwischen den einzelnen Fermentationsprodukten (FP g/kg Trockenmasse der Gesamtmischung) und der Milchproteinmenge (g/Tag) ( $y = a + b \times FP + c \times FP^2$ )

Fermentationsprodukt	a	b	c	$R^2_{adj}(Exp)$	$RMSE_{exp}$	$R^2(FP)$
MS <sup>2</sup>	1061		- 0,0804	0,87	34,1	0,14
ES	1104	- 14,096		0,89	33,8	0,07
BS <sup>2</sup>	977		- 5,029	0,48	54,6	0,06
PS	993	- 44,032		0,74	44,3	0,00
KKFS	1088	- 10,916		0,89	34,4	0,06
GS	1173	- 4,883		0,91	30,0	0,18
(NH <sub>3</sub> -N) <sup>2</sup>	980		- 0,0162	0,75	48,9	0,15

a: Konstante; b und c: Regressionskoeffizienten;  $R^2_{adj}(Exp)$ : um den zufälligen Effekt des Versuches bereinigtes Bestimmtheitsmaß;  $RMSE_{exp}$ : um den zufälligen Effekt des Versuches bereinigte Standardabweichung der Residuen;  $R^2(FP)$ : Bestimmtheitsmaß für den Effekt des Fermentationsproduktes; MS: Milchsäuregehalt g/kg Trockenmasse (TM); ES: Essigsäuregehalt, g/kg TM; BS: Buttersäuregehalt g/kg TM; KKFS: Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren g/kg TM; GS: Gesamtsäuregehalt g/kg TM; NH<sub>3</sub>-N: Ammoniak-Stickstoff im Gesamtstickstoff, g

Für alle Fermentationsprodukte wurde ein negativer Einfluss auf die tägliche Milchproteinmenge beobachtet. Die negative Wirkung des Gesamtsäuregehaltes war am stärksten ausgeprägt (höchste  $R^2$ -Werte). Die Gehalte an Milch- und Buttersäure, sowie die Konzentration an Ammoniak-N im Gesamt-N wiesen eine konzentrationsabhängige Wirkung auf. Dies ist in Abbildung 3.6 exemplarisch für den Gehalt an Ammoniak-N im Gesamt-N dargestellt.



**Abbildung 3.6:** Einfluss des Ammoniakgehaltes der Gesamtmischung auf die Milchproteinmenge (korrigiert um den zufälligen Einfluss des Versuches)

Der Einfluss der Essig-, Butter- und Propionsäure sowie KKFS war sehr schwach ausgeprägt ( $R^2(FP) = 0,0 - 0,07$ ).

### 3.3 Einbeziehung der Fermentationscharakteristika in die Schätzung der Milchleistung sowie -zusammensetzung

Anhand der Beziehungen zwischen den vorher beschriebenen Fermentationsprodukten und der Milchleistung sowie -zusammensetzung in der vorliegenden Meta-Analyse wurde der Versuch unternommen, eine mögliche Verbesserung der Schätzung der Milchleistungskenngrößen durch eine Einbeziehung der Fermentationscharakteristika von Silagen in ein Modell mit der Gesamtfutteraufnahme als Regressionsvariable zu untersuchen.

### Kapitel III

Die besten Regressionsgleichungen für die Schätzung der Milchleistungskenngrößen sind in Tabelle 3.18, 3.19, 3.20 und 3.21 dargestellt.

**Tabelle 3.18:** Multiple Gleichungen<sup>1</sup> ( $y = a + bx_1 + cx_2^2$ ) für die Schätzung der Milchmenge (kg/Tag) unter Verwendung der Faktoren Gesamtfutteraufnahme (kg Trockenmasse/Tag) und Fermentationsprodukte (g/kg Trockenmasse der Silage bzw. Gesamtmischung)

Datensatz	a	FUA	b	c	R <sup>2</sup>	RMSE
<i>Getrennte Futtevorlage</i>						
<i>Alle Silagen:</i>						
Grundgleichung (GG)	9,84	0,85			0,54	2,89
GG + OM	6,73	1,24	- 0,0126		0,65	2,50
<i>Grasanwelksilagen:</i>						
Grundgleichung (GG)	7,44	0,96			0,35	2,95
GG + OM	2,65	1,51	- 0,0141		0,54	2,40
GG + ln(ES)	- 2,92	1,33	1,565		0,44	2,75
GG + GS	0,85	1,19	0,0264		0,43	2,76
<i>TMR</i>						
Grundgleichung (GG)	- 3,62	1,55			0,71	4,23

a: Konstante; FUA: Regressionskoeffizient für die Gesamtfutteraufnahme; c und b: Regressionskoeffizienten für die jeweiligen Fermentationsprodukte; R<sup>2</sup>: Bestimmtheitsmaß; RMSE: Standardabweichung der Residuen; ln. natürlicher Logarithmus; OM: Gehalt an organischer Masse, g/kg; ES: Essigsäuregehalt, g/kg Trockenmasse (TM); GS: Gesamtsäuregehalt, g/kg TM

<sup>1</sup> Einflüsse von Einflussfaktoren signifikant bei  $p < 0,05$

### Kapitel III

**Tabelle 3.19:** Multiple Gleichungen<sup>1</sup> ( $y = a + bx_1 + cx_2^2$ ) für die Schätzung der energie-korrigierten Milchmenge (kg/Tag) unter Verwendung der Faktoren Gesamtfutter-aufnahme (kg Trockenmase/Tag) und Fermentationsprodukte (g/kg Trockenmase der Silage bzw. Gesamtmischration)

Datensatz	A	FUA	b	c	R <sup>2</sup>	RMSE
<i>Getrennte Futtevorlage</i>						
<i>Alle Silagen:</i>						
Grundgleichung (GG)	8,15	0,94			0,62	2,78
GG + OM	5,02	1,31	- 0,011		0,70	2,59
GG + ln(ES)	2,22	1,13	1,004		0,65	2,66
GG + WLK	- 0,17	1,49	- 0,020		0,77	2,33
<i>Grasanwelksilagen:</i>						
Grundgleichung (GG)	5,92	1,06			0,42	2,82
GG + OM + OM <sup>2</sup>	- 17,21	1,64	0,097	- 0,0002	0,68	2,12
GG + ln(ES)	- 4,38	1,42	1,557		0,52	2,58
<i>TMR</i>						
Grundgleichung (GG)	4,13	1,16			0,66	4,21
GG + ES	- 3,46	1,42	0,189		0,67	4,13
GG + KKFS	- 4,72	1,48	0,172		0,68	4,12
GG + PS <sup>2</sup>	- 3,06	1,48		0,0952	0,73	3,78
GG + GS <sup>2</sup>	- 5,36	1,54		0,00055	0,70	3,96

a: Konstante; FUA: Regressionskoeffizient für die Gesamtfutteraufnahme; c und b: Regressionskoeffizienten für die jeweiligen Fermentationsprodukte; R<sup>2</sup>: Bestimmtheitsmaß; RMSE: Standardabweichung der Residuen; OM: Gehalt an organischer Masse, g/kg; ES: Essigsäuregehalt, g/kg Trockenmase (TM); WLK: Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten, g/kg TM; KKFS: Summe der Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren, g/kg TM; PS: Propionsäuregehalt, g/kg TM; GS: Gesamtsäuregehalt, g/kg TM

<sup>1</sup> Einflüsse von Einflussfaktoren signifikant bei  $p < 0,05$

### Kapitel III

**Tabelle 3.20:** Multiple Gleichungen<sup>1</sup> ( $y = a + bx_1 + cx_2^2$ ) für die Schätzung der Fettmenge (g/Tag) unter Verwendung der Faktoren Gesamtfutteraufnahme (kg Trockenmasse/Tag) und Fermentationsprodukte (g/kg Trockenmasse der Silage bzw. Gesamtmischung)

Datensatz	a	FUA	b	c	R <sup>2</sup>	RMSE
<i>Getrennte Futtevorlage</i>						
<i>Alle Silagen:</i>						
Grundgleichung (GG)	338	38,18			0,59	123
GG + ln(OM)	660	51,71	- 97,15		0,66	117
GG + ln(ES)	121	45,00	37,12		0,62	119
GG + WLK	- 45	62,80	- 0,723		0,77	98
<i>Grasanwelksilagen:</i>						
Grundgleichung (GG)	232	44,05			0,42	128
OM + OM <sup>2</sup>	- 778	70,20	4,109	- 0,0068	0,68	94
GG + ln(ES)	- 197	59,48	64,03		0,50	115
GG + GS + GS <sup>2</sup>	- 185	56,92	3,602	- 0,0138	0,50	115
<i>TMR</i>						
Grundgleichung (GG)	215	42,89			0,57	197
GG + MS	- 199	55,33	4,615		0,62	186
GG + PS <sup>2</sup>	- 121	57,93		5,258	0,67	173
GG + GS <sup>2</sup>	- 368	67,10		0,0414	0,67	173

a: Konstante; FUA: Regressionskoeffizient für die Gesamtfutteraufnahme; c und b: Regressionskoeffizienten für die jeweiligen Fermentationsprodukte; R<sup>2</sup>: Bestimmtheitsmaß; RMSE: Standardabweichung der Residuen; ln: natürlicher Logarithmus; OM: organische Masse, g/kg; ES: Essigsäuregehalt, g/kg Trockenmasse (TM); WLK: Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten, g/kg TM; GS: Gesamtsäuregehalt, g/kg TM; MS: Milchsäuregehalt, g/kg; PS: Propionsäuregehalt, g/kg TM

<sup>1</sup> Einflüsse von Einflussfaktoren signifikant bei  $p < 0,05$

### Kapitel III

**Tabelle 3.21:** Multiple Gleichungen<sup>1</sup> ( $y = a + bx_1 + cx_2^2$ ) für die Schätzung der Proteinmenge (g/Tag) unter Verwendung der Faktoren Gesamtfutteraufnahme (kg Trockenmasse/Tag) und Fermentationsprodukte (g/kg Trockenmasse)

Datensatz	a	FUA	b	c	R <sup>2</sup>	RMSE
<i>Getrennte Futtevorlage</i>						
<i>Alle Silagen:</i>						
Grundgleichung (GG)	224	31,65			0,61	96
GG + OM	88	44,51	- 0,256		0,72	82
GG + OM <sup>2</sup>	53	44,52		- 0,00044	0,72	82
GG + ln(ES)	16	38,24	35,37		0,66	87
GG + WLK	- 39	49,41	- 0,638		0,77	76
GG + GS	88	36,70	0,478		0,64	89
<i>Grasanwelksilagen:</i>						
Grundgleichung (GG)	215	31,90			0,32	103
OM + OM <sup>2</sup>	- 594	51,16	3,411	- 0,0055	0,65	75
GG + ln(ES)	- 184	46,00	61,141		0,47	92
GG + GS + GS <sup>2</sup>	- 166	43,90	2,926	- 0,0098	0,55	93
<i>TMR</i>						
Grundgleichung (GG)	20,64	43,62			0,66	123

a: Konstante; FUA: Regressionskoeffizient für die Gesamtfutteraufnahme; c und b: Regressionskoeffizienten für die jeweiligen Fermentationsprodukte; R<sup>2</sup>: Bestimmtheitsmaß; RMSE: Standardabweichung der Residuen; ln: natürlicher Logarithmus; OM: organische Masse, g/kg; ES: Essigsäuregehalt, g/kg Trockenmasse (TM); WLK: Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten, g/kg TM; GS: Gesamtsäuregehalt, g/kg TM;

