

Einfluss einer ad libitum Vollmilchtränke auf Futteraufnahme,  
Gewichtsentwicklung, Gesundheit und ausgewählte  
Blutparameter von Fleckviehkälbern

von Kristin Iris Bernhart

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde  
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität  
München

Einfluss einer ad libitum Vollmilchtränke auf Futteraufnahme,  
Gewichtsentwicklung, Gesundheit und ausgewählte  
Blutparameter von Fleckviehkälbern

von Kristin Iris Bernhart

aus Würzburg

München 2017

Aus dem Veterinärwissenschaftlichen Department  
der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Lehrstuhl für Tierschutz, Verhaltenskunde, Tierhygiene und  
Tierhaltung

Arbeit angefertigt unter der Leitung von: Univ.-Prof. Dr. Dr. Michael Erhard

Mitbetreuung durch: Dr. Elke Rauch

Angefertigt an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft  
am Institut für Landtechnik und Tierhaltung

Mentor: Prof. Dr. Klaus Reiter

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Reinhard Straubinger, Ph.D.

Berichterstatter: Univ. Prof. Dr. Dr. Michael Erhard

Korreferent/en: Univ. Prof. Dr. Thomas Göbel

Tag der Promotion: 29. Juli 2017

Meiner Familie, meinen Freunden und den Kälbern

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>I.</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>LITERATURÜBERSICHT .....</b>	<b>3</b>
<b>1.</b>	<b>Milchaufnahme bei Kälbern .....</b>	<b>3</b>
1.1.	Milchaufnahme bei natürlicher Haltung .....	3
1.2.	Restriktive Tränke .....	3
1.3.	Ad libitum Tränke .....	4
<b>2.</b>	<b>Auswirkungen der frühpostnatalen Fütterung .....</b>	<b>5</b>
2.1.	Metabolische Programmierung .....	5
2.2.	Krafftutteraufnahme .....	8
2.3.	Gewichtsentwicklung .....	9
2.4.	Gesundheit .....	11
<b>3.</b>	<b>Auswirkungen der Fütterung auf ausgewählte Blutparameter</b>	<b>14</b>
3.1.	Insulin-like growth factor-I (IGF-I) .....	14
3.2.	$\beta$ -Hydroxybutyrat (BHB).....	16
3.3.	Triglyceride .....	17
3.4.	Immunglobulin G (IgG).....	18
3.5.	Gesamtprotein .....	20
3.6.	Gammaglutamyltransferase ( $\gamma$ -GT).....	21
3.7.	Laktatdehydrogenase (LDH) .....	23
3.8.	Glutamatdehydrogenase (GLDH) .....	24
3.9.	Harnstoff .....	25
3.10.	Glukose.....	27
3.11.	NEFA (non-esterfied-fatty-acids) .....	29
3.12.	Eisen.....	31
3.13.	Rotes Blutbild.....	32
<b>III.</b>	<b>TIERE, MATERIAL UND METHODEN.....</b>	<b>35</b>
<b>1.</b>	<b>Genehmigung des Tierversuchsvorhabens .....</b>	<b>35</b>
<b>2.</b>	<b>Versuchstiere und Gruppeneinteilung.....</b>	<b>35</b>
<b>3.</b>	<b>Haltung .....</b>	<b>36</b>

---

<b>4.</b>	<b>Fütterung und Management</b> .....	<b>36</b>
4.1.	Ergänzungsfuttermittel, Selen und Eisen .....	36
4.2.	Kolostrumaufnahme .....	37
4.3.	Tränke- und Grobfuttermittellieferung.....	37
4.4.	Restriktiver Tränkeplan .....	38
4.5.	Ad libitum Tränkeplan .....	39
4.6.	Management bei Durchfall .....	39
4.7.	Versuchsphasen .....	39
<b>5.</b>	<b>Datenerhebung</b> .....	<b>40</b>
5.1.	Milch-, Kraffuttermittelaufnahme und Automatenbesuche .....	40
5.2.	Gewichtsentwicklung.....	41
5.3.	Gesundheitsstatus .....	41
5.4.	Blutproben.....	43
<b>6.</b>	<b>Analyse der Blutparameter</b> .....	<b>44</b>
6.1.	Reflotron System.....	44
6.2.	Hämatologiegerät VETERINARY ANIMAL BLOOD COUNTER ....	44
6.3.	Olympus AU 400.....	44
6.4.	Respons 910 DiaSys.....	45
6.5.	Immunoassay-System Immulite .....	46
6.6.	ELISA.....	46
<b>7.</b>	<b>Statistische Auswertung</b> .....	<b>46</b>
<b>IV.</b>	<b>ERGEBNISSE</b> .....	<b>49</b>
<b>1.</b>	<b>Milchaufnahme</b> .....	<b>49</b>
<b>2.</b>	<b>Automatenbesuche</b> .....	<b>51</b>
<b>3.</b>	<b>Kraffuttermittelaufnahme</b> .....	<b>52</b>
<b>4.</b>	<b>Gewichtsentwicklung</b> .....	<b>54</b>
<b>5.</b>	<b>Gesundheit</b> .....	<b>56</b>
<b>6.</b>	<b>Blutparameter</b> .....	<b>58</b>
6.1.	Immunglobulin G.....	59
6.2.	Insulin-like growth factor-I .....	60
6.3.	$\beta$ -Hydroxybutyrat.....	61
6.4.	Non-esterified-fatty-acids .....	62

---

6.5.	Triglyceride .....	63
6.6.	Laktatdehydrogenase .....	64
6.7.	Rotes Blutbild.....	65
<b>V.</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>71</b>
1.	<b>Milchaufnahme.....</b>	<b>71</b>
2.	<b>Automatenbesuche.....</b>	<b>72</b>
3.	<b>Kraftfutteraufnahme .....</b>	<b>74</b>
4.	<b>Gewichtsentwicklung .....</b>	<b>75</b>
5.	<b>Immunglobulinversorgung und Gesundheit .....</b>	<b>77</b>
6.	<b>Blutparameter .....</b>	<b>80</b>
6.1.	Insulin-like growth factor-I.....	80
6.2.	$\beta$ -Hydroxybutyrat .....	82
6.3.	Non-esterfied-fatty-acids.....	84
6.4.	Triglyceride .....	86
6.5.	Laktatdehydrogenase .....	87
6.6.	Rotes Blutbild.....	88
7.	<b>Schlussfolgerung.....</b>	<b>89</b>
<b>VI.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>93</b>
<b>VII.</b>	<b>SUMMARY .....</b>	<b>97</b>
<b>VIII.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>101</b>
<b>IX.</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</b>	<b>123</b>
<b>X.</b>	<b>TABELLENVERZEICHNIS.....</b>	<b>127</b>
<b>XI.</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>129</b>
<b>XII.</b>	<b>DANKSAGUNG.....</b>	<b>133</b>
<b>XIII.</b>	<b>EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG .....</b>	<b>135</b>

**ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS**

ADL	ad libitum	ng	Nanogramm
AUC	area under the curve	nm	Nanometer
BHB	β-Hydroxybutyrat	OT	ohne Tränke
BUN	blood urea nitrogen	p	Signifikanz
cm	Zentimeter	pFPT	partial failure of passive transfer
dl	Deziliter	r	Effektgröße Cohen r
ELISA	Enzyme-Linked Immunosorbent Assay	RES	Restriktiv
Fe <sup>2+</sup>	Eisen(II)-oxid	RPM	revolutions per minute
fl	Femtoliter	r <sub>sp</sub>	Spearman-Korrelationskoeffizient
fmol	Femtomol	SD	standard deviation
FPT	failure of passive transfer		
g	Gramm		
γ-GT	Gammaglutamyltransferase		
GLDH	Glutamatdehydrogenase		
IgG	Immunglobulin G		
IGF- I	Insulin-like growth factor- I		
IU	International unit		
kg	Kilogramm		
KGW	Körpergewicht		
L	Liter		
LDH	Laktatdehydrogenase		
m	Meter		
MCH	mean corpuscular hemoglobin		
MCHC	mean corpuscular hemoglobin concentration		
MCV	mean corpuscular volume		
mg	Milligramm		
ml	Milliliter		
μl	Mikroliter		
mm	Millimeter		
mmol	Millimol		
μmol	Mikromol		
MT	mit Tränke		
MW	Mittelwert		
NADH/ NAD +	Nikotinamidadenindinukleotid		
NEFA	non-esterfied-fatty-acids		



## I. EINLEITUNG

Kälber werden in der Regel restriktiv getränkt und erhalten zwei- bis dreimal täglich geringe Mengen Milch. Ziel der restriktiven Fütterung ist es, dass die Jungtiere frühzeitig Kraftfutter aufnehmen und sich zum Wiederkäuer entwickeln. Die restriktive Tränke orientiert sich allerdings nicht am natürlichen Verhalten der Kälber. Borderas et al. (2009) bewerten diese Fütterung kritisch und gehen davon aus, dass die Kälber die geringen Milchaufnahmen nicht kompensieren können und hungern, weil sie in den ersten Lebenswochen nur geringste Mengen Kraftfutter aufnehmen.

Eine ad libitum Tränke ermöglicht den Kälbern mehrere Mahlzeiten nach Belieben über den Tag verteilt aufzunehmen – ähnlich wie in der muttergebundenen Aufzucht. Diese Tränkemethode stellt einen „Brückenschlag“ dar, weil sie die moderne landwirtschaftliche Praxis der Milcherzeugung ermöglicht, die eine Trennung von Kuh und Kalb vorsieht und dennoch die Bedürfnisse der Kälber in Bezug auf die Milchaufnahme berücksichtigt. Sie wird als eine praktikable Aufzuchtmethod beschrieben, die tiergerechter ist als die restriktive Milchtränke, weil sie sich am arttypischen Verhalten der Kälber orientiert (Maccari, 2012). Darüber hinaus verbessert eine intensive Kälberfütterung in den ersten Lebenswochen nicht nur die Gewichtsentwicklung der Kälber, sondern senkt auch das Erstkalbealter und steigert die Milchleistung der zukünftigen Kühe (Moallem et al., 2010). Weiterhin trägt eine intensive Tränke dazu bei, den Gesundheitsstatus der Kälber zu verbessern (Godden et al., 2005).

Bisher wurde die ad libitum Tränke überwiegend entweder bei weiblichen oder männlichen Kälbern der Rasse Holstein untersucht (Jasper und Weary, 2002; Maccari, 2012). Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, Futteraufnahme, Gewichtsentwicklung, Gesundheitsstatus und ausgewählte Blutparameter ad libitum und restriktiv getränkter Kälber der Rasse Fleckvieh zu untersuchen.



## **II. LITERATURÜBERSICHT**

### **1. Milchaufnahme bei Kälbern**

#### **1.1. Milchaufnahme bei natürlicher Haltung**

Muttergebunden aufgezogene Zebukälber saugen durchschnittlich 4,8 mal täglich, wobei ein Saugvorgang acht Minuten dauert (Reinhardt und Reinhardt, 1981). Laut Odde et al. (1985) saugten Hereford- und Fleckviehkälber mindestens einmal und bis zu elfmal am Tag bei ihrer Mutter, wobei durchschnittlich fünf Saugvorgänge beobachtet wurden. Die Anzahl der Saugvorgänge ist altersabhängig und nimmt signifikant mit zunehmendem Alter ab: Ein fünf Tage altes Zebukalb saugt zwischen 4 bis 14 mal am Tag, während im Alter von 300 Tagen nur noch 2 bis 4 Saugvorgänge am Tag beobachtet werden (Reinhardt und Reinhardt, 1981). Die Milchaufnahme findet vermehrt tagsüber statt (Reinhardt und Reinhardt, 1981; Odde et al., 1985), wobei die höchsten Saugraten bei Sonnenaufgang, mittags und abends beobachtet wurden (Odde et al., 1985). Hinsichtlich der aufgenommenen Milchmenge zeigt sich, dass Kälber, die zweimal täglich bei der Mutter trinken dürfen, bereits in der ersten Lebenswoche  $6,5 \pm 0,7$  kg Milch/Tag aufnehmen. Die Milchaufnahme steigt auf  $12,5 \pm 1,4$  kg/Tag in der neunten Lebenswoche an (De Passillé et al., 2008).

#### **1.2. Restriktive Tränke**

In der Praxis werden die Kälber in der Regel direkt nach der Geburt von der Kuh getrennt und erhalten eine definierte Menge Kolostrum. Somit ist es ihnen nicht möglich ad libitum Kolostrum aufzunehmen und den Zeitpunkt für die Milchaufnahme frei zu wählen (Collings et al., 2011). Üblicherweise werden Milchmengen in Höhe von 8 - 10 % vom Körpergewicht (KGW) getränkt (Davis und Drackley, 1998), wobei diese Menge auf zwei Mahlzeiten am Tag aufgeteilt wird (Jasper und Weary, 2002; Vieira et al., 2008). Bei restriktiver Fütterung werden die Kälber nur knapp über dem Erhaltungsbedarf versorgt (Davis und Drackley, 1998). Im Vergleich zur muttergebundenen Aufzucht und zur ad libitum Tränke

werden bei der restriktiven Fütterung geringere Gewichtszunahmen erreicht (Flower und Weary, 2001; Jasper und Weary, 2002). Ziel einer Fütterung mit begrenzten Milchmengen ist es, die Krafftutteraufnahme zu forcieren, dadurch die frühe Entwicklung des Pansens zu fördern (Terré et al., 2006; Khan et al., 2011) und gleichzeitig Futtermittelkosten einzusparen (Terré et al., 2006).

Laut Borderas et al. (2009) verursacht eine restriktive Fütterung in den ersten drei Lebenswochen ein gesteigertes Hungergefühl und beeinträchtigt das Wohlergehen der Tiere. Bei einer Fütterung mittels Tränkeautomat besuchen restriktiv getränkte Kälber häufig den Tränkeautomaten, selbst wenn sie kein Anrecht auf Milch haben und besetzen somit den Automaten (Hammon et al., 2002; Jensen und Holm, 2003; Nielsen et al., 2008; Vieira et al., 2008; Borderas et al., 2009). Vieira et al. (2008) beobachteten bei den restriktiv getränkten Kälbern zwölfmal mehr unbelohnte Besuche im Vergleich zu den ad libitum getränkten Kälbern. Diese unbelohnten Automatenbesuche spiegeln die hohe Motivation zur Futteraufnahme der Tiere wider (Hammon et al., 2002; Jensen und Holm, 2003; Nielsen et al., 2008; Vieira et al., 2008; Borderas et al., 2009).

### **1.3. Ad libitum Tränke**

Für eine bestmögliche Entwicklung sollte der Energie- und Nährstoffbedarf über die Milch und nicht über Festfutter gedeckt werden, insbesondere solange der Pansen noch nicht voll funktionsfähig ist (Shamay et al., 2005). Kälber können in den ersten drei Lebenswochen die geringen Milchaufnahmen bei restriktiver Fütterung nicht durch erhöhte Krafftutteraufnahmen kompensieren (Borderas et al., 2009). Erst ab der vierten Lebenswoche können geringere Milchmengen gefüttert werden, weil vermehrt Krafftutter aufgenommen werden kann (Borderas et al., 2009). Laut Brown et al. (2005b) ist es möglich in der Zeit vor dem Absetzen Kuhkälber protein- und energiereicher zu füttern und damit nicht nur das Wachstum der Tiere zu fördern, sondern auch das Erstkalbealter zu reduzieren, ohne dabei eine Verfettung der Tiere zu verursachen. Durch Reduzierung des Erstkalbealters können wiederum Kosten eingespart werden, ermöglicht durch die passende Aufzuchtmethode und

der damit einhergehenden Entwicklung der Tiere (Heinrichs, 1993; Tozer und Heinrichs, 2001). Das hohe Wachstumspotential von Kälbern in den ersten Lebenswochen sollte genutzt werden, denn ein kompensatorisches Wachstum über gesteigerte Nährstoffzufuhr zu einem späteren Zeitpunkt wird kritisch betrachtet (Jasper und Weary, 2002; Shamay et al., 2005; Uys et al., 2011).

Es wird befürchtet, dass bei der Fütterung größerer Milchmengen vermehrt Durchfall auftreten könnte (Jasper und Weary, 2002). In einigen Untersuchungen, in denen Kälbern Milch oder Milchaustauscher ad libitum angeboten wurde, konnte jedoch gezeigt werden, dass Kälber ohne Beeinträchtigung der Gesundheit deutlich mehr Milch aufnahmen, als üblicherweise bei restriktiver Tränke vorgesehen (Appleby et al., 2001; Hammon et al., 2002; Jasper und Weary, 2002; Vieira et al., 2008; Borderas et al., 2009; Maccari, 2012). In den ersten beiden Lebenswochen werden steigende Milchaufnahmen beobachtet bis der Maximalwert erreicht wird und sich die mittlere Milchaufnahme in den folgenden vier Wochen als ein Plateau darstellt (Borderas et al., 2009). Ad libitum getränkte Kälber nahmen durchschnittlich um die 10 kg Milch am Tag auf (Appleby et al., 2001; Jasper und Weary, 2002; Maccari, 2012). Es wurden große individuelle Unterschiede bei der Milchaufnahme festgestellt (Appleby et al., 2001; Maccari, 2012). Manche Kälber tranken bis zu 18 L am Tag, während andere weniger als 8 L aufnahmen. Bisher gibt es keine Erklärung für diese Beobachtungen (Maccari, 2012).

## **2. Auswirkungen der frühpostnatalen Fütterung**

### **2.1. Metabolische Programmierung**

Das Prinzip der metabolischen Programmierung könnte mit dem Auslösen langfristiger Effekte im Zusammenhang stehen. In der humanmedizinischen Forschung heißt es, dass „ein Reiz oder Insult in einer entscheidenden Entwicklungsphase [...] fortdauernde oder lebenslange Bedeutung“ hat (Lucas, 1991). Sowohl die frühkindliche Ernährung, als auch die intrauterine Versorgung des menschlichen Fetus gelten als entscheidend (Hales und Barker, 1992). Eine Mangelernährung in diesen frühen Entwicklungsphasen wird mit Erkrankungen im

Erwachsenenalter, unter anderem Diabetes in Verbindung gebracht, wobei eine veränderte Organentwicklung als Auslöser gilt (Hales und Barker, 1992). Im Jahr 2015 konnten Prokop et al. erstmals zeigen, dass ebenfalls bei Rindern die frühpostnatale Fütterungsintensität Veränderungen am Pankreasgewebe bewirkt, welches im Alter von acht Monaten bei der Schlachtung entnommen und histologisch untersucht wurde. So hatte sich eine intensive Fütterung in den ersten drei Lebenswochen positiv auf Anzahl der Langerhanschen Inseln und der Insulin gefärbten Bereiche im Pankreas ausgewirkt (Prokop et al., 2015). Larson et al. (2009) untersuchten die Auswirkung verschiedener Fütterungskonzepte auf trächtige Mutterkühe. Dabei konnte gezeigt werden, dass Kälber von Kühen, die Maisernterückstände erhielten, ein höheres Geburtsgewicht hatten als Kälber von Kühen, die auf brachliegendem Hochland weideten (Larson et al., 2009). Dieser Effekt war tendenziell größer, wenn man den Muttertieren gezielt Protein zufütterte (Larson et al., 2009). Selbst zum Zeitpunkt der Schlachtung war noch ein Gewichtsunterschied erkennbar (Larson et al., 2009). Bei der Schlachtkörperuntersuchung der männlichen Nachkommen zeigte sich, dass eine Proteinsupplementierung der Muttertiere sogar eine verbesserte Marmorierung des Fleisches ergab (Larson et al., 2009). Während in Untersuchungen von Martin et al. (2007) das Geburtsgewicht durch die Fütterung der Muttertiere unbeeinflusst blieb, konnte ein Einfluss auf die Reproduktionsleistung festgestellt werden, denn Färsen von Kühen, denen während der Trächtigkeit Protein zugefüttert wurde, wiesen erhöhte Trächtigkeitsraten auf. Laut Wiedemann et al. (2015) wirkt sich eine intensive Kälberaufzucht vorteilhaft auf die Futteraufnahme der adulten Kühe aus. Die Frischfutteraufnahme von 37 Tieren wurde über 252 Laktationstage erfasst und war für ehemals intensiv aufgezogene Tiere signifikant höher als für restriktiv aufgezogene Tiere (Wiedemann et al., 2015). Nach Kaske et al. (2010) scheint die Möglichkeit zur metabolischen Programmierung durch Fütterungseinflüsse im frühpostnatalen Zeitraum gegeben zu sein, wobei für Wiederkäuer noch keine genauen zeitlichen Daten vorliegen. Brown et al. (2005a) zeigten, dass mehr Eutergewebe gebildet wurde, wenn Holstein Kuhkälber in der zweiten bis achten Lebenswoche einen proteinreichen Milchaustauscher erhielten. Bei einer

proteinreichen Fütterung in Woche acht bis vierzehn konnte hingegen eine verstärkte (intra- und extraparenchymale) Fettablagerung beobachtet werden. Allerdings ist es noch nicht gesichert, ob die Zunahme von Euterparenchym mit einer höheren Milchleistung einhergeht (Brown et al., 2005a). Es gibt mehrere Studien, die sich mit unterschiedlichen Aufzuchtmethoden und deren Einfluss auf die spätere Milchleistung beschäftigen, wobei unterschiedliche Ergebnisse erzielt wurden. Kiezebrink et al. (2015) und Terré et al. (2009) konnten bei verstärkter Fütterung im Vergleich zur konventionellen Aufzucht weder einen Einfluss auf Milchleistung noch auf Erstkalbealter feststellen. Terré et al. (2009) gaben zu bedenken, dass möglicherweise aufgrund der eher niedrigen Tierzahl ( $n = 14$ ) ein signifikantes Ergebnis ausblieb. Auch die Untersuchung von Raeth-Knight et al. (2009) erbrachte keinen signifikanten Unterschied im Hinblick auf die Milchleistung, jedoch konnte übereinstimmend mit anderen Untersuchungen bei intensiverer Fütterung das Erstkalbealter reduziert werden (Bar-Peled et al., 1997; Moallem et al., 2010; Rincker et al., 2011), was sich wiederum positiv auf die Lebensleistung auswirkt (Brown et al., 2005b). Rincker et al. (2011) und Bar-Peled et al. (1997) beschrieben eine tendenziell höhere Leistung bei intensiver Aufzucht. Moallem et al. (2010) und Soberon et al. (2012) konnten eine signifikant höhere Leistung in der ersten Laktation nachweisen. In einer Untersuchung von Wiedemann et al. (2015) wurde zunächst ein ähnlicher Verlauf der Laktationskurve für restriktiv bzw. ad libitum mit Milch aufgezogene Tiere beobachtet, jedoch wiesen gegen Ende der Laktation die ad libitum Tiere eine höhere Persistenz auf. Da die Studientiere nur in den ersten Lebenswochen unterschiedlich gefüttert wurden, wurde der positive Einfluss auf die Milchleistung mit der Aufzuchtmethode in der frühpostnatalen Phase begründet (Wiedemann et al., 2015). Laut Soberon et al. (2012) besteht eine Verbindung zwischen frühpostnataler Gewichtszunahme und der späteren Milchleistung, so konnte gezeigt werden, dass mit jedem Kilogramm Körpergewicht, das vor dem Absetzen zugenommen wurde, die 305-Tage-Milchleistung linear anstieg. Soberon et al. (2012) vermuten, dass die Grundlage hierfür epigenetische Vorgänge sind, die die spätere Leistung programmieren, möglicherweise sogar die Lebensleistung (Soberon und Van Amburgh,

2013). Laut Bach (2012) scheint nicht die Zucht allein für die Leistungsparameter der späteren Kuh ausschlaggebend zu sein, sondern darüber hinaus die Fütterung des Muttertiers und des Jungtiers selbst in der frühen Aufzucht.

## **2.2. Krafffutteraufnahme**

Laut einer Untersuchung von Eicher-Pruiett et al. (1992) ist die Krafffutteraufnahme in den ersten Lebenswochen trotz restriktiver Milchaufnahme (8 % des Geburtsgewichtes) niedrig, denn erst in einem Alter von drei Wochen erreichen die Kälber eine tägliche Krafffutteraufnahme in Höhe von 1,3 % ihres Geburtsgewichtes. Auch Maccari et al. (2015) stuft die Krafffutteraufnahme in den ersten vier Lebenswochen als vernachlässigbar ein. Jasper und Weary (2002) berichten, dass erst in einem Alter von zwei Wochen vermehrt Krafffutter aufgenommen wurde. Kälber, die ad libitum Vollmilch oder angesäuerten Milchaustauscher erhielten, nahmen bis zum Absetzen nur geringe Mengen Heu und Krafffutter auf (Jasper und Weary, 2002; Hepola et al., 2008). Bereits bei intensiverer Fütterung mit Milch oder Milchaustauscher ist eine signifikant niedrigere Krafffutteraufnahme als bei restriktiv aufgezogenen Kälbern festzustellen, zumindest bis zum Zeitpunkt des Abtränkens (Bar-Peled et al., 1997; Shamay et al., 2005; Quigley et al., 2006; Morrison et al., 2009; Raeth-Knight et al., 2009; Rincker et al., 2011; Kiezebrink et al., 2015). Es gibt Untersuchungen, bei denen die Krafffutteraufnahme auch noch eine Woche nach dem Abtränken gering blieb (Terré et al., 2007; Terré et al., 2009). Weil die Kälber bevorzugt Milch aufnahmen, fiel bereits bei einer Fütterung von acht Litern Vollmilch am Tag, die tägliche Krafffutteraufnahme mit  $0,26 \pm 0,03$  kg sehr niedrig aus, während die restriktive Kontrollgruppe (vier Liter/Tag) 0,64 kg Krafffutter aufnahm (Kiezebrink et al., 2015). Andere Untersuchungen zeigten, dass negative Auswirkungen auf die Festfutteraufnahme verhindert werden konnten, wenn intensiv aufgezogene Kälber stufenweise und nicht abrupt abgetränkt wurden (Khan et al., 2007a; Khan et al., 2007b). Die Reduktion zunächst hoher Milchmengen von 20 % auf 10 % des Körpergewichts oder das schrittweise Abtränken ad libitum getränkter Kälber führte zu einer kompensatorischen Mehraufnahme von

Festfutter, die sogar die Futterraufnahme der restriktiv aufgezogenen Tiere übertrifft (Khan et al., 2007a; Khan et al., 2007b; Maccari, 2012). Die Krafffutteraufnahme fördert wiederum die Pansenentwicklung (Suárez et al., 2006; Khan et al., 2007a).

### **2.3. Gewichtsentwicklung**

Die Gewichtsentwicklung von Kälbern kann verbessert werden, wenn Milch oder Milchaustauscher ad libitum angeboten wird (Appleby et al., 2001; Hammon et al., 2002; Jasper und Weary, 2002; Borderas et al., 2009; Maccari, 2012; Wiedemann et al., 2015) oder größere Mengen Milch oder Milchaustauscher vertränkt werden, als es in der konventionellen Aufzucht üblich ist (Diaz et al., 2001; Cowles et al., 2006; Quigley et al., 2006; Khan et al., 2007a; Khan et al., 2007b). Laut Appleby et al. (2001) könnte die verbesserte Entwicklung der ad libitum getränkten Tiere auch auf das geringere Auftreten von Verdauungsproblemen zurückgeführt werden und nicht nur auf die hohen Milchaufnahmen.

Holstein Kälber, die in den ersten 14 Lebenstagen muttergebunden aufgezogen wurden und somit „ad libitum“ Zugang zu Milch hatten, wiesen signifikant höhere Zunahmen auf als Kälber, die bereits am ersten Lebenstag von der Mutter getrennt wurden und restriktiv (10 % vom KGW) getränkt wurden (Flower und Weary, 2001). Dieser Unterschied der mittleren Körpergewichte ging auch im Alter von vier Wochen noch nicht verloren ( $68,6 \pm 2,3$  kg gegenüber  $54,9 \pm 1,1$  kg,  $p < 0,001$ ) (Flower und Weary, 2001). Simmentaler Kälber in muttergebundener Aufzucht hatten von Tag 0 bis 84 im Schnitt tägliche Zunahmen von  $846 \pm 4$  g, dabei zeigten männliche Kälber tendenziell höhere Zunahmen als Kuhkälber ( $949 \pm 63$  und  $770 \pm 57$  g). Am 84. Lebenstag (Versuchsende) hatten Bullenkälber ein signifikant höheres Lebendgewicht als die Kuhkälber ( $128 \pm 5$  kg und  $111 \pm 5$  kg) (Egli und Blum, 1998).

Ad libitum getränkte Kuhkälber hatten in der ersten Lebenswoche tägliche Zunahmen in Höhe von  $0,8 \pm 0,1$  kg, während die restriktive Kontrollgruppe mit Zunahmen von  $0,2 \pm 0,1$  kg deutlich dahinter zurückblieb (Jasper und Weary, 2002). Bereits am 35. Lebenstag lag ein Gewichtsunterschied von 10,5 kg vor. Dies war darauf zurückzuführen,

dass die ad libitum getränkten Kälber beinahe doppelt so viel Milch aufnahmen wie die restriktiv getränkten Kälber und um 63 % höhere Zunahmen vor dem Absetzen erreichten (Jasper und Weary, 2002). Holstein Bullenkälber, die in den ersten drei Lebenswochen mittels Eimer ad libitum getränkt wurden, erreichten in diesem Zeitraum mittlere tägliche Zunahmen von 1281 g/d im Vergleich zu restriktiv aufgezogenen Kälbern, die 391 g/d zulegten (Maccari, 2012). Ähnliche Zunahmen erreichten ad libitum getränkte Kälber in einer Untersuchung von Hepola et al. (2008). Am 22. Lebenstag war der Gewichtsunterschied von 19,3 kg zwischen den Gruppen signifikant und verdeutlichte das Wachstumspotential (Maccari, 2012). Obwohl ab dem 25. Lebenstag beide Gruppen identisch gefüttert wurden, waren selbst noch zum Zeitpunkt des Absetzens am 70. Lebenstag die restriktiv aufgezogenen Tiere signifikant leichter (Maccari, 2012). Tiere, die am Schlachttag bei der Untersuchung unauffällige Lungenbefunde aufwiesen waren deutlich schwerer als Tiere, die während der Mastperiode an Pneumonie erkrankten (Maccari, 2012). Dies verdeutlicht wie wichtig die passenden Rahmenbedingungen sind, damit die Kälber langfristig von einer intensiven frühpostnatalen Fütterung profitieren können. Denn beim Auftreten schwerer Pneumonien im Anschluss an das Absetzen, scheint der Effekt der frühpostnatalen Aufzuchtintensität verloren zu gehen (Maccari, 2012). Darüber hinaus konnte eine ad libitum Fütterung den negativen Einfluss von einem niedrigen Geburtsgewicht nicht ausgleichen (Maccari, 2012). Ebenso hatte eine intensive Aufzucht keinen Effekt auf die Entwicklung von Kälbern, die von erstkalbenden Kühen stammten (Maccari, 2012). Die Umstallung der Kälber von Einzel- in Gruppenhaltung verbunden mit der Umstellung von angesäuerter Milch auf Milchaustauscher und gleichzeitig die erforderliche Anpassung an ein neues Tränkeverfahren (Eimertränke gegenüber Tränkeautomat) ging mit geringeren Gewichtszunahmen einher (Maccari, 2012; Wiedemann et al., 2015). In einigen Untersuchungen wurde bei Kälbern, die intensiv mit Milch oder Milchaustauscher aufgezogen wurden, um den Zeitpunkt des Absetzens ein Einbruch in der Gewichtsentwicklung verzeichnet (Bar-Peled et al., 1997; Brown et al., 2005b; Hepola et al., 2008; Rincker et al., 2011). Bar-Peled et al. (1997) vermuten, dass das Absetzen von der Milch und die damit erforderliche Gewöhnung an

Festfutter für ehemals intensiv aufgezogene Tiere mehr Stress bedeutet. Hingegen nehmen Rincker et al. (2011) an, dass die konventionell aufgezogenen Kälber, die bereits vor dem Absetzen größere Mengen Kälberstarter aufnahmen, einen früher entwickelten Pansen aufweisen und sich daher nach dem Absetzen besser entwickelten. Brown et al. (2005b) gaben zu bedenken, dass es von Vorteil sein könnte die Kälber stufenweise abzusetzen, um den Einbruch in der Entwicklung zu reduzieren, was sich in einigen Untersuchungen bestätigt (Khan et al., 2007a; Khan et al., 2007b; Sweeney et al., 2010).

Ebenso profitierten durchfallkranke Kälber von einer intensiven Fütterung: Wurde diesen dreimal täglich für sieben Minuten ad libitum Vollmilch angeboten, wiesen sie signifikant höhere Gewichtszunahmen auf als erkrankte Kälber, die restriktiv (13 % vom KGW) getränkt wurden (Hinderer et al., 1999). Grund dafür war die Aufnahme größerer Milchmengen und eine effizientere Futtermittelverwertung (Hinderer et al., 1999). Ferner nimmt die Versorgung mit Immunglobulinen Einfluss auf die Gewichtsentwicklung (Robison et al., 1988; Virtala et al., 1996; Faber et al., 2005). Laut Faber et al. (2005) wiesen Kälber, die vier Liter hochwertiges Kolostrum aufnahmen gegenüber Kälbern, die nur zwei Liter erhielten signifikant höhere Zuwachsraten auf. Der Gehalt an Serumimmunglobulinen in der 24. bis 48. Lebensstunde gilt als entscheidend für die Gewichtsentwicklung bis zum 180. Lebenstag (Robison et al., 1988).

#### **2.4. Gesundheit**

Grundsätzlich gilt, dass Unterernährung die Immunkompetenz beeinträchtigt und das Risiko für Infektionserkrankungen erhöht (Chandra, 1992; Woodward, 1998; Cripps et al., 2008). Kalorienarm oder ad libitum ernährte Mäuse reagierten unterschiedlich auf eine Influenzavirusinfektion (Ritz et al., 2008). Energiearm gefütterte Mäuse verloren signifikant mehr Gewicht, ihre Lungen wiesen verstärkt pathologische Veränderungen auf und es wurde eine signifikant höhere Mortalität im Vergleich zu ad libitum ernährten Mäusen nachgewiesen. Darüber hinaus war bei Mäusen mit Energiemangel die zytotoxische Aktivität der natürlichen Killerzellen beeinträchtigt (Ritz et al., 2008).

Studien zu unterschiedlich intensiven Aufzuchtmethoden und deren Einfluss auf die Kälbergesundheit erbrachten widersprüchliche Ergebnisse. Mehrere Untersuchungen beschreiben keine Unterschiede hinsichtlich des Auftretens von Erkrankungen bei restriktiver Tränke oder hohen Aufnahmen von Milch bzw. Milchaustauscher (Hammon et al., 2002; Jasper und Weary, 2002; Khan et al., 2007a; Vieira et al., 2008; Borderas et al., 2009; Terré et al., 2009; Maccari, 2012; Wiedemann et al., 2015). Andere Studien berichten von negativen Auswirkungen der intensiven Fütterung auf die Kälbergesundheit verbunden mit häufiger benötigten tierärztlichen Behandlungen (Cowles et al., 2006; Quigley et al., 2006). Andererseits wird auch beobachtet, dass es positive Effekte intensiver Fütterung auf die Gesundheit gibt (Appleby et al., 2001; Godden et al., 2005).

Maccari (2012) berichtet von einer hohen Durchfallinzidenz sowohl bei ad libitum und als auch restriktiv getränkten Kälbern. Es konnte beim Vergleich der Gruppen kein signifikanter Unterschied hinsichtlich Inzidenz und Dauer der Durchfallerkrankung festgestellt werden. Inwiefern das Fütterungsregime Einfluss auf das Durchfallgeschehen nehmen kann, ist schwierig abzuschätzen, da es sich dabei um eine multifaktoriell bedingte Erkrankung handelt (Maccari, 2012). Erkrankungen des Respirationstraktes traten nur sporadisch auf und standen auch nicht in Zusammenhang mit der Fütterung. Daher erweist sich laut Maccari (2012) die ad libitum Tränke als eine praktikable Aufzuchtmethode. In mehreren Studien zur ad libitum Tränke waren die Kälber überwiegend gesund (Hammon et al., 2002; Jasper und Weary, 2002; Borderas et al., 2009), wobei laut Jasper und Weary (2002) ungeachtet des Fütterungsregimes in der zweiten Lebenswoche vermehrt Durchfall auftrat. In der Literatur wird beschrieben, dass eine intensive Tränke häufiger zu Abweichungen von der normalen Kotbeschaffenheit führt, ohne dabei die Gesundheit zu beeinträchtigen (Diaz et al., 2001; Brown et al., 2005b; Raeth-Knight et al., 2009; Rincker et al., 2011). Als mögliche Ursache gelten die geringere Faseraufnahme (Rincker et al., 2011) oder auch die Mehraufnahme von Futter und Wasser (Diaz et al., 2001). In einer Untersuchung von Cowles et al. (2006) zeigten hingegen konventionell aufgezogene Kälber im

Vergleich zu intensiv gefütterten Kälbern in der Phase des Absetzens eine dünnflüssigere Kotbeschaffenheit, die möglicherweise durch eine leichte Azidose aufgrund vermehrter Krafftutteraufnahme verursacht wurde.

In einer Untersuchung von Quigley et al. (2006) hatten Kälber, die erhöhte Mengen Milchaustauscher erhielten, eine höhere Durchfallinzidenz als konventionell aufgezogene Kälber. In der zweiten Studienwoche war die Durchfallproblematik in beiden Gruppen am größten und die Mehrzahl der tierärztlichen Behandlungen fiel in diesen Zeitraum. Vermutlich führte eine abrupt um 50 % erhöhte Futtergabe am achten Lebenstag bei bereits bestehender gastroenteraler Erkrankung verstärkt zu gesundheitlichen Problemen. Die intensiver aufgezogenen Kälber wurden signifikant häufiger antibiotisch behandelt, tendenziell häufiger mit Elektrolyttränke versorgt und wiesen vor dem Absetzen tendenziell eine höhere Mortalität auf (Quigley et al., 2006).

In einer Untersuchung von Appleby et al. (2001) zeigten hingegen restriktiv getränkte Kälber häufiger Durchfall als ad libitum getränkte Kälber, dabei könnte sich die häufigere Aufnahme von kleineren Mahlzeiten über Nuckeleimer positiv auf die Verdauung ausgewirkt haben. Darüber hinaus vermuten Appleby et al. (2001), dass die intensive Versorgung der Tiere die Widerstandsfähigkeit gegenüber pathogenen Keimen erhöht. Diese Einschätzung teilen Godden et al. (2005) und führen die schlechtere Immunabwehr der Tiere, die Milchaustauscher anstelle von pasteurisierter Milch erhielten, auf die geringere Nährstoffversorgung zurück.

Dabei stützen sich Godden et al. (2005) auf Untersuchungen von Davis und Drackley (1998), die von höheren Rohfettgehalten in der Milch im Vergleich zu Milchaustauscher berichten. Laut Godden et al. (2005) ging die Aufzucht mit Milchaustauscher mit höheren Krankheitsinzidenzen (Durchfall, Pneumonie) und erhöhtem Mortalitätsrisiko einher. Diese Problematik verstärkt sich insbesondere im Winter bei Kältestress, wenn vermehrt Energie für die Thermoregulation benötigt wird und gleichzeitig eine schlechte Luftqualität und höhere Belastung mit Pathogenen bei geschlossenem Stallsystem vorliegt (Godden et al., 2005).

