

## **Forschungsbericht**

**Nr. 198**

**„Stabilisierung der Gesundheit von Milchkühen –  
Automatische Kontrolle des Milchentzugs zur  
Verringerung des Energiedefizits in der Frühlaktation“**

Verfasser:

Dr.in Ute Müller  
Prof. Dr. Karl-Heinz Südekum

**Institut für Tierwissenschaften**

**Herausgeber:** Lehr- und Forschungsschwerpunkt „Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft“, Landwirtschaftliche Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Meckenheimer Allee 172 15, 53115 Bonn  
Tel.: 0228 – 73 2285; Fax.: 0228 – 73 1776  
[www.usl.uni-bonn.de](http://www.usl.uni-bonn.de)

Forschungsvorhaben im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen  
Bonn, November 2023

ISSN 1610-2460

**Projektleitung:** AOR Dr.in Ute Müller  
Prof. Dr. Karl-Heinz Südekum

**Projektbearbeiterin:** MSc Isabell Meyer

Institut für Tierwissenschaften  
AG Physiologie und AG Tierernährung  
Katzenburgweg 7-9  
53115 Bonn

**Zitiervorschlag:**

MÜLLER, U. UND SÜDEKUM, KARL-HEINZ (2023): Stabilisierung der Gesundheit von Milchkühen – Automatische Kontrolle des Milchentzugs zur Verringerung des Energiedefizits in der Früh lactation. Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunktes USL, 198, 36 Seiten.

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	
<b>1 Einleitung</b>	1
1.1 Bedeutung des Energiedefizits in der Frühlaktation einer Milchkuh	1
1.2 Milchmengenreduktion zur Verringerung des Energiedefizits	1
1.3 Bedeutung der Milchmengenreduktion für die Eutergesundheit	2
1.4 Eigene Erfahrungen mit der notwendigen Melkabnahme-Soft für der Trockenstehperiode	3
1.5 Zielsetzungen der Studie	4
<b>2 Material und Methoden</b>	6
2.1 Versuchsbetrieb und untersuchte Kühe	6
2.2 Versuchsdesign	8
2.3 Probenentnahme, -aufbereitung und weitere Erhebungen	9
2.4 Statistische Auswertung	11
<b>3 Ergebnisse und Diskussion</b>	13
3.1 Milchleistungsentwicklung	13
3.2 Bedeutung für die Eutergesundheit	16
3.3 Energiesaldoentwicklung	19
3.4 Bedeutung für die Stoffwechselmetaboliten im Blut	20
<b>4 Zusammenfassung</b>	27
<b>5 Summary</b>	29
<b>6 Schlussfolgerungen für die Umsetzung der Ergebnisse in die Praxis</b>	31
<b>7 Literaturverzeichnis</b>	32
<b>8 Konsequenzen für evtl. weitere Forschungsaktivitäten</b>	35
<b>9 Veröffentlichung</b>	36
<b>10 Vorträge</b>	36
<b>11 Posterpräsentation</b>	36
<b>12 Weitere Aktivitäten</b>	36

## Abkürzungsverzeichnis

BHB	β-Hydroxybutyrat
BW <sup>0,75</sup>	metabolische Körpergröße
d	Tag
ES	Energiesaldo
IM	Incomplete Milking (unvollständiges Melken)
LKV	Landeskontrollverband
LM	Lebendmasse
LUFA	Landwirtschaftliche Untersuchungs-und Forschungsanstalt
LW	Laktationswoche
MJ	Megajoule
MLP	Milchleistungsprüfung
MW	Mittelwert
NEFA	Nicht veresterte Fettsäuren
NEL	Netto Energie Laktation
n.s.	nicht signifikant
p.p	post partum
SCC	somatischer Zellgehalt (somatic cell count)
SD	Standardabweichung (standard deviation)
SE	Standardfehler (standard error)
TM	Trockenmasse
tMR	Teilmischung

# **1 Einleitung**

## **1.1 Bedeutung des Energiedefizits in der Frühlaktation einer Milchkuh**

Von Milchkuhen werden sowohl aus wirtschaftlichen als auch aus züchterischen Gründen hohe Milchleistungen pro Laktation erwartet. Das bedeutet unter anderem eine hohe Einstiegsleistung und eine zunehmende Steigerung der täglichen Milchleistung in der Frühlaktation. Große Milchmengen haben hohe Energieabgaben mit einer entsprechenden Stoffwechselbelastung zur Folge (Gasteiner 2000). Diese Belastung erfordert ein besonderes Maß an Anpassungsfähigkeit (Goff & Horst 1997), um eine hohe Milchleistung bei stabiler Gesundheit und Fruchtbarkeit zu erreichen (Drackley 1999, Ingvarlsen 2006).

Die hohe Milchproduktion der Kuh ist an einen intensiven Stoffumsatz gebunden, wobei die Nährstoffverteilung in Richtung der Milchdrüse priorisiert ist und bis hin zur Benachteiligung anderer Organfunktionen reichen kann. Dadurch ist die Entstehung von Stoffwechselstörungen und weiteren Folgeerkrankungen begünstigt (Staufenbiel et al. 1991).

Um die Milchsynthese auch während eines negativen Energiesaldos aufrecht erhalten zu können, werden Körperreserven (v. a. Fett, aber auch Protein) mobilisiert. Zahlreiche Untersuchungen haben gezeigt, dass das vermehrte Auftreten von Produktionskrankheiten in der Frühlaktation auf eine nicht ausreichende Anpassungsmöglichkeit oder -fähigkeit auf die Energiemobilisierung zurückzuführen ist. Das heißt, das negative Energiesaldo gilt als zentrales Problem in der Frühlaktation (Roche et al. 2000).

## **1.2 Milchmengenreduktion zur Verringerung des Energiedefizits**

Verschiedene wissenschaftliche Ansätze befassten sich bisher mit Einflussmöglichkeiten über die Fütterung, wiederum andere Studien mit der genetischen Disposition der Tiere. Ein weiterer Ansatz ist die Reduzierung der Melkfrequenz, d. h. in der Regel von zweimal auf einmal täglich Melken. Dabei bedeutet die Melkfrequenzreduktion auch eine Verminderung der Milchleistung in Abhängigkeit z. B. vom Laktationsstadium, Dauer der Reduktion, Fütterung und Laktationsnummer (Schlamberger et al. 2010, Kay et al. 2013; Stelwagen et al. 2013, Valdecabres et al. 2022). Die Autor\*innen ermittelten zum Teil mit Hilfe der Metaboliten nicht-veresterte freie Fettsäuren (NEFA) und  $\beta$ -Hydroxybutyrat (BHB) eine Verbesserung der Stoffwechselsituation, einen geringeren Abfall der Körperkondition und damit einhergehend eine Erhöhung der Milchproteingehalte. Carbonneau et al. (2012) melkten in ihrer Untersuchung 15 Kühe zweimal täglich, nahmen aber in den ersten fünf Laktationstagen (d.h. während der Kolostrumphase) das Melkzeug manuell nach einem Drittel der zu erwartenden Milchleistung ab. Sie wiesen eine Verminderung der metabolischen Belastung der Tiere mittels verschiedener Blutinhaltsstoffe nach und nur eine

geringere Verminderung der Produktivität, was auf die kurze Zeit der früheren Abnahme der Melkzeuge zurückzuführen ist. Aktuelle Ergebnisse dieser Arbeitsgruppen aus Kanada haben die Erkenntnisse bestätigen können: Krug et al. (2018a) konnten mit Daten aus 846 Laktationen zeigen, dass die restriktive Milchmengenentnahme (auf 10-14 L/Tag) in den ersten fünf Laktationstagen keinen Einfluss auf die anschließende Milchleistungsentwicklung und den Gehalt an Milchinhaltsstoffen hatte. Morin et al. (2018) stellten fest, dass durch die restriktive Milchmengenentnahme (ebenfalls in den ersten 5 Laktationstagen auf 10-14 L/Tag) die Prävalenz für eine Ketose (in den ersten 17 Laktationstagen) signifikant verringert war. Es ist aber daraufhin zu weisen, dass diese aktuellen Studien in der Kolostrumphase (nur die ersten 5 Laktationstage) durchgeführt und die Melkzeuge manuell abgenommen wurden. Für eine nachhaltige Nutzung des Effekts der restriktiven Milchmengenentnahme auf die Gesundheit der Milchkuh ist zum einen die Automatisierung der Melkzeugabnahme nach Milchmenge und zum anderen die Ermittlung der Auswirkungen des Einsatzes auch über einen Zeitraum nach der Kolostrumphase unabdingbar.

### **1.3. Bedeutung der Milchmengenreduktion für die Eutergesundheit**

Bei diesem Ansatz ist die Einbeziehung der Eutergesundheit unumgänglich, weil Verfahren mit vorzeitiger Melkzeugabnahme zu einer höheren im Euter verbleibenden Restmilchmenge führen als bei konventioneller Melkzeugabnahme (bei 0,3-1,0 kg/min) üblich. Verschiedene Quellen in der Vergangenheit wiesen darauf hin, dass diese Milch als Nährmedium für eventuell durch den Strichkanal eindringende Bakterien dienen kann (u.a. Burvenich & De Spiegeler, 2009; Bruckmaier & Wellnitz 2008). Clarke et al. (2008) haben hingegen in einer Studie den Zusammenhang zwischen Restmilch und Eutergesundheit untersucht und schlussfolgerten, dass es keinen Einfluss der vermehrten Restmilch auf die Häufigkeit von Mastitis durch ungenügendes Ausmelken gibt. Zu der gleichen Schlussfolgerung kommen ebenfalls Cording et al. (2013) in einem Übersichtsartikel. Sie fassen zusammen, dass bislang keine Effekte eines losen Restgemelks (manuell ermolken) von 200-820 mL pro Viertel auf die Mastitisinzidenz beschrieben wurden. Sie betonen hingegen die positive Wirkung der verkürzten Melkzeughaltzeit auf die Zitzenkondition und damit auf die Eutergesundheit (Cording et al. 2013). Erfahrungsgemäß muss das vorzeitige Abnehmen des Melkzeuges nicht zu einer Euterentzündung führen. Voraussetzung dafür ist ein gesundes Euter mit niedriger Zellzahl. Zu diesem Ergebnis kommen auch Carbonneau et al. (2012) und Krug et al. (2018b) im Rahmen ihrer Studien über die Auswirkungen von unvollständigem Ausmelken in den ersten 5 Laktationstagen. Das kann durch eigene aktuelle Ergebnisse und Veröffentlichung bestätigt werden (siehe Kapitel 1.4).

Die neu entwickelte Technik zur vorzeitigen automatischen Abnahme der Melkzeuge ermöglicht eine umfangreichere Untersuchung zur Entlastung bzw. Stabilisierung des Energiehaushalts und zum Einfluss auf die Produktivität und die Eutergesundheit

#### **1.4 Eigene Erfahrungen mit der neuartigen Melkabnahme-Soft für der Trockenstehperiode**

Von den Antragstellern wurde im Rahmen eines BMEL-Forschungsprojektes (Projektträger BLE) in Zusammenarbeit mit dem Wirtschaftspartner GEA Farm Technologies GmbH (Bönen in NRW) eine neuartige Melkzeugabnahme-Software entwickelt (Pat. Nr. DE 10 2017 120 656, Schmidt et al. 2017: „Verfahren zur Reduzierung der tierindividuellen Milchproduktion von milchgebenden Tieren“). Der Einsatz dieser neuen Software konnte bereits erfolgreich in dem Versuchsmelkstand der Lehr- und Forschungsstation Frankenforst (Universität Bonn) zur Vorbereitung des Trockenstellens erprobt werden – als automatisiertes „Abstillen“ einer Milchkuh zur Verringerung des Antibiotika-Einsatzes zum Trockenstellen.

Im Rahmen der ersten Studie, in der die neu entwickelte Melkzeugabnahme-Software eingesetzt werden konnte, wurden die Auswirkung einer vorzeitigen Melkzeugabnahme vor der Trockenstehphase ( $\emptyset$  10,5 Tage vor dem Trockenstellen pro Tag  $\emptyset$  1,1 kg Milch früher abgenommen) unter anderem auf die Eutergesundheit untersucht (Martin et al. 2020). Das Verfahren wurde mit 29 eutergesunden Kühen durchgeführt, bei denen keine Mastitiserreger im Euter nachgewiesen werden konnten. Die Ergebnisse wurden mit den Daten von 30 eutergesunden Kühen verglichen, die durchgehend mit der konventionellen Melkzeugabnahme gemolken wurden.

Durch das stufenweise intensivierte Belassen von Restmilch im Euter konnte bei allen Versuchstieren eine Reduktion der Milchleistung, berechnet durch die Milchmenge der letzten beiden Melkzeiten vor dem Trockenstellen, verzeichnet werden (im Mittel -34 %  $\pm$  13 % im Verhältnis der Startmilchmenge, siehe Tabelle 1).

**Tab. 1: Entwicklung der Milchleistungsreduktion (Mittelwert (MW)  $\pm$  Standardabweichung (SD) in der Versuchs- und in der Kontrollgruppe in der Versuchsphase vor dem Trockenstellen**

		Kontroll- gruppe n = 26	Versuchs- gruppe n = 30	Sign.
<b>Startmilchmenge</b>	kg/Tag	20,6 $\pm$ 3,8	20,6 $\pm$ 3,2	n.s.
<b>Erreichte Endmilchmenge*</b>	kg/Tag	19,9 $\pm$ 3,7	13,8 $\pm$ 4,5	< 0,001
<b>Erreichte Milchmengenreduktion</b>	g/Tag	70 $\pm$ 120	700 $\pm$ 270	< 0,001

\*Summe aus den letzten beiden Gemelken vor dem Trockenstellen bei konventioneller automatischer Abnahme

n.s.: nicht signifikant

Es wurde kein Fall von Mastitis verzeichnet, und die durchschnittliche Zellzahl lag bei beiden Gruppen weit unter dem Grenzwert der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft (DVG) von 100.000 Zellen/mL. Eine Verschlechterung der Eutergesundheit (Erhöhung der Zellzahl bei gleichzeitig negativem bakteriologischem Befund) trat bei einem Versuchstier, aber auch bei zwei Vergleichstieren auf.