<sup>1</sup> Einflüsse von Einflussfaktoren signifikant bei  $p < 0,05$

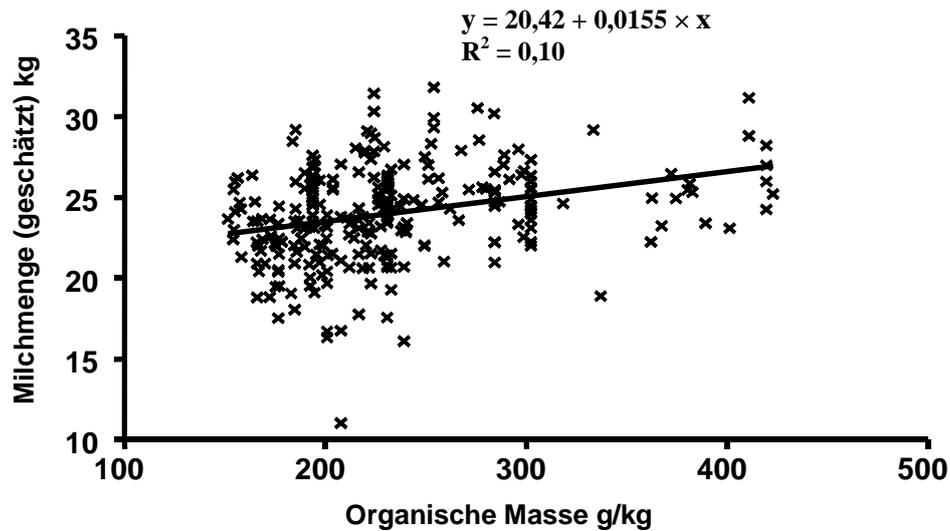
Im Datensatz für die getrennte Vorlage von Rationsbestandteilen erklärte die Gesamtfutteraufnahme als Einzelparameter 54 % der Gesamtvariation der Milchmenge, 62 % der ECM-Menge, 59 % der Fettmenge und 61 % der Proteinmenge für alle Silagearten. Bei ausschließlicher Betrachtung von Grasanwelksilagen lagen die Werte auf einem um 17 bis 29 Prozentpunkte niedrigeren Niveau. Eine Einbeziehung von einigen Fermentationsprodukten oder dem OM-Gehalt in die Schätzung von Milchleistungsparametern führte zu einer wesentlichen Verbesserung der Schätzung, was sich in den höheren R<sup>2</sup>-Werten und geringeren Standardabweichungen der Residuen

### Kapitel III

widerspiegelte. Die multiplen Regressionen mit dem WLK-Gehalt im Datensatz mit allen Silagearten wiesen die höchsten  $R^2$ - und niedrigsten RMSE-Werte im Vergleich zu den anderen Regressionsvariablen auf. Bei ausschließlicher Betrachtung von Grasanweilensilagen hatte eine Einbeziehung des OM-Gehaltes allein oder zusammen mit dem quadrierten Wert die besten Schätzergebnisse zur Folge.

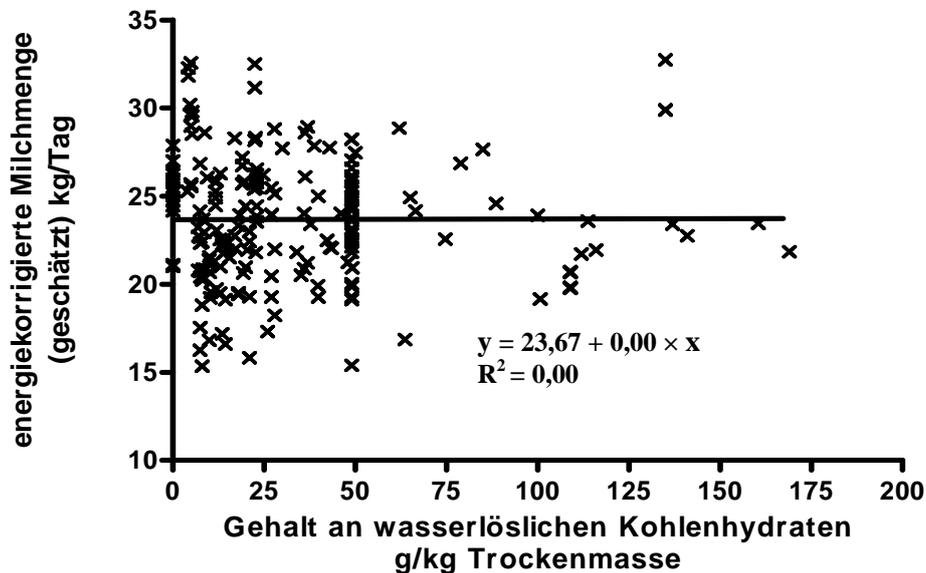
Für den TMR-Datensatz wurde keine Verbesserung der Schätzung der täglichen Milch- und Proteinmenge beobachtet, wenn die Fermentationsprodukte in die multiplen Regressionsmodelle einbezogen wurden. Die Gesamtfutteraufnahme als Einzelparameter erklärte 71 % der Gesamtvariation der Milchmenge, 66 % der ECM-Menge, 57 % der Fettmenge und 66 % der Proteinmenge. Die multiplen Regressionsgleichungen für die Schätzung der täglichen Fettmenge mit dem quadrierten Gesamtsäure- oder Propionsäuregehalt wiesen die höchsten  $R^2$ - und niedrigsten RMSE-Werte auf im Vergleich mit anderen Fermentationsparametern.

Die multiple Regressionsanalyse mit den Fermentationsprodukten als Regressionsvariablen, die nicht in den Tabellen 3.18 - 3.21 dargestellt sind, wies entweder keine Verbesserung der Schätzungen im Vergleich zum Modell mit der Gesamtfutteraufnahme als Einzelparameter auf, oder es wurden keine signifikanten Einflüsse von Fermentationsparametern festgestellt ( $p > 0,05$ ). Bemerkenswert ist, dass die Regressionskoeffizienten für die Fermentationsprodukte oder den OM-Gehalt in den multiplen Regressionsgleichungen die entgegengesetzten Vorzeichen haben, als es in der einfachen Regressionsanalyse festgestellt wurde. So sollte beispielsweise der OM-Gehalt laut der multiplen Regressionsanalyse einen negativen und die Gehalte an organischen Säuren einen positiven Einfluss auf die Milchleistungsparameter haben. Um die Plausibilität dieser Aussagen zu überprüfen, wurde eine einfache Regressionsanalyse der Beziehungen zwischen den Fermentationsparameter und den anhand der oben dargestellten multiplen Regressionen geschätzten Milchleistungsparameter durchgeführt. Die Beziehung zwischen dem OM-Gehalt und der geschätzten Milchmenge für den Datensatz mit allen Silagearten bei getrennter Futtermischung ist in Abbildung 3.7 dargestellt. Obwohl in der multiplen Regression der Einfluss der OM negativ sein sollte, weist die festgestellte Beziehung zwischen der geschätzten Milchmenge und dem OM-Gehalt eine signifikante positive Wirkung der OM auf.



**Abbildung 3.7:** Beziehung zwischen dem Gehalt an organischer Masse aller Silagearten und der täglichen Milchmenge, geschätzt nach der Gleichung:  $y = 6,73 + 1,24 \times \text{FUA} - 0,0126 \times \text{OM}$ ,  $R^2 = 0,65$ ; FUA: Gesamtfutteraufnahme, kg Trockenmasse/Tag; OM: Gehalt an organischer Masse, g/kg

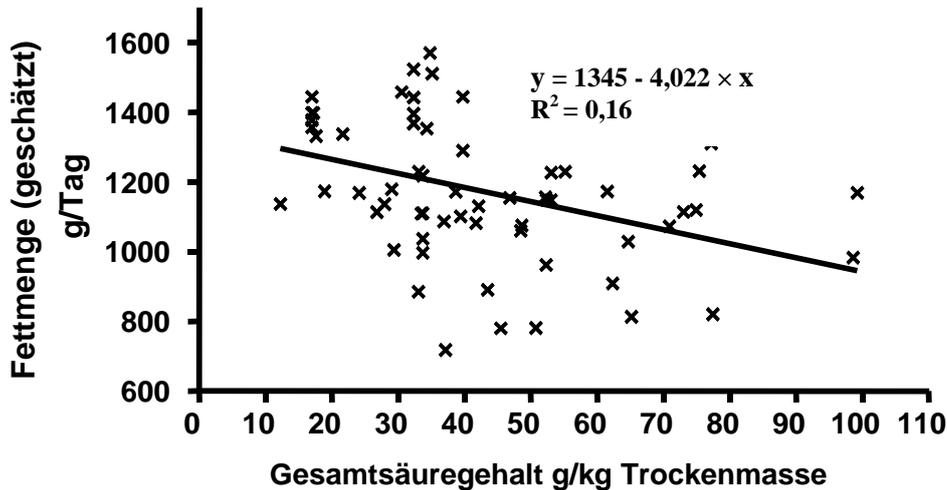
In Abbildung 3.8 ist die Beziehung zwischen dem Gehalt an WLK und der geschätzten ECM-Menge dargestellt.



**Abbildung 3.8:** Beziehung zwischen dem Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten und der täglichen energiekorrigierten Milchmenge, geschätzt nach der Gleichung:  $y = - 0,17 + 1,49 \times \text{FUA} - 0,020 \times \text{WLK}$ ,  $R^2 = 0,77$ ; FUA: Gesamtfutteraufnahme, kg Trockenmasse/Tag; WLK: Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten, g/kg Trockenmasse; ECM: energiekorrigierte Milch

Es wurde kein signifikanter Einfluss des WLK-Gehaltes auf die geschätzte ECM-Menge festgestellt ( $p > 0,05$ ), obwohl in der multiplen Regressionsanalyse eine signifikante negative Wirkung des WLK-Gehaltes festgestellt wurde.

Die Beziehung zwischen dem Gesamtsäuregehalt und der geschätzte Fettmenge ist in Abbildung 3.9 dargestellt.



**Abbildung 3.9:** Beziehung zwischen dem Gesamtsäuregehalt und der täglichen Fettmenge, geschätzt nach der Gleichung:  $y = - 368 + 67,10 \times \text{FUA} + 0,0414 \times \text{GS}^2$ ,  $R^2 = 0,67$ ; FUA: Gesamtfuttermenge, kg Trockenmasse/Tag; GS: Gesamtsäuregehalt, kg/Trockenmasse

Es wurde ein negativer Einfluss des Gesamtsäuregehaltes auf die geschätzte Fettmenge bei Fütterung von TMR festgestellt, obwohl die multiple Regressionsgleichung für die Schätzung der täglichen Fettmenge auf eine zunehmend positive Wirkung des Gesamtsäuregehaltes auf die Fettmenge hinweist.