### **3. Auswirkungen der Fütterung auf ausgewählte Blutparameter**

#### **3.1. Insulin-like growth factor-I (IGF-I)**

Wie wichtig IGF-I für das intrauterine und postnatale Wachstum ist, zeigt eine Untersuchung von Liu und Leroith (1999), in der Mäusen die genetische Information für IGF-I fehlte. Diese Mäuse starben teilweise bereits pränatal und nur 42 % überlebten längerfristig, wobei diese Tiere ein stark reduziertes Wachstum aufwiesen und keine Geschlechtsreife erlangten (Liu und Leroith, 1999). Die Leber gilt im Wesentlichen als Ursprung für zirkulierendes IGF-I (Yakar et al., 1999; Cordano et al., 2000). Mäuse, deren Gen zur Expression von IGF-I in der Leber zerstört wurde, wiesen reduzierte Mengen an zirkulierendem IGF-I auf; ihr Wachstum war jedoch nicht eingeschränkt, was dafür spricht, dass IGF-I auch in anderen Organen gebildet wird und dort seine Wirkung entfaltet (Yakar et al., 1999). IGF-I ist Bestandteil der somatotropen Achse, die bei Kälbern bereits in der ersten Lebenswoche funktionsfähig und durch die Fütterung beeinflussbar ist (Hammon und Blum, 1997). Die Menge an IGF-I beim neonatalen Kalb korreliert laut Breier et al. (1988) mit dem Geburtsgewicht. Zunächst ist das Level niedrig und steigt erst mit der Aufnahme von Kolostrum, wobei die Menge und laut Hammon et al. (2000) auch der Zeitpunkt der Kolostrumaufnahme entscheidend sind (Hammon und Blum, 1997). Für diesen Anstieg ist jedoch nicht die geringe Absorption von kolostralem IGF-I ausschlaggebend (Vacher et al., 1995; Nussbaum et al., 2002), sondern die körpereigene Bildung (Cordano et al., 2000; Hammon et al., 2000). Laut Egli und Blum (1998) war bei muttergebundener Aufzucht in der ersten Lebenswoche ein signifikanter Anstieg der IGF-I Konzentration zu verzeichnen, der bei eimergetränkten Tieren ausblieb (Rauprich et al., 2000a; Nussbaum et al., 2002). Bei zweimal täglich mit dem Eimer getränkten Kälbern nahmen die IGF-I Werte bis zum 14. Lebenstag ab und stiegen erst im Anschluss (Nussbaum et al., 2002). Während Kälber, die mittels Automat getränkt wurden und somit die Milchmenge auf mehrere Mahlzeiten verteilt aufnahmen, ab dem 3. Lebenstag bis zum Versuchsende am 28. Lebenstag steigende Werte aufwiesen (Nussbaum et al., 2002). Egli und

Blum (1998) stellten einen geschlechtsspezifischen Unterschied fest, denn die männlichen Kälber wiesen höhere Werte auf als die weiblichen. Ebenfalls eine intensive Fütterung nimmt Einfluss auf die IGF-I Konzentration, denn eine Untersuchung von Petitclerc et al. (1999) zeigte, dass weibliche Jungtiere, die nach dem Absetzen im Alter von 5 Wochen freien Zugang zu Krafffutter und Heu hatten, signifikant höhere Werte von IGF-I im Serum aufwiesen als die restriktiv gefütterte Kontrollgruppe. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Smith et al. (2002) und Brown et al. (2005b), die Kälber mit einem proteinreichen Milchaustauscher aufzogen, wobei die IGF-I Konzentrationen bei intensiverer Fütterung anstiegen. Bei Kälbern, die in den ersten drei Lebenswochen ad libitum getränkt wurden, konnten sogar noch am 70. Lebenstag (Zeitpunkt des Absetzens) signifikant höhere IGF-I Werte als bei restriktiv getränkten Kälbern nachgewiesen werden (Maccari, 2012). Darüber hinaus wurde erwiesen, dass das IGF-I Level mit dem Körpergewicht der Tiere (Petitclerc et al., 1999; Smith et al., 2002) und den täglichen Zunahmen (Brickell et al., 2009c) positiv korrelierte. Andererseits berichteten Rauprich et al. (2000a) und Hammon et al. (2002), dass Kälber, die in der ersten Lebenswoche geringere Mengen an Kolostrum erhielten (Rauprich et al., 2000a) oder sogar über einen Zeitraum von vier Wochen restriktiver getränkt wurden (Hammon et al., 2002), höhere IGF-I Level als die verstärkt gefütterte Kontrollgruppe aufwiesen. Laut Brown et al. (2005b) bewirkte das Absetzen vom Milchaustauscher zunächst einen Abfall der IGF-I Werte, die im Anschluss bei intensiv gefütterten Tieren wieder auf ein höheres Level stiegen als es bei den moderat gefütterten Kälbern der Fall war. Brickell et al. (2009c) beprobte weibliche Tiere während der Aufzucht in Lebensmonat 1, 6 und 15. Über diesen Zeitraum beschrieb er steigende IGF-I Werte. Unter anderem spielt dabei die Nahrungsquelle eine Rolle, so hatten Tiere, die mit Milchaustauscher aufgezogen wurden, höhere Zunahmen und damit einhergehend höhere IGF-I Werte als mit Vollmilch aufgezogene Tiere und ad libitum getränkte Kälber übertrafen restriktiv getränkte Kälber (Brickell et al., 2009c). Besonders auffällig war, dass frohwüchsige Tiere selbst noch im Alter von 15 Monaten mit höheren Werten auffielen, wenn sie bereits im ersten und sechsten Lebensmonat signifikant höhere Werte als die langsamer wachsenden Tiere aufwiesen

(Brickell et al., 2009c). Niedrige IGF-I Werte im ersten Lebensmonat insbesondere in Kombination mit geringem Körpergewicht gehen mit niedrigeren Überlebenschancen bis zum sechsten Lebensmonat einher, vermutlich aufgrund schwächerer Immunabwehr (Brickell et al., 2009b). Ähnliche Zusammenhänge beschrieben Swali et al. (2008), wobei gut wachsende Tiere mit hohen IGF-I Levels im Alter von sechs Monaten früher die Zuchtreife erreichten (Brickell et al., 2009a). Yilmaz et al. (2006) hingegen beschrieb keine Unterschiede beim Erreichen der Geschlechtsreife und konnte lediglich feststellen, dass Tiere mit hohem IGF-I Level vier Tage früher kalbten.

### **3.2. $\beta$ -Hydroxybutyrat (BHB)**

Die Messung von  $\beta$ -Hydroxybutyrat (BHB) im Plasma gilt als nichtinvasive Methode zur Bestimmung der Pansenentwicklung (Suárez et al., 2006), und wird häufig angewendet (Quigley et al., 1991; Quigley und Bernard, 1992; Quigley, 1996; Lane et al., 2000; Khan et al., 2007a). Die Konzentration von BHB im Blut korreliert eng mit der Festfutteraufnahme und spricht für eine überwiegend alimentär bedingte Bildung (Quigley et al., 1991; Quigley und Bernard, 1992; Quigley, 1996). Ein deutlicher Anstieg von BHB im Blut zwei Stunden nach Futteraufnahme lässt auf eine schnelle Verdauung und Metabolisierung von Butyrat zu BHB durch das Pansenepithel und anschließende Absorption rückschließen (Quigley und Bernard, 1992). Geringe non-esterfied-fatty-acids (NEFA) Konzentrationen und Glukosewerte, die im Normalbereich liegen, weisen gleichzeitig darauf hin, dass der Ursprung auf die Pansenfermentation und kaum auf Ketonkörperproduktion in der Leber zurückzuführen ist (Quigley und Bernard, 1992). Ketonkörper entstehen in der Leber, wenn aufgrund eines Energiemangels Fettgewebe mobilisiert werden muss und freie Fettsäuren in die Leber transportiert und anschließend dort abgebaut werden (Gribsch und Neiger, 2014).

Sobald im Pansen die Ketonkörperproduktion einsetzt, spricht dies eindeutig für die Entwicklung zum Wiederkäuer, zumindest bei ausreichend versorgten Tieren, die weder laktierend noch trächtig sind (Baldwin et al., 2004). Im Rahmen der Raufutteraufnahme entstehen bei

der Verdauung von Kohlenhydraten kurzkettige Fettsäuren (Van Houtert, 1993), die sich wiederum positiv auf die morphologische Entwicklung des Pansens auswirken (Sutton et al., 1963; Lane et al., 2000; Suárez et al., 2006). Ab diesem Zeitpunkt dienen diese kurzkettigen Fettsäuren als primäre Energiequelle und nicht mehr Glukose aus der Milch (Quigley und Bernard, 1992; Baldwin et al., 2004). Bevor Jungtiere ein voll funktionstüchtiges Vormagensystem aufweisen, entstehen nur geringste Mengen an Ketonkörpern (Baldwin et al., 2004). Diese entstehen vermutlich, wenn Milch in den Pansen gelangt, sei es durch Rückfluss aus dem Labmagen oder bei unvollständigem Schluss der Schlundrinne oder auch infolge der Verdauung von aufgenommener Einstreu (Quigley et al., 1991). Senn et al. (2000) berichtete von einem fütterungsbedingtem Anstieg von BHB im Anschluss an die Aufnahme von Milch bei Kälbern, die mit Vollmilch ad libitum getränkt wurden: Dabei stellte er fest, dass BHB erst nach zwei Stunden wieder die Basalwerte zwischen 64 und 82  $\mu\text{mol/L}$  erreicht. Er macht für diesen Anstieg die Fettsäureoxidation und Ketogenese in der Leber verantwortlich. Mit zunehmendem Alter stieg die BHB Konzentration (Quigley, 1996; Greenwood et al., 1997). Das Absetzen von der Milch geht mit steigenden BHB Werten einher (Quigley et al., 1991; Quigley und Bernard, 1992; Quigley, 1996). Die kompensatorische Mehraufnahme von Festfutter im Anschluss an eine intensive Milchtränke führt zu höheren BHB Werten zum Zeitpunkt des Absetzens und nach dem Absetzen, als es bei den restriktiv aufgezogenen Kälbern der Fall ist (Khan et al., 2007a). Khan et al. (2007a) berichtet in der Folge von einer besseren morphologischen und metabolischen Entwicklung des Pansens.

### **3.3. Triglyceride**

Die Triglyceridkonzentration im Blut steigt bei Kälbern durch Fettabsorption infolge der Kolostrumaufnahme (Blum et al., 1997; Hammon und Blum, 1998; Kühne et al., 2000). Entscheidend ist dabei nicht nur die Menge (Hammon und Blum, 1998; Kühne et al., 2000) sondern auch der Zeitpunkt (Blum et al., 1997) der Kolostrumaufnahme. Rauprich et al. (2000a) vermutet, dass sich insbesondere die Aufnahme von Erstkolostrum positiv auf die Fettabsorption auswirkte. Bei Kälbern in

muttergebundener Aufzucht stieg die Triglyceridkonzentration innerhalb der ersten Lebenswoche und unterlag dann nur noch geringen Schwankungen (Egli und Blum, 1998). Kälber, die in den ersten Lebenswochen intensiv mit Milch (20 % vom Körpergewicht) aufgezogen wurden, wiesen signifikant höhere Triglyceridwerte als konventionell aufgezogene Tiere auf (Khan et al., 2007a; Khan et al., 2007b). In einer Untersuchung von Hammon et al. (2002) wurde zwar von steigenden Triglyceridkonzentrationen über den Untersuchungszeitraum von 28 Tagen berichtet, jedoch gab es keine Unterschiede zwischen ad libitum und konventionell getränkten Kälbern.

### **3.4. Immunglobulin G (IgG)**

Eine deutschlandweite Untersuchung von Rauch et al. (2015) zur Immunglobulinversorgung von Kälbern im letzten Jahrzehnt zeigte, dass nur rund 60 % der untersuchten Kälber ausreichend mit IgG versorgt waren, das heißt IgG-Konzentrationen größer  $\geq 10$  mg/ml aufwiesen. Ein Wert von 10 mg/ml IgG in der 48. Lebensstunde wird häufig als Grenzwert für eine ausreichende Kolostrumversorgung angesehen, Werte darunter gelten als unzureichend und werden als „failure of passive transfer“ (FPT) bezeichnet (Besser et al., 1991; Jaster, 2005). Eine weitere Untergliederung zur Abschätzung der Kolostrumversorgung nahmen Kaske und Kunz (2003) vor, so dass bei Werten von 5 - 10 mg/ml IgG ein partieller failure of passive transfer (pFPT) vorlag.

In der Zeit vor dem Absetzen ist für Kälber mit unzureichender Immunglobulinversorgung das Morbiditätsrisiko dreifach und das Mortalitätsrisiko fünffach erhöht (Wittum und Perino, 1995). Laut Donovan et al. (1998) wird das Mortalitätsrisiko sogar bis zum sechsten Lebensmonat von der Immunglobulinversorgung beeinflusst. Darüber hinaus werden langfristige Effekte der Kolostrumversorgung beschrieben: So konnte die Produktivität der ersten Laktation gesteigert werden (Denise et al., 1989). In einer Untersuchung von Faber et al. (2005) kam erst in der zweiten Laktation der Effekt der höheren Kolostrumgaben zum Tragen – Tiere, die nach der Geburt vier Liter hochwertiges Kolostrum erhielten, gaben täglich beinahe ein Kilogramm mehr Milch im Vergleich zu Tieren, die zwei Liter Kolostrum erhielten.

Vor der Kolostrumaufnahme wurden geringe Immunglobulinkonzentrationen ermittelt (Hadorn und Blum, 1997; Egli und Blum, 1998; Erhard et al., 1999; Jaster, 2005). Erhard et al. (1999) beschrieben Werte von 0,15 mg/ml IgG1 und 0,06 mg/ml IgG2. Höchstwerte für IgG1 (9,3 mg/ml) und IgG2 (0,8 mg/ml) wurden zwölf Stunden nach Kolostrumaufnahme erreicht. Daraufhin sinkt die IgG1-Konzentration bis Lebenstag 28. Anschließend werden steigende Immunglobulinkonzentrationen beobachtet, die wiederum die körpereigene Synthese widerspiegeln (Erhard et al., 1999).

Für Kälber ist es wichtig, früh nach der Geburt über das Kolostrum ausreichend mit Antikörpern versorgt zu werden, um sich gegen Infektionserreger aus der Umgebung schützen zu können (Jochims et al., 1994). Schlechte Haltungs- und Fütterungsbedingungen können allerdings nicht mittels Kolostrumversorgung ausgeglichen werden (Donovan et al., 1998). Nur in den ersten 24 Lebensstunden ist es möglich, dass Makromoleküle und in dem Zuge aus dem Kolostrum stammende Immunglobuline aus dem Darm absorbiert werden und in den Blutkreislauf der Kälber gelangen, um eine passive Immunität zu vermitteln (Jaster, 2005).

Wenn höhere Mengen Kolostrum gefüttert wurden, konnten höhere Immunglobulinkonzentrationen im Serum festgestellt werden (Morin et al., 1997; Hammon und Blum, 1998; Kühne et al., 2000; Rauprich et al., 2000a). In Übereinstimmung erzielten Kälber in einer Untersuchung von Lack (2006) höhere mittlere IgG-Konzentrationen, wenn sie höhere Mengen hochwertiges Kolostrum erhielten – 24 Stunden post natum korrelierte die IgG-Konzentration im Serum der Kälber signifikant mit dem IgG-Gehalt im Kolostrum. Laut Khan et al. (2007a) hatten intensiv getränkte Kälber im Vergleich zu konventionell aufgezogenen Kälbern sogar drei Wochen lang höhere Immunglobulinwerte, die wahrscheinlich auf die hohen Milchaufnahmen und eine dadurch verbesserte Nährstoffzufuhr zurückzuführen waren. Demgegenüber konnten bei ad libitum getränkten Kälbern keine höheren IgG-Konzentrationen nachgewiesen werden, weder im Vergleich zu restriktiv getränkten Kälbern (Zaremba et al., 1982; Hammon et al., 2002) noch im Vergleich zu

Kälbern, die vier Liter Kolostrum zwei Stunden post partum mittels Schlundsonde erhielten (Collings et al., 2011).

Darüber hinaus ist die Art der Tränkeaufnahme entscheidend. Kälber, die zwei Stunden post natum drei Liter Kolostrum mittels Schlundsonde erhielten, wiesen im Vergleich zu Kälbern, die mit der Saugflasche gefüttert wurden, niedrigere Immunglobulinspiegel auf – vermutlich weil das Kolostrum zunächst in den Pansen statt in den Labmagen gelangte, weil der Schlundrinnenreflex ausblieb und dies zu einer verzögerten Resorption im Darm führte (Lack, 2006). Andererseits berichtet Heyn (2002), dass sich die IgG-Gehalte von Kälbern, die beim Muttertier verblieben oder mit Schlundsonde gefüttert wurden, kaum unterschieden und die Kälber ausreichend versorgt waren. Laut Besser et al. (1991) wiesen 61,4 % der Kälber, die nach der Geburt bei der Mutter verblieben, unzureichende IgG-Konzentrationen ( $< 10$  mg/ml) auf, vermutlich weil sie zu geringe Mengen Kolostrum aufnahmen. Im Gegensatz dazu waren laut Lipp (2005) 80 % der Kälber, die 48 Stunden bei der Mutter verblieben, ausreichend mit IgG versorgt – allerdings galten in ihrer Studie bereits 8 mg IgG/ml als ausreichend.

### **3.5. Gesamtprotein**

Der Gesamtproteingehalt im Blut steigt nach Kolostrumaufnahme in Folge der Absorption von Immunglobulinen (Egli und Blum, 1998; Kühne et al., 2000; Hammon et al., 2002; Nussbaum et al., 2002; Kaske et al., 2005). So berichten Egli und Blum (1998) von rasch ansteigenden Werten zwischen Lebenstag 0 und 1 bei muttergebunden aufgezogenen Kälbern, während anschließend bis Tag 84 die Gesamtproteinwerte stabil blieben. Aufgrund der engen Korrelation von Immunglobulinen und Gesamtprotein im Serum oder Plasma (Tyler et al., 1996; Werner, 2003), kann die Messung des Gesamtproteingehaltes zur Überprüfung der Immunglobulinversorgung unter Praxisbedingungen genutzt werden (Tyler et al., 1996; Tyler et al., 1999; Weaver et al., 2000; Werner, 2003; Mcguirk und Collins, 2004). Für gesunde Kälber im Alter von zwei bis neun Tagen gilt ein Gesamtproteinwert von  $\geq 5,2$  g/dl als Maß für eine erfolgreiche passive Immunisierung (Tyler et al., 1996). Diesem Wert entspricht wiederum ein Gehalt von 1000 mg/dl Immunglobulin G im Serum (Tyler et

al., 1996). In mehreren Untersuchungen konnte kein Einfluss des Aufzuchtkonzeptes auf den Gesamtproteinwert festgestellt werden, sei es ob die Kälber ad libitum mit Milch oder nur intensiver als üblich mit Milch oder Milchaustauscher aufgezogen wurden (Hammon et al., 2002; Quigley et al., 2006; Khan et al., 2007a; Khan et al., 2007b). Bei restriktiv und ad libitum aufgezogenen Kälbern stiegen die Gesamtproteinwerte bis Lebensstag 28 auf ähnliche Weise an (Hammon et al., 2002). Im Gegensatz dazu berichtet Maccari (2012) von höheren Gesamtproteinwerten ad libitum getränkter Kälber in der zweiten und dritten Lebenswoche verglichen mit den Werten konventionell aufzogener Kälber. Dieser Anstieg ist auf eine gesteigerte Proteinaufnahme zurückzuführen (Maccari, 2012). Ebenfalls spiegeln sich höhere Albuminwerte in höheren Gesamtproteinleveln wider (Rauprich et al., 2000a; Maccari, 2012), die wiederum darauf hinweisen, dass vermehrt Albumin in der Leber synthetisiert wird (Rauprich et al., 2000a). Bei älteren Kälbern spricht die Kombination von erhöhtem Gesamtprotein, Albumin und Harnstoff für eine höhere Rohprotein- und Trockensubstanzaufnahme (Khan et al., 2007b).

### **3.6. Gammaglutamyltransferase ( $\gamma$ -GT)**

Die Gammaglutamyltransferase ist ein membrangebundenes Enzym, das unter anderem in Leber, Niere, Pankreas, Darm und Gesäuge zu finden ist. Zu ihren Aufgaben zählt der transmembranöse Aminosäuretransport und Glutathionmetabolismus (Neumann, 2014). Erhöhungen im Blut sind beim Wiederkäuer auf Leberschäden zurückzuführen (Fürrl, 2014). Ebenfalls korreliert die Enzymaktivität mit Leberfett- und volumenzunahme (Fürrl, 2014). Die Messung der Aktivität der  $\gamma$ -GT im Blut neugeborener Kälber lässt zudem Rückschlüsse auf die Kolostrumversorgung zu (Braun et al., 1982; Hadorn und Blum, 1997; Parish et al., 1997; Hammon und Blum, 1998; Tyler et al., 1999; Werner, 2003). Neugeborene Kälber wiesen vor der Kolostrumaufnahme vernachlässigbar niedrige  $\gamma$ -GT Werte auf (Braun et al., 1982; Hadorn und Blum, 1997; Parish et al., 1997; Zanker et al., 2001). Mit Aufnahme der ersten Milch kommt es zu einem deutlichen Anstieg der  $\gamma$ -GT Aktivität im Blut der Kälber, weil dieses kolostrale Enzym absorbiert wird (Braun et al., 1982; Kurz und Willett,

1991; Baumrucker et al., 1994; Hadorn und Blum, 1997; Egli und Blum, 1998; Hammon und Blum, 1998; Zanker et al., 2001). Erstkolostrum weist einen hohen Gehalt an  $\gamma$ -GT auf (Braun et al., 1982; Zanker et al., 2001; Werner, 2003), wobei eine große individuelle Schwankungsbreite der Enzymaktivität im Kolostrum auffällt (Braun et al., 1982; Werner, 2003). Braun et al. (1982) berichten von Werten im Bereich von 2900 bis 27200 U/l. Mit steigender Anzahl der Melkungen, also mit dem Übergang von Kolostrum zur Milch, nimmt der Gehalt der  $\gamma$ -GT deutlich ab (Braun et al., 1982; Hadorn und Blum, 1997; Zanker et al., 2001), daher reduziert sich die Absorption der kolostralen  $\gamma$ -GT, wenn die Tränke nach der Geburt erst verzögert stattfindet (Hadorn und Blum, 1997). Zudem ist die Fähigkeit zur Absorption des Enzyms auf ein bestimmtes Zeitfenster beschränkt (Baumrucker et al., 1994; Zanker et al., 2001). Zanker et al. (2001) konnten im Rahmen ihrer Untersuchungen zeigen, dass die Fähigkeit zur Absorption zwischen sechster und zwölfter Lebensstunde reduziert wird. Parish et al. (1997) empfiehlt die Messung zur Überprüfung der Kolostrumversorgung nur für Kälber bis zu einem Alter von zehn Lebenstagen und gibt verschiedene Schwellenwerte an: Am ersten Lebenstag sprechen Werte  $> 200$  U/l, am vierten Lebenstag  $> 100$  U/l und im Alter von einer Woche  $> 75$  U/l für eine erfolgte passive Immunisierung. Wenn in den ersten beiden Lebenswochen ein Wert  $< 50$  U/l gemessen wird, geht man von einem FPT aus (Parish et al., 1997; Tyler et al., 1999). Es ist bekannt, dass die zunächst hohen  $\gamma$ -GT Werte nach Kolostrumaufnahme schnell wieder ein niedriges Level erreichen (Hadorn und Blum, 1997; Werner, 2003). Deshalb geben Hadorn und Blum (1997) zu Bedenken, diesen Parameter nur für die ersten beiden Lebenstage zur Überprüfung des Kolostrummanagements heranzuziehen und die Messung von IgG bis Tag 7 zu bevorzugen. Werner (2003) hingegen sieht die  $\gamma$ -GT in der ersten Lebenswoche zwar als brauchbar an, zumindest um eine Aussage darüber zu treffen, ob eine Kolostrumaufnahme stattgefunden hat oder nicht (qualitativer Nachweis), aber bezeichnet die Gesamtproteinmessung als besser geeignete Methode. Laut Werner (2003) gilt es zu berücksichtigen, dass aufgrund der hohen Varianz der Werte im Kolostrum niedrige Blutwerte der Kälber nicht zwingend eine Unterversorgung bedeuten müssen. Während in der Untersuchung von

Weingand (2015) die  $\gamma$ -GT Konzentrationen signifikant mit den gemessenen Immunglobulinwerten korrelierten, konnte Lack (2006) keine Rückschlüsse von  $\gamma$ -GT Werten auf die tatsächliche Immunglobulinkonzentration im Serum ziehen. Wilson et al. (1999) bewertet die Messung der Enzymaktivität kritisch, da er in seiner Untersuchung kaum einen Zusammenhang zwischen passiver Immunisierung und der Aktivität der  $\gamma$ -GT herstellen kann.

### **3.7. Laktatdehydrogenase (LDH)**

Die Laktatdehydrogenase ist ein Muskelenzym, das neben der Kreatinkinase und Aspartataminotransferase zur Diagnose von Myopathien herangezogen werden kann (Bauer und Neumann, 2014). Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass die LDH nicht rein muskelspezifisch ist und es somit ebenfalls infolge von Hämolyse und Hepatopathien zu erhöhten Messwerten kommt (Bauer und Neumann, 2014). Beim Wiederkäuer zeigt eine Aktivitätssteigerung dieses Enzyms sensible Störungen im Körper an ohne diese exakter zu lokalisieren (Fürrl, 2014). Steigende Werte werden bei Kälbern im Zusammenhang mit Durchfall oder Störungen des Leberstoffwechsels gesehen (Khan et al., 2007b; Khan et al., 2007c). Ferner ist LDH im Kolostrum enthalten und es wird im Kolostrum eine höhere Aktivität gemessen, als es in der Milch der darauffolgenden Melkungen (Milch wurde bis zur sechsten Melkung untersucht) oder in Milchaustauscher der Fall ist (Hammon und Blum, 1998). Hammon und Blum (1998) gehen davon aus, dass dieses kolostrale Enzym absorbiert wird. So kommt es bei Kälbern nach der Kolostrumaufnahme am ersten Lebenstag zu einer stärkeren Aktivitätssteigerung der LDH im Blut, als bei Kälbern, die Milchaustauscher erhielten (Hammon und Blum, 1998). Kurz und Willett (1991) hingegen beziehen den beobachteten Anstieg weniger auf die Kolostrumaufnahme, denn bereits davor wurden steigende Werte gemessen. Unabhängig davon, ob Kolostrum in der ersten oder zwölften Lebensstunde aufgenommen wurde, stieg die Enzymaktivität innerhalb der ersten 24 Lebensstunden an – allerdings wurde anschließend ein Aktivitätsabfall nur in der Gruppe festgestellt, die zeitnah mit Biestmilch versorgt wurde (Kurz und Willett, 1991). Bei Kälbern in muttergebundener

Aufzucht wird ein zweimaliger Anstieg der mittleren Enzymaktivität beschrieben, zunächst zwischen Tag null und sieben, weiterhin von Tag 28 bis Tag 84 (Egli und Blum, 1998). Übereinstimmend berichten Khan et al. (2007b) von steigenden Konzentrationen mit zunehmendem Alter. Bei intensiv und konventionell mit Milch aufgezogenen Kälbern lag die Enzymaktivität im Normalbereich (obwohl in der dritten und vierten Lebenswoche vermehrt Durchfall bei konventionell aufgezogenen Kälbern auftrat) und es konnte kein Unterschied hinsichtlich der Enzymaktivität bei diesen beiden Aufzucht Konzepten festgestellt werden (Khan et al., 2007b).

### **3.8. Glutamatdehydrogenase (GLDH)**

Bei der Glutamatdehydrogenase handelt es sich um ein leberspezifisches Enzym, das hauptsächlich im zentrolobulären Bereich der Hepatozyten, insbesondere in den Mitochondrien aktiv ist (Neumann, 2014). GLDH katalysiert die Abspaltung einer Aminogruppe von Glutamat (Neumann, 2014). Dabei entsteht unter anderem Ammoniak, der wiederum für den Harnstoffzyklus zur Verfügung steht (Neumann, 2014). Erhöhte Enzymaktivitäten sind Anzeichen für Leberschäden, wobei Werte > 1000 U/l mit einer ungünstigen Prognose einhergehen. Ebenfalls steigt die Enzymaktivität bei erhöhter Stoffwechselaktivität und intensivem Harnstoffumsatz (Fürrl, 2014). Für adulte Rinder liegt die obere Kontrollgrenze bei 30 IU/l und die obere Toleranzgrenze bei 41 IU/l (Fürrl, 2014). Laut einer Untersuchung von Hammon und Blum (1998) sind die gemessenen GLDH Aktivitäten im Kolostrum höher als die ermittelten Werte in der Milch der sechsten Melkung und Milchaustauscher, die zum Vergleich untersucht wurden. Dementsprechend stieg am ersten Lebenstag bei Kälbern nach Kolostrumaufnahme die Enzymaktivität an (Hammon und Blum, 1998). Bei Kälbern, die Milchaustauscher erhielten, blieb der beobachtete Anstieg aus (Hammon und Blum, 1998). Dies führt zu der Annahme, dass dieses kolostrale Enzym - wie auch LDH und  $\gamma$ -GT – absorbiert wird (Hammon und Blum, 1998). Weingand (2015) berichtet ebenfalls von steigenden GLDH Aktivitäten nachdem Kolostrum aufgenommen wurde. Weiterhin wurde in einer Untersuchung von Lack (2006) die Aktivität der leberspezifischen GLDH ermittelt, um auszuschließen, dass eine erhöhte Aktivität der  $\gamma$ -GT möglicherweise

pathologischen Ursprungs ist. Dabei lag für das Gesamtkollektiv keine statistische Korrelation zwischen der GLDH und  $\gamma$ -GT Aktivität vor (Lack, 2006). Im Prinzip wurde somit nachgewiesen, dass die  $\gamma$ -GT nicht durch den Leberstoffwechsel beeinflusst wurde (Lack, 2006). Bei durchfallerkrankten Kälbern wurde keine Abweichung der GLDH Aktivität vom Normbereich festgestellt (Lack, 2006). Weingand (2015) beschreibt in ihrer Studie signifikant höhere mittlere GLDH-Konzentrationen bei männlichen als bei weiblichen Kälbern.

### **3.9. Harnstoff**

Harnstoff wird im Rahmen des Harnstoffzyklus in der Leber aus Ammoniak gebildet und über die Nieren ausgeschieden. Wenn körpereigene Proteine abgebaut werden und proteinreiche Nahrung aufgenommen wird, entsteht Harnstoff. Deshalb gilt dieser Blutparameter als fütterungsabhängig (Moritz et al., 2014b). Die Toleranzgrenzen dieses Stoffwechselfparameters liegen bei Kälbern zwischen 2,6 und 6,6 mmol/l. Bei Energiemangel im Futter, Kreislaufstörungen und Erkrankungen der Niere, liegt dieser Parameter in erhöhten Konzentrationen vor. Andererseits führten ein Proteinmangel im Futter, chronische Krankheiten und reduzierte Futteraufnahme zu erniedrigten Werten (Fürrl, 2014). Bei einigen Studien, vor allem in englischsprachiger Literatur, werden Harnstoffwerte als Harnstoff-Stickstoff-Werte (englisch: BUN=blood urea nitrogen; deutsch: Harnstoff-N) aufgeführt, lassen sich mit entsprechender Formel aber jeweils ineinander umrechnen:  $\text{Harnstoff-N (mg/dl)} \times 2,14 = \text{Harnstoff (mg/dl)}$ ;  $\text{Harnstoff (mg/dl)} \times 0,46 = \text{Harnstoff-N (mg/dl)}$  (Moritz et al., 2014b). In den ersten zwei bis drei Lebenstagen werden relativ hohe Harnstoffwerte erreicht, die die hohe Proteinaufnahme nach Kolostrumversorgung widerspiegeln (Kühne et al., 2000; Hammon et al., 2002; Nussbaum et al., 2002). Ab dem siebten Lebenstag gab es Hinweise für eine gesteigerte Proteinsynthese, denn es wurden abnehmende Harnstoffwerte und gleichzeitig zunehmende Albuminwerte beobachtet (Rauprich et al., 2000a; Nussbaum et al., 2002). Ferner heißt es, dass die Harnstoff-Stickstoff-Werte mit zunehmendem Lebensalter der Kälber steigen (Khan et al., 2007a; Khan et al., 2007b). Maccari (2012) stellt einen Einfluss der Fütterungsintensität auf den Harnstoffspiegel fest

und kann in den ersten drei Lebenswochen höhere Werte bei den ad libitum getränkten Kälbern im Vergleich zur restriktiv getränkten Gruppe feststellen. Möglicherweise war die gesteigerte Proteinaufnahme, Proteinverdauung und Desaminierung der Aminosäuren die Ursache (Hammon et al., 2002; Maccari, 2012). Überraschenderweise gibt es Untersuchungen, die keinen Einfluss der Fütterungsintensität auf den Harnstoffspiegel feststellen konnten, sei es ob die Kälber im Rahmen der ad libitum Tränke mehr Protein aufnahmen als Kälber, die restriktiv mit Milch aufgezogen wurden (Hammon et al., 2002) oder unterschiedlich hohe Mengen Milchaustauscher getränkt wurden (Smith et al., 2002; Terré et al., 2006). Darüber hinaus wird in der Literatur ein höherer Harnstoffspiegel in der Zeit vor dem Absetzen bei konventionell aufgezogenen Tieren als bei intensiv gefütterten Tieren beschrieben (Cowles et al., 2006; Terré et al., 2009). Mögliche Ursachen für die niedrigeren Harnstoffwerte der intensiv getränkten Tiere sind ein geringerer Abbau körpereigener Proteine, eine im Verhältnis zur Proteinaufnahme höhere Proteinsynthese oder auch geringere Kraftfutteraufnahmen als es bei den konventionell aufgezogenen Tieren der Fall war (Cowles et al., 2006). Laut Cowles et al. (2006) kann die Messung von Harnstoff ebenfalls Rückschlüsse auf die Pansenentwicklung zulassen, weil dieser Parameter indirekt mit der Ammoniakentstehung im Pansen im Zusammenhang steht. Dieser Effekt des steigenden Harnstoffspiegels wurde häufiger nach dem Abtränken beobachtet, war der Proteinverdauung im Pansen geschuldet (Quigley und Bernard, 1992; Quigley et al., 2006; Khan et al., 2007a; Khan et al., 2007b) und wiederum auf eine vermehrte Festfutteraufnahme zurückzuführen (Quigley und Bernard, 1992; Khan et al., 2007a; Khan et al., 2007b). Interessanterweise wiesen dabei Kälber, die zuvor intensiv mit Milch aufgezogen wurden signifikant höhere Harnstoffwerte auf als die konventionell gefütterten Tiere (Khan et al., 2007a; Khan et al., 2007b). Weil Nierenerkrankungen zu erhöhten Harnstoffwerten führen, wurde in einigen Untersuchungen durch gleichzeitige Messung des Parameters Kreatinin eine Erkrankung als Ursache ausgeschlossen (Hadorn et al., 1997; Rauprich et al., 2000a; Rauprich et al., 2000b; Khan et al., 2007b). Die Kombination aus Dehydratation, verringerter renaler Elimination und

kataboler Stoffwechsellage bei akut an Durchfall erkrankten Kälbern führt ebenfalls zu einer Erhöhung des Harnstoffspiegels (Klee, 1985). In einer Untersuchung von Kaufhold et al. (2000) wurden Kälber entweder zweimal täglich mit dem Eimer gefüttert oder erhielten die identische Tränkemenge auf sechs Mahlzeiten verteilt mittels Tränkeautomat. So konnte gezeigt werden, dass die Fütterungsfrequenz Einfluss auf den Harnstoffspiegel nimmt. Die Gruppe, die mittels Eimer versorgt wurde, hatte signifikant höhere Harnstoffwerte – vermutlich aufgrund gesteigertem Proteinabbau und geringerer Proteinsynthese – während die Kälber, die mittels Automat getränkt wurden, eine verstärkt anabole Stoffwechsellage aufwiesen. Im Gegensatz dazu konnte Nussbaum et al. (2002) trotz unterschiedlicher Fütterungsfrequenz keine Unterschiede zwischen den Gruppen feststellen.

### **3.10. Glukose**

Bei Energiemangel im Futter oder reduzierter Nahrungsaufnahme infolge Erkrankungen liegen erniedrigte Glukosewerte vor. Eine Endotoxämie oder starke Belastungen wie beispielsweise Transporte verursachen erhöhte Glukosewerte. Die Toleranzgrenzen für diesen Stoffwechselfparameter liegen für Kälber zwischen 3,9 und 4,8 mmol/l (Fürrl, 2014).

In den ersten Lebenswochen stiegen bei Kälbern die Glukosewerte an (Smith et al., 2002; Khan et al., 2007b). Mit zunehmendem Alter reduzierten sich die Werte (Quigley et al., 1991; Smith et al., 2002; Khan et al., 2007a; Khan et al., 2007b). Khan et al. (2007b) machte für die abnehmenden Glukosewerte die veränderte Energiequelle verantwortlich und stützte sich dabei auf eine Untersuchung von Baldwin et al. (2004): Bei jungen Wiederkäuern, die Milch aufnehmen, wird die Energie aus dem Darm resorbiert, genauer gesagt Glukose, langkettige Fettsäuren und Aminosäuren aus der Milch, später aber mit dem Übergang zum Wiederkäuer gelten kurzkettige Fettsäuren, Ketone und Aminosäuren, die im Rahmen mikrobieller Prozesse entstanden sind oder aus dem Futter stammen, als Energiequelle (Baldwin et al., 2004). Deshalb wiesen Kälber, deren Verdauungssystem anfangs im Wesentlichen dem eines Monogastriers gleicht, hohe Glukosewerte auf (Daniels et al., 2008), die

laut Quigley et al. (1991) in der ersten Lebenswoche bei 114,5 mg/dl lagen. Mit der Aufnahme von Krafffutter wird die Pansenentwicklung gefördert, die Tiere werden zum Wiederkäuer und weisen niedrigere Glukosewerte auf (Khan et al., 2007a; Khan et al., 2007b; Daniels et al., 2008; Silper et al., 2014). Wenn die Glukosewerte zum Zeitpunkt des Absetzens und im Anschluss ans Absetzen bei Kälbern verglichen wurden, die entweder intensiv oder konventionell (20% des Körpergewichts versus 10 % des Körpergewichts) mit Milch aufgezogen wurden, wurden signifikant niedrigere Glukosewerte bei den zuvor intensiv aufgezogenen Kälbern festgestellt (Khan et al., 2007a; Khan et al., 2007b). Diese niedrigeren Glukosewerte wurden auf eine erhöhte Festfutteraufnahme zurückgeführt (Khan et al., 2007a; Khan et al., 2007b). Gleichzeitig höhere BHB und Harnstoffkonzentrationen der ehemals intensiv getränkten Tiere sprechen ebenfalls für eine verstärkte Pansenfermentation und die Abhängigkeit von einer neuen Energiequelle (Khan et al., 2007a).

In einer Studie von Egli und Blum (1998) wurde der Verlauf der Glukosewerte von dem ersten bis zum 84. Lebenstag bei Kälbern untersucht, die muttergebunden aufgezogen wurden und somit ad libitum Zugang zu Milch hatten. Am ersten Lebenstag wiesen diese Kälber niedrige Glukosewerte auf, nach der ersten Tränkeaufnahme stieg die Glukosekonzentration rasch an, wie es auch in anderen Studien der Fall war (Egli und Blum, 1998; Hammon und Blum, 1998; Rauprich et al., 2000a; Hammon et al., 2002) und blieb bis Versuchsende stabil (Egli und Blum, 1998). Diese Stabilität ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Kälber über den Tag verteilt häufiger kleine Mengen aufnahmen und nicht so intensiv wie Mastkälber gefüttert wurden (Egli und Blum, 1998). Diese Ansicht deckt sich mit den Ergebnissen einer Untersuchung von Kaufhold et al. (2000). Laut dieser Untersuchung wirkte sich eine Fütterung mit Tränkeautomaten vorteilhaft aus, weil den Kälbern ermöglicht wurde ihre Tränkemenge auf mehrere Mahlzeiten verteilt über den Tag aufzunehmen. Im Gegensatz zu den Kälbern, die die gleiche Tränkemenge zweimal täglich mittels Eimer erhielten, entwickelten die Kälber, die mit Tränkeautomat gefüttert wurden, keine deutliche

Hyperglykämie und geringe Mengen Insulin reichten aus, um physiologische Blutzuckerspiegel zu erreichen. In mehreren Untersuchungen, in denen Kälbern ad libitum Milch zur Verfügung stand, wurde trotz hoher Fütterungsintensität die Glukosehomöostase aufrechterhalten (Egli und Blum, 1998; Hammon et al., 2002; Maccari, 2012). Im Gegensatz dazu wird bei intensiverer Fütterung mit Milchaustauscher von erhöhten Glukosewerten berichtet (Smith et al., 2002; Quigley et al., 2006; Terré et al., 2009). Laut Terré et al. (2009) ist die Glukosekonzentration allerdings nur in dem Zeitraum vor dem Absetzen erhöht und später kein Unterschied mehr zwischen konventionell und intensiv aufgezogenen Kälbern festzustellen. Die wöchentlich erfassten Glukosewerte spiegeln Veränderungen in der Fütterung wider (Quigley et al., 1991; Quigley et al., 2006), denn infolge der Reduktion der Milchaustauschermenge, sanken die Glukosewerte (Quigley et al., 2006). Darüber hinaus gibt es Studien, in denen Mastkälber im Rahmen ihrer intensiven Fütterung eine Hyperglykämie, Insulinresistenz und Glukosurie entwickelten (Hostettler-Allen et al., 1994; Hugi et al., 1997). Die Mastkälber wurden mit einer geringen Fütterungsfrequenz (zweimal täglich) mit Milchaustauscher gemästet, mit dem Ziel tägliche Zunahmen von 1,3 bis 1,4 kg zu erreichen, entwickelten in der Folge postprandiale Glukosekonzentrationen von mehr als 1,4 bis 1,6 g/L und schieden daraufhin Glukose über den Urin aus (Hostettler-Allen et al., 1994).

