

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

Die Qualitätseinstufung von Kolostrum mit einem einfachen
Präzisionstrichter

von Franz Kritzingner

aus A-4890 Frankenmarkt

München 2017

Aus dem Zentrum für Klinische Tiermedizin
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München
Lehrstuhl Physiologie und Pathologie der Fortpflanzung

Arbeit angefertigt unter der Leitung von: Univ.-Prof. Dr. Rolf Mansfeld

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

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Reinhard K. Straubinger, PhD

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Rolf Mansfeld

Korreferent/en: Univ.-Prof. Dr. Ellen Kienzle

Tag der Promotion: 29.7.2017

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Fragestellung	1
2	Literaturübersicht	2
2.1	Situation des neugeborenen Kalbes	2
2.2	Kolostrum	2
2.2.1	Kolostrumbildung	3
2.2.2	Immunglobuline	4
2.2.2.1	Immunglobulin G	5
2.2.2.2	Immunglobulin M	6
2.2.2.3	Immunglobulin A	6
2.2.2.4	Sonstige Bestandteile	6
2.2.3	Kolostrumqualität	7
2.2.3.1	Einflüsse auf die Kolostrumqualität	7
2.2.4	pH-Wert und Gerinnung	11
2.2.4.1	pH-Wert	11
2.2.4.2	Gerinnung	11
2.3	Kolostrumversorgung neugeborener Kälber	11
2.3.1	Kolostrum und Gesundheit	11
2.3.2	Ig-Transfer	13
2.3.3	Zeitpunkt und Menge der Verabreichung	14
2.3.4	Tränkemethoden	15
2.3.5	Konservierung	16
2.4	Methoden zur Beurteilung der Kolostrumqualität	17
2.4.1	Optische Beurteilung	17
2.4.1.1	Farbe	17
2.4.1.2	Fließverhalten-Zähflüssigkeit-Viskosität	17
2.4.2	Kolostrometer (Hydrometer)	17
2.4.3	Radiale Immundiffusion (RID)	18
2.4.4	Immunoassay (ELISA)	19
2.4.5	Brix Refraktometer	19
2.4.6	Nahinfrarotspektroskopie	19
3	Tiere, Material und Methoden	20
3.1	Tiere	20
3.2	Material und Methoden	20
3.2.1	pH-Wertmessung	21

3.2.2	Messung des IgG-Gehaltes mit dem Refraktometer	23
3.2.2.1	Analoges (optisches) Refraktometer	23
3.2.2.2	Digitales Refraktometer	23
3.2.3	Schätzung des IgG-Gehaltes über die Dichtemessung	24
3.2.3.1	Digitale Dichtemessung	24
3.2.3.2	Kolostrometer	25
3.2.4	Trichtermethode (Auslaufbecher)	25
3.2.5	Radioimmundiffusion	27
3.3	Statistische Methoden	29
4	Ergebnisse	30
4.1	Allgemeine Angaben zu den Proben	30
4.1.1	pH-Wert	30
4.1.2	Messergebnisse von optischem und digitalem Refraktometer vor dem Einfrieren und nach dem Wiederauftauen des Kolostrums	31
4.2	Faktoren, die den IgG-Gehalt des Kolostrums beeinflussen	33
4.2.1	Laktationsnummer	33
4.2.2	Abstand Kalbung-Melkung	37
4.2.3	Ermolkene Kolostrummenge, pH-Wert, Ausmelken (ja/nein) und Abstand Melkung-Messung	37
4.2.4	Gemeinsamer Einfluss aller gemessenen Faktoren auf den IgG-Gehalt des Kolostrums	37
4.3	Bestimmung der Kolostrumqualität mit dem Präzisionstrichterverfahren	38
4.3.1	Ermolkene Kolostrummenge	38
4.3.2	Abstand Kalbung-Melkung	39
4.3.3	Laktationsnummer	40
4.3.4	Trichterdurchlaufzeit in Abhängigkeit von anderen Faktoren	41
4.3.5	Trichterdurchlaufzeit in Abhängigkeit aller erhobenen Faktoren (multivariabel)	42
4.3.6	Qualitätseinstufung mit dem Präzisionstrichter	43
4.4	Vergleich verschiedener Messmethoden	51
5	Diskussion	56
5.1	Ausschluss messrelevanter Veränderungen durch die Lagerung oder den Gefriervorgang	56
5.1.1	Ausschluss einer Gerinnung	56
5.1.2	Ausschluss von Veränderungen durch den Gefriervorgang	57
5.2	Kolostrumqualität	57
5.2.1	Faktoren, die die Kolostrumqualität beeinflussen	58
5.2.1.1	Laktationsnummer	58
5.2.1.2	Abstand Kalbung-Melkung	58
5.2.1.3	Ermolkene Kolostrummenge	58

5.2.1.4	Weitere Einflüsse auf die Kolostrumqualität.....	59
5.3	Kolostrumtrichter	59
5.3.1	Auswahl des Kolostrumtrichters.....	59
5.3.2	Messung mit dem Kolostrumtrichter	59
5.3.2.1	Bedeutung des IgG-Gehaltes für die Trichterdurchlaufzeit	59
5.3.2.2	Weitere Einflüsse auf die Trichtermessung	59
5.3.2.3	Die Qualitätseinstufung von Kolostrum mit dem Kolostrumtrichter	60
5.4	Vergleich der verschiedenen Messsysteme	60
5.4.1	pH-Wert.....	61
5.4.2	Optisches und digitales Refraktometer	61
5.4.3	Kolostrometer	62
5.4.4	Digitale Dichtemessung	63
5.5	Schlussfolgerungen	63
6	Zusammenfassung	64
7	Summary	66
8	Literaturverzeichnis	68
9	Anhang	90
10	Danksagung	100

Abkürzungsverzeichnis

a.p.	ante partum
Abb.	Abbildung
AUC	Area under curve
bzw.	beziehungsweise
°C	Grad Celsius
C. parvum	Cryptosporidium parvum
ca.	zirka
d	Tag(e)
d.h.	das heißt
dig.	digital
E. coli	Escherichia coli
ELISA	Enzyme-linked immunosorbent assay
FPT	Failure of passive transfer
g	Gramm
h	Stunde(n)
HF	Holstein Friesian
Ig	Immunglobulin
IgA	Immunglobulin A
IgG	Immunglobulin G
IgG1	Immunglobulin G1
IgG2	Immunglobulin G2
IgM	Immunglobulin M
KCl	Kaliumchlorid
l	Liter
Lak	Laktation
LKV	Landeskontrollverband
lt.	laut
mg	Milligramm
min	Minute(n)

ml	Milliliter
mm	Millimeter
N	Anzahl
Neutrophile	neutrophile Granulozyten
Noncasein N	nichtkasein Stickstoff
OÖ	Oberösterreich
opt.	optisch
P	Irrtumswahrscheinlichkeit
p.n.	post natum
p.p.	post partum
r	Korrelationskoeffizient
R ²	Bestimmtheitsmaß
RID	radiale Immundiffusion
ROC-Kurve	Receiver-Operating-Characteristic-Kurve
sec	Sekunde(n)
spez.	spezifisch
Tab.	Tabelle
u.	und
z.B.	zum Beispiel
µg	Mikrogramm = 10 ⁻⁶ g
µl	Mikroliter = 10 ⁻⁶ l

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Veränderung der verschiedenen Ig-Konzentrationen im Kolostrum während der ersten drei Tage p.p. nach Kelly (2003).....	5
Abbildung 2: pH-Meter (GPH 114) der Firma Greisinger in D-93128 Regenstauf	22
Abbildung 3: Wasserbad des LKV-Labors zur Erwärmung der aufgetauten Proben auf 30°C	22
Abbildung 4: Optisches Refraktometer (HM-REF-032) der Firma Hebesberger in A-4501 Neuhofen	23
Abbildung 5: Digitales Brix Refraktometer (MA871) der Firma Milwaukee Instruments in 2950 Business Park Drive - Rocky Mount NC 27804 - USA	24
Abbildung 6: Digitales Dichtemessgerät Densito 30PX der Firma Mettler Toledo in A-1230 Wien	25
Abbildung 7: Kolostrometer der Firma Kruuse in DK-5550 Langskov.....	25
Abbildung 8: Auslaufbecher 243/1 (Düsen-Ø 3 mm) der Firma Erichsen in D-58675 Hemer.....	26
Abbildung 9: Durchführung der Trichtermessung mit seitlich angeklebtem Haltegriff	26
Abbildung 10 : Abhängigkeit des pH-Wertes im Kolostrum vor dem Tiefgefrieren vom Abstand Kalbung-Melkung. N=123	30
Abbildung 11: Messergebnisse (Mittelwerte in % Brix) von einem optischen (optRef) und einem digitalen (digRef) Refraktometer vor dem Einfrieren und nach dem Wiederauftauen. N = 123	31
Abbildung 12: Gegenüberstellung der Messergebnisse (% Brix) vor dem Gefrieren und nach dem Wiederauftauen. Messung mit dem optischen Refraktometer. N=123	32
Abbildung 13: Gegenüberstellung der Messergebnisse (% Brix) vor dem Gefrieren und nach dem Wiederauftauen. Messung mit dem digitalen Refraktometer. N=123	33

Abbildung 14: IgG- Konzentration (mg/ml) in Abhängigkeit von der Laktationsnummer. N = 123	35
Abbildung 15: IgG-Konzentration (mg/ml) in Abhängigkeit von der Laktationsgruppe. N = 123	36
Abbildung 16: Zusammenhang zwischen IgG-Konzentration (mg/ml) und dem Abstand Kalbung-Melkung in Stunden. N = 123.....	37
Abbildung 17: Vergleich der Trichterdurchlaufzeit (sec) mit der IgG-Konzentration (mg/ml). N=123	38
Abbildung 18: Trichterdurchlaufzeit (sec) von 100 ml Kolostrum in Abhängigkeit von der ermolkene Kolostrummenge in Liter. N=123.....	39
Abbildung 19: Trichterdurchlaufzeit (sec) von 100ml Kolostrum in Abhängigkeit vom Abstand Kalbung-Melkung in Stunden. N = 123.....	40
Abbildung 20: Trichterdurchlaufzeit (sec) der verschiedenen Laktationsgruppen. Laktationsgruppe 6 = Kühe mit Laktationsnummer ≥ 6 . N = 123	41
Abbildung 21: Vergleich der Trichterdurchlaufzeit (sec) mit dem Faktor Ausmelken (Ja/Nein).....	42
Abbildung 22: Prozentuelle Verteilung (Häufigkeit) der mittels RID gemessenen IgG-Gehalte (mg/ml).....	44
Abbildung 23: ROC-Kurve der Trichterdurchlaufzeit zur Unterscheidung von „guten“ (≥ 50 mg/ml IgG) und „schlechten“ (< 50 mg/ml IgG) Kolostrumqualitäten. AUC = 0,805. N = 123	45
Abbildung 24: ROC-Kurve der Trichterdurchlaufzeit zur Unterscheidung von „guten“ (≥ 50 mg/ml IgG) und „schlechten“ (< 50 mg/ml IgG) Kolostrumqualitäten bei Tieren ab der 2. Laktation. AUC = 0,864. N = 106	47
Abbildung 25: ROC-Kurve der Trichterdurchlaufzeit bei kurzem Abstand Kalbung-Melkung (< 6 h) zur Unterscheidung von „guten“ (≥ 50 mg/ml IgG) und „schlechten“ (< 50 mg/ml IgG) Kolostrumqualitäten. AUC = 0,827. N = 107	49
Abbildung 26: ROC-Kurve der Trichterdurchlaufzeit bei langem Abstand Kalbung-Melkung (≥ 6 h) zur Unterscheidung von „guten“ (≥ 50 mg/ml IgG) und „schlechten“ (< 50 mg/ml IgG) Kolostrumqualitäten. AUC = 0,618. N = 16	49

Abbildung 27: Abhängigkeit der Trichterdurchlaufzeit (sec) vom IgG-Gehalt (mg/ml). Horizontale Linie: Grenzlinie bei 50 mg/ml IgG für „gutes“ Kolostrum, vertikale Linie: Grenzlinie bei 23,5 sec Trichterdurchlaufzeit für „gutes“ Kolostrum. N = 123	50
Abbildung 28: Abhängigkeit der Trichterdurchlaufzeit (sec) vom IgG-Gehalt (mg/ml). Horizontale Linie: Grenzlinie bei 50 mg/ml IgG für „gutes“ Kolostrum, vertikale Linie: Grenzlinie bei 23,5 sec Trichterdurchlaufzeit für „gutes“ Kolostrum. Farbliche Aufteilung der Punkte nach Zuordnung der einzelnen Laktationsnummern zur entsprechenden Laktationsgruppe. Laktationsgruppe rot umfasst alle Laktationsnummern ≥ 6 . N = 123	51
Abbildung 29: ROC-Kurven der verschiedenen Messverfahren zur Unterscheidung von „guten“ (≥ 50 mg/ml IgG) und „schlechten“ (< 50 mg/ml IgG) Kolostrumqualitäten bei Messung mit: Trichter, Kolostrometer, opt. und dig. Refraktometer (Ref.). N = 123	53
Abbildung 30: ROC-Kurven der verschiedenen Messverfahren zur Unterscheidung von „guten“ (≥ 50 mg/ml IgG) und „schlechten“ (< 50 mg/ml IgG) Kolostrumqualitäten bei Messung mit: Trichter, Kolostrometer, opt. und dig. Refraktometer (Ref.). Ohne Laktation 1, nur kurzer Abstand Kalbung-Melkung (< 6 h). N = 91	54
Abbildung 31: Protokoll Abholung und Erstmessung	99

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammensetzung von Kolostrum im 1. – 3. Gemelk p.p. im Vergleich zu Milch. N = 111 (Foley u. Otterby, 1978)	3
Tabelle 2: Mittlere Konzentrationen der Immunglobuline im Kolostrum und im Blutserum der Kuh (Kielwein, 1976)	4
Tabelle 3: Verteilung der Probanden nach Laktationsnummern. N = 123	34
Tabelle 4: Bildung von Laktationsgruppen. Zuordnung der Laktationsnummern in die entsprechende Laktationsgruppe. Tiere mit Laktation ≥ 6 wurden in Gruppe 6 zusammengeschlossen. N = 123	36
Tabelle 5: Auswertung der Trichterdurchlaufzeiten in Abhängigkeit von der Laktationsnummer und dem Abstand zwischen Kalbung und Melkung mittels eines multivariablen allgemeinen linearen Modells. (N=123)	43
Tabelle 6: Gegenüberstellung der Qualitätseinstufung mit dem Trichter und der Qualitätseinstufung nach den mittels RID gemessenen IgG-Gehalt. N=123	46
Tabelle 7: Gegenüberstellung der Qualitätseinstufung mit dem Trichter und dem Abstand Kalbung-Melkung. N = 123	48
Tabelle 8: Korrelationen der Ergebnisse der verschiedenen Messmethoden und der mittels RID bestimmten IgG-Gehalte. N=123	52
Tabelle 9: Optimaler Grenzwert, Sensitivität, Spezifität und AUC für die verschiedenen Messmethoden. Messung mit: Trichter, Kolostrometer und opt. und dig. Refraktometer. N = 123	53
Tabelle 10: Optimaler Grenzwert, Sensibilität, Spezifität und AUC für die verschiedenen Messmethoden mit Fokussierung (ohne Laktation 1, nur kurzer Abstand Kalbung-Melkung < 6h). Messung mit: Trichter, Kolostrometer und opt. und dig. Refraktometer. N = 91	55
Tabelle 11: Zusammenfassung aller erfassten Daten 1	90

Tabelle 12: Zusammenfassung aller erfassten Daten 2	95
---	----

1 Einleitung und Fragestellung

Der erfolgreiche Start im Leben eines neugeborenen Kalbes ist wesentlich von der Versorgung mit qualitativ hochwertigem Kolostrum abhängig. Die unterschiedlichen, jedoch zum Teil sehr hohen Kälberverluste in der frühen Lebensphase verursachen neben hohen wirtschaftlichen Schäden auch tierschutzrelevante Probleme. Milchkälber werden immunologisch schutzlos geboren, weil es keine Übertragung von Immunglobulinen durch die Plazenta von der Mutter auf den Fötus gibt (Larson et al., 1980). So müssen neugeborene Kälber erst durch die Aufnahme von Kolostrum mit Immunglobulinen geschützt werden (Baumrucker et al., 2010).