#### 4 DISKUSSION

Ziel vorliegender Arbeit war eine Analyse der Beziehungen zwischen Fermentationscharakteristika von Silagen und der Milchleistung sowie -zusammensetzung von Kühen anhand von Literaturdaten. In einzelnen Versuchen sind die ermittelten Einflüsse oftmals zu schwach, um ein Signifikanzniveau zu erreichen, deshalb erlaubt die Analyse eines umfangreichen Datensatzes, der die Ergebnisse vieler Versuche umfasst, solche Einflüsse besser zu schätzen. Fermentationscharakteristika von Silagen beeinflussen die Menge an absorbierten Nährstoffen im Magen-Darm-Trakt der Kühe auf zweifache Weise: Auf der

einen Seite haben die Fermentationscharakteristika unmittelbar einen Einfluss auf die Futteraufnahme. Andererseits verändert sich die Nährstoffzusammensetzung während des Siliervorganges und damit die Qualität der Nährstoffe, die aufgenommen werden. Diese Tatsachen sind die Ursache für den Einfluss von Fermentationscharakteristika auf die Menge an absorbierten Nährstoffen und dadurch auf die Milchzusammensetzung und -leistung.

### **4.1 Milchfettgehalt und -menge**

Das Ausmaß der Fermentation hatte einen negativen Einfluss auf den Milchfettgehalt bei getrennter Vorlage von Futterbestandteilen. Das stimmt mit den Ergebnissen einer Studie von Huhtanen et al. (2003) überein. Der negative Einfluss der Gehalte an Milchsäure oder Gesamtsäuren kann durch ein engeres Verhältnis der Summe von Essigsäure und Buttersäure (lipogene Substanzen) zu Propionsäure (glucogene Substanz) im Pansen erklärt werden (Chamberlain und Choung, 1993; Van Vuuren et al., 1995). Martin et al. (1994), Van Vuuren et al. (1995) und Huhtanen et al. (1997) stellten fest, dass eine Verfütterung von Silagen mit einem hohen Milchsäuregehalt zu einem höheren Propionsäureanteil im Gemisch der kurzkettigen Fettsäuren im Pansen führte. In einer Studie von Jaakkola und Huhtanen (1992) führte die Infusion unterschiedlicher Mengen von Milchsäure in den Pansen zu einer Erhöhung des Propionsäureanteils an den kurzkettigen Fettsäuren, was die Schlussfolgerung erlaubt, dass Milchsäure im Pansen primär zu Propionsäure fermentiert wird (Chamberlain et al., 1983). Auf der anderen Seite führte in Studien von Martin et al. (1994), Keady und Murphy (1996) und Huhtanen et al. (1997) eine Verfütterung von restriktiv fermentierten Silagen zu einer Erhöhung des Anteils an Essigsäure und in Studien von Jaakkola et al. (1993) und Smith et al. (1993) zu einer Erhöhung des Buttersäureanteils im Vergleich zu intensiv fermentierten Silagen. Verglichen mit Kühen, die mit intensiv fermentierten Silagen gefüttert wurden, stellten Mayne (1993), Smith et al. (1993) und Heikkilä et al. (1998) bei Kühen, die mit restriktiv fermentierten Silagen gefüttert wurden, eine höhere Konzentration von  $\beta$ -Hydroxybuttersäure und eine niedrigere Konzentration von Glucose im Blutplasma fest. In diesen Studien wurden allerdings bei restriktiv fermentierten Silagen höhere Silage-TM-Aufnahmen im Vergleich zu intensiv fermentierten Silagen festgestellt, so dass die Erhöhung von lipogenen Substanzen im Blutplasma eher auf die Erhöhung der aufgenommenen Menge an Strukturkohlenhydraten zurückzuführen war. Das unterstützt die Ergebnisse vorliegender Meta-Analyse, bei der die Anteile an der Gesamtvariation des

### Kapitel III

Milchfettgehaltes bei getrennter Vorlage von Rationsbestandteilen auf einem sehr niedrigen Niveau lagen (5 - 6 %). Bei den Modellen mit den Fermentationsprodukten als Regressionsvariablen führte eine Korrektur um den zufälligen Einfluss des Versuches nur zu einer leichten Erhöhung des Bestimmtheitsmaßes. Damit wird gezeigt, dass die Fermentationsprodukte an sich eher eine untergeordnete Rolle bei der Milchfettsynthese spielen. In der hier vorgestellten Studie war der Effekt von TM und OM in der Silage am stärksten, wobei der OM-Gehalt die am besten geeignete Einzelvariable für die Schätzung des Milchfettgehaltes war. Die engere Beziehung zwischen dem OM-Gehalt im Vergleich zum TM-Gehalt bedeutet, dass nicht die TM, also organische und mineralische Bestandteile, sondern nur die OM der Silage die Ausgangssubstrate für die Milchfettsynthese liefert. Ein höherer TM-Gehalt der Silage bedeutet nicht immer einen höheren Anwelkgrad. Je nach Qualität der Silagegewinnung können Silagen einen erheblichen Anteil an Sand enthalten, der als ein Bestandteil der Rohasche bei der Futtermittelanalyse bestimmt wird. Der OM-Gehalt ist damit um den Ascheanteil einschließlich Sand bereinigt, was zu einer genaueren Schätzung des Milchfettgehaltes mit dem OM-Gehalt als Einflussgröße im Vergleich zu einer Schätzung mit dem TM-Gehalt als Einflussgröße führte.

In der vorliegenden Meta-Analyse wurde eine quadratische Beziehung zwischen dem pH-Wert bei allen Silagearten und dem pH-Wert sowie dem TM-Gehalt bei ausschließlicher Betrachtung von Grasanwelksilagen und dem Milchfettgehalt festgestellt. Dadurch war es möglich, für beide Parameter einen kritischen Wert für einen maximalen Milchfettgehalt zu berechnen. Für den maximalen Milchfettgehalt lag der kritische pH-Wert im Bereich von 4,45 bis 4,51. Der kritische TM-Gehalt lag auf einem Niveau von 505 g/kg. Bemerkenswert ist, dass dieser ermittelte kritische pH-Wert der angestrebte Wert für die Erzeugung einer lagerstabilen Silage mit 35 % TM-Gehalt ist (Weissbach, 1975), unterhalb welchem die Vermehrung von Clostridien gehemmt wird (McDonald et al., 1991). Diese Tatsache zeigt, dass eine Verfütterung von Silagen, die einen anaeroben Verderb aufweisen, eine Hemmung des mikrobiellen Wachstums im Pansen einschließlich der cellulolytischen Mikroorganismen zur Folge hat. Der festgestellte kritische Wert für den TM-Gehalt von 505 g/kg ist auf eine schlechtere Verdichtung von Silagen mit darüber liegenden TM-Gehalten zurückzuführen. Ein hoher TM-Gehalt in Verbindung mit Sauerstoffzufuhr ist eine günstige Bedingung für die Vermehrung von Schimmelpilzen in der Silage. Schimmelpilze hemmen die Milchfettsynthese einerseits aufgrund ihrer cellulolytischen Eigenschaften, wodurch das Angebot an Cellulose im Pansen direkt reduziert wird (McDonald et al., 1991). Zusätzlich hemmen die von den Schimmelpilzen

gebildeten Mykotoxine die Vermehrung von Pansenmikroorganismen einschließlich der cellulolytischen Spezies (Westlake et al., 1987).

Das Ausmaß der Fermentation hatte in unserer Studie einen negativen Einfluss auf die tägliche Fettmenge, was mit den Ergebnissen der Studie von Huhtanen et al., (2003) übereinstimmt. Die Beziehungen zwischen den Fermentationscharakteristika und der Fettmenge zeigen den gleichen Charakter wie die Beziehungen zwischen den Fermentationscharakteristika und dem Fettgehalt, so dass Fettgehalt und -menge in gleicher Weise von den Fermentationscharakteristika beeinflusst werden. Die niedrigen  $R^2$ -Werte bedeuten, dass die Fermentationsprodukte an sich bei der Milchfettsynthese eine eher untergeordnete Rolle spielen. Der ermittelte kritische pH-Wert für die maximale Milchfettmenge lag im Bereich von 4,45 bis 4,47 und der kritische TM-Gehalt bei Grasanwelksilagen betrug 407 g/kg. Bemerkenswert ist, dass nach den Empfehlungen für die Produktion von qualitativ hochwertigen Grassilagen (Thaysen, 2004) der optimale TM-Gehalt im Bereich zwischen 300 und 400 g/kg liegen sollte. Daraus folgt, dass die Verfütterung von Silagen, die den Qualitätsanforderungen entsprechen (pH-Wert  $< 4,5$  bei allen Silagearten und TM-Gehalt 300 - 400 g/kg TM bei Grassilagen), nicht automatisch eine maximale Milchfettsynthese zur Folge hat, sondern solches nur für Silagen erwartet werden kann, die nah an den kritischen Werten liegen.

Im Gegensatz zu einer getrennten Vorlage der Rationsbestandteile wurde im TMR-Datensatz ein positiver Einfluss der Fermentationsprodukte auf den Milchfettgehalt festgestellt. Hier muss aber beachtet werden, dass die Gehalte an Fermentationsprodukten auf die TM der gesamten Ration bezogen wurde. In diesem Falle kann eine Erhöhung des Gehaltes an Fermentationsprodukten nicht nur durch die Erhöhung des Gehaltes in der Silage, sondern auch durch die Erhöhung des Anteils an Silage in der TMR hervorgerufen werden. Ein höherer Anteil an Grobfutter in der Ration hat nach Sutton (1989) einen höheren Milchfettgehalt und nach Gruber et al. (2004) eine niedrigere Gesamtfutteraufnahme zur Folge. Das stimmt mit Ergebnissen vorliegender Meta-Analyse überein, und erklärt, warum die Fermentationsprodukte bei einer TMR-Fütterung keinen Einfluss auf die Milchfettmenge hatten.

### **4.2 Milchproteingehalt und -menge**

Das Ausmaß der Fermentation hatte bei der getrennten Vorlage der Rationsbestandteile einen negativen Einfluss sowohl auf den Milchproteingehalt als auch auf die Milchproteinmenge, was mit den Ergebnissen der Studie von Huhtanen et al. (2003)

übereinstimmt. Ursachen dafür sind vor allem die niedrigere Gesamtfutteraufnahme und eine niedrigere Effizienz der mikrobiellen Proteinsynthese im Pansen bei Verfütterung von intensiv im Vergleich zu restriktiv fermentierten Silagen. Clark et al. (1992) stellten Daten aus 36 Versuchen mit Milchkühen mit 145 verschiedenen Rationen zusammen. Die Ergebnisse zeigten ein positives Verhältnis zwischen der täglichen Aufnahme an OM und der Menge an Nicht-Ammoniak-Stickstoff am Duodenum ( $R^2 = 0,83$ ). Nach Chamberlain (1987) liefern die während des Siliervorganges gebildeten Säuren nur wenig (Milchsäure) oder überhaupt keine (kurzkettige Fettsäuren) Energie für die Pansenmikroorganismen. In einer Studie von Jaakkola und Huhtanen (1992) hatte eine Infusion von Milchsäure in den Pansen keinen Einfluss auf die mikrobielle Synthese. Eine Hemmung der Fermentation während der Silierung durch die Anwendung von Ameisensäure hatte – verglichen mit unbehandelten oder mit biologischen Silierzusätzen behandelten Silagen – eine höhere mikrobielle Rohproteinsynthese im Pansen zur Folge (Jaakkola et al., 1993; Robertson et al., 1993). Die Studie von Huhtanen et al. (2003) zeigte einen schwächeren negativen Einfluss von Milchsäure auf die Milchproteinsynthese im Vergleich zu den kurzkettigen Fettsäuren und dem Ammoniak-N-Gehalt. In unserer Studie wurde bei einer getrennten Vorlage der Rationsbestandteile kein signifikanter Einfluss von Milchsäure auf die Milchproteinsynthese festgestellt. Es gibt mehrere Gründe dafür: Während Milchsäurebildung nicht zu Verlusten an OM und Energie führt und die Milchsäure selbst in geringem Umfang im Pansen zur Energieversorgung der Mikroorganismen dient, ist die Synthese von kurzkettigen Fettsäuren immer mit Verlusten an OM und Energie verbunden (McDonald et al., 1973).