Zur Analyse des Milchflusses im Melksystem zum Zeitpunkt der vorzeitigen Abnahme der Melkzeuge – als ein Maß zur Verdeutlichung der hohen Restmilchmenge im Euter – wurde der zuletzt von dem Milchmengenmessgerät (Metatron<sup>®</sup>) gemessene Wert für die Versuchsgruppe festgehalten. Im Durchschnitt der Versuchstage lag der Milchfluss zum Zeitpunkt der Abnahmen bei 3,4  $\pm$  1,5 kg/min. Zum Vergleich: standardmäßig nimmt die konventionelle automatische Melkzeugabnahme bei 0,3 kg/min ab.

Zu den eigenen Erfahrungen kann abschließend gesagt werden, dass die entwickelte Software für die vorzeitige Melkzeugabnahme nicht nur zu einer effektiven Anpassung der Milchproduktion der Kühe an den Bedarf entsprechend dem Laktationsabschnitt beitragen, sondern auch ohne negativen Einfluss auf die Eutergesundheit bei eutergesunden Kühen eingesetzt werden kann.

## 1.5 Zielsetzungen der Studie

Dem Projektantrag entsprechend war das Ziel des vorliegenden Vorhabens mit Hilfe der neuartigen Melkzeugabnahme-Software (d. h. automatische Melkzeugabnahme nach Milchmenge) zu zeigen, dass ein mengenmäßig kontrollierter bzw. eingeschränkter Milchentzug in der Früh-laktation über die reduzierte Abgabe von Energie mit der Milch zu einer Entlastung des Stoffwechsels und damit zur Stabilisierung der Gesundheit von



Milchkühen führen kann. Die energetische Stoffwechsellage wird in diesem Vorhaben mit folgenden Schritten beurteilt:

1. Berechnung des Energiesaldos, d. h. der Differenz aus der Energieaufnahme über das Futter und dem Energieerhaltungsbedarf plus der Milchennergieabgabe;
2. Gehalte an Stoffwechselmetaboliten (NEFA, Glukose und BHB), welche das Ausmaß des Energiedefizits, der Mobilisierung von Körperfettreserven und die eingeschränkte Oxidation der freien Fettsäuren zur Energiegewinnung beschreiben sowie
3. der Gehalt an den Hormonen Leptin und IGF-1, die den Fettstoffwechsel regulieren.

Gleichzeitig wurde die Eutergesundheit (mit der Zellzahl und der bakteriologischen Untersuchung des Viertelanfangsgemelks entsprechend den Leitlinien der DVG (2009) kontrolliert.

Des Weiteren konnten folgende Fragestellungen bearbeitet und später beantwortet werden:

- Ist eine konstante Milchentnahmemenge über den Zeitraum von 2 Wochen mit der Melksoftware möglich?
- Ist eine Belastung durch den erhöhten Euterinnendruck erkennbar?
- Wie entwickelt sich die anschließende Milchleistung bei „normaler“ Melkzeugabnahme?



## 2 Material und Methoden

### 2.1 Versuchsbetrieb und untersuchte Kühe

Der vorliegende Versuch wurde in dem Milchviehstall des Campus Frankenforst der Universität Bonn (Königswinter) von August 2020 bis Juli 2022 durchgeführt. Der Tierversuch wurde von dem Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV, NRW, Recklinghausen) genehmigt (Az 81-02.04.2019.A404).

Die folgende Tabelle 2 fasst die Anzahl Kühe mit auswertbaren Daten und die Angaben zu der vergleichbaren Laktations-Nr. zusammen.

**Tab. 2: Anzahl Kontroll- und Versuchskühe mit der durchschnittlichen Laktations-Nr. (MW  $\pm$  SD)**

	Automatische Melkzeugabnahme	Anzahl	Laktations-Nr.	Farbe in Abbildungen
<b>Kontrollkühe</b>	unverändert: automatische Abnahme der Melkzeuge bei 0,3 kg/min Milchfluss	23	3,5 $\pm$ 1,6	
<b>Versuchskühe</b>	In 2. und 3. Laktationswoche (= IM-Phase) reduzierte Milchentnahme durch vorzeitige Melkzeugabnahme bei definierter Milchmenge	23	3,1 $\pm$ 1,5	

Die Kühe wurden in einem zweireihigen Liegeboxenlaufstall zweimal täglich (ab 5:30 Uhr und ab 16:30 Uhr) in einem Gruppentandemmelkstand gemolken. Sie erhielten eine Teilmischung ad libitum, individuelle milchleistungs- und laktationsabhängige Milchleistungskraftfütterteilungen und freien Zugang zu Wassertränken. Die Fütterung erfolgte entsprechend den Vorgaben der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (GfE, 2001). Die Teilmischung setzte sich aus den in Tabelle 3 aufgeführten Bestandteilen zusammen.

**Tab. 3: Anteile der Rationsbestandteile in Prozent an der Trockenmasse (% der TM)**

<b>Rationsbestandteile</b>	<b>Rationsanteile</b>
Grassilage	24,9
Maissilage	24,6
Pressschnitzesilage	7,3
Luzernesilage	6,8
Biertrebersilage	1,8
zuckerrübentrockenschnitzel	0,9
Mineralstoffmischung	0,2
Viehsalz	0,1
Ausgleichskraftfutter	15,8
durchschn. Anteil Milchleistungsfutter	17,6

In regelmäßigen Abständen erfolgte die Analyse der Einzelkomponenten im Labor des Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt (LUFA) der Landwirtschaftskammer NRW in Münster. In der folgenden Tabelle 4 werden die entsprechenden Inhaltsstoffe aufgeführt.

**Tab. 4: Zusammensetzung der Teilmischung**

	<b>Energie</b> (MJ NEL/ kg TM)	<b>Rohprotein</b> (g/kg TM)	<b>Rohasche</b> (g/kg TM)	<b>ADF</b> (g/kg TM)
<b>Teilmischung</b>	6,2	116	96,1	184

Von den Versuchs- und Kontrollkühen standen (ab dem 5. Laktationstag) die tägliche Milchmenge, die tägliche Futter- und Wasseraufnahme (Hokofarm Group B.V., Marknesse, Niederlande), das tägliche Lebendgewicht (Mittelwert aus zwei Wiegunen pro Tag jeweils nach dem Melken) sowie die Daten der entsprechenden morgendlichen und abendlichen Milchflusskurven zur Verfügung.

Die Kontrolle des Gesundheitsstatus der Tiere wurde entsprechend der Vorgaben des genehmigten Tierversuchs täglich objektiv durch fachkundiges Stallpersonal durchgeführt und dokumentiert.

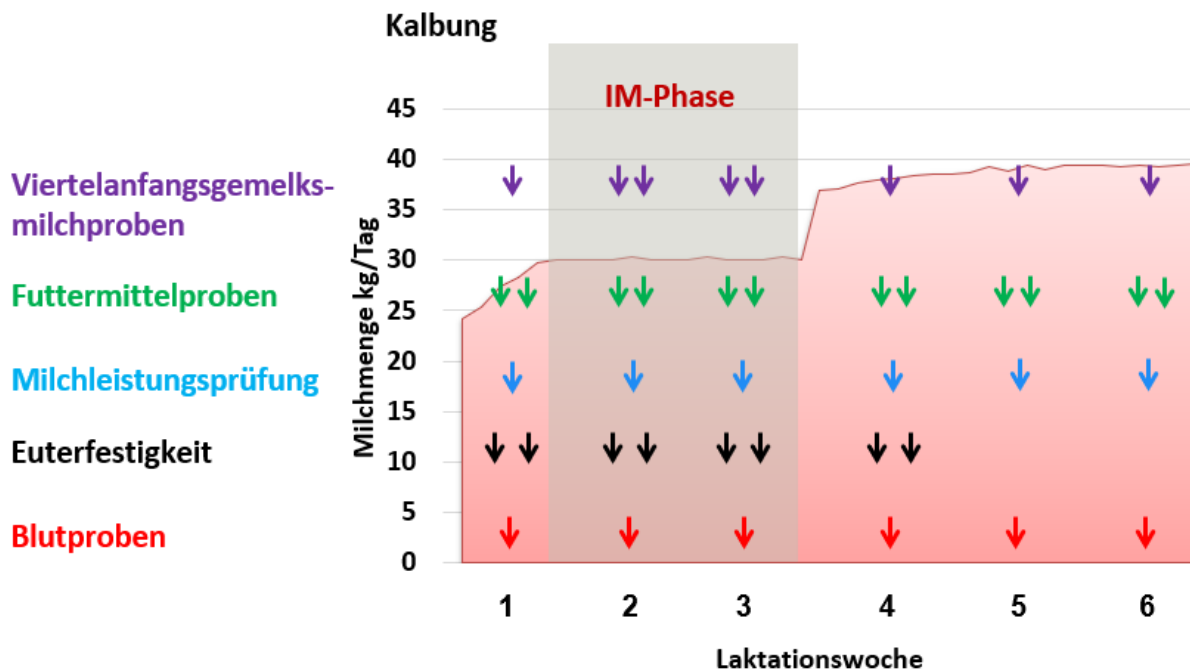
## 2.2 Versuchsdesign

Während der ersten  $8 \pm 1,1$  Laktationstage wurden alle Kühe auf die gleiche Weise gemolken, d.h. mit der automatischen Melkzeugabnahme bei einer Milchdurchflussrate  $< 0,3$  kg/min. Von den Kühen wurden die - entsprechend der Leitlinien der DVG (2012) – eutergesunden Kühe ausgewählt, und unter Berücksichtigung der gleichen Verteilung der Laktations-Nr. in die Gruppen der Kontroll- oder der Versuchskühe eingeteilt. Unter Anwendung der neuartigen Softwaremodul (Schmidt et al., 2020) wurden bei den Versuchskühe nach Erreichen einer bestimmten Milchmenge (kg) vom 8. ( $\pm 1,1$ ) bis zum 21. ( $\pm 1,1$ ) Laktationstag (= die Phase des Incomplete Milkings (IM)) das Melkzeug automatisch vorzeitig abgenommen. Die konstante Milchmenge (kg), die während der 2-IM-Phase verwendet wurde, entsprach der individuellen Milchleistung der Kühe an dem Tag vor Beginn der IM ( $32,0 \pm 4,0$  kg Milch/Tag). Am Ende der IM wurde die konventionelle automatische Melkzeugabnahme bei  $< 0,3$  kg/min reaktiviert.

Es wurde ein Zeitraum von 14 Tagen gewählt, um zu testen, ob sich die Milchdrüse in diesem frühen Stadium der Laktation an die reduzierte Nachfrage anpassen würde. Es war ein Abwägen zwischen einer zu kurzen Dauer (keine Wirkung) und einer zu langen Dauer (nachhaltig beeinträchtigte Milchleistung nach IM). Die Hauptüberlegung war, die steigende Stoffwechselbelastung zu verlangsamen, indem während der IM weniger Milch entnommen wurde. Die Festlegung des 2-wöchigen Versuchszeitraums erfolgte im Hinblick auf die spätere praktische Anwendung: es sollte nicht zu viel verkaufsfähige Milch eingebüßt werden und auch das IM-Verfahren sich nicht allzu nachteilig auf die nachfolgende Milchleistung auswirken.

Die Aufzeichnungen der Milchleistungs-, Melk- und Futteraufnahme daten erfolgten ab der Kalbung bis zum Ende der 15. Laktationswoche. Die Erfassung des letzten Milchflusswertes vor dem Abnehmen der Melkzeuge bei jedem Melkvorgang erfolgte entsprechend der Schilderung von Martin et al. (2020).

Die Häufigkeit der verschiedenen Probenentnahmen bzw. Untersuchungen in den ersten sechs Laktationswochen der folgenden Abbildung 1 zu entnehmen.



**Abb. 1: Beprobungsdesign in den ersten sechs Laktationswochen (vor, während und nach der IM-Phase) an den 46 Kontroll- und Versuchskühen; hellroter Bereich = Milchleistungsverlaufsdesign der Versuchskühe**

### 2.3 Probenentnahme, -aufbereitung und weitere Erhebungen

#### Milchproben und Beobachtungen während des Melkens zur Eutergesundheitskontrolle

Zur Kontrolle der Eutergesundheit wurde 1-2 Mal pro Woche in den ersten sechs Laktationswochen der somatische Zellgehalt (SCC) in Viertelanfangsgemelksproben bestimmt (DCC-Zellzähler; DeLaval GmbH, Glinde). In den ersten 4 Laktationswochen wurden 2-4 Mal Vieranfangsgemelksproben beider Gruppen in einem kommerziellen Labor (Milchtierherden-Betreuungs- und Forschungsgesellschaft mbH (MBFG), Wunstorf) entsprechend der DVG-Leitlinien (2009) entnommen und zytobakteriologisch nach den Empfehlungen der DVG untersucht.

Während der ersten 4 Wochen der Laktation wurden beide Gruppen zweimal pro Woche auf Milchaustritt beobachtet, basierend auf dem Protokoll von Gott et al. (2016): ein Versuchsleiter stand in der Melkgrube und beobachtete jedes Versuchstier im Melkstand visuell für 10-15 s vor dem Vormelken, nach dem Vormelken vor dem Ansetzen der Melkzeuge und nach der Abnahme der Melkzeuge. Der Milchaustritt pro Kuh wurde als "ja" (wenn mindestens aus einer Zitze Milch austrat) oder "nein" aufgezeichnet.