Unzureichende Versorgung mit Immunglobulinen wird als „failure of transfer of passive immunity“ (FTP) bezeichnet. FTP stellt für das Kalb ein erhöhtes Morbiditätsrisiko dar (Donovan et al., 1998) und ist in den USA mit 39 bis 50% mit der Mortalität von jungen Kälbern assoziiert (Margerison u. Downey, 2005).

Gesundheitliche Probleme mit hohen Morbiditäts- und Mortalitätsraten verursachen neben wirtschaftlichen und arbeitswirtschaftlichen Problemen wegen fehlender Akzeptanz auch zunehmend gesellschaftliche Probleme. In vielen Bereichen moderner Tierhaltung werden damit prophylaktische Maßnahmen noch mehr an Bedeutung gewinnen. Die adäquate Versorgung mit Kolostrum stellt eine der wesentlichsten Prophylaxemaßnahmen im frühen Leben eines neugeborenen Kalbes dar. Neben dem Zeitpunkt und der Menge ist die Qualität des aufgenommenen Kolostrums der wichtigste Faktor für den erfolgreichen Transfer der passiven Immunität (Bartier et al., 2015). Zur Bestimmung der Kolostrumqualität auf den Betrieben sind einfache, preiswerte, robuste und zuverlässige Methoden notwendig. Fleenor und Stott (1980) haben das Kolostrumeter zur Qualitätsbestimmung empfohlen. Der Nachteil des Kolostrumeters ist die Zerbrechlichkeit des Glases beim Einsatz unter Praxisbedingungen. Neben dem Kolostrumeter wurde auch das Brix-Refraktometer für die Bestimmung des Immunglobulingehaltes im Kolostrum von zahlreichen Autoren empfohlen (Chigerwe et al., 2008b; Biemann et al., 2010; Quigley et al., 2013).

In der täglichen Praxis jedoch wird die Qualitätsbeurteilung von Kolostrum als effektive Prophylaxemaßnahme nur selten durchgeführt (persönliche Erfahrung). Viele Betriebe beschränken sich darauf, die Viskosität des Kolostrums optisch zu beurteilen. Die Zähflüssigkeit wird in weiten Teilen der Landwirtschaft als Qualitätsmaß gesehen und wird als Hinweis auf den Immunglobulingehalt des Kolostrums gewertet. Die rein optische Beurteilung der Viskosität ist jedoch sehr subjektiv, kann aber durch den Einsatz von Hilfsmitteln ergänzt werden und dann objektive und präzise Ergebnisse liefern.

In der Industrie werden dazu Viskositätstrichter, auch Auslaufbecher genannt, verwendet. Auslaufbecher sind die wichtigsten Messgeräte zur einfachen und schnellen Bestimmung der Viskosität von Flüssigkeiten. Bei diesem Verfahren wird die Flüssigkeit in einen Becher (trichterförmig), der unten konisch in ein Loch (Düse) mit genau bekanntem Durchmesser ausläuft, gefüllt. Aufgrund des Bechervolumens, des Düsendurchmessers und der gemessenen Dauer zum Abfließen der Flüssigkeit kann deren Viskosität ermittelt werden.

Nach dem derzeitigen Kenntnisstand ergaben sich für die vorliegende Arbeit folgende Fragestellungen:

1. Ist die Verwendung eines Auslaufbechers (Viskosetrichter) für die Beurteilung der Kolostrumqualität geeignet?
2. Welche Vor- und Nachteile ergeben sich im Vergleich mit anderen Messmethoden?

2 Literaturübersicht

2.1 Situation des neugeborenen Kalbes

Das neugeborene Kalb ist in immunologischer Hinsicht völlig ungeschützt, da durch die histologische Struktur der bovinen Placenta epitheliochorialis ein Übertritt maternaler Immunglobuline in den Fetus verhindert wird. Kälber werden nicht agammaglobulinämisch geboren, jedoch sind die Globulinspiegel sehr gering, sodass mit keiner immunologischen Kompetenz zu rechnen ist (Husband et al., 1972). Die präkolostrale Immunglobulinkonzentration im Serum neonataler Kälber beträgt ca. 1 g/l (Bender, 2004). Als Untergrenze für eine funktionierende Immunabwehr wird jedoch ein Spiegel von > 10 g/l gesehen (Van Keulen et al., 1984; Weaver et al., 2000; Swan et al., 2007; Godden, 2008; Beam et al., 2009; Furman-Fratczak et al., 2011; Boccardo et al., 2016). Werden Kälber rechtzeitig und genügend mit Kolostrum versorgt, beginnt die endogene Immunglobulinsynthese erst in einem Alter von vier Wochen. Etliche Autoren vermuten bei adäquater Kolostrumversorgung einen negativen Feedback-Mechanismus, der die Eigensynthese von Immunglobulinen hemmt (Logan et al., 1974; Heckert et al., 1999). Kälber mit kolostraler Mangelversorgung können andererseits schon eine Woche bzw. wenige Tage nach der Geburt eigene Antikörper im Blut aufweisen. Diese primäre körpereigene Immunantwort führt aber zu sehr niedrigen Antikörperspiegeln und ist nicht in der Lage das Kalb ausreichend zu schützen (Tizard, 2004). Die kolostralen Immunglobuline jedoch ermöglichen einen sofortigen Schutz.

Bei einer kolostralen Unterversorgung steht so auf der einen Seite eine Hypogammaglobulinämie mit resultierendem Immundefizit des neugeborenen Kalbes und auf der anderen Seite die rasche Exposition einer großen Anzahl potentiell pathogener Mikroorganismen (Barrington u. Parish, 2001).

2.2 Kolostrum

Als Kolostrum wird das Sekret der Milchdrüse, das sich in den letzten Wochen der Trächtigkeit bildet und nach der Geburt als Erstversorgung für das Neugeborene abgegeben wird, bezeichnet. Durch die meist wesentlich gelblichere Farbe und die erhöhte Viskosität bestehen deutliche Differenzen zu Milch. Die Zusammensetzung des Erstgemelkes und die Veränderungen bei Zweit- und Drittgemelk im Vergleich zu Milch wurden von Foley u. Otterby (1978) untersucht und sind in Tab. 1 dargestellt.

Tabelle 1: Zusammensetzung von Kolostrum im 1. – 3. Gemelk p.p. im Vergleich zu Milch. N = 111 (Foley u. Otterby, 1978)

	1. Gemelk	2. Gemelk	3. Gemelk	Milch
Spez. Gewicht	1,056	1,040	1,035	1,032
Trockenmasse (%)	23,9	17,9	14,1	12,9
ph-Wert	6,32	6,32	6,33	6,50
Protein (%)	14,0	8,4	5,1	3,1
IgG (g/100ml)	3,2	2,5	1,5	0,06
Fett (%)	6,7	5,4	3,9	4,0
Lactose (%)	2,7	3,9	4,4	5,0

Der aufgrund der hohen Immunglobulinkonzentration über das Kolostrum auf das Kalb übertragene mütterliche Schutz wird auch passive Immunität genannt. Der passive Schutz gegenüber Krankheiten ist zeitlich begrenzt, da die Ig-Konzentrationen aus dem Kolostrum im Serum der Kälber ab Tag 7 bis 14 absinken. Nach dem 28. Tag steigen sie durch körpereigene endogene Produktion wieder an (Mech et al., 2011).

2.2.1 Kolostrumbildung

Etwa vier Wochen a.p. mit einem Peak etwa zwei Wochen a.p. beginnt unter dem hormonellen Einfluss von Östrogen und Progesteron die Sekretion von Serumproteinen und Immunglobulinen in das Euterlumen (Mielke, 1994). Diese endet abrupt bei der Kalbung. Der vermehrte Transfer von Immunglobulinen, die hauptsächlich zur Gruppe IgG1 zählen, wird durch das bei der herannahenden Kalbung vermehrt produzierte Östrogen induziert. Es besteht eine Korrelation zwischen der im Urin ausgeschiedenen Östrogenmenge und der Transportkapazität der sekretorischen Epithelzellen für IgG1 (Larson et al.; 1980). Den Nachweis für die Beteiligung von Östrogen und Progesteron an der Kolostragenese erbrachte Smith (1971). Der Autor hatte nichtlaktierenden Kühen eine Kombination von Östrogen und Progesteron für 7 Tage verabreicht und damit die Produktion eines kolostrumähnlichen Sekretes induziert.

Ein Rezeptor ist für den IgG-Transport von der basolateralen Membran der Drüsenzellen des Euters durch die Epithelzellen verantwortlich. Dabei werden durch einen selektiven Transport IgG aus dem Serum im Euterlumen angereichert. Nach der Bindung durch die sogenannten IgG-Fc-Rezeptoren und der nachfolgenden Endozytose werden die Immunglobuline mittels Exozytose in das Milchsekret abgegeben (Kis et al., 2004; Mayer et al., 2005). Durch den auch von Kielwein (1976) nachgewiesenen selektiven Transport kommt es im Kolostrum im Vergleich zu Blut zu fünf- bis zehnfach erhöhten Ig-Konzentrationen (Tab. 2).

Die Veränderungen der Östrogen- und Progesteronkonzentrationen in den letzten 4 bis 6 Wochen der Trächtigkeit üben den entscheidenden Einfluss auf den Transport von IgG1 in das Milchsekret aus. Durch steigende Prolaktinspiegel bei Beginn der Kalbung kommt es schließlich zu einer Senkung der Aktivität des für den Transport wesentlichen Rezeptors und der IgG-Transport in das Lumen des Euters wird beendet (Barrington et al., 2001).

Tabelle 2: Mittlere Konzentrationen der Immunglobuline im Kolostrum und im Blutserum der Kuh (Kielwein, 1976)

Immunglobulin (mg/ml)	Blutserum	Kolostrum
IgG1	11,0	47,6
IgG2	7,9	2,9
IgA	0,5	3,9
IgM	2,6	4,2

Bei den Kühen kommt es etwa 8 Wochen a.p. zu einem starken Abfall des IgG-Serumspiegels. Der Grad der Reduktion bei IgG korreliert signifikant mit der Zunahme der IgG-Konzentration im Kolostrum. (Guy et al., 1994b; Herr et al., 2011). Auch Larson et al. (1980) stellten fest, dass große Mengen an IgG, insbesondere IgG1 aus dem Blutstrom, über die Blut-Milch-Schranke durch einen spezifischen Transportmechanismus in das Kolostrum übertragen werden. Die lokale Antikörperbildung im Alveolarepithel ist von geringer Bedeutung, da 80 % der Immunglobuline aus dem Blutserum stammen.

Das über die letzten Wochen der Trockenstehzeit entstandene extrem eiweiß- und immunglobulinreiche als Präkolostrum bezeichnete Sekret wird durch die unmittelbar vor der Kalbung einsetzende Milchsynthese verdünnt und bildet das Erstkolostrum. Der durch die Laktogenese zunehmende Verdünnungseffekt erklärt den nach dem Abmelken des Erstgemelkes im Zweitgemelk markant geringeren Anteil an kolostrumspezifischen Inhaltsstoffen (Gürtler u. Schweigert, 2005).

2.2.2 Immunglobuline

Die wertbestimmenden Anteile des Kolostrums stellen die Immunglobuline dar. Die Bildung von Antikörpern ist zentraler Bestandteil des Immunsystems höherer Wirbeltiere und wird durch den Kontakt mit pathogenen Mikroorganismen stimuliert. Als Immunglobuline bezeichnet man eine Familie von Proteinen mit hohem Molekulargewicht, die alle Proteine mit Antikörperaktivität einschließen (Butler, 1969). Die Struktur aller Antikörper besteht aus zwei identischen schweren Ketten (heavy chains) und zwei identischen leichten Ketten (light chains), die durch kovalente Disulfidbrücken zu einer Ypsilon-förmigen Struktur verbunden sind. Chemisch gehören die Immunglobuline zu den Glykoproteinen, werden von differenzierten B-Lymphozyten (Plasmazellen) gebildet und sind in unterschiedlichen Gewebeflüssigkeiten und besonders im Blutserum vorzufinden. Die spezifische Bindung von Antikörpern an die Antigene bildet einen wesentlichen Teil der Abwehr gegen eingedrungene Fremdstoffe. Analog dem Schlüssel-Schloss-Prinzip werden potentielle Krankheitserreger durch Bildung eines Antigen-Antikörperkomplexes blockiert und können ihre toxische Wirkung nicht mehr entfalten. Eine andere Möglichkeit ist die Opsonierung von Krankheitserregern. Diese führt durch Bindung von Antikörpern an die Antigene der Bakterienoberfläche zu einer Markierung, sodass Phagozyten die Bakterien erkennen und neutralisieren können. Eine dritte Wirkungsweise ist die durch zwei auf dem Antikörper anwesenden Antigenbindungsstellen ausgelöste Agglutination. Außerdem sind weitere komplexe Wirkmechanismen bekannt (Tizard, 2012).

Es werden verschiedene Klassen von Antikörpern unterschieden, wobei im Kolostrum des Rindes drei Isotypen von Bedeutung sind (IgG, IgM, IgA). Die relativen Anteile von IgG, IgA und IgM im Kolostrum liegen bei jeweils etwa 85% bis 90%, 5% und 7% (Godden, 2008). Kelly (2003) ermittelte an 12 Probanden die Veränderung der einzelnen Immunglobulinklassen in den ersten drei Tagen p.p. und zeigte die Dominanz und den rasanten Abfall von IgG in dieser Zeit (Abb. 1).

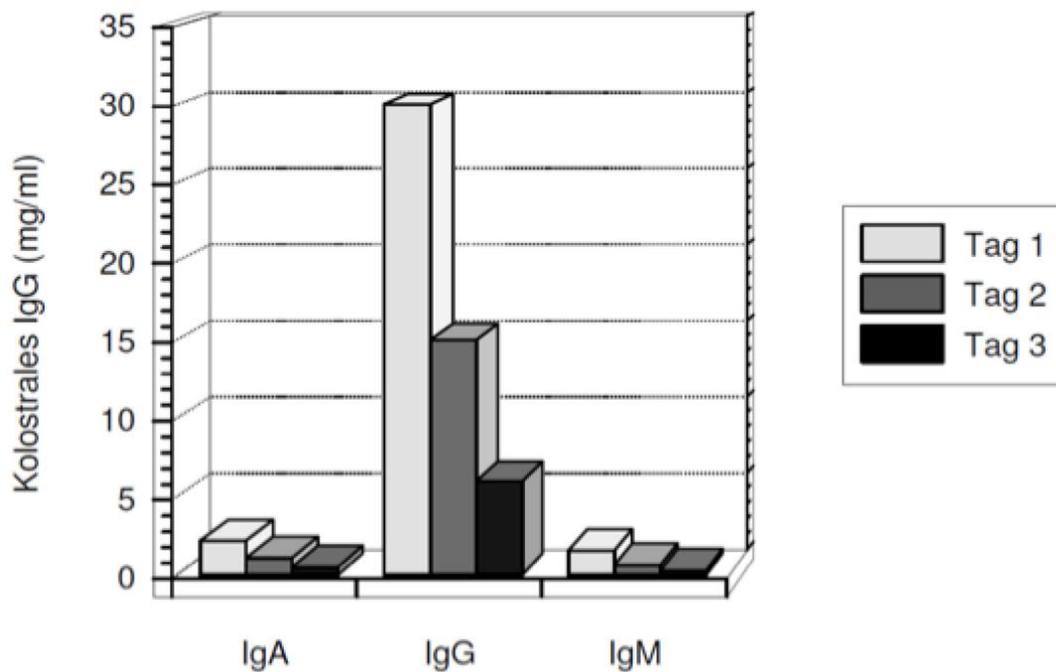


Abbildung 1: Veränderung der verschiedenen Ig-Konzentrationen im Kolostrum während der ersten drei Tage p.p. nach Kelly (2003)

Nach der Verabreichung des Kolostrums an die Kälber werden die Immunglobuline absorbiert und gelangen über das Lymphsystem in den Blutkreislauf. Der zeitliche Verlauf der kolostralen Ig-Konzentrationen im Serum der Kälber zeigt einen Peak nach 24h p.n. und einen linearen Abfall in den nächsten 8-16 Tagen. In einer Regressionsberechnung wurden die Halbwertszeiten für die verschiedenen Ig-Typen ermittelt. Sie betragen 16-32 Tage für IgG, 4 Tage für IgM und 2,5 Tage für IgA (Husband et al., 1972; Besser et al., 1988).