Ammoniak-N (als Anteil des Gesamt-N) hatte einen negativen Einfluss auf die Milchproteinsynthese sowohl in der hier vorliegenden Meta-Analyse als auch in der Studie von Huhtanen et al. (2003). Der Effekt war bei ausschließlicher Betrachtung von Grasanweilsilagen deutlicher ausgeprägt als bei Betrachtung aller Silagearten. Ammoniak entsteht in der Silage während des Aminosäuren-Abbaus durch unerwünschte Mikroorganismen, vor allem Clostridien und Enterobakterien (Ohshima und McDonald, 1978). Dies bedeutet, dass der Anteil Ammoniak-N am Gesamt-N zusammen mit dem Gehalt an kurzkettigen Säuren ein Indikator für das Ausmaß sowohl des Proteinabbaus als auch des Abbaus energieliefernder Verbindungen während der Silierung ist. Diese beiden Faktoren haben einen negativen Einfluss auf die mikrobielle Proteinsynthese. In vorliegender Meta-Analyse erklärten die Fermentationsprodukte insgesamt keine oder nur sehr geringe Anteile an der Gesamtvariation der tatsächlich beobachteten Milchproteinmenge und des

### Kapitel III

Milchproteingehaltes. Damit wird gezeigt, dass die Fermentationsprodukte an sich eher eine untergeordnete Rolle bei der Milchproteinsynthese spielen. Höhere  $R^2_{adj(Exp)}$ -Werte bei ausschließlicher Betrachtung von Grasanweilsilagen geben einen Hinweis darauf, dass der Einfluss der Fermentationscharakteristika von Silagen auf die Milchproteinsynthese von der Silageart abhängig ist. Bei den TM- und OM-Gehalten war dagegen ein deutlicher positiver Einfluss auf die Milchproteinsynthese festzustellen. Die engere Beziehung zwischen dem OM-Gehalt und dem Milchproteingehalt sowie der Milchproteinmenge im Vergleich zum TM-Gehalt zeigt, dass nicht die TM, sondern die OM der Silage als Energie- und Substratquelle die Hauptrolle für die Milchproteinsynthese spielt, was mit Ergebnissen einer Studie von Clark et al. (1992) übereinstimmt.

Aus den quadratischen Beziehungen zwischen dem TM-Gehalt sowie dem pH-Wert der Silage und dem Milchproteingehalt sowie der Milchproteinmenge konnten kritische Werte für die maximale Milchproteinsynthese bei getrennter Vorlage von Rationsbestandteilen abgeleitet werden. Der kritische pH-Wert für den maximalen Milchproteingehalt und die maximale Milchproteinmenge für alle Silagearten betrug 4,28. Bei ausschließlicher Betrachtung von Grasanweilsilagen lag der kritische pH-Wert für den maximalen Milchproteingehalt bei 4,38 und für die maximale Milchproteinmenge bei 4,44. Der kritische Wert des TM-Gehaltes für den maximalen Milchproteingehalt war 404 g/kg und für die maximale Milchproteinmenge 431 g/kg. Die Werte lagen auf einem ähnlichen Niveau wie die ermittelten kritischen Werte für Milchfettmenge und -gehalt, und spiegeln damit den allgemeinen Einfluss der Silagequalität auf die Entwicklung der Pansenmikroorganismen wider, was bereits im vorherigen Abschnitt diskutiert wurde.

In der vorliegenden Meta-Analyse wurde bei Fütterung von TMR eine ausgeprägte quadratische Beziehung zwischen dem Essigsäuregehalt in der Ration und dem Milchproteingehalt festgestellt. Das kann zum Teil durch den positiven Einfluss der Essigsäure auf die aerobe Stabilität von den Silagen erklärt werden, die in der TMR eingesetzt werden (Kung et al., 2003). Allerdings hatten die Fermentationsprodukte einen negativen Einfluss auf die Milchproteinmenge, was vor allem auf den negativen Einfluss der Gehalte an Fermentationsprodukten auf die Gesamtfutteraufnahme zurückzuführen ist. Der deutliche, überproportionale negative Einfluss des Ammoniak-N der Ration beruht darauf, dass der Gehalt an Ammoniak-N sich in diesem Falle auf den Gesamt-N der TMR bezieht, so dass eine Erhöhung der Ammoniak-Konzentration um eine Einheit im Gesamt-N der Ration abhängig vom Konzentratfutter-Anteil der Ration und Rohproteingehalt des Konzentrat-

futtermittels tatsächlich einen viel höheren Anstieg des Ammoniak-N in der Silage bedeutet.

### 4.3 Milch- und ECM-Menge

In der vorliegenden Meta-Analyse hatte das Ausmaß der Fermentation einen negativen Einfluss auf die Milchleistung. Bei getrennter Vorlage der Rationsbestandteile waren die Beziehungen zwischen den Einflussvariablen und der ECM-Menge stärker ausgeprägt als bei unkorrigierter Milchmenge. Das stimmt mit Ergebnissen von Huhtanen et al. (2003) überein und beruht darauf, dass die untersuchten Variablen einen signifikanten Einfluss auf die Milchezusammensetzung hatten. Allerdings waren die Beziehungen zwischen den Fermentationsprodukten und der Milchleistung in der hier vorgestellten Meta-Analyse schwach ausgeprägt. Die Anteile an der Gesamtvariation der ECM-Menge, die durch die Fermentationsprodukte erklärt wurden, lagen bei getrennter Vorlage der Rationsbestandteile auf einem sehr niedrigen Niveau (5 - 6 %). Eine Korrektur um den zufälligen Einfluss des Versuches führte für die Modelle mit den Fermentationsprodukten als Regressionsvariablen nur zu einer leichten Erhöhung des Bestimmtheitsmaßes. Damit wird gezeigt, dass die Fermentationsprodukte an sich eher eine untergeordnete Rolle bei der Milchsynthese spielen. In der hier vorgestellten Studie war der Effekt von TM und OM in der Silage am stärksten, wobei der OM-Gehalt die am besten geeignete Einzelvariable für die Schätzung der ECM-Menge war. Dies galt auch für die Schätzung der Milchfett- und Milchproteinmenge. Der stärkere positive Einfluss der OM im Vergleich zum Einfluss der TM auf die Milchleistung bedeutet, dass nur Anwelksilagen mit minimalen Anteilen an Sand eine höhere Milchleistung zur Folge haben im Vergleich zu Anwelksilagen, die einen hohen Grad an Verschmutzung aufweisen. Im Gegensatz zu den Ergebnissen vorgestellter Meta-Analyse berichtete Gordon (1989), dass in einer Reihe von Versuchen das Anwelken von Gras bei der Silageerzeugung zu niedrigeren Milchleistungen bei Kühen bei gleichzeitig höheren Gesamtfutteraufnahmen führte. Allerdings waren die Ergebnisse dieser Versuche Bestandteil unseres Datensatzes, womit gezeigt werden konnte, dass oftmals die Ergebnisse von Einzelversuchen stark von dem zufälligen Einfluss des Versuches abhängig sind.

Bei ausschließlicher Betrachtung von Grasanwelksilagen wurde ein ausgeprägter negativer Einfluss von Ammoniak-N auf die Milchfett- und Milchproteinmengen und dementsprechend auch auf die ECM-Menge festgestellt. Der Anstieg des Ammoniaks in der Silage ist ein Resultat des Aminosäureabbaus durch unerwünschte Mikroorganismen, vor allem

Clostridien und Enterobakterien (Ohshima und McDonald, 1978). Zusätzlich ist eine Vermehrung von unerwünschten Mikroorganismen immer mit dem Abbau energieliefernder Verbindungen aus der OM verbunden (McDonald et al., 1973), was eine Reduktion der Milchsynthese zur Folge hat.

Bei Fütterung von TMR wurde ebenfalls ein negativer Einfluss des Ausmaßes der Fermentation auf die Milchleistung festgestellt. Im Gegensatz zur getrennten Vorlage der Rationsbestandteile war der Einfluss von den Fermentationsprodukten auf die unkorrigierte Milchmenge stärker ausgeprägt als auf die ECM-Menge. Das beruht vor allem darauf, dass kein signifikanter Einfluss der Fermentationsprodukte auf die Milchfettmenge festgestellt werden konnte. Die Rangordnung hinsichtlich der Anteile an der Gesamtvariation der Milchmenge, die durch die einzelnen Fermentationsprodukte erklärt wurden, entspricht der Rangordnung, die zuvor bei der Untersuchung der Beziehung zwischen den Fermentationscharakteristika und der Futteraufnahme festgestellt wurde (Kapitel II, Tabelle 2.18). Die Werte der Anteile, die durch die Fermentationsprodukte erklärten Gesamtvariation der Milchmenge lagen aber auf einem niedrigeren Niveau als bei der Futteraufnahme, was die Schlussfolgerung nach sich zieht, dass der Einfluss der Fermentationsprodukte auf die Milchmenge bei Fütterung von TMR in erster Linie im Einfluss der Fermentationsprodukte auf die Gesamtfutteraufnahme begründet ist.

#### **4.4 Einbeziehung der Fermentationscharakteristika in die Schätzung der Milchleistung sowie -zusammensetzung**

Eine Einbeziehung einiger Fermentationsprodukte bzw. des OM-Gehaltes in die Schätzung von Milchleistungskenngrößen mittels multipler Regressionen mit der Futteraufnahme führte zu einer wesentlichen Verbesserung der Schätzung bei einer getrennten Vorlage der Rationsbestandteile. Die Gesamtfutteraufnahme hatte einen ausgeprägten positiven Einfluss auf alle Milchleistungskenngrößen. Die Regressionskoeffizienten für die Fermentationsprodukte und die OM wiesen den in der vorgestellten Meta-Analyse entgegengesetzte Vorzeichen auf. Am Beispiel der Beziehungen zwischen den nach der multiplen Regressionsgleichungen geschätzten Milchleistungskenngrößen und den Einflussvariablen OM-Gehalt, WLK-Gehalt bzw. Gesamtsäuregehalt wurde gezeigt, dass die errechneten Regressionskoeffizienten eher einer statischen Anpassung der Modelle dienen. Im Kapitel 2 dieser Arbeit wurde gezeigt, dass die Fermentationscharakteristika der Silagen einen Einfluss auf die Futteraufnahme haben. Eine Einbeziehung von Einflussvariablen in die multiple Regressionsanalyse, die Wechselwirkungen untereinander

aufweisen, macht die Koeffizienten für kausale Interpretationen jedoch unbrauchbar (Kaps und Lamberson 2004).