### **3.11. NEFA (non-esterfied-fatty-acids)**

Bei Energiemangel im Futter, wenn die Futteraufnahme reduziert ist oder auch in Stresssituationen steigt die Konzentration der freien Fettsäuren infolge Lipolyse an (Fürri, 2014).

Bei der Geburt wiesen Kälber zunächst hohe NEFA-Konzentrationen auf (Egli und Blum, 1998; Hammon et al., 2002; Nussbaum et al., 2002), die infolge der Futteraufnahme abnahmen (Hadorn et al., 1997; Hammon und Blum, 1998; Rauprich et al., 2000a; Nussbaum et al., 2002). Bei muttergebunden aufgezogenen Kälbern nahm die NEFA-Konzentration bis zum 14. Lebenstag ab und verblieb anschließend bis zum Versuchsende am 84. Lebenstag auf einem niedrigen Level (Egli und Blum, 1998).

Aufgrund der niedrigen Werte kann man davon ausgehen, dass Saugkälber ausreichend mit Energie versorgt waren und kein Fett mobilisiert werden musste (Egli und Blum, 1998). In einer Untersuchung von Hammon et al. (2002) wiesen restriktiv getränkten Kälber im Vergleich zu Kälbern einer ad libitum getränkten Gruppe höhere Werte auf. Dies deutet darauf hin, dass bei geringer Fütterungsintensität verstärkt Fett mobilisiert werden muss. Dagegen konnte Maccari (2012) zwischen restriktiv und ad libitum getränkten Kälbern keine Unterschiede feststellen, so dass sich durch die restriktive Fütterung keine katabole Stoffwechsellage zu entwickeln schien. Einige Studien berichten von abnehmenden NEFA-Konzentrationen mit zunehmendem Alter (Hammon et al., 2002; Quigley et al., 2006; Kmicikewycz et al., 2013). Des Weiteren wird berichtet, dass die Fütterungsfrequenz Einfluss auf diesen Blutparameter nimmt (Nussbaum et al., 2002; Stanley et al., 2002). Jerseykälber, die nur einmal täglich gefüttert wurden, wiesen im Vergleich zu den zweimal täglich gefütterten Kälbern vor der Fütterung erhöhte NEFA-Konzentrationen auf, weil sie auf körpereigene Reserven zurückgreifen mussten (Stanley et al., 2002). Ebenfalls waren bei Kälbern, die konventionell mit Milch aufgezogen wurden, im Gegensatz zu intensiv gefütterten Kälbern, präprandial erhöhte NEFA-Konzentrationen festzustellen, vermutlich aufgrund gesteigerter Lipolyse, um dem Energiebedarf gerecht zu werden (Khan et al., 2007a). Die präprandial erhöhten NEFA-Werte zeigen, dass Kälber in den ersten Lebenswochen stark von Milch bzw. Milchaustauscher abhängig sind, um ihren Energiebedarf zu decken (Stanley et al., 2002; Khan et al., 2007a). Bei Kälbern, die nur zweimal täglich gefüttert werden, stieg sechs Stunden nach Futteraufnahme die NEFA-Konzentration an, weil nicht mehr ausreichend Energie zur Verfügung stand, während bei den Kälbern, die mehrere kleine Mahlzeiten über den Tag verteilt am Tränkeautomaten aufnahmen, die NEFA-Konzentration kontinuierlich sank (Nussbaum et al., 2002). Im Rahmen des Abtränkens, wenn die Milchfütterung von zweimal täglich auf einmal täglich reduziert wurde, stieg bei zuvor intensiver getränkten Kälbern die NEFA-Konzentration an, scheinbar weil in der Folge Energiereserven mobilisiert wurden (Terré et al., 2009). Bei konventionell getränkten Kälbern blieb dieser Anstieg aus. Die

Gruppenunterschiede gingen nach dem Abtränken verloren (Terré et al., 2009). Im Gegensatz dazu wiesen in einer Untersuchung von Khan et al. (2007a) Kälber, die zuvor konventionell aufgezogen wurden, beim Übergang zu Festfutter höhere NEFA-Werte auf als zuvor intensiv getränkte Kälber, weil diese Phase bei den restriktiv getränkten Kälbern scheinbar mit mehr Stress verbunden war und daher verstärkt Fett mobilisiert wurde.

### 3.12. Eisen

Eisen ist ein lebensnotwendiges Spurenelement. Spurenelemente sind Elemente, die nur in geringeren mittleren Konzentrationen auftreten und einen Wert von 50 mg/ml im Körper unterschreiten. Für Kälber und Jungrinder liegen die Toleranzgrenzen für diesen Parameter zwischen 14,5 und 25  $\mu\text{mol/l}$  (Fürri, 2014). Eisen ist nicht nur Bestandteil von Hämoglobin und Myoglobin, sondern auch von einigen Enzymen unter anderem von der Cytochrom-Oxidase, Katalase und Peroxidase (Nrc, 2001). Eisen ist essentiell, um den Sauerstofftransport zu gewährleisten und für eine Sauerstoffsättigung im Gewebe zu sorgen (Bostedt et al., 2000). Eine unzureichende Sauerstoffsättigung des Gewebes wirkt sich negativ auf unspezifische Abwehrmechanismen aus (Bostedt et al., 1990).

Vitale Kälber wiesen im Schnitt bei der Geburt einen Eisenplasmawert von  $27,7 \pm 9,6 \mu\text{mol/l}$  (entspricht  $154,7 \pm 53,6 \mu\text{g/dl}$ ) auf, der aber direkt im Anschluss deutlich abfällt und bis zum vierten Lebenstag einen Wert von  $18,0 \pm 3,0 \mu\text{mol/l}$  erreicht (Bostedt et al., 1990). Allerdings wurden bei rund 20 % der Kälber bereits zum Geburtszeitpunkt Eisenplasmakonzentrationen im präanämischen Bereich ( $< 18 \mu\text{mol/l}$ ) ermittelt (Bostedt et al., 1990; Bostedt et al., 2000). Weiterhin verursacht die Tränkeaufnahme eine Hydrämie, wodurch der Eisenwert reduziert wird und zeitgleich werden abnehmende Hämoglobinwerte beobachtet. Dieser Zustand wird als „larvierte Anämie“ bezeichnet. Gleichzeitig besteht aufgrund des enormen Wachstums der Tiere ein hoher Eisenbedarf, der über eisenarme Kuhmilch nicht gedeckt werden kann (Bostedt et al., 1990; Staufenbiel, 2006). Um den Eisenbedarf zu decken, müssen Kälber 70-100 mg Eisen/kg Futtertrockenmasse aufnehmen, Kuhmilch enthält allerdings nur 3-5 mg Eisen/kg Trockenmasse (Staufenbiel, 2006).

In einer Untersuchung von Egli und Blum (1998) sinkt bei muttergebunden aufgezogenen Kälbern, die sozusagen ad libitum Zugang zu Milch haben, die Eisenkonzentration von Geburt bis zum 28. Lebenstag ab, anschließend werden steigende Werte bis zum Versuchsende am 84. Lebenstag beobachtet. Bei weiblichen Aufzuchtälbern werden ebenfalls ab der vierten Lebenswoche steigende Eisenkonzentrationen beschrieben, die auf hohe Eisenaufnahmen über die Nahrung zurückzuführen sind (Hugi und Blum, 1997). Die Kälber scheinen genügend Eisen über Festfutter aufzunehmen und zeigen aufgrund der hohen Eisenkonzentrationen im Plasma steigende Hämoglobinkonzentrationen (Hugi und Blum, 1997; Egli und Blum, 1998). Deutlich anders verliefen die Eisenwerte in einer Untersuchung von Gyax et al. (1993), in der männliche Kälber mit Milchaustauscher gemästet wurden, der entweder 10 oder 50 mg Eisen/kg enthielt. In der Gruppe, die den eisenreicheren Milchaustauscher erhielt, verblieben die Eisenkonzentrationen auf einem basalen Level, während die Konzentrationen in der eisenarm getränkten Gruppe über Wochen hinweg abnahmen. Das Immunsystem der eisenarm gefütterten Gruppe war beeinträchtigt und die Kälber erkrankten häufiger. Nährstoffe wurden verstärkt für Immunantworten statt für Wachstumsprozesse benötigt, was sich wiederum in niedrigeren Zuwachsraten widerspiegelte (Gyax et al., 1993). Hämoglobin, Hämatokrit und Erythrozyten nahmen infolge eisenarmer Ernährung kontinuierlich ab und die Kälber entwickelten infolge niedriger Eisenwerte, die nicht für die Erythropoese ausreichten, eine mikrozytäre, hypochrome Anämie und zeigten in der Folge reduzierte Futteraufnahmen und geringe Gewichtszunahmen (Ceppi und Blum, 1994).

### **3.13. Rotes Blutbild**

Hämatologische Befunde verändern sich mit zunehmendem Alter der Kälber (Egli und Blum, 1998; Knowles et al., 2000; Brun-Hansen et al., 2006; Mohri et al., 2007). Laut Moritz et al. (2014a) ist bei der Interpretation der Befunde zu berücksichtigen, dass adulte Tiere eine höhere Erythrozytenanzahl und daher ebenfalls höhere Hämoglobinwerte besitzen als Jungtiere. Die Werte der Jungtiere nähern sich bis zum

sechsten Lebensmonat an die Werte erwachsener Tiere an (Moritz et al., 2014a). Im Gegensatz dazu beschreibt Weingand (2015) für neugeborene Fleckviehkälber deutlich höhere Werte im roten Blutbild als für adulte Kühe. Ebenso ermittelt Brun-Hansen et al. (2006) in den ersten sechs Lebensmonaten eine im Vergleich zu adulten Rindern höhere Erythrozytenanzahl für Kälber, die sich in einem Bereich von  $8,3$  bis  $9,9 \times 10^{12}/l$  bewegt. Innerhalb der ersten Lebenswochen fällt der Hämatokrit ab und erreicht schließlich Werte adulter Rinder (Brun-Hansen et al., 2006). Die Hämoglobinkonzentration unterschied sich im Laufe der Studie nicht von den Werten für adulte Tiere und unterlag kaum Schwankungen (Brun-Hansen et al., 2006). Laut Gründer (2006) wiesen Kälber jedoch Veränderungen beim Verlauf des Hämoglobingehaltes auf: Zum Geburtszeitpunkt wurde ein Hämoglobinwert von  $110$  g/l ermittelt, dieser reduzierte sich allerdings im Rahmen der Milchtränke auf  $80$  g/l zwischen erstem und zweitem Lebensmonat und steigende Werte wurden erst beobachtet, wenn vermehrt Festfutter aufgenommen wurde. Es ist auffällig, dass das mittlere Volumen der Erythrozyten (MCV) über Wochen abnimmt (Tennant et al., 1974; Egli und Blum, 1998; Brun-Hansen et al., 2006; Mohri et al., 2007; Satler, 2011). Diese Abnahme spiegelt den Austausch der fetalen Erythrozytenpopulation durch adulte kleinere Erythrozyten wider (Egli und Blum, 1998; Brun-Hansen et al., 2006; Mohri et al., 2007). Der mittlere Hämoglobingehalt der Erythrozyten (MCHC) erwies sich in der Studie von Brun-Hansen et al. (2006) in den ersten fünf Lebenswochen als stabil, bevor er anstieg und im Alter von zehn bis zwölf Wochen Werte adulter Tiere erreichte, die mit der Reifung des Hämoglobins in Verbindung gebracht wurden. Bei muttergebunden aufgezogenen Kälbern unterlag der MCHC leichten Schwankungen, fiel aber nie unter den Wert des ersten Lebenstags (Egli und Blum, 1998). Der mittlere Hämoglobingehalt der Einzelerythrozyten (MCH) nahm bis zum 42. Lebenstag ab (Egli und Blum, 1998; Mohri et al., 2007). Daraufhin blieb der MCH in der Untersuchung von Egli und Blum (1998) stabil, während er laut Mohri et al. (2007) bis zum 84. Lebenstag anstieg. Es ist zu berücksichtigen, dass die Erythrozytenindizes (MCHC, MCH, MCV) unter Verwendung von Erythrozytenzahl, Hämatokrit und Hämoglobin berechnete Größen darstellen (Moritz et al., 2014a).

Der Hämatokrit nahm bei Kälbern im Laufe des ersten Lebensmonats ab (Egli und Blum, 1998; Rauprich et al., 2000a; Hammon et al., 2002; Nussbaum et al., 2002; Mohri et al., 2007) und anschließend stieg er bis Tag 84 leicht an (Egli und Blum, 1998; Mohri et al., 2007). Die Abnahme des Hämatokrits im ersten Lebensmonat wird durch Hämodilution infolge der Futteraufnahme verursacht (Rauprich et al., 2000a; Hammon et al., 2002; Nussbaum et al., 2002) und scheint teilweise durch die regelmäßigen Blutabnahmen bedingt zu sein (Rauprich et al., 2000a; Nussbaum et al., 2002). Laut Hammon et al. (2002) unterschied sich der Hämatokrit ad libitum und konventionell getränkter Kälber im ersten Lebensmonat nicht signifikant.

Bei an Durchfall erkrankten Kälbern kommt es infolge Dehydratation zu einem Anstieg des Hämatokrits (Klee et al., 1979; Maach et al., 1992; Kaske und Kunz, 2003).

### III. TIERE, MATERIAL UND METHODEN

Die Studie wurde auf der Versuchsstation der bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Grub durchgeführt. Die Untersuchungen liefen von Oktober 2014 bis Oktober 2015. Gleichzeitig wurde in einer gesonderten Arbeit der Einfluss einer ad libitum Tränke auf Verhaltensparameter untersucht (Kürn, 2017).

#### 1. Genehmigung des Tierversuchsvorhabens

Das Tierversuchsvorhaben wurde nach § 8 Abs. 1 des Tierschutzgesetzes bei der Regierung von Oberbayern beantragt und am 07.07.2014 genehmigt. Der Versuch lief unter dem Aktenzeichen 55.2-1-55-2532-66-14. Dieses Projekt wurde durch das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten finanziell gefördert.

#### 2. Versuchstiere und Gruppeneinteilung

Insgesamt wurden 97 Kälber der Rasse Fleckvieh aus betriebseigener Nachzucht in die Studie eingeschlossen, darunter 46 Bullen- und 51 Kuhkälber. Allerdings schieden im Laufe des Versuches acht Kälber vorzeitig aus (Tabelle 1). Eine Übersicht über die Verteilung des Geschlechts und die Anzahl der ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälber ist in der Tabelle 2 dargestellt.

**Tabelle 1: Übersicht über frühzeitig aus dem Versuch ausgeschiedene Kälber**

Tiernummer	Gruppe	Geschlecht	Versuchstag	Grund
20871	ADL	weiblich	9	Verweigerung der Milchaufnahme
20879	ADL	männlich	36	Pansentrinker
80872	ADL	männlich	19	Pansentrinker
80863	RES	weiblich	20	Schlechtes Allgemeinbefinden
80889	RES	weiblich	6	Verweigerung der Milchaufnahme
80893	RES	weiblich	28	Euthanasie
80883	RES	männlich	19	Exitus
80932	RES	männlich	35	Pansentrinker

**Tabelle 2: Übersicht über die Verteilung des Geschlechts und die Anzahl der ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälber**

	ADL	RES	Summe
Bullenkalb	22	20	42
Kuhkalb	24	23	47
Summe	46	43	89

Es wurden zwei Studiengruppen gebildet. Die Kontrollgruppe wurde restriktiv (RES) und die Versuchsgruppe ad libitum (ADL) getränkt. In jede Studiengruppe wurden nacheinander 12 Tieren eingeschlossen, um zu große Altersunterschiede zu vermeiden und damit die Gefahr der gegenseitigen Infektionsübertragungen zu minimieren. Die Versuchsdauer betrug bei männlichen Tieren acht Wochen, bei weiblichen Tieren vier Monate.

### **3. Haltung**

Die Geburt erfolgte in mit Stroh eingestreuten Abkalbebuchten. Anschließend wurden Kuh und Kalb getrennt und die Kälber wurden für die ersten 14 Lebenstage in mit Stroh eingestreuten Einzelboxen (120 x 100 x 100 cm) untergebracht. Daraufhin wurden die Kälber in Tiefstreubuchten umgestallt, in denen sie bis Versuchsende verblieben. Auf einer Fläche von 41 m<sup>2</sup> stand bei einer Gruppengröße von 12 Tieren, jedem Kalb eine Fläche von 3,4 m<sup>2</sup> zur Verfügung. Die Tiefstreubuchten und Einzelboxen befanden sich in zwei Außenklimaställen mit Pultdach. Nach dem Entmisten reinigte das Stallpersonal die beiden Haltungssysteme mittels Hochdruckreiniger, desinfizierte diese (VENNO VET 1, MENNO CHEMIE-VERTRIEB GmbH, Norderstedt, Deutschland) und ließ sie vor der Einstellung neuer Tiere einige Tage leer stehen.

### **4. Fütterung und Management**

#### **4.1. Ergänzungsfuttermittel, Selen und Eisen**

Am ersten Lebenstag erhielten alle Kälber ein Ergänzungsfuttermittel (Paligo, Vétoquinol GmbH, Ravensburg, Deutschland; 14 g), das neben Spurenelementen auch Vitamine und Provitamine enthält, und 2 ml Selen (Chevivit E-Selen/K Liquidum, Chevita GmbH, Pfaffenhofen, Deutschland)

per os. Innerhalb der 24. bis 72. Lebensstunde wurden 7 ml Eisen (Ursoferran 150 mg/ml, Serumwerk Bernburg AG, Bernburg, Deutschland) oral verabreicht.

#### **4.2. Kolostrumaufnahme**

Die Kolostrumversorgung erfolgte möglichst zeitnah nach der Geburt. Die Versorgung gelang hinsichtlich Art der Milchaufnahme, Zeitpunkt der Fütterung und Menge aus betriebstechnischen Gründen nicht immer einheitlich. 29 Kälber wurden am Abend oder nachts geboren, so dass sie zunächst bei der Mutter verblieben. Somit war weder Menge noch Zeitpunkt der ersten Milchaufnahme bekannt oder ob überhaupt getrunken wurde. 57 Tiere wurden bei der ersten Tränke mit der Flasche gefüttert, während 11 Tiere die Milchaufnahme verweigerten und gedrencht werden mussten.

#### **4.3. Tränke- und Grobfuttermversorgung**

Die Kälber wurden einschließlich dem 5. Lebenstag mit Übergangsmilch und die darauffolgende Zeit mit Vollmilch getränkt. In der Einzelhaltung wurden die Kälber zweimal täglich mit jeweils individuell zugeteilten Eimern morgens zwischen 6 und 7 Uhr und abends zwischen 17 und 18 Uhr getränkt. In der Einzelhaltung wurde eine Kaltsauertränke praktiziert. Dazu wurde die Milch abgewogen, mit einem Sieder auf ca. 34°C erwärmt und die entsprechende Menge Säuregemisch (Schaumacid Drink C, H. Wilhelm Schaumann GmbH, Pinneberg, Deutschland) unter ständigem Rühren dazugegeben. Die erste Biestmilchgabe wurde nicht angesäuert, die zweite Gabe wurde mit 1,0 ml Säuregemisch auf den Liter Milch angesäuert (pH 6). Ab der dritten Tränke wurde ein pH von 5,5 sichergestellt (2 ml/L). Die angebotenen Milchmengen wurden per Messbecher abgemessen und in die Nuckeleimer eingefüllt. Von Beginn an standen Wasser, Heu und Kraftfutter in Schalen zur freien Aufnahme zur Verfügung. In der Gruppenphase übernahmen rechnergesteuerte Automaten (Stand Alone 2000, Förster-Technik GmbH, Engen, Deutschland) die tierindividuelle Milch- und Kraftfütterzuteilung und an einem Futtertisch mit 13 Fressplätzen wurde ad libitum Heu angeboten. Ein Tränkeautomat versorgte parallel zwei Tränkegruppen mit jeweils bis

zu 12 Tieren. Die Fütterung der Tiere war geschlechtsunabhängig. Der Automat wärmte die Milch auf eine Temperatur von ca. 38°C an. Nach der Tränkeaufnahme waren die Tiere für vier Minuten im Tränkestand eingesperrt. Der Kraftfutterplan war für beide Gruppen gleich. Der Kraftfutterautomat war für die Dauer von 14 Tagen auf 1,5 kg eingestellt. In den folgenden 14 Tagen wurde die tägliche Menge auf 2,5 kg erhöht. Eine letzte Steigerung fand innerhalb von 25 Tagen auf 3,5 kg statt. Diese Menge wurde bis Versuchsende beibehalten.

#### **4.4. Restriktiver Tränkeplan**

Die Kälber erhielten in der ersten Lebenswoche zweimal täglich 2,5 L. Die Menge wurde in der zweiten Woche auf zweimal 3 L gesteigert. In der Gruppenhaltung (ab dem 15. Lebenstag) wurden am Tränkeautomaten 20 Tränkeintervalle von 0 bis 20 Uhr und minimale und maximale Abrufmenge für die jeweilige Tränkeperiode eingestellt. Daraus errechnete sich die Anzahl der täglich möglichen Abrufe der tierindividuellen Milchmenge. Die Sperrzeit der Kälber entsprach der Zeit, die ablaufen musste, bis ein Anrecht auf die Mindestmenge gegeben war. Von Tag 15 bis 21 wurde die tägliche Menge kontinuierlich von 6 auf 8 L erhöht. Dabei lag die Mindestansparmenge bei 1,5 L und die Maximalmenge bei 2 L (mit insgesamt 20 Intervallen). Die Tagesmilchmenge wurde durch die Intervalle aufgeteilt. Dadurch entsprach bei einem Tagesanrecht von 6 L ein Intervall einer Menge von 0,3 L. Somit war nach Ablauf von 5 Stunden ein Anrecht auf 1,5 L Mindestmenge Milch gegeben. Das ermöglichte den Kälbern bei 6 L Tagesmenge drei- bis viermal täglich Milch abzuholen und bei 8 L bis zu fünfmal. Zwischen Tag 21 und 42 blieb es bei 8 L Tagesmenge, wobei die Mindestansparmenge auf 2 L und die Maximalmenge auf 2,5 L hochgesetzt wurde, weshalb drei- bis viermal täglich Milch abgerufen werden konnte. An Tag 42 begann das kontinuierliche Abtränken von 8 L bis auf 0 L an Tag 70. Die Mindestansparmenge lag bei 2,5 L, die Maximalmenge bei 3 L. Dadurch konnte zunächst noch dreimal täglich Milch abgeholt werden, was sich mit der geringer werdenden Milchmenge über die Zeit weiter reduzierte.

#### **4.5. Ad libitum Tränkeplan**

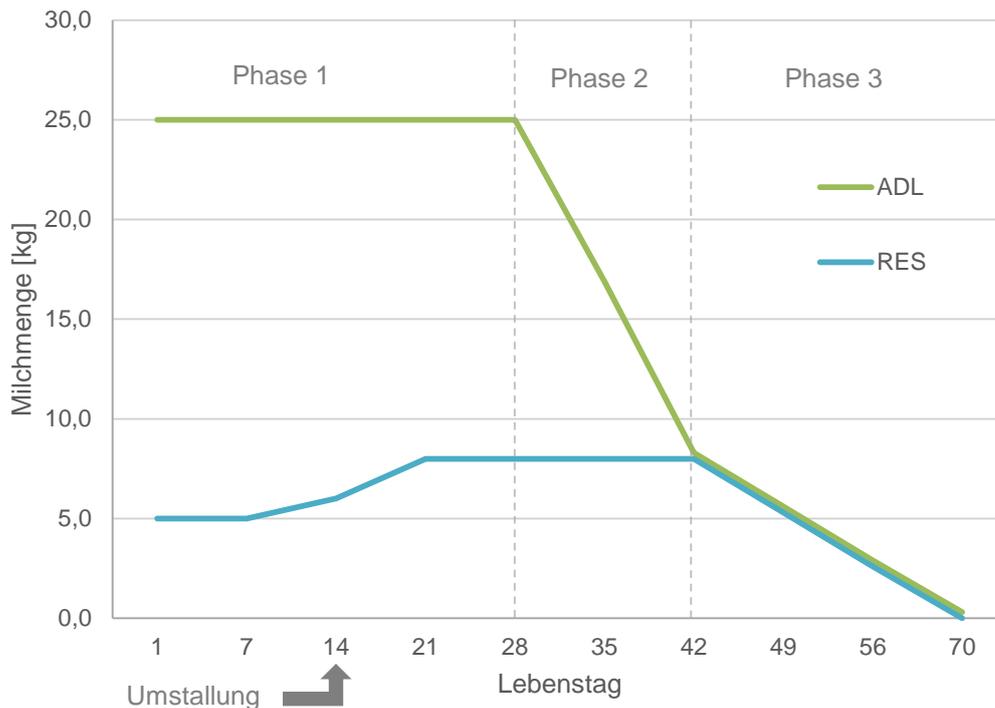
In den ersten beiden Lebenswochen stand den Tieren in Einzelhaltung in Eimern (Kunststofftränkeimer TK 13, HIKO GmbH, Kempten, Deutschland), die 13 L fassen und mit Deckel versehen sind, durchgehend angesäuerte Milch zur Verfügung. Bei der abendlichen Tränke wurde die Füllung des Eimers kontrolliert und bei Bedarf nachgefüllt. Am nächsten Morgen wurden die Restmengen rückgewogen, notiert und verworfen. Die Eimer wurden unter Einsatz von Bürsten mit heißem Wasser und Spülmittel gereinigt, erneut aufgefüllt und die entsprechenden Mengen erfasst. In der Gruppenhaltung wurde die ad libitum Tränke mit Hilfe der Automaten umgesetzt. Dazu wurde bis einschließlich Tag 28 die Maximalmenge von 25 L je Kalb eingestellt. 24 Tränkeintervalle, eine Minimalmenge von 0,5 L und eine Maximalmenge von 9,5 L pro Abruf ermöglichten den Kälbern jederzeit zu trinken. Danach begann der Automat mit der kontinuierlichen Reduzierung der Milchmenge. Zunächst reduzierte man von Tag 29 bis 42 von der Maximalmenge auf 8 L, um dann gleich der Kontrollgruppe bis Tag 70 auf 0 L abzutränken.

#### **4.6. Management bei Durchfall**

Bei auftretenden Durchfällen wurde mit Elektrolyttränke (Effydral Brausetabletten, Zoetis Deutschland GmbH, Berlin, Deutschland) zwischengetränkt oder Natriumbicarbonat (Bi-Pill Bicarbonat-Pille, VUXXX GmbH, Papenburg, Deutschland) verabreicht. Da gelegentlich Kotproben untersucht wurden, konnte bei Bedarf die passende Therapie eingeleitet werden. So wurde bei auftretender Kokzidiose Diclazuril (Vecoxan 2,5 mg/ml Oral Suspension, Elanco Animal Health, Hampshire, UK) und bei einer Infektion mit Kryptosporidien Halofuginon (Halocur 0,5 mg/ml, Intervet Deutschland GmbH, Unterschleißheim, Deutschland) metaphylaktisch oral verabreicht.

#### **4.7. Versuchsphasen**

Die Einteilung in Versuchsphasen erfolgte anhand des Tränkeplans und dem anschließenden Fütterungsmanagement. Eine Übersicht über den Tränkeplan beider Gruppen wird in der Abbildung 1 dargestellt.



**Abbildung 1: Tränkeplan der ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälber in den einzelnen Phasen**

Drei Versuchsphasen wurden unterschieden: In der Phase 1 (Lebenstag 1-28) wurden die Tiere entweder restriktiv oder ad libitum getränkt. In der Phase 2 (Lebenstag 28-42) wurde die zustehende Milchmenge der ADL Kälber reduziert, die der RES Kälber blieb unverändert. In der Phase 3 (42-Ende) wurden beide Gruppen gleichermaßen abgetränkt und unterlagen dem identischen Management. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Versuch für männliche Kälber bereits am 56. Lebenstag endete und die weiblichen Tiere noch bis zum 112. Lebenstag untersucht wurden.

## 5. Datenerhebung

### 5.1. Milch-, Kraftfutteraufnahme und Automatenbesuche

Die aufgenommenen Milchmengen wurden während der kompletten Tränkephase erfasst. Dazu wurde während der Einzelhaltung die angebotene Milch mittels Messbecher abgemessen und die Mengen notiert. Auftretende Restmengen wurden mittels Tischwaage (FKB 15K 0,5 A, KERN & Sohn GmbH, Balingen-Frommern, Deutschland) rückgewogen und aufgezeichnet. In der Gruppenhaltung wurden unter Verwendung einer Software (KalbManagerWIN, Förster-Technik GmbH, Engen, Deutschland) die täglich aufgenommenen Milchmengen auf

100 Gramm genau erfasst. Darüber hinaus wurden Besuche an dem Automaten mit und ohne Tränkeabruf und die aufgenommenen Kraftfuttermengen aufgezeichnet. Allerdings konnte die Kraftfutteraufnahme aufgrund betriebstechnischer Störungen nur für 71 Kälber erfasst und ausgewertet werden. Die Heuaufnahme der Kälber wurde nicht erfasst.

## **5.2. Gewichtsentwicklung**

Zur Erfassung des Geburtsgewichtes kam ein Kälberwagen mit integrierter Waage (3000 Series Xtreme W, OHAUS CORPORATION, Parsippany, USA) zum Einsatz, der zugleich zum Transport vom Abkalbe- in den Kälberstall diente. Das Gewicht wurde individuell wöchentlich mit einer mobilen Waage (Allflex FX 11, Allflex Europe Deutschland GmbH, Hamburg, Deutschland) erfasst.

## **5.3. Gesundheitsstatus**

Die Kälber wurden in den ersten 14 Lebenstagen vormittags täglich bis auf sonntags untersucht. Dabei wurden Abweichungen vom physiologischen Zustand anhand des Scores der Tabelle 3 beurteilt. Abweichungen vom physiologischen Zustand wurden mit einem Wert  $> 1$  bewertet. Im Rahmen der Untersuchung wurde die innere Körpertemperatur rektal mittels eines digitalen Thermometers gemessen. In der folgenden Zeit (15. Lebenstag bis Versuchsende) wurden die Tiere nur noch wöchentlich untersucht. Dabei wurden die Temperatur und die Kotkonsistenz berücksichtigt. Zu den genannten Zeitpunkten fand jeweils auch eine Auskultation der Lunge statt. Diese wurde jedoch nicht zum Zwecke der Auswertung durchgeführt; sondern um gegebenenfalls auftretende Erkrankungen frühzeitig zu erkennen und zu behandeln. Das Stallpersonal und die versuchsdurchführenden Personen nahmen jeden Tag alle Tiere in Augenschein, so dass Erkrankungen in der Regel frühzeitig erkannt, die Tiere bei Bedarf genauer untersucht und der behandelnde Tierarzt hinzugezogen wurde.

**Tabelle 3: Übersicht über die beurteilten Parameter mit den dazugehörigen Scores**

Parameter	Befund	Score
Verhalten	aufmerksam	1
	matt	2
	liegt fest	3
Saugreflex	gut	1
	mäßig	2
	fehlt	3
Schleimhautfarbe	blassrosa	1
	rosa	2
	weiß	3
	Zyanose	4
Hautturgor	erhalten	1
	geringgradig reduziert	1,5
	reduziert	2
Bulbi	ohne besonderen Befund	1
	geringgradig eingesunken	1,5
	eingesunken	2
Kotkonsistenz	mittelbreiig	1
	Abweichung (wässrig, suppig, dünnbreiig)	2
Nabel	kein Bruch, bleistiftstark, weich, schmerzfrei	1
	geringgradige Abweichung	1,5
	deutliche Abweichungen	2

Von 95 Kälbern wurden die Behandlungen und die dazugehörigen Diagnosen notiert. Es wurden keine einheitlichen Behandlungsschemata für die jeweiligen Erkrankungen angewendet. Beispielsweise wurden Langzeitantibiotika eingesetzt und Antibiotika, die eine tägliche Medikation erforderten. Deshalb wurden bei der Versuchsauswertung die Anzahl der Behandlungstage und die Art der Behandlung nicht berücksichtigt. Es wurde erfasst, ob eine bestimmte Erkrankung behandelt wurde (Behandlungsereignis) und wenn ja, in welcher Phase des Versuchs.

Die Elektrolyttränke und die Verabreichung von Natriumbicarbonat konnten vom Stallpersonal selbstständig durchgeführt werden und wurden somit nicht zu den Behandlungsereignissen gezählt. Ebenfalls ging die Behandlung mit Diclazuril und Halofuginon nicht in die statistische

Auswertung ein. Mit Diclazuril wurden zu Studienbeginn ausschließlich Kälber behandelt, die Symptome einer Kokzidiose aufwiesen. Im Laufe der Studie wurde jedoch metaphylaktisch die gesamte Gruppe behandelt, in der sich ein erkranktes Kalb befand. Nachdem bei dem Kalb 883 geringgradig Kryptosporidien nachgewiesen wurden, wurde eine restriktiv und eine ad libitum getränkte Gruppe metaphylaktisch mit Halofuginon behandelt.

#### **5.4. Blutproben**

Zwischen 7 und 8 Uhr morgens wurde durch Punktion der Vena jugularis dextra/sinistra an mehreren Terminen Blut genommen. Die erste Probennahme fand 24 bis 72 Stunden post natum statt. Weitere Beprobungen folgten an Tag 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 und 56, bei Kuhkälbern zusätzlich an Tag 84 und 112. Dabei wurden unterschiedliche Parameter erfasst. Glukose, kleines Blutbild,  $\gamma$ -GT, LDH, GLDH, NEFA,  $\beta$ -Hydroxybutyrat, Harnstoff, Totalprotein, Eisen und Triglyceride wurden an jedem Termin gemessen. IGF-I Werte wurden 24 bis 72 Stunden post natum, an Tag 14, 21, 28, 42, 56 und 112 erfasst. Während der Einzelboxenhaltung wurde bei zu beprobenden ad libitum Tieren zwei Stunden vor Probenentnahme der Eimer abgehängt, während restriktive Tiere erst nach der Blutentnahme getränkt wurden. In der Gruppenhaltung wurde der Automat für diese Zeit gesperrt. Diese Maßnahmen wurden ergriffen, um annähernd eine Nüchternprobe zu gewinnen. Es kamen unterschiedliche Blutentnahmeröhrchen zum Einsatz. Zunächst wurde Serum mit einer Monovette (Monovette 9 ml Z, SARSTEDT AG & Co., Nümbrecht, Deutschland) und aufgesteckter Einmalkanüle (Sterican 1,20x40mm, B. Braun Melsungen AG, Melsungen, Deutschland) entnommen. Die Kanüle wurde (um mehrfaches Stechen zu vermeiden) in der Vene belassen, so dass im Anschluss ein heparinbeschichtetes Plasmaröhrchen (Röhre 4 ml, 75x12mm, LH, SARSTEDT AG & Co., Nümbrecht, Deutschland) und ein EDTA-beschichtetes Röhrchen (Röhre 2 ml, 55x12mm, K3E, SARSTEDT AG & Co., Nümbrecht, Deutschland) befüllt werden konnten. Serum- und Plasmaröhrchen wurden für 20 Minuten bei 3 RPM (x1000) zentrifugiert (Spectrafuge 6C, Labnet International, Edison, USA). Gewonnenes Plasma und Serum wurde in

etikettierte Eppendorfcups pipettiert und die Proben wurden bis zur Analyse bei  $-20^{\circ}\text{C}$  eingefroren.

## **6. Analyse der Blutparameter**

### **6.1. Reflotron System**

Zur Glukosemessung wurden  $32\ \mu\text{l}$  Plasma auf einen Teststreifen (Reflotron Glukose Messstreifen, Roche Diagnostics GmbH, Unterhaching, Deutschland) aufgetragen. Der Teststreifen wurde zur Messung in ein Reflotron System (scil Reflovet, scil animal care company GmbH, Viernheim, Deutschland) eingesetzt. Mittels dieses Gerätes wurde Glukose unter Verwendung der Glukoseoxidase-Peroxidase-Methode enzymatisch umgesetzt (Gribsch und Neiger, 2014). Der dabei entstehende Farbstoff entsprach der Glukosekonzentration und wurde kinetisch bei einer Wellenlänge von  $642\ \text{nm}$  und  $37^{\circ}\text{C}$  gemessen (Reflotron Glucose, Roche Diagnostics GmbH, Unterhaching, Deutschland).

### **6.2. Hämatologiegerät VETERINARY ANIMAL BLOOD COUNTER**

Unter Verwendung eines Hämatologiegerätes (scil Vet abc, scil animal care company GmbH, Viernheim, Deutschland) wurde ein kleines Blutbild erstellt. Vor der Auswertung wurde das EDTA-Blut vorsichtig geschwenkt, und daraufhin das benötigte Probenvolumen von bis zu  $12\ \mu\text{l}$  mittels einer Nadel angesaugt. Die folgende Analyse beruhte auf der Impedanztechnologie und lief automatisch ab (Moritz et al., 2014a). Bei dieser Messmethode konnten die Blutzellen aufgrund der unterschiedlichen Zellgröße differenziert werden (Moritz et al., 2014a). Das Probenvolumen wurde verdünnt und passierte anschließend eine Messöffnung, die auf beiden Seiten mit einer Elektrode ausgestattet war (Moritz et al., 2014a). Durch die Passage einer Zelle wurde der elektrische Widerstand verändert und damit die Stromstärke beeinflusst. Diese Signalstärke entsprach dem Volumen der Zelle (Moritz et al., 2014a).

### **6.3. Olympus AU 400**

Mit Hilfe des Olympus AU 400 (Olympus AU 400, Beckman Coulter GmbH, Krefeld, Deutschland) erfolgte die Bestimmung der Aktivität der

Enzyme  $\gamma$ GT, LDH und GLDH. Das Enzym  $\gamma$ GT katalysiert die Bildung von Glyzylglyzin, dabei wird 5-Amino-2-Nitrobenzoat frei und fotometrisch bestimmt (Neumann, 2014). Die LDH katalysiert die Bildung von Pyruvat aus Laktat. Gleichzeitig kommt es zu einer Reduktion von  $\text{NAD}^+$  zu NADH. Im Anschluss bestimmte man fotometrisch den Anstieg von NADH bei 340 nm (Bruhn und Koberstein, 2011a). Die GLDH katalysiert den Abbau von  $\alpha$ -Ketoglutarat zu Glutamat. Bei diesem Vorgang wurde NADH zu  $\text{NAD}^+$  oxidiert und im Anschluss fotometrisch gemessen (Neumann, 2014).

#### **6.4. Respons 910 DiaSys**

Der klinisch-chemische Tischanalyser (Respons 910, DiaSys Diagnostic Systems GmbH, Holzheim, Deutschland) wurde für die quantitative Bestimmung von NEFA,  $\beta$ -Hydroxybutyrat, Gesamtprotein, Harnstoff, Eisen und Triglyceriden angewendet. Bei der Messung von NEFA und  $\beta$ -Hydroxybutyrat wurde die enzymatische Endpunktmethode eingesetzt. Dabei entstand jeweils ein Farbstoff, dessen Extinktion bei 546 nm direkt proportional zum gesuchten Parameter war (Respons 910, DiaSys Diagnostic Systems GmbH, Holzheim, Deutschland). Zur Analyse des Gesamtproteins wurde die Biuret-Methode angewendet (Schwendenwein, 2014). Bei diesem Testprinzip bilden Proteine in alkalischer Lösung mit Kupferionen einen Farbkomplex, dessen Intensität fotometrisch gemessen wird und der Gesamtproteinkonzentration entspricht (Schwendenwein, 2014). Zur Bestimmung von Harnstoff wurde ein enzymatischer UV-Test eingesetzt. Zunächst wurde der Harnstoff durch das Enzym Urease gespalten, wobei Ammoniak entstand. In einer weiteren Reaktion, die durch die Glutamatdehydrogenase katalysiert wird, wurde der gebildete Ammoniak ermittelt. Dabei wurde NADH zu  $\text{NAD}^+$  oxidiert und die Abnahme von NADH photometrisch bestimmt. Zur Bestimmung von Eisen wurde ein fotometrischer Test mit Ferene durchgeführt. Mittels Ascorbinsäure wurde das dreiwertige Eisen zu  $\text{Fe}^{2+}$  reduziert. Daraufhin bildet  $\text{Fe}^{2+}$  mit einem Chelatbildner einen Farbkomplex, dessen Extinktion gemessen wurde (Bruhn und Koberstein, 2011b). Als Bestimmungsmethode für Triglyceride wurde ein colorimetrisch enzymatischer Test mit Glycerin-3-phosphat-oxidase angewendet. Nachdem die Triglyceride durch das Enzym Lipoproteinlipase gespalten

wurden, wurden Sie mittels dem Indikator Chinonimin nachgewiesen (Respons 910, DiaSys Diagnostic Systems GmbH, Holzheim, Deutschland).