2.2.2.1 Immunglobulin G

80-90% der im Kolostrum und auch im Blutserum gefundenen Immunglobuline gehören in die Klasse der IgG. IgG wird im Körper etwa 3 Wochen nach Antigenkontakt gebildet und bleibt lange im Serum erhalten. Die IgG können in die zwei Unterklassen IgG1 und IgG2 unterteilt werden, wobei IgG1 das wichtigste Immunglobulin zur passiven Immunisierung des Kalbes darstellt. Im Serum adulter Tiere kommen die Unterklassen IgG1 und IgG2 in ähnlicher Konzentration vor, während im Kolostrum und damit auch im Blutserum der Kälber IgG1 dominiert. Die Konzentrationen von IgG2 im Kolostrum können sehr schwankend sein. IgG2 fehlt bei ca. 3% der Kühe und ist bei etwa 14% der Kühe nur in sehr geringen Konzentrationen nachzuweisen. Durch die geringe Molekülgröße kann IgG am leichtesten die Kapillarendothelien passieren und aus den Blutgefäßen in das umliegende Gewebe

austreten. Immunglobulin G ist von zentraler Bedeutung für die Abwehrmechanismen der Schleimhäute, Interzellularräume und Körperoberflächen (Curtain, 1970; Butler, 1972; Butler, 1983; Tizard, 2012).

Kurz vor der Kalbung kommt es bei den Kühen zu einer erhöhten Produktion von IgG1 und durch die starke Anreicherung der Ig im Kolostrum zu einem Abfall der Ig-Serumkonzentration (Sasaki, 1976). Nach der Aufnahme liegt die Verweildauer von IgG1 im Serum der Kälber bei etwa 11 Tagen. Im neugeborenen Kalb beginnt eine signifikante endogene Produktion von IgG1, IgG2 und IgM etwa 8-16 Tage nach der Geburt und von IgA rund 64 Tage p.n. (Sasaki et al., 1977).

2.2.2.2 Immunglobulin M

Sowohl im bovinen Serum als auch im bovinen Kolostrum liegt der Anteil von IgM an der Gesamtglobulinmenge bei unter 10%. Die Konzentrationen in Serum und Kolostrum sind ähnlich. Fast 100% des mit dem Kolostrum aufgenommenen Immunglobulin M wird in das Blutserum aufgenommen. Die Halbwertszeit im Serum beträgt etwa vier Tage (Husband et al., 1972). Die großen IgM-Moleküle bleiben im Wesentlichen im Blutstrom, sie können nicht auf Schleimhäute, in Körpersekrete oder Gewebeflüssigkeiten übertreten. IgM wird durch Plasmazellen produziert und stellt im Körper die primäre Immunantwort dar. IgM ist durch Komplementaktivierung, Opsonierung und Agglutination immunpotenter als IgG (Tizard, 2004).

2.2.2.3 Immunglobulin A

Die Konzentration von IgA ist sowohl im Kolostrum als auch in Milch höher als im Serum. IgA stellt nur einen sehr geringen Anteil (2%) an der Gesamtglobulinmenge des Kolostrums und hat im Blutserum der Kälber eine Halbwertszeit zwischen zwei und drei Tagen (Butler, 1969). IgA ist das wichtigste Immunglobulin von äußeren Sekreten und schützt den Gastrointestinal- und Respirationstrakt, das Urogenitalsystem sowie die Augen und die Milchdrüse.

2.2.2.4 Sonstige Bestandteile

Neben Immunglobulinen enthält Kolostrum lebensfähige Zellen, einschließlich neutrophilen Granulozyten (Neutrophile) und Makrophagen und eine Reihe von Immunkomponenten. Von Bedeutung sind Cytokine, antimikrobielle Proteine und Peptide, wie Lactoferrin, Defensine und Cathelicidine (Stelwagen et al., 2009). Der Zellgehalt von Kolostrum liegt bei über 10^6 Zellen/ml. Es handelt sich um immunologisch aktive maternale Leukozyten, Makrophagen, T- und B-Lymphozyten und Neutrophile. Teile der Leukozyten werden aus dem Kolostrum intakt über die Darmbarriere aufgenommen. Die zellulären Komponenten aus dem Kolostrum spielen bei der Entwicklung der lokalen Immunität eine Rolle und modulieren die aktive Immunisierung des Intestinaltraktes (Le Jan, 1996).

Das Kolostrum hat für das Neugeborene auch elementare Bedeutung als Nahrungsgrundlage. Die gegenüber Milch erhöhte Konzentration an Proteinen, Fett, Vitaminen und Mineralstoffen bietet eine wichtige Quelle für diese Nährstoffe. Die Energiereserven eines Kalbes sind bei Nahrungskarenz nach etwa 15 Stunden, die Glycogenreserven nach etwa drei Stunden verbraucht (Okamoto et al., 1986). Andererseits können aber auch einzelne Vitamine wie z.B. Vitamin E die Plazentaschranke nicht passieren und müssen über das Kolostrum zugeführt werden (Quigley u. Drewry, 1998). Kolostrum ist viel mehr als nur ein Lieferant von Immunglobulinen und hat systemische Auswirkungen auf den Ernährungszustand, auf den Stoffwechsel und auf verschiedene endokrine Systeme (Blum, 2006).

Kehoe et al. (2007) untersuchten den Fettgehalt von Kolostrum und fanden Mittelwerte von $6,7 \pm 4,16$ % bei einem Maximum von 26,5 % und einem Minimum von 2,0 %. Im Gegensatz zu den anderen Inhaltsstoffen liegt im Kolostrum im Vergleich zu Milch der Gehalt an Laktose niedriger (2,7 %) und nimmt mit jeder Melkung auf letztendlich etwa 5 % zu (Foley u. Otterby, 1978; Kehoe et al., 2007).

2.2.3 Kolostrumqualität

Der Gehalt an Immunglobulinen im Erstgemelk der Kuh ist der maßgebliche Faktor für die Qualitätseinstufung bovinem Kolostrums (McEwan et al., 1970). Die Aufgabe des Kolostrums ist die Bereitstellung eines herdenspezifischen Antikörperspektrums in ausreichender Menge im Serum des Kalbes zum Schutz vor den im Stall aktuell vorherrschenden Krankheitserregern. Dazu bedarf es einer zeitgerechten Exposition des Muttertieres mit eben diesen Keimen. Kurz zuvor gekaufte hochträchtige Tiere können den Anforderungen der Bildung von stallspezifischen Antikörpern nicht gerecht werden. Der Zeitbedarf des Muttertieres für die Bildung einer entsprechenden Immunantwort ist zu beachten.

Es besteht eine hochsignifikante Korrelation zwischen der Ig-Konzentration im Kolostrum (Kolostrumqualität) und der passiv erworbenen Serumimmunglobulinkonzentration des Kalbes (Stott u. Fellah, 1983; Petrie, 1984). Ausschließlich Erstgemelk ist in die Qualitätsbeurteilung einzubeziehen, da schon das Zweitgemelk deutlich geringere Konzentrationen an Immunglobulinen aufweist (Stott et al., 1981). International hat sich zur Qualitätseinstufung von Kolostrum eine Grenze von ≥ 50 mg/ml IgG als Maß für eine gute Kolostrumqualität durchgesetzt (Gay et al., 1983; Besser et al., 1991; Gulliksen et al., 2008; Godden, 2008; Beam et al., 2009; Conneely et al., 2013; Le Cozler et al., 2016).

In einer Untersuchung von Kolostrumproben von 55 Farmen in Pennsylvania wurden unter anderen die Ig-Gehalte analysiert. Die gefundenen mittleren Konzentrationen von IgG1, IgG2, IgA und IgM lagen bei jeweils 35,0, 6,0, 1,7 und 4,3 mg/ml und sprechen für einen hohen Anteil schlechter Kolostrumqualitäten (Kehoe et al., 2007). In einer anderen Untersuchung wurde der Einfluss verschiedener Kolostrum-IgG-Konzentrationen auf die IgG-Gehalte im Serum der Kälber untersucht. Dabei hatte die Menge des gefütterten Kolostrums weniger Einfluss auf die absorbierte Immunglobulinmenge als die IgG-Konzentration im Kolostrum (Stott u. Fellah, 1983). Der Qualitätsfaktor bekommt somit eine wesentliche Bedeutung.

2.2.3.1 Einflüsse auf die Kolostrumqualität

Die Einflüsse auf die Qualität des Kolostrums werden von den verschiedenen Autoren sehr unterschiedlich gesehen. In einer Studie von Conneely et al. (2013) hatten 704 untersuchte Kolostrumproben einen mittleren IgG-Gehalt von 112 mg/ml. Die Autoren vermuteten die Ursache für die hohen Konzentrationen unter anderen im niedrigen Leistungsniveau der untersuchten Kühe. Die damit verbundenen geringen Kolostrummengen führten zu einem hohen Anteil an guten Kolostrumqualitäten (≥ 50 mg/ml). Korrelationen der Faktoren Laktationszahl, Zeit zwischen Kalbung und Melkung, Monat der Kalbung und Kolostrumgewicht mit der IgG-Konzentration wurden nicht festgestellt. Nur bei älteren Kühen wurde ein Zusammenhang zwischen frühem Melken mit kurzem Zeitabstand zwischen Kalbung und Erstmelkung und einem Anstieg des IgG-Gehaltes gefunden.

Bei Baumrucker et al. (2010) lagen die Konzentrationen von IgG1 im Durchschnitt bei 35 mg/ml mit Schwankungen zwischen 9-166 mg/ml. Die Gesamtmenge an IgG1 im Erstgemelk betrug durchschnittlich 291 g pro Kuh mit einer Streuung zwischen 14 g und 2223 g IgG1. Die ermolzene Kolostrummenge hatte keinen Einfluss auf die IgG-Konzentration. Ebenso gab es keinen Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen der Größe des Euterparenchyms und der serzernierten IgG-Menge. 10% der Erstlingskühe produzierten trotz kleinerer

Euter mehr als 2000 g IgG1 im Gesamtkolostrum. Es werden hormonelle und genetische Ursachen für die Unterschiede der Kolostrumqualität vermutet.

In verschiedenen Milchfarmen in Alberta (USA) wurde die Qualität von 569 Kolostrumproben bestimmt. Über 29% der untersuchten Proben lagen unter der Qualitätsgrenze von 50 mg/ml. Die Autoren fanden durchschnittliche Konzentrationen von 65,1 mg/ml IgG, die von 8,3 bis 128,6 mg/ml IgG reichten. Ferner konnte ein Einfluss der Laktationsnummer nachgewiesen werden. Kühe in der zweiten Laktation hatten niedrigere IgG-Werte als Erstlaktierende und Tiere ab der dritten Laktation (Bartier et al., 2015).

Der Zeitpunkt der ersten Melkung hat einen signifikanten Einfluss auf die Qualität und damit auf den Immunglobulingehalt des Kolostrums (Moore et al., 2005). Zwei Stunden nach dem Kalben ermolkenes Kolostrum hat wesentlich höhere Ig-Gehalte als später ermolkenes Kolostrum. In der Zeit 2, 6, 10 und 14 h nach der Kalbung wurden bei 13 HF-Kühen im Gemelk IgG-Konzentrationen von jeweils bei 113, 94, 82 und 76 g IgG/l gefunden. Daraus ergibt sich eine Empfehlung für eine frühe Kolostrumgewinnung nach der Kalbung zur Verbesserung der Kolostrumqualität und Reduzierung der Prävalenz von FPT. Auch in dieser Studie hatten Kühe ab der dritten Laktation höhere IgG-Konzentrationen als jüngere Kühe.

Zur Bestimmung der Einflüsse auf die Kolostrumqualität wurden in einem Betrieb an 81 HF-Kühen die Zusammenhänge zwischen der IgG-Konzentration und dem Zeitintervall Kalbung-Melkung, der Kolostrummenge, der Tageslänge zum Kalbezeitpunkt, der Trockenstehdauer und der Jahreszeit der Kalbung untersucht. Es bestand eine negative Korrelation der IgG-Konzentration mit dem Abstand Kalbung-Melkung ($P = 0,001$) sowie mit der Kolostrummenge ($P = 0,004$). Danach reduziert sich die IgG-Konzentration mit zunehmendem Abstand der Melkung zur Kalbung um stündlich - 3,7% und verringert sich auch mit Zunahme der Kolostrummenge (Morin et al., 2010).

Die meisten Autoren stellten in ihren Studien eine Tendenz zu höheren Kolostrumqualitäten bei älteren Tieren fest. Dobbelaar et al. (1987) konnten in einer epidemiologischen Studie an 181 Kälbern bei Kälbern von Erstlaktierenden geringere Serum-IgG-Spiegel infolge geringerer Kolostrumqualität nachweisen. Bei einer landesweiten amerikanischen Evaluation von Kolostrumproben ($N = 827$) konnten Morrill et al. (2012) bei fast 30% der Tiere herabgesetzte Kolostrumqualitäten mit Konzentrationen unter 50 mg/ml nachweisen. Mit zunehmender Laktationszahl nahm die Konzentration der Immunglobuline im Kolostrum von im Mittel 42 mg/ml bei den Erstlaktierenden auf 68 mg/ml in der zweiten Laktation und auf 95 mg/ml bei den höher Laktierenden zu.

In einer Untersuchung in Florida wurde das Kolostrum von 2045 Kühen qualitativ kategorisiert. Fast 80% der untersuchten Kolostrumproben waren von schlechter Qualität (< 20 mg/ml) und 13% von mittlerer Qualität (20-50 mg/ml). Sehr wenige Kühe produzierten Kolostrum von guter Qualität (> 50 mg/ml). Auch in dieser Studie zeigte sich ein Einfluss der Laktationsnummer. Erstlaktierende hatten mit 9 mg/ml IgG eine signifikant schlechtere Kolostrumqualität als Tiere in höheren Laktationen (Shearer et al., 1992). In einer schwedischen Studie wurde versucht, Zusammenhänge zwischen der Laktationsnummer und dem Auftreten verschiedener Krankheitsinzidenzen zu finden. Es wurde eine erhöhte Durchfallrate bei Kälbern erstlaktierender Kühe ermittelt und als Ursache die schlechtere Kolostrumqualität dieser Laktationsgruppe vermutet (Svensson et al., 2003). In einer Arbeit von Pritchett et al. (1991) wurden 919 Kolostrumproben analysiert und nach verschiedenen Einflüssen auf die Kolostrumqualität gesucht. Die Autoren konnten einen Einfluss der Laktationsnummer und der Menge des Erstgemelkes auf die IgG-Konzentration nachweisen. Die höchste (negative) Korrelation bestand zwischen der Kolostrummenge und dem IgG-Gehalt ($r = -0,29$).

Gulliksen et al. (2008) untersuchten die Kolostrumqualitäten von 1250 norwegischen Kühen und fanden bei fast 58% der Probanden IgG-Gehalte unter 50 mg/ml. Die Gehalte lagen zwischen 4 mg/ml und 235 mg/ml mit

einer durchschnittlichen Konzentration von 45 mg/ml. Auch in dieser Studie hatten Kühe in der zweiten Laktation die geringsten IgG-Konzentrationen. Kühe ab der vierten Laktation hatten die höchsten Gehalte. In den Wintermonaten produzierten die Kühe Kolostrum mit signifikant geringeren IgG-Konzentrationen.