## **Futtermittelproben und Milchleistungsprüfung zur Berechnung des Energiesaldos**

Für die Berechnung der Energiesaldos wurde zunächst der Energiegehalt des Futters geschätzt: Während des gesamten Versuchszeitraums wurden zweimal pro Woche Proben der Teilmischung genommen. Der TM-Gehalt wurde durch Ofentrocknung (Memmert GmbH & Co. KG, Schwabach, Deutschland) bei 105°C über Nacht bestimmt. Der TM-Gehalt wurde gemäß Weißbach und Kuhla (1995) um den Verlust an flüchtigen Bestandteilen während der Trocknung korrigiert (TM<sub>cor</sub>):  $TM_{cor} (\%) = 2,08 + 0,975 \times DM (\%)$ . Von jeder Charge wurden bei der Anlieferung Proben entnommen und bei -20°C gelagert. Die Analyse des TM-Gehaltes (%; VO (EG) 152/2009, III, A) und die Schätzung der Energiekonzentration (MJ NEL/kg TM; GfE, 2001) wurden von dem kommerziellen Labor der Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt (LUF) NRW Münster durchgeführt.

Für die Berechnung des Energiebedarfs pro Liter Milch wurden einmal wöchentlich Milchproben entsprechend des Verfahrens der monatlichen Milchleistungsprüfung entnommen und auf den Fett-, Eiweiß- und Laktosegehalt untersucht (Landeskontrollverband NRW e.V., Krefeld).

Das Energiesaldo (MJ NEL/d) wurde für jede Woche individuell nach der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE, 2001) berechnet (SUSENBETH 2018):

- Futterenergieaufnahme (MJ NEL/d) abzüglich
- des Erhaltungsbedarfs ( $MJ/Tag = 0,293 \times (kg\ BW)^{0,75*}$ ) und
- der Energieabgabe in Milch ( $MJ/Tag = (38,5 \times Fett (\%) \times 0,01 + 24,2 \times Eiweiß (\%) \times 0,01 + 16,5 \times Laktose (\%) \times 0,01 + 0,1) \times (Milchmenge (kg))$ )

\* $BW^{0,75}$  = metabolische Körpergröße.

## **Euterfestigkeit und letzter Milchdurchflusswert am Ende des Melkens als indirekte Indikatoren des Euterinnendrucks**

Die Messung der Euterfestigkeit erfolgte zweimal pro Woche, jeweils vor dem Ansetzen der Melkzeuge und nach dem Abnehmen der Melkzeuge, mit einem digitalen Dynamometer (FMI-B30B5, 50 N, 0,15% Genauigkeit; Alluris GmbH & Co. KG, Freiberg) durchgeführt. Die Ausstattung des Geräts und die Messung erfolgten unter Berücksichtigung des von Bertulat et al. (2012) implementierten Standardarbeitsablaufs. Dabei wurde ein repräsentativer Messpunkt an der Grenze zwischen dem unteren Drittel und dem mittleren Drittel des hinteren Euterviertels verwendet. Die Messung wurde durchgeführt und die Messwerte wurden in Echtzeit mit einer beratungsbezogenen Software (FMI\_Connect 3.02, Alluris GmbH & Co. KG) an den Computer übertragen. Der Ausgabewert stellte das

arithmetische Mittel (N) und den Variationskoeffizienten (%) von zwei aufeinanderfolgenden Messreihen dar. Werte mit einem Variationskoeffizienten von mehr als 10 % wurden verworfen und die Messung wiederholt.

Der letzte Milhdurchflusswert in der Messeinheit zum Zeitpunkt der Melkzeugabnahme wurden für jede Kuh bei jedem Melken automatisch auf Euterebene erfasst (Metatron P21; GEA Farm Technologies GmbH). Der ermittelte Wert für den letzten Milchfluss in der Messeinheit zum Zeitpunkt der Auslösung der Melkzeugabnahme setzt sich zusammen aus dem eingestellten Schwellenwert für die milchflussabhängige Melkzeugabnahme und zusätzlicher Milch, die sich aufgrund der Verzögerungszeit in den milchabführenden Komponenten der Melkeinheit vor der Messeinheit ansammelt.

### **Blutproben zur Stoffwechselkontrolle**

Die Blutproben wurden einmal wöchentlich nach dem morgendlichen Melken aus der Halsvene (*Vena jugularis*) unter Verwendung der S-Monovette (Sarstedt AG & Co., Nümbrecht) entnommen. Die Proben wurden bei 2500 U/min für 15 min bei 15°C zentrifugiert (Z 366 K; HERMLE Labortechnik GmbH, Wehingen, Deutschland), aliquotiert und dann bei -20°C für spätere Analysen gelagert. Die Konzentrationen von nicht veresterten Fettsäuren (NEFA),  $\beta$ -Hydroxybutyrat (BHB) und Glukose wurden im Serum mit einem automatischen photometrischen Analysesystem (Eurolyser; Typ VET CCA, Salzburg, Österreich) am Institut für Tierernährung des Friedrich-Loeffler-Instituts (FLI) in Braunschweig, Deutschland, gemessen. Leptin im Serum wurde mit einem für Rinderproben validierten Enzymimmunoassay analysiert (SAUERWEIN et al., 2004). Der mittlere Intra-Assay-Variationskoeffizient (VK) lag bei 7,37 %, der Inter-Assay-VK bei 9,97 %. Für die quantitative Bestimmung von Insulin-like growth factor 1 (IGF-1) im Serum wurde ein Enzymimmunoassay (Mediagnost GmbH, Reutlingen, Deutschland) verwendet. Der mittlere Intra-Assay-Variationskoeffizient lag bei 3,17 %, der Inter-Assay-Variationskoeffizient bei 5,15 %.

## **2.4 Statistische Auswertung**

Die Datenerfassung und statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm Microsoft Excel 2013 und dem Statistikprogramm von IBM SPSS Statistics Version 28. Die Ergebnisse werden mit Mittelwert (MW)  $\pm$  Standardabweichung (SD) oder Standardfehler (SE) dargestellt.

Zur Analyse des Unterschiedes zwischen den Melk-Gruppen wurden gemischte lineare Modelle entwickelt mit den fixen Effekten „Gruppe“, „Zeitverlauf“ sowie der „Interaktion

zwischen Gruppe und Zeitverlauf“, den zufälligen Effekten: „Kuh“ sowie „Laktationsnummer“ und je nach Fragestellung pro Phase (vor, während oder nach IM-Phase). Es wurden die Modelle mit dem kleinsten Akaike-Informationskriterium ausgewählt.

Die Analyse einzelner Zeitpunkte mit dem fixen Effekt „Gruppe“ und dem zufälligen Effekt „Laktations-Nr.“ erfolgte mit Hilfe der Varianzanalyse unter Berücksichtigung der Varianzhomogenität mit Hilfe des Levene-Tests.

Die Analyse der kategorialen Variablen im Rahmen der Erhebung des Milchaustritts vor Beginn des Melkens erfolgte mit dem Chi-Quadrat.

Der paarweise Vergleich der Milchleistungsvariablen wurde mit dem T-Test unter Berücksichtigung der Varianzhomogenität (ebenfalls mit dem Levene-Test) durchgeführt.

Das Signifikanzniveau liegt bei  $p \leq 0,05$  (gekennzeichnet mit „\*“), Tendenzen bei einem P-Wert zwischen 0,05 und 0,10 werden mit „+“ gekennzeichnet.



### 3 Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Milchleistungsentwicklung

In der folgenden Tabelle 5 sind die Milchleistungsdaten der Versuchskühe in den Phasen vor, während und nach der Phase des unvollständigen Melkens (IM) im Vergleich zu den Daten der Kontrollkühe in der äquivalenten Zeit dargestellt. Am letzten Tag der IM-Phase wurde durchschnittlich 16 % weniger Milch von den Versuchskühen entnommen im Vergleich zu den Kontrollkühen.

**Tab. 5: Milchleistungsdaten (MW  $\pm$  SE) der Versuchs- und Kontrollkühe vor, während und nach der Reduzierungsphase bzw. während der 15 Laktations-wochen nach der Kalbung**

	Versuchskühe		Kontrollkühe		P-Wert*
	n = 23		n = 23		
	MW	SE	MW	SE	
Startmilchmenge <sup>1</sup> (kg/d)	32.3	0,99	32.8	1,41	n.s.
Milchmenge (kg/d) in 1. IM-Woche	31.8	0,91	34.4	0,98	0.052
Milchmenge (kg/d) in 2. IM-Woche	32.3	0,94	37.5	1,01	$\leq 0.001$
Milchmenge (kg/d) in 1. Woche nach IM	37.4	1,09	38.9	1,13	n.s.
Average milk yield (kg/d) in Wochen 4 bis 15 nach IM	38.3	1,22	40.1	1,23	n.s.
Laktationstag mit höchster täglicher Milchleistung	52.3	4,06	50.8	4,32	n.s.
Maximale tägliche Milchleistung (kg/d)	43.9	0,80	45.8	1,29	n.s.

\*T-Test

n.s.: nicht signifikant

<sup>1</sup>Milchmenge am Tag vor Beginn von IM

Durch die Milchleistungswerte der Versuchskühe in den IM-Wochen (2. und 3. Laktationswoche (LW)) wird deutlich, dass die Ermelkung einer konstanten täglichen Milchleistung über 14 Tage durch die Melk-Software möglich ist und daher aus technischer Sicht keine Bedenken für eine weitere zukünftige Anwendung bestehen.

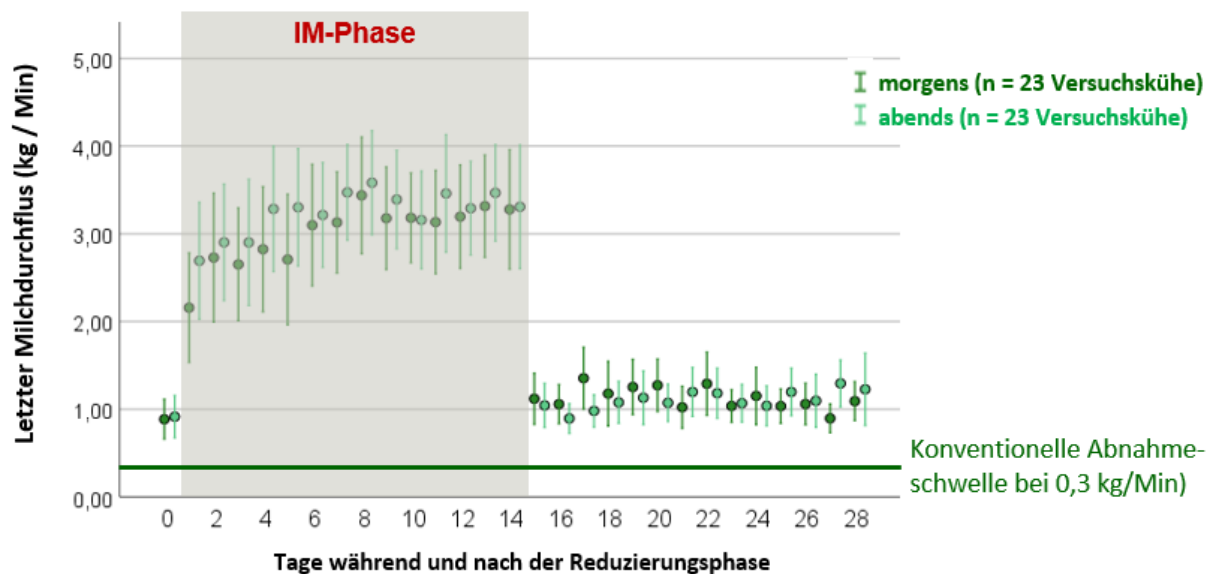
Bezüglich der Wirkung des reduzierten Melkens wird mit Hilfe der Signifikanzwerte zum einen deutlich, dass in den beiden IM-Wochen die Milchleistung der Versuchskühe von der der Kontrollkühe signifikant geringer blieb. Zum anderen unterscheiden sich die Milchleistungsdaten der beiden Gruppen außerhalb der IM-Phase (d.h. vor und nachher)

nicht signifikant voneinander. D.h. nach Beendigung der IM-Phase und der ersten Woche nach der IM-Phase, in die angesammelte Milch im Euter vollständig entnommen wurde, erreichten die Versuchskühe das vergleichbare Milchleistungsniveau der Kontrollkühe und damit eine 18,6% höhere Milchleistung als am letzten Tag der IM-Phase. Demnach wird die Milchleistungsentwicklung durch die vorgenommene Reduzierung in dieser Phase der Früh-laktation nicht nachteilig beeinflusst.

Bislang haben zwei Studien (Penry et al., 2017; Kuehnl et al., 2019) die Entwicklung der Milchproduktion während einer Phase des unvollständigen Melkens bei früh-laktierenden Kühen erfasst. In beiden Studien wurde von Laktationstag 5 bis 47 ein konstanter Prozentsatz der Milch entnommen (mit dem Ziel, dass etwa 30 % der Milch im Euter verbleiben), wobei ein Halbeuter-Design verwendet wurde. Die Milchproduktionsrate wurde einmal pro Woche berechnet, indem die eine Euterhälfte vollständig gemolken wurde, um die Schätzung der Zielmilchleistung neu zu kalibrieren. Es wurde ein Rückgang der Milchproduktion (ausgedrückt als Milchproduktionsrate in kg/h) in den unvollständig gemolkenen Euterhälften (im Vergleich zu den vollständig ausgemolkenen Euterhälften) von ca. 25 % (Penry et al., 2017) und 27 % (Kuehnl et al., 2019) während des Zeitraums der IM beobachtet.

Vergleichbare Untersuchungen zu Effekten auf die Milchleistung nach einer getesteten IM-Phase zeigten ebenfalls keine (Carbonneau et al., 2012; Valdecabres et al., 2022) oder nur vernachlässigbare (Krug et al., 2018b) Auswirkungen auf die spätere Milchproduktion.