#### **6.5. Immunoassay-System Immulite**

Zur quantitativen Bestimmung von IGF-I im Serum wurde ein Immunoassaysystem (IMMULITE 1000 Immunoassay-System, Siemens Healthcare GmbH, Erlangen, Deutschland) genutzt. Dazu lief ein Festphasen, Enzym-markierter, immunometrischer Chemilumineszenz Assay ab.

#### **6.6. ELISA**

Die IgG Konzentration in den wöchentlichen Serumproben wurde mittels Sandwich-ELISA ermittelt (Erhard et al., 1995).

### **7. Statistische Auswertung**

Die Daten wurden mit Hilfe von Herrn PD Dr. med. vet. Sven Reese statistisch ausgewertet, der an der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilian-Universität in München als Fachtierarzt für Anatomie und als Fachtierarzt für Informationstechnologie tätig ist. Die Auswertung erfolgte mit den Programmen SPSS 20.0 (IBM® SPSS Corp., Armonk, NY, USA) und Excel (Microsoft Office 2013). Wenn eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % unterschritten wurde ( $p < 0,05$ ), galten die Ergebnisse als signifikant.

Für die Gewichtszunahmen, die Milch- und Krafffutteraufnahme, die Automatenbesuche und die Blutwerte wurde unter Berücksichtigung der Gruppe und des Geschlechts der AUC (Area-under-the-curve) berechnet, eine Methode, die von Bland (2009) beschrieben wird. Da für die Berechnung des AUC lückenlose Daten erforderlich waren, mussten Tiere, die den Versuch verfrüht beendet haben von der Berechnung ausgeschlossen werden (siehe Tabelle 1). Bei der Auswertung wurden die unterschiedlichen Versuchsphasen (siehe 4.7) einzeln betrachtet, die sich aus dem Tränke- und Fütterungsregime ergaben. Anschließend wurde der AUC mit dem Mann-Whitney U-Test statistisch ausgewertet und die Effektgröße Cohen's  $r$  nach Fritz et al. (2012) berechnet. Dabei wurden

ein großer (0,5), mittlerer (0,3) und kleiner (0,1) Effekt unterschieden (Coolican, 2009). Zusätzlich wurde das KGW insbesondere an den Stichtagen statistisch ausgewertet. Als Stichtage galten die Endtage der jeweiligen Phasen, also Tag 28, 42, 56 und 112.

Für die Variablenpaare IGF-I und Körpergewicht, sowie IGF-I und tägliche Zunahmen der Kälber wurde der Spearman-Korrelationskoeffizient ( $r_{sp}$ ) berechnet.

Für die Daten des klinischen Scores der ersten 14 Lebenstage wurde für jedes Kalb ein Mittelwert berechnet. Weiterhin wurden unter Berücksichtigung der Gruppe Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum und Maximum berechnet und anschließend erfolgte eine statistische Auswertung mit dem Mann-Whitney U-Test. Zusätzlich wurde die Effektgröße Cohen's  $r$  angegeben (Fritz et al., 2012). Die Parameter „Kotbeschaffenheit“ und „Körpertemperatur“ wurden gleichermaßen für die drei beschriebenen Phasen des Versuches ausgewertet. Darüber hinaus wurden die Behandlungsereignisse mittels Kreuztabellen ausgewertet und ein Chi-Quadrat-Test durchgeführt. Die Anzahl der Behandlungsereignisse wurde auf die Anzahl der Phasen bezogen. Die Anzahl der Phasen beruht wiederum auf der Anzahl der Kälber, die in den jeweiligen Phasen in den Versuch eingeschlossen waren. Somit wurde bei der Auswertung das verfrühte Ausscheiden von Kälbern berücksichtigt. Aufgrund der geringen Fallzahlen wurden keine geschlechtsspezifischen Auswertungen hinsichtlich der Gesundheit durchgeführt. Die Mittelwerte der Anzahl der Behandlungsereignisse der beiden Studiengruppen über den gesamten Versuchszeitraum und in den Phasen 1 - 3 wurden mit Hilfe des t - Test verglichen.



## IV. ERGEBNISSE

### 1. Milchaufnahme

In der ersten Lebenswoche zeigte die Versuchsauswertung steigende Milchaufnahmen. In der zweiten Lebenswoche wurde in beiden Gruppen ein Absinken der mittleren täglichen Tränkeaufnahme erfasst, bevor sie wieder bis Ende der vierten Lebenswoche anstieg. Anschließend blieb die mittlere Milchaufnahme bis zum Abtränken relativ stabil. Eine Übersicht über den zeitlichen Verlauf der mittleren Milchaufnahme ist in Abbildung 2 dargestellt.



**Abbildung 2: Mittlere tägliche Milchaufnahme [kg] im Verlauf über die gesamte Tränkeperiode (1. bis 70. Lebenstag) von Fleckviehkälbern (n = 89; 56. bis 70. Lebenstag n = 47), die in den ersten vier Lebenswochen ad libitum (ADL) oder restriktiv (RES) getränkt wurden**

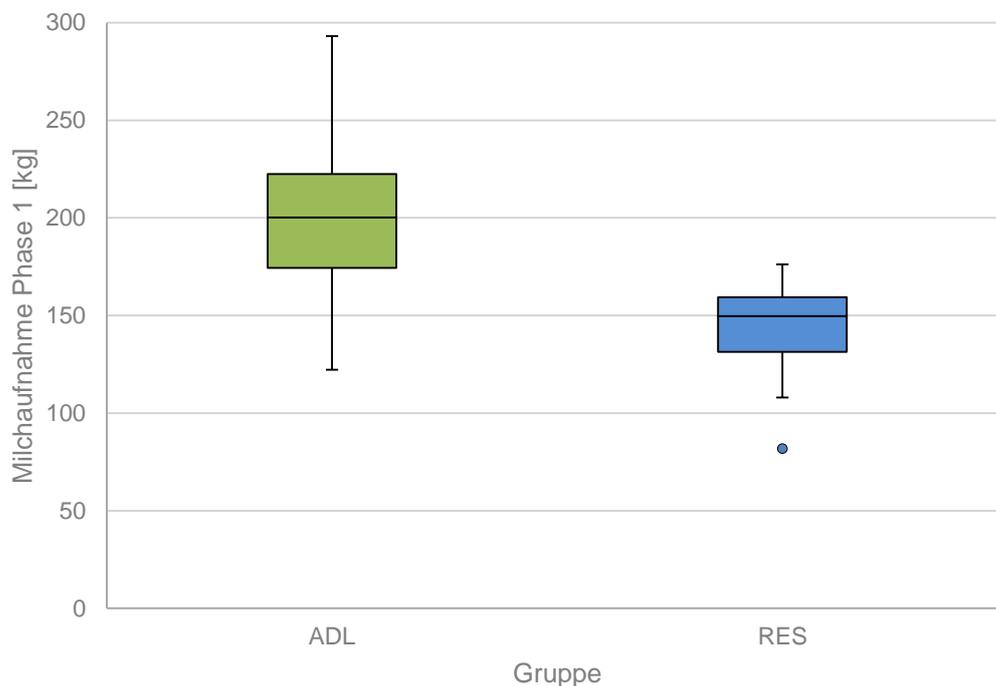
Die ad libitum getränkten Kälber wiesen in der Phase 1 und Phase 2 signifikant ( $p < 0,001$ ) höhere AUC Werte hinsichtlich der Milchaufnahme auf als die restriktiv getränkten Kälber. Wenn die Phase 3 für den Zeitraum betrachtet wird, in dem noch beide Geschlechter in die Untersuchung eingeschlossen waren (Lebenstag 42 bis 56), wurde eine signifikant ( $p = 0,028$ ) höherer AUC-Wert der restriktiv getränkten Gruppe festgestellt, wobei die berechnete Effektgröße klein ( $r = 0,23$ ) war. Für die

weiblichen Tiere beider Gruppen wurden in der Phase 3 keine Unterschiede hinsichtlich der AUC-Werte festgestellt. Innerhalb der Gruppen konnten in keiner Phase signifikante geschlechtsspezifische Differenzen hinsichtlich der AUC-Werte der Milchaufnahme festgestellt werden. Die mittlere tägliche Milchaufnahme in den einzelnen Phasen ist der Tabelle 4 zu entnehmen.

**Tabelle 4: Mittlere tägliche Milchaufnahme [kg] in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern mit Angabe des p-Wertes und der Effektgröße Cohen r**

Lebenstag	ADL				RES				p-Wert	Cohen r
	n	MW	SD	Median	n	MW	SD	Median		
1 - 28	46	7,3	3,2	7,3	43	5,2	1,9	5,0	< 0,001	0,69
28 - 42	46	8,7	2,6	8,7	43	7,2	1,4	8,0	< 0,001	0,60
42 - 56	46	5,5	1,4	5,5	43	5,7	1,3	5,5	0,028	0,23
42 - 70	24	3,7	2,3	4,0	23	3,7	2,4	4,0	0,344	0,14

Die ad libitum getränkten Kälber wiesen in der Phase 1 eine mittlere Milchaufnahme von  $199,9 \pm 39,8$  kg/Kalb auf im Vergleich zu  $143,6 \pm 21,1$  kg Milch je Kalb in der restriktiven Gruppe.



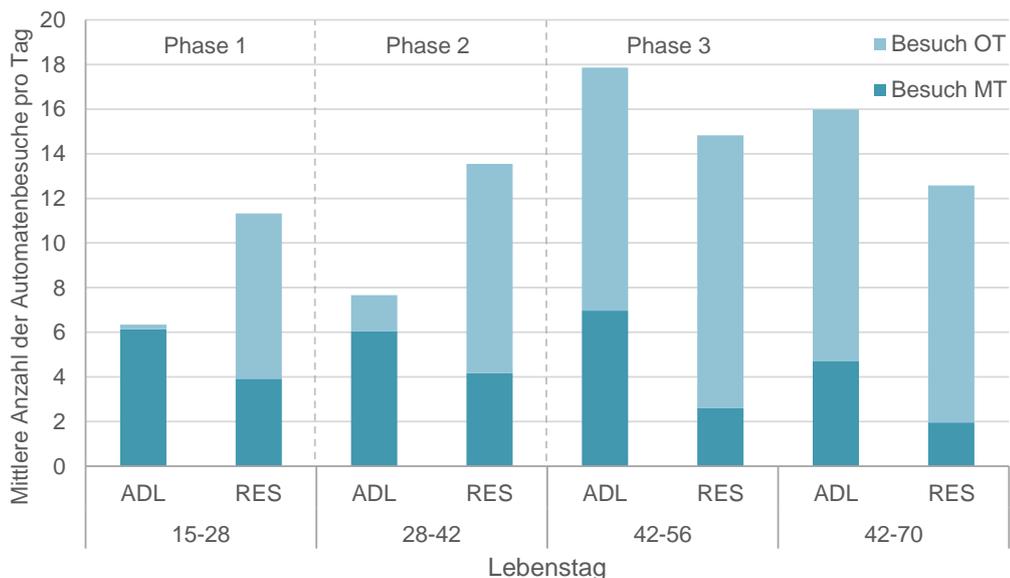
**Abbildung 3: Vergleich der Milchaufnahme [kg] der ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälber (n = 89) in der Phase 1 (1. bis 28. Lebenstag)**

Zusätzlich wurde die Lage und Streuung der Milchaufnahme ermittelt und zwischen den Studiengruppen verglichen (Abbildung 3). Dabei waren deutliche Unterschiede innerhalb der ADL Gruppe festzustellen. Die

minimale Milchmenge, die ein ADL Kalb in der Phase 1 aufnahm, betrug 122,3 kg Milch, die maximale Milchaufnahme betrug 293,1 kg Milch. Demgegenüber waren die Unterschiede in der RES Gruppe gering. In den ersten vier Lebenswochen, in denen die Milch ad libitum zur Verfügung stand, wurde von keinem Tier die Maximalmenge von 25 kg Milch pro Tag abgeholt. Die maximale Milchaufnahme lag bei 19,6 kg/Tag, die ein Bullenkalb in der vierten Lebenswoche (27. Lebenstag) aufnahm.

## 2. Automatenbesuche

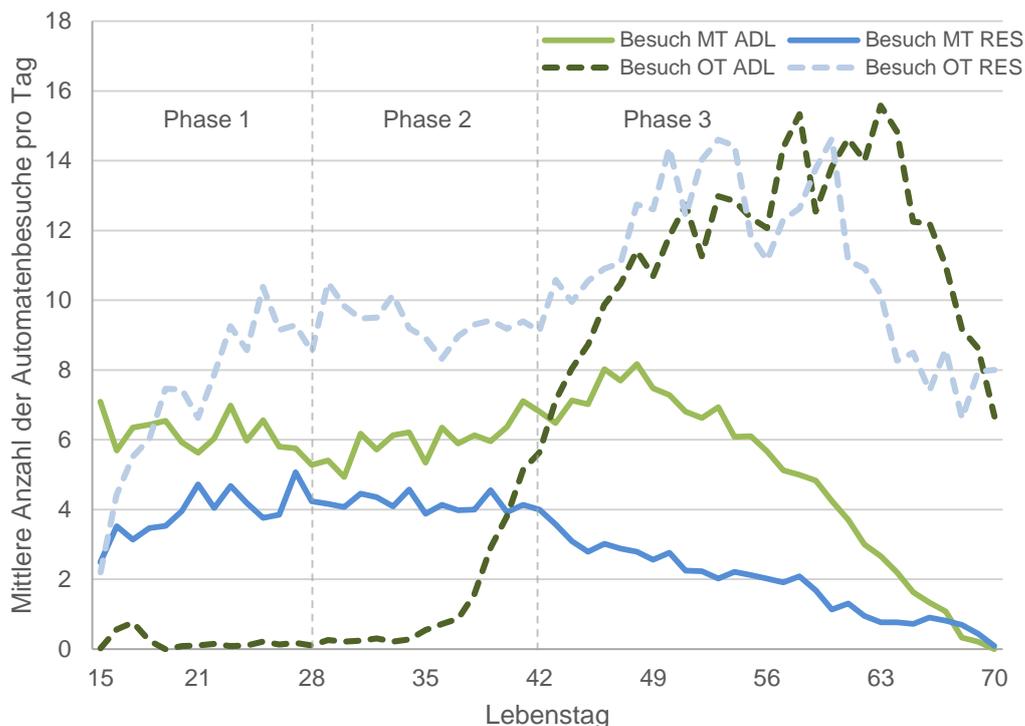
Am 15. Lebenstag wurden die Kälber in die Gruppenhaltung umgestallt. Ab diesem Zeitpunkt wurden die Besuche mit und ohne Tränkeaufnahme am Tränkeautomaten erfasst. In der Abbildung 4 wird die mittlere Anzahl der Tränkeautomatenbesuche pro Tag in den jeweiligen Phasen der Tränkeperiode dargestellt.



**Abbildung 4: Mittlere Anzahl der Tränkeautomatenbesuche (OT: ohne Tränke; MT: mit Tränke) pro Tag in den einzelnen Phasen der Tränkeperiode von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern (n = 89; 42. bis 70. Lebenstag n = 47)**

Bis zum Ende der Tränkeperiode am 70. Lebenstag wurden für die ad libitum getränkten Kälber im Vergleich zu den restriktiv getränkten Kälbern signifikant mehr Besuche am Automaten mit Tränkeaufnahme beobachtet ( $p < 0,001$ ). Bis zum 42. Lebenstag besuchten die restriktiv getränkten Kälber signifikant häufiger als ad libitum getränkte Kälber den Tränkeautomaten ohne Anrecht zur Tränkeaufnahme ( $p < 0,001$ ). Im Anschluss ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede

zwischen der Kontroll- und der Versuchsgruppe hinsichtlich der Automatenbesuche ohne Tränkeanrecht. Eine Übersicht über den zeitlichen Verlauf der mittleren Automatenbesuche pro Tag ist in Abbildung 5 dargestellt. Die Automatenbesuche mit Tränke (MT) verliefen in der ADL Gruppe bis zum Absetzen (70. Lebenstag) auf einem höheren Level. Die Automatenbesuche ohne Tränke (OT) stiegen in der ADL Gruppe ab dem 35. Lebenstag an. Die Besuche OT erreichten bei den ADL Kälbern zwischen der 6. und 7. Lebenswoche ein ähnlich hohes Level wie es bei den RES Kälbern beobachtet wurde. Diese wiesen bereits ab dem 15. Lebenstag ein höheres Level auf. Gegen Ende der Tränkeperiode wurde in beiden Gruppen ein Absinken der Automatenbesuche OT beobachtet.

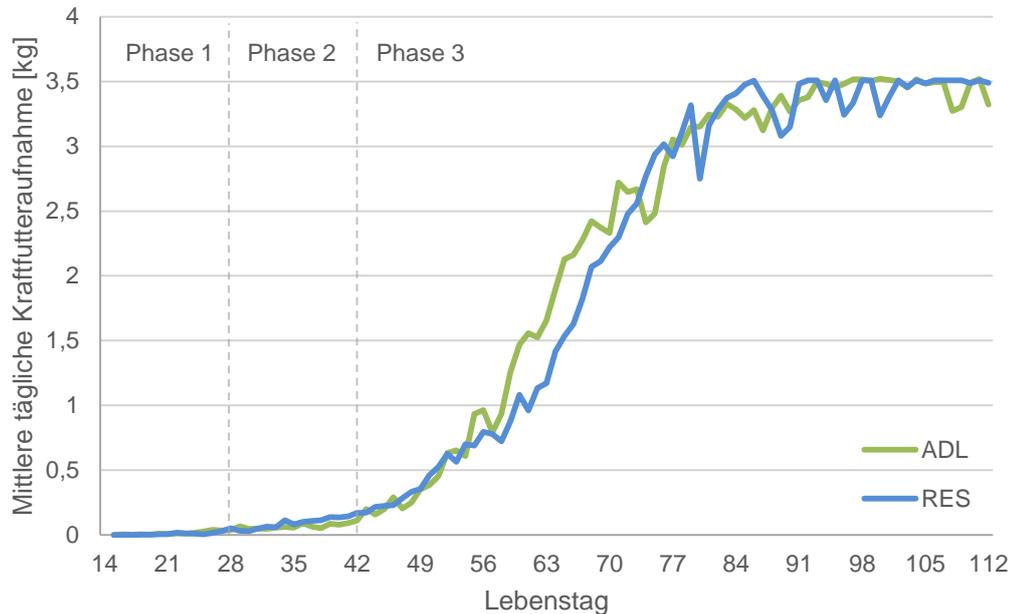


**Abbildung 5:** Zeitlicher Verlauf der mittleren Anzahl der Tränkeautomatenbesuche (MT: mit Tränke; OT: ohne Tränke) vom 15. bis zum 70. Lebenstag von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern (n = 89; 56. bis 70. Lebenstag n = 47)

### 3. Kraftfutteraufnahme

Von Beginn an stand den Kälbern Heu und Kraftfutter zur freien Aufnahme zur Verfügung, wobei die Aufnahmemengen von Heu während der Untersuchung nicht ermittelt wurden. Die Kraftfutteraufnahme wurde ab

dem 15. Lebenstag erfasst. Eine Übersicht über den zeitlichen Verlauf der durchschnittlichen Krafffutteraufnahme ist in Abbildung 6 dargestellt.



**Abbildung 6: Verlauf der mittleren täglichen Krafffutteraufnahme [kg] vom 15. bis 112. Lebenstag von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Fleckviehkälbern (n = 71; 56. bis 112. Lebenstag n = 34)**

Es konnte beobachtet werden, dass die Krafffutteraufnahme in den ersten Lebenswochen in beiden Gruppen minimal war und erst um den 42. Lebenstag anstieg. Das Fütterungsregime verursachte in keiner der untersuchten Phasen einen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Krafffutteraufnahme. Darüber hinaus konnten in den jeweiligen Gruppen in keiner Phase signifikante geschlechtsspezifische Differenzen hinsichtlich der Krafffutteraufnahme nachgewiesen werden. Die mittlere tägliche Krafffutteraufnahme in den einzelnen Phasen ist der Tabelle 5 zu entnehmen.

**Tabelle 5: Mittlere tägliche Krafffutteraufnahme [kg] in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern mit Angabe des p-Wertes und der Effektgröße Cohen r**

Lebenstag	ADL				RES				p-Wert	Cohen r
	n	MW	SD	Median	n	MW	SD	Median		
15 - 28	35	0,02	0,05	0,00	36	0,01	0,04	0,00	0,720	0,04
28 - 42	35	0,07	0,11	0,04	36	0,10	0,15	0,02	0,769	0,03
42 - 56	35	0,43	0,50	0,27	36	0,42	0,47	0,27	0,704	0,05
42 - 112	18	2,35	1,36	3,19	16	2,29	1,40	3,15	0,403	0,15

#### 4. Gewichtsentwicklung

Das Körpergewicht der Tiere wurde wöchentlich erfasst. Anhand dieser Daten wurden die durchschnittlichen Körpergewichte beider Gruppen unter Berücksichtigung des Geschlechts für jeden Untersuchungszeitpunkt berechnet und an den Stichtagen gegenüber gestellt (Tabelle 6).

**Tabelle 6: Körpergewicht [kg] (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung; Median) von Fleckviehkälbern zu Versuchsbeginn und an den Endtagen der drei Studienphasen mit Angabe des p-Wertes und der Effektgröße Cohen  $r$**

	Lebenstag	ADL			RES			p-Wert	Cohen $r$
		n	MW $\pm$ SD	Median	n	MW $\pm$ SD	Median		
gesamt	1	46	44,1 $\pm$ 6,4	43,5	43	43,3 $\pm$ 5,0	44,0	0,576	0,06
	28	46	65,3 $\pm$ 9,5	65,0	43	56,1 $\pm$ 6,2	56,0	< 0,001	0,51
	42	46	78,8 $\pm$ 10,6	78,3	43	68,9 $\pm$ 8,1	70,0	< 0,001	0,44
	56	46	90,4 $\pm$ 12,4	89,3	43	82,0 $\pm$ 10,7	83,5	0,002	0,33
männlich	1	22	46,3 $\pm$ 6,1	47,5	20	44,7 $\pm$ 4,7	44,0	0,307	0,16
	28	22	69,4 $\pm$ 9,2	68,0	20	58,3 $\pm$ 6,3	58,5	< 0,001	0,60
	42	22	82,4 $\pm$ 11,2	83,0	20	71,8 $\pm$ 8,6	72,5	0,004	0,45
	56	22	93,7 $\pm$ 13,8	91,3	20	85,6 $\pm$ 11,6	85,5	0,033	0,33
weiblich	1	24	42,0 $\pm$ 6,0	41,3	23	42,1 $\pm$ 5,0	42,0	0,782	0,04
	28	24	61,6 $\pm$ 8,2	61,8	23	54,3 $\pm$ 5,6	54,5	0,002	0,44
	42	24	75,5 $\pm$ 8,9	74,3	23	66,5 $\pm$ 6,9	67,0	0,001	0,49
	56	24	87,5 $\pm$ 10,4	86,3	23	78,8 $\pm$ 8,8	78,5	0,008	0,39
	112	24	156,0 $\pm$ 15,4	154,0	23	139,3 $\pm$ 15,1	142,5	0,001	0,50

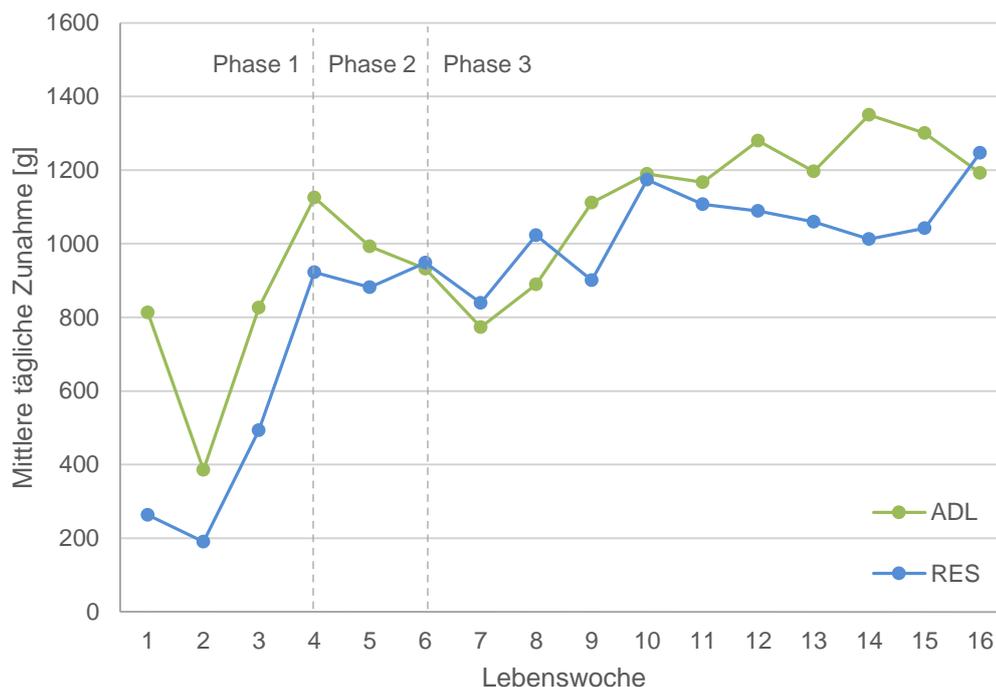
Zu Studienbeginn am ersten Lebenstag ergaben sich keine signifikanten Differenzen der mittleren Geburtsgewichte zwischen den Gruppen. Allerdings wiesen die ad libitum Bullenkälber am 1. Lebenstag ein signifikant höheres Gewicht auf als die ad libitum Kuhkälber ( $p = 0,040$ ). In der restriktiv getränkten Gruppe konnte am 1. Lebenstag kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern nachgewiesen werden. An den Lebenstagen 28, 42 und 56 wiesen die männlichen und weiblichen ADL Kälber jeweils signifikant höhere Lebendgewichte auf als die RES Kälber des jeweiligen Geschlechts. Die ADL Kuhkälber waren mit einem mittleren Gewicht von 156,0 kg am Versuchsende (112. Lebenstag) signifikant schwerer als die RES Kuhkälber (Differenz: 16,7 kg). Zudem wurde untersucht, ob innerhalb der Gruppen geschlechtsspezifische Unterschiede bezüglich des KGW vorlagen (Tabelle 7). Innerhalb der ad libitum getränkten Gruppe fiel am 28. und am 42. Lebenstag ein signifikant höheres KGW der Bullenkälber im Vergleich zu den Kuhkälbern auf. Am 56. Lebenstag ergaben sich keine signifikanten Differenzen des

durchschnittlichen Lebendgewichtes bezüglich des Geschlechts. Bei der restriktiv getränkten Gruppe wurde auch noch am 56. Lebenstag ein signifikanter Unterschied der mittleren Lebendgewichte beim Vergleich der Geschlechter beobachtet.

**Tabelle 7: Geschlechtsspezifische Unterschiede der Kälber innerhalb der ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Gruppe hinsichtlich des Körpergewichts an den Endtagen der verschiedenen Phasen des Versuches mit Angabe des p-Wertes und der Effektgröße Cohen r**

Lebenstag	ADL		RES	
	p-Wert	Cohen r	p-Wert	Cohen r
1	0,040	0,30	0,143	0,22
28	0,003	0,43	0,012	0,38
42	0,022	0,34	0,007	0,41
56	0,075	0,26	0,009	0,40

Darüber hinaus wurden die mittleren täglichen Zunahmen berechnet und phasenweise verglichen (Abbildung 7).



**Abbildung 7: Mittlere tägliche Zunahmen [g/d] in den ersten 16 Lebenswochen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern (n = 89; 8. bis 16. Lebenswoche n = 47) in den einzelnen Phasen**

Bei Betrachtung des AUC-Werts der täglichen Zunahmen während der Phase 1, hatten die Tiere der ADL Gruppe einen signifikant höheren Wert als die Kontrollgruppe ( $p < 0,001$ ). Zudem war die Effektgröße zwischen den Gruppen groß ( $r = 0,53$ ). In der Phase 1 fiel in der zweiten

Lebenswoche in beiden Studiengruppen ein Einbruch der Zunahmen auf. Im weiteren Verlauf stiegen in beiden Gruppen die Zunahmen bis zum 28. Lebenstag an. Während die Zunahmen der RES Kälber anschließend (4.-7. Lebenswoche) relativ stabil blieben, nahmen die Zunahmen der ADL Tiere, die zunächst ein höheres Niveau als RES Kälber aufwiesen, bis zur siebten Lebenswoche ab. Zunächst wies die ADL Gruppe vom 28. bis 42. Lebenstag einen signifikant höheren AUC-Wert auf ( $p = 0,036$ ;  $r = 0,22$ ), anschließend unterschieden sich die beiden Gruppen in der Zeit vom 42. bis 56. Lebenstag nicht signifikant ( $p = 0,197$ ;  $r = 0,14$ ). Am 56. Lebenstag war die Studie für die männlichen Kälber beendet. Die Kuhkälber wurden weiterhin bis zum 112. Lebenstag untersucht. Im Vergleich zeigten die Kuhkälber der ADL Gruppe in diesem Zeitraum (42. bis 112. Lebenstag) einen signifikant höheren AUC-Wert hinsichtlich der Zunahmen als die Kuhkälber der Kontrollgruppe ( $p = 0,020$ ;  $r = 0,34$ ). Wurden die täglichen Zunahmen bis zum 56. Lebenstag bezüglich des Geschlechts und unabhängig von den Gruppen betrachtet, hatten die männlichen Tiere einen signifikant höheren AUC-Wert als die Kuhkälber ( $p = 0,042$ ;  $r = 0,22$ ). Die mittleren täglichen Zunahmen sind der Tabelle 8 zu entnehmen.

**Tabelle 8: Mittlere tägliche Zunahmen [g] (Mittelwert; Standardabweichung; Median) in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern mit Angabe des p-Wertes und der Effektgröße Cohen r**

	ADL				RES				p	Cohen r
	n	MW	SD	Median	n	MW	SD	Median		
1 - 28	46	787	586	857	43	467	463	469	< 0,001	0,53
28 - 42	46	1017	435	1000	43	918	304	929	0,036	0,22
42 - 56	46	865	326	857	43	937	321	1000	0,197	0,14
42 - 112	24	1127	407	1143	23	1025	441	1071	0,020	0,34

## 5. Gesundheit

Die Kälber wurden in den ersten beiden Lebenswochen bis auf sonntags täglich klinisch untersucht (siehe Tabelle 3). Anschließend wurde wöchentlich die Kotkonsistenz beurteilt und die Körpertemperatur gemessen. Resultierend aus den Untersuchungsergebnissen wurden nur in den ersten vier Lebenswochen relevante Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt. In den ersten vierzehn Lebenstagen wiesen die restriktiv getränkten Kälber einen um 10,8 % höheren durchschnittlichen

Score für die Kotbeschaffenheit auf ( $p = 0,006$ ). Dabei war die Effektgröße zwischen den Gruppen ADL und RES von mittlerer Größe ( $r = 0,28$ ). Gleichzeitig fiel bei den restriktiv getränkten Tieren ein signifikant höherer durchschnittlicher Score für den Hautturgor auf ( $p = 0,015$ ). Der Effekt war von mittlerer Größe ( $r = 0,25$ ). In den ersten beiden Lebenswochen ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen hinsichtlich Verhalten, Temperatur, Saugreflex, Schleimhautfarbe, Lage der Bulbi und bei der Untersuchung des Nabels. Der mittlere Score für die Kotbeschaffenheit wurde gleichermaßen für die Phasen ausgewertet. Dabei war der mittlere Score für die Kotbeschaffenheit in der Phase 1 bei restriktiver Fütterung um 8,26 % höher als bei der ad libitum Tränke ( $p = 0,014$ ), wobei die Effektgröße von mittlerer Größe war ( $r = 0,25$ ). In der Phase 1 ergab sich kein statistischer Unterschied hinsichtlich der Körpertemperatur zwischen den Gruppen. In den Phasen 2 und 3 unterschieden sich die Gruppen ADL und RES weder hinsichtlich Kotbeschaffenheit noch hinsichtlich der Körpertemperatur.

Bei der statistischen Auswertung aller Behandlungsereignisse über die gesamte Versuchsdauer zeichnete sich eine Tendenz ab, dass die restriktive Gruppe häufiger behandelt wurde. Bei Betrachtung der einzelnen Phasen, wurde eine solche Tendenz ausschließlich in der Phase 2 ermittelt ( $p = 0,096$ ; Cohen  $d = 0,37$ ). Es konnte allerdings kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen über die gesamte Versuchsdauer festgestellt werden ( $p = 0,068$ ; Cohen  $d = 0,22$ ). Einige Erkrankungen traten sporadisch auf, so dass nur Behandlungsereignisse mit ausreichender Fallzahl statistisch ausgewertet werden konnten. Dazu zählten Behandlungsereignisse infolge von Pneumonie und Diarrhoe. Die Anzahl der Behandlungsereignisse wurde auf die Anzahl der Phasen bezogen. Die Anzahl der Phasen beruht wiederum auf der Anzahl der Kälber, die in den jeweiligen Phasen in den Versuch eingeschlossen waren. Somit wurde bei der Auswertung das verfrühte Ausscheiden von Kälbern berücksichtigt. In der RES Gruppe wurde in 14 von 133 Phasen (10,5 %) aufgrund klinischer Anzeichen einer Pneumonie behandelt im Vergleich zu 5 von 138 Phasen (3,6 %), in denen in der ADL Gruppe eine Behandlung erforderlich war. Dies zeigt, dass die RES Gruppe über den

gesamten Versuchszeitraum signifikant häufiger gegen Pneumonie behandelt werden musste als die ADL Gruppe ( $p = 0,032$ ). Wohingegen bei der Betrachtung der jeweils einzelnen Phasen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden konnten. In der RES Gruppe wurde in 8 von 133 Phasen (6,0 %) infolge eines Durchfallgeschehens behandelt. Ähnlich verhielt es sich in der ADL Gruppe, in der in 8 von 139 Phasen (5,8 %) eine Behandlung erforderlich war. Somit ergaben sich keine signifikanten Differenzen.

**Tabelle 9: Anzahl der Behandlungsereignisse von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern unter Berücksichtigung des Geschlechts und des Versuchsabschnitts**

Lebenstag	Gruppe	Pneumonie		Durchfall	
		männlich	weiblich	männlich	weiblich
1 - 56	ADL	3	2	6	1
	RES	2	8	4	4
56 - 112	ADL	-	0	-	1
	RES	-	4	-	0

Die Tabelle 9 stellt eine Übersicht über die Anzahl der Behandlungsereignisse von ADL und RES Kälbern unter Berücksichtigung des Geschlechts und des Versuchsabschnitts dar. Aufgrund der geringen Fallzahl infolge der Untergruppierungen wurde keine statistische Berechnung durchgeführt. Allerdings wurde in der deskriptiven Statistik deutlich, dass RES Kuhkälber häufiger aufgrund klinischer Anzeichen einer Pneumonie behandelt werden mussten als ADL Kuhkälber. Bei den Bullenkälbern gab es keine deutlichen Unterschiede hinsichtlich der Anzahl der Behandlungsereignisse. Behandlungen aufgrund von Durchfall erfolgten hauptsächlich im ersten Versuchsabschnitt (Lebenstag 1 – 56).

## 6. Blutparameter

Die Konzentrationen der Blutparameter der beiden Gruppen unterschieden sich bei der ersten Probenentnahme am dritten Lebenstag nicht signifikant voneinander. Eine ad libitum Tränke ging mit veränderten Konzentrationen von IGF-I, BHB, Triglyceride, LDH und NEFA einher. Darüber hinaus wies das rote Blutbild Unterschiede auf. Betroffen waren die Erythrozyten, der Hämatokrit und die Erythrozytenindizes (MCV, MCH und MCHC). Hingegen blieben IgG, TP,  $\gamma$ -GT, GLDH, Harnstoff, Glukose

und Eisen vom Fütterungsregime unbeeinflusst.

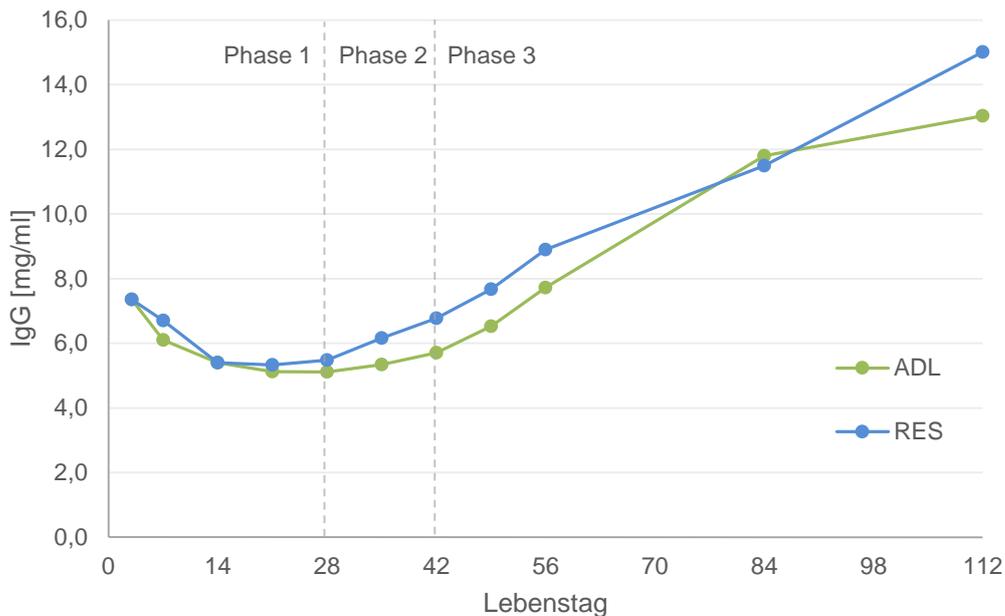
### 6.1. Immunglobulin G

Bei der Untersuchung der IgG Konzentration der ersten Probenentnahme (24 - 72 Stunden post natum) wurde das Einzeltier betrachtet, um die Versorgung mit kolostralem IgG festzustellen. Es wurden drei Konzentrationsbereiche unterschieden (Kaske und Kunz, 2003). In Anlehnung an die Studie von Weingand (2015) waren Kälber ausreichend versorgt, wenn IgG Konzentrationen  $\geq 10,0$  mg/ml vorlagen, ein partieller Failure of passive transfer (pFPT) lag bei Konzentrationen zwischen 5,1-9,9 mg/ml vor. Konzentration  $\leq 5,0$  mg/ml galten als FPT. Insgesamt wiesen 18 Tiere (20,2 %) eine ausreichende Versorgung auf, 46 Kälber (51,7 %) waren partiell mit Immunglobulinen versorgt und 25 Kälber (28,1 %) waren nicht ausreichend versorgt. Die Anzahl der Tiere und ihre Versorgung innerhalb der beiden Gruppen ist der Tabelle 10 zu entnehmen. Die Gruppen unterschieden sich nicht signifikant hinsichtlich der Verteilung in die einzelnen Konzentrationsbereiche. Betrachtete man die Versorgung geschlechtsspezifisch innerhalb der Gruppen, wurde weder in der RES Gruppe ( $p = 0,557$ ) noch in der ADL Gruppe ( $p = 0,075$ ) ein signifikanter Unterschied nachgewiesen.