### 5 Fazit

- Hinsichtlich der Auswirkungen auf die Milchleistung ist eine milde Durchsäuerung von Silagen einer intensiven Säurebildung überlegen.
- Der Einfluss von Fermentationsprodukten auf Milchleistung und -zusammensetzung bei einer getrennten Vorlage der Rationsbestandteile ist nur schwach ausgeprägt.
- Der Gehalt an organischer Masse in der Frischsubstanz ist die Einzelvariable mit dem stärksten Einfluss auf die Milchleistung und -zusammensetzung bei einer getrennten Vorlage der Rationsbestandteile.
- Der kritische Trockenmasse-Gehalt der Grasanwelksilagen für die maximale energiekorrigierte Milchleistung sowie die Milchfett- und Milchproteinmenge liegt im Bereich zwischen 410 und 430 g/kg.
- Der kritische pH-Wert der Silage für eine maximale Milchfett- und Milchproteinmenge liegt im Bereich zwischen 4,3 und 4,5.
- Bei Fütterung von TMR ist der negative Einfluss der Fermentationsprodukte auf die Milchleistung sowie -zusammensetzung auf die negative Wirkung der Fermentationsprodukte auf die Futteraufnahme zurückzuführen.
- Die Einbeziehung einiger Fermentationsprodukte bzw. der organischen Masse in die Schätzung von Milchleistungsvariablen mittels multipler Regressionen führt zwar zur wesentlichen Verbesserung der Schätzung im Datensatz mit getrennter Vorlage der Rationsbestandteile, die ermittelten Koeffizienten sind aber aufgrund der Wechselwirkungen zwischen den Regressionsvariablen biologisch nicht interpretierbar.

### Literatur

- Agricultural and Food Research Council (1984) The nutrient requirements of ruminant livestock. Supplement No. 1. CAB International, Wallingford, UK.
- Blank R, Südekum K-H, Immig I, Kleinmaus J (1998) Synchroner Abbau von Kohlenhydraten und Rohprotein in den Vormägen – eine neue Variable für die Rationsgestaltung? *Übersichten zur Tierernährung* 26: 157-188.
- Broderick GA (1992) Relative value of fish meal versus solvent soybean meal for lactating dairy cows fed alfalfa silage as sole forage. *Journal of Dairy Science* 75: 174-183.
- Broderick GA (1995) Desirable characteristics of forage legumes for improving protein utilization in ruminants. *Journal of Animal Science* 73: 2760-2773.
- Chamberlain DG, Thomas PC, Anderson FJ (1983) Volatile fatty acid proportions and lactic acid metabolism in the rumen of sheep and cattle receiving silage diets. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)* 101: 47-58.
- Chamberlain DG (1987) The silage fermentation in relation to the utilization of nutrients in the rumen. *Process Biochemistry* 22: 60-64.
- Chamberlain, DG, Choung, JJ (1993) The nutritional value of grass silage. O'Kiely, P, O'Konnel, M, and Murphy, J (eds). *Proceeding of the 10th International Conference on Silage Research*. Silage Research, Dublin:pp 131-136.
- Charmley E (2001) Towards improved silage quality – A review. *Canadian Journal of Animal Science* 81: 157-168.
- Charmley E, Small JA, McRae KB (1999) Influence of post-calving supplemental protein on calf performance and reproductive efficiency for beef cows fed silage. *Canadian Journal of Animal Science* 79: 97-106.

### Kapitel III

- Charmley E, Veira DM (1991) The effect of heat-treatment and gamma radiation on the composition of unwilted and wilted lucerne silages. *Grass and Forage Science* 46: 381-390.
- Choung JJ, Chamberlain DG (1992) The effect of the addition of cell-wall degrading enzymes at ensiling on the response to postruminal supplementation of protein in dairy cows receiving a silage-based diet. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 60: 525-527.
- Clark JH, Klusmeyer TH, Cameron MR (1992) Microbial protein synthesis and flows on nitrogen fractions to the duodenum of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 75: 2304-2323.
- Coenen M (1996) Protein- und Aminosäureversorgung der Milchkuh. *Übersichten zur Tierernährung* 24: 41-51.
- Cushnahan A, Mayne CS (1995) Effects of ensilage of grass on performance and nutrient utilization by dairy cattle. 1. Food intake and milk production. *Animal Science* 60: 337-345.
- Gordon FJ (1980) The effect of interval between harvests and wilting on silage for milk production. *Animal Production* 31: 35-41.
- Gordon FJ (1986) The effect of system of silage harvesting and feeding on milk production. *Grass and Forage Science* 41: 209-219.
- Gordon FJ (1989) Effects of silage additives and wilting on animal performance. In: Haresign W and Cole D-J-A (eds) *Recent advances in animal nutrition*, Butterworths, London: pp 159-173
- Gordon FJ, Small JC (1990) The direct and residual effects of giving fish meal to dairy cows receiving differing levels of concentrate supplementation in addition to grass silage. *Animal Science* 51: 449-460.

### Kapitel III

- Gruber L, Schwarz FJ, Erdin D, Fischer B, Spiekers H, Steingass H, Meyer U, Chassot A, Jilg T, Obermaier A, Guggenberger T. (2004) Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen: Kooperation von 10 Forschungs- und Universitätsinstituten Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. 31. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 27.-28. April 2004, Bericht BAL Gumpenstein 2004, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, 21-39.
- Heikkilä T, Toivonen V, Huhtanen P (1998) Effects of and interactions between the extent of silage fermentation and protein supplementation in lactating dairy cows. *Agricultural and Food Science in Finland* 7: 329-343.
- Huhtanen P, Miettinen H, Toivonen VFJ (1997) Effects of silage fermentation and post-ruminal casein supplementation in lactating dairy cows: 1. Diet digestion and milk production. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 74: 450-458.
- Huhtanen P (1998) Supply of nutrients and productive responses in dairy cows given diets based on restrictively fermented silage. *Agricultural and Food Science in Finland* 7: 219-250.
- Huhtanen P, Khalili H, Nousiainen JI, Rinne M, Jaakola S, Heikkilä T, Nousiainen J (2002a) Prediction of relative intake potential of grass silage by dairy cows. *Livestock Production Science* 73: 111-130.
- Huhtanen P, Nousiainen JI, Khalili H, Jaakola S, Heikkilä T (2003) Relationships between silage fermentation characteristics and milk production parameters: analyses of literature data. *Livestock Production Science* 81: 57-73.
- Huhtanen P, Vanhatalo A, Varvikko T (2002b) Effects of abomasal infusions of histidine, glucose, and leucine on milk production and plasma metabolites of dairy cows fed grass silage diets. *Journal of Dairy Science* 85: 204-216.
- Jaakola S, Huhtanen P (1992) Rumen fermentation and microbial protein synthesis in cattle given intraruminal infusions of lactic acid with a grass silage based diet. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)* 119: 411-418.

### Kapitel III

- Jaakkola S, Huhtanen P, Kaunisto V (1993) VFA Proportionn and micorbial protein synthesis in the rumen of cattle receivinig grass silage ensiled with different rates of formic acid. In: O'Kiely P, O'Connel M, Murphy J (eds). Proceedings of the 10th International Conference of Silage Research, Dublin: 139-140.
- Kaps N, Lamberson WR (2004) Biostatistics for Animal Science. CABI Publisching Wallingford, UK: pp 445 S.
- Keady TWJ, Murphy JJ (1996) Effects of inoculant treatment of ryegrass silage fermentation, digestibility, rumen fermentation, intake and performance of lactating dairy cattle. Grass and Forage Science 51: 232-241.
- Kung L Jr, Taylor CC, Lynch MP, Neylon JM (2003) The effect of treating alfalfa with Lactobacillus buchneri 40788 on silage fermentation, aerobic stability, and nutritive value for lactating cows. Journal of Dairy Science 86: 336-343.
- Martin PA, Chamberlain DG, Robertson S, Hirst D (1994) Rumen fermentation patterns in sheep receiving silages of different chemical composition supplemented with concentrates rich in starch or in digestible fibre. Journal of Agricultural Science (Cambridge) 122: 145-150.
- Mayne CS (1993) The effect of formic acid, sulphuric acid and a bacterial inoculant on silage fermentation and the food intake and milk production of lactating dairy cows. Animal Production 56: 29-42.
- McDonald P, Henderson AR, Heron SJE (1991) The Biochemistry of Silage. Cambrian Printers Ltd., Aberystwyth.
- McDonald P, Henderson AR, Ralton I (1973) Energy changes during ensilage. Journal of the Science of Food and Agriculture 24: 827-834.

### Kapitel III

- Nadeau EMG, Buxton DR, Lindgren E, Lingvall P (1996) Kinetics of cell wall diegestion of orchard grass and alfalfa silages treated with cellulase and formic acid. *Journal of Dairy Science* 79: 2207-2216.
- Ohshima M, McDonald P (1978) A review of the changes in nitrogenous compounds of herbage during ensilage. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 29: 497-505.
- Robertson S, Chamberlain DG, Choung JJ (1993) Effects of silage composition on rumen fermentation and the urinary output of purine derivatives in sheep. In: O'Kiely P, O'Connell M, Murphy J (eds). *Proceedings of the 10th International Conference of Silage Research*, Dublin: 164-165.
- Robinson RH, Charmley E, McQueen RE (1992) Protein supplementation of high protein alfalfa silage fed to lactating dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science* 72: 831-841.
- Rook AJ, Gill M, Willink RD, Lister SJ (1991) Prediction of voluntary intake of grass silages by lactating cows offered concentrates at a flat rate. *Animal Production* 52: 407-420.
- SAS (1999) *User's Guide, Version 8, Volumes 1, 2, and 3*. SAS Publishing, Cary, NC.
- Santos FAP, Santos JEP, Theurer CB, Huber JT (1998) Effects of rumen undegradable protein on dairy cow performance: a 12-year literature review. *Journal of Dairy Science* 81: 3182-3213.
- Schwark HJ (1985) *Rinderzucht*. Deutsche Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- Sheperd AC, Maslanka M, Quinn D, Kung L (1995) Additives containing bacteria and enzymes for alfalfa silage. *Journal of Dairy Science* 78: 565-572.
- Smith EJ, Henderson AR, Oldham JD, Whitaker DA, Aitchison K, Anderson DH, Kelly JM (1993) The influence of an inoculant/enzyme preparation as an additive for

### Kapitel III

grass silage offered in combination with three levels of concentrate supplementation on performance of lactating dairy cows. *Animal Production* 56: 301-310.

St-Pierre NR (2001) Invited review: Intergrating quantitative findings from multiple studies using mixed model methodology. *Journal of Dairy Science* 84: 741-755.

Steen RWJ, Gordon F J, Dawson LER, Park RS, Mayne CS, Agnew RE, Kilpatrick DJ, Porter MG (1998) Factors affecting the intake of grass silage by cattle and prediction of silage intake. *Animal Science* 99: 115-127.

Sutton JD (1989) Altering milk composition by feeding. *Journal of Dairy Science* 72: 2801-2814.

Thaysen J (2004) Die Produktion von qualitativ hochwertigen Grassilagen. *Übersichten zur Tierernährung* 32: 57-102.

Van Vuuren AM, Huhtanen P and Dulphy J-P (1995) Improving the feeding and health value of ensiled forages. In: Journet M, Grenet E, Farce M-H, Theriez M and Demarquilly D (eds) *Recent Developments in the Nutrition of Herbivores.*, pp 297-307. INRA, Paris.

Veira DM, Butler G, Ivan M, Proulx JG (1985) Utilization of grass silage by cattle: Effect of barley and fishmeal supplements. *Canadian Journal of Animal Science* 65: 897-903.

Veira DM, Butler G, Proulx JG, Poste LM (1994) Utilization of grass silage by cattle: Effect of supplementation with different sources and amounts of protein. *Journal of Animal Science* 72: 1403-1408.

Veira DM, Proulx JG, Seoane JR (1990) Performance of beef steers fed grass silage with or without supplements of soy-bean meal, fish meal and barley. *Canadian Journal of Animal Science* 70: 313-317.