Dass keine nennenswerten Milchleistungseinbußen nach der Wiederaufnahme des Standardmelkverfahrens (d.h. der automatischen Melkzeugabnahme bei  $< 0,3$  kg Milch/Min) zu verzeichnen waren, passt zu dem durchschnittlichen Verlauf der letzten Milchrückflusswerte beim Melken (vor der vorzeitigen Abnahme der Melkzeuge) der Versuchskühe. Der Reduktionszeitraum von 14 Tagen wurde bei Erstellung des Versuchsdesigns bewusst gewählt, um zeigen zu können, dass sich die Milchdrüse in dieser Zeit an die verringerte Nachfrage anpasst. Entgegen dieser anfänglichen Hypothese ist der letzte Milchrückflusswert im Durchschnitt aller Versuchskühe innerhalb dieser 14 Tage eher angestiegen, wie der folgenden Abbildung 2 zu entnehmen ist.



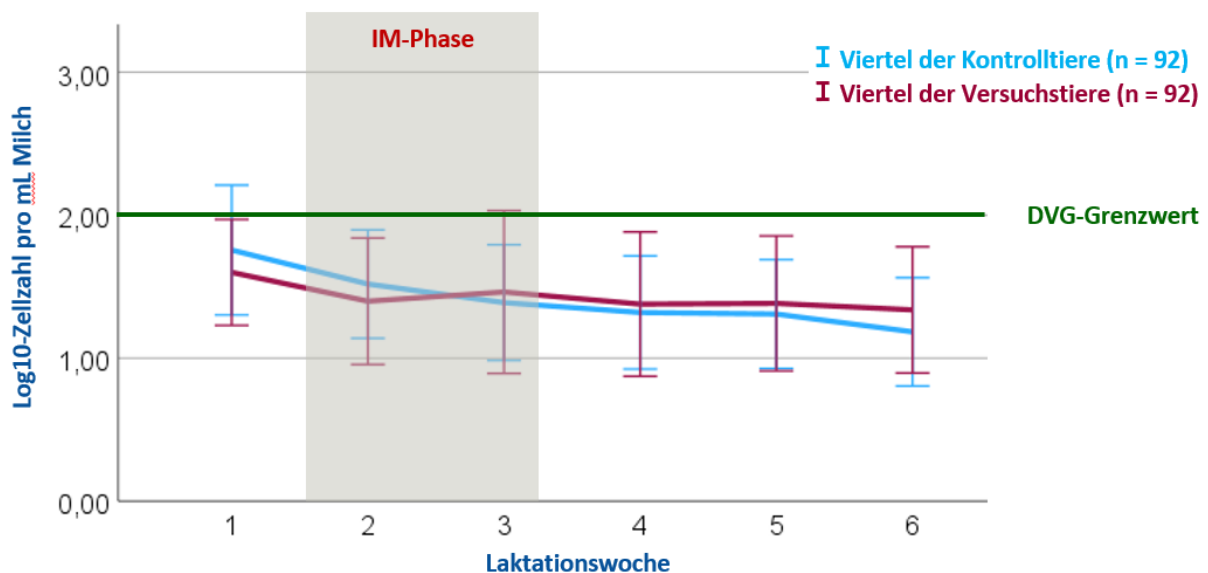
**Abb. 2: Entwicklung des letzten Milchdurchflusswertes ( $MW \pm SD$ ) vor dem Abnehmen der Melkzeuge während und nach der IM-Phase bei den Versuchstieren**

Während der IM-Phase lag der durchschnittliche letzte Milchdurchflusswert bei den Versuchskühen bei durchschnittlich 3,1 kg/min, was die verbleibende Euterfüllung aufgrund des unvollständigen Melkens widerspiegelt. In Studie von Martin et al. (2020), in der die Software für eine automatische schrittweise Reduzierung des Milchentzugs vor dem Trockenstellen entwickelt und verwendet wurde, betrug der letzte durchschnittliche Milchfluss 3,70 kg/min (Martin et al., 2020). Auch die Werte dieser Studie lagen deutlich über den üblichen Schwellenwerten für die automatische Melkzeugabnahme, wie sie für praktische oder wissenschaftliche Zwecke angewendet werden (Krawczel et al., 2017; Wieland et al., 2020).

Abschließend kann demnach geschlussfolgert werden, dass sich die Milchleistungsverluste aufgrund des getesteten IM-Verfahrens ausschließlich auf den Reduzierungszeitraum beschränken, und – indirekt erkennbar durch den hohen letzten Milchdurchflusswert pro Melkung – in dieser Früh-laktationsphase die Milchbildung des Eutergewebes weiterhin auf einem hohen Level verlaufen ist. Das deutet darauf hin, dass eine zweiwöchige konstante IM-Phase in der Früh-laktation unter Beibehaltung der gesamten Melkroutine ohne Beeinträchtigung der anschließenden Leistung eingesetzt werden kann.

### 3.2 Bedeutung für die Eutergesundheit

Die 2-wöchige IM-Phase hatte keinen negativen Einfluss auf die Eutergesundheit. Die Viertelanfangsgemelksproben beider Gruppen wiesen keinen erhöhten Zellgehalt auf und keine negativen bakteriologischen Befunde. Die Werte lagen zu jedem Zeitpunkt deutlich unter dem von der DVG (2012) definierten Schwellenwert für Mastitis ( $100.000 \text{ Zellen/mL} = \text{Log}_{10}/\text{mL} < 2,00$ ). Abbildung 3 zeigt den Verlauf des Zellgehalts in den Viertelsmelksmilchproben beider Gruppen in der 6 Laktationswochen (LW).



**Abb. 3: Einfluss der des unvollständigen Melkens (IM-Phase in der 2. und 3. LW) auf den logarithmierten Zellgehalts ( $\log_{10}$ -Zellzahl/mL Milch,  $\text{MW} \pm \text{SD}$ ) der wöchentlichen Viertelanfangsgemelksproben in den ersten 6 LW im Vergleich zu den Kontrollkühen**

Ähnliche Ergebnisse wurden in Studien erzielt, in denen IM in den ersten Tagen der Laktation angewendet wurde (Carbonneau et al., 2012; Krug et al., 2018b; Valdecabres et al., 2022). Diese Studien berichteten übereinstimmend, dass die Inzidenz klinischer Mastitis durch die IM nicht anstieg, aber die Auswirkungen auf den SCC waren in den einzelnen Studien unterschiedlich. Die Durchführung von IM für ein einzelnes Melkintervall (Albaaj et al., 2018) oder mehrere Wochen (Penry et al., 2017; Kuehnl et al., 2019) führte zu einem leichten Anstieg des SCC während der IM. Dieser SCC-Anstieg wurde in der eigenen Studie nicht beobachtet. D.h. durch das reduzierte Melken in der Früh-laktation findet keine Beeinträchtigung der Eutergesundheit statt.

Die Beobachtungen auf „Milch laufen lassen“ (= Milchaustritt) vor und nach dem Vormelken, ein Indikator für einen geöffneten Zitzenkanal, sind in der Tabelle 6 von beiden

Gruppen aufgeführt. In der ersten Woche der Reduzierungsphase ließen vor dem Vormelken (d.h. nach Eintritt in den Melkstand) signifikant mehr Versuchskühen die Milch laufen sowie in der zweiten IM-Woche in der Zeit nach dem Vormelken und vor Beginn des Melkens.

**Tab. 6: Einfluss des unvollständigen Melkens (IM-Wochen in der 2. und 3. LW) auf die Anzahl Kühe mit Milchaustritt vor dem Vormelken und vor Beginn des Melkens in der Zeit vor, während und nach den IM-Wochen im Vergleich zu den Kontrollkühen**

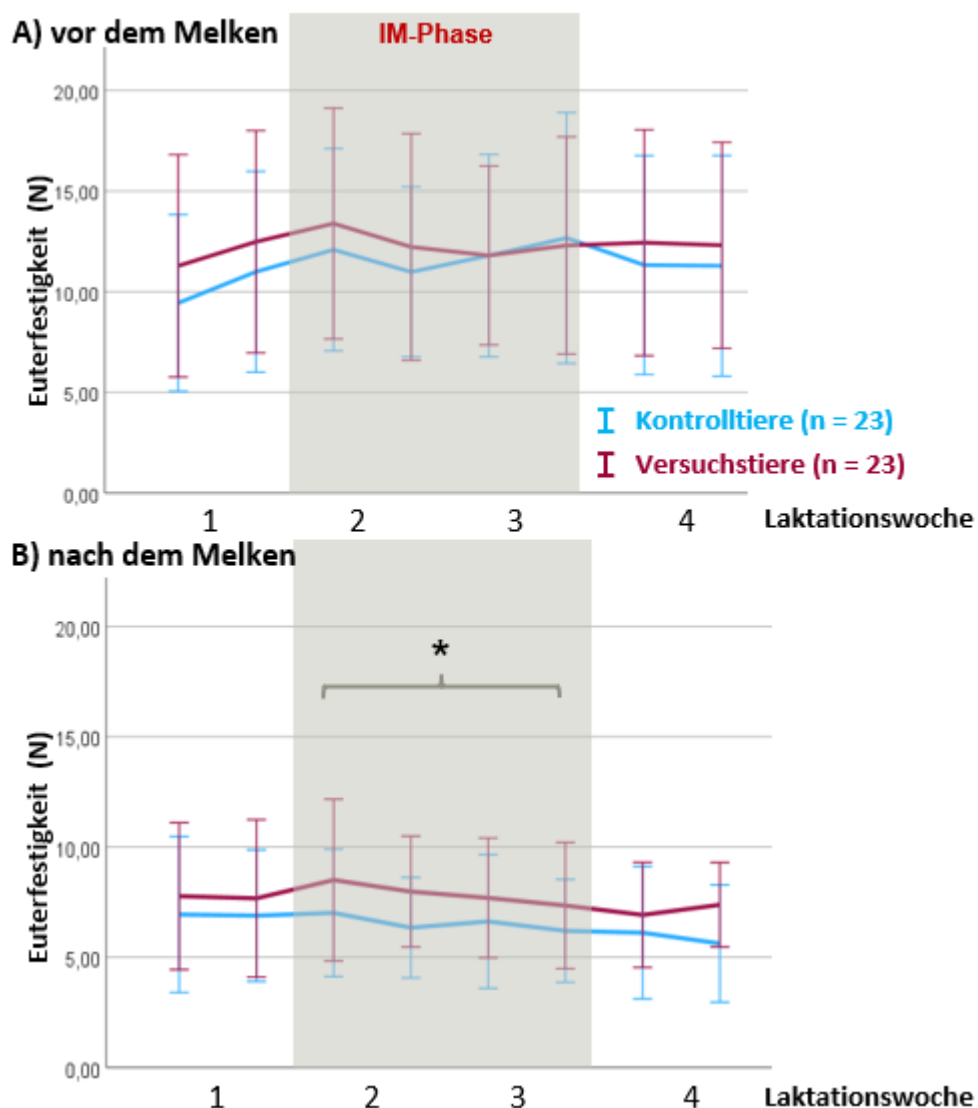
Anzahl Kühe mit Milchaustritt	vor den		1.		2.		nach den	
	IM-Wochen		IM-Woche		IM-Woche		IM-Wochen	
	I	II	I	II	I	II	I	II
Kontrollkühe (n=23)	0	3	6	7	8	8	4	0
Versuchskühe (n=23)	1	2	3	1	4	7	6	1
P-Wert*	n.s.		0,016		n.s.		n.s.	
nach dem Vormelken vor Beginn des Melkens								
Kontrollkühe (n=23)	1	1	1	1	1	0	1	2
Versuchskühe (n=23)	0	0	3	2	6	5	1	0
P-Wert*	n.s.		n.s.		0,002		n.s.	

\*mit Chi-Quadrat-Test

n.s.: nicht signifikant

Milchaustritt ist ein Symptom für eine beeinträchtigte Funktion des Zitzenschließmuskels, das in allen Phasen der Laktation auftreten kann und mit einem erhöhten Mastitisrisiko verbunden ist (Rovai et al., 2007; Gott et al., 2016). Das Auftreten von Milchaustritt ist betriebsspezifisch und liegt zwischen 0 und 36 % der Kühe eines Betriebs (Schukken et al., 1990). Der größere Anteil von Kühen mit Milchaustritt in der Gruppe der Versuchskühe, sowohl vor (30 %) als auch nach dem Vormelken (24 %), steht im Einklang mit Gleeson et al. (2007), die berichteten, dass 30 % der Kühe, die in der Früh-laktation einmal am Tag gemolken wurden, Milchaustritt zeigten. Allerdings wurden in beiden Gruppen nach Abschluss des Melkens keine Fälle von Milchaustritt beobachtet, was darauf hindeutet, dass die unmittelbar nach dem Melken in der Milchdrüse verbliebene Milch aufgrund des konstanten Milchentzugs die Schließkräfte des Zitzenschließmuskels der Kühe nicht übersteigt. Ergänzend dazu ist zu erwähnen, dass keine Neuinfektionen in den Vierteln der Versuchskühe zu verzeichnen waren. D.h. die Zitzenkanäle der Versuchskühe waren in der Zwischenmelkzeit ausreichend geschlossen und geschützt.

Die Durchschnittswerte der Kraftmessungen zur Beurteilung der Euterfestigkeit als Indikator für eine eventuelle Belastung durch erhöhten Euterinnendruck sind der folgenden Abbildung 4 Teil A (vor dem Melken) und B (nach dem Melken) zu entnehmen. Die Euterfestigkeit vor dem Melken unterschied sich während des gesamten Beobachtungszeitraums nicht zwischen den Gruppen. Nach dem Melken war die Euterfestigkeit der Versuchskühe während der IM-Phase signifikant höher als bei den Kontrollkühen. Wie aber den Verläufen der beiden Melkgruppen in den Abbildungen zu entnehmen ist, lagen die Euterfestigkeitswerte nach dem Melken deutlich unter denen bis zum nächsten Melken.