**Tabelle 10: Häufigkeiten (n) und Verteilung (%) der Kälber hinsichtlich der Immunglobulinkonzentration im Serum (mg/ml) in der ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Gruppe**

	kein FPT		pFPT		FPT		<i>p</i>
	$\geq 10,0$ mg/ml		5,1-9,9 mg/ml		$\leq 5,0$ mg/ml		
<i>Gruppe</i>	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	
ADL	10	21,7	24	52,2	12	26,1	0,883
RES	8	18,6	22	51,2	13	30,2	

Die Abbildung 8 zeigt den zeitlichen Verlauf der mittleren IgG Konzentration.

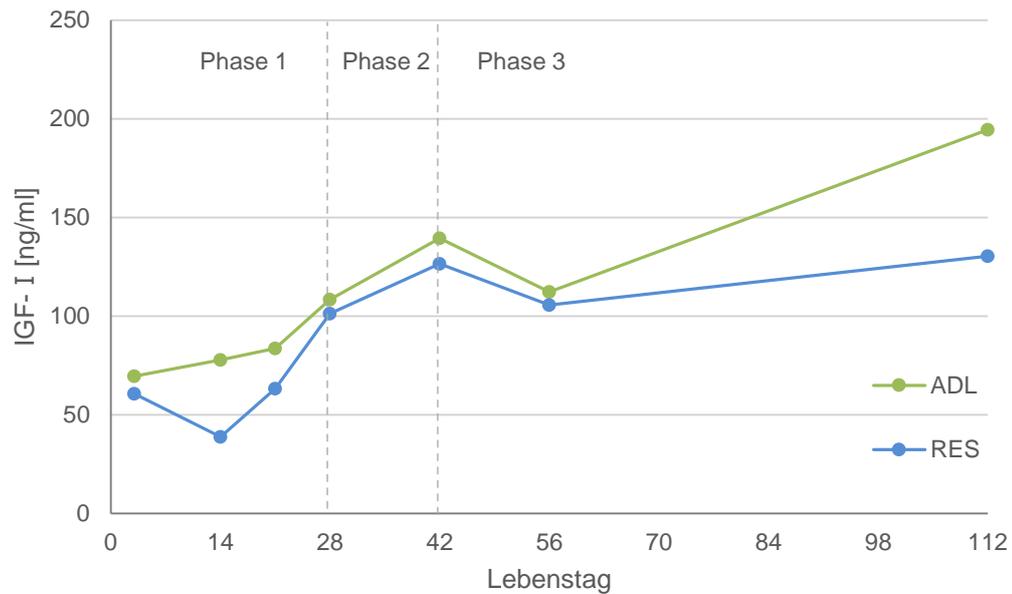


**Abbildung 8:** Zeitlicher Verlauf der mittleren IgG Konzentration im Serum vom 3. bis zum 112. Lebenstag in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern (n = 89; 84. bis 112. Lebenstag n = 47)

Die mittlere IgG Konzentration nahm in der RES Gruppe bis zum 21. Lebenstag und in der ADL Gruppe bis zum 28. Lebenstag ab. Anschließend wurden in beiden Gruppen steigende Konzentrationen bis zum Versuchsende beobachtet. In keiner der untersuchten Phasen unterschied sich der AUC-Wert signifikant zwischen den Gruppen.

## 6.2. Insulin-like growth factor-I

Der zeitliche Verlauf der mittleren IGF-I Konzentration im Serum ist in der Abbildung 9 dargestellt. Es fiel auf, dass die Konzentration in der ADL Gruppe von Beginn an bis Tag 42 zunahm. In der RES Gruppe hingegen fiel die Konzentration bis zum 14. Tag ab und stieg anschließend ebenfalls bis zum 42. Lebenstag an. Von Tag 42 bis 56 wurden in beiden Gruppen abnehmende Werte beobachtet. Am 112. Lebenstag wurden in beiden Gruppen die durchschnittlichen Höchstwerte beobachtet, wobei die ADL Kälber einen signifikant höheren Wert als die RES Kälber aufwiesen ( $p = 0,003$ ;  $r = 0,44$ ).

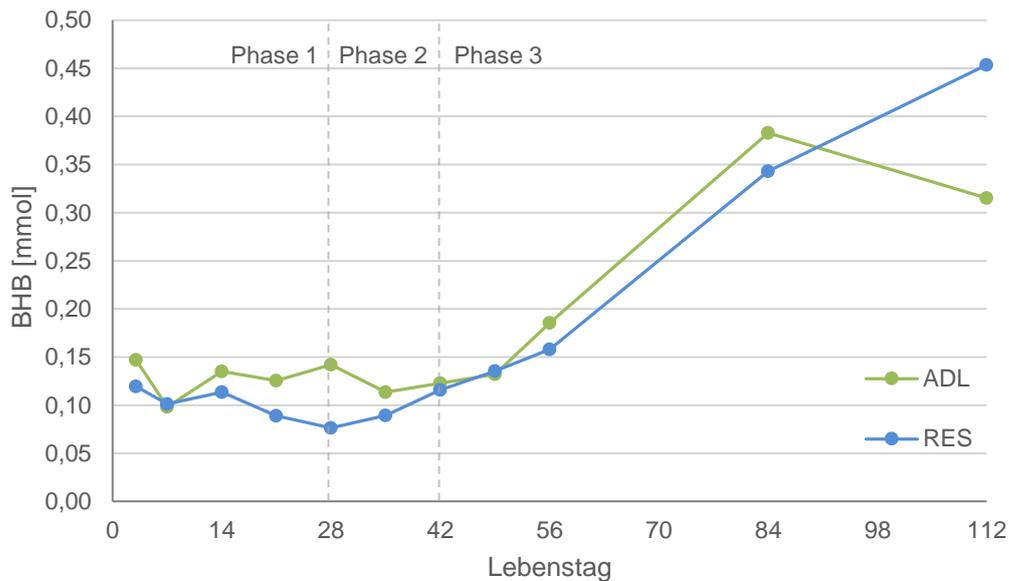


**Abbildung 9: Verlauf der mittleren IGF- I Konzentration im Serum vom 3. bis zum 112. Lebenstag in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Fleckviehkälbern (n = 89; 112. Lebenstag n = 47)**

In der Phase 1 wurde für die ADL Kälber ein signifikant höherer AUC-Wert berechnet ( $p = 0,004$ ), der einen mittleren Effekt ( $r = 0,31$ ) aufwies. Im weiteren Verlauf (Tag 28 - 42 und Tag 42 - 56) unterschieden sich die AUC-Werte der Gruppen nicht signifikant voneinander. Allerdings war der AUC-Wert der ADL Kuhkälber für den Zeitraum vom Abtränken (Lebenstag 42) bis zum Versuchsende (Lebenstag 112) signifikant höher als der Wert der Kontrollgruppe ( $p = 0,014$ ;  $r = 0,36$ ). Darüber hinaus korrelierte IGF-I signifikant mit dem Körpergewicht ( $r_{sp} = 0,601$ ;  $p < 0,001$ ) und den Zunahmen ( $r_{sp} = 0,659$ ;  $p < 0,001$ ) der Kälber.

### 6.3. $\beta$ -Hydroxybutyrat

Eine Übersicht über den zeitlichen Verlauf der mittleren BHB Konzentration im Serum bietet die Abbildung 10. In den ersten Lebenswochen war die Konzentration beider Gruppen relativ niedrig, wobei die Werte der ADL Kälber auf einem höheren Level verliefen. Ab dem 42. Lebenstag stiegen die Konzentrationen in beiden Gruppen relativ gleichförmig an.

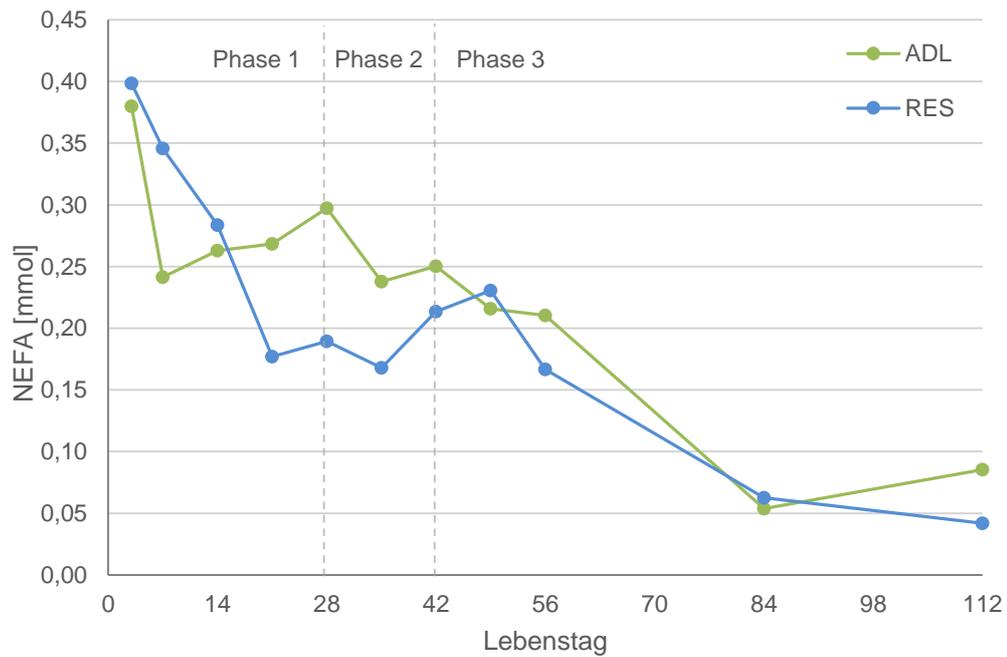


**Abbildung 10: Zeitlicher Verlauf der mittleren  $\beta$ -Hydroxybutyrat (BHB) Konzentration im Serum vom 3. bis zum 112. Lebenstag in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern (n = 89; 84. bis 112. Lebenstag n = 47)**

Die AUC-Werte der ADL Gruppe waren in der Phase 1 ( $p = 0,002$ ) und Phase 2 ( $p = 0,003$ ) im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant höher. Die Effekte zwischen den Gruppen waren in der Phase 1 ( $r = 0,33$ ) und 2 ( $r = 0,32$ ) von mittlerer Größe. Im weiteren Verlauf wurden hinsichtlich der AUC-Werte im Vergleich der beiden Gruppen keine signifikanten Differenzen festgestellt.

#### 6.4. Non-esterfied-fatty-acids

Der zeitliche Verlauf der mittleren NEFA Konzentration im Serum ist in der Abbildung 11 dargestellt. Die zunächst hohen Werte der ersten Beprobung nahmen in beiden Gruppen ab. Ein Absinken der NEFA Konzentration wurde bei RES Kälbern bis zum 21. Lebenstag beobachtet. In der ADL Gruppe zeigte sich hingegen ab dem 7. Lebenstag eine steigende Tendenz, so dass der weitere Verlauf gegenläufig erschien. Ab dem 49. Lebenstag wurden in beiden Gruppen abnehmende Werte beobachtet.



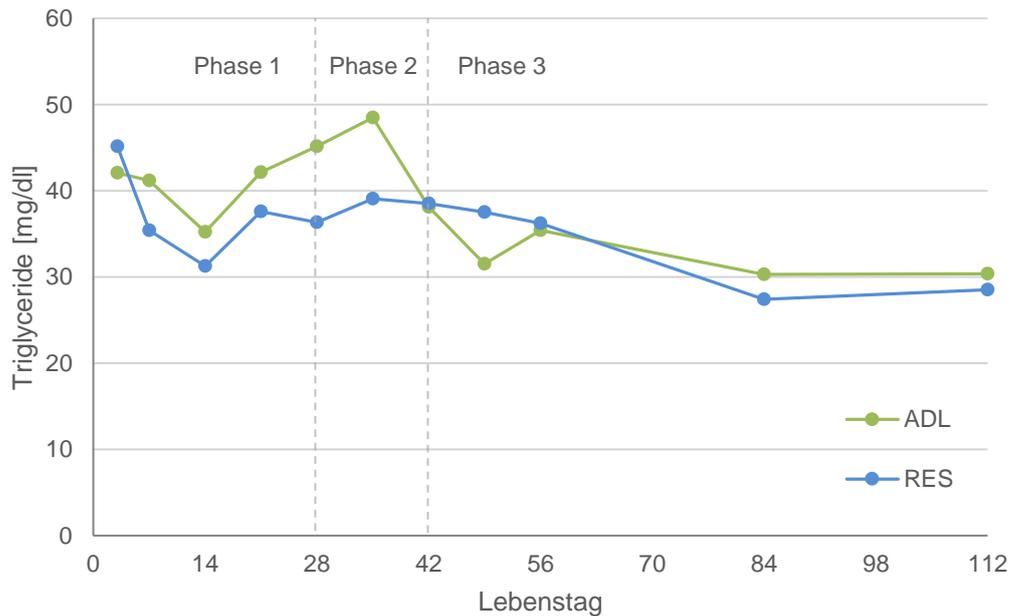
**Abbildung 11: Zeitlicher Verlauf der mittleren Non-esterified-fatty-acids (NEFA) Konzentration im Serum vom 3. bis zum 112. Lebenstag in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern (n = 89; 84. bis 112. Lebenstag n = 47)**

Der AUC-Wert war in der Phase 2 in der ADL Gruppe signifikant höher als in der Kontrollgruppe ( $p < 0,001$ ). Zugleich war der berechnete Effekt groß ( $r = 0,48$ ). Von Lebenstag 1 - 28 und Lebenstag 42 - 56 unterschieden sich die AUC-Werte der Gruppen nicht signifikant voneinander. Der AUC-Wert der ADL Kuhkälber war für den Zeitraum vom Abtränken (Lebenstag 42) bis zum Versuchsende (Lebenstag 112) signifikant höher als der Wert der RES Gruppe ( $p = 0,030$ ;  $r = 0,32$ ).

### 6.5. Triglyceride

Der zeitliche Verlauf der mittleren Triglyceridkonzentration im Serum ist der Abbildung 12 zu entnehmen. In beiden Gruppen nahmen die Werte bis zum 14. Lebenstag ab, wobei das Absinken der Werte in der RES Gruppe deutlicher war. Im weiteren Verlauf stiegen die Werte in beiden Gruppen an. In der ADL Gruppe stiegen die Konzentrationen bis zum 35. Lebenstag an. In der RES Gruppe wurden steigende Werte nur bis zum 21. Lebenstag beobachtet und der weitere Verlauf war bis zum 56. Lebenstag relativ stabil, während die Werte in der ADL Gruppe ab dem 35. Tag bis zum 49. Tag abnahmen. Im Vergleich zu den RES Kälbern wiesen die ADL Kälber in der Phase 1 ( $p = 0,031$ ) und Phase 2

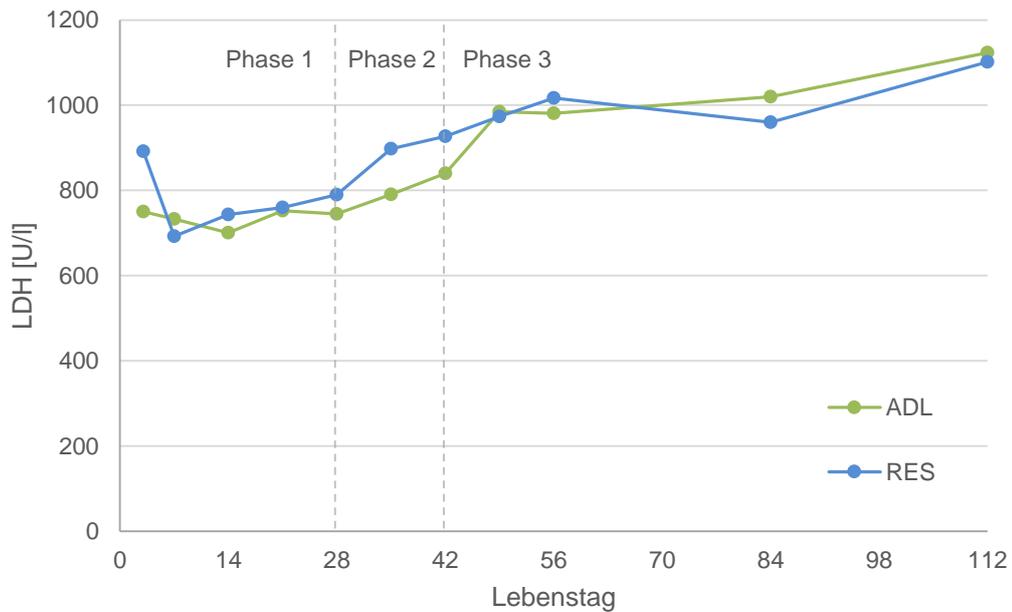
( $p = 0,021$ ) signifikant höhere AUC-Werte auf. Die Effektgröße zwischen den Gruppen war in der Phase 1 ( $r = 0,23$ ) und Phase 2 ( $r = 0,24$ ) klein.



**Abbildung 12:** Zeitlicher Verlauf der mittleren Triglyceridwerte im Serum vom 3. bis zum 112. Lebenstag in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern ( $n = 89$ ; 84. bis 112. Lebenstag  $n = 47$ )

### 6.6. Laktatdehydrogenase

In der Abbildung 13 ist der zeitliche Verlauf der mittleren LDH Aktivität im Serum dargestellt. Die mittlere LDH Aktivität zeigte in beiden Gruppen einen ähnlichen Verlauf. Dem Absinken der Aktivität bis zum 7. Lebenstag in der RES Gruppe und bis zum 14. Lebenstag in der ADL Gruppe, folgte eine steigende Tendenz bis zum Versuchsende (Lebenstag 112). Der AUC-Wert unterschied sich ausschließlich in der Phase 2 signifikant zwischen den Kälbern der Gruppe RES und ADL ( $p = 0,007$ ) und wies einen mittleren Effekt auf ( $r = 0,28$ ).

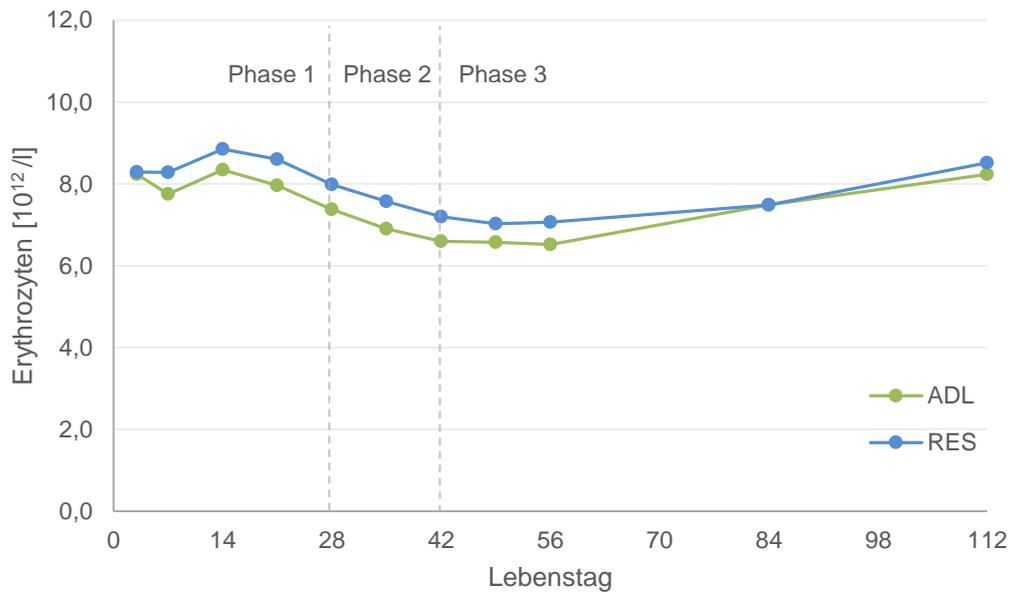


**Abbildung 13: Zeitlicher Verlauf der mittleren Laktatdehydrogenase (LDH) Aktivität im Serum vom 3. bis zum 112. Lebenstag in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern (n = 89; 84. bis 112. Lebenstag n = 47)**

## 6.7. Rotes Blutbild

### Erythrozyten

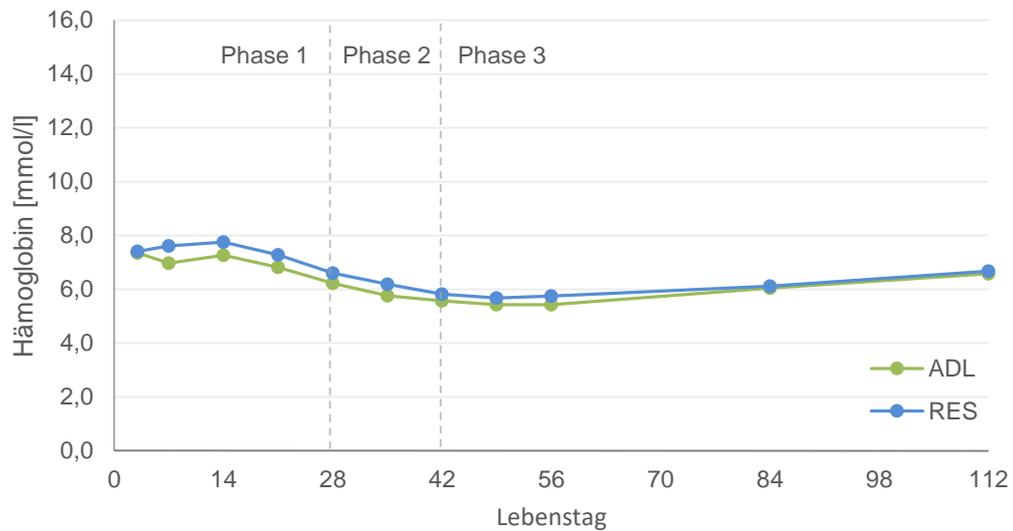
Der zeitliche Verlauf der mittleren Erythrozytenanzahl wird in der Abbildung 14 dargestellt. Die mittlere Erythrozytenanzahl nahm in der RES Gruppe bis zum 14. Lebenstag geringgradig zu. In der ADL Gruppe wurde zunächst ein Absinken der Werte beobachtet, bevor ebenfalls ein leichter Anstieg bis zum 14. Lebenstag festzustellen war. Bis zum 56. Lebenstag nahm die mittlere Erythrozytenanzahl ab und der Verlauf in den beiden Gruppen war nahezu parallel, wobei die Werte der RES Gruppe ein höheres Level aufwiesen. Anschließend nahm die mittlere Erythrozytenanzahl in beiden Gruppen bis zum Versuchsende auf gleiche Weise zu. Die RES Kälber wiesen in der Phase 2 einen signifikant höheren AUC-Wert auf als die Versuchsgruppe ( $p = 0,045$ ;  $r = 0,21$ ).



**Abbildung 14: Zeitlicher Verlauf der mittleren Erythrozytenanzahl vom 3. bis zum 112. Lebenstag in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern (n = 89; 84. bis 112. Lebenstag n = 47)**

### Hämoglobin

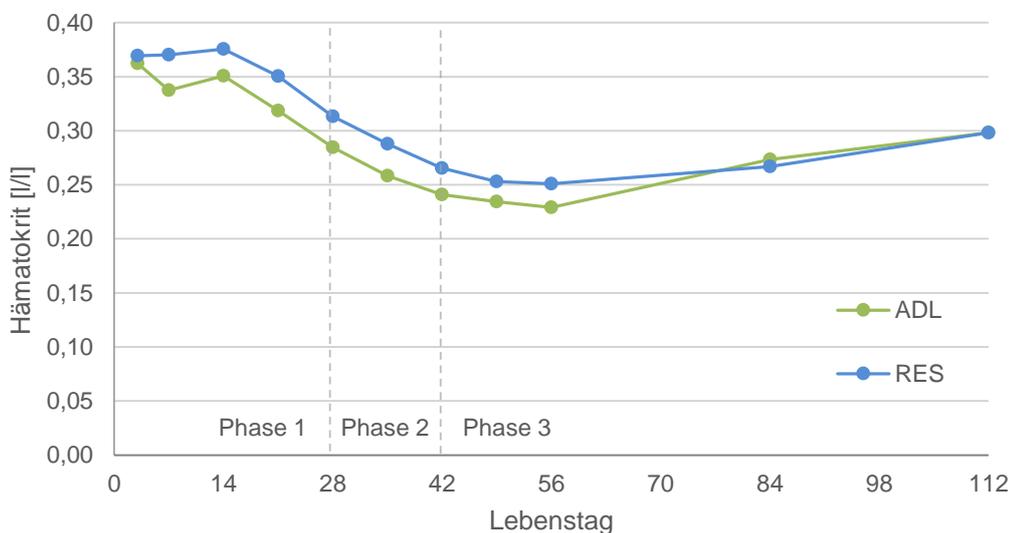
In der Abbildung 15 ist der zeitliche Verlauf der mittleren Hämoglobinkonzentration dargestellt. In keiner der untersuchten Phasen unterschied sich der AUC-Wert signifikant zwischen den Gruppen. Die mittlere Hämoglobinkonzentration nahm in der RES Gruppe bis zum 14. Lebenstag geringgradig zu. In der ADL Gruppe wurde zunächst ein Absinken der Werte beobachtet, bevor ebenfalls ein leichter Anstieg bis zum 14. Lebenstag festzustellen war. Bis zum 49. Lebenstag nahm die mittlere Hämoglobinkonzentration ab und der Verlauf in den beiden Gruppen war nahezu parallel, wobei die Werte der RES Gruppe ein höheres Level aufwiesen. Anschließend nahm die mittlere Hämoglobinkonzentration in beiden Gruppen bis zum Versuchende auf gleiche Weise zu.



**Abbildung 15:** Zeitlicher Verlauf der mittleren Hämoglobinkonzentration vom 3. bis zum 112. Lebenstag in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern (n = 89; 84. bis 112. Lebenstag n = 47)

### Hämatokrit

Eine Übersicht über den zeitlichen Verlauf des durchschnittlichen Hämatokrits ist in der Abbildung 16 dargestellt.



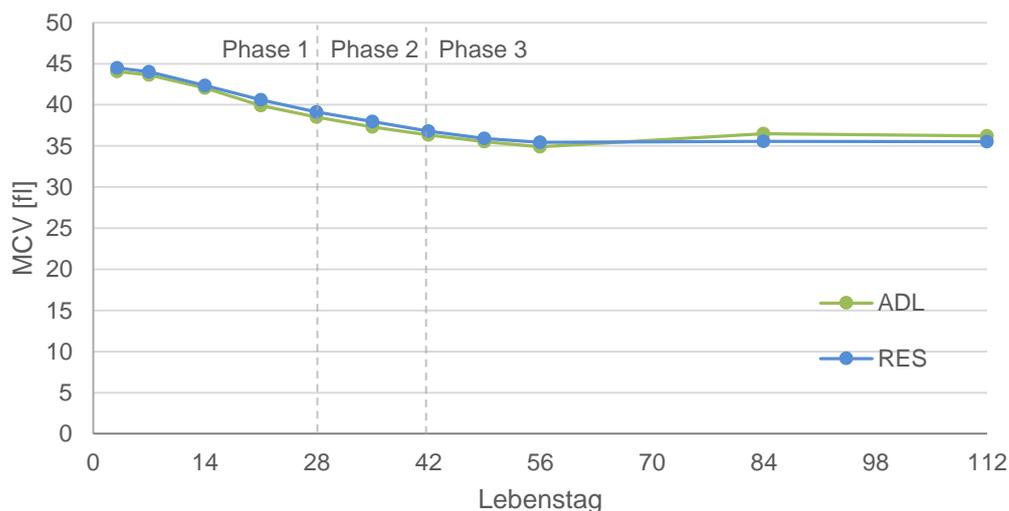
**Abbildung 16:** Zeitlicher Verlauf der mittleren Hämatokrits vom 3. bis zum 112. Lebenstag in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern (n = 89; 84. bis 112. Lebenstag n = 47)

Der Verlauf des mittleren Hämatokrits war dem Verlauf der mittleren Erythrozytenanzahl beinahe identisch. Der AUC-Wert unterschied sich in

der Phase 1 ( $p = 0,035$ ;  $r = 0,22$ ) und Phase 2 ( $p = 0,023$ ;  $r = 0,024$ ) signifikant zwischen den Gruppen. Dabei wiesen die Kälber der RES Gruppe signifikant höhere AUC-Werte auf.

### MCV

Der zeitliche Verlauf des mittleren MCV wird in der Abbildung 17 dargestellt. Der mittlere MCV nahm bis zum 56. Lebenstag in beiden Gruppen ab. Anschließend zeigte der mittlere MCV in beiden Gruppen eine zunehmende Tendenz. Der AUC-Wert unterschied sich vom 28. bis zum 42. Lebenstag ( $p = 0,033$ ;  $r = 0,23$ ) und vom 42. bis zum 56. Lebenstag ( $p = 0,040$ ;  $r = 0,22$ ) signifikant zwischen den Gruppen, wobei die Effektgröße klein war.

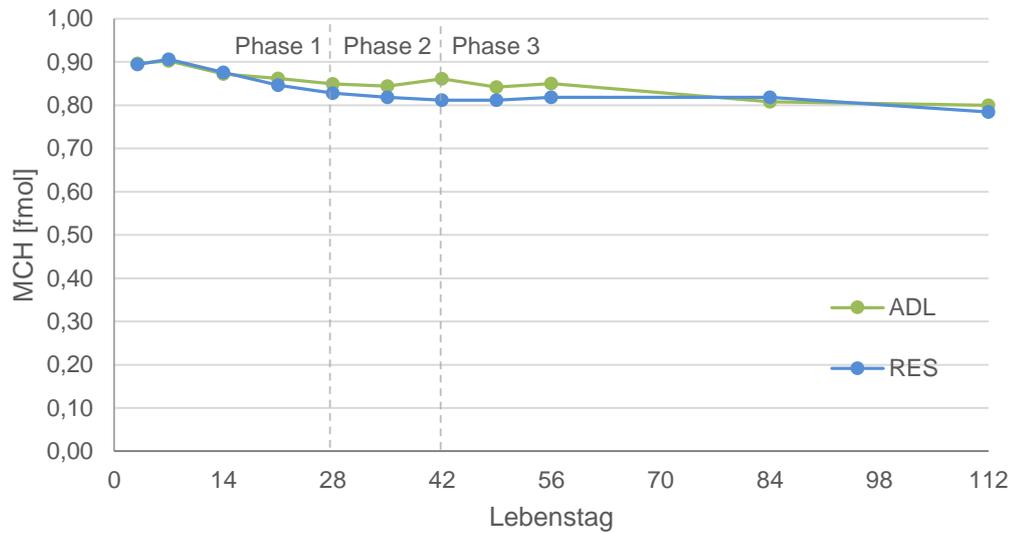


**Abbildung 17: Zeitlicher Verlauf des mittleren Erythrozytenvolumens (MCV) vom 3. bis zum 112. Lebenstag in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern (n = 89; 84. bis 112. Lebenstag n = 47)**

### MCH

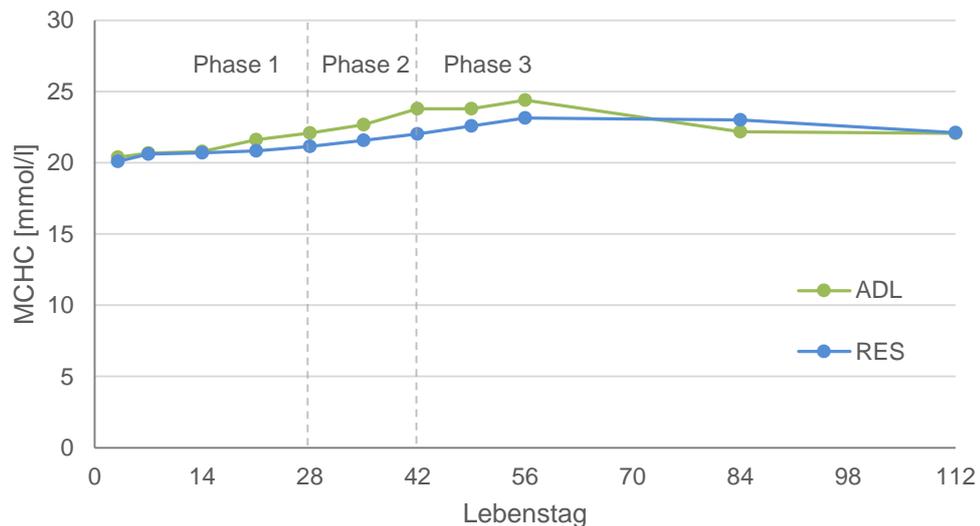
Eine Übersicht über den zeitlichen Verlauf des mittleren MCH ist der Abbildung 18 zu entnehmen. Insgesamt war der Verlauf in beiden Gruppen sehr ähnlich und relativ stabil und unterlag keinen deutlichen Schwankungen. Zunächst war in beiden Gruppen ein Anstieg des mittleren MCH zu beobachten, bevor die Werte abnahmen. Es fiel auf, dass die Werte in der ADL Gruppe zeitweise auf einem höheren Niveau

verliefen. Dies äußerte sich vom 28. bis zum 42. Lebenstag in einem signifikant höheren AUC Wert ( $p = 0,034$ ;  $r = 0,22$ ).



**Abbildung 18:** Zeitlicher Verlauf der mittleren Hämoglobinkonzentration der Einzelerythrozyten (MCH) vom 3. bis zum 112. Lebenstag in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern ( $n = 89$ ; 84. bis 112. Lebenstag  $n = 47$ )

### MCHC



**Abbildung 19:** Zeitlicher Verlauf der mittleren Hämoglobinkonzentration der Erythrozyten (MCHC) vom 3. bis zum 112. Lebenstag in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern ( $n = 89$ ; 84. bis 112. Lebenstag  $n = 47$ )

In beiden Gruppen wurden bis zum 56. Lebenstag steigende Konzentrationen beobachtet, bevor die Werte abnahmen. Es fiel auf, dass

die Werte in der ADL Gruppe zeitweise auf einem höheren Niveau verliefen. Dies äußerte sich vom 28. bis zum 42. Lebensjahr ( $p = 0,007$ ;  $r = 0,28$ ) und vom 42. bis zum 56. Lebensjahr ( $p = 0,028$ ;  $r = 0,23$ ) in einem signifikant höheren AUC Wert.

## **V. DISKUSSION**

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, Futteraufnahme, Gewichtsentwicklung, Gesundheitsstatus und ausgewählte Blutparameter ad libitum und restriktiv getränkter Kälber der Rasse Fleckvieh zu vergleichen. Bisher untersuchten die meisten Studien entweder weibliche oder männliche Kälber der Rasse Holstein oder Kreuzungen dieser Rasse (Hammon et al., 2002; Jasper und Weary, 2002; Maccari, 2012). In die vorliegende Studie wurden männliche und weibliche Kälber aufgenommen. Dies ermöglichte bei gleicher Fütterung das Wachstum der Kälber geschlechtsspezifisch innerhalb der Studiengruppen zu untersuchen.

### **1. Milchaufnahme**

Kälber werden bei restriktiver Fütterung nur knapp über dem Erhaltungsbedarf versorgt (Davis und Drackley, 1998). Demgegenüber werden bei muttergebundener Aufzucht hohe Milchaufnahmen beobachtet (De Passillé et al., 2008). In einigen Untersuchungen, in denen Kälbern Milch oder Milchaustauscher ad libitum angeboten wurde, konnte gezeigt werden, dass Kälber deutlich mehr Milch aufnahmen, als üblicherweise bei restriktiver Tränke vorgesehen (Appleby et al., 2001; Hammon et al., 2002; Jasper und Weary, 2002; Vieira et al., 2008; Borderas et al., 2009; Maccari, 2012). Dies deckt sich mit den Beobachtungen der eigenen Studie. Die ADL Kälber, denen Milch zur freien Aufnahme zur Verfügung stand, nahmen in der Phase 1 signifikant mehr Milch auf als die RES Kälber. In der eigenen Untersuchung wurden in den ersten vier Lebenswochen durchschnittliche tägliche Milchaufnahmen von 7,3 kg nachgewiesen. Demgegenüber nahmen in anderen Studien ad libitum getränkte Kälber um die 10 kg Milch am Tag auf (Appleby et al., 2001; Jasper und Weary, 2002; Maccari, 2012). Die geringeren Milchaufnahmen sind möglicherweise darauf zurückzuführen, dass sich die Kälber in der Phase 1 sowohl an eine neue Umgebung als auch an eine neue Nahrungsquelle gewöhnen mussten. Denn mit der Umstallung am 15. Lebenstag von der Einzelbox in die Gruppenhaltung wurde gleichzeitig

von angesäuerter auf süße Vollmilch und von Eimer- auf Automatentränke umgestellt. Besondere Berücksichtigung erfordern reduzierte Milchaufnahmen der ADL und RES Kälber in der zweiten Lebenswoche. Dieses Absinken der Milchaufnahme wurde in beiden Gruppen beobachtet und war einem Durchfallgeschehen geschuldet. Allerdings fiel das Absinken der Milchaufnahme in der ADL Gruppe deutlicher aus. Möglicherweise sank die Milchaufnahme bei den RES Kälbern nicht so deutlich wie in der ADL Gruppe, weil die Kälber bei restriktiver Milchtränke ohnehin nur knapp über dem Erhaltungsbedarf versorgt werden (Davis und Drackley, 1998). Das Durchfallgeschehen dauerte in beiden Gruppen bis zum Ende der Phase 1 (28. Lebenstag) an und könnte dafür verantwortlich sein, dass die Milchaufnahme trotz ad libitum Angebot nicht höher ausfiel. In der vorliegenden Studie wurde in der Phase 1 beobachtet, dass die Kälber die ad libitum Tränke unterschiedlich nutzten. Einige Kälber nahmen deutlich mehr Milch auf als andere. Dies stimmt mit den Ergebnissen von Appleby et al. (2001) und Maccari (2012) überein, in deren Studien ebenfalls große individuelle Unterschiede bei der Milchaufnahme festgestellt wurden.

In der Phase 2 wiesen die ADL Kälber ebenfalls noch signifikant höhere Milchaufnahmen auf als die RES Kälber. Von Lebenstag 42 - 56 nahmen hingegen die RES Kälber signifikant mehr Milch auf als die ADL Kälber. Allerdings war die berechnete Effektgröße klein. Darüber hinaus stand ab dem 42. Lebenstag beiden Gruppen 8 kg Milch/Tag zu, beide Gruppen wurden gleichermaßen abgetränkt und die Differenz der mittleren täglichen Milchaufnahme in diesem Zeitraum erschien mit 0,2 kg vernachlässigbar gering. In der vorliegenden Studie konnten innerhalb der Gruppen in keiner Phase signifikante geschlechtsspezifische Differenzen hinsichtlich der Milchaufnahme festgestellt werden.

## **2. Automatenbesuche**

Am 15. Lebenstag erfolgte die Umstellung der Kälber in die Gruppenhaltung. Folglich wurden die Besuche mit und ohne Tränkeaufnahme am Tränkeautomaten erfasst. Bis zum Ende der Tränkeperiode am 70. Lebenstag wurden für die ad libitum getränkten

Kälber im Vergleich zu den restriktiv getränkten Kälbern signifikant mehr Besuche am Automaten mit Tränkeaufnahme beobachtet. Grund dafür waren die Einstellungen am Tränkeautomaten, die der ADL Gruppe eine höhere Fütterungsfrequenz ermöglichten und damit einer natürlichen Aufzucht näher kamen. Bis zum 42. Lebenstag besuchten die restriktiv getränkten Kälber signifikant häufiger als ad libitum getränkte Kälber den Tränkeautomaten ohne Anrecht zur Tränkeaufnahme. Im Mittel bis zu neunmal am Tag besuchten RES Kälber ohne Anrecht zur Tränkeaufnahme den Automaten, während für ADL Kälber nur bis zu zwei Besuche ohne Anrecht zur Tränkeaufnahme am Tag erfasst wurden. Ab dem 42. Lebenstag ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede mehr zwischen der Kontroll- und der Versuchsgruppe hinsichtlich der Automatenbesuche ohne Tränkeanrecht. Ab dem 42. Lebenstag wurden beide Gruppen gleichermaßen abgetränkt, daher besuchten nun auch die ADL Kälber häufig ohne Anrecht auf Milchtränke den Automaten. Bei der Betrachtung des Verlaufes der unbelohnten Automatenbesuche, fiel auf, dass die ADL Kälber bereits ab dem 35. Lebenstag zunehmend ohne Anrecht den Automaten besuchten. Daraus kann geschlossen werden, dass sich die Reduzierung des Milchangebots (ab dem 28. Lebenstag) ab dem 35. Lebenstag bemerkbar machte. Unbelohnte Automatenbesuche spiegeln die Motivation zur Milchaufnahme der Kälber wider (Hammon et al., 2002; Jensen und Holm, 2003; Nielsen et al., 2008; Vieira et al., 2008; Borderas et al., 2009). Bezugnehmend auf diese Untersuchungen, kann in der eigenen Studie von einem ähnlichen Effekt ausgegangen werden. Das Bedürfnis zur Milchaufnahme konnte im Rahmen der vorliegenden Studie in beiden Gruppen nicht zu jeder Zeit ausreichend befriedigt werden. Die unbelohnten Automatenbesuche waren insbesondere in den ersten Lebenswochen in der RES Gruppe kritisch zu betrachten. In dieser Zeit war die Krafftfutteraufnahme der Kälber beider Gruppen vernachlässigbar gering und die Tiere waren auf die Milchfütterung angewiesen, um ihren Energiebedarf zu decken. Laut Borderas et al. (2009) verursacht eine restriktive Fütterung in den ersten drei Lebenswochen ein gesteigertes Hungergefühl und beeinträchtigt das Wohlergehen der Tiere. Gegen Ende der Tränkeperiode nahm die mittlere Anzahl der unbelohnten

Automatenbesuche in beiden Gruppen ab. Es kann vermutet werden, dass mit zunehmender Festfutteraufnahme die Motivation zur Milchaufnahme abnahm.