### Kapitel III

Westlake K, Mackie RI, Dutton MF (1987) Effects of several mycotoxins on specific growth rate of *Butyrivibrio fibrosolvens* and toxin degradation in vitro. *Applied and Environmental Microbiology* 53:613-614.

Wright DA, Gordon FJ, Stehen RWJ, Patterson DC (2000) Factors influencing the response in intake of silage and animal performance after wilting of grass before ensiling: A review. *Grass and Forage Science* 55: 1-13.

Weissbach, F. (1975) *Methoden und Tabellen zur Schätzung der Vergärbarkeit*. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften, Berlin.

## KAPITEL IV

### **Schlussbetrachtung**



Ziel vorliegender Arbeit war die Quantifizierung der Beziehungen zwischen den Fermentationscharakteristika von Silagen und der Futteraufnahme sowie der Milchleistung und -zusammensetzung von Kühen anhand von Literaturdaten mittels einer Meta-Analyse. Zusätzlich sollte eine Charakterisierung der Bereiche, in denen bisher zu wenige (zuverlässige) Daten für die Etablierung belastungsfähiger Beziehungen vorliegen, erfolgen.

In der Literatur findet sich bisher nur eine einzige Meta-Analyse der Beziehungen zwischen den Fermentationscharakteristika von Silagen und der Silageaufnahme von Milchkühen (Huhtanen et al., 2002). Anhand derselben Datenbasis führten die Autoren eine Analyse der Beziehungen zwischen den Fermentationscharakteristika von Silagen und der Milchleistung sowie -zusammensetzung durch (Huhtanen et al., 2003). Eine Besonderheit dieser Studien war, dass die Datenbasis, welche zur Auswertung herangezogen wurde, nur Grassilagen enthielt. Es wurden vor allem relativ feuchte, intensiv fermentierte Silagen berücksichtigt. Deshalb wurden in der vorgestellten Arbeit die Grasanwelksilagen mit einem Trockenmasse-Gehalt von über 25 %, wie sie typischerweise in Deutschland und anderen Ländern Mitteleuropas hergestellt werden, gesondert untersucht. Außerdem sollten Maissilagen, welche europa- und weltweit einen wesentlichen Rationsbestandteil in Milchproduktionssystemen darstellen, ebenso wie Klee-Gras-Gemenge oder reine Leguminosensilagen in die Analyse miteinbezogen werden. In die Studien von Huhtanen et al. (2002) und Huhtanen et al. (2003) wurden nur Versuche mit getrennter Vorlage von Grobfutter und Konzentratfutter einbezogen. Deshalb befasste sich ein Teil der hier vorgestellten Studie mit der Auswertung von Versuchen mit Gesamtmischrationen (TMR).

Die Struktur der Datenbasis mit einer getrennten Vorlage der Rationsbestandteile beinhaltete nur wenige Datensätze aus Versuchen mit Mais- und Leguminosensilagen (Tabelle 2.2), so dass es unmöglich war, potentielle Interaktionen zwischen den Fermentationscharakteristika von Silagen und den Silagearten bei der Untersuchung der Einflüsse auf die Futteraufnahme und Milchleistung sowie -zusammensetzung festzustellen. Die unterschiedlichen Regressionskoeffizienten für die Fermentationsprodukte und die höhere Genauigkeit der Modelle bei ausschließlicher Betrachtung von Grasanwelksilagen geben aber einen Hinweis darauf, dass der Einfluss der Fermentationscharakteristika von der Art der Silage abhängig ist. Ein anderer Nachteil der für die Meta-Analyse verwendeten Datenbasis war das Fehlen von Daten aus in Deutschland durchgeführten Versuchen. Die publizierten Studien aus Deutschland

## Kapitel IV

enthalten bedauerlicherweise keine vollständigen Fermentationscharakteristika der Silagen und konnten somit nicht für die Meta-Analyse verwendet werden.

Die Studien, bei denen TMR gefüttert wurde, hatten oftmals den Nachteil, dass bei der Verfütterung mehrerer Silagen in einer TMR lediglich die Fermentationscharakteristika einer Silageart gezeigt wurden. Es war deshalb unmöglich, die Gehalte einzelner Fermentationsprodukte bezogen auf die Trockenmasse (TM) der TMR zu berechnen und diese Daten in der Meta-Analyse zu verwenden.

Die Ergebnisse der Meta-Analyse zeigten insgesamt, dass Fermentationscharakteristika einen signifikanten Einfluss auf die Futteraufnahme sowohl bei getrennter Vorlage der Rationsbestandteile als auch bei Fütterung von TMR haben. Allgemein ist festzustellen, dass die während der Konservierung entstehenden organischen Säuren, einen negativen Einfluss auf die Futteraufnahme haben. Die Art der Beziehungen ist aber vom verwendeten Datensatz abhängig. So stellten Huhtanen et al. (2002) eine zunehmende negative Wirkung mit steigendem Gehalt der Gesamtsäuren auf die Silageaufnahme fest, während in dieser Studie die Wirkung der Gesamtsäuren auf die Silageaufnahme bei hohen Gehalten positiv war. Ebenso unterscheiden sich auch die Regressionskoeffizienten für die einzelnen Fermentationsprodukte. In der hier vorgestellten Meta-Analyse war der Essigsäuregehalt die am besten geeignete Einzelvariable für die Schätzung der Silageaufnahme. Im Datensatz mit allen Silagentypen führte ein Anstieg des Essigsäuregehaltes um 1 g/kg TM zu einem Rückgang der Silage-TM-Aufnahme um 81 g und bei Fütterung von Grasanwelksilagen zu einen Rückgang von 129 g. In der Studie von Huhtanen et al. (2002) war der Einfluss von Essigsäure auf die Silageaufnahme dagegen nur schwach ausgeprägt: Ein Anstieg des Essigsäuregehaltes um 1 g/kg TM führte zu einem Rückgang der Silage-TM-Aufnahme um 31 g.

Bei Fütterung von TMR waren die Beziehungen zwischen den Fermentationsprodukten und der Futteraufnahme stärker ausgeprägt als bei getrennter Vorlage der Rationsbestandteile. Eine Erhöhung des Gesamtsäuregehaltes um 1 g (je kg TM der TMR bzw. der Silage) führte somit zu einem Rückgang in der Gesamtfutteraufnahme um 109 g TM bei Fütterung von TMR und um 23 g TM bei Fütterung von Grasanwelksilagen. Hierbei muss beachtet werden, dass die unterschiedlichen Gehalte an Fermentationsprodukten in der TMR nicht nur auf Unterschiede in den Fermentationscharakteristika der Silagen, sondern auch auf unterschiedliche Konzentratfutteranteile in der TMR zurückzuführen sind. Dementsprechend kann der Einfluss der Fermentationsprodukte auf die Futteraufnahme zum Teil eine Folge der Veränderung des Konzentratfutteranteils in

der TMR sein. Die oben genannten Beispiele zeigen, dass eine Quantifizierung der Beziehungen zwischen den Fermentationscharakteristika von Silagen und der Futteraufnahme bzw. Milchleistung und -zusammensetzung mittels einer Meta-Analyse keine eindeutige allgemeingültige Aussage liefert, obwohl die Einflüsse um den zufälligen Effekt des Versuches bereinigt wurden.

Desweiteren sollte im Rahmen der vorgestellten Meta-Analyse überprüft werden, ob die Vorhersage der Futteraufnahme und Milchleistung von Kühen durch eine Einbeziehung der Fermentationscharakteristika von Silagen in die Futteraufnahme-Schätzung verbessert werden kann. Eine Einbeziehung des logarithmierten Essigsäuregehaltes oder des Gesamtsäure- und quadrierten Gesamtsäuregehaltes in das Grundmodell führte zu einer deutlichen Verbesserung der Schätzung der Gesamtfutteraufnahme in Datensätzen mit getrennter Vorlage von Grob- und Konzentratfuttermitteln. In dem Datensatz mit TMR wurde ebenfalls eine Verbesserung der Schätzung der Futteraufnahme durch eine Einbeziehung des Gesamtsäuregehaltes in das Grundmodell erzielt. Allerdings enthielten die Grundmodelle nicht alle Regressionsvariablen, die in den Schätzformeln von Gruber et al. (2004) genutzt wurden. Die Einflussgröße „Gehalt an Netto-Energie-Laktation des Grobfutters“, die in die Modelle von Gruber et al. (2004) miteinbezogen wurde, wird zum Beispiel vom Verlauf und Ergebnis der Fermentation während der Konservierung beeinflusst. Eine Bildung von Essigsäure und kurzkettigen Fettsäuren ist immer mit einem Energieverlust verbunden (McDonald et al., 1973), so dass keine eindeutige Aussage darüber gemacht werden kann, welche Auswirkungen eine Einbeziehung des Essigsäure- oder Gesamtsäuregehaltes in ein Modell mit dem Gehalt an Netto-Energie-Laktation als Regressionsvariable auf die Vorhersagekraft und Interpretierbarkeit der Regressionskoeffizienten hat.

Die Ergebnisse der Studie von Gruber et al. (2004) und die Ergebnisse dieser Meta-Analyse zeigen, dass bis zu 20 % der Variation der Gesamtfutteraufnahme unerklärt bleiben. Die Standardabweichungen der Residuen von bis zu 1,46 kg TM bedeuten, dass die tatsächliche Futteraufnahme von der geschätzten um bis zu 2,92 kg TM abweichen kann. Es sollten deshalb weitere einfach zu erfassende Einflussgrößen in die Modelle für die Schätzung der Futteraufnahme einbezogen werden. Eine mögliche Einflussgröße, die Schnittlänge der Futterpflanzen, hat oftmals keinen Einfluss auf die Futteraufnahme, oder weist Interaktionen zum Konzentratfutteranteil in der Ration auf (Allen, 2000; Steinwider et al., 2003). Die Wasseraufnahme ist dagegen eng mit der Futteraufnahme und Milchleistung korreliert (Holter und Urban, 1992; Dewhurst et al., 1998; Allen, 2000), so

dass eine Einbeziehung der täglichen Wasseraufnahme in das Modell die Schätzung der Futteraufnahme und Milchmenge verbessern könnte.

Eine möglichst genaue Schätzung der Futteraufnahme erscheint äußerst wichtig für die zuverlässige Vorhersage der täglichen Milchproteinmenge. Die Ergebnisse der hier vorgestellten Meta-Analyse zeigen, dass die Futteraufnahme die am besten geeignete Regressionsvariable für die Schätzung der Milchmenge ist. Das stimmt mit den Ergebnissen der Meta-Analysen von Hristov et al. (2004, 2005) überein. Außerdem zeigten Hristov et al. (2005), dass die Rohproteinqualität der Ration eine wichtige Rolle bei der Milchproteinsynthese spielt. Eine Einbeziehung der Rohproteinfraktion  $B_2$  nach dem CNCPS-Modell (Sniffen et al., 1992) oder des im Pansen unabgebauten Rohproteins (ruminally undegraded protein, RUP) nach NRC (2001) führte zur Verbesserung der Genauigkeit der Vorhersagekraft der Modelle (Hristov et al., 2005).