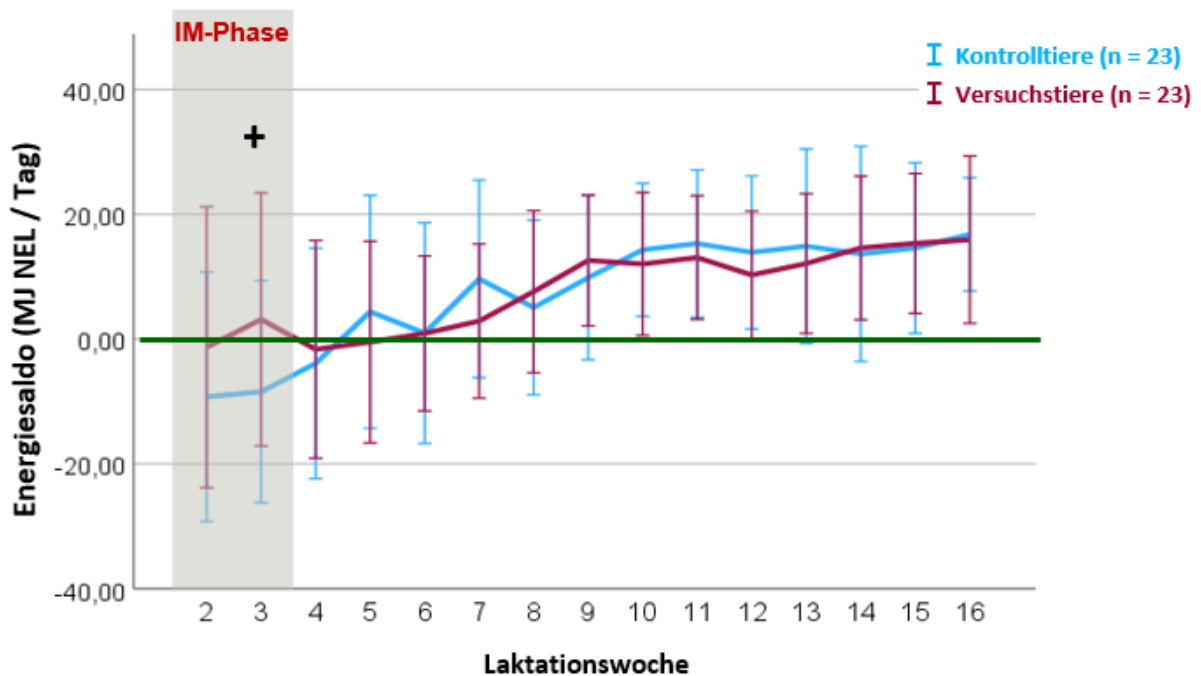
**Abb. 4:** Einfluss der des unvollständigen Melkens (IM-Phase in der 2. und 3. LW) (A) vor dem Melken und (B) nach dem Melken auf die Euterfestigkeit (N, MW  $\pm$  SD)) im Vergleich zu den Kontrollkühen vor und nach dem Melken in den ersten 4 LW

Tucker et al. (2007) beobachteten mit einer vergleichbaren Messmethode keine Unterschiede in der Euterfestigkeit vom Kalben bis zum Laktationsmaximum bei Kühen, die einmal täglich gemolken wurden, im Vergleich zu zweimal täglich gemolkenen Kühen. Krug et al. (2017) untersuchten die Auswirkung von IM auf das Liegeverhalten als Indikator für Unbehagen aufgrund von erhöhtem Euterinnendruck. Während der ersten 5 Laktationstage haben sie unvollständig gemolken, in dem sie nur maximal 10 bis 14 L Milch ermolken haben. Das Liegeverhalten wurde über Beschleunigungssensoren aufgezeichnet. Es konnten keine Unterschiede in den Liegezeiten bei den beiden Melkstrategien ermittelt werden (Krug et al., 2017).

Auch mit den eigenen Ergebnissen kann geschlussfolgert werden, dass trotz der signifikant höheren Euterfestigkeitswerte der nicht vollständig ausgemolkenen Versuchskühe nach dem Melken kein Hinweis auf eine Belastung durch höheren Euterinnendruck aufgrund des IM-Melkverfahrens vorlag, da zum einen die Euterfestigkeitswerte wieder vor dem nächsten Melken nicht signifikant unterschiedlich waren und sich zum anderen auf einem deutlich geringeren Niveau als vor dem nächsten Melken befanden.

### **3.3 Energiesaldoentwicklung**

Der folgenden Abbildung 5 ist die Entwicklung des wöchentlich berechneten Energiesaldos während der IM-Phase und von der 2. bis zur 16. LW zu entnehmen. Wie aus der Abbildung stieg das Energiesaldo über die Zeit signifikant an. Das durchschnittliche Energiesaldo der Versuch- und Kontrollkühe lag überwiegend im positiven Bereich. Nur das durchschnittliche Energiesaldo der Kontrollkühe war in den IM-Wochen der Versuchskühe geringer, was auch in der zweiten IM-Woche als tendenziell signifikant analysiert werden konnte ( $p = 0,091$ ).



**Abb. 5: Einfluss der des unvollständigen Melkens (IM-Phase in der 2. und 3. LW) auf das Energiesaldo (MJ NEL/Tag, MW  $\pm$  SD)) im Vergleich zu den Kontrollkühen in der 2.-16. LW nach der Kalbung**

Das negative Energiesaldo bei früh laktierenden Kühen resultiert aus dem verzögerten Anstieg der Futtermittelaufnahme im Verhältnis zum Anstieg der Milchleistung (Drackley, 1999; Ingvarsen und Andersen, 2000). Die Verlangsamung des Anstiegs der Milchleistung ist eine Möglichkeit zur Verbesserung des Energiesaldos. Bislang sind wir die ersten, die Daten über das berechnete Energie im Zusammenhang mit unvollständigem Melken liefern, während sich frühere IM-Studien ausschließlich auf die Analyse von Blutmetaboliten konzentrierten, um den Energiestatus von Kühen aufgrund der IM zu reflektieren (Carbonneau et al., 2012; Morin et al., 2018; Valdecabres et al., 2022).

### 3.4 Bedeutung für die Stoffwechselmetaboliten im Blut

Die ersten deskriptiven Datenanalysen zu den Verläufen der Stoffwechselmetaboliten der Versuchskühe im Vergleich zu den Kontrollkühen hatte keine bzw. maximal geringe Unterschiede ergeben. Die anschließende Einzelbetrachtung der Kühe ergab eine weitere Untergruppenbildung in Abhängigkeit von dem Verlauf der NEFA, d.h. in Abhängigkeit von den Metaboliten, an denen unmittelbar eine energiedefizitäre Stoffwechselsituation erkennbar ist. Die Untergruppen wurden wie folgt definiert:

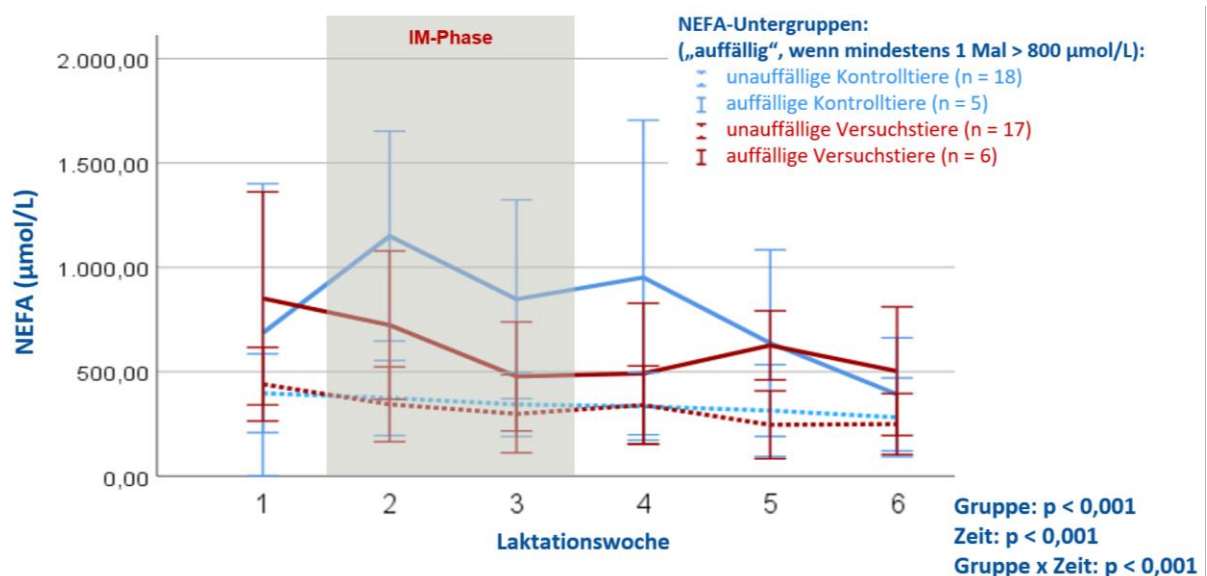
- Kühe (sowohl Kontroll-, als auch Versuchskühe), deren NEFA-Gehalt im Serum in den ersten 3 Laktationswochen unter dem Wert von 800  $\mu$ mol NEFA/L (in



Anlehnung an LEBLANC et al. 2005, OSPINA et al., 2010, GROSS & BRUCKMAIER 2015) lagen, wurden als „unauffällig“ eingestuft. Die Durchschnittswerte werden in den folgenden Abbildungen mit gestrichelter Linie gezeigt (n = 18 Kontrollkühe (- - -), n = 17 Versuchskühe (- - -))

- Kühe (sowohl Kontroll-, als auch Versuchskühe), deren NEFA-Gehalt im Serum in den ersten 3 Laktationswochen mindestens 1 Mal > 800 µmol NEFA/L waren, wurden als „auffällig“ eingestuft. Die Durchschnittswerte werden in den folgenden Abbildungen mit durchgezogener Linie gezeigt (n = 5 Kontrollkühe (—), n = 6 Versuchskühe (—))

Die folgende Abbildung zeigt die durchschnittlichen Verläufe der NEFA-Gehalte der vier Gruppen (Kontroll- und Versuchstiere, jeweils „unauffällig“ und „auffällig“)



**Abb. 6: Einfluss der des unvollständigen Melkens (IM-Phase in der 2. und 3. LW) auf den NEFA-Gehalt im Blutserum (µmol/L, MW ± SD)) der „auffälligen“ vs. „unauffälligen“ Versuchs- und Kontrollkühen in den ersten 6 LW**

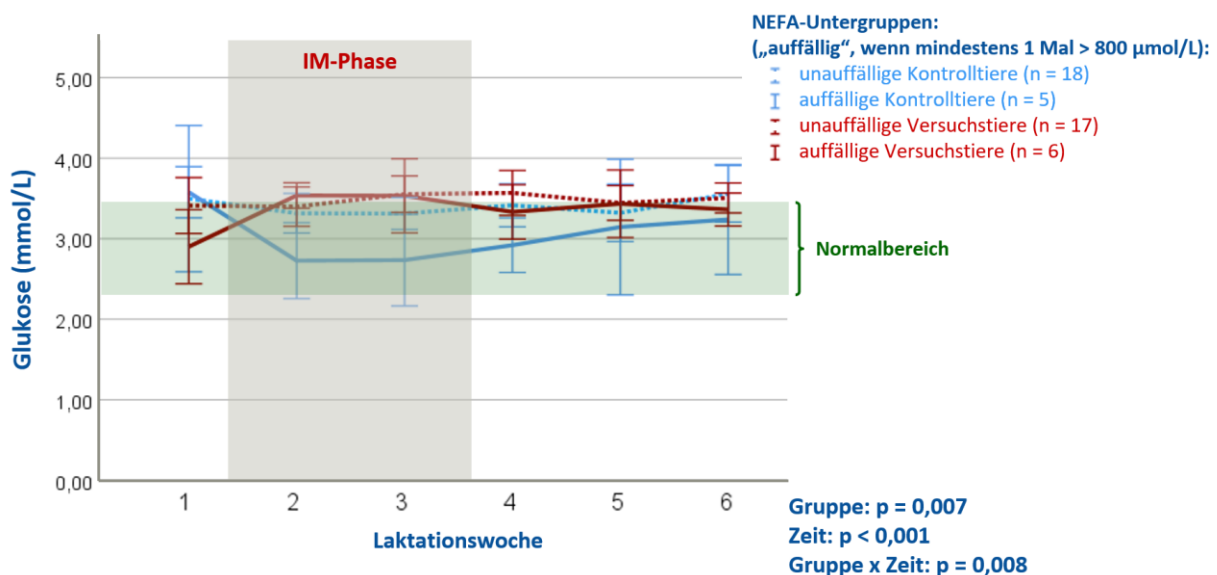
Wie in der Abbildung ersichtlich, ist die NEFA-Entwicklung in den ersten 6 Laktationswochen der „unauffälligen“ Versuchstiere mit der NEFA-Entwicklung der entsprechenden Kontrollkühe vergleichbar. Die Werte liegen im Durchschnitt unter 500 µmol/L. Das entspricht den Grenzwertangaben verschiedener Studien (Van Saun 2016, LeBlanc et al. 2005).