Hinzu kommt, dass durch die unbelohnten Automatenbesuche der Tränkeautomat von den Kälbern besetzt wurde und dadurch die Anzahl der Kälber, die mittels Tränkeautomat versorgt werden können, begrenzt wurde (Borderas et al., 2009). Es kann in der eigenen Studie von einem ähnlichen Effekt ausgegangen werden. Allerdings wurde nur die Anzahl der unbelohnten Automatenbesuche erfasst und nicht wie lange die Kälber tatsächlich in dem Automaten verblieben.

### **3. Krafffutteraufnahme**

In der vorliegenden Studie war die Krafffutteraufnahme in den ersten Lebenswochen unabhängig vom Fütterungsregime gering. Dies stimmt mit den Beobachtungen von Maccari et al. (2015) überein, die die Krafffutteraufnahme ad libitum und restriktiv getränkter Kälber in den ersten vier Lebenswochen als vernachlässigbar einstufte. Allerdings stieg in der eigenen Studie die Krafffutteraufnahme erst später (ab dem 42. Lebenstag) als bei Maccari et al. (2015) an. Eine Erklärung dafür könnte darauf beruhen, dass die angebotene Milchmenge deutlich später reduziert wurde. Während in der vorliegenden Studie beide Gruppen ab dem 42. Lebenstag bis zum 70. Lebenstag von 8 L auf 0 L abgetränkt wurden, wurde in der Studie von Maccari et al. (2015) in beiden Gruppen die Milchmenge bereits ab dem 29. Lebenstag bis zum 70. Lebenstag von 6 L auf 2 L reduziert. In einigen Studien wurde berichtet, dass Kälber, die intensiver getränkt wurden, eine signifikant geringere Krafffutteraufnahme als restriktiv getränkte Kälber aufwiesen (Bar-Peled et al., 1997; Shamay et al., 2005; Quigley et al., 2006; Morrison et al., 2009; Raeth-Knight et al., 2009; Rincker et al., 2011; Kiezebrink et al., 2015). Dies steht im Gegensatz zu den eigenen Ergebnissen bezüglich der Krafffutteraufnahme, die sich zwischen den Kälbern der beiden Gruppen nicht signifikant unterschied und somit durch das Fütterungsregime unbeeinflusst blieb. Eine mögliche Erklärung bietet eine Studie von Kiezebrink et al. (2015), laut dieser Kälber bevorzugt Milch aufnahmen,

weshalb bereits bei einer Fütterung von acht Litern Vollmilch am Tag die tägliche Krafffutteraufnahme gering ausfiel. In der vorliegenden Studie erhielt die RES Gruppe bereits ab dem 21. Lebenstag 8 L Milch/Tag. Möglicherweise war die Milchmenge der RES Gruppe zu groß gewählt, um die Krafffutteraufnahme zu forcieren und eine signifikant größere Krafffutteraufnahme zu erreichen.

#### **4. Gewichtsentwicklung**

Zu Studienbeginn bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den durchschnittlichen Geburtsgewichten der Tiere der Versuchsgruppen. In der Phase 1 wiesen die ADL Kälber signifikant höhere mittlere Tageszunahmen auf als die RES Kälber. Daraus ergab sich am 28. Lebenstag ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich des Körpergewichts. Dies stimmt mit den Ergebnissen von Maccari (2012) und Jasper und Weary (2002) überein, in deren Studien die Gewichtsentwicklung im Rahmen einer ad libitum Tränke ebenfalls gesteigert werden konnte. Allerdings waren die Zunahmen der ADL Kälber in der eigenen Arbeit geringer als in vergleichbaren Studien (Hepola et al., 2008; Maccari, 2012). Vermutlich war dies der Durchfallproblematik in der Phase 1 geschuldet. Wird die Gewichtsentwicklung in Zusammenhang mit der Futteraufnahme betrachtet, fällt auf, dass in der Phase 2 die ADL Kälber zwar signifikant mehr Milch aufnahmen und signifikant höhere Zunahmen aufwiesen als RES Kälber, jedoch möglicherweise in Folge der bereits stufenweise reduzierten Milchmenge geringer werdende Zunahmen aufwiesen. Somit waren in der sechsten Lebenswoche die Zunahmen der ADL Gruppe vergleichbar der Kontrollgruppe. Bei gleichzeitiger Betrachtung des Tränkeplans ist dieser Effekt nachzuvollziehen, weil den Kälbern unabhängig von der Gruppe ab diesem Zeitpunkt gleichermaßen 8 L Milch zustanden. Von Lebenstag 42 bis 56 nahmen die RES Kälber signifikant mehr Milch auf, dabei war die Effektgröße zwischen den Gruppen klein und diese Mehraufnahme von Milch reichte nicht für signifikant höhere Zunahmen aus. Somit wiesen die ADL Kälber an Lebenstag 42 und 56 nach wie vor ein signifikant höheres Körpergewicht auf, jedoch war der Effekt zwischen den Gruppen nur noch von mittlerer Größe.

Gegenteilig zur eigenen Untersuchung, die vom 42. bis zum 56. Lebenstag keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der AUC-Werte der Zunahmen zwischen den Studiengruppen nachwies, wurde bei Rincker et al. (2011) und Bar-Peled et al. (1997) bei Kälbern, die intensiv mit Milch oder Milchaustauscher aufgezogen wurden, um den Zeitpunkt des Absetzens geringere Gewichtszunahmen festgestellt als bei konventionell gefütterten Kälbern. Laut Bar-Peled et al. (1997) war das Absetzen von der Milch und die damit erforderliche Gewöhnung an Festfutter für ehemals intensiv aufgezogene Tiere möglicherweise mit mehr Stress verbunden. Rincker et al. (2011) nahmen an, dass die konventionell aufgezogenen Kälber einen weiter entwickelten Pansen aufwiesen und sich daher nach dem Absetzen besser entwickelten. Entgegen dieser Ergebnisse, konnte in der vorliegenden Studie kein deutlicher Einbruch in der Entwicklung der ADL Gruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe festgestellt werden. Möglicherweise wirkte sich das stufenweise Absetzen der Tiere vorteilhaft aus, wie es zuvor bereits in anderen Studien beschrieben wurde (Khan et al., 2007a; Khan et al., 2007b; Sweeney et al., 2010).

Ab dem 42. Lebenstag gab es zwischen ADL und RES Kuhkälbern hinsichtlich Milch- und Krafftuteraufnahme keinen signifikanten Unterschied. Dennoch wiesen die ADL Kuhkälber signifikant höhere Zunahmen auf, was auf eine effizientere Futterverwertung hindeuten kann.

In die vorliegende Studie wurden männliche und weibliche Kälber aufgenommen, so dass bei gleicher Fütterung das Wachstum der Kälber geschlechtsspezifisch untersucht werden konnte. In der ADL Gruppe waren bereits zu Versuchsbeginn, am 28. und 42. Lebenstag die Bullenkälber signifikant schwerer als die Kuhkälber. Am 56. Lebenstag konnte dieser geschlechtsspezifische Unterschied hinsichtlich des Körpergewichts nicht mehr festgestellt werden. In der RES Gruppe war zu Versuchsbeginn kein signifikanter Unterschied hinsichtlich des Geburtsgewichts festzustellen. Allerdings wiesen die RES Bullenkälber an Tag 28, 42 und 56 ein signifikant höheres Körpergewicht auf. Es wurden weder in der ADL noch in der RES Gruppe geschlechtsspezifische Unterschiede hinsichtlich der Milch- und Krafftuteraufnahme

nachgewiesen. Es wird deshalb angenommen, dass Bullenkälber eine effizientere Futtermittelverwertung aufwiesen und sich deshalb bereits in der frühen Aufzucht im Wachstum von Kuhkälbern unterschieden. Die täglichen Zunahmen der männlichen Kälber waren unabhängig von der Studiengruppe über die Zeit vom 1. bis zum 56. Lebenstag signifikant höher als die Zunahmen der Kuhkälber. Dies bestätigte die Ergebnisse von Egli und Blum (1998), in deren Studie Bullenkälber tendenziell höhere Zunahmen aufwiesen als Kuhkälber.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass die ad libitum Tränke zu einer Gewichtssteigerung gegenüber der Kontrollgruppe führte. Männliche Kälber werden auf der Versuchsstation der bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Grub in der Regel mit einem Körpergewicht von 80 kg verkauft. Die ADL Bullenkälber überschritten ein Gewicht von 80 kg bereits am 42. Lebenstag, während die RES Kälber das Verkaufsgewicht erst am 56. Lebenstag überstiegen. Daher könnte die Aufzucht der männlichen Kälber im Rahmen einer ad libitum Tränke rund zwei Wochen verkürzt werden.

## **5. Immunglobulinversorgung und Gesundheit**

In der Zeit vor dem Absetzen ist für Kälber mit unzureichender Immunglobulinversorgung das Morbiditätsrisiko dreifach und das Mortalitätsrisiko fünffach erhöht im Vergleich zu ausreichend mit Immunglobulinen versorgten Kälbern (Wittum und Perino, 1995). Daher war bei der Beurteilung des Gesundheitsstatus eine gleichzeitige Betrachtung des Immunstatus von Bedeutung. In der vorliegenden Studie unterschieden sich die RES und ADL Kälber nicht hinsichtlich ihrer Versorgung mit kolostralem IgG. Die mittlere IgG-Konzentration der beiden Gruppen wies weder zwischen der 24.-72. Lebensstunde noch im Laufe der Studie in den einzelnen Phasen signifikante Unterschiede auf. Darüber hinaus gab es auf Einzeltierebene keinen signifikanten Unterschied bei der prozentualen Verteilung der Kälber in die jeweiligen IgG-Konzentrationsbereiche (pFPT, FPT, kein FPT) nach Kaske und Kunz (2003). Dies stimmte mit den Ergebnissen von Zaremba et al. (1982) und Hammon et al. (2002) überein, in deren Studien sich die IgG-

Konzentration zwischen ad libitum und restriktiv getränkten Kälbern ebenfalls nicht unterschied. Eine mögliche Erklärung könnte darauf beruhen, dass am ersten Lebenstag keine signifikanten Differenzen hinsichtlich der mittleren Milchaufnahme zwischen den Gruppen vorlagen. Laut Collings et al. (2011) reduzierte eine Ansäuerung der Milch auf einen pH-Wert von 4,4 die freiwillige Milchaufnahme in den ersten 24 Lebensstunden signifikant. Es könnte vermutet werden, dass dies auch in der vorliegenden Studie der Fall war. Allerdings wurde in der vorliegenden Studie die Milch erst ab der zweiten Tränke angesäuert und zunächst auch nur auf einen pH-Wert von 6. Die Ansäuerung der Vollmilch ab der zweiten Tränke erforderte somit kaum eine Gewöhnung der Kälber und eher das Erlernen der Milchaufnahme aus dem Nuckeleimer könnte dafür verantwortlich sein, dass die Milchaufnahme der ADL Kälber am ersten Lebenstag nicht höher ausfiel.

Obwohl keine Differenzen hinsichtlich der Immunglobulinversorgung zwischen den Gruppen vorlagen, wurden in den ersten vier Lebenswochen relevante Unterschiede hinsichtlich des Gesundheitsstatus zwischen den Gruppen festgestellt. Die Kälber wurden in den ersten beiden Lebenswochen bis auf sonntags täglich klinisch untersucht. Anschließend wurde wöchentlich die Kotkonsistenz beurteilt und die Körpertemperatur gemessen. In den ersten 14 Lebenstagen wiesen die restriktiv getränkten Kälber einen um 10,8 % höheren durchschnittlichen Score für die Kotbeschaffenheit auf. Das bedeutet, dass die RES Kälber häufiger Abweichungen von der normalen Kotkonsistenz zeigten und deutet darauf hin, dass die RES Kälber stärker von Durchfall betroffen waren. Gleichzeitig fiel in den ersten vierzehn Lebenstagen bei den RES Kälbern ein signifikant höherer durchschnittlicher Score für den Hautturgor auf. Es kann daraus geschlossen werden, dass der Hautturgor der RES Kälber stärker reduziert war als es bei den ADL Kälbern der Fall war. Vermutlich wurde durch die geringeren Milchaufnahmen der RES Kälber und den gleichzeitigen Flüssigkeitsverlust infolge der Durchfallerkrankung eine stärkere Dehydratation ausgelöst. Der mittlere Score für die Kotbeschaffenheit war bis zum 28. Lebenstag (Phase 1) bei restriktiver Fütterung signifikant höher. Die relative Differenz zwischen ad libitum und

restriktiv getränkten Kälbern betrug 8,26 %. Die ADL Kälber schienen somit von einer intensiven Fütterung hinsichtlich des Durchfallgeschehens zu profitieren. Dennoch ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen hinsichtlich der Behandlungsereignisse aufgrund von Durchfall. Eine intensiv durchgeführte Zwischentränke mit Elektrolyten, welche nicht als Behandlung gewertet wurde, könnte dafür verantwortlich sein, dass trotz der stärkeren Durchfallproblematik in der RES Gruppe nicht häufiger behandelt werden musste. Es ist zu beachten, dass es sich dabei um eine multifaktoriell bedingte Erkrankung handelt und es deshalb unklar ist, inwiefern das Fütterungsregime Einfluss auf das Durchfallgeschehen nehmen kann (Maccari, 2012).

Die Tiere der RES Gruppe mussten über den gesamten Versuchszeitraum signifikant häufiger aufgrund klinischer Anzeichen einer Pneumonie behandelt werden als die ADL Gruppe. Bei der deskriptiven Auswertung unter Berücksichtigung des Geschlechts fiel auf, dass insbesondere RES Kuhkälber häufiger aufgrund klinischer Anzeichen einer Pneumonie behandelt werden mussten. Aufgrund der geringen Fallzahl wurde allerdings keine statistische Berechnung durchgeführt und ein zufälliger Effekt war nicht auszuschließen. Bei den Bullenkälbern gab es keine deutlichen Hinweise, dass die Tränkemethode Einfluss auf die Anzahl der Behandlungsereignisse hatte. Laut Kaske et al. (2012) werden die langfristigen Auswirkungen von Atemwegserkrankungen auf die spätere Leistungsfähigkeit der adulten Tiere allgemein unterschätzt. Es konnte bereits gezeigt werden, dass Lungenerkrankungen während der Kälberaufzucht ein höheres Erstkalbealter (Correa et al., 1988; Warnick et al., 1994) und höhere Abgangsraten (Correa et al., 1988) zur Folge hatten. Bezug nehmend auf diese Studien sollten die Folgen der häufiger notwendigen Behandlungen gegen Pneumonie in der RES Gruppe nicht unterschätzt werden. Bei der statistischen Auswertung aller Behandlungsereignisse unabhängig von der Erkrankung über die gesamte Versuchsdauer zeichnete sich eine Tendenz ab, dass die Tiere der RES Gruppe häufiger behandelt wurden. Bei Betrachtung der einzelnen Phasen, wurde eine solche Tendenz ausschließlich in Phase 2 ermittelt. Die ADL Kälber schienen von einer intensiven Fütterung somit auch noch

später, möglicherweise durch vorhandene Energiereserven zu profitieren. Eine mögliche Erklärung dafür könnte sich in humanmedizinischen Studien finden. Beim Menschen wurde beobachtet, dass Unterernährung die Immunkompetenz beeinträchtigt und das Risiko für Infektionserkrankungen erhöht (Chandra, 1992; Woodward, 1998; Cripps et al., 2008). Dies geht mit Ergebnissen von Appleby et al. (2001) und Godden et al. (2005) einher, die besagten, dass sich eine intensive Fütterung positiv auf die Gesundheit von Kälbern auswirkte.

Bei der Interpretation der Ergebnisse der eigenen Untersuchung muss allerdings beachtet werden, dass die Untersuchung der Kälber in der Gruppenphase nur noch wöchentlich stattfand und die Daten somit nicht lückenlos vorlagen. Hinzu kommt, dass die Behandlungsereignisse pro Phase erfasst wurden und weder Dauer noch Art der Behandlung ausgewertet wurden, weil keine einheitlichen Behandlungsschemata angewendet wurden. Des Weiteren wurde nicht berücksichtigt, dass Kälber im Laufe der Untersuchung möglicherweise erkrankten, ohne dass eine Behandlung erforderlich war.

## **6. Blutparameter**

### **6.1. Insulin-like growth factor-I**

IGF-I ist Bestandteil der somatotropen Achse, die bei Kälbern bereits in der ersten Lebenswoche funktionsfähig und durch die Fütterung beeinflussbar ist (Hammon und Blum, 1997). Bei intensiv mit Milchaustauscher (Smith et al., 2002) und ad libitum (Maccari, 2012) getränkten Kälbern wurden höhere IGF-I Konzentrationen nachgewiesen als bei restriktiv getränkten Kälbern. In der vorliegenden Studie konnten in der ADL Gruppe ebenfalls höhere IGF-I Konzentrationen beobachtet werden. Smith et al. (2002) geht davon aus, dass eine optimale Nährstoffversorgung ausschlaggebend ist, um eine maximale Reaktionsfähigkeit des GH/IGF Systems zu erreichen. Eine maximale Reaktionsfähigkeit konnte bei intensiv gefütterten Kälbern nachgewiesen werden, die zusätzlich zu den höheren IGF-I Konzentrationen höhere Zunahmen erreichten, als die Kälber, die geringe Mengen Milchaustauscher erhielten (Smith et al., 2002). Eine maximale

Reaktionsfähigkeit weist wiederum auf eine Optimierung der metabolischen Regulation hin (Smith et al., 2002). Bezugnehmend auf diese Untersuchung, könnte in der eigenen Studie von einem ähnlichen Effekt ausgegangen werden. Die ADL Kälber wiesen während der Phase 1 und vom 42. bis zum 112. Lebenstag sowohl höhere IGF-I Konzentrationen als auch höhere Zunahmen auf als die restriktiv getränkte Kontrollgruppe. Die höheren IGF-I Werte der ADL Kälber im ersten Lebensmonat sind durchaus positiv zu bewerten, denn laut Brickell et al. (2009b) gingen niedrige IGF-I Werte im ersten Lebensmonat insbesondere in Kombination mit geringem Körpergewicht mit niedrigeren Überlebenschancen bis zum 6. Lebensmonat einher. Darüber hinaus konnte in der vorliegenden Studie bestätigt werden, dass das IGF-I Level mit dem Körpergewicht der Tiere (Petitclerc et al., 1999; Smith et al., 2002) und den täglichen Zunahmen (Brickell et al., 2009c) positiv korrelierte.

In der vorliegenden Studie fiel auf, dass die IGF-I Konzentration in der ADL Gruppe von Beginn an bis zum 42. Lebenstag zunahm. Dies geht mit Ergebnissen von Nussbaum et al. (2002) einher, die besagten, dass die IGF-I Konzentration bei Kälbern, die mittels Automat getränkt wurden und somit die Milchmenge auf mehrere Mahlzeiten verteilt aufnahmen, ab dem 3. Lebenstag bis zum Versuchsende am 28. Lebenstag anstieg. Ein signifikanter Anstieg der IGF-I Konzentration wurde darüber hinaus bei muttergebundener Aufzucht in der ersten Lebenswoche beobachtet (Egli und Blum, 1998). Möglicherweise war in der vorliegenden Studie der Verlauf der IGF-I Konzentration auf das Fütterungsregime der Kälber zurückzuführen. Eine ad libitum Versorgung der ADL Kälber wurde zunächst mittels Kaltsauertränke in Nuckeleimern und anschließend mittels Tränkeautomaten sichergestellt. Dies ermöglichte den Kälbern mehrere Mahlzeiten nach Belieben über den Tag verteilt aufzunehmen - ähnlich wie in der muttergebundenen Aufzucht. Demgegenüber nahm die IGF-I Konzentration bei zweimal täglich mit dem Eimer getränkten Kälbern ab und stieg erst ab dem 14. Lebenstag an (Nussbaum et al., 2002). Dies deckt sich mit dem Verlauf der IGF-I Konzentration der RES Kälber, die während der Einzelhaltung (ersten 14 Lebenstage) ebenfalls nur zweimal

täglich mit dem Eimer getränkt wurden.

Laut Brown et al. (2005b) bewirkte das Absetzen vom Milchaustauscher zunächst einen Abfall der IGF-I Werte. Bei Betrachtung der Ergebnisse der vorliegenden Studie im Zusammenhang mit dem Tränkeplan war ein ähnlicher Effekt nachzuvollziehen. Allerdings wurden bereits im Zuge des Abtränkens von Lebenstag 42 bis 56 in beiden Gruppen abnehmende IGF-I Werte beobachtet. Es konnte nicht beurteilt werden, wie die IGF-I Konzentration bis zum Zeitpunkt des Absetzens verlief. Es wäre von Vorteil gewesen, die IGF-I Konzentration zusätzlich am 70. Lebenstag (Absetzen) zu erfassen. Die nächste IGF-I Messung erfolgte erst am 112. Lebenstag (Versuchsende) und ergab die durchschnittlich höchsten Werte in beiden Gruppen. Dabei wiesen die ADL Kälber einen signifikant höheren Wert auf als die RES Kälber. Dies stimmte mit dem Ergebnis von Brown et al. (2005b) überein, in dessen Studie die IGF-I Werte im Anschluss an das Absetzen in der intensiv gefütterten Gruppe ebenfalls auf ein höheres Level anstiegen, als es in der moderat gefütterten Gruppe der Fall war.

Laut Brickell et al. (2009c) fielen frohwüchsige Tiere selbst noch im Alter von 15 Monaten mit höheren IGF-I Werten auf, wenn sie bereits im ersten und sechsten Lebensmonat signifikant höhere Werte als die langsamer wachsenden Tiere aufwiesen. Um langfristige Effekte der frühpostnatalen Fütterung nachzuweisen, wäre es erforderlich gewesen, die Kuhkälber der eigenen Studie neben dem 112. Lebenstag zusätzlich zu späteren Zeitpunkten zu beproben.

## **6.2. $\beta$ -Hydroxybutyrat**

Die Messung von  $\beta$ -Hydroxybutyrat (BHB) im Plasma gilt als nichtinvasive Methode zur Bestimmung der Pansenentwicklung (Suárez et al., 2006) und wird häufig angewendet (Quigley et al., 1991; Quigley und Bernard, 1992; Quigley, 1996; Lane et al., 2000; Khan et al., 2007a). Bevor Jungtiere ein voll funktionstüchtiges Vormagensystem aufweisen, entstehen nur geringste Mengen an Ketonkörpern (Baldwin et al., 2004). Dies deckt sich mit den Beobachtungen der eigenen Studie, in der die BHB Konzentration beider Gruppen in den ersten sechs Lebenswochen

sehr niedrig war und dafür spricht, dass sich das Vormagensystem der Kälber zu dieser Zeit noch in der Entwicklung befand. Bei gleichzeitiger Betrachtung der Kraffutteraufnahme, die in diesem Zeitraum in beiden Gruppen vernachlässigbar gering war, sind die geringen BHB Konzentrationen nachzuvollziehen.

Allerdings fiel auf, dass die AUC-Werte der ADL Kälber bis zum 42. Lebenstag auf einem signifikant höheren Level verliefen als jene der RES Kälber. Senn et al. (2000) berichtete von einem fütterungsbedingten Anstieg von BHB im Anschluss an die Aufnahme von Milch bei Kälbern, die mit Vollmilch ad libitum getränkt wurden. Dies dürfte in der vorliegenden Studie kaum einen Einfluss ausüben, da den Kälbern für einen Zeitraum von zwei Stunden vor der Blutentnahme, die Milchaufnahme verwehrt wurde, um eine Beeinflussung der gemessenen Konzentration durch die Milchaufnahme zu vermindern. Dass die Ketonkörper entstanden sind, weil Milch in den Pansen gelangte, sei es durch Rückfluss aus dem Labmagen oder bei unvollständigem Schluss der Schlundrinne (Quigley et al., 1991), gilt deshalb ebenfalls als unwahrscheinlich.

Laut Quigley und Bernard (1992) weisen geringe NEFA Konzentrationen und Glukosewerte, die im Normalbereich liegen, darauf hin, dass der Ursprung von BHB auf die Pansenfermentation und kaum auf die Ketonkörperproduktion in der Leber zurückzuführen ist. Die Kälber wiesen in der vorliegenden Studie hohe Glukosewerte auf, wie es bei jungen Wiederkäuern üblich ist, deren Verdauungssystem zunächst im Wesentlichen dem eines Monogastriers gleicht (Daniels et al., 2008). Die Glukosewerte unterschieden sich nicht zwischen den Gruppen. Allerdings war in der vorliegenden Studie der AUC-Wert der NEFA Konzentration vom 28. bis zum 42. Lebenstag in der ADL Gruppe signifikant höher als in der RES Gruppe. Die erhöhten BHB Konzentrationen im Zusammenhang mit den erhöhten NEFA Konzentrationen veranlassen zu der Annahme, dass BHB auf die Ketonkörperproduktion in der Leber zurückzuführen war. Ketonkörper entstehen in der Leber, wenn aufgrund eines Energiemangels Fettgewebe mobilisiert werden muss und freie Fettsäuren in die Leber transportiert und anschließend dort abgebaut werden

(Gribsch und Neiger, 2014). In der ersten Lebenswoche waren die Milchaufnahmen in der ADL Gruppe sehr hoch und es wurden möglicherweise bereits Energiereserven in Form von Fett angesetzt. Dieses Fett wurde vermutlich dann wieder mobilisiert, als es aufgrund des Durchfallgeschehens in der zweiten Lebenswoche zu einem Einbruch der Milchaufnahmen kam. Darüber hinaus fiel die durchschnittliche tägliche Milchaufnahme der ADL Kälber in der Phase 1 geringer aus als erwartet. Weiterhin wurde die angebotene Milchmenge in dem Zeitraum vom 28. bis zum 42. Lebenstag von einem ad libitum Angebot auf 8 kg Milch pro Tag reduziert. Demnach wurde angenommen, dass die geringen Milchaufnahmen und das beginnende Abtränken der ADL Kälber, zu einem Energiemangel mit anschließender Fettmobilisierung geführt haben.

Ab dem 42. Lebenstag stiegen die BHB Konzentrationen in beiden Gruppen nahezu gleichförmig an und es wurden keine signifikanten Differenzen zwischen den Gruppen festgestellt. Gleichzeitig wurde ab dem 42. Lebenstag ein Anstieg der Kraftfutteraufnahme in beiden Gruppen beobachtet. Dass das Abtränken und die steigende Festfutteraufnahme mit einem Anstieg der BHB Konzentration verbunden ist, wurde mehrfach nachgewiesen (Quigley et al., 1991; Quigley und Bernard, 1992; Quigley, 1996). Es wird daher angenommen, dass die Erhöhung der BHB Konzentration ab dem 42. Lebenstag in der vorliegenden Studie alimentär bedingt war und auf die Pansenfermentation zurückzuführen war. Eine kompensatorische Mehraufnahme von Festfutter im Anschluss an eine intensive Milchtränke und damit einhergehende höhere BHB Werte zum Zeitpunkt des Absetzens und nach dem Absetzen, als bei restriktiv aufgezogenen Kälbern (Khan et al., 2007a), konnten in der vorliegenden Studie nicht beobachtet werden. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass das Fütterungskonzept (ADL versus RES) keine Unterschiede hinsichtlich der Pansenentwicklung zwischen den Gruppen verursachte.

### **6.3. Non-esterfied-fatty-acids**

Die zunächst hohen NEFA Werte der neugeborenen Kälber nahmen in beiden Gruppen ab. Übereinstimmend beobachteten auch Hammon et al. (2002) und Nussbaum et al. (2002), dass Kälber mit hohen NEFA

Konzentrationen geboren wurden und die Konzentrationen infolge der Futteraufnahme abnahmen (Hadorn et al., 1997; Hammon und Blum, 1998; Rauprich et al., 2000a; Nussbaum et al., 2002). Ein Absinken der NEFA Konzentration wurde bei RES Kälbern bis zum 21. Lebenstag beobachtet. In der ADL Gruppe zeigte sich hingegen ab dem 7. Lebenstag eine steigende Tendenz, so dass der weitere Verlauf gegenläufig erschien. Der AUC-Wert der ADL Kälber war in der Phase 2 signifikant höher als der Wert der RES Kälber. Entgegen den eigenen Ergebnissen, ermittelte Hammon et al. (2002) bei restriktiv getränkten Kälbern höhere NEFA Werte als bei ad libitum getränkten Kälbern, die daraufhin deuteten, dass bei geringer Fütterungsintensität Fett mobilisiert werden musste. Maccari (2012) konnte zwischen restriktiv und ad libitum getränkten Kälbern keine Unterschiede feststellen, so dass sich durch die restriktive Fütterung keine katabole Stoffwechsellage zu entwickeln schien. In der vorliegenden Studie veranlassten die erhöhten BHB Konzentrationen im Zusammenhang mit den erhöhten NEFA Konzentrationen allerdings zu der Annahme, dass bei den ADL Kälbern zeitweise ein Energiemangel vorlag. Die Überlegungen zu den möglichen Ursachen der erhöhten BHB Konzentrationen sind auch für die erhöhten NEFA Konzentrationen anzuwenden. In der Phase 2 lagen zeitgleich erhöhte BHB und NEFA Konzentrationen vor. Demnach wurde angenommen, dass die reduzierte Futteraufnahme infolge des Durchfallgeschehens und die im Vergleich zu anderen Studien eher geringen täglichen Milchaufnahmen der ADL Kälber, zu einer Fettmobilisierung beigetragen haben könnten. Es wurde angenommen, dass in der ersten Lebenswoche aufgrund der hohen Milchaufnahmen der ADL Kälber bereits Energiereserven in Form von Fett angesetzt wurden, die später infolge des Energiemangels wieder mobilisiert wurden. Vermutlich beeinflusste ebenfalls das beginnende Abtränken der ADL Kälber (ab dem 28. Lebenstag) den Energiestatus der Tiere. In Übereinstimmung beobachtete Terré et al. (2009) im Rahmen des Abtränkens bei ehemals intensiv getränkten Kälbern steigende NEFA-Konzentrationen, die vermutlich auf die Mobilisierung von Energiereserven zurückzuführen waren. Bei konventionell getränkten Kälbern blieb dieser Anstieg aus (Terré et al., 2009). Kälber werden bei restriktiver Fütterung nur knapp über dem Erhaltungsbedarf versorgt (Davis und Drackley,

1998). Daher wurden bei den RES Kälbern vermutlich keine Energiereserven geschaffen, die im Falle eines Energiemangels hätten mobilisiert werden können. Dies könnte eine mögliche Erklärung für den ausbleibenden Anstieg der NEFA-Konzentrationen in der RES Gruppe sein.

Einige Studien berichten von abnehmenden NEFA-Konzentrationen mit zunehmendem Alter (Hammon et al., 2002; Quigley et al., 2006). Dies deckt sich mit den Beobachtungen der eigenen Studie, in der die NEFA Konzentrationen ab dem 49. Lebenstag in beiden Gruppen abnahmen. Entgegen den eigenen Ergebnissen, die vom 42.-112. Lebenstag einen signifikant höheren AUC Wert in der ADL Gruppe dokumentierten, wiesen in einer Untersuchung von Khan et al. (2007a) konventionell aufgezogene Kälber, beim Übergang zu Festfutter höhere NEFA-Werte auf als intensiv getränkte Kälber. Es wurde angenommen, dass diese Phase bei den restriktiv getränkten Kälbern, die nach dem Absetzen geringere Krafftutteraufnahmen aufwiesen als die intensiv getränkten Kälber, mit mehr Stress verbunden war und daher verstärkt Fett mobilisiert wurde (Khan et al., 2007a). Dies würde bedeuten, dass in der vorliegenden Studie diese Phase bei den ADL Kälbern mit mehr Stress verbunden war. Dagegen spricht aber, dass die ADL Kälber in dieser Phase höhere Zunahmen aufwiesen als die RES Kälber und keine signifikanten Differenzen hinsichtlich der Krafftutteraufnahme zwischen den Gruppen vorlagen.

#### **6.4. Triglyceride**

Kälber, die in den ersten Lebenswochen intensiv mit Milch (20 % vom Körpergewicht) aufgezogen wurden, wiesen signifikant höhere Triglyceridwerte auf, als konventionell aufgezogene Kälber (Khan et al., 2007a; Khan et al., 2007b). Es wird angenommen, dass infolge hoher Milchaufnahmen mehr Fett absorbiert wird, was sich wiederum in höheren Triglyceridwerten äußert (Khan et al., 2007b; Khan et al., 2007c). In Übereinstimmung hatten die ADL Kälber in der vorliegenden Studie im Vergleich zu den RES Kälbern in der Phase 1 und Phase 2 signifikant höhere Triglyceridkonzentrationen. Bei gleichzeitiger Betrachtung der Milchaufnahme der Kälber ist dies nachzuvollziehen. In diesem Zeitraum

(Phase 1 und Phase 2) nahmen die ADL Kälber signifikant mehr Milch auf. Anschließend unterlagen beide Gruppen einem einheitlichen Tränke- und Fütterungsmanagement, daher wurden keine signifikanten Differenzen mehr zwischen den Gruppen hinsichtlich der Triglyceridkonzentration festgestellt. Insgesamt scheint der zeitliche Verlauf der Triglyceridkonzentration die Milchaufnahme der Kälber widerzuspiegeln. Abnehmende Milchaufnahmen im Rahmen des Durchfallgeschehens und Abtränkens resultierten in abnehmenden Triglyceridwerten.

Obwohl die ad libitum getränkten Kälber mehr Fett aufnahmen als die restriktiv getränkten Kälber, konnte in einer Untersuchung von Hammon et al. (2002) hinsichtlich der Triglyceridwerte kein Unterschied zwischen ad libitum und konventionell getränkten Kälbern festgestellt werden.

### **6.5. Laktatdehydrogenase**

Die mittlere LDH Aktivität zeigte in beiden Gruppen einen ähnlichen Verlauf. Es wurde ein Absinken der Aktivität bis zum 7. Lebenstag in der RES Gruppe und bis zum 14. Lebenstag in der ADL Gruppe beobachtet. Kurz und Willett (1991) führten einen Aktivitätsabfall der LDH nach der 24. Lebensstunde auf eine frühzeitige Versorgung mit Biestmilch zurück. Durch diesen Effekt könnte es auch in der eigenen Studie zu einem Aktivitätsabfall gekommen sein. In beiden Gruppen wurde eine zeitnahe Versorgung mit Kolostrum angestrebt. Anschließend an den Aktivitätsabfall wurde eine steigende Tendenz bis zum Versuchsende (Lebenstag 112) festgestellt. Übereinstimmend berichteten Khan et al. (2007b) von steigenden Konzentrationen mit zunehmendem Alter.

Khan et al. (2007b) konnte bei intensiv und konventionell mit Milch aufgezogenen Kälbern kein Unterschied hinsichtlich der Enzymaktivität feststellen. Obwohl in der dritten und vierten Lebenswoche vermehrt Durchfall bei konventionell aufgezogenen Kälbern auftrat, lag die Enzymaktivität im Normalbereich. Demgegenüber wies die RES Gruppe in der vorliegenden Studie in der Phase 2 einen signifikant höheren AUC Wert auf. Allerdings wurde in der eigenen Untersuchung die von Fürrl (2014) angegebene obere Toleranzgrenze (1400 IU/l) nicht überschritten, so dass der erhöhte AUC-Wert in der RES Gruppe nicht über zu bewerten

war. Möglicherweise standen die erhöhten Werte in der RES Gruppe in der Phase 2 mit den tendenziell häufiger erforderlichen tierärztlichen Behandlungen erkrankter Kälber in dieser Phase in einem Zusammenhang. Denn es ist bekannt, dass beim Wiederkäuer eine Aktivitätssteigerung dieses Enzyms sensibel Störungen im Körper anzeigt ohne diese exakter zu lokalisieren, wie es bereits von Fürrl (2014) beschrieben wurde.

### **6.6. Rotes Blutbild**

Das rote Blutbild wies Veränderungen auf. Hinsichtlich der Erythrozytenanzahl, des Hämatokrits und der Erythrozytenindizes wurden signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ermittelt. Die Effektgröße war dabei in den meisten Fällen klein. Der Verlauf der Parameter war vergleichbar zwischen den Gruppen und unterschied sich zumeist nur im Niveau. In keiner der untersuchten Phasen wies der Hämoglobingehalt signifikante Unterschiede zwischen RES und ADL Kälbern auf.

Der mittlere Hämatokrit nahm in der RES Gruppe bis zum 14. Lebenstag geringgradig zu. In der ADL Gruppe wurde zunächst ein Absinken der Werte beobachtet, bevor ebenfalls ein leichter Anstieg bis zum 14. Lebenstag festzustellen war. Es wird angenommen, dass der Anstieg des Hämatokrits in den ersten 14 Lebenstagen auf das aufgetretene Durchfallgeschehen zurückzuführen war. Bei an Durchfall erkrankten Kälbern kommt es infolge Dehydratation zu einem Anstieg des Hämatokrits (Klee et al., 1979; Maach et al., 1992; Kaske und Kunz, 2003). Bis zum 56. Lebenstag nahm der mittlere Hämatokrit ab und anschließend wurde ein Anstieg in beiden Gruppen bis zum Versuchsende beobachtet. Dies geht mit den Ergebnissen von Egli und Blum (1998) und Mohri et al. (2007) einher, die besagten, dass bei Kälbern der Hämatokrit im Laufe des ersten Lebensmonats abnahm und anschließend leicht anstieg. Die Abnahme des Hämatokrits wird durch Hämodilution infolge der Futteraufnahme verursacht (Rauprich et al., 2000a; Hammon et al., 2002; Nussbaum et al., 2002). In der vorliegenden Studie wurde in der Phase 1 und Phase 2 bei RES Kälbern ein signifikant höherer AUC Wert des Hämatokrits nachgewiesen als bei den ADL Kälbern. Möglicherweise bewirkte die signifikant höhere Milchaufnahme

der ADL Kälber in diesem Zeitraum eine verstärkte Hämodilution und somit eine Abnahme des Hämatokrits. Zugleich wurde in der Phase 1 in der RES Gruppe eine stärkere Durchfallproblematik festgestellt, die wiederum eine Erhöhung des Hämatokrits infolge Dehydratation nach sich zog (Klee et al., 1979; Maach et al., 1992; Kaske und Kunz, 2003). Entgegen der eigenen Ergebnisse, wurden bei Hammon et al. (2002) keine signifikanten Differenzen zwischen ad libitum und konventionell getränkten Kälbern festgestellt.

Da der Verlauf der mittleren Erythrozytenanzahl nahezu identisch dem Verlauf des Hämatokrits war, scheint der Verdünnungseffekt infolge der Futterraufnahme ebenfalls Einfluss auf den Verlauf der mittleren Erythrozytenanzahl zu nehmen - wie zuvor beim Hämatokrit beobachtet. Daher sind die Überlegungen zum Verlauf des Hämatokrits ebenfalls für den Verlauf der Erythrozytenanzahl anzuwenden.

Es ist zu berücksichtigen, dass die Erythrozytenindizes (MCHC, MCH, MCV) unter Verwendung von Erythrozytenzahl, Hämatokrit und Hämoglobin berechnete Größen darstellen (Moritz et al., 2014a). Demnach beeinflussten Veränderungen der Grundgrößen (Hämatokrit, Erythrozytenanzahl und Hämoglobin) den Verlauf der Erythrozytenindizes. Dies dürfte die signifikanten Differenzen der Erythrozytenindizes zwischen den Gruppen erklären, die in der vorliegenden Studie bei kleiner Effektgröße vorlagen.

## **7. Schlussfolgerung**

Ziel der vorliegenden Studie war es, Futterraufnahme, Gewichtsentwicklung, Gesundheitsstatus und ausgewählte Blutparameter ad libitum und restriktiv getränkter Kälber der Rasse Fleckvieh zu untersuchen und zu vergleichen.

Die ad libitum Tränke ermöglichte den Kälbern mehrere Milchmahlzeiten nach Belieben über den Tag verteilt aufzunehmen und näherte sich daher einer natürlichen Aufzucht an. Die ADL Kälber nahmen bis zum 42. Lebenstag signifikant mehr Milch auf als die RES Kälber. Die Kraftfutteraufnahme unterschied sich nicht zwischen den Gruppen und

war unabhängig vom Fütterungsregime in den ersten Lebenswochen vernachlässigbar gering. Daher erwies sich eine intensive Aufzucht mit Vollmilch in den ersten Lebenswochen, in denen der Energiebedarf nicht über die Festfutteraufnahme gedeckt werden konnte, als sinnvoll.

Die ad libitum Tränke führte zu einer Gewichtssteigerung gegenüber der Kontrollgruppe und nutzte das Wachstumspotenzial der Kälber in den ersten Lebenswochen aus. Dabei zeigte sich, dass die ADL Kälber bis zum Versuchsende von der ad libitum Fütterung in der frühpostnatalen Phase profitierten. Obwohl beide Gruppen bereits ab dem 42. Lebenstag dem gleichen Tränke- und Fütterungsmanagement unterlagen, wiesen die ADL Kälber beider Geschlechter am Versuchsende ein signifikant höheres mittleres KGW auf. Die bessere Gewichtsentwicklung würde einen früheren Verkauf der männlichen Tiere ermöglichen und die Aufzucht der Bullenkälber um rund zwei Wochen verkürzen.

Die Untersuchung des Gesundheitsstatus ergab Hinweise, dass die ADL Kälber weniger stark von Durchfall betroffen waren und insbesondere die Behandlungsinzidenz aufgrund von klinischen Anzeichen einer Pneumonie signifikant niedriger war. Die Aufzucht gesunder Kälber führt zu der Annahme, dass sich die Mehrkosten für die intensivere Fütterung durchaus lohnen könnten. Inwiefern das Fütterungsregime allerdings tatsächlich Einfluss auf das Durchfallgeschehen nehmen kann, ist schwierig abzuschätzen, da es sich dabei um eine multifaktoriell bedingte Erkrankung handelt (Maccari, 2012). Bei der Interpretation der Ergebnisse ist darüber hinaus zu berücksichtigen, dass die Untersuchung der Kälber in der Gruppenphase nur noch wöchentlich stattfand und die Daten somit nicht lückenlos vorlagen. Hinzu kommt, dass die Behandlungsereignisse pro Phase erfasst wurden und weder Dauer noch Art der Behandlung ausgewertet wurden, weil keine einheitlichen Behandlungsschemata angewendet wurden.

Eine ad libitum Tränke ging mit veränderten Konzentrationen von IGF-I, BHB, Triglyceride, LDH und NEFA im Blut einher. Darüber hinaus wies das rote Blutbild Unterschiede auf. Betroffen waren die Erythrozyten, der Hämatokrit und die Erythrozytenindizes (MCV, MCH und MCHC). Hingegen blieben IgG, TP,  $\gamma$ -GT, GLDH, Harnstoff, Glukose und Eisen

vom Fütterungsregime unbeeinflusst.

In der vorliegenden Studie zeigte sich, dass die IGF-I Konzentration in der ADL Gruppe von Beginn an bis zum 42. Lebenstag zunahm. Ein signifikanter Anstieg der IGF-I Konzentration wurde bei muttergebundener Aufzucht in der ersten Lebenswoche beobachtet (Egli und Blum, 1998). Der Verlauf der IGF-I Konzentration war somit im Rahmen einer ad libitum Tränke dem Verlauf bei muttergebunden aufgezogenen Kälbern ähnlich. Um langfristige Effekte der frühpostnatalen Fütterung auf die IGF-I Konzentration nachzuweisen, wäre es allerdings erforderlich gewesen, die Kuhkälber der eigenen Studie auch an späteren Zeitpunkten zu beproben. Die zeitweise erhöhten NEFA und BHB Konzentrationen in der ADL Gruppe führten zu der Annahme, dass bei den ADL Kälbern zeitweise ein Energiemangel vorlag. Die reduzierte Futteraufnahme infolge des Durchfallgeschehens und die im Vergleich zu anderen Studien eher geringen täglichen Milchaufnahmen der ADL Kälber, könnten zu einer Mobilisierung von Energiereserven beigetragen haben. Bei den RES Kälbern wurden vermutlich keine Energiereserven geschaffen, die im Falle eines Energiemangels hätten mobilisiert werden können. Dies könnte eine mögliche Erklärung für den ausbleibenden Anstieg dieser Parameter in der RES Gruppe sein. Mit zunehmender Krafffutteraufnahme war der Verlauf der BHB Konzentration in beiden Gruppen nahezu gleichförmig und es wurden keine signifikanten Differenzen zwischen den Gruppen festgestellt. Dies deutet darauf hin, dass das Fütterungskonzept (ADL versus RES) keine Unterschiede hinsichtlich der Pansenentwicklung zwischen den Gruppen verursachte. Der zeitliche Verlauf der Triglyceridkonzentration schien die Milchaufnahme der Kälber widerzuspiegeln. Die ADL Kälber wiesen in der vorliegenden Studie im Vergleich zu den RES Kälbern in der Phase 1 und Phase 2 signifikant höhere Triglyceridkonzentrationen auf. Es wird angenommen, dass infolge hoher Milchaufnahmen mehr Fett absorbiert wird und dass sich dies wiederum in höheren Triglyceridwerten äußert (Khan et al., 2007b; Khan et al., 2007c). In der RES Gruppe wurde in der Phase 2 ein signifikant höherer AUC Wert hinsichtlich der LDH Aktivität ermittelt. Dabei wurde in der vorliegenden Studie die von Fürri (2014) angegebene obere

Toleranzgrenze (1400 IU/l) nicht überschritten, so dass der Einfluss des erhöhten AUC-Werts in der RES Gruppe nicht überschätzt werden sollte. Die Veränderungen des Blutbildes schienen durch einen Verdünnungseffekt infolge der Futteraufnahme verursacht worden zu sein. Dabei war die Effektgröße zwischen den Gruppen in den meisten Fällen klein und der Verlauf zwischen den beiden Gruppen vergleichbar.

Im Mittelpunkt der Untersuchung standen die kurzfristigen Effekte einer intensiven frühpostnatalen Fütterung. Zusätzlich zu den erfassten Parametern, wäre es von Interesse die tierindividuelle Grobfutteraufnahme zu erfassen. Darüber hinaus könnten Untersuchungen von Schlachttieren wichtige Informationen zur Organentwicklung liefern. Eine tägliche Untersuchung der Kälber und einheitliche Behandlungsschemata würden eine genauere Auswertung des Gesundheitsstatus ermöglichen. Mittels einer zusätzlichen Blutprobenentnahme am 70. Lebenstag könnte der Einfluss des Absetzens genauer untersucht werden. Langfristige Effekte einer intensiven frühpostnatalen Fütterung auf die spätere Leistung konnten in der vorliegenden Studie nicht beurteilt werden. Es wäre von wissenschaftlichem Interesse, die Kälber der eigenen Studie auch noch später hinsichtlich Futteraufnahme, Erstkalbealter, Milch- und Mastleistung, zu untersuchen.

Die ad libitum Tränke ist eine praktikable Aufzuchtmethode, die sich am arttypischen Verhalten der Kälber orientiert und somit tiergerechter ist als die restriktive Milchtränke (Maccari, 2012). Die eigenen Ergebnisse lassen ebenfalls den Schluss zu, dass die ad libitum Tränke ein empfehlenswertes und durchführbares Aufzuchtverfahren ist. Die ad libitum Tränke berücksichtigt das Bedürfnis der Kälber zur mehrfachen täglichen Milchaufnahme, nähert sich einer natürlichen Aufzucht an und trägt dazu bei, das Wachstumspotenzial der Kälber auszunutzen und den Gesundheitsstatus zu verbessern.

## VI. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Studie wurden Futteraufnahme, Gewichtsentwicklung, Gesundheitsstatus und ausgewählte Blutparameter ad libitum und restriktiv getränkter Kälber der Rasse Fleckvieh untersucht und verglichen.

Hierfür wurden männliche und weibliche Kälber in die Studie aufgenommen und insgesamt 89 Kälber ab dem ersten Lebenstag untersucht. Es wurden zwei Studiengruppen gebildet, wovon 46 Kälber ad libitum (ADL) und 43 Kälber restriktiv (RES) getränkt wurden. Im Rahmen der Untersuchung wurden drei Versuchsphasen unterschieden. Die Tiere wurden in der Phase 1 (Lebenstag 1 - 28) entweder restriktiv oder ad libitum mit Vollmilch getränkt. In der Phase 2 (Lebenstag 28 - 42) wurde die zustehende Milchmenge der ADL Kälber reduziert. Die Tränkemenge der RES Kälber blieb unverändert. In der Phase 3 (Lebenstag 42 bis Versuchsende) wurden beide Gruppen gleichermaßen abgetränkt und unterlagen einem einheitlichen Fütterungsmanagement. Es ist zu berücksichtigen, dass der Studienzeitraum für männliche Tiere bereits am 56. Lebenstag aufgrund deren Weiterverkaufs endete und die weiblichen Kälber noch bis zum 112. Lebenstag untersucht wurden. Die Milch- und Kraftfutteraufnahme der Kälber wurde täglich erfasst. Das Gewicht der Kälber wurde am ersten Lebenstag und daraufhin wöchentlich erhoben. Zur Ermittlung des Gesundheitsstatus wurden die Tiere in den ersten vierzehn Lebenstagen, außer sonntags, täglich und anschließend wöchentlich untersucht. Von den Kälbern wurden 24 bis 72 Stunden post natum, am siebten Lebenstag und anschließend wöchentlich bis zum 56. Lebenstag Blutproben gewonnen. Die Kuhkälber wurden zusätzlich an Tag 84 und 112 beprobt. Glukose, kleines Blutbild,  $\gamma$ -GT, LDH, GLDH, NEFA,  $\beta$ -Hydroxybutyrat, Harnstoff, Totalprotein, Eisen und Triglyceride wurden an jedem Termin gemessen. IGF-I Werte wurden 24 bis 72 Stunden post natum, an Tag 14, 21, 28, 42, 56 und 112 erfasst.

Die Untersuchungen zeigten, dass die ADL Kälber das Angebot hoher Milchmengen (Phase 1 und 2) nutzten und bis zum 42. Lebenstag signifikant mehr Milch aufnahmen als die RES Kälber. Die

Krafftutteraufnahme unterschied sich nicht zwischen den Gruppen und blieb vom Fütterungsregime unbeeinflusst.

Die Gegenüberstellung der beiden Fütterungsmethoden zeigte eine verbesserte Gewichtsentwicklung der ADL Kälber. Obwohl die Kälber beider Gruppen ab dem 42. Lebenstag einem einheitlichen Tränke- und Fütterungsmanagement unterlagen, hatten die ADL Kälber beider Geschlechter am Versuchsende ein signifikant höheres mittleres KGW. Die bessere Gewichtsentwicklung würde einen früheren Verkauf der Bullenkälber ermöglichen und deren Aufzucht um rund zwei Wochen verkürzen.

Die Untersuchung des Gesundheitsstatus ergab Hinweise, dass die RES Kälber stärker von Durchfall betroffen waren und insbesondere die Behandlungsinzidenz aufgrund von klinischen Anzeichen einer Pneumonie signifikant höher war als bei den ADL Kälbern. Die ADL Kälber schienen somit von einer intensiven Fütterung gesundheitlich zu profitieren.

Es wurden veränderte Konzentrationen von IGF-I, BHB, Triglyceride, LDH und NEFA nachgewiesen. Weiterhin wurden Unterschiede bezüglich des roten Blutbildes ermittelt, wobei die Erythrozyten, der Hämatokrit und die Erythrozytenindizes (MCV, MCH und MCHC) betroffen waren. Das Fütterungsregime nahm keinen Einfluss auf die Konzentrationen von IgG, Gesamtprotein,  $\gamma$ -GT, GLDH, Harnstoff, Glukose und Eisen.

IGF-I korrelierte signifikant mit dem Körpergewicht und den Zunahmen der Kälber. Daher war nachzuvollziehen, dass die ADL Kälber während der Phase 1 und vom 42. bis zum 112. Lebenstag höhere IGF-I Konzentrationen aufwiesen als die RES Kälber.

Die zeitweise erhöhten NEFA und BHB Konzentrationen in der ADL Gruppe führen zu der Annahme, dass die ADL Kälber zeitweise Energie mobilisieren mussten. Die RES Kälbern hatten vermutlich keine Energiereserven geschaffen, die sie im Falle eines Energiemangels hätten mobilisieren können. Dies könnte den ausbleibenden Anstieg dieser Parameter in der RES Gruppe erklären. Mit zunehmender Krafftutteraufnahme (ab dem 42. Lebenstag) stieg die BHB Konzentration

in beiden Gruppen alimentär bedingt an. Es gab keinen Hinweis, dass das Fütterungskonzept (ADL versus RES) Unterschiede hinsichtlich der Pansenentwicklung zwischen den Gruppen verursachte.

Der Verlauf der Triglyceridkonzentration schien die Milchaufnahme der Kälber widerzuspiegeln. In der Phase 1 und Phase 2 wurden bei den ADL Kälbern im Vergleich zu den RES Kälbern signifikant höhere Triglyceridkonzentrationen nachgewiesen.

Die RES Kälber wiesen im Vergleich zu den ADL Kälbern in der Phase 2 einen signifikant höheren AUC Wert hinsichtlich der LDH Aktivität auf. Möglicherweise standen die erhöhten Werte in der RES Gruppe in der Phase 2 mit den tendenziell häufiger erforderlichen tierärztlichen Behandlungen erkrankter Kälber in dieser Phase in Zusammenhang.

Ein Verdünnungseffekt infolge der Futteraufnahme schien die Unterschiede im Blutbild zwischen den Gruppen zu verursachen.

Die ad libitum Tränke kann als Aufzuchtmethode empfohlen werden. Diese Tränkemethode ermöglicht den Kälbern eine höhere Fütterungsfrequenz, nutzt das Wachstumspotenzial der Kälber aus, verkürzt dadurch die Aufzuchtdauer und scheint den Gesundheitsstatus zu verbessern. Die ad libitum Tränke orientiert sich am natürlichen Verhalten der Kälber, stillt das Bedürfnis zur mehrfach täglichen Milchaufnahme und verhindert das Auftreten von Hunger. Dadurch leistet sie einen Beitrag zu einer tiergerechteren Kälberaufzucht.



## VII. SUMMARY

### **Effects of ad libitum whole milk feeding on feed intake, weight development, health and selected blood metabolites in Simmental calves**

In this study, we compared ad libitum feeding and restrictive feeding in Simmental calves, analysing feed intake, weight gain, health status and selected blood parameters.

A total of 89 male and female calves were included in the study and monitored from birth. The calves were divided into two study groups: 46 calves were fed ad libitum (ADL), 43 were fed restrictively (RES). The study consisted of 3 phases: In phase 1 (1 - 28 days of life), the calves were fed with whole milk either ad libitum or restrictively. In phase 2 (28 - 42 days of life), the milk amount was reduced in the ADL group, while the RES calves' portion remained unchanged. In phase 3 (42 days of life until end of study), both groups were weaned and fed uniformly from then on. It has to be noted that female calves remained in the study for 112 days while the male calves were excluded from the study on day 56.

Milk and concentrate intake were recorded daily. Weight was measured weekly, starting on day 1. In order to determine their health status, the calves were vetted daily (except for Sundays) in the first two weeks of their lives and once weekly in the following weeks. Blood samples were taken between 24 and 72 hours after birth, on day 7 and then once weekly until day 56. Of the female calves, further blood samples were taken on days 84 and 112. All blood samples were analysed for glucose, erythrogram, immunoglobulin G,  $\gamma$ -GT, LDH, GLDH, NEFA,  $\beta$ -hydroxybutyrate, urea, total protein, iron and triglycerides. IGF-I was measured 24 and 72 hours after birth and on days 14, 21, 28, 42, 56 and 112.

The study showed that ADL calves used enhanced feeding (phases 1 and 2) and had a significantly higher milk intake than calves in the RES group until day 42. There was no difference in concentrate intake between the two groups.

Weight gain was significantly increased in the ADL group. Despite the uniform feeding management from day 42 onwards, body weight of both male and female ADL calves was significantly higher than in the RES group. An increased weight gain would allow for an earlier sale of male calves and shorten rearing time by about two weeks.

RES calves were more susceptible to diarrhea and were significantly more often treated for clinical signs of pneumonia than ADL calves. This suggests that ADL calves profited from increased feeding.

Analyses showed altered concentrations of IGF-I, BHB, triglycerides, LDH and NEFA and differences in erythrocytes, hematocrit, MCV, MCH and MCHC levels. There were no feeding-related alterations in immunoglobulin G, total protein,  $\gamma$ -GT, GLDH, urea, glucose and iron levels.

There was a significant positive correlation of IGF-I with body weight and weight gain. IGF-I levels were higher in ADL than in RES calves in phase 1 as well as from day 42 to day 112.

Intermittently increased NEFA and BHB concentrations in the ADL group suggest that ADL calves had to mobilise energy from time to time. RES calves probably did not have any energy reserves that they could have mobilised in case of a lack of energy. This could explain why this parameter did not increase in the RES group. As concentrate intake was increased, there was a nutritionally induced increase of BHB concentrations in both groups. There was no evidence that the feeding protocol (ADL versus RES) caused any differences in rumen development between the two groups.

The development of triglyceride levels seemed to reflect the calves' milk intake. In phases 1 and 2 significantly increased levels of triglycerides were measured in ADL calves as compared to RES calves.

In phase 2 RES calves had a significantly higher AUC value regarding LDH activity than ADL calves. This may be associated with the veterinary treatment that the RES calves tended to need more often than ADL calves.

---

The differences in the blood count are likely to have been caused by the dilution that resulted from increased feed intake.

Ad libitum feeding can be recommended as a rearing method. This method allows for a higher feeding frequency, exploits the calves' full growth potential and improves their health status. As a consequence, rearing time can be abridged. Furthermore, ad libitum feeding approximates the calves' natural behaviour, supplies the calves' want for repeated milk intake and prevents hunger. Thus, ad libitum feeding can contribute to more animal welfare for rearing calves.



## VIII. LITERATURVERZEICHNIS

APPLEBY, M. C., WEARY, D. M., CHUA, B. (2001): Performance and feeding behaviour of calves on ad libitum milk from artificial teats. *Applied Animal Behaviour Science* 74, 3, 191-201.

BACH, A. (2012): Ruminant Nutrition Symposium: Optimizing performance of the offspring: Nourishing and managing the dam and postnatal calf for optimal lactation, reproduction, and immunity. *Journal of Animal Science* 90, 6, 1835-1845.

BALDWIN, R. L., MCLEOD, K. R., KLOTZ, J. L., HEITMANN, R. N. (2004): Rumen development, intestinal growth and hepatic metabolism in the pre-and postweaning ruminant. *Journal of Dairy Science* 87, E55-E65.

BAR-PELED, U., ROBINZON, B., MALTZ, E., TAGARI, H., FOLMAN, Y., BRUCKENTAL, I., VOET, H., GACITUA, H., LEHRER, A. R. (1997): Increased weight gain and effects on production parameters of Holstein heifer calves that were allowed to suckle from birth to six weeks of age. *Journal of Dairy Science* 80, 10, 2523-2528.

BAUER, N., NEUMANN, S. (2014): Skelettmuskulatur, Knochen, Kalzium-, Phosphor-, Magnesiumstoffwechsel. In A. Moritz (Hrsg.), *Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin*, 7 edn. Stuttgart. Schattauer GmbH. 319-335

BAUMRUCKER, C. R., GREEN, M. H., BLUM, J. W. (1994): Effects of dietary rhIGF-I in neonatal calves on the appearance of glucose, insulin, D-xylose, globulins and  $\gamma$ -glutamyl transferase in blood. *Domestic Animal Endocrinology* 11, 4, 393-403.

BESSER, T. E., GAY, C. C., PRITCHETT, L. (1991): Comparison of three methods of feeding colostrum to dairy calves. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 198, 3, 419-422.

BLAND, M. (2009): An introduction to medical statistics, 3. edn. Oxford. Oxford University Press. 169-171

BLUM, J. W., HADORN, U., SALLMANN, H.-P., SCHUEP, W. (1997): Delaying colostrum intake by one day impairs plasma lipid, essential fatty acid, carotene, retinol and  $\alpha$ -tocopherol status in neonatal calves. *The Journal of Nutrition* 127, 10, 2024-2029.

BORDERAS, T. F., DE PASSILLE, A. M. B., RUSHEN, J. (2009): Feeding behavior of calves fed small or large amounts of milk. *Journal of Dairy Science* 92, 6, 2843-2852.

BOSTEDT, H., HOSPES, R., WEHREND, A., SCHRAMEL, P. (2000): Auswirkungen einer parenteralen Eisenzufuhr auf den Eisenversorgungsstatus in der frühen postnatalen Entwicklungsperiode beim Kalb. *Tierärztliche Umschau* 55, 6, 305-315.

BOSTEDT, H., JEKEL, E., SCHRAMEL, P. (1990): Zur Entwicklung der Eisen- und Kupferkonzentration im Blutplasma von Kälbern in den ersten Lebenstagen und -wochen, gleichzeitig ein Beitrag zur larvierten neonatalen Eisenmangelanämie. *Deutsche tierärztliche Wochenschrift* 97, 10, 400-403.

BRAUN, J. P., TAINTURIER, D., LAUGIER, C., BENARD, P., THOUVENOT, J. P., RICO, A. G. (1982): Early variations of blood plasma gamma-glutamyl transferase in newborn calves—A test of colostrum intake. *Journal of Dairy Science* 65, 11, 2178-2181.

BREIER, B. H., GLUCKMAN, P. D., BASS, J. J. (1988): Plasma concentrations of insulin-like growth factor-I and insulin in the infant calf: ontogeny and influence of altered nutrition. *Journal of Endocrinology* 119, 1, 43-50.

BRICKELL, J. S., BOURNE, N., MCGOWAN, M. M., WATHES, D. C. (2009a): Effect of growth and development during the rearing period on the subsequent fertility of nulliparous Holstein-Friesian heifers. *Theriogenology* 72, 3, 408-416.

BRICKELL, J. S., MCGOWAN, M. M., PFEIFFER, D. U., WATHES, D. C. (2009b): Mortality in Holstein-Friesian calves and replacement heifers, in relation to body weight and IGF-I concentration, on 19 farms in England. *Animal* 3, 8, 1175-1182.

BRICKELL, J. S., MCGOWAN, M. M., WATHES, D. C. (2009c): Effect of management factors and blood metabolites during the rearing period on growth in dairy heifers on UK farms. *Domestic Animal Endocrinology* 36, 2, 67-81.

BROWN, E. G., VANDEHAAR, M. J., DANIELS, K. M., LIESMAN, J. S., CHAPIN, L. T., FORREST, J. W., AKERS, R. M., PEARSON, R. E., WEBER NIELSEN, M. S. (2005a): Effect of increasing energy and protein intake on mammary development in heifer calves. *Journal of Dairy Science* 88, 2, 595-603.

BROWN, E. G., VANDEHAAR, M. J., DANIELS, K. M., LIESMAN, J. S., CHAPIN, L. T., KEISLER, D. H., WEBER NIELSEN, M. S. (2005b): Effect of increasing energy and protein intake on body growth and carcass composition of heifer calves. *Journal of Dairy Science* 88, 2, 585-594.

BRUHN, H. D., KOBERSTEIN, R. (2011a): Enzymaktivitätsbestimmungen. In H. D. Bruhn, R. Junker, H. Schäfer & S. Schreiber (Hrsg.): *LaborMedizin Indikationen, Methodik und Laborwerte Pathophysiologie und Klinik*, 3 edn. Stuttgart. Schattauer GmbH. 83-93

BRUHN, H. D., KOBERSTEIN, R. (2011b): Photometrische Bestimmungen diagnostisch wichtiger Metabolite. In H. D. Bruhn, R. Junker, H. Schäfer & S. Schreiber (Hrsg.): *LaborMedizin Indikationen, Methodik und Laborwerte Pathophysiologie und Klinik*, 3 edn. Stuttgart. Schattauer GmbH. 93-103

BRUN-HANSEN, H. C., KAMPEN, A. H., LUND, A. (2006): Hematologic values in calves during the first 6 months of life. *Veterinary Clinical Pathology* 35, 2, 182-187.

CEPPI, A., BLUM, J. W. (1994): Effects of growth hormone on growth performance, haematology, metabolites and hormones in iron-deficient veal calves. *Journal of Veterinary Medicine Series A* 41, 1-10, 443-458.

CHANDRA, R. K. (1992): Nutrition and immunoregulation. Significance for host resistance to tumors and infectious diseases in humans and rodents. *The Journal of Nutrition* 122, 3S, 754-757.

COLLINGS, L. K. M., PROUDFOOT, K. L., VEIRA, D. M. (2011): The effects of feeding untreated and formic acid-treated colostrum ad libitum on intake and immunoglobulin levels in dairy calves. *Canadian Journal of Animal Science* 91, 1, 55-59.

COOLICAN, H. (2009): *Research methods and statistics in psychology*, 5 edn. London. Psychology Press. 395

CORDANO, P., HAMMON, H. M., MOREL, C., ZURBRIGGEN, A., BLUM, J. W. (2000): mRNA of insulin-like growth factor (IGF) quantification and presence of IGF binding proteins, and receptors for growth hormone, IGF-I and insulin, determined by reverse transcribed polymerase chain reaction, in the liver of growing and mature male cattle. *Domestic Animal Endocrinology* 19, 3, 191-208.

CORREA, M. T., CURTIS, C. R., ERB, H. N., WHITE, M. E. (1988): Effect of calfhod morbidity on age at first calving in New York Holstein herds. *Preventive Veterinary Medicine* 6, 4, 253-262.

COWLES, K. E., WHITE, R. A., WHITEHOUSE, N. L., ERICKSON, P. S. (2006): Growth characteristics of calves fed an intensified milk replacer regimen with additional lactoferrin. *Journal of Dairy Science* 89, 12, 4835-4845.

CRIPPS, A. W., OTCZYK, D. C., BARKER, J., LEHMANN, D., ALPERS, M. P. (2008): The relationship between undernutrition and humoral immune status in children with pneumonia in Papua New Guinea. *Papua New Guinea Medical Journal* 51, 3-4, 120-130.

DANIELS, K. M., HILL, S. R., KNOWLTON, K. F., JAMES, R. E., MCGILLIARD, M. L., AKERS, R. M. (2008): Effects of milk replacer composition on selected blood metabolites and hormones in preweaned Holstein heifers. *Journal of Dairy Science* 91, 7, 2628-2640.

DAVIS, C. L., DRACKLEY, J. K. (1998): The development, nutrition, and management of the young calf, 1 edn. Ames. Iowa State University Press. 259-282

DE PASSILLÉ, A. M., MARNET, P.-G., LAPIERRE, H., RUSHEN, J. (2008): Effects of twice-daily nursing on milk ejection and milk yield during nursing and milking in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 91, 4, 1416-1422.

DENISE, S. K., ROBISON, J. D., STOTT, G. H., ARMSTRONG, D. V. (1989): Effects of passive immunity on subsequent production in dairy heifers. *Journal of Dairy Science* 72, 2, 552-554.

DIAZ, M. C., VAN AMBURGH, M. E., SMITH, J. M., KELSEY, J. M., HUTTEN, E. L. (2001): Composition of growth of Holstein calves fed milk replacer from birth to 105-kilogram body weight. *Journal of Dairy Science* 84, 4, 830-842.

DONOVAN, G. A., DOHOO, I. R., MONTGOMERY, D. M., BENNETT, F. L. (1998): Associations between passive immunity and morbidity and mortality in dairy heifers in Florida, USA. *Preventive Veterinary Medicine* 34, 1, 31-46.

EGLI, C. P., BLUM, J. W. (1998): Clinical, haematological, metabolic and endocrine traits during the first three months of life of suckling Simmentaler calves held in a cow-calf operation. *Journal of Veterinary Medicine, Series A* 45, 1-10, 99-118.

EICHER-PRUIETT, S. D., MORRILL, J. L., NAGARAJA, T. G., HIGGINS, J. J., ANDERSON, N. V., REDDY, P. G. (1992): Response of young dairy calves with lasalocid delivery varied in feed sources. *Journal of Dairy Science* 75, 3, 857-862.

ERHARD, M., LÖSCH, U., STANGASSINGER, M. (1995): Untersuchungen zur intestinalen Absorption von homologem und heterologem Immunglobulin G bei neugeborenen Kälbern. *Zeitschrift für Ernährungswissenschaft* 34, 2, 160-163.

ERHARD, M. H., AMON, P., YOUNAN, M., ALI, Z., STANGASSINGER, M. (1999): Absorption and synthesis of immunoglobulins G in newborn calves. *Reproduction in Domestic Animals* 34, 3-4, 173-175.

FABER, S. N., FABER, N. E., MCCAULEY, T. C., AX, R. L. (2005): Case study: effects of colostrum ingestion on lactational performance. *The Professional Animal Scientist* 21, 5, 420-425.

FLOWER, F. C., WEARY, D. M. (2001): Effects of early separation on the dairy cow and calf: 2. separation at 1 day and 2 weeks after birth. *Applied Animal Behaviour Science* 70, 4, 275-284.

FRITZ, C. O., MORRIS, P. E., RICHLER, J. J. (2012): Effect size estimates: current use, calculations, and interpretation. *Journal of Experimental Psychology: General* 141, 1, 2-18.

FÜRRL, M. (2014): Spezielle Untersuchungen beim Wiederkäuer. In A. Moritz (Hrsg.), *Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin*, 7 edn. Stuttgart. Schattauer GmbH. 726-777

GODDEN, S. M., FETROW, J. P., FEIRTAG, J. M., GREEN, L. R., WELLS, S. J. (2005): Economic analysis of feeding pasteurized nonsaleable milk versus conventional milk replacer to dairy calves. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 226, 9, 1547-1554.

GREENWOOD, R. H., MORRILL, J. L., TITGEMEYER, E. C., KENNEDY, G. A. (1997): A new method of measuring diet abrasion and its effect on the development of the forestomach. *Journal of Dairy Science* 80, 10, 2534-2541.

GRIEBSCH, C., NEIGER, R. (2014): Klinische Endokrinologie. In A. Moritz (Hrsg.), *Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin*, 7 edn. Stuttgart. Schattauer GmbH. 365-419

GRÜNDER, H.-D. (2006): Unspezifisch bedingte Krankheiten des Blutes. In G. Dirksen, H.-D. Gründer & M. Stöber (Hrsg.): *Innere Medizin und Chirurgie des Rindes*, 5 edn. Stuttgart. Parey. 206-214

GYGAX, M., HIRNI, H., ZWAHLEN, R., LAZARY, S., BLUM, J. W. (1993): Immune functions of veal calves fed low amounts of iron. *Journal of Veterinary Medicine Series A* 40, 1-10, 345-358.

HADORN, U., BLUM, J. W. (1997): Effects of feeding colostrum, glucose or water on the first day of life on plasma immunoglobulin G concentrations and  $\gamma$ -glutamyltransferase activities in calves. *Journal of Veterinary Medicine Series A* 44, 1-10, 531-537.

HADORN, U., HAMMON, H., BRUCKMAIER, R. M., BLUM, J. W. (1997): Delaying colostrum intake by one day has important effects on metabolic traits and on gastrointestinal and metabolic hormones in neonatal calves. *The Journal of Nutrition* 127, 10, 2011-2023.

HALES, C. N., BARKER, D. J. (1992): Type 2 (non-insulin-dependent) diabetes mellitus: the thrifty phenotype hypothesis. *Diabetologia* 35, 7, 595-601.

HAMMON, H., BLUM, J. W. (1997): The somatotropic axis in neonatal calves can be modulated by nutrition, growth hormone, and Long-R3-IGF-I. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism* 273, 1, E130-E138.

HAMMON, H. M., BLUM, J. W. (1998): Metabolic and endocrine traits of neonatal calves are influenced by feeding colostrum for different durations or only milk replacer. *The Journal of Nutrition* 128, 3, 624-632.

HAMMON, H. M., SCHIESSLER, G., NUSSBAUM, A., BLUM, J. W. (2002): Feed intake patterns, growth performance, and metabolic and endocrine traits in calves fed unlimited amounts of colostrum and milk by automate, starting in the neonatal period. *Journal of Dairy Science* 85, 12, 3352-3362.

HAMMON, H. M., ZANKER, I. A., BLUM, J. W. (2000): Delayed colostrum feeding affects IGF-I and insulin plasma concentrations in neonatal calves. *Journal of Dairy Science* 83, 1, 85-92.

HEINRICHS, A. J. (1993): Raising dairy replacements to meet the needs of the 21st century. *Journal of Dairy Science* 76, 10, 3179-3187.

HEPOLA, H. P., HAENNINEN, L. T., RAUSSI, S. M., PURSIAINEN, P. A., AARNIKOIVU, A.-M., SALONIEMI, H. S. (2008): Effects of providing water from a bucket or a nipple on the performance and behavior of calves fed ad libitum volumes of acidified milk replacer. *Journal of Dairy Science* 91, 4, 1486-1496.

HEYN, E. (2002): Vergleichende Untersuchungen zur kolostralen IgG-Versorgung neugeborener Kälber unter verschiedenen Haltungsbedingungen: Investigations to the IgG-status in newborn calves comparing three different calf-raising management systems. Diss. med. vet. Ludwig-Maximilians-Universität München

HINDERER, A., SEEMANN, G., KLEE, W. (1999): Untersuchungen zur Auswirkung von Ad-libitum- und rationierter Milchtränkung auf Krankheitsverlauf und Körpermasseentwicklung bei jungen Kälbern mit Durchfall. *Deutsche tierärztliche Wochenschrift* 106, 1, 14-17.

HOSTETTLER-ALLEN, R. L., TAPPY, L., BLUM, J. W. (1994): Insulin-resistance, hyperglycemia, and glucosuria in intensively milk-fed calves. *Journal of Animal Science* 72, 1, 160-173.

HUGI, D., BLUM, J. W. (1997): Changes of blood metabolites and hormones in breeding calves associated with weaning. *Journal of Veterinary Medicine Series A* 44, 1-10, 99-108.

HUGI, D., BRUCKMAIER, R. M., BLUM, J. W. (1997): Insulin resistance, hyperglycemia, glucosuria, and galactosuria in intensively milk-fed calves: dependency on age and effects of high lactose intake. *Journal of Animal Science* 75, 2, 469-482.

JASPER, J., WEARY, D. M. (2002): Effects of ad libitum milk intake on dairy calves. *Journal of Dairy Science* 85, 11, 3054-3058.

JASTER, E. H. (2005): Evaluation of quality, quantity, and timing of colostrum feeding on immunoglobulin G 1 absorption in Jersey calves. *Journal of Dairy Science* 88, 1, 296-302.

JENSEN, M. B., HOLM, L. (2003): The effect of milk flow rate and milk allowance on feeding related behaviour in dairy calves fed by computer controlled milk feeders. *Applied Animal Behaviour Science* 82, 2, 87-100.

JOCHIMS, K., KAUP, F.-J., DROMMER, W., PICKEL, M. (1994): An immunoelectron microscopic investigation of colostrum IgG absorption across the intestine of newborn calves. *Research in Veterinary Science* 57, 1, 75-80.

KASKE, M., KUNZ, H.-J. (2003): *Handbuch Durchfallerkrankungen der Kälber*, Osnabrück. Kamlage Verlag

KASKE, M., KUNZ, H.-J., REINHOLD, P. (2012): Die Enzootische Bronchopneumonie des Kalbes—ein Update. *Der Praktische Tierarzt* 93, 3, 232-245.

KASKE, M., WERNER, A., SCHUBERTH, H.-J., REHAGE, J., KEHLER, W. (2005): Colostrum management in calves: effects of drenching vs. bottle feeding. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 89, 3-6, 151-157.

KASKE, M., WIEDEMANN, S., KUNZ, H. (2010): Metabolic programming: background and potential impact for dairy cattle. *Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift* 79, 6, 445-451.

KAUFHOLD, J. N., HAMMON, H. M., BRUCKMAIER, R. M., BREIER, B. H., BLUM, J. W. (2000): Postprandial metabolism and endocrine status in veal calves fed at different frequencies. *Journal of Dairy Science* 83, 11, 2480-2490.

KHAN, M. A., LEE, H. J., LEE, W. S., KIM, H. S., KI, K. S., HUR, T. Y., SUH, G. H., KANG, S. J., CHOI, Y. J. (2007a): Structural growth, rumen development, and metabolic and immune responses of Holstein male calves fed milk through step-down and conventional methods. *Journal of Dairy Science* 90, 7, 3376-3387.

KHAN, M. A., LEE, H. J., LEE, W. S., KIM, H. S., KIM, S. B., KI, K. S., HA, J. K., LEE, H. G., CHOI, Y. J. (2007b): Pre-and postweaning performance of Holstein female calves fed milk through step-down and conventional methods. *Journal of Dairy Science* 90, 2, 876-885.

KHAN, M. A., LEE, H. J., LEE, W. S., KIM, H. S., KIM, S. B., KI, K. S., PARK, S. J., HA, J. K., CHOI, Y. J. (2007c): Starch source evaluation in calf starter: I. Feed consumption, body weight gain, structural growth, and blood metabolites in Holstein calves. *Journal of Dairy Science* 90, 11, 5259-5268.

KHAN, M. A., WEARY, D. M., VON KEYSERLINGK, M. A. G. (2011): Hay intake improves performance and rumen development of calves fed higher quantities of milk. *Journal of Dairy Science* 94, 7, 3547-3553.

KIEZEBRINK, D. J., EDWARDS, A. M., WRIGHT, T. C., CANT, J. P., OSBORNE, V. R. (2015): Effect of enhanced whole-milk feeding in calves on subsequent first-lactation performance. *Journal of Dairy Science* 98, 1, 349-356.

KLEE, W. (1985): Untersuchungen über die Nierenfunktion bei gesunden und bei an akutem Durchfall erkrankten Kälbern. Habilitationsschrift. Ludwig-Maximilians-Universität München

KLEE, W., SCHILLINGER, D., DIRKSEN, G. (1979): Blutharnstoff und Hämatokrit bei der Kälberdiarhoe - diagnostische und prognostische Bedeutung. *Deutsche tierärztliche Wochenschrift* 86, 465-470.

KMICIKEWYCZ, A. D., DA SILVA, D. N. L., LINN, J. G., LITHERLAND, N. B. (2013): Effects of milk replacer program fed 2 or 4 times daily on nutrient intake and calf growth. *Journal of Dairy Science* 96, 2, 1125-1134.

KNOWLES, T. G., EDWARDS, J. E., BAZELEY, K. J., BROWN, S. N., BUTTERWORTH, A., WARRISS, P. D. (2000): Changes in blood biochemical and haematological profile of neonatal calves with age. *The Veterinary Record* 147, 593-598.

KÜHNE, S., HAMMON, H. M., BRUCKMAIER, R. M., MOREL, C., ZBINDEN, Y., BLUM, J. W. (2000): Growth performance, metabolic and endocrine traits, and absorptive capacity in neonatal calves fed either colostrum or milk replacer at two levels. *Journal of Animal Science* 78, 3, 609-620.

KÜRN, T. (2017): Einfluss einer ad libitum Milchtränke auf die Gewichtsentwicklung und das Verhalten von Fleckviehkälbern. Diss. med. vet. in Vorbereitung. Ludwig-Maximilians-Universität München

KURZ, M. M., WILLETT, L. B. (1991): Carbohydrate, enzyme, and hematology dynamics in newborn calves. *Journal of Dairy Science* 74, 7, 2109-2118.

LACK, P. (2006): Bestimmung von Immunglobulin G und M im Serum neugeborener Kälber während der ersten zehn Lebenstage unter besonderer Berücksichtigung des Fütterungsregimes. Diss. med. vet. Justus-Liebig-Universität Giessen

LANE, M. A., BALDWIN, R. L., JESSE, B. W. (2000): Sheep rumen metabolic development in response to age and dietary treatments. *Journal of Animal Science* 78, 7, 1990-1996.

LARSON, D. M., MARTIN, J. L., ADAMS, D. C., FUNSTON, R. N. (2009): Winter grazing system and supplementation during late gestation influence performance of beef cows and steer progeny. *Journal of Animal Science* 87, 3, 1147-1155.

LIPP, K. (2005): Feldstudie zur kolostralen Immunglobulin-Versorgung neugeborener Kälber in Abhängigkeit von der Verweildauer beim Muttertier. Diss. med. vet. Ludwig-Maximilians-Universität München

LIU, J.-L., LEROITH, D. (1999): Insulin-like growth factor I is essential for postnatal growth in response to growth hormone. *Endocrinology* 140, 11, 5178-5184.

LUCAS, A. (1991): Programming by early nutrition in man. In *The childhood environment and adult disease*. Ciba Foundation Symposium 156. Chichester. John Wiley & Sons. 38-55

MAACH, L., GRÜNDER, H. D., BOUJJA, A. (1992): Klinische und hämatologische Untersuchungen bei schwarzbunten an Durchfall erkrankten neugeborenen Aufzuchtälbern in Marokko. *Deutsche tierärztliche Wochenschrift* 99, 4, 133-140.

MACCARI, P. (2012): Effekte unterschiedlicher Aufzuchtkonzepte auf Gewichtsentwicklung, Gesundheitsstatus und metabolische Leitparameter von Holstein-Kälbern. Diss. med. vet. Tierärztliche Hochschule Hannover

MACCARI, P., WIEDEMANN, S., KUNZ, H.-J., PIECHOTTA, M., SANFTLEBEN, P., KASKE, M. (2015): Effects of two different rearing protocols for Holstein bull calves in the first 3 weeks of life on health status, metabolism and subsequent performance. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 99, 4, 737-746.

MARTIN, J. L., VONNAHME, K. A., ADAMS, D. C., LARDY, G. P., FUNSTON, R. N. (2007): Effects of dam nutrition on growth and reproductive performance of heifer calves. *Journal of Animal Science* 85, 3, 841-847.

MCGUIRK, S. M., COLLINS, M. (2004): Managing the production, storage, and delivery of colostrum. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 20, 3, 593-603.

MOALLEM, U., WERNER, D., LEHRER, H., ZACHUT, M., LIVSHITZ, L., YAKOBY, S., SHAMAY, A. (2010): Long-term effects of ad libitum whole milk prior to weaning and prepubertal protein supplementation on skeletal growth rate and first-lactation milk production. *Journal of Dairy Science* 93, 6, 2639-2650.

MOHRI, M., SHARIFI, K., EIDI, S. (2007): Hematology and serum biochemistry of Holstein dairy calves: age related changes and comparison with blood composition in adults. *Research in Veterinary Science* 83, 1, 30-39.

MORIN, D. E., MCCOY, G. C., HURLEY, W. L. (1997): Effects of quality, quantity, and timing of colostrum feeding and addition of a dried colostrum supplement on immunoglobulin G 1 absorption in Holstein bull calves. *Journal of Dairy Science* 80, 4, 747-753.

MORITZ, A., SCHWENDENWEIN, I., KRAFT, W. (2014a): Hämatologie. In A. Moritz (Hrsg.), *Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin*, 7 edn. Stuttgart. Schattauer GmbH. 79-159

MORITZ, A., SCHWENDENWEIN, I., KRAFT, W. (2014b): Harnapparat. In A. Moritz (Hrsg.), *Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin*, 7 edn. Stuttgart. Schattauer GmbH. 420-487

MORRISON, S. J., WICKS, H. C. F., FALLON, R. J., TWIGGE, J., DAWSON, L. E. R., WYLIE, A. R. G., CARSON, A. F. (2009): Effects of feeding level and protein content of milk replacer on the performance of dairy herd replacements. *Animal* 3, 11, 1570-1579.

NEUMANN, S. (2014): Leber. In A. Moritz (Hrsg.), *Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin*, 7 edn. Stuttgart. Schattauer GmbH. 250-275

NIELSEN, P. P., JENSEN, M. B., LIDFORS, L. (2008): Milk allowance and weaning method affect the use of a computer controlled milk feeder and the development of cross-sucking in dairy calves. *Applied Animal Behaviour Science* 109, 2, 223-237.

NRC (2001): *Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition*, 2001, 7 edn. Washington, DC. The National Academies Press. 105-161

NUSSBAUM, A., SCHIESSLER, G., HAMMON, H. M., BLUM, J. W. (2002): Growth performance and metabolic and endocrine traits in calves pair-fed by bucket or by automate starting in the neonatal period. *Journal of Animal Science* 80, 6, 1545-1555.

ODDE, K., KIRACOFÉ, G., SCHALLES, R. (1985): Suckling behavior in range beef calves. *Journal of Animal Science* 61, 2, 307-309.

PARISH, S. M., TYLER, J. W., BESSER, T. E., GAY, C. C., KRYTENBERG, D. (1997): Prediction of serum IgG1 concentration in Holstein calves using serum gamma glutamyltransferase activity. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 11, 6, 344-347.

PETITCLERC, D., DUMOULIN, P., RINGUET, H., MATTE, J., GIRARD, C. (1999): Plane of nutrition and folic acid supplementation between birth and four months of age on mammary development of dairy heifers. *Canadian Journal of Animal Science* 79, 2, 227-234.

PROKOP, L., KASKE, M., MACCARI, P., LUCIUS, R., KUNZ, H.-J., WIEDEMANN, S. (2015): Intensive rearing of male calves during the first three weeks of life has long-term effects on number of islets of Langerhans and insulin stained area in the pancreas. *Journal of Animal Science* 93, 3, 988-998.

QUIGLEY, J. D. (1996): Influence of weaning method on growth, intake, and selected blood metabolites in Jersey calves. *Journal of Dairy Science* 79, 12, 2255-2260.

QUIGLEY, J. D., BERNARD, J. K. (1992): Effects of nutrient source and time of feeding on changes in blood metabolites in young calves. *Journal of Animal Science* 70, 5, 1543-1549.

QUIGLEY, J. D., CALDWELL, L. A., SINKS, G. D., HEITMANN, R. N. (1991): Changes in blood glucose, nonesterified fatty acids, and ketones in response to weaning and feed intake in young calves. *Journal of Dairy Science* 74, 1, 250-257.

QUIGLEY, J. D., WOLFE, T. A., ELSASSER, T. H. (2006): Effects of additional milk replacer feeding on calf health, growth, and selected blood metabolites in calves. *Journal of Dairy Science* 89, 1, 207-216.

RAETH-KNIGHT, M., CHESTER-JONES, H., HAYES, S., LINN, J., LARSON, R., ZIEGLER, D., ZIEGLER, B., BROADWATER, N. (2009): Impact of conventional or intensive milk replacer programs on Holstein heifer performance through six months of age and during first lactation. *Journal of Dairy Science* 92, 2, 799-809.

RAUCH, E., MOELLER-HOLTKAMP, P., FRANZ, N., MCMORRAN, E., ERHARD, M. H. (2015): Status Quo der Kolostrumversorgung von deutschen Kälbern. *Tierärztliche Umschau* 70, 1-2, 18-23.

RAUPRICH, A. B., HAMMON, H. M., BLUM, J. W. (2000a): Influence of feeding different amounts of first colostrum on metabolic, endocrine, and health status and on growth performance in neonatal calves. *Journal of Animal Science* 78, 4, 896-908.

RAUPRICH, A. B. E., HAMMON, H. M., BLUM, J. W. (2000b): Effects of feeding colostrum and a formula with nutrient contents as colostrum on metabolic and endocrine traits in neonatal calves. *Biology of the Neonate* 78, 1, 53-64.

REINHARDT, V., REINHARDT, A. (1981): Natural sucking performance and age of weaning in zebu cattle (*Bos indicus*). *Journal of Agricultural Science* 96, 2, 309-312.

RINCKER, L. E. D., VANDEHAAR, M. J., WOLF, C. A., LIESMAN, J. S., CHAPIN, L. T., NIELSEN, M. S. W. (2011): Effect of intensified feeding of heifer calves on growth, pubertal age, calving age, milk yield, and economics. *Journal of Dairy Science* 94, 7, 3554-3567.

RITZ, B. W., AKTAN, I., NOGUSA, S., GARDNER, E. M. (2008): Energy restriction impairs natural killer cell function and increases the severity of influenza infection in young adult male C57BL/6 mice. *The Journal of Nutrition* 138, 11, 2269-2275.

ROBISON, J. D., STOTT, G. H., DENISE, S. K. (1988): Effects of passive immunity on growth and survival in the dairy heifer. *Journal of Dairy Science* 71, 5, 1283-1287.

SATLER, K. (2011): Untersuchung von geschlechts-, rasse-und altersspezifischen hämatologischen Parametern. Diss. med. vet. Ludwig-Maximilians-Universität München

SCHWENDENWEIN, I. (2014): Serumproteine - Plasmaproteine. In A. Moritz (Hrsg.), *Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin*, 7 edn. Stuttgart. Schattauer GmbH. 292-303

SENN, M., GROSS-LÜEM, S., LEUENBERGER, H., LANGHANS, W. (2000): Meal patterns and meal-induced metabolic changes in calves fed milk ad lib. *Physiology & Behavior* 70, 1-2, 189-195.

SHAMAY, A., WERNER, D., MOALLEM, U., BARASH, H., BRUCKENTAL, I. (2005): Effect of nursing management and skeletal size at weaning on puberty, skeletal growth rate, and milk production during first lactation of dairy heifers. *Journal of Dairy Science* 88, 4, 1460-1469.

SILPER, B. F., LANA, A. M. Q., CARVALHO, A. U., FERREIRA, C. S., FRANZONI, A. P. S., LIMA, J. A. M., SATURNINO, H. M., REIS, R. B., COELHO, S. G. (2014): Effects of milk replacer feeding strategies on performance, ruminal development, and metabolism of dairy calves. *Journal of Dairy Science* 97, 2, 1016-1025.

SMITH, J. M., VAN AMBURGH, M. E., DIAZ, M. C., LUCY, M. C., BAUMAN, D. E. (2002): Effect of nutrient intake on the development of the somatotrophic axis and its responsiveness to GH in Holstein bull calves. *Journal of Animal Science* 80, 6, 1528-1537.

SOBERON, F., RAFFRENATO, E., EVERETT, R. W., VAN AMBURGH, M. E. (2012): Prewaning milk replacer intake and effects on long-term productivity of dairy calves. *Journal of Dairy Science* 95, 2, 783-793.

SOBERON, F., VAN AMBURGH, M. E. (2013): Lactation Biology Symposium: The effect of nutrient intake from milk of milk replacer of preweaned dairy calves on lactation milk yield as adults: a meta-analysis of current data. *Journal of Animal Science* 91, 2, 706-712.

STANLEY, C. C., WILLIAMS, C. C., JENNY, B. F., FERNANDEZ, J. M., BATEMAN, H. G., NIPPER, W. A., LOVEJOY, J. C., GANTT, D. T., GOODIER, G. E. (2002): Effects of feeding milk replacer once versus twice daily on glucose metabolism in Holstein and Jersey calves. *Journal of Dairy Science* 85, 9, 2335-2343.

STAUFENBIEL, R. (2006): Eisenmangel. In G. Dirksen, H.-D. Gründer & M. Stöber (Hrsg.): *Innere Medizin und Chirurgie des Rindes*, 5 edn. Stuttgart. Parey. 226-230

SUÁREZ, B. J., VAN REENEN, C. G., GERRITS, W. J. J., STOCKHOFE, N., VAN VUUREN, A. M., DIJKSTRA, J. (2006): Effects of supplementing concentrates differing in carbohydrate composition in veal calf diets: II. Rumen development. *Journal of Dairy Science* 89, 11, 4376-4386.

SUTTON, J. D., MCGILLIARD, A. D., JACOBSON, N. L. (1963): Functional development of rumen mucosa. I. Absorptive ability. *Journal of Dairy Science* 46, 5, 426-436.

SWALI, A., CHENG, Z., BOURNE, N., WATHES, D. C. (2008): Metabolic traits affecting growth rates of pre-pubertal calves and their relationship with subsequent survival. *Domestic Animal Endocrinology* 35, 3, 300-313.

SWEENEY, B. C., RUSHEN, J., WEARY, D. M., DE PASSILLÉ, A. M. (2010): Duration of weaning, starter intake, and weight gain of dairy calves fed large amounts of milk. *Journal of Dairy Science* 93, 1, 148-152.

TENNANT, B., HARROLD, D., REINA-GUERRA, M., KENDRICK, J. W., LABEN, R. C. (1974): Hematology of the neonatal calf: erythrocyte and leukocyte values of normal calves. *The Cornell Veterinarian* 64, 4, 516-532.

TERRÉ, M., DEVANT, M., BACH, A. (2006): Performance and nitrogen metabolism of calves fed conventionally or following an enhanced-growth feeding program during the preweaning period. *Livestock Science* 105, 1-3, 109-119.

TERRÉ, M., DEVANT, M., BACH, A. (2007): Effect of level of milk replacer fed to Holstein calves on performance during the preweaning period and starter digestibility at weaning. *Livestock Science* 110, 1-2, 82-88.

TERRÉ, M., TEJERO, C., BACH, A. (2009): Long-term effects on heifer performance of an enhanced-growth feeding programme applied during the preweaning period. *Journal of Dairy Research* 76, 03, 331-339.

TOZER, P. R., HEINRICHS, A. J. (2001): What affects the costs of raising replacement dairy heifers: A multiple-component analysis. *Journal of Dairy Science* 84, 8, 1836-1844.

TYLER, J. W., HANCOCK, D. D., PARISH, S. M., REA, D. E., BESSER, T. E., SANDERS, S. G., WILSON, L. K. (1996): Evaluation of 3 assays for failure of passive transfer in calves. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 10, 5, 304-307.

TYLER, J. W., PARISH, S. M., BESSER, T. E., VAN METRE, D. C., BARRINGTON, G. M., MIDDLETON, J. R. (1999): Detection of low serum immunoglobulin concentrations in clinically ill calves. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 13, 1, 40-43.

UYS, J. L., LOURENS, D. C., THOMPSON, P. N. (2011): The effect of unrestricted milk feeding on the growth and health of Jersey calves. *Journal of the South African Veterinary Association* 82, 1, 47-52.

VACHER, P.-Y., BESTETTI, G., BLUM, J. W. (1995): Insulin-like growth factor I absorption in the jejunum of neonatal calves. *Biology of the Neonate* 68, 5, 354-367.

VAN HOUTERT, M. F. J. (1993): The production and metabolism of volatile fatty acids by ruminants fed roughages: A review. *Animal Feed Science and Technology* 43, 3-4, 189-225.

VIEIRA, A. D. P., GUESDON, V., DE PASSILLE, A. M., VON KEYSERLINGK, M. A. G., WEARY, D. M. (2008): Behavioural indicators of hunger in dairy calves. *Applied Animal Behaviour Science* 109, 2-4, 180-189.

VIRTALA, A.-M. K., MECHOR, G. D., GRÖHN, Y. T., ERB, H. N. (1996): The effect of calthood diseases on growth of female dairy calves during the first 3 months of life in New York State. *Journal of Dairy Science* 79, 6, 1040-1049.

WARNICK, L. D., ERB, H. N., WHITE, M. E. (1994): The association of calthood morbidity with first-lactation calving age and dystocia in New York Holstein herds. *Kenya Veterinarian* 18, 2, 177-179.

WEAVER, D. M., TYLER, J. W., VANMETRE, D. C., HOSTETLER, D. E., BARRINGTON, G. M. (2000): Passive transfer of colostral immunoglobulins in calves. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 14, 6, 569-577.

WEINGAND, A. K. (2015): Immun-und Gesundheitsstatus von Kalb und Kuh in Abhängigkeit von dem Haltungssystem und der Jahreszeit. Diss. med. vet. Ludwig-Maximilians-Universität München

WERNER, A. (2003): Experimentelle Untersuchungen zur Eignung der  $\gamma$ -Glutamyltransferase-Aktivität im Blut von Kälbern zur Überprüfung der Kolostrumversorgung. Diss. med. vet. Tierärztliche Hochschule Hannover

WIEDEMANN, S., HOLZ, P., KUNZ, H.-J., STAMER, E., KASKE, M. (2015): Einfluss einer ad libitum Tränke von Holstein-Friesian Kälbern während der ersten vier Lebenswochen auf die Gewichtsentwicklung sowie auf Milchleistung und Futteraufnahme in der ersten Laktation. *Züchtungskunde* 87, 6, 413-422.

WILSON, L. K., TYLER, J. W., BESSER, T. E., PARISH, S. M., GANT, R. (1999): Prediction of serum IgG1 concentration in beef calves based on age and serum gamma-glutamyl-transferase activity. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 13, 2, 123-125.

WITTUM, T. E., PERINO, L. J. (1995): Passive immune status at postpartum hour 24 and long-term health and performance of calves. *American Journal of Veterinary Research* 56, 9, 1149-1154.

WOODWARD, B. (1998): Protein, calories, and immune defenses. *Nutrition Reviews* 56, 1, 84-92.

YAKAR, S., LIU, J.-L., STANNARD, B., BUTLER, A., ACCILI, D., SAUER, B., LEROITH, D. (1999): Normal growth and development in the absence of hepatic insulin-like growth factor I. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 96, 13, 7324-7329.

YILMAZ, A., DAVIS, M. E., SIMMEN, R. C. M. (2006): Analysis of female reproductive traits in Angus beef cattle divergently selected for blood serum insulin-like growth factor I concentration. *Theriogenology* 65, 6, 1180-1190.

ZANKER, I. A., HAMMON, H. M., BLUM, J. W. (2001): Activities of  $\gamma$ -glutamyltransferase, alkaline phosphatase and aspartate-aminotransferase in colostrum, milk and blood plasma of calves fed first colostrum at 0–2, 6–7, 12–13 and 24–25 h after birth. *Journal of Veterinary Medicine Series A* 48, 3, 179-185.

ZAREMBA, W., GRUNERT, E., BINDER, A. (1982): Der Einfluß verschiedener Tränkeverfahren auf die Gesundheit neugeborener Kälber. *Tierärztliche Umschau* 37, 7, 469-471.



## IX. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Tränkeplan der ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälber in den einzelnen Phasen .....	40
Abbildung 2: Mittlere tägliche Milchaufnahme [kg] im Verlauf über die gesamte Tränkeperiode (1. bis 70. Lebenstag) von Fleckviehkälbern (n = 89; 56. bis 70. Lebenstag n = 47), die in den ersten vier Lebenswochen ad libitum (ADL) oder restriktiv (RES) getränkt wurden ..	49
Abbildung 3: Vergleich der Milchaufnahme [kg] der ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälber (n = 89) in der Phase 1 (1. bis 28. Lebenstag) .....	50
Abbildung 4: Mittlere Anzahl der Tränkeautomatenbesuche (OT: ohne Tränke; MT: mit Tränke) pro Tag in den einzelnen Phasen der Tränkeperiode von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern (n = 89; 42. bis 70. Lebenstag n = 47) .....	51
Abbildung 5: Zeitlicher Verlauf der mittleren Anzahl der Tränkeautomatenbesuche (MT: mit Tränke; OT: ohne Tränke) vom 15. bis zum 70. Lebenstag von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern (n = 89; 56. bis 70. Lebenstag n = 47) .....	52
Abbildung 6: Verlauf der mittleren täglichen Kraftfutteraufnahme [kg] vom 15. bis 112. Lebenstag von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Fleckviehkälbern (n = 71; 56. bis 112. Lebenstag n = 34).....	53
Abbildung 7: Mittlere tägliche Zunahmen [g/d] in den ersten 16 Lebenswochen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern (n = 89; 8. bis 16. Lebenswoche n = 47) in den einzelnen Phasen .....	55
Abbildung 8: Zeitlicher Verlauf der mittleren IgG Konzentration im Serum vom 3. bis zum 112. Lebenstag in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern (n = 89; 84. bis 112. Lebenstag n = 47) .....	60
Abbildung 9: Verlauf der mittleren IGF- I Konzentration im Serum vom 3. bis zum 112. Lebenstag in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Fleckviehkälbern (n = 89; 112. Lebenstag n = 47).....	61

Abbildung 10: Zeitlicher Verlauf der mittleren $\beta$ -Hydroxybutyrat (BHB) Konzentration im Serum vom 3. bis zum 112. Lebenstag in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern (n = 89; 84. bis 112. Lebenstag n = 47).....	62
Abbildung 11: Zeitlicher Verlauf der mittleren Non-esterfied-fatty-acids (NEFA) Konzentration im Serum vom 3. bis zum 112. Lebenstag in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern (n = 89; 84. bis 112. Lebenstag n = 47) .....	63
Abbildung 12: Zeitlicher Verlauf der mittleren Triglyceridwerte im Serum vom 3. bis zum 112. Lebenstag in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern (n = 89; 84. bis 112. Lebenstag n = 47) .....	64
Abbildung 13: Zeitlicher Verlauf der mittleren Laktatdehydrogenase (LDH) Aktivität im Serum vom 3. bis zum 112. Lebenstag in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern (n = 89; 84. bis 112. Lebenstag n = 47).....	65
Abbildung 14: Zeitlicher Verlauf der mittleren Erythrozytenanzahl vom 3. bis zum 112. Lebenstag in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern (n = 89; 84. bis 112. Lebenstag n = 47).....	66
Abbildung 15: Zeitlicher Verlauf der mittleren Hämoglobinkonzentration vom 3. bis zum 112. Lebenstag in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern (n = 89; 84. bis 112. Lebenstag n = 47) .....	67
Abbildung 16: Zeitlicher Verlauf der mittleren Hämatokrits vom 3. bis zum 112. Lebenstag in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern (n = 89; 84. bis 112. Lebenstag n = 47) .....	67
Abbildung 17: Zeitlicher Verlauf des mittleren Erythrozytenvolumens (MCV) vom 3. bis zum 112. Lebenstag in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern (n = 89; 84. bis 112. Lebenstag n = 47) .....	68
Abbildung 18: Zeitlicher Verlauf der mittleren Hämoglobinkonzentration der Einzelerythrozyten (MCH) vom 3. bis zum 112. Lebenstag in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten	

---

Kälbern (n = 89; 84. bis 112. Lebenstag n = 47) .....	69
Abbildung 19: Zeitlicher Verlauf der mittleren Hämoglobinkonzentration der Erythrozyten (MCHC) vom 3. bis zum 112. Lebenstag in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern (n = 89; 84. bis 112. Lebenstag n = 47) .....	69



## X. TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Übersicht über frühzeitig aus dem Versuch ausgeschiedene Kälber .....	35
Tabelle 2: Übersicht über die Verteilung des Geschlechts und die Anzahl der ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälber .....	36
Tabelle 3: Übersicht über die beurteilten Parameter mit den dazugehörigen Scores .....	42
Tabelle 4: Mittlere tägliche Milchaufnahme [kg] in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern mit Angabe des p-Wertes und der Effektgröße Cohen r .....	50
Tabelle 5: Mittlere tägliche Krafffutteraufnahme [kg] in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern mit Angabe des p-Wertes und der Effektgröße Cohen r .....	53
Tabelle 6: Körpergewicht [kg] (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung; Median) von Fleckviehkälbern zu Versuchsbeginn und an den Endtagen der drei Studienphasen mit Angabe des p-Wertes und der Effektgröße Cohen r .	54
Tabelle 7: Geschlechtsspezifische Unterschiede der Kälber innerhalb der ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Gruppe hinsichtlich des Körpergewichts an den Endtagen der verschiedenen Phasen des Versuches mit Angabe des p-Wertes und der Effektgröße Cohen r .....	55
Tabelle 8: Mittlere tägliche Zunahmen [g] (Mittelwert; Standardabweichung; Median) in den einzelnen Phasen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern mit Angabe des p-Wertes und der Effektgröße Cohen r .....	56
Tabelle 9: Anzahl der Behandlungsereignisse von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Kälbern unter Berücksichtigung des Geschlechts und des Versuchsabschnitts .....	58
Tabelle 10: Häufigkeiten (n) und Verteilung (%) der Kälber hinsichtlich der Immunglobulinkonzentration im Serum (mg/ml) in der ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Gruppe .....	59
Tabelle 11: AUC-Werte der Milchaufnahme, Tränkeautomatenbesuche (MT: mit Tränke; OT: ohne Tränke), Krafffutteraufnahme und Gewichtszunahmen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten	

Fleckviehkälbern in den einzelnen Phasen mit Angabe des p-Wertes und der Effektgröße Cohen r .....	129
Tabelle 12: AUC-Werte der untersuchten Blutparameter der ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Fleckviehkälber in den einzelnen Phasen mit Angabe des p-Wertes und der Effektgröße Cohen r.....	130

## XI. ANHANG

**Tabelle 11: AUC-Werte der Milchaufnahme, Tränkeautomatenbesuche (MT: mit Tränke; OT: ohne Tränke), Kraftfutteraufnahme und Gewichtszunahmen von ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Fleckviehkälbern in den einzelnen Phasen mit Angabe des p-Wertes und der Effektgröße Cohen r**

	Lebenstag	ADL			RES			p-Wert	Cohen r
		n	Mean± SD	Median	n	Mean± SD	Median		
Milchaufnahme	1 - 28	46	195,3 ± 38,9	195,6	43	139,3 ± 20,7	145,1	< 0,001	0,69
	28 - 42	46	123,3 ± 23,5	123,4	43	100,8 ± 15,0	104,9	< 0,001	0,60
	42 - 56	46	78,3 ± 6,7	79,4	43	80,5 ± 6,0	81,8	0,028	0,23
	42 - 70	24	105,9 ± 8,2	107,7	23	103,6 ± 8,5	106,0	0,344	0,14
Besuche MT	15 - 28	46	80,4 ± 29,6	76,5	43	51,3 ± 21,1	47,0	< 0,001	0,61
	28 - 42	46	83,2 ± 20,1	85,0	43	58,4 ± 16,5	54,0	< 0,001	0,62
	42 - 56	46	98,4 ± 22,1	99,3	43	37,5 ± 8,8	35,5	< 0,001	0,85
	42 - 70	24	134,3 ± 26,7	125,0	23	54,4 ± 13,9	51,5	< 0,001	0,85
Besuche OT	15 - 28	46	2,7 ± 5,0	1,0	43	97,0 ± 62,6	88,5	< 0,001	0,86
	28 - 42	46	18,7 ± 15,4	14,3	43	130,5 ± 75,2	128,0	< 0,001	0,81
	42 - 56	46	148,5 ± 68,8	147,0	43	170,1 ± 74,3	162,5	0,190	0,14
	42 - 70	24	321,5 ± 126,4	294,0	23	299,0 ± 113,7	324,0	0,856	0,03
Kraftfutteraufnahme	1 - 28	35	0,19 ± 0,41	0,04	36	0,13 ± 0,28	0,04	0,720	0,04
	28 - 42	35	0,92 ± 0,88	0,76	36	1,28 ± 1,56	0,68	0,769	0,03
	42 - 56	35	5,64 ± 3,54	5,45	36	5,83 ± 4,98	4,48	0,704	0,05
	42 - 112	18	164,67 ± 20,28	161,20	16	160,15 ± 19,95	158,04	0,403	0,15
Gewichtszunahmen	1 - 28	46	15264,1 ± 5975,8	15208,3	43	8937,6 ± 4095,1	9216,7	< 0,001	0,53
	28 - 42	46	14148,9 ± 3628,3	14500,0	43	12720,9 ± 2831,0	13500,0	0,036	0,22
	42 - 56	46	11788,0 ± 3315,4	12250,0	43	12774,4 ± 3079,7	13000,0	0,197	0,14
	42 - 112	24	79472,9 ± 8397,4	79125,0	23	71482,6 ± 11974,6	72000,0	0,020	0,34

**Tabelle 12: AUC-Werte der untersuchten Blutparameter der ad libitum (ADL) und restriktiv (RES) getränkten Fleckviehkälber in den einzelnen Phasen mit Angabe des p-Wertes und der Effektgröße Cohen r**

	Lebensstag	ADL			RES			p-Wert	Cohen r
		n	Mean ± SD	Median	n	Mean ± SD	Median		
IGF-I	1 - 28	46	2048,3 ± 1007,7	1784,7	43	1475,7 ± 618,8	1264,5	0,004	0,31
	28 - 42	46	1725,3 ± 696,5	1624,7	43	1589,7 ± 724,3	1500,1	0,176	0,14
	42 - 56	46	1752,7 ± 653,3	1706,6	43	1625,7 ± 630,7	1540,0	0,280	0,11
	42 - 112	24	19006,6 ± 6109,0	17776,5	23	14751,2 ± 3877,4	14254,8	0,014	0,36
BHB	1 - 28	46	3,1 ± 1,2	3,0	43	2,5 ± 0,9	2,3	0,002	0,33
	28 - 42	46	1,7 ± 0,7	1,6	43	1,3 ± 0,4	1,2	0,003	0,32
	42 - 56	46	2,0 ± 0,9	1,9	43	1,9 ± 0,5	1,9	0,828	0,02
	42 - 112	24	19,6 ± 5,6	19,0	23	19,9 ± 3,4	19,6	0,640	0,07
Triglyceride	1 - 28	46	1008,7 ± 238,4	991,3	43	892,5 ± 239,8	884,0	0,031	0,23
	28 - 42	46	630,9 ± 194,1	612,5	43	534,3 ± 139,5	539,0	0,021	0,24
	42 - 56	46	478,1 ± 136,4	462,0	43	523,8 ± 121,4	539,0	0,085	0,18
	42 - 112	24	2293,7 ± 507,5	2341,5	23	2213,8 ± 446,8	2303,0	0,437	0,11
IgG	1 - 28	46	139,8 ± 63,3	134,7	43	145,8 ± 66,8	139,3	0,850	0,02
	28 - 42	46	75,3 ± 26,5	72,3	43	86,0 ± 34,6	80,0	0,201	0,14
	42 - 56	46	92,6 ± 31,8	86,2	43	108,5 ± 44,2	93,9	0,091	0,18
	42 - 112	24	730,1 ± 176,2	689,0	23	752,3 ± 225,4	650,3	0,798	0,04
Gesamtprotein	1 - 28	46	125,8 ± 12,6	123,5	43	124,4 ± 14,6	121,1	0,407	0,09
	28 - 42	46	72,6 ± 6,0	72,8	43	70,4 ± 8,3	69,8	0,143	0,16
	42 - 56	46	74,9 ± 7,5	75,3	43	74,8 ± 6,5	74,6	0,407	0,09
	42 - 112	24	409,0 ± 28,4	401,3	23	405,4 ± 34,8	403,1	0,750	0,05
γGT	1 - 28	46	3869,6 ± 2844,2	3463,8	43	3788,6 ± 3727,4	2547,9	0,522	0,07
	28 - 42	46	346,7 ± 143,2	326,5	43	350,1 ± 108,5	322,5	0,577	0,06
	42 - 56	46	247,7 ± 56,2	244,1	43	256,2 ± 73,5	238,1	0,980	0,00
	42 - 112	24	1035,7 ± 135,8	1045,6	23	1112,5 ± 255,4	1040,7	0,537	0,09
LDH	1 - 28	46	18359,7 ± 2659,8	17927,6	43	18945,9 ± 4863,7	18607,4	0,902	0,01
	28 - 42	46	11107,4 ± 2358,4	10900,1	43	12292,9 ± 3088,6	12032,3	0,007	0,28
	42 - 56	46	13259,6 ± 3358,1	12934,1	43	13618,8 ± 3444,2	12607,7	0,628	0,05
	42 - 112	24	72484,6 ± 15582,2	67214,5	23	70953,1 ± 17699,6	67137,0	0,640	0,07
GLDH	1 - 28	46	467,5 ± 308,8	388,5	43	398,7 ± 208,8	358,0	0,341	0,10
	28 - 42	46	274,8 ± 163,4	197,8	43	281,5 ± 217,1	224,0	0,746	0,03
	42 - 56	46	424,2 ± 352,1	297,0	43	435,8 ± 393,5	306,6	0,866	0,02
	42 - 112	24	1978,6 ± 1323,8	1533,4	23	2890,7 ± 3100,6	1738,8	0,371	0,13
Hamstoff	1 - 28	46	609,7 ± 237,4	545,9	43	539,7 ± 188,3	496,3	0,059	0,20
	28 - 42	46	278,0 ± 80,5	260,9	43	253,2 ± 65,0	244,7	0,082	0,18
	42 - 56	46	296,1 ± 133,8	279,7	43	261,6 ± 56,5	267,1	0,096	0,18
	42 - 112	24	1836,8 ± 250,8	1833,0	23	1765,0 ± 327,1	1830,2	0,496	0,10
Glukose	1 - 28	46	2656,4 ± 300,0	2655,0	43	2563,3 ± 265,4	2580,3	0,200	0,14
	28 - 42	46	1576,4 ± 182,6	1599,5	43	1529,5 ± 151,3	1533,0	0,208	0,13
	42 - 56	46	1505,4 ± 152,3	1514,6	43	1500,1 ± 121,8	1494,5	0,582	0,06
	42 - 112	24	7659,2 ± 733,5	7671,5	23	7547,2 ± 538,8	7691,6	0,655	0,07
NEFA	1 - 28	46	6,8 ± 1,8	6,7	43	6,6 ± 1,4	6,4	0,465	0,08
	28 - 42	46	3,6 ± 1,1	3,6	43	2,6 ± 0,7	2,3	< 0,001	0,48
	42 - 56	46	3,1 ± 1,1	2,9	43	2,9 ± 0,9	2,7	0,546	0,06
	42 - 112	24	9,4 ± 4,4	8,4	23	7,5 ± 2,5	7,0	0,030	0,32
Eisen	1 - 28	46	2045,6 ± 816,9	1923,1	43	1993,1 ± 731,4	1955,9	0,974	0,00
	28 - 42	46	784,7 ± 493,1	622,4	43	948,2 ± 489,3	809,8	0,082	0,18
	42 - 56	46	1034,2 ± 575,3	939,7	43	1237,5 ± 642,0	1170,9	0,139	0,16
	42 - 112	24	9598,5 ± 2091,0	9429,4	23	8259,7 ± 2110,5	8376,1	0,061	0,27

	Lebensstag	ADL			RES			p-Wert	Cohen r
		n	Mean ± SD	Median	n	Mean ± SD	Median		
Erythrozyten	1 - 28	46	199,1 ± 30,4	204,1	43	212,3 ± 30,5	213,3	0,068	0,19
	28 - 42	46	97,2 ± 20,4	102,7	43	106,1 ± 17,3	105,2	0,045	0,21
	42 - 56	46	91,9 ± 21,4	90,7	43	99,1 ± 16,8	100,9	0,063	0,20
	42 - 112	24	515,3 ± 51,4	525,3	23	521,8 ± 60,7	525,9	0,640	0,07
Hämoglobin	1 - 28	46	173,4 ± 23,9	173,0	43	185,0 ± 27,4	185,4	0,061	0,20
	28 - 42	46	81,6 ± 14,1	81,9	43	86,8 ± 14,6	84,7	0,110	0,17
	42 - 56	46	76,5 ± 13,6	75,6	43	80,2 ± 12,6	79,1	0,092	0,18
	42 - 112	24	416,8 ± 35,7	415,3	23	422,8 ± 45,3	429,1	0,444	0,11
Hämatokrit	1 - 28	46	8,3 ± 1,3	8,2	43	9,0 ± 1,4	9,1	0,035	0,22
	28 - 42	46	3,6 ± 0,8	3,7	43	4,0 ± 0,7	4,0	0,023	0,24
	42 - 56	46	3,3 ± 0,8	3,2	43	3,6 ± 0,7	3,6	0,055	0,20
	42 - 112	24	18,6 ± 1,9	18,8	23	18,6 ± 2,5	18,6	0,882	0,02
MCV	1 - 28	46	1036,5 ± 52,4	1031,8	43	1048,3 ± 44,0	1049,5	0,103	0,17
	28 - 42	46	523,1 ± 28,1	518,0	43	531,4 ± 22,8	532,0	0,033	0,23
	42 - 56	46	498,0 ± 27,1	490,0	43	504,2 ± 21,0	504,0	0,040	0,22
	42 - 112	24	2512,1 ± 90,1	2520,0	23	2493,5 ± 102,4	2506,0	0,469	0,11
MCH	1 - 28	46	21,9 ± 1,2	21,9	43	21,7 ± 1,3	21,8	0,850	0,02
	28 - 42	46	11,9 ± 1,0	12,0	43	11,5 ± 0,7	11,5	0,034	0,22
	42 - 56	46	11,9 ± 1,3	11,6	43	11,4 ± 0,8	11,4	0,133	0,16
	42 - 112	24	57,0 ± 4,0	56,3	23	57,1 ± 3,4	56,8	0,710	0,05
MCHC	1 - 28	46	528,7 ± 24,8	526,2	43	518,3 ± 22,1	523,7	0,075	0,19
	28 - 42	46	319,3 ± 32,7	312,9	43	302,2 ± 13,3	304,2	0,007	0,28
	42 - 56	46	335,2 ± 44,8	325,2	43	316,2 ± 20,0	313,3	0,028	0,23
	42 - 112	24	1591,7 ± 137,4	1584,5	23	1604,6 ± 98,2	1619,8	0,338	0,14



## **XII. DANKSAGUNG**

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Dr. Michael Erhard für die Überlassung dieses spannenden und aktuell viel diskutierten Themas und die gute Zusammenarbeit von LfL und Universität.

Meinem Mentor Herrn Prof. Dr. Klaus Reiter möchte ich besonders danken. Sie haben mir das notwendige Vertrauen zur Umsetzung dieser Arbeit entgegengebracht. Vielen Dank für Ihr offenes Ohr und die Freiheit, eigene Ideen einzubringen und diese umzusetzen.

Ein besonderes Dankeschön richte ich an meine Betreuerin Frau Dr. Rauch, die uns immer unterstützte, jederzeit erreichbar war und nach Grub gefahren ist, um vor Ort Rat zu geben. Ebenfalls bedanke ich mich für die schnelle Korrektur.

Herrn Dr. Reese, der entscheidend zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat, möchte ich ganz herzlich danken für die umfassende und engagierte Hilfe bei der statistischen Auswertung und viele wertvolle Anregungen.

Weiterhin bedanke ich mich bei meinem Mitdoktoranden Teut für seinen Einsatz. Nur zusammen war es möglich diesen Versuch umzusetzen.

Ein ganz herzlicher Dank geht an meine Arbeitsgruppe in Grub für die super Arbeitsatmosphäre und eure Unterstützung. Tausend Dank an Maike, die mir jederzeit mit Rat und Tat zur Seite stand. Ein großer Dank an Hannes für die geduldige Lösung sämtlicher Computerprobleme.

Ebenso danke ich Herrn Dr. Hammon für seine wertvolle Beratung während der Planung des Versuches und die Beantwortung aller fachlichen Fragen.

Ferner möchte ich mich ganz herzlich bei allen Mitarbeitern des Versuchsgutes bedanken. Es war ein wahnsinnig lehrreiches Jahr und die Zeit bei euch im Stall hat mir richtig Spaß gemacht. Danke Stefan, Michaela, Eddy, Gerhard, Michi und Marius.

Tausend Dank an Christina, Hermann und Nicole für die aufwendige Auswertung meine Blutproben. Ich blicke auf eine wirklich schöne Zeit mit euch im Labor zurück. Vielen lieben Dank für euren Einsatz, eure Geduld und die schönen Pausen zwischendurch.

An dieser Stelle will ich mich bei meinen Freunden aus der Heimat und aus München und meiner WG bedanken für eure Freundschaft, fürs Zuhören und eure Hilfe in jeder Lebenslage. Lisa und Christine, ihr habt besonders zum Gelingen beigetragen und mich jederzeit unterstützt. Ich bin euch wirklich wahnsinnig dankbar.

Von ganzem Herzen danke ich meinen Eltern, meinem Bruder German, und meinem Freund Daniel. Ihr habt immer ein offenes Ohr und stärkt mir den Rücken wo es nur geht. Eure bedingungslose Unterstützung hat mir das Studium und diese Arbeit überhaupt erst ermöglicht.



### **XIII. EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG**

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die Dissertation selbstständig angefertigt, mich außer den angegebenen keiner anderen Hilfsmittel bedient und alle Stellen, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen wurden, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

München, den 21.März 2017

.....

Kristin Bernhart