Dauer der Trockenstehzeit

Betrachtet man den zeitlichen und biologischen Ablauf der Kolostragenese, so ist die Bedeutung einer entsprechend langen Trockenstehzeit schnell erkennbar. Die aktive und selektive Anreicherung von IgG im Eutersekret beginnt während der letzten 4 Wochen vor der Kalbung und erreicht eine maximale Immunglobulinkonzentration in den letzten Tagen vor der Kalbung. Die Anreicherung und Bildung von Präkolostrum wird durch die beginnende Produktion von Milch mit dem Beginn der Kalbung abgelöst (Mielke, 1994). Dabei kommt es zu einer mehr oder weniger starken Verdünnung des Präkolostrums. Entfällt diese Phase der Anreicherung im Eutersekret bzw. wird das ständig über Wochen sezernierte IgG laufend abgemolken, ist in der Folge ein entsprechendes Defizit an IgG im Kolostrum von Kühen ohne Trockenstehzeit zu erwarten (Brandon u. Lascelles, 1975; Guy et al., 1994b). Auch bei einem Abfließen der Milch bei Kühen mit inkontinenten Eutern ist mit dem Verlust der angereicherten IgG zu rechnen. Kommt es zu einer Verkürzung der Trockenstehzeit von 60 Tagen auf 40 Tage, so hat dies keinen Einfluss auf die Kolostrumqualität (Shoshani et al., 2014). Auch andere Autoren fanden bei einer Verkürzung der Trockenstehzeit keine Veränderung der IgG-Konzentration im Kolostrum (Annen et al., 2004; Watters et al., 2008). Bei durchgemolkenen Kühen konnten Rastani et al. (2005) signifikant geringere IgG-Konzentrationen im Kolostrum feststellen, während dies bei Kühen mit einer verkürzten Trockenstehzeit von 28 Tagen nicht der Fall war. Es kommt jedoch auch bei durchgemolkenen Kühen zu einem Transfer von Immunglobulinen, wobei die Konzentration durch den Verdünnungseffekt herabgesetzt ist (Mansfeld et al., 2012).

Genetik, Stoffwechsel, Zwillingsrächigkeit

Der Einfluss der Rasse (Milch, Fleisch) auf die Kolostrumqualität wird von den verschiedenen Autoren sehr unterschiedlich gesehen. Kühe von Fleischrassen haben wesentlich höhere Ig-Konzentrationen im Kolostrum als Kühe von Milchrassen. Obwohl Milchrassen ante partum primär mehr Immunglobuline in das Euter sezernieren, kommt es durch eine höhere Milchproduktion infolge der einschießenden Milch zu einer starken Verdünnung der angereicherten Globuline. Bei einem Vergleich von 15 Kühen von Fleischrassen und 13 Holsteinkühen wurden im Kolostrum der Fleischrasskühe IgG-Konzentrationen von $83,6 \pm 21,6$ mg/ml und bei Milchkühen $42 \pm 4,0$ mg/ml ($P < 0,05$) gefunden (Guy et al., 1994a). Eine genetische Komponente als Ursache für schlechte Kolostrumqualitäten ist möglich und sollte untersucht werden. Schließlich sollte ein genetischer Einfluss auf die Kolostrumqualität in der Zucht berücksichtigt werden (Dardillat et al., 1978).

In einem Vergleich der Kolostrumqualitäten von fünf verschiedenen Rassen lagen die durchschnittlichen IgG-Gehalte zwischen 41 mg/ml bei den HF-Kühen und 66 mg/ml bei Jersey-Kühen (Muller u. Ellinger, 1981). Erstlaktierende Tiere hatten die durchschnittlich geringsten IgG-Gehalte. Andere Autoren konnten in ihren Arbeiten keine rassebedingten Unterschiede in der Kolostrumqualität nachweisen (Lomba et al., 1978; Murphy et al., 2005; Morrill et al., 2012). Nach Morrill et al. (2012) hat nur die Laktationsnummer Einfluss auf die IgG-Gehalte. Außerdem haben die Autoren innerhalb der USA regionale Unterschiede der Kolostrumqualität gefunden.

Um den Einfluss einer Ketose auf die Kolostrumqualität zu untersuchen, wurden acht ketotische Kühe mit sechs gesunden Kühen verglichen. Eine subklinische Ketose hatte in der Arbeit von Klimes et al. (1989) keinen Einfluss auf die Kolostrumqualität. Sowohl gesunde als auch ketotische Kühe produzierten Kolostrum guter Qualität.

Zwillingsrächigkeiten können für den Stoffwechsel der Kuh eine Belastung darstellen. Daher suchten McCutcheon et al. (1991) bei Mutterkühen nach Einflüssen einer Zwillingsrächigkeit auf den

Serum-IgG-Spiegel der Kühe, auf die Kolostrumqualität und auf den IgG-Transfer in das Serum der neugeborenen Kälber. Demnach hat eine Zwillingsträchtigkeit keine Bedeutung für die Konzentration von IgG, IgA und IgM im Kolostrum unmittelbar nach der Kalbung. 24 Stunden nach der Kalbung jedoch haben Kühe mit Zwillingskälbern signifikant niedrigere IgG-Spiegel im Kolostrum als Kühe mit Einlingskälbern ($P < 0,05$). Zwillingskälber waren in der Folge durch geringere IgG-Serumkonzentrationen krankheitsanfälliger und brauchten bei schwererem Krankheitsverlauf deutlich mehr Durchfallbehandlungen. Auch Adams (1993) konnte bei Zwillingskälbern 24h p.n. niedrigere Serumglobulinspiegel als bei Einlingen feststellen.

Fütterung

In einer Studie wurde eine Gruppe von 24 Kreuzungskühen 60 d vor der Kalbung mit unterschiedlichen Kraftfuttermengen versorgt. Die unterschiedliche Versorgung mit Konzentraten in der Trockenstehzeit einschließlich der Transitphase hatte keinen Effekt auf die IgG-Konzentration im Kolostrum (Panigrahi et al., 2005). In einer anderen Studie wurden die Kühe in der Zeit 56 d – 22 d a.p. (Trockenstehzeit ohne Transitphase) restriktiv mit Futter versorgt. Eine Unterversorgung mit nur 75% Trockenmasseaufnahme hatte gegenüber der Ad-libitum-Gruppe weder einen Einfluss auf die Kolostrumqualität noch auf die Serumglobulinspiegel der Kälber am dritten Tag p.n. (Nowak et al., 2012).

Die Bedeutung der Selenversorgung wurde von verschiedenen Autoren untersucht. Awadeh et al. (1998) konnten durch Fütterung von Rationen mit niedrigen Selengehalten eine Reduktion des Immunglobulingehaltes im Kolostrum feststellen. Andererseits konnten König und Beauchemin (2008) in ihrem Versuch bei einer hohen Selengrundversorgung durch zusätzliche Selengaben keinen Einfluss auf die Kolostrumqualität nachweisen. Die kombinierte orale Gabe von Selen und Vitamin E wurde von Lacetera et al. (1996) untersucht. Zwischen behandelten und unbehandelten Kühen konnten nur Unterschiede in der Kolostrummenge, nicht aber in der Kolostrumqualität nachgewiesen werden. In einem anderen Versuch wurde trockenstehenden Kühen eine Lösung von Vitamin E und Selen 4 Wochen bzw. 4 und 8 Wochen vor der Geburt parenteral appliziert. Durch eine zweimalige Behandlung konnte dabei eine Verbesserung der Kolostrumqualität erreicht werden (Pavlata et al., 2004).

Stress

Der Einfluss von Hitzestress wurde von Nardone et al. (1997) untersucht. 6 Holstein-Kalbinnen wurden drei Wochen a.p. bis 36 h p.p. einem Hitzestress mit hohen Lufttemperaturen ausgesetzt und die Kolostrumqualität und die Kolostrumzusammensetzung mit einer unter Normaltemperatur gehaltenen Vergleichsgruppe verglichen. Das Kolostrum der hitzestressierten Tiere hatte geringere Gehalte an IgG und IgA sowie geringere Konzentrationen an Lactose, Fett und Proteinen.

Krankheiten der Kuh und Geburtsverlauf

Der Einfluss des Kalbeverlaufes wird von den Autoren unterschiedlich gesehen. Donovan et al. (1986) fanden nach Schweregeburten geringere Serum-IgG-Spiegel bei den Kälbern und forderten weitere Untersuchungen zu diesem Thema. Perino et al. (1995) konnten keinen signifikanten Einfluss des Kalbeverlaufes auf den Serum-IgG-Spiegel der Kälber feststellen. Nach Frerking u. Aeikens (1978) haben mit Kaiserschnitt geborene Kälber niedrigere Gammaglobulinspiegel als Kälber nach Spontangeburt. Erniedrigte Serum-IgG-Spiegel von Kälbern nach Schweregeburten können jedoch auch durch schlechtes Trinkverhalten und damit geringer IgG-Aufnahme bedingt sein (Kolb u. Seehawer, 2002).

In einer Untersuchung wurden die Kolostrumqualitäten von Kühen mit und ohne Retentio secundinarum verglichen. Kühe mit einer Nachgeburtshaltung ($N = 11$) hatten hierbei signifikant ($P = 0,016$) niedrigere Immunglobulinkonzentrationen ($7,58 \pm 6,72$ mg/ml) als Kühe mit spontanem Nachgeburtshabgang

(15,13 ± 8,56 mg/ml, N = 11). Eine adäquate Versorgung der Kälber von Kühen mit Nachgeburtserhaltung mit mütterlichen kolostralen Immunglobulinen ist auf Grund geringer Ig-Konzentrationen dieser Kühe nur schwer möglich (Lona u. Romero, 2001). Auch Kühe, die an verschiedenen Infektionen leiden, produzieren Kolostrum mit geringeren Ig-Spiegeln. Die Mortalitätsrate bei den Kälbern ist dadurch erhöht (Dardillat et al., 1978).

Perino et al. (1995) suchten bei 263 Kälbern nach Prädiktoren für das Versagen der passiven Immunversorgung und fanden bei Kälbern von Kühen mit Mastitis 10h p.n. ($P < 0,05$) und 24 h p.n. ($P < 0,01$) signifikant geringere IgG-Konzentrationen. Maunsell et al. (1998) konnten bei persistent infizierten Eutervierteln gegenüber gesunden Vierteln nur geringere Kolostrummengen feststellen. Die IgG1-Konzentration des Erstkolostrums wurde durch chronische Infektionen in der späten Trockenstehzeit nicht verändert.

2.2.4 pH-Wert und Gerinnung

2.2.4.1 pH-Wert

Der pH-Wert der Milch ergibt sich aus den Gehalten verschiedener Salze und wird durch die als Puffer wirkenden Milchproteine innerhalb physiologischer Grenzen konstant gehalten. Der pH-Wert des Kolostrums ist niedriger als der von Milch. Er liegt bei ca. 6,3 und steigt mit fortschreitender Laktation auf ca. 6,7 an (Hurley, 1987). Die Ursache für den erniedrigten pH-Wert des Kolostrums liegt unter anderen in der erhöhten Konzentration von Proteinen (Sebela u. Klicnik, 1977). Die Pufferkapazität wird als der Widerstand gegenüber Änderungen des pH-Wertes bei Zugabe von Säure oder Base definiert und ist im Kolostrum 2-2,5fach höher als in der Milch (Klimes et al., 1986).

Durch Entzündungen wird die Permeabilität des Eutergewebes verändert und es treten vermehrt Salze und Proteine in das Milchsekret über. Bei Vorliegen einer Mastitis gleicht sich der pH-Wert des Kolostrums daher dem pH-Wert des Blutes an, dient aber wegen großer Schwankungen nur bedingt zur Unterscheidung von gesunden und infizierten Eutervierteln (Maunsell et al., 1998). Tendenziell kommt es in Sekreten infizierter Viertel zu einer Erhöhung des pH-Wertes im Vergleich zu denen gesunder Viertel.

2.2.4.2 Gerinnung

Kolostrum stellt eine kolloidale Dispersion von Eiweißstoffen, Milchzucker und Milchfett in Wasser dar. Die in der Milch enthaltenen Milchproteine werden in die zwei Hauptfraktionen Caseine und Molke- oder Serumproteine unterteilt. Unter der Bezeichnung Molkenproteine fasst man unter anderen Albumine und Immunglobuline zusammen. Die Stabilität der gelösten Proteine ist unterschiedlich und vom pH-Wert abhängig. Bei 20°C muss ab einem pH-Wert $\leq 4,7$ mit einer Ausfällung des für die Gerinnungseigenschaften maßgeblichen Caseins und damit verbundener Flocken- und Klumpenbildung gerechnet werden (Kielwein, 1976).

2.3 Kolostrumversorgung neugeborener Kälber

2.3.1 Kolostrum und Gesundheit

Morbidität und Mortalität neugeborener Kälber sind vom „Versagen der passiven Immunisierung“ (failure of passive transfer) mit den Immunglobulinen des Kolostrums abhängig. Schon 1922 erkannten Smith und Little die Wichtigkeit der Kolostrumversorgung für die Gesundheit und das Überleben von Kälbern. In einem Versuch wurde eine Gruppe (N = 10) mit Kolostrum versorgt und eine zweite Gruppe (N = 12) ohne Kolostrum getränkt. Von der Kolostrumgruppe überlebten alle Tiere, während von der mit kolostrumfreier Milch getränkten Gruppe

nur ein Tier überlebte. In einer Studie von Tyler et al. (1999) war bei 39 % der verendeten Kälber eine unzureichende kolostrale Immunglobulinversorgung ursächlich beteiligt. Eine amerikanische Studie kommt zu dem Ergebnis, dass bis zu 31% der Todesfälle während der ersten drei Lebenswochen durch Verbesserung des Kolostrummanagements zu verhindern wären (Wells et al., 1996).

In Versuchen mit invasiven *E.coli* Stämmen (O78) konnte man die Schutzwirkung kolostraler Immunglobuline erkennen. Es wurde Ig-haltiges und Ig-freies Serum mit den invasiven *E. coli* Stämmen beimpft. Die in Ig-negatives Serum geimpften Bakterien überlebten und blieben vermehrungsfähig während die Bakterien im Ig-haltigen Serum nicht überlebten. In einem klinischen Versuch wurden mit Kolostrum versorgte Kälber (Ig+) und unversorgte Kälber (Ig-) mit den gleichen Bakterien infiziert. *E. coli* (O78) konnte sich bei intravenöser oder peroraler Infektion in Ig- Kälbern rasant vermehren und führte schnell zu Kollaps und Tod. In Ig+ Kälbern konnten sich die Bakterien nicht oder nur in geringem Umfang vermehren (Smith u. Halls, 1968). Bei Kälbern, die während der ersten 14 Lebenswochen an Infektionskrankheiten starben, konnten signifikant niedrigere Serumgesamtprotein-Konzentrationen festgestellt werden, als bei den überlebenden Tieren (Donavan et al., 1986). Eine durch *E. coli* verursachte Septikämie ist eine meist perakut und letal verlaufende Erkrankung von Kälbern unter 2 Wochen. Es besteht ein Zusammenhang zwischen einer Unterversorgung mit kolostralen Immunglobulinen und einer Infektion mit invasiven Serotypen von *E. coli* (O78). Eine gute kolostrale Immunglobulinversorgung verhindert diese Krankheit und verringert auch die durch andere Infektionskrankheiten bedingte Kälbersterblichkeit (Besser u Gay, 1985). Die höchsten Mortalitätsraten sind bei Serum-IgG1-Konzentrationen < 5 mg /ml zu erwarten (Rea et al., 1996).

In einem Experiment an 42 Kälbern wurde der Zusammenhang zwischen *E. coli* bedingter Durchfallinzidenz und dem Serum-IgG-Spiegel erkennbar. Kälber ohne Kolostrumversorgung (keine Serum-IgG-Spiegel) hatten die höchste Inzidenz von Durchfall, verursacht durch *E. coli*. Auch Kälber, die nur Zweitgemelk erhielten (Serumspiegel 4.75 +/- 0.43 mg/ml IgG) hatten eine höhere Durchfallhäufigkeit als adäquat versorgte Tiere mit einem Serumspiegel > 10 mg/ml IgG. Diese Tiere hatten in den ersten drei Lebensmonaten die höchsten Gewichtszunahmen (Chand et al., 2009).

Auch in einer anderen Untersuchung ergaben sich deutliche Unterschiede zwischen den Durchfallinzidenzen in Abhängigkeit vom Immunglobulinspiegel im Serum der untersuchten Tiere. Kälber mit einem geringen Serum-Ig-Spiegel (≤ 5 g/l) hatten eine Durchfallinzidenz von 61 %, während Kälber mit einer hohen Serumimmunglobulinkonzentration (≥ 13 g/l) eine Durchfallhäufigkeit von 29 % aufwiesen (Klingenberg, 1996). In gleicher Weise besteht nach Blom (1982) eine enge Beziehung zwischen der Serum-Ig-Konzentration und dem Auftreten von Durchfällen. Weiter besteht ein Zusammenhang zwischen dem Serum-IgG-Spiegel und dem Auftreten und der Intensität von Durchfällen. Kälber mit schweren Durchfällen hatten signifikant ($P = 0,01$) geringere IgG-Spiegel als Kälber ohne Durchfall (Erhard et al., 2000).

Andere Autoren fanden keinen Zusammenhang zwischen den IgG-Konzentrationen im Kälberserum und dem Auftreten von Enteritiden. Allerdings war eine positive Wirkung durch das Beimischen von überschüssigem Kolostrum zur normalen Milch während der ersten 10 Tage festzustellen. In einem Experiment erkrankten derartig versorgte Kälber wesentlich seltener an Durchfall ($P < 0,05$) als die Kontrollgruppe mit nur einmaliger Kolostrumversorgung (Gutzwiller, 2002). Bei kontinuierlicher Verfütterung von Kolostrum kann ein lokaler Schutz vor durch Rotavirus bedingtem Durchfall erzielt und eine Virusausscheidung verhindert werden, auch wenn keine Immunglobuline im Darm mehr absorbiert werden können (Tsunemitsu et al., 1989).

Postema u. Mol (1984) untersuchten bei 64 Zukaufskälbern die Zusammenhänge zwischen IgG-Spiegel und Krankheitsinzidenz. Dabei konnte eine signifikante Korrelation zwischen respiratorischen Erkrankungen und dem Serum-IgG-Spiegel nachgewiesen werden ($P < 0,05$).

In Infektionsversuchen an neugeborenen Kälbern mit Kryptosporidien (*Cryptosporidium parvum*) sollte ein protektiver Schutz durch das maternale Kolostrum nachgewiesen werden (Harp et al., 1989). Durch eine parenterale Infektion mit *C. parvum* wurde bei Kühen a.p. die Produktion von kryptosporidienspezifischen Antikörpern stimuliert. Nach einer Infektion der neugeborenen Kälber mit *C. parvum* am ersten Lebenstag konnte trotz Versorgung der Kälber mit entsprechenden Antikörpern aus dem Kolostrum der Muttertiere die Entstehung von durch Kryptosporidien bedingten Durchfällen nicht verhindert werden. Andererseits konnte in einer Arbeit von Perryman et al. (1999) nach Infektionsversuchen mit *C. parvum* bei Kälbern, die mit Kolostrum von immunisierten Kühen versorgt wurden, keine Durchfälle ausgelöst werden.

Bei 3300 weiblichen Holsteinkälbern wurde nach der Kolostrumversorgung die Gesamtproteinkonzentration im Serum der Kälber gemessen. Die Gesamtproteinkonzentration war ein Maß für die Menge der absorbierten Immunglobuline und stellte einen signifikanten Risikofaktor für das Auftreten, den Zeitpunkt und die Schwere einer Sepsis oder Pneumonie in den ersten sechs Lebensmonaten dar. Durch Zunahme der Gesamtproteinkonzentration von 40 mg/ml auf 50 mg/ml kam es zu einer bedeutenden Abnahme der Mortalität. Das Auftreten von Durchfall oder Omphalitis stand in dieser Studie nicht in Zusammenhang mit der Gesamtproteinkonzentration (Donovan et al., 1998).

In einer Studie von Furman-Fratczak et al. (2011) zeigte sich, dass die Hauptursachen für FTP eine schlechte Vitalität der Kälber, Schweregeburten und eine geringe Kolostrumaufnahme sind. Kälber mit Ig-Konzentrationen von mehr als 10 g/l Serum zeigten die geringste Morbidität und hatten im Fall einer Erkrankung eine mildere Verlaufsform. Es gab bei diesen Kälbern keine Erkrankungen vor dem 14ten Lebenstag. Bei Tieren mit Konzentrationen > 15 g/l Ig waren überhaupt keine respiratorischen Infektionen zu beobachten.

In einer Studie an 410 Kälbern wurde der Zusammenhang zwischen Serum-IgG-Spiegel und dem Auftreten einer Pneumonie in den ersten drei Lebensmonaten untersucht. Die beste Schutzwirkung ergab sich dabei ab einer Serumkonzentration von ≥ 12 g/l IgG (Virtala et al., 1999). Bezogen auf die Mortalität konnten bei einem Serum-IgG-Spiegel zwischen 20-25 g/l die geringsten Sterblichkeitsraten beobachtet werden. Diese hohen Serumspiegel sind nur durch Verbesserungen in der Kolostrumversorgung erreichbar. Der weitaus größte Risikofaktor für die Sterblichkeit von jungen Kälbern ist FTP (Chigerwe et al., 2015).

2.3.2 Ig-Transfer

Das Ziel der Kolostrumversorgung ist ein hoher Spiegel an zirkulierenden mütterlichen Immunglobulinen im Blut des neonatalen Kalbes. Die Untersuchung der Serumimmunglobulinkonzentration des neugeborenen Kalbes ist eine retrospektive Möglichkeit zur Kontrolle des Kolostrummanagements.

Eine Unterversorgung mit maternalen kolostralen Antikörpern im Blutserum der Kälber wird in der englischsprachigen Literatur als "Failure of Passive Transfer (FPT)" bezeichnet. Mehrere Autoren sehen als Grenze für FPT einen Serumspiegel von < 10 g/l IgG. Durch höhere Ig-Konzentrationen wird ein besserer Schutz der Kälber erreicht (Van Keulen et al., 1984; Weaver et al., 2000; Swan et al., 2007; Godden, 2008; Beam et al., 2009; Furman-Fratczak et al., 2011; Boccardo et al., 2016). Ca. 40% der Kälber zeigen eine Unterversorgung mit kolostralen Immunglobulinen (FPT). Es werden Verbesserungen in der Kolostrumversorgung bzgl. Menge, Zeitpunkt, Qualität und Reinheit des Kolostrums gefordert (Leslie u. Todd, 2007).

Die Qualität des Kolostrums, die Kolostrummenge und der Zeitpunkt der Erstverabreichung sind die wesentlichen Faktoren für die Menge an zirkulierenden Immunglobulinen im Serum des Kalbes (Heinrichs u. Elizondo-Salazar, 2009). Der Dünndarm wird von der Mehrzahl der Forscher als Ort der Absorption betrachtet. Der Großteil der Immunglobuline wird über intrazytoplasmatische Vakuolen im mittleren und hinteren Dünndarmbereich

absorbiert (Fetcher et al., 1983; Kaup et al., 1996). Sie werden mittels unspezifischer Pinozytose in Vesikel verpackt, gelangen transzellulär zur basolateralen Membran und werden durch Exocytose in die Lymphkapillaren abgegeben (Weaver et al., 2000). Über den Ductus thoracicus gelangen die absorbierten Globuline in den Blutkreislauf (Besser u. Gay, 1994). Es handelt sich um einen nicht selektiven Transfer aller über das Kolostrum aufgenommenen Immunglobuline in das Serum der Kälber mit einer Effizienz von 46% – 49% (Brandon u. Lascelles, 1971; Boyd u. Boyd, 1987). Nach abgeschlossener Absorption aus dem Intestinaltrakt spiegeln sich die Anteile der verschiedenen Klassen von Immunglobulinen aus dem Kolostrum im Serum der Kälber und weisen daher auf einen nicht selektiven Transport hin (Bush u. Staley, 1980).

Die Funktion des Gastrointestinaltraktes von Neugeborenen entwickelt sich erst nach der Geburt und die Sekretion von Pepsinogen und Salzsäure im Labmagen steigt langsam an. Der hohe pH-Wert im Labmagen neugeborener Kälber verhindert den proteolytischen Abbau von Immunglobulinen. Zusätzlich enthält Kolostrum Trypsininhibitoren in 100-fach erhöhter Menge im Vergleich zu Milch. Auch diese Inhibitoren verhindern einen proteolytischen Abbau der Immunglobuline (Lusterman und Guenther, 1977; Godden, 2008). Die Aktivität des Trypsininhibitors ist im Erstgemelk am höchsten. Es besteht eine Korrelation zwischen der Aktivität des Trypsininhibitors, des spezifischen Gewichts des Kolostrums und der Konzentration von Gesamtprotein und Gammaglobulin (Bouda et al., 1987; Quigley et al., 1995).

Eine Alternative zur Kolostrumversorgung der Kälber könnte die parenterale Verabreichung von Immunglobulinen darstellen. Eine subcutane Injektion von 1.05 g/kg Ig führte nur zu sehr niedrigen Serum-Ig-Spiegeln (4,2 g/l), während mit Kolostrum versorgte Kälber viel höhere Serumkonzentrationen (14,6 g/l) aufwiesen. Kälber der Kolostrumgruppe erhielten zwei Liter Kolostrum mit einer Konzentration von 41 mg/ml IgG (Crawford et al., 1995).

2.3.3 Zeitpunkt und Menge der Verabreichung

Die postpartale Weiterentwicklung der Enterozyten und des gesamten Verdauungsapparates bewirken eine zeitliche Begrenzung der Immunglobulinabsorption aus dem Darmlumen. Etwa 24 Stunden nach der Geburt verlieren die Enterozyten die Fähigkeit, Immunglobuline intakt zu absorbieren (Stott et al., 1979; Michanek et al., 1989a). Nach Penhale et al. (1973) schließt die Darmschranke für die verschiedenen Isotypen zu verschiedenen Zeiträumen (IgG: 27h, IgA: 21h, IgM: 16h). Das Ende der Globulinabsorption wurde von Lecce und Margan (1962) als „gut closure“ bezeichnet.

Die Absorption der Immunglobuline durch das Darmepithel zeigt einen linearen Abfall von der Geburt bis zum sogenannten Verschluss. In den ersten vier Stunden p.n. ist der Immunglobulintransfer durch das Darmepithel maximal (Weaver et al., 2000). Bei einer Verabreichung des Kolostrums 6h nach der Geburt erscheint 65,8% des aufgenommenen IgG im Plasma. Wird das Kolostrum erst im Alter von 12, 24, 36 und 48 h gegeben, so geht dieser Prozentsatz auf 46,9%, 11,5%, 6,7% und 6,0% zurück (Matte et al., 1982).

Stott et al. (1979) wiesen einen Zusammenhang zwischen dem Zeitpunkt der Kolostrumfütterung und der Dauer der Ig-Absorption aus dem Darmlumen nach. Eine frühe Versorgung bewirkt ein früheres Ende der Absorption, andererseits können Kälber mit späterer Erstversorgung bis zu 36h p.n. Immunglobuline aufnehmen. Dagegen scheint nach Michanek et al. (1989b) innerhalb der ersten acht Lebensstunden der Verschluss der Darmschranke unabhängig vom Zeitpunkt der ersten Kolostrumgabe zu beginnen.

In einer Untersuchung über den Zusammenhang zwischen dem Zeitpunkt der Kolostrumerstversorgung und dem daraus resultierenden Serumimmunglobulin Spiegel wurden Kälber zu verschiedenen Zeitpunkten nach der Geburt mit Kolostrum versorgt. Die höchsten Serumspiegel und der beste Schutz vor *E.coli* bedingten Durchfällen wurden durch eine frühe Versorgung (2h p.n.) der Kälber erreicht. Kälber mit späterer Versorgung

(6h, 8h p.n.) hatten geringere Serumspiegel und höhere Krankheitsinzidenzen (Chand et al., 2009). Folglich führt später verfüttertes Kolostrum nicht mehr zu einem entsprechenden Anstieg des Serumspiegels. Auch weitere Kolostrumgaben können den Serum-Ig-spiegel und den passiven Schutz der Tiere nicht weiter verbessern (Mensik et al., 1977).

Laut Chigerwe et al. (2008a) sind für eine ausreichende Versorgung mit Immunglobulinen mindestens 150 bis 200 g notwendig. Daraus ergibt sich eine Menge von 3-4 Litern Kolostrum mit einem Mindestgehalt von 50 g/l IgG als Maß für Kolostrum von hoher Qualität. Auch Morin et al. (1997) erreichten die höchsten Serum-Ig-Spiegel durch Verfütterung von 4 Litern Kolostrum von entsprechend guter Qualität.

Nur Kolostrum von Kühen ohne systemische Erkrankungen und ohne Mastitis sollte verfüttert werden. Als Erstversorgung sollten zwei Liter nach zwei Stunden und weitere zwei Liter nach 10-12 Stunden gegeben werden. Kälber, die in dieser Zeit nicht freiwillig trinken, sollten zur Krankheitsprävention mit einem Drencher versorgt werden (Kaske et al., 2005). In einer anderen Untersuchung wurde zur Verminderung der Kälbersterblichkeit eine Menge von mind. 1,5 Liter Kolostrum empfohlen (Streit u. Ernst, 1992). Ein Schutz der Kälber wäre unter Berücksichtigung der obigen Empfehlungen (mind. 100 g IgG) mit der genannten Kolostrummenge nur mit entsprechend hohen IgG-Konzentrationen zu erreichen.

In einer Untersuchung an 225 Kälbern wurde der Zusammenhang zwischen der aufgenommenen Menge an Immunglobulinen und der Effizienz der Absorption untersucht. In der Arbeit wurde eine negative Korrelation zwischen der aufgenommenen Menge und der aus dem Darm absorbierten Menge an Immunglobulinen nachgewiesen. Das Ergebnis deutet auf eine physiologische Begrenzung der absorbierbaren Menge von Immunglobulinen hin (Besser et al., 1985). Nichtresorbierte Immunglobuline verbleiben im Dünndarm und üben unabhängig von resorbierten Globulinen eine lokal schützende Wirkung im Darm des Jungtieres aus (Logan et al., 1974).

2.3.4 Tränkemethoden

Der Zeitpunkt der Erstversorgung und die Tränkemenge werden wesentlich von der Tränkemethode beeinflusst. Bei einer Zwangsverabreichung mit einer Magensonde (Drench) werden Zeitpunkt und Menge genau bestimmt, bei der Tränkung mit dem Nuckeleimer und beim Saugen an der Kuh sind Zeitpunkt und Menge minder beeinflussbar (Pritchett et al., 1991).

Da eine Tränkemenge von 4 Litern von vielen Kälbern nicht freiwillig in einem kurzen Intervall nach der Geburt aufgenommen wird, wird von einigen Autoren das frühzeitige Drenchen von 3 - 4 l Kolostrum mit einer Schlundsonde empfohlen. Auch mit immunglobulinarmem Kolostrum kann durch frühes Drenchen ein protektiver Immunglobulinspiegel erreicht werden (Morin et al., 1997; Jaster, 2005; Kaske et al., 2005). Kälber, die per Nuckeleimer innerhalb der ersten 4 Stunden nicht freiwillig 3 Liter Kolostrum trinken, sollten zusätzlich mit einer Magenschlundsonde Kolostrum verabreicht bekommen (Chigerwe et al., 2009).

Bei gleicher Aufnahmemenge hat die Aufnahmeart (Nuckeleimer oder Drench) keinen Effekt auf den späteren Serumimmunglobulinspiegel des Kalbes (Adams et al., 1985; Chigerwe et al., 2012). Der Vorteil des Drenchens liegt in der Sicherstellung der Aufnahme der empfohlenen Kolostrummenge und in einer Verkürzung des arbeitstechnischen Aufwandes. Gleichzeitig sind aber auch tierschutzrechtliche Aspekte zu beachten, da im deutschen Tierschutzgesetz laut § 3, Punkt 9 die Zwangsverabreichung von Nahrung ohne klinische Notwendigkeit verboten ist. Eine Beschränkung dieser Zwangsmaßnahme auf Kälber, die trotz aller Bemühungen die Kolostralmilchaufnahme in den ersten Lebensstunden verweigern, wäre somit ein sinnvoller und gangbarer Kompromiss (Rademacher, 2013).

In einer Studie von Besser et al. (1991) waren über 61% der bei ihrer Mutter saugenden Kälber mit Immunglobulinen unterversorgt, während nur 19% der mit Nuckeleimer versorgten Kälber und 10% der gedrenchten Kälber zu geringe Serum-Ig-Spiegel aufwiesen.

Eine Erhitzung des Kolostrums auf 60°C (60 min) zur Reduzierung der Anzahl pathogener Keime führt zu keiner Veränderung von IgG-Gehalt und Viskosität. Durch die Erhitzung wird die Effizienz der IgG Absorption von durchschnittlich 35% (Kolostrum mit geringer Keimzahl) und 32% (Kolostrum mit hoher Keimzahl) auf 43% bei erhitztem Kolostrum gesteigert (Elizondo-Salazar u. Heinrichs, 2009). Die bakterielle Besiedelung wird stark reduziert und die mit wärmebehandeltem Kolostrum gefütterten Kälber haben nach 24 h signifikant höhere Serumgesamtprotein- und IgG-Konzentrationen. Die Gehalte von IgA, IgM, verschiedenen Vitaminen und anderen Blutparametern werden durch eine Erhitzung nicht beeinflusst (Johnson et al., 2007; Donahue et al., 2012).

2.3.5 Konservierung

Die Vorratshaltung von tiefgefrorenem, qualitativ hochwertigem Kolostrum ist eine empfohlene und auch häufig genutzte Möglichkeit Defizite in der Kolostrumqualität und Verfügbarkeit auszugleichen. Bei der Einlagerung von Kolostrum sollte die Qualität sichergestellt werden, um bei Bedarf Kolostrum mit hohen Immunglobulinkonzentrationen zur Verfügung zu haben (Balthazar et al., 2015).

Holloway et al. (2001) konnten zeigen, dass das Tiefgefrieren von Kolostrum weder den Gehalt an Ig noch die Absorption negativ beeinflusst. In einem Versuch von Biemann et al. (2010) wurden die Messergebnisse von optischem und digitalem Refraktometer vor und nach dem Einfrieren verglichen. Die Messung ergab eine hohe Korrelation der Ergebnisse vor und nach dem Gefrieren (opt: $r = 0,98$; dig: $r = 0,97$) und es gab keine Veränderung des Ig-Gehaltes durch ein Tiefgefrieren des Kolostrums. Dies konnte auch von Morrill et al. (2015) bestätigt werden. Um tiefgefrorenes Kolostrum schneller aufzutauen, kann ein Mikrowellenherd genutzt werden. Jones et al. (1987) untersuchten den drastischen Auftauvorgang in der Mikrowelle (10 min, 650 W) auf Veränderungen des Ig-Gehaltes und fanden, dass durch das Auftauen im Mikrowellenherd die Ig-Konzentration nicht beeinträchtigt wird. Mit dieser Technik kann gefrorenes Kolostrum in der Praxis rasch verfügbar gemacht werden. Auch Pfeiffer et al. (2010) sehen im Auftauen und Erwärmen von Kolostrum im Mikrowellenofen eine geeignete und zeitsparende Alternative zum Auftauen im Warmwasserbad.

Wegen der hohen Spezifität von Kolostrum und dem Gehalt stallspezifischer Antikörper wird die Verwendung von kommerziellen Kolostrumersatzprodukten nur in Ausnahmefällen empfohlen. Eine belastbare stallspezifische Immunität ist mit Kolostrumersatzpräparaten nicht erreichbar. Die Produkte enthalten zu geringe Immunglobulinmengen, die entweder aus bovinem getrockneten Blutserum oder aus kommerziell verarbeitetem Kolostrum von betriebsfremden Tieren stammen (Mulvey, 1996; Foster et al., 2006; Fidler et al., 2011). Nach Herstellerangaben werden bei diesen Produkten nur Dosierungen von 30 g IgG empfohlen. Ein Schutz im Serum der Kälber kann mit derartig geringen Mengen nicht erreicht werden (Corke, 2012). Mit Kolostrum versorgte Kälber sind signifikant weniger krank als mit Kolostrumersatzprodukten versorgte Tiere. Kälber mit Kolostrumversorgung haben Serum-IgG-Spiegel zwischen 12,4 und 31,6 mg/ml, mit Kolostrumersatz getränkte Kälber zwischen 1,9 und 8,6 mg/ml (Garry et al., 1996). Die IgG-Gehalte von Kolostrum sollten routinemäßig gemessen werden, und bei Nachweis schlechter Kolostrumqualitäten (< 50 mg/ml IgG) können zur Erhöhung der IgG-Konzentration Kolostrumersatzprodukte empfohlen werden (Schwab et al., 1991).

2.4 Methoden zur Beurteilung der Kolostrumqualität

Die Immunglobulinkonzentrationen im Kolostrum bewegen sich zwischen 13 mg/ml und mehr als 256 IgG mg/ml und sollten für Qualitätskolostrum über einer Grenze von ≥ 50 mg/ml IgG liegen (Conneely et al., 2013). Die Messung der IgG-Konzentration im Kolostrum ist daher ein wichtiges Instrument zur Überwachung der Kolostrumqualität. Eine Messung des IgG-Gehaltes hilft zur Sicherstellung der Versorgung des Kalbes und um bei der Vorratshaltung von gefrorenem Kolostrum auf entsprechende Qualitäten zurückgreifen zu können (Balthazar et al., 2015).

Zur Messung stehen aufwendige Systeme im Labor und Verfahren für die Verwendung durch Landwirte auf den Betrieben zur Verfügung. Diese differieren jedoch teilweise erheblich in Bezug auf Spezifität und Sensitivität.

2.4.1 Optische Beurteilung

2.4.1.1 Farbe

Hochwertiges Kolostrum ist dickflüssig, dunkler und durch einen hohen Carotingehalt gelber als normale Milch (Parrish et al., 1948). Die dunklere Farbe des Kolostrums ist ein Maß für die Qualität. Gross et al. (2014) haben in einer Studie die Farbe von 117 Kolostrumproben mit einer speziellen Methode (cielab color space) gemessen und den Gehalt an IgG, Milchfett, Eiweiß und Laktose bestimmt. Die Ergebnisse dieser Farbmessungen zeigten einen Zusammenhang zwischen Farbparametern des Kolostrums und den Gehalten von IgG, Fett, Eiweiß und Laktose.

2.4.1.2 Fließverhalten-Zähflüssigkeit-Viskosität

Die Fließeigenschaften von Milch sind vergleichbar mit Wasser. Kolostrum jedoch ist aufgrund der dicken, oft fast cremigen Konsistenz wesentlich zähflüssiger. Wissenschaftlich wird das Fließverhalten in der Rheologie oder Fließkunde beschrieben. Das rheologische Verhalten kann mit einem Auslaufbecher oder mit einer Viskosespatel gemessen werden. Zur Messung der Viskosität mit dem Auslaufbecher wird die Zeit bis zum vollständigen Auslaufen der eingefüllten Flüssigkeit bei konstanter Temperatur erhoben (Rheinboldt, 1921).

Langjährige Erfahrungen in der Praxis haben immer wieder einen Zusammenhang zwischen der Viskosität und der Kolostrumqualität vermuten lassen, der jedoch wissenschaftlich nie belegt wurde. In der Literatur gibt es bisher nur eine Untersuchung über Zusammenhänge zwischen der Viskosität von Erstkolostrum, dem Fließverhalten und dem IgG-Gehalt. Eine Untersuchung von Maunsell et al. (1999) widerlegte den Zusammenhang zwischen Zähflüssigkeit und der Qualität des Kolostrums. Die Autoren fanden in dünnflüssigem Kolostrum gleiche Immunglobulingehalte wie in dickflüssigem. Hallberg et al. (1995) erkannten Viskositätsunterschiede nur in Zusammenhang mit intramammären Infektionen und führten für die Kategorisierung sehr subjektive Beurteilungskriterien wie dünn-wässrig, honigartig, serumartig oder eingedickt ein. Die Autoren suchten nicht nach Zusammenhängen mit der Kolostrumqualität.

2.4.2 Kolostrometer (Hydrometer)

Das Kolostrometer (Hydrometer, Senkspindel) ist ein Messgerät zur Bestimmung der Dichte oder des spezifischen Gewichts von Flüssigkeiten. Das Ergebnis wird durch die im Kolostrum gelösten Stoffe und von der Temperatur der Flüssigkeit beeinflusst. Das Prinzip der Methode ist, dass ein Körper so weit in eine Flüssigkeit eintaucht, bis die Gewichtskraft der verdrängten Flüssigkeit der Gewichtskraft des eingetauchten Körpers entspricht. Er taucht in einer weniger dichten Flüssigkeitssäule tiefer ein als in einer dichteren. Es gibt eine

lineare Beziehung von spezifischem Gewicht und IgG-Konzentration ($p < 0,01$) für bovines Kolostrum, da die Globuline den Hauptfaktor für die Schwankungen des spezifischen Gewichts darstellen (Fleenor u. Stott, 1980). Die Autoren entwickelten ein Kolostrumeter zur Schätzung des IgG-Gehaltes für den Einsatz unter Praxisbedingungen. Das Gerät ist mit einer Skala in Milligramm pro Milliliter kalibriert (mg/ml) und hat zusätzlich verschiedene Farbbereiche, die eine einfache Zuordnung zu drei Qualitätskategorien ermöglichen sollen (grün > 50 mg/ml, gelb 20-50 mg/ml, rot < 20 mg/ml IgG).

Für die Schätzung des IgG-Gehaltes über die Messung des spezifischen Gewichts bei unterschiedlichen Temperaturen ist es notwendig, die Temperatur in das Modell miteinzubeziehen. Bei niedrigen Temperaturen würde die Qualität des Kolostrums überschätzt, während bei hohen Temperaturen zu geringe IgG-Konzentrationen angezeigt würden (Quigley et al., 1994). Die Temperatur hat einen signifikanten Einfluss ($P < 0,01$) auf das Ergebnis der Messung mit einem Kolostrumeter. Der am Kolostrumeter abgelesene Wert ändert sich pro $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ um $0,8$ mg/ml IgG (Mechor et al., 1991). Nach Verdünnungsversuchen erstellten Mechor et al. (1992) ein Regressionsmodell zur Berechnung der IgG-Konzentration aus der gemessenen Dichte mit Einberechnung der Temperaturvariablen. Die Formel lautet: $\text{IgG mg/ml} = 853 \times (\text{spezifisches Gewicht}) + 0,4 \times \text{Temperatur (Celsius Grad)} - 866$.

Das spezifische Gewicht des Kolostrums korrelierte in einer Arbeit von Morin et al. (2001) wesentlich stärker mit der Gesamtproteinkonzentration ($r = 0,76$) im Kolostrum als mit der IgG-Konzentration ($r = 0,53$). Da die Gesamtproteinkonzentration deutlich vom Monat der Abkalbung beeinflusst wurde, wiesen die Autoren daher auf eine eingeschränkte Verwendbarkeit der Dichtemessung zur Bestimmung des Immunglobulingehaltes hin.

Das Kolostrum von Jerseykühen unterscheidet sich gegenüber Holsteinkühen durch unterschiedliche Fett und Noncasein N-Konzentrationen. Dadurch ändert sich der Zusammenhang zwischen IgG-Konzentration und spezifischem Gewicht (Quigley et al., 1994). Bei einer Schätzung der Kolostrumqualität von Jerseykühen mit dem Kolostrumeter wird unter Verwendung der von Holsteinkühen abgeleiteten Schätzformel die IgG-Konzentration unterschätzt. Der Autor hat daher eine für Jersey gültige Regressionsgleichung aufgestellt. Gesamt-IgG (g/l): $-1172 + 1180 \times \text{spezifisches Gewicht}$.

In einer Arbeit von Chigerwe et al. (2008b) wurden 2 Hydrometer und ein elektronisches Refraktometer verglichen. Nach Optimierung der verschiedenen Grenzwerte zur Auffindung schlechter Kolostrumqualitäten (< 50 mg/ml IgG) wurden Sensitivität und Spezifität gegenübergestellt. Die Sensitivität zum Auffinden schlechter Kolostrumqualitäten lag bei allen Messmethoden zwischen 75-76%. Die Spezifität lag bei Hydrometer 1 und 2 und beim Refraktometer jeweils bei 78, 66 und 78%. Der Autor hielt sowohl Hydrometer als auch Refraktometer für geeignet, um geringe IgG-Konzentrationen im Kolostrum zu erkennen. Insgesamt wurden von allen Messsystemen die IgG-Gehalte überschätzt. Aus diesem Grund wurde die Verwendung von instrumentenspezifischen Grenzwerten empfohlen.

2.4.3 Radiale Immundiffusion (RID)

Mit der einfachen radialen Immundiffusion (RID) und dem Enzym-Immunoassay (ELISA) wird die IgG-Konzentration direkt gemessen. Die RID ist eine Messmethode zur Durchführung im Labor und wurde erstmals 1965 von Mancini et al. beschrieben. Von einer Agargelplatte als fester Träger breiten sich Antigene und Antikörper durch Diffusion aus. Wenn Antigen und passender Antikörper aufeinandertreffen, reagieren sie miteinander und bilden einen sogenannten Präzipitaring. Die Größe des Ringes ist abhängig von der in der aufgetragenen Lösung enthaltenen Antigenmenge. Am Ringdurchmesser lässt sich das Antigen quantitativ bestimmen. Die einfache radiale Immundiffusion ist das in der Literatur am häufigsten verwendete Nachweisverfahren für Immunglobuline und stellt bis heute die Referenzmethode (Goldstandard) dar (Bielmann

et al. 2010). Durch mehrfaches Einfrieren und Auftauen werden die Ergebnisse der RID im Gegensatz zur Refraktometermessung in Form niedrigerer Messergebnisse verändert (Morrill et al., 2015).

2.4.4 Immunoassay (ELISA)

Die Empfindlichkeit dieser Messmethode ist sehr hoch. Das Grundprinzip des ELISA beruht auf einer Antigen-Antikörper-Reaktion, wobei über die Farbreaktion eines enzymmarkierten Antikörpers die Antigenkonzentration bestimmt wird. Die Intensität der Farbreaktion wird dabei photometrisch erfasst. Chigerwe et al. (2005) untersuchten Sensitivität und Spezifität eines kommerziellen Immunoassay Kits (ELISA) zur Bestimmung der IgG-Konzentration im Kolostrum und fanden, dass der ELISA ein geeignetes Instrument ist, um IgG-Konzentrationen von unter 50 g/l zu erkennen.

2.4.5 Brix Refraktometer

Ein Refraktometer dient zur Messung der Konzentration von in Flüssigkeiten gelösten Stoffen. Das Messprinzip eines Refraktometers beruht auf der Nutzung der Brechung (Refraktion) des Lichtes beim Übergang zwischen zwei Medien. Der unbekannte Brechungsindex des Probedmediums wird über die Lichtablenkung gemessen. Man kennt analoge optische Handrefraktometer, bekannt von der Zuckerbestimmung bei der Weinproduktion, und automatische digitale Refraktometer (Merten u. Willmann, 2005).

Bielmann et al. (2010) verglichen die Messergebnisse von optischem und digitalem Refraktometer mit der Messung mittels radialer Immundiffusion (RID). Die Korrelation der Refraktometerergebnisse mit dem Goldstandard (RID) lag beim optischen Refraktometer bei $r = 0,71$ ($P < 0,001$) und beim digitalen Refraktometer bei $r = 0,74$ ($P < 0,001$). Die Autoren ermittelten einen Grenzwert von 22% Brix zur Erkennung guter Kolostrumqualitäten (≥ 50 mg/ml IgG) bei hoher Sensitivität und Spezifität (optisch: 90,5% und 85%, digital: 92,5% und 80,0%). Messungen mit einem Refraktometer sind nicht temperaturabhängig (Quigley et al., 2013).

Die Brix-Messung ist eine preiswerte, schnelle und ausreichend genaue Methode zur Schätzung der IgG-Konzentration und zeigte in einer Untersuchung eine gute Übereinstimmung der Messergebnisse des optischen Refraktometers mit den Ergebnissen der RID ($r = 0,75$). In dieser Studie wurde von Quigley et al. (2013) der Grenzwert für Qualitätskolostrum bei 21% Brix mit einer Sensitivität von 92% und einer Spezifität von 65% festgelegt.

In einer Studie mit Jerseykühen wurde die Verwendung von rassespezifischen Grenzwerten empfohlen. Bei der Qualitätsbestimmung von Kolostrum von Jerseykühen liegt der Grenzwert für Qualitätskolostrum (≥ 50 mg/ml IgG) bei 18% Brix mit einer Sensitivität von 92% und einer Spezifität von 94%. Bei Holsteinkühen sollte der Grenzwert bei 21% Brix festgelegt werden (Morrill et al., 2015).

2.4.6 Nahinfrarotspektroskopie

Die Nahinfrarotspektroskopie ist ein physikalisches Analyseverfahren, das mit kurzwelligem Infrarotlicht arbeitet. Bei der Bestrahlung eines Stoffes mit Infrarotstrahlen werden bestimmte Frequenzbereiche absorbiert und die bestrahlten Substanzen in messbare und damit auswertbare Schwingungen versetzt. Auch die Nahinfrarotspektroskopie ist eine geeignete Methode, die IgG Gehalte von bovinem Kolostrum zu bestimmen (Rivero et al., 2012).

Tiere, Material und Methoden

2.5 Tiere

Für die vorliegende Arbeit wurden im Zeitraum von März 2015 bis Mai 2015 im Einzugsgebiet der Tierarztpraxis „Tierärzte Vöcklamarkt“ (Oberösterreich) von 124 Fleckviehkühen Erstkolostrumproben gesammelt. Die Laktationszahl der Kühe betrug 1-10 Laktationen ($\bar{\emptyset} 3,3 \pm 2,1$). Die an der Untersuchung teilnehmenden Betriebe spiegeln die in der Gegend typische Struktur der Rinderhaltung. Die Tiere werden in Betriebsgrößen von 10-100 Kühen sowohl im Laufstall als auch in Anbindehaltung gehalten und sowohl mit Silagen als auch silofrei mit Heu gefüttert.

2.6 Material und Methoden

Das Kolostrum wurde zeitnah abgeholt, um den Abstand Melkung-Messung kurz zu halten ($\bar{\emptyset} 6,8 \pm 5,6$ h). Das Kolostrum wurde in den Betrieben in fabriksneue Petflaschen (1l) der Firma Getränkeindustrie Starzinger in Frankenmarkt (OÖ) umgefüllt und beschriftet.

Bei der Abholung wurden folgende Daten protokolliert:

1. Datum, Name Landwirt und Name Kuh
2. Laktationsnummer
3. Zeitpunkt Kalbung
4. Zeitpunkt Melkung
5. Menge des Kolostrums
6. wurde die Kuh ausgemolken (ja/nein)
7. Zeitpunkt Abholung

Nach der Abholung wurden in der Praxis zwei Proben zu je 10 ml zur Analyse mittels radialer Immundiffusion (RID) entnommen und in beschriftete Probenröhrchen gefüllt. Vor der Gefrierlagerung wurde der pH-Wert mit einem pH-Meter und die Dichte mit einem optischen und einem digitalen Refraktometer gemessen und alle bisher erhobenen Daten auf einem Erhebungsbogen dokumentiert (Abb. 32 - Anhang).

Zur Konservierung wurden die Milchprobenröhrchen und die Petflaschen bei -18°C tiefgekühlt.

Die 10 ml Probenröhrchen wurden zur RID-Untersuchung durch eine Medizinlogistikspedition an das Labor des Instituts für Milchhygiene der veterinärmedizinischen Universität Wien transportiert. Während des Transportes wurden die Proben in Trockeneis gelagert.

Zur weiteren Auswertung der Proben im Labor des LKV-Oberösterreich in Ried wurden die Petflaschen bei Zimmertemperatur aufgetaut und ins Labor transportiert.

Orte der Probenaufarbeitung:

a) Labor des Instituts für Milchhygiene der veterinärmedizinischen Universität Wien

Angewendete Untersuchungsmethode: RID

b) Tierärztliche Praxis A-4870 Vöcklamarkt

Angewendete Untersuchungsmethode: pH-Wertmessung (digital), optische und digitale Refraktometrie

c) LKV-Labor Oberösterreich in Ried im Innkreis

Angewendete Untersuchungsmethode: pH-Wertmessung (digital), optische und digitale Refraktometrie, digitale Dichtemessung, Kolostrometermessung, Viskositätsmessung mit einem Durchlauftrichter.

Ziel der Probenuntersuchungen war die Qualitätsbestimmung von Kolostrum mittels direkter oder indirekter Messmethoden. Eine direkte Messmethode ist die Radioimmundiffusion mit direkter Quantifizierung der Immunglobuline. Als indirekte Methoden kamen das optische und das digitale Refraktometer, das Kolostrometer und die digitale Dichtemessung zur Anwendung. Außerdem wurde eine neue Trichtermethode zur Untersuchung der Viskosität angewendet und für die Beurteilung der Kolostrumqualität validiert.

2.6.1 pH-Wertmessung

Der pH-Wert im Kolostrum wurde zweimalig mit dem digitalen pH-Meter (GPH 114) der Firma Greisinger, D-93128 Regenstauf bestimmt (Abb. 2). Das Gerät wurde vor Versuchsbeginn laut Angaben des Herstellers kalibriert. Dazu wurden Pufferlösungen mit pH = 2,0 und pH = 7,0 verwendet. Zwischen den pH-Wertmessungen wurde die pH-Elektrode in einer 3 molaren KCl-Lösung aufbewahrt. Die erste Messung fand unmittelbar nach der Abholung vom landwirtschaftlichen Betrieb vor der Gefrierkonservierung statt. Die zweite Messung wurde nach dem Auftauen im LKV-Labor durchgeführt.

Da die Proben für die Messung mit Kolostrometer und für die Trichtermethode im Wasserbad auf 30°C erwärmt wurden (Abb. 3), musste eine pH-Wertabsenkung und Sauerwerden der Milch durch die pH-Kontrolle ausgeschlossen werden. Durch pH-Wertabsenkung und damit verbundener Gerinnung und Ausflockung würde es zu einer Veränderung der rheologischen Eigenschaften (Fließeigenschaften) und zu einer Beeinträchtigung der Messung mittels Trichtermethode kommen. Bei 20°C muss ab einem pH-Wert $\leq 4,7$ mit einer Ausfällung des gelösten Caseins und damit verbundener Flocken- und Klumpenbildung gerechnet werden (Kielwein, 1976). Aus diesem Grund wären Proben mit pH-Werten unter 5 vom Versuch ausgeschlossen worden.



Abbildung 2: pH-Meter (GPH 114) der Firma Greisinger in D-93128 Regenstauf



Abbildung 3: Wasserbad des LKV-Labors zur Erwärmung der aufgetauten Proben auf 30°C

2.6.2 Messung des IgG-Gehaltes mit dem Refraktometer

Das Refraktometer misst die Brechung (Refraktion) bzw. den Brechungsindex des Lichtes beim Übergang zwischen zwei Medien. Aus dem gemessenen Wert, der in % Brix angegeben wird, kann man Rückschlüsse auf die Konzentration der gelösten Inhaltsstoffe ziehen.

Es wurden 2 Messungen durchgeführt. Die erste Messung fand unmittelbar nach der Abholung vom landwirtschaftlichen Betrieb vor der Gefrierkonservierung statt. Die zweite Messung wurde nach dem Auftauen im LKV-Labor durchgeführt. Durch die Doppelmessungen sollten durch den Gefrier- und Auftauvorgang bedingte Veränderungen der Ig-Konzentration erkennbar gemacht werden. In einer Untersuchung konnten Holloway et al. (2001) keine Veränderung des IG-Gehaltes durch das Tiefgefrieren nachweisen.

2.6.2.1 Analoges (optisches) Refraktometer

Es wurde das analoge Refraktometer HM-REF-032 mit automatischer Temperaturkompensation der Firma Hebesberger, A-4501 Neuhofen, verwendet (Abb. 4). Das Gerät ist kalibriert, hat einen Messbereich zwischen 0 und 32% Brix und ist laut Hersteller für die Messung von durchscheinenden Säften und Emulsionen geeignet. Vor Beginn jeder Messung wurde der Klappdeckel und das Prisma mit Einwegpapier gereinigt und getrocknet. Mit einer Pipette wurden 1 - 2 Tropfen Kolostrum auf das Prisma aufgebracht und der Klappdeckel geschlossen. Durch Kapillarkräfte verteilt sich die Probe gleichmäßig zwischen Prisma und Deckel. Dies wird durch leichtes Bewegen des Klappdeckels gefördert. Zur Messung wurde das Refraktometer gegen helles Licht gehalten und das Ergebnis nach Scharfstellen an der durch das Okular sichtbaren Skala am Übergang hell/dunkel in % Brix abgelesen.



Abbildung 4: Optisches Refraktometer (HM-REF-032) der Firma Hebesberger in A-4501 Neuhofen

2.6.2.2 Digitales Refraktometer

Es wurde das Gerät MA871 Digital Brix Refraktometer der Firma Milwaukee Instruments Inc., 2950 Business Park Drive - Rocky Mount NC 27804 – USA, verwendet (Abb. 5). Vor Beginn der Messungen ist das Gerät zu kalibrieren, indem in die Probenwanne destilliertes Wasser eingefüllt und der am Display gezeigte

Wert durch Drücken der Zero Taste auf 0,0 gesetzt wird. Vor jeder Messung und vor der Kalibrierung ist die Prismaoberfläche am Boden der Probenwanne mit Einwegtüchern zu reinigen. Zur Messung wurde die Kolostrumprobe mit einer Pipette auf die Prismaoberfläche bis zur Füllung der Probenwanne getropft und nach einer Minute zur Temperaturangleichung wurde das Ergebnis durch Drücken der Read-Taste in % Brix abgelesen.



Abbildung 5: Digitales Brix Refraktometer (MA871) der Firma Milwaukee Instruments in 2950 Business Park Drive - Rocky Mount NC 27804 - USA

2.6.3 Schätzung des IgG-Gehaltes über die Dichtemessung

Die Dichte ist der Quotient aus der Masse eines Körpers und seinem Volumen und wird in Gramm pro Kubikzentimeter angegeben, bei flüssigen Körpern ist auch die Einheit Kilogramm pro Liter üblich. Aus der gemessenen Dichte sollte ein Rückschluss auf die Menge an enthaltenen Immunglobulinen gezogen werden.

Die Dichte kann mit modernen digitalen Messgeräten oder indirekt mit der Messung des Auftriebs (Hydrometer oder Senkspindel) mit einem Kolostrummeter erhoben werden. Sowohl die digitale Dichtemessung als auch die Messung mit einem Kolostrummeter wurden im LKV-Labor durchgeführt.

2.6.3.1 Digitale Dichtemessung

Es wurde das tragbare Dichtemessgerät Densito 30PX der Firma Mettler Toledo, A-1230Wien, verwendet (Abb. 6). Durch festes Drücken der Probenaste wurde über den in das Kolostrum eingetauchten Probenschlauch die Probe aufgesaugt und die Dichte des Kolostrums umgehend am Display abgelesen. Anschließend wurde das aufgesaugte Kolostrum durch neuerliches Drücken aus dem Gerät hinausgedrückt.

Aufgesaugte Luftblasen stellen eine Fehlerquelle dar und können in der durchsichtigen Messzelle des Gerätes erkannt werden. In diesem Fall ist eine neuerliche Probenaufsaugung notwendig. Zwischen zwei Messungen wurde das Gerät mit Wasser und am Ende der Messungen mit Aceton gespült um angelagertes Milchfett aus dem System zu lösen.



Abbildung 6: Digitales Dichtemessgerät Densito 30PX der Firma Mettler Toledo in A-1230 Wien

2.6.3.2 Kolostrometer

Die Kolostrometermessung wurde mit dem Colostrum Densimeter der Firma Kruuse, DK-5550 Langeskov, durchgeführt (Abb. 7). Die Proben wurden nach dem Auftauen in Glasbehälter (ca. ½ Liter) umgefüllt und in einem Wasserbad auf 30°C (Abb. 2) erwärmt. Nach Erreichen der Temperatur wurden die Proben in einen etwa 4 cm breiten und 25 cm hohen Zylinder geleert. Das Kolostrometer wurde in die Probe eingetaucht und an der Skala des frei schwebenden Messgerätes konnte das spezifische Gewicht in g/ml abgelesen werden.



Abbildung 7: Kolostrometer der Firma Kruuse in DK-5550 Langeskov

2.6.4 Trichtermethode (Auslaufbecher)

Auslaufbecher sind wichtige Präzisionsmessgeräte zur einfachen und schnellen Bestimmung der Viskosität von Flüssigkeiten. Bei den Auslaufbechern handelt es sich um Hohlzylinder, die in einer fest eingebauten Düse enden. Zum Auffangen überschüssiger Flüssigkeit dient eine Überlaufrinne.

Zur Bestimmung der Viskosität wurde mit einer Stoppuhr die Zeit in Sekunden ermittelt, in der das vorgegebene Flüssigkeitsvolumen (100 ml) durch die Düse eines Auslaufbechers fließt. Dazu wurde der Trichter vollständig in das Kolostrum eingetaucht und die Zeit (sec.) vom Herausziehen bis zum vollständigen Durchlauf beim Abriss des Flüssigkeitsstrahles gemessen.

Es wurde der Auslaufbecher Modell 243/1 der Firma Erichsen (Düsendurchmesser 3 mm), D-58675 Hemer, verwendet (Abb. 8). Der Trichter besteht aus Phenolharz mit einer Edelstahldüse und wird unter anderem in der Lackindustrie zur Messung des Verdünnungsgrades eingesetzt. In der vorliegenden Arbeit wurde am seitlichen Rand des Bechers zur besseren Handhabung mit einem Kontaktkleber ein Plastikstab als Haltegriff angeklebt (Abb. 9).

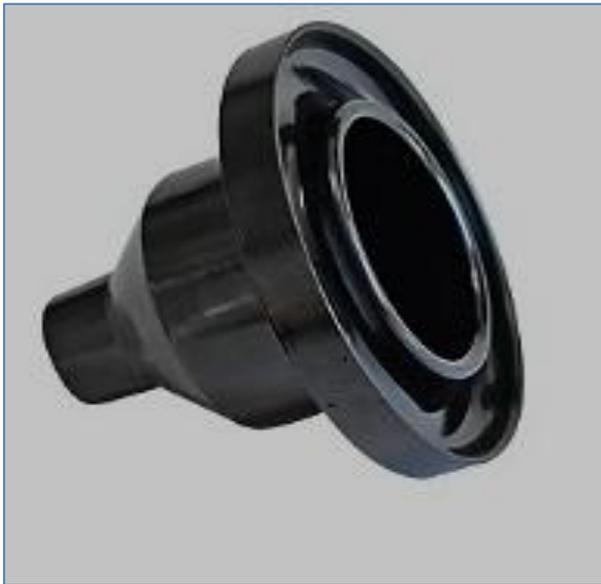


Abbildung 8: Auslaufbecher 243/1 (Düsen- \varnothing 3 mm) der Firma Erichsen in D-58675 Hemer



Abbildung 9: Durchführung der Trichtermessung mit seitlich angeklebtem Haltegriff

Da die Viskosität einer Flüssigkeit stark temperaturabhängig ist, wurden die Kolostrumproben in einem Wasserbad auf 30°C erwärmt. Dies entspricht in der Praxis der Temperatur von melkfrischem Kolostrum, nachdem es im Melkeimer zu einer leichten Abkühlung gekommen ist.

Durchführung der Messung (lt. Hersteller):

- Düse von unten mit Finger verschließen
- Trichter in Kolostrum eintauchen und Kolostrum randvoll einfüllen
- Trichter herausziehen
- Finger weg-Düse öffnen und Stoppuhr in Gang setzen
- Beim ersten Abriss des Flüssigkeitsstrahls Stoppuhr drücken

2.6.5 Radioimmundiffusion

Die radiale Immundiffusion (RID, Single Radial Immuno Diffusion) ist das in der Literatur am häufigsten verwendete Nachweisverfahren zur Immunglobulinbestimmung im Kolostrum und wurde als Referenzmethode gewählt. Es wurde der Radial Immundiffusionsassay der Firma IDBiotech (F-63500 Issoire) verwendet.

Reagentien:

- Essigsäure 2% (frisch hergestellt)
- destilliertes Wasser
- Physiologische Natriumchloridlösung (0,15 M)
- IDBiotech - Bov IgG IDRing® Test :
 1. IDRing® BOV IgG Testplatten (10 Proben/Platte)
 2. SRID-Puffer (5x)
 3. 4 Standards (200, 100, 50, 25 µg/ml bovines IgG)

Durchführung der Messung:

- Alle Reagentien wurden auf Raumtemperatur gebracht und abgesetzte Bestandteile durch mehrmaliges Schütteln gut vermischt
- Der benötigte SRID-Puffer (5x) wurde mit destilliertem Wasser 1:5 verdünnt
- Die Kolostrumproben wurden nach folgendem Schema verdünnt:
 - 500 µl Kolostrum (VF1) werden in 4500 µl physiologischer Natriumchloridlösung homogenisiert (VF10) (in 15 ml-Tubes)
 - 50 µl Kolostrum VF10 werden in 450 µl physiologischer Natriumchloridlösung homogenisiert (VF100)

- 50 µl Kolostrum VF100 werden erneut in 450 µl physiologischer Natriumchloridlösung homogenisiert (VF1000)
 - Für jede Probe werden 2 separate Verdünnungsreihen wie beschrieben durchgeführt (Probenduplikate)
- Je 15 µl der Proben (VF1000) und Standards (in Duplikaten) wurden in die Vertiefungen der Probenplatten aufgetragen.
- Die Probenplatten wurden bei 37°C in Feuchtkammern (100% rel. Luftfeuchtigkeit) 16-24 Stunden inkubiert.
- Im Anschluss wurden die Probenplatten mit 4 ml 2%iger Essigsäure befüllt und 1 Minute bei Raumtemperatur inkubiert.
- Die Platten wurden entleert und 2mal mit 5 ml destilliertem Wasser gewaschen.
- Anschließend wurden die Platten erneut mit 5ml destilliertem Wasser befüllt und 10-15 Minuten bei Raumtemperatur inkubiert.
- Der Durchmesser der sichtbar gewordenen Präzipitatsringe aller Proben und Standards wurde per IDRing® Viewer S120 bestimmt.
- Die Auswertung erfolgte automatisch über eine von IDBiotech zur Verfügung gestellte IDRing Meter Software

2.7 Statistische Methoden

Mittels Box-Whisker-Plots wurden die Daten visuell auf Ausreißer untersucht. Für weitergehende Untersuchungen wurden Ausreißer ausgeschlossen.

Folgende Variable wurden zur statistischen Auswertung aus dem Erhebungsbogen abgeleitet:

- Wurde die Kuh ausgemolken: ja/nein
- Abstand von der Melkung zur Messung mit dem Refraktometer
- Abstand Kalbung-Melkung
- Menge des ermolkenen Kolostrums
- Laktationsnummer

In univariaten Analysen wurde die Abhängigkeit der Trichterdurchlaufzeit und des Gehalts an IgG von den erhobenen Faktoren (Abstand Kalbung-Melkung, Abstand Melkung-Messung, Kolostrummenge und pH-Wert) mittels Korrelationen bestimmt. Die Abhängigkeit der Trichterdurchlaufzeit und der IgG-Konzentration vom Ausmelken (ja/nein) und der Laktationsnummer wurde mittels Box-Whisker-Plots dargestellt und mit Hilfe nicht-parametrischer Tests (Mann-Whitney U-Test und Kruskal-Wallis-Test) bestimmt. Um den Einfluss des Abstandes Kalbung-Melkung auf die Qualität der Trichtermessung zu zeigen, wurde die Variable Abstand Kalbung-Melkung in zwei Klassen umkodiert (Kalbung-Melkung < 6h = kurz, Kalbung-Melkung ≥ 6h = lang).

Alle Faktoren, die in der univariablen Analyse einen P-Wert < 0,20 aufwiesen, wurden in ein multivariablen Regressionsmodell aufgenommen. Dabei wurde eine schrittweise Rückwärtsselektion angewandt.

Der optimale Grenzwert für die Unterscheidung von „gutem“ und „schlechtem“ Kolostrum wurde mittels ROC-Kurve (Receiver-Operating-Characteristic-Kurve) ermittelt. Die Einteilung in gutes oder schlechtes Kolostrum wurde anhand des in der Literatur gegebenen Grenzwertes von ≥ 50 mg/ml IgG vorgenommen. Die aus der ROC-Kurve ermittelte AUC (area under curve) stellte ein Maß für die Qualität des Grenzwertes einer Methode dar.

3.1.2 Messergebnisse von optischem und digitalem Refraktometer vor dem Einfrieren und nach dem Wiederauftauen des Kolostrums

Zur Feststellung eines Einflusses des Einfrier- und Auftauvorganges auf den IgG-Gehalt wurden mit einem optischen und einem digitalen Refraktometer Messungen vor dem Einfrieren und nach dem Wiederauftauen durchgeführt. Die Messung mit dem optischen Refraktometer ergab vor dem Einfrieren einen Wert von 21,71 ($\pm 3,75$) % Brix und nach dem Auftauen einen Wert von 21,57 ($\pm 3,58$) % Brix. Es kam durch den Gefrier- und Auftauvorgang zu einer Reduktion des Wertes um 0,14 % Brix (-0,64%). Die Messung mit dem digitalen Refraktometer ergab vor dem Einfrieren 21,13 ($\pm 4,33$) % Brix und nach dem Wiederauftauen 21,63 ($\pm 3,84$) % Brix. Es kam zu einer Zunahme des gemessenen Wertes um 0,5 % Brix (+2,37%). Die Veränderungen waren sehr gering und sind im Säulendiagramm zu erkennen (Abb. 11).

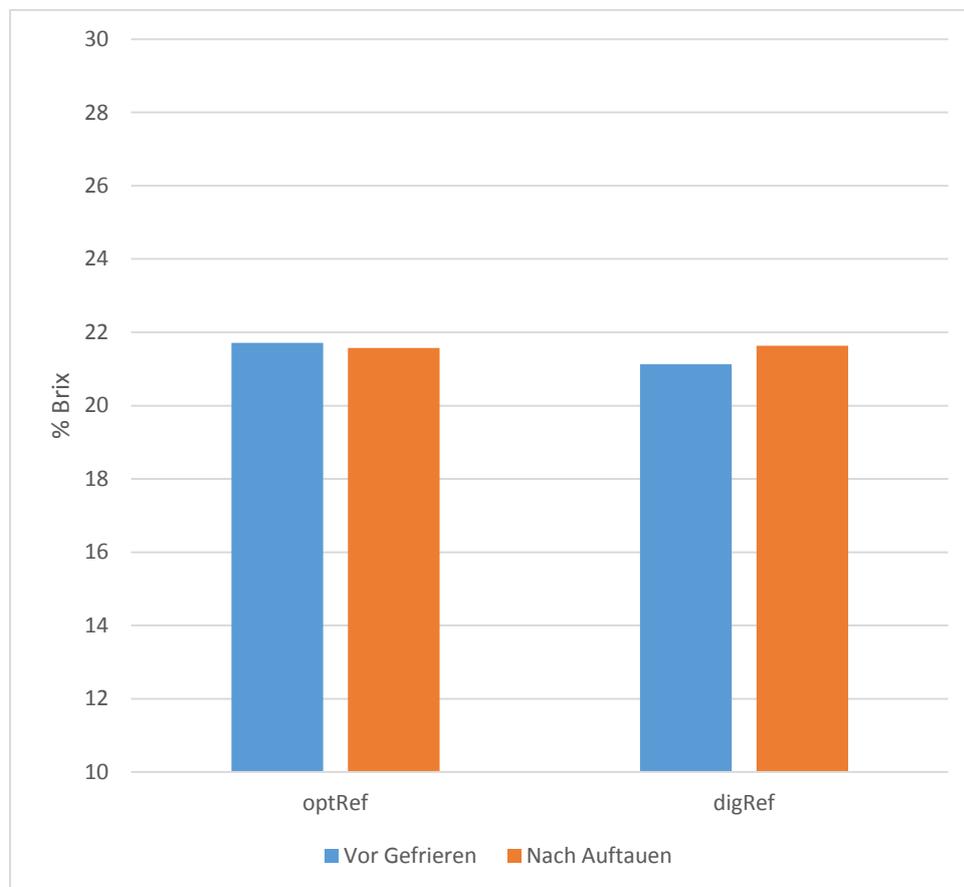


Abbildung 11: Messergebnisse (Mittelwerte in % Brix) von einem optischen (optRef) und einem digitalen (digRef) Refraktometer vor dem Einfrieren und nach dem Wiederauftauen. N = 123

Die graphische Gegenüberstellung im Punktediagramm zeigt eine gute Übereinstimmung der vor dem Einfrieren und nach dem Wiederauftauen mit dem optischen Refraktometer gemessenen Werte (Abb. 12). Der Korrelationskoeffizient betrug $r = 0,925$ ($P < 0,001$).

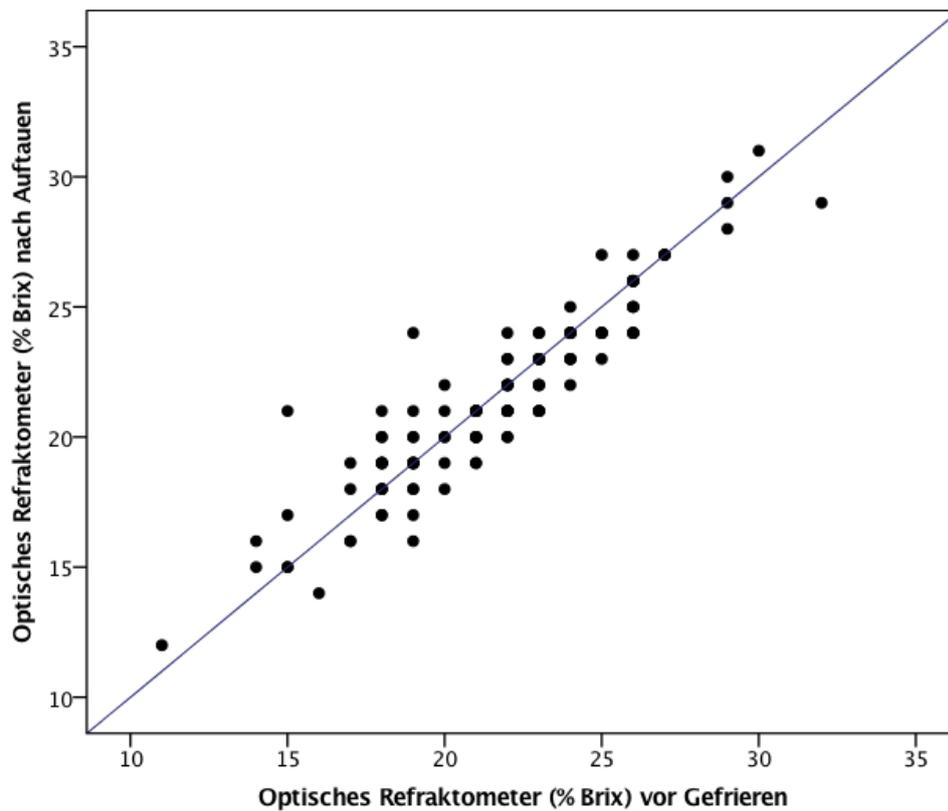


Abbildung 12: Gegenüberstellung der Messergebnisse (% Brix) vor dem Gefrieren und nach dem Wiederauftauen. Messung mit dem optischen Refraktometer. N=123

Ebenso zeigten die mit dem digitalen Refraktometer vor dem Einfrieren und nach dem Auftauen erhobenen Werte eine sehr hohe Korrelation ($r = 0,887$). Der Zusammenhang war auf einem Niveau von $P < 0,001$ statistisch signifikant. Die Abbildung 13 veranschaulicht anhand des zweidimensionalen Streudiagrammes die Korrelation der Messwerte des digitalen Refraktometers vor und nach dem Einfrieren.

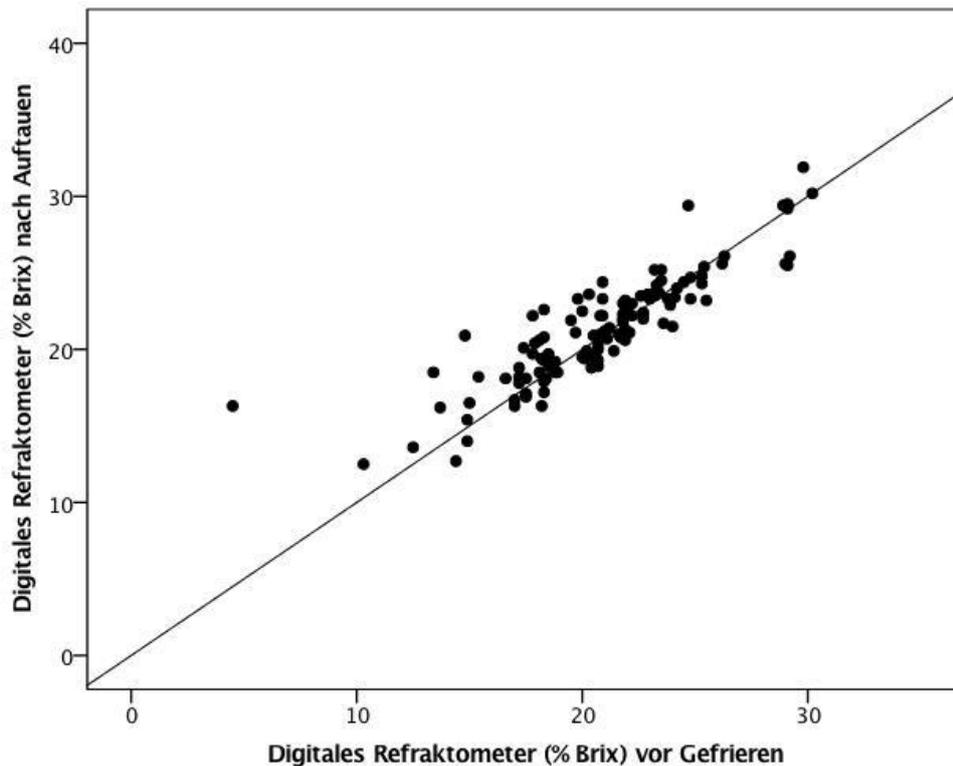


Abbildung 13: Gegenüberstellung der Messergebnisse (% Brix) vor dem Gefrieren und nach dem Wiederauftauen. Messung mit dem digitalen Refraktometer. N=123

3.2 Faktoren, die den IgG-Gehalt des Kolostrums beeinflussen

Zur Untersuchung des möglichen Einflusses verschiedener Faktoren auf den IgG-Gehalt des Kolostrums wurden aus dem erhobenen Datenmaterial die Laktationsnummer, die ermolzene Kolostrummenge, der Abstand Kalbung-Melkung, der Abstand Melkung-Messung und Ausmelken (ja/nein) in die statistische Auswertung einbezogen.

3.2.1 Laktationsnummer

In Tabelle 3 ist die Verteilung der Kühe nach den Laktationsnummern dargestellt. Der Durchschnitt lag bei $3,28 \pm 2,00$ Laktationen (N = 123).

Tabelle 3: Verteilung der Probanden nach Laktationsnummern. N = 123

Laktationsnummer	N	%
1	17	14
2	39	32
3	21	17
4	21	17
5	11	9
6	5	4
7	4	3
8	1	1
9	0	0
10	4	3
Gesamt	123	100

Abbildung 14 zeigt die Abhängigkeit der IgG-Konzentration von der Laktationsnummer ($P < 0,001$). Danach ergibt sich eine Zunahme der IgG-Konzentration mit Zunahme der Laktationsnummer. Die Ausnahme stellte die erste Laktation mit einem höheren IgG-Gehalt als die zweite Laktation dar.