Die statistische Analyse der NEFA-Gehalte pro Laktationswoche bzw. pro Phase (vor, während und nach der IM-Phase) der „auffälligen Kühe“ hat folgende Ergebnisse ergeben:

- In der 1. Laktationswoche, d.h. vor der IM-Phase, waren die beiden „auffälligen“ Versuchs- und Kontrollkühe nicht signifikant verschieden.
- In der 2. und 3. Laktationswoche, d.h. während Phase des reduzierten Melkens der Versuchstiere, verringerte sich der NEFA-Gehalt der „auffälligen“ Versuchskühe signifikant (bzw. in der 3. Laktationswoche tendenziell signifikant) im Vergleich zu „auffälligen“ Kontrollkühen, von denen in diesen beiden Wochen das Euter „leer gemolken“ wurde bzw. bei denen die Melkzeuge mit der automatischen Melkzeugabnahme bei  $< 0,3$  kg Milch/min abgenommen wurde.
- In der 4. bis 6. Laktationswoche nach der Reduzierungsphase der Versuchskühe waren die NEFA-Gehalte nicht mehr signifikant voneinander verschieden.

Eine erhöhte NEFA-Konzentration im Blut zeigt an, dass die Mobilisierung von Körperfett aufgrund eines Energiedefizits erforderlich war. Die Gewebemobilisierung führt unter anderem zur unvollständigen Oxidation von NEFA, was die Ketogenese weiter fördert (Goff & Horst, 1997). Die Ergebnisse machen deutlich, wie sensibel zum einen der NEFA-Gehalt auf die akute Energiesituation (d.h. Verhältnis zwischen Energieaufnahme und Energiebedarf) und zum anderen auf das Signal der reduzierten Milchentnahme durch das unvollständige Melkens in der Früh-laktation reagiert.

Im Folgenden werden die Stoffwechselmetaboliten Glukose (Abb. 7) und BHB (Abb. 8) in den vier Gruppen zur Beurteilung der entsprechenden Stoffwechselsituation analysiert.

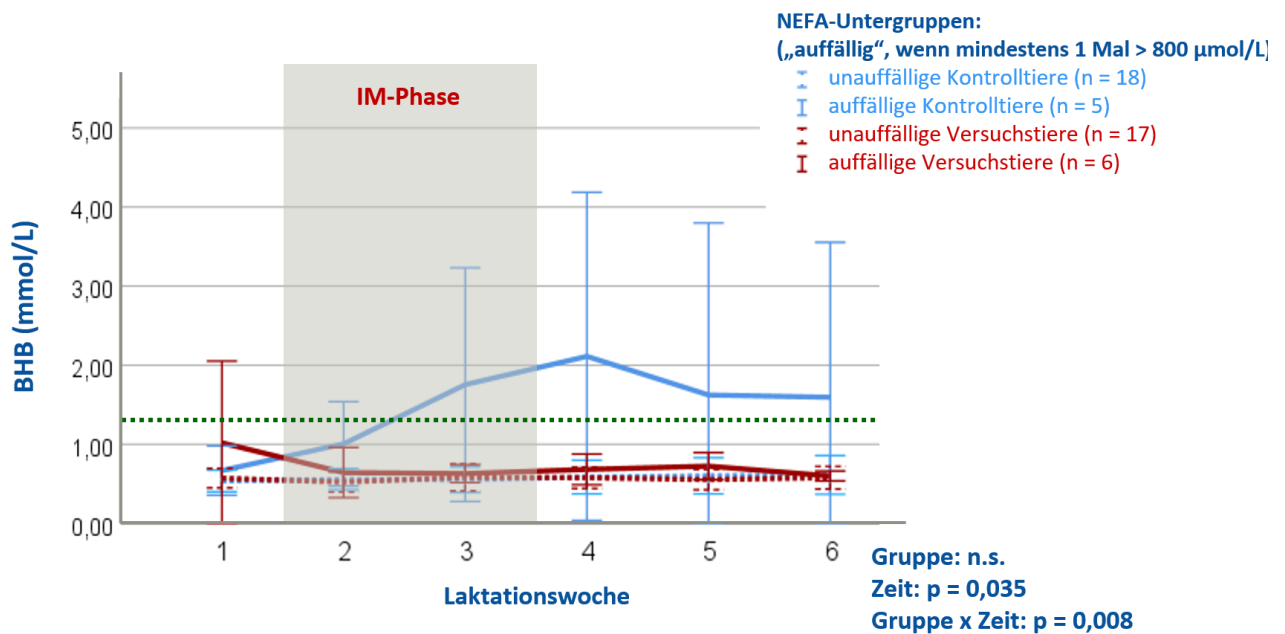


**Abb. 7: Einfluss der des unvollständigen Melkens (IM-Phase in der 2. und 3. LW) auf den Glukose-Gehalt im Blutserum (mmol/L, MW  $\pm$  SD)) der „auffälligen“ vs. „unauffälligen“ Versuchs- und Kontrollkühen in den ersten 6 LW**

Der in der Abb. 7 gezeigte Verlauf der Glukosegehalte, als direkten Energielieferanten im Blut, spiegelt insgesamt die durchschnittlich gute Futterenergieversorgung für die untersuchten Kühe wieder. Das entspricht auch dem vergleichsweise nur geringen Energiedefizit der Kühe in den ersten Laktationswochen bzw. dem ab der 5. Laktationswoche im Durchschnitt positiven errechneten Energiesaldo (siehe Abb. 5). Der Glukose-Gehalt der untersuchten Kühe liegt im oberen bzw. oberhalb des physiologischen Normalbereichs, der je Methode etwas unterschiedlich angegeben (in Abb. 7 zwischen 2,2 und 3,5 mmol/L angenommen zur Orientierung).

Innerhalb des physiologischen Normalbereichs ist auf den Glukoseverlauf der auffälligen Kontrollkühe auf einem signifikanten geringeren Niveau im Vergleich zu den anderen drei Gruppen hinzuweisen. Daraus ist zu schließen, dass den auffälligen Versuchskühe, die in der 2. und 3. Laktationswoche reduziert gemolken wurden, eine geringerer Energieabgabe durch die Milch und damit eine ausgeglichener Energiestoffwechselsituation ermöglicht wurde. In dem Zusammenhang ist auch nochmal darauf hin zu weisen, dass sich diese ausgeglichene Energiesituation eingestellt hat bei gleichzeitig weiterhin hoher Milchproduktion, welche durch den durchschnittlichen hohen Milchfluss bei Abnahme der Melkzeuge und der durchschnittlich vergleichbaren Milchleistungsentwicklung nach der IM-Phase im weiteren Verlauf der Laktation erkennbar war.

Dass die auffälligen Kontrollkühe, die nicht reduziert gemolken wurden, sich auch weiterhin mit dem Energiedefizit auseinandersetzen, wird durch den weiteren Verlauf der BHB-Gehalte im Blut deutliche (siehe Abb. 8). BHB (ein Ketonkörpern) wird bei einem Oxalacetat- bzw. fortgesetzten Energiedefizit aus den Fettsäuren gebildet und stellt damit einen weiteren Indikator des Energiestoffwechsels dar.



**Abb. 8: Einfluss der des unvollständigen Melkens (IM-Phase in der 2. und 3. LW) auf den BHB-Gehalt im Blutserum (mmol/L, MW  $\pm$  SD)) der „auffälligen“ vs. „unauffälligen“ Versuchs- und Kontrollkühen in den ersten 6 LW**

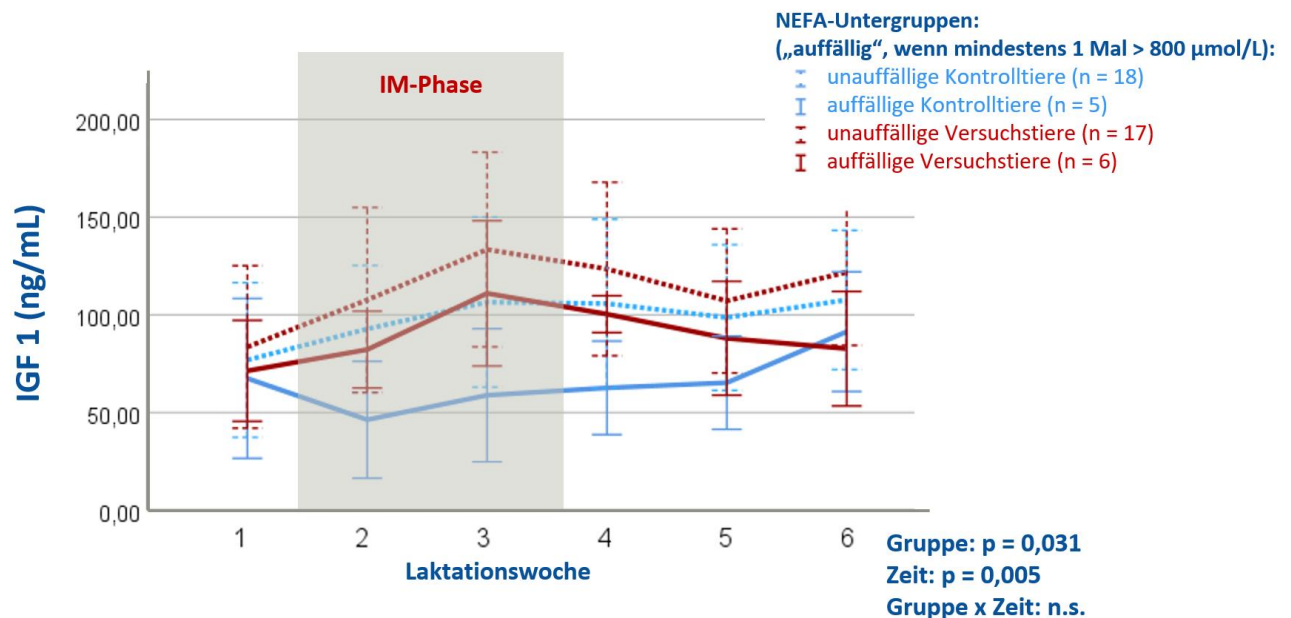
Bei den auffälligen Kühen lag der durchschnittliche BHB-Gehalt in der 4. und 5. Laktationswoche auf einem signifikant höheren Niveau als das der anderen Gruppen und oberhalb der in der Literatur zu findenden physiologischen Grenzwerte (1,2 mmol/L von Duffield et al. 1997 und LeBlanc et al. 2005 zur Orientierung in der Abb. 8 dargestellt).

Die Leptingehalte im Blut (Hormon als Indikator zur Beurteilung des Fettgewebsanteils bzw. der Menge) lag bei den untersuchten Kühen auf einem vergleichbaren Niveau ohne Unterschiede zwischen den NEFA-Gruppen oder einem Zusammenhang zu dem reduzierten Melken. In der folgenden Tabelle sind die Mittelwerte ( $\pm$  SD) aller untersuchten Kühen in den 6 Laktationswochen aufgeführt. Wie daraus ersichtlichen Wertebereiche liegen im Mittel innerhalb des von Chilliard et al. (2005) als Tiefstwerte angegebenen Bereich von 3-6 ng/mL.

**Tab. 7: Leptin-Gehalt im Blutserum (MW und SD, n = 46) in den ersten 6 LW**

	Laktationswochen					
	1.	2.	3.	4.	5.	6.
MW	5,54	5,28	5,39	5,27	5,71	5,92
SD	3,15	2,75	2,43	2,43	3,05	3,38

Das im Folgenden betrachtete Peptidhormon IGF-1 ist ein Wachstumsfaktor bei Zellwachstum und steigt bei Stoffwechselentlastung an. Die folgende Abbildung 9 zeigt die Verläufe des durchschnittlichen IGF-1-Gehalts in den vier NEFA-Gruppen.



**Abb. 9: Einfluss der des unvollständigen Melkens (IM-Phase in der 2. und 3. LW) auf den IGF-1-Gehalt im Blutserum (ng/mL, MW  $\pm$  SD)) der „auffälligen“ vs. „unauffälligen“ Versuchs- und Kontrollkühen in den ersten 6 LW**

Die statistische Analyse hat zum einen ergeben, dass die „NEFA-auffälligen“ Kontrollkühe, die die Körperfett mobilisiert hatten und nicht reduziert gemolken wurden, in der 2. bis 4. LW einen signifikant geringeren Wert zeigten als die „NEFA-unauffälligen“ Versuchskühe. Zum anderen wiesen die auffälligen Versuchskühe über den gesamten Zeitraum im direkten Vergleich mit den Kontrollkühen signifikant höhere IGF-1-Werte in den sechs Laktationswochen, d.h. auch nach dem reduzierten Melken, auf. Daraus kann geschlossen werden, dass die Milchleistungsreduktion in der Früh-laktation zu einer Entlastung des Stoffwechsels führen kann, wenn eine Energiedefizit-Situation für das Tier eingetreten ist.

Die Strategie der unvollständigen (reduzierten) Melkens in der Früh-laktation hat sich auch in anderen Studien (mit unterschiedlichen IM-Strategien, u.a. „Einmal-tägliches-Melken“) als ein vielversprechender Ansatz zur Verringerung des Stoffwechselstresses (Analyse mit Hilfe verschiedener Stoffwechselmetaboliten) erwiesen, ohne die Produktivität von Hochleistungsmilchkühen zu beeinträchtigen (Lacasse et al., 2018). Bisherige Studien zur Verbesserung der Stoffwechselsituation in der Früh-laktation durch IM beschränkten sich

weitgehend auf die Kolostrumphase (Carbonneau et al., 2012; Morin et al., 2018; Valdecabres et al., 2022). In der vorliegenden Studie haben wir das zweiwöchige unvollständige Melken ab der zweiten LW nach der Kalbung untersucht. Das war aufgrund der vorhandenen Melksoftware automatisiert möglich.

In Bezug auf die Ketonkörper-Entwicklung haben Valdecabres et al. (2022) keinen Gruppenunterschied in der BHB-Konzentration im Blut am 3. und 11. Laktationstag feststellen können bei dem Vergleich der Kühe, von denen nur 3 l Milch pro Melkung an den ersten beiden Laktationstagen ermolken wurde (n= 21), zu den Kühen, die zweimal (n = 22) und einmal (n = 24) täglich gemolkenen Kühen wurden. Allerdings wurde ein kleiner zahlenmäßiger Unterschied im Anteil der Kühe mit subklinischer Ketose beobachtet (Valdecabres et al., 2022). Sie schlossen daraus, dass die Ergebnisse die Bedeutung des Grades und der Dauer der IM weiter verdeutlichen (Valdecabres et al. 2022).