Die Meta-Analyse zeigte, dass die Fermentationscharakteristika von Silagen einen Einfluss auf die Futteraufnahme sowie Milchleistung und -zusammensetzung haben. Die gewonnenen Erkenntnisse können aber wegen des Mangels an Daten nicht als allgemeingültig betrachtet werden und beziehen sich nur auf die für die Meta-Analyse verwendeten Datensätze. Es konnte auch keine Aussage dazu getroffen werden, welche Interaktionen zwischen den Silagearten und den Fermentationscharakteristika bestehen. Es wurde jedoch demonstriert, dass eine Einbeziehung der Fermentationscharakteristika von Silagen in Schätzmodelle insbesondere die Vorhersage der Futteraufnahme und damit auch der Milchleistung und -zusammensetzung verbessern kann. Parallel dazu sollten zukünftig auch Hypothesen geprüft werden, inwieweit eine Einbeziehung anderer Einflussfaktoren (Wasseraufnahme, Rohproteinqualität) die Vorhersagekraft der Modelle für die Schätzung von Futteraufnahme und Milchleistungskenngrößen verbessern kann.

### Literatur

- Allen MS (2000) Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 83: 1598-1624.
- Dewhurst RJ, Offer NW, Thomas C (1998) Factors affecting water intakes of lactating dairy cows offered grass silages differing in fermentation and intake characteristics. *Animal Science* 66: 543-550.
- Gruber L, Schwarz FJ, Erdin D, Fischer B, Spiekers H, Steingass H, Meyer, U, Chassot A, Jilg T, Obermaier A, Guggenberger, T. (2004) Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen: Kooperation von 10 Forschungs- und Universitätsinstituten Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. 31. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 27.-28. April 2004, Bericht BAL Gumpenstein 2004, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, 21-39.
- Holter JB, Urban WE Jr. (1992) Water partitioning and intake prediction in dry and lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 75: 1472-1479.
- Hristov AN, Price WJ and Shafii B (2004) A meta-analysis examining the relationship among dietary factors, dry matter intake, and milk and milk protein yield in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 87: 2184-2196.
- Hristov AN, Price WJ, Shafii B (2005) A meta-analysis on the relationship between intake of nutrients and body weight with milk volume and milk protein yield in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 88: 2860-2869.
- Huhtanen P, Khalili H, Nousiainen JI, Rinne M, Jaakkola S, Heikkilä T, Nousiainen J (2002) Prediction of relative intake potential of grass silage by dairy cows. *Livestock Production Science* 73: 111-130.
- Huhtanen P, Nousiainen JI, Khalili H, Jaakkola S, Heikkilä T (2003) Relationships between silage fermentation characteristics and milk production parameters: analyses of literature data. *Livestock Production Science* 81: 57-73.

## Kapitel IV

McDonald P, Henderson AR, Ralton I (1973) Energy changes during ensilage. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 24: 827-834.

NRC (National Research Council, 2001) *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th rev. ed. National Academy Press, Washington

Sniffen CJ, O'Connor JD, Van Soest PJ, Fox DG, Russel JB (1992) A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science* 70: 3562-3577.

Steinwigger A, Zeiler E (2003) Einfluss von Partikellänge und Trockenmassegehalt von Grassilage bei unterschiedlichem Kraftfutterniveau auf Pansenparameter, Verdaulichkeit und Futteraufnahme von Rindern. 30. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 27.-28. April 2003, Bericht BAL Gumpenstein 2003, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, 25-45.

## **Anhang**

### **Quellenverzeichnis der in die statistische Analyse einbezogenen Daten**

#### **Getrennte Vorlage der Rationsbestandteile**

- Aston K, Fisher WJ, McAllan AB, Dhanoa MS, Dewhurst RJ (1998) Supplementation of grass silage-based diets with small quantities of concentrates: strategies for allocating concentrate crude protein. *Animal Science* 67: 17-26.
- Aston K, Sutton JD, Fisher WJ (1995) Milk production from grass silage diets: strategies for concentrate allocation. *Animal Science* 61: 465-480.
- Aston K, Thomas C, Daley SR, Sutton JD (1994a) Milk production from grass silage diets: effects of the composition of supplementary concentrates. *Animal Production* 59: 335-344.
- Aston K, Thomas C, Daley SR, Sutton JD, Dhanoa MS (1994b) Milk production from grass silage diets: effects of silage characteristics and the amount of supplementary concentrate. *Animal Production* 59: 31-41.
- Bertilsson J (1987) Effects of conservation method and stage of maturity upon the feeding value of forages to dairy cows. 3. Wilting and cutting time for silage. *Swedish Journal of Agricultural Research* 17: 123-131.
- Cammell SB, Sutton JD, Beever DE, Humphries DJ, Phipps RH (2000) The effect of crop maturity on the nutritional value of maize silage for lactating dairy cows: 3. Energy and nitrogen utilization. *Animal Science* 71: 381-390.
- Castle ME, Watson JN (1985) Silage and milk production: studies with molasses and formic acid as additives for grass silage. *Grass and Forage Science* 40: 85-92.
- Chamberlain DG, Robertson S (1992) The effects of the addition of various enzyme mixtures on the fermentation of perennial ryegrass silage and on its nutritional value for milk production in dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* 37: 257-264.
- Cushnahan A, Mayne CS (1995) Effects of ensilage of grass on performance and nutrient utilization by dairy cattle. 1. Food intake and milk production. *Animal Science* 60: 337-345.
- Davies OD, Haigh PM (1993) A comparison of formic acid and an acid-salt type additive on the performance of dairy cows in early lactation. *Grass and Forage Science* 48: 64-69.

- Dewhurst FJ, Mitton AM, Offer NW, Thomas C (1996) Effects of the composition of grass silages on milk production and nitrogen utilization by dairy cows. *Animal Science* 62: 25-34.
- Dewhurst RJ, Aston K, Fisher WJ, Evans RT, Dhanoa MS, McAllan AB (1999) Comparison of energy and protein sources offered at low levels in grass-silage-based diets for dairy cows. *Animal Science* 68: 789-799.
- Doherty JG, Mayne CS (1996) The effect of concentrate type and supplementary lactic acid or soya oil on milk production characteristics in dairy cows offered grass silages of contrasting fermentation type. *Animal Science* 62: 187-198.
- Ferris CP, Gordon FJ, Patterson DC, Mayne CS, Kilpatrick DJ (1999) The influence of dairy cow genetic merit on the direct and residual response to level of concentrate supplementation. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)* 132: 467-481.
- Ferris CP, Gordon FJ, Patterson DC, Mayne CS, McCoy MA (2003a) A short-term comparison of the performance of four grassland-based systems of milk production for autumn-calving dairy cows. *Grass and Forage Science* 58: 192-209.
- Ferris CP, Patterson DC, Gordon FJ, Kilpatrick DJ (2000) The effects of incorporating small quantities of straw in grass/grass silage-based diets for dairy cows. *Grass and Forage Science* 55: 146-158.
- Ferris CP, Patterson DC, Gordon FJ, Kilpatrick DJ (2003b) The effect of concentrate feed level on the response of lactating dairy cows to a constant proportion of fodder beet inclusion in a grass silage-based diet. *Grass and Forage Science* 58: 17-27.
- Fitzgerald JJ, Murphy JJ (1999) A comparison of low starch maize silage and grass silage and the effect of concentrate supplementation of the forages or inclusion of maize grain with the maize silage on milk production by dairy cows. *Livestock Production Science* 57: 95-111.
- Gordon FJ (1982) The effect of degree of chopping grass for silage and method of concentrate allocation on the performance of dairy cows. *Grass and Forage Science* 37: 59-65.
- Gordon FJ (1986) The effect of system of silage harvesting and feeding on milk production. *Grass and Forage Science* 41: 209-219.
- Gordon FJ (1987) The influence of the system of silage harvesting and feeding and the use of protected protein on milk production. *Grass and Forage Science* 42: 9-19.
- Gordon FJ (1989a) A further study on the evaluation through lactating cattle of a bacterial inoculant as an additive for grass silage. *Grass and Forage Science* 44: 353-357.

- Gordon FJ (1989b) An evaluation through lactating cattle of a bacterial inoculant as an additive for grass silage. *Grass and Forage Science* 44: 169-179.
- Gordon FJ, Patterson DC, Porter MG, Unsworth EF (2000) The effect of degree of grass wilting prior to ensiling on performance and energy utilisation by lactating dairy cattle. *Livestock Production Science* 64: 291-294.
- Gordon FJ, Peoples AC (1986) The utilization of wilted and unwilted silages by lactating cows and the influence of changes in the protein and energy concentration of the supplement offered. *Animal Production* 43: 355-366.
- Gordon FJ, Small JC (1990) The direct and residual effects of giving fish meal to dairy cows receiving differing levels of concentrate supplementation in addition to grass silage. *Animal Science* 51: 449-460.
- Jans F (1993) Einsatz eines Milchsäurebakterien-Impfzusatzes in Grassilage aus der Sicht der Milchviehfütterung. *Landwirtschaft Schweiz* 6: 209-211.
- Keady TWJ, Mayne C S, Fitzpatrick DA, Marsden M (1999) The effects of energy source and level of digestible undegradable protein in concentrates on silage intake and performance of lactating dairy cows offered a range of grass silages. *Animal Science* 68: 763-777.
- Keady TWJ, Mayne CS, Marsden M (1998) The effects of concentrate energy source on silage intake and animal performance with lactating dairy cows offered a range of grass silages. *Animal Science* 66: 21-33.
- Keady TWJ, Murphy JJ (1997) The effects of treating low dry matter herbage with a bacterial inoculant or formic acid on the intake and performance of lactating dairy cattle. *Animal Science* 64: 25-36.
- Keady TWJ, Murphy JJ (1998) The effects of ensiling and supplementation with sucrose and fishmeal on forage intake and milk production of lactating dairy cows. *Animal Science* 66: 9-20.
- Keady TWJ, Murphy JJ, Harrington D (1995) The effects of ensiling on dry-matter intake and milk production of lactating dairy cattle given forage as sole feed. *Grass and Forage Science* 51: 131-141.
- Kebreab E, Castillo AR, Beever DE, Humphries DJ, France J (2000) Effects of management practices prior to and during ensiling and concentrate type on nitrogen utilization in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 83: 1274-1285.

- Lessard JR, Fisher LJ (1980) Alfalfa fed as formic-acid-treated silage, dehydrated pellets or hay in mixed rations with corn silage for lactating cows. *Canadian Journal of Animal Science* 60: 945-951.
- Martinsson K (1991) A comparison between formic acid and an inoculant for the preservation of grass silage for dairy cows. *Swedish Journal of Agricultural Research* 21: 121-130.
- Martinsson K (1992a) A study of the efficacy of a bacterial inoculant and formic acid as additives for grass silage in terms of milk production. *Grass and Forage Science* 47: 189-198.
- Martinsson K (1992b) Effects of conservation method and access time on silage intake and milk production in dairy cows. *Grass and Forage Science* 47: 161-168.
- Mayne CS (1990) An evaluation of an inoculant of *Lactobacillus plantarum* as an additive for grass silage for dairy cattle. *Animal Production* 51: 1-13.
- Mayne CS (1993) The effect of formic acid, sulphuric acid and a bacterial inoculant on silage fermentation and the food intake and milk production of lactating dairy cows. *Animal Production* 56: 29-42.
- Nagel SA, Broderick GA (1992) Effect of formic acid or formaldehyde treatment of alfalfa silage on nutrient utilization by dairy cows. *Journal of Dairy Science* 75: 140-154.
- O'Mara FP, Fitzgerald JJ, Murphy JJ, Rath M (1998) The effect on milk production of replacing grass silage with maize silage in the diet of dairy cows. *Livestock Production Science* 55: 79-87.
- Patterson DC, Mayne C S, Gordon FJ, Kilpatrick D J (1997) An evaluation of an inoculant/enzyme preparation as an additive for grass silage for dairy cattle. *Grass and Forage Science* 52: 325-335.
- Patterson DC, Yan T, Gordon FJ (1996) The effects of wilting of grass prior to ensiling on the response to bacterial inoculation. 2. Intake and performance by dairy cattle over three harvests. *Animal Science* 62: 419-429.
- Patterson DC, Yan T, Gordon FJ, Kilpatrick DJ (1998) Effect of bacterial inoculation of unwilted and wilted grass silages. 2. Intake, performance and eating behaviour by dairy cattle. *Journal of Agricultural Science (Camb)* 131: 113-119.
- Peoples AC, Gordon FJ (1989) The influence of wilting and season of silage harvest and the fat and protein concentration of the supplement on milk production and food utilization by lactating cattle. *Animal Production* 48: 305-317.

- Petit HV, Tremblay GF (1995a) Milk production and intake of lactating cows fed grass silage with protein and energy supplements. *Journal of Dairy Science* 78: 353-361.
- Petit HV, Tremblay GF (1995b) Ruminal fermentation and digestion in lactating cows fed grass silage with protein and energy supplements. *Journal of Dairy Science* 78: 342-352.
- Petit HV, Tremblay GFSP, Tremblay D, Wauthy JM (1993) Milk yield, intake, and blood traits of lactating cows fed grass silage conserved under different harvesting methods. *Journal of Dairy Science* 76: 1365-1374.
- Petit HV, Veira DM (1991) Effects of grain level and protein source on yield, feed intake, and blood traits of lactating cows fed alfalfa silage. *Journal of Dairy Science* 74: 1923-1932.
- Phipps RH, Sutton JD, Jones BA (1995) Forage mixtures for dairy cows: the effect on dry-matter intake and milk production of incorporating either fermented or urea-treated whole-crop wheat, brewers grains, fodder beet or maize silage into diets based on grass silage. *Animal Science* 61: 491-496.
- Phipps RH, Weller RF, Rook AJ (1992) Forage mixtures for dairy cows: the effect on dry matter intake and milk production of incorporating different proportions of maize silage into diets based on grass silages of differing energy value. *Journal of Agricultural Science (Camb)* 118: 379-382.
- Phipps RH, Sutton JD, Beever DE, Jones AK (2000) The effect of crop maturity on the nutritional value of maize silage for lactating dairy cows: 3. Food intake and milk production. *Animal Science* 71: 401-409.
- Romney DL, Blunn V, Sanderson R, Leaver JD (2000) Feeding behaviour, food intake and milk production responses of lactating dairy cows to diets based on grass silage of high or low dry-matter content, supplemented with quickly and slowly fermentable energy sources. *Animal Science* 71: 349-357.
- Shingfield KJ, Jaakkola S, Huhtanen P (2002) Effect of forage conservation method, concentrate level and propylene glycol on intake, feeding behaviour and milk production of dairy cows. *Animal Science* 74: 383-397.
- Smith EJ, Henderson AR, Oldham JD, Whitaker DA, Aitchison K, Anderson DH, Kelly JM (1993) The influence of an inoculant/enzyme preparation as an additive for grass silage offered in combination with three levels of concentrate supplementation on performance of lactating dairy cows. *Animal Production* 56: 301-310.

- Sutton JD, Abdalla AL, Phioos RH, Cammel SB, Humphries DJ (1997) The effect of the replacement of grass silage by increasing proportions of urea-treated wholecrop wheat on food intake and apperent digestibility and milk production by dairy cows. *Animal Science* 65: 343-351.
- Sutton JD, Aston K, Beever DE, Dhanoa MS (1996) Milk production from grass silage diets; effects of high-protein concentrates for lactation heifers and cows on intake. *Animal Production* 62: 207-215.
- Sutton JD, Aston K, Beever DE, Fisher WJ (1994) Milk production from grass silage diets: the relative importance of the amounts of energy and crude protein in the concentrates. *Animal Production* 59: 327-334.
- Thomas C, Aston K, Daley SR (1985) Milk production from silage. 3. A comparison of red clover with grass silage. *Animal Production* 41: 23-31.
- Thomas C, Aston K, Daley SR, Bass J (1986) Milk production from silage. 4. The effect of the composition of the supplement. *Animal Production* 42: 315-325.
- Thomas C, Daley SR, Aston K, Hughes PM (1981) Milk production from silage. 2. The influence of the digestibility of silage made from the primary growth of perennial ryegrass. *Animal Production* 33: 7-13.
- Vanhatalo A, Varvikko T, Huhtanen P (2003) Effects of casein and glucose on responses of cows fed diets based on restrictively fermented grass silage. *Journal of Dairy Science* 86: 3260-3270.
- Vanhatalo A, Varvikko T, Huhtanen P (2003) Effects of various glucogenic sources on production and metabolic responses of dairy cows fed grass silage-based diets. *Journal of Dairy Science* 86: 3249-3259.
- Wyss U, Jans F (1992) Rundballensilage: Konservierung und Fütterung. *Die Grüne* 14: 23-26.

### **Gesamtmischrationen**

- Atwal AS, Erfle JD (1988) Comparison of wilted-alfalfa silage and alfalfa hay preserved with propionic acid in corn-silage-based diets for milking cows. *Canadian Journal of Animal Science* 68: 801-809.
- Bernard K, West JW, Trammel DS (2002) Effect of replacing corn silage with annual ryegrass silage on nutrient digestibility, intake and milk yield for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 85: 2277-2282.

- Ferris CP, Gordon FJ, Patterson DC, Kilpatrick DJ, Mayne CS, McCoy MA (2001) The response of dairy cows of high genetic merit to increasing proportion of concentrate in the diet with a high and medium feed value silage. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)* 136: 319-329.
- Ferris CP, Gordon FJ, Patterson DC, Mayne CS, McCoy MA (2003) A short-term comparison of the performance of four grassland-based systems of milk production for autumn-calving dairy cows. *Grass and Forage Science* 58: 192-209.
- Freedon AH, McQueen RE, Browning DA (1991) Effects of enzymes and nutrients in a bacterial inoculant on quality of timothy or alfalfa silage and dairy cow performance. *Canadian Journal of Animal Science* 71: 781-791.
- Gordon F J, Ferris CP, Patterson DC, Mayne CS (2000) A comparison of two grassland-based systems for autumn-calving dairy cows of high genetic merit. *Grass and Forage Science* 55: 83-96.
- Grant RJ, Fanning KC, Kleinschmit D, Stanisiewskie EP, Hartnell GF (2003) Influence of glyphosate-tolerant (event nk603) and corn rootworm protected (event MON863) corn silage and grain on feed consumption and milk production in Holstein cattle. *Journal of Dairy Science* 86: 1707-1715.
- Ivan SK, Grant RJ, Weakley D, Beck J (2005) Comparison of a corn silage hybrid with high cell-wall content and digestibility with a hybrid of lower cell-wall content on performance of Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 88: 244-254.
- Keady TWJ, Murphy JJ (1998) The effects of ensiling and supplementation with sucrose and fishmeal on forage intake and milk production of lactating dairy cows. *Animal Science* 66: 9-20.
- Kononoff PJ, Heinrichs AJ (2003) The effect of reducing alfalfa haylage particle size on cows in early lactation. *Journal of Dairy Science* 86: 1445-1457.
- Kononoff PJ, Heinrichs AJ, Lehman HA (2003) The effect of corn silage particle size on eating behavior, chewing activities, and rumen fermentation in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86: 3343-3353.
- Oullet DR, Lapierre H, Chiquette J (2003) Effects of corn silage processing and amino acid supplementation on the performance of lactating cows. *Journal of Dairy Science* 86: 3675-3684.
- Thomas ED, Mandevu P, Ballard CS, Sniffen CJ, Carter MP, Beck J (2001) Comparison of corn silage hybrids for yield, nutrient composition, in vitro digestibility, and milk yield by dairy cows. *Journal of Dairy Science* 84: 2217-2226.

Weiss WP, Shockey WL (1991) Value of orchardgrass and alfalfa silages fed with varying amounts of concentrates to dairy cows. *Journal of Dairy Science* 74: 1933-1943.

## **Danksagung**

Ich möchte allen von ganzem Herzen danken, die mir bei der Anfertigung dieser Arbeit direkt oder indirekt geholfen haben.

Ich danke Herrn Prof. Dr. Südekum für die Überlassung des Themas und für seine Unterstützung in den Lebenssituationen, wo ich nicht nur einen wissenschaftlichen, sondern eher väterlichen Rat brauchte.

Ich danke Susanne Kirchhof für ihre Diskussionsbereitschaft, die Einbindung ins Institutsleben und freundliche Hilfe bei Fragen bezüglich der deutschen Grammatik.

Ich danke Herrn Prof. Dr. Susenbeth und Herrn Prof. Dr. Wolfram für die Aufnahme am Institut und die Bereitstellung meines Arbeitsplatzes.

Ralf Blank danke ich für seine Hilfe bei allen fachlichen Fragen und die Unterstützung bei der statistischen Verrechnung meiner Daten.

Ich danke Bart Tas für seine Hilfe bei Problemen mit der Software-Unterstützung an meinem Arbeitsplatz.

Silvia Wein und Birga Müller-Siegwardt danke ich für die Bereitstellung der dringend benötigten Beförderungsmittel und die grundlegenden Anweisungen für den Umgang mit diesen.

Ich danke Norma Behm für ihre professionellen Ratschläge während der bewegten Mittagspausen, die eine Zeit lang im Institutsflur praktiziert wurden.

Meinen Zimmerkolleginnen, Miriam Lühring und Sabine Augustin, danke ich fürs Entgegennehmen der Telefonate während meiner ständigen Suche nach Literaturquellen in der Universitätsbibliothek sowie für ihre Geduld während der stundenlangen telefonischen Diskussionen, die ich während der Anfertigung meiner Arbeit führen musste.

An dieser Stelle möchte ich allen Institutsangehörigen für die schöne gemeinsame Zeit am Institut danken. Vielen Dank, dass ihr mir immer zur Seite standet.

## *Lebenslauf*

### **Persönliche Angaben**

Ivan Eisner, geb. Bartaschuk  
geb. am 6. Dezember 1973 in Kasan, UdSSR  
Staatsangehörigkeit: weißrussisch

### **Schulbildung**

1981 – 1990 Mittelschule Nr. 2 Grodno, Weißrussland  
1990 Allgemeine Hochschulreife

### **Studium**

1991 – 1996 Studium der Agrarwissenschaften an der Staatlichen Landwirtschaftlichen Hochschule, Grodno

Februar 1996 Diplom-Zootechniker

1997 – 2004 Studium der Agrarwissenschaften an der Christian-Albrechts-Universität, Kiel

Juni 2004 Master of Science  
Fachrichtung: Tierproduktion

### **Promotion**

08/04 – 07/07 Institut für Tierernährung und Stoffwechselfysiologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

### **Praktika und berufliche Tätigkeiten**

07/94 – 07/95 landwirtschaftliches Praktikum Milchviehbetrieb von Johann Offermann, Wingst bei Cuxhaven

1996 – 2005 Aushilfe und Urlaubsvertretung Milchviehbetriebe im Landkreis Cuxhaven

seit 01/07 Produktmanager Deutsche Tiernahrung Cremer GmbH & Co. KG