Bezüglich des Glukosegehaltes wurde in der Studie von Carbonneau et al. (2012), die in den ersten 5 Laktationstagen der Kühe (n = 47) maximal 6 - 14 L Milch ermolken hatten, beobachtet, dass innerhalb des Behandlungszeitraums und bis zum 21. Laktationstag die Glukosekonzentration in der reduziert gemolkenen Gruppe im Vergleich zur der Kontroll-Gruppe anstieg, während die BHB-Konzentration abnahm.

Darüber hinaus berichteten sowohl Carbonneau et al. (2012) als auch Morin et al. (2018), dass die Anzahl der Kühe mit subklinischer und klinischer Ketose bei Kühen, die unvollständig gemolken wurden, geringer war. Morin et al. (2018) vermuteten, dass der Behandlungseffekt in Herden mit mehr negativem Energiesaldo größer ist (Morin et al., 2018).

In Ergänzung zu den genannten Studien kommen wir nach der eigenen Studien ebenfalls zu dem Schluss, dass unvollständiges Melken in den ersten Wochen nach der Kalbung eine wirksame und tierwohlunterstützende Strategie darstellt, um den Stoffwechsel bei Kühen zu entlasten, die in ein zu hohes/belastendes Energiedefizit geraten, und um die Prävalenz von Hyperketonämie in der frühen postpartalen Periode zu reduzieren. Vorteil des eigenen Ansatzes ist die Automatisierbarkeit und individuelle Anpassungsfähigkeit der IM-Strategie durch die Melksoftware an die tierindividuelle Situation.

#### **4 Zusammenfassung**

Ein negatives Energiesaldo (ES) ist für die Früh lactation aufgrund der Milchleistungssteigerung bei gleichzeitig nicht ausreichender Energieaufnahme charakteristisch und erhöht bei intensiver Ausprägung des ES das Krankheitsrisiko für die Milchkühe. Unvollständiges Melken (Incomplete Milking = IM) bietet die Möglichkeit, das Energiedefizit in der Früh lactation zu mindern. Ziel des Forschungsvorhabens war es, die Auswirkungen von zeitweisem unvollständigem Melken in der Früh lactation auf das ES, die Eutergesundheit, die Stoffwechselentwicklung und die spätere Milchleistung zu untersuchen. Dafür wurde die neuartige Melksoftware eingesetzt, die eine automatisierte vorzeitige Abnahme der Melkzeuge entsprechend der vordefinierte Milchmenge ermöglicht. Der vorliegende Versuch wurde in dem Milchviehstall des Campus Frankenforst der Universität Bonn (Königswinter) von August 2020 bis Juli 2022 durchgeführt. Von insgesamt 46 Kühen konnten die erfassten Daten (Proben zur Eutergesundheitskontrolle, Euterfestigkeitsuntersuchungen, Analysen zur Berechnung des ES, Stoffwechselmetaboliten im Blut etc.) ausgewertet werden. Die Hälfte wurden als Kontrollkühe (n = 23) eingeteilt, bei denen die Melkzeuge unverändert bei einem Milchdurchfluss von 0,3 kg/min am Ende der Melkung automatisch abgenommen wurden. Bei den 23 Versuchskühen wurde vom 8. ( $\pm 1,1$ ) bis zum 21. ( $\pm 1,1$ ) Laktationstag (= die Phase des IM) das Melkzeug automatisch vorzeitig bei folgender Milchmenge abgenommen: die zwei Wochen konstante täglich ermolzene Milchmenge (kg) entsprach der individuellen Milchleistung der Kühe an dem Tag vor Beginn der IM. Nach der IM-Phase wurde die konventionelle automatische Melkzeugabnahme bei  $< 0,3$  kg/min reaktiviert, wobei die Erhebungen zur Eutergesundheitskontrolle, Euterfestigkeitsuntersuchungen, Analysen zur Berechnung des ES, Stoffwechselmetaboliten im Blut bis zur 6. Laktationswoche, die Leistungsdaten bis zur 15. Laktationswoche fortgeführt wurden. Am letzten Tag der IM-Phase wurde durchschnittlich 16 % weniger Milch von den Versuchskühen im Vergleich zu den Kontrollkühen entnommen. Danach stieg die tägliche Milchleistung der Versuchskühe wieder unmittelbar an, wobei kein Gruppenunterschied in der Milchleistungsentwicklung während des verbleibenden Beobachtungszeitraums bis zur 15. Laktationswoche beobachtet wurde. Die 2-wöchige IM-Phase führte nicht zu einer Beeinträchtigung der Eutergesundheit. Auch ergab die Euterfestigkeitsmessung bei den nicht vollständig ausgemolkenen Versuchskühe keinen Hinweis auf eine Belastung durch höheren Euterinnendruck aufgrund des IM-Melkverfahrens. Das durchschnittliche wöchentliche ES der Versuch- und Kontrollkühe lag in dem Versuchszeitraum überwiegend im positiven Bereich, wobei während der beiden IM-Wochen das durchschnittliche ES der Kontrollkühe im Vergleich zu den Versuchskühen geringer. Bei der Analyse der Stoffwechselmetaboliten im Blut wurde aufgrund der Ergebnisse eine weitere Untergruppierung vorgenommen: Kühe (sowohl Kontroll- als auch Versuchskühe), deren Gehalt an nicht-veresterten Fettsäuren (NEFA) im

Serum in den ersten 3 Laktationswochen unter dem Wert von 800  $\mu\text{mol NEFA/L}$  lagen, wurden als „unauffällig“ eingestuft ( $n = 18$  Kontrollkühe,  $n = 17$  Versuchskühe), Kühe, deren NEFA-Gehalt im Serum in den ersten 3 Laktationswochen mindestens 1 Mal  $> 800 \mu\text{mol NEFA/L}$  waren, als „auffällig“ ( $n = 5$  Kontrollkühe,  $n = 6$  Versuchskühe). In den beiden IM-Wochen verringerte sich der NEFA-Gehalt der „auffälligen“ Versuchskühe signifikant im Vergleich zu „auffälligen“ Kontrollkühen. D.h. der NEFA-Gehalt hat bei den „auffälligen“ Versuchskühen sensibel auf das unvollständige Melken reagiert, da mit dem IM eine Verringerung der Energieabgabe durch die Milch verbunden war. Entsprechend war mit anderen Stoffwechselmetaboliten ebenfalls statistisch nachzuweisen, dass die „auffälligen“ Kontrollkühe (ohne IM-Phase) sich weiterhin mit dem Energiedefizit auseinandergesetzt haben: ihr durchschnittlicher BHB-Gehalt lag in der 4. und 5. Laktationswoche auf einem signifikant höheren Niveau (oberhalb des physiologischen Grenzwerts) als das der anderen Gruppen, und sie zeigten in der 2. bis 4. Laktationswoche einen signifikant geringeren IGF-1-Wert. Hingegen zeigten die anfangs „auffälligen“ Versuchskühe, die unvollständig gemolken wurden, im Vergleich mit den Kontrollkühen signifikant höhere IGF-1-Werte und damit eine Stoffwechselentlastung in den betrachteten sechs Laktationswochen auf, d.h. auch nach der IM-Phase. Daraus kann geschlossen werden, dass die Milchleistungsreduktion durch IM in der Früh-laktation zu einer Entlastung des Stoffwechsels führen kann, wenn sich das Tier in einer Energiedefizit-Situation befindet. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass unvollständiges Melken in den ersten Wochen nach der Kalbung eine wirksame und tierwohlunterstützende Strategie darstellt, den Stoffwechsel bei Kühen zu entlasten, wenn sie in ein zu hohes/belastendes Energiedefizit geraten, und damit die Prävalenz von Hyperketonämie in der frühen postpartalen Periode zu reduzieren. Vorteil des eigenen Ansatzes im Vergleich zu weiteren Studien zu unvollständigem/graduellem Melken ist die Automatisierbarkeit und individuelle Anpassungsfähigkeit der IM-Strategie durch die Melksoftware an die tierindividuelle Situation.



## 5 Summary

Negative energy balance is characteristic of early lactation due to the increase in milk yield with simultaneously insufficient energy intake and increases the risk of disease in dairy cows when energy balance (EB) is pronounced. Incomplete milking (IM) offers the possibility to reduce the energy deficit in early lactation. The aim of the research project was to investigate the effects of temporary incomplete milking in early lactation on EB, udder health, metabolic development and subsequent milk yield development. For this purpose, the novel milking software was used, which enables automated early cluster removal according to the predefined milk yield. The present experiment was conducted in Campus Frankenforst, the research farm of the University of Bonn (Königswinter) from August 2020 to July 2022. From a total of 46 cows, the collected data (samples for udder health control, udder firmness tests, analyses for calculation of EB, metabolites in blood, etc.) could be evaluated. Half were assigned as control cows ( $n = 23$ ), in which the clusters were automatically removed unchanged at a milk flow rate of 0.3 kg/min at the end of milking. For the 23 experimental cows, from the 8th ( $\pm 1.1$ ) to the 21st ( $\pm 1.1$ ) day of lactation (= the IM phase), the cluster was automatically removed prematurely at the following milk yield: the two-week constant daily milked milk flow (kg) corresponded to the individual milk yield of the cows on the day before the start of IM. After the IM phase, conventional automatic cluster removal was reactivated at  $< 0.3$  kg/min, with udder health control surveys, udder firmness tests, analyses to calculate EB, metabolic metabolites in blood continuing until the 6th week of lactation, and performance data continuing until the 15th week of lactation. On the last day of the IM phase, an average of 16% less milk was collected from the experimental cows compared to the control cows. Thereafter, the daily milk yield of the experimental cows immediately increased again, with no group difference in milk yield development observed during the remaining observation period until the 15th week of lactation. The 2-week IM period did not affect udder health. Also, udder firmness measurement in the experimental cows that were not fully milked showed no evidence of stress due to higher intra-udder pressure as a result of the IM milking procedure. The average weekly EB of the experimental and control cows was mostly in the positive range during the experimental period, although during the two IM weeks the average EB of the control cows was lower compared to the experimental cows. In the analysis of metabolites in blood, further subgrouping was done based on the results: Cows (both control and experimental) whose Non-Esterified Fatty Acids (NEFA) levels in serum were below the 800  $\mu\text{mol NEFA/L}$  level during the first 3 weeks of lactation were

classified as „inconspicuous" (n = 18 control cows, n = 17 experimental cows), and cows whose serum NEFA levels were > 800  $\mu\text{mol NEFA/L}$  at least 1 time during the first 3 weeks of lactation were classified as „conspicuous" (n = 5 control cows, n = 6 experimental cows). During the two IM weeks, the NEFA content of the „conspicuous" experimental cows decreased significantly compared to „conspicuous" control cows. That is, NEFA content was sensitive to incomplete milking in the „conspicuous" experimental cows, because IM was associated with a reduction in energy output by milk. Correspondingly, other metabolites also provided statistical evidence that the „conspicuous" control cows (without IM phase) continued to be occupied with the energy deficit: their average BHB content was at a significantly higher level (above the physiological limit) than that of the other groups in the 4th and 5th weeks of lactation, and they showed significantly lower IGF-1 levels in the 2nd to 4th weeks of lactation. On the other hand, the initially „conspicuous" experimental cows that were incompletely milked showed significantly higher IGF-1 levels compared to the control cows and thus metabolic relief during the six weeks of lactation considered, i.e., even after the IM phase. It can be concluded that milk yield reduction by IM in early lactation can lead to metabolic improvement when the animal is in an energy deficit situation. Therefore, it can be concluded that incomplete milking in the first weeks after calving is an effective and animal welfare supporting strategy to improve the metabolism in cows when they get into too high/stressful energy deficit and thus reduce the prevalence of hyperketonemia in the early postpartum period. Advantage of our own approach compared to other studies on incomplete/gradual milking is the automatability and individual adaptability of the IM strategy by the milking software to the animal individual situation.

## 6 Schlussfolgerungen für die Umsetzung der Ergebnisse in die Praxis

Schlussfolgerungen im Bezug auf die Auswirkungen der Milchleistungsreduktion in der 2. und 3. Laktationswoche zur Entlastung des Stoffwechsels in Stichworten:

- ✓ Konstante Milchleistung über 14 Tage ist durch die Melk-Software möglich.
- ✓ Kein Unterschied in der weiteren Entwicklung der Milchleistung nach Anwendung der Software.
- ✓ Eutergesundheit wird durch das unvollständige Melken nicht beeinträchtigt.
- ✓ Keine Anzeichen für eine Belastung für das Eutergewebe.
- ✓ Geringe Verbesserung der Energiesaldoentwicklung in der 2. und 3. Laktationswoche
- ✓ Entlastung des Energiestoffwechsels durch die Analyse der Stoffwechselmetaboliten im Blutserum erkennbar – auch bei klinisch gesunden Kühen

Die im Rahmen dieser Studie angewendete IM-Strategie kann für Kühe in einer stoffwechselbelasteten Situation in der Praxis aufgrund der Ergebnisse empfohlen werden. Es sind aber auch weitere IM-Strategien zur Stabilisierung des Energiedefizits in der Früh-laktation denkbar. Demnach sind im Weiteren – neben einer Verifizierung des vorgestellten IM-Verfahrens – die Testung verschiedene Modifikationsstrategien bzgl. Intensität und Dauer der Milchleistungsreduktion in der Früh-laktation für Kühe, die durch eine höhere Fettmobilisation aufgrund eines Energiedefizits reagieren, erforderlich.

Auch weitere Untersuchungen in anderen Situationen während der Laktation einer Milchkuh (wie bei dem laufenden USL-Projekt AutoHeat), in denen eine energetische Entlastung hilfreich sein kann, sollten weiter geplant und durchgeführt werden.

## 7 Literaturverzeichnis

- Albaaj, A., P. G. Marnet, C. Hurtaud, & J. Guinard-Flament. 2018. Adaptation of dairy cows to increasing degrees of incomplete milk removal during a single milking interval. *J. Dairy Sci* 101(9):8492–8504.
- Bertulat, S., C. Fischer-Tenhagen, A. Werner, & W. Heuwieser. 2012. Technical note: validating a dynamometer for noninvasive measuring of udder firmness in dairy cows. *J. Dairy Sci* 95(11):6550–6556.
- Burvenich, C. & De Spiegeleer, B. (2009): Infektionsanfälligkeit zu den verschiedenen Phasen der Trockenstehzeit. In: *Praktischer Leitfaden Mastitis*. Hrsg: Winter, P., Parey Verlag, Stuttgart.
- Bruckmaier, R. M., & O. Wellnitz. 2008. Induction of milk ejection and milk removal in different production systems. *J. Anim Sci* 86(13 Suppl):15–20.
- Carbonneau, E., Passillé, A.M., Rushen, J., Talbot, B.G. & Lacasse, P. (2012): The effect of incomplete milking or nursing on milk production, blood metabolites, and immune functions of dairy cows, *J. Dairy Sci*. 95: 6503-6512.
- Chilliar, Y., Delavaud, C. & Bonnet, M. (2005). Leptin expression in ruminants: nutritional and physiological regulations in relation with energy metabolism. *Domest. Anim. Endocrinol.* 29:3-22.
- Clarke, T.; Cuthbertson, M.; Greenall, R.K.; Hannah, M.C.& Shoemith, D. (2008): Incomplete milking has no detectable effect on somatic cell count but increased cell count appears to increase strip yield. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48:1161-1167.
- Cording, F., Hoedemaker, M. & Krömker, V. (2013): Einfluss der Menge loser Restmilch in Milchdrüsen auf die Entstehung klinischer Mastitiden bei Milchkühen. *Tierärztliche Praxis Großtiere* 6/2013. 379-386. Schattauer Verlag, Stuttgart.
- Drackley, J. K. (1999): Biology of Dairy Cows During the Transition Period: the Final Frontier? *J. Dairy Sci*. 82: 2259-2273.
- Duffield, T.F., Kelton, D.F., Leslie, K.E., Lissemore, K.D. & Lumsden, J.H. (1997). Use of the day milk fat and milk protein to detect subclinical ketosis in dairy cattle in Ontario, *Can. Vet. J.* 38:713-718.
- DVG (Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e. V.) 2009: Leitlinien Entnahme von Milchproben unter antiseptischen Bedingungen und Isolierung und Identifizierung von Mastitiserregern, Fachgruppe "Milchhygiene", Hrsg.: Fehlings, K., M. Zschöck, B. Baumgärtner, M. Geringer, J. Hamann & K. Knappstein, 2. Auflage, Gießen
- DVG (Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e. V.) 2012: Leitlinien zur Bekämpfung der Mastitis des Rindes als Bestandsproblem, Fachgruppe "Milchhygiene", Hrsg.: Fehlings, K., J. Hamann, W. Klawonn, K. Knappstein, R. Mansfeld, G. Wittkowski & M. Zschöck, 5. Auflage, Gießen
- Gasteiner, J. (2000): Ketose, die bedeutendste Stoffwechselerkrankung der Milchkuh. *Viehwirtschaftliche Fachtagung*, 6. - 8. Juni 2000 Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, A-8952 Irdning.
- Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE). 2001. Empfehlung zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder. DLG Verlag.

- Gleeson, D. E., B. O'Brien, L. Boyle, & B. Earley. 2007. Effect of milking frequency and nutritional level on aspects of the health and welfare of dairy cows. *Animal* 1(1):125–132.
- Goff, J. P. & Horst, R. L. (1997): Physiological Changes at Parturition and their Relationship to Metabolic Disorders. *J. Dairy Sci.* 80:1260–1268.
- Gott, P. N., P. J. Rajala-Schultz, G. M. Schuenemann, K. L. Proudfoot & J. S. Hogan. 2016. Intramammary infections and milk leakage following gradual or abrupt cessation of milking. *J. Dairy Sci* 99(5):4005–4017.
- Ingvartsen, K.L. (2006): Feeding- and management-related diseases in the transition cow Physiological adaptations around calving and strategies to reduce feeding-related diseases. *Animal Feed Science and Technology* 126: 175–213.
- Kay, J.K., Phyn, C.V.C., Rius, A.G., Morgan, S.R., Grala, T.M. & Roche, J.R. (2013): Once-daily milking during a feed deficit decreases milk production but improves energy status in early lactating grazing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 96 :6274–6284.
- Krawczel, P., S. Ferneborg, L. Wiking, T. K. Dalsgaard, S. Gregersen, R. Black, T. Larsen, S. Agenäs, K. Svennersten-Sjaunja, and E. Ternman. 2017. Milking time and risk of over-milking can be decreased with early teat cup removal based on udder quarter milk flow without loss in milk yield. *J. Dairy Sci* 100(8):6640–6647.
- Krug, C., Morin, P.-A., Lacasse, P., Roy, J.P., Dubuc, J. & Dufour, S. (2018b): Effect of incomplete milking during the first 5 days in milk on udder and reproductive tract health: Results from a randomized controlled trial. *J. Dairy Sci.* 101:9275-9286.
- Krug, C., Morin, P.-A., Lacasse, P., Santschi, D.E., Roy, J.P., Dubuc, J. & Dufour, S. (2018a): A randomized controlled trial on the effect of incomplete milking during the first 5 days in milk on culling hazard and on milk production and composition of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 101:4367–4377.
- Kuehnl, J. M., M. K. Connelly, A. Dzidic, M. Lauber, H. P. Fricker, M. Klister, E. Olstad, M. Balbach, E. Timlin, V. Pszczolkowski, P. M. Crump, D. J. Reinemann, & L. L. Hernandez. 2019. The effects of incomplete milking and increased milking frequency on milk production rate and milk composition1. *J. Anim Sci.* 97(6):2424–2432.
- Lacasse, P., N. Vanacker, S. Ollier, & C. Ster. 2018. Innovative dairy cow management to improve resistance to metabolic and infectious diseases during the transition period. *Res. Vet. Sci.* 116:40–46.
- LeBlanc, S.J., Leslie K.E.& Duffield, T.F. (2005). Metabolic predictors of displaced abomasum in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 88:159-170.
- Martin, L. M., H. Sauerwein, W. Büscher & U. Müller. 2020. Automated gradual reduction of milk yield before dry-off: Effects on udder health, involution and inner teat morphology. *Livest. Sci.* 233:103942.
- Morin, P.-A., Krug, C., Chorfi, J., Dubuc, J., Lacasse, P., Roy, J.P., Santschi, D.E. & Dufour, S. (2018). A randomized controlled trial on the effect of incomplete milking during early lactation on ketonemia and body condition loss in Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 101:4513–4526.
- Penry, J. F., E. L. Endres, B. de Bruijn, A. Kleinhans, P. M. Crump, D. J. Reinemann & L. L. Hernandez. 2017. Effect of incomplete milking on milk production rate and composition with 2 daily milkings. *J. Dairy Sci* 100(2):1535–1540.

- Roche, J.F., Mackey, D. & Diskin, D. (2000): Reproductive management of postpartum cows. *Anim. Reprod Sci.* 60–61: 703–712.
- Rovai, M., M. T. Kollmann, & R. M. Bruckmaier. 2007. Incontinentia lactis: physiology and anatomy conducive to milk leakage in dairy cows. *J. Dairy Sci* 90(2):682–690.
- Sauerwein, H., Heintges, U., Hennies, M., Selhorst, T. & Daxenberger, A. (2004): Growth hormone induced alterations of leptin serum concentrations in dairy cows as measured by a novel enzyme immunoassay. *Livest. Prod. Sci.* 87, 189-195.
- Schlamberger, G., Wiedemann, S., Viturro, E., Meyer, H.H.D. & Kaske, M. (2010): Effects of continuous milking during the dry period or once daily milking in the first 4 weeks of lactation on metabolism and productivity of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93 :2471–2485.
- Schmidt S., Linius, B., MaaSSen-Francke, B., Müller, U., Büscher, W. & Martin, L.M. (2017): Verfahren zur Reduzierung der tierindividuellen Milchproduktion von milchgebenden Tieren. Pat. Nr. DE 10 2017 120 656
- Schukken, Y. H., F. J. Grommers, D. van de Geer, H. N. Erb & A. Brand. 1990. Risk factors for clinical mastitis in herds with a low bulk milk somatic cell count. 1. Data and risk factors for all cases. *J. Dairy Sci.* 73(12):3463–3471.
- Staufenbiel, R., Staufenbiel, B., Lachmann, I. & Klukas, H. (1991): Fettstoffwechsel und Fruchtbarkeit bei der Milchkuh. *Praktischer Tierarzt*, coll. Vet. XXII: 18-25.
- Stelwagen, K., Phyn, C.V.C., Davis, S.R., Guinard-Flament, J., Pomiès, D., Roche, J.R. & Kay, J.K (2013): Invited interview: Reduced milking frequency: milk production and management implications. *J. Dairy Sci.* 96: 3401–3413.
- Susenbeth, A. 2018. Der Energiebedarf von Milchkühen heutiger Rassen. Tagungsband optiKuh. *LfL-Schriftenreihe* (2/2018), 40-43.
- Valdecabres, A., R. B. Lopes, A. Lago, C. Blanc & N. Silva-Del-Río. 2022. Effects of postpartum milking strategy on plasma mineral concentrations and colostrum, transition milk, and milk yield and composition in multiparous dairy cows. *J Dairy Sci* 105(1):595–608.
- Van Saun, R.J. (2016). Indicators of dairy cow transition risks: Metabolic profiling revisited (Review). *Tierärztl. Prax.* 44 (G): 118–126. .
- Wieland, M., D. V. Nydam, W. Heuwieser, K. M. Morrill, L. Ferlito, R. D. Watters & P. D. Virkler. 2020. A randomized trial to study the effect of automatic cluster remover settings on milking performance, teat condition, and udder health. *J Dairy Sci* 103(4):3668–3682.

## **8 Konsequenzen für evtl. weitere Forschungsaktivitäten**

Aufgrund der gewonnen Erkenntnisse, dass die auffällige/belasteten Milchkühe unmittelbar auf das unvollständige Melken mit einer sich entspannenden Stoffwechselentwicklung reagieren, empfehlen wir innerhalb weiterer Laktationsabschnitte zu untersuchen, in den dieses Entlastungspotential für den Erhalt von Tiergesundheit und Tierwohl eingesetzt werden kann.

Dies erfolgt derzeit bei dem laufenden USL-Projekt, während dem die Auswirkungen einer kurzfristigen und deutlichen Milchleistungsreduktion in der Hochlaktation für die Kühe untersucht werden. Diese Anwendungsstrategie dieses IM-Melkverfahrens könnte in kurzfristig eintretenden Krisenzeiten einer Milchkuh hilfreich sein (bei vorhergesagtem Hitzestress, bei Krankheiten etc.). Weitere Entlastungszeiträume aufgrund von Gegebenheiten sind denkbar.

Des Weiteren sind Untersuchungen erforderlich, welche Bedeutung wiederholte Phasen mit unvollständigem Melken innerhalb einer Laktation für die weitere Milchleistungsentwicklung haben kann. Auch die Auswirkungen auf das Lebensmittel „Milch“ sollte untersucht werden.

Für zukünftige Forschungsvorhaben mit Fragestellungen bezüglich der Bedeutung von unvollständigem Melken zur Entlastung in entsprechenden Laktationsabschnitten ist es ratsam mit einzuplanen, dass

- zum einen aufgrund der Laktationsabhängigkeit und damit der unterschiedlichen Verfügbarkeit von Versuchskühen ausreichend Zeit für den Versuch eingeplant wird und
- zum anderen ein deutlich längerer Zeitraum am Anfang des Projektes bis zur Genehmigung des Tierversuchs (bis zu 6 Monate) und damit einhergehenden Kosten für die entsprechenden Gebühren einkalkuliert werden.

## **9 Veröffentlichung**

Meyer I, Haese E, Südekum K-H, Sauerwein H, Müller U (2023 in der Begutachtung):

The impact of automated, constant incomplete milking on energy balance, udder health, and subsequent performance in early lactation of dairy cows

Submitted to Journal of Dairy Science

## **10 Vorträge**

Meyer I, Haese E, Südekum K-H, Sauerwein H, Müller U (2022):

Automated, incomplete milking as energy management strategy in early lactation of dairy cows.

73rd Annual Meeting of EAAP, 5.-9.9.2022, Porto, Portugal, Book of Abstracts, p 242

Müller, U. (2022):

Neuartiges Melkzeugabnahmeverfahren – bisherige Erkenntnisse und Einsatzmöglichkeiten.

Agrarforschungstag Nordrhein-Westfalen 2022, 1.9.2022, Düsseldorf

## **11 Posterpräsentation**

R. Joest, I. Meyer, K.-H. Südekum, H. Sauerwein, B. Büscher, U. Müller (2022):

Neuartiges Melkzeugabnahmeverfahren – bisherige Erkenntnisse und Einsatzmöglichkeiten.

Agrarforschungstag Nordrhein-Westfalen 2022, 1.9.2022, Düsseldorf

## **12 Weitere Aktivitäten**

Verleihung der Goldmedaille an die Universität Bonn für die AutoDry-Software von GEA Farm Technologies GmbH im Rahmen des Innovation Award EuroTier 2022



**ISSN 1610-2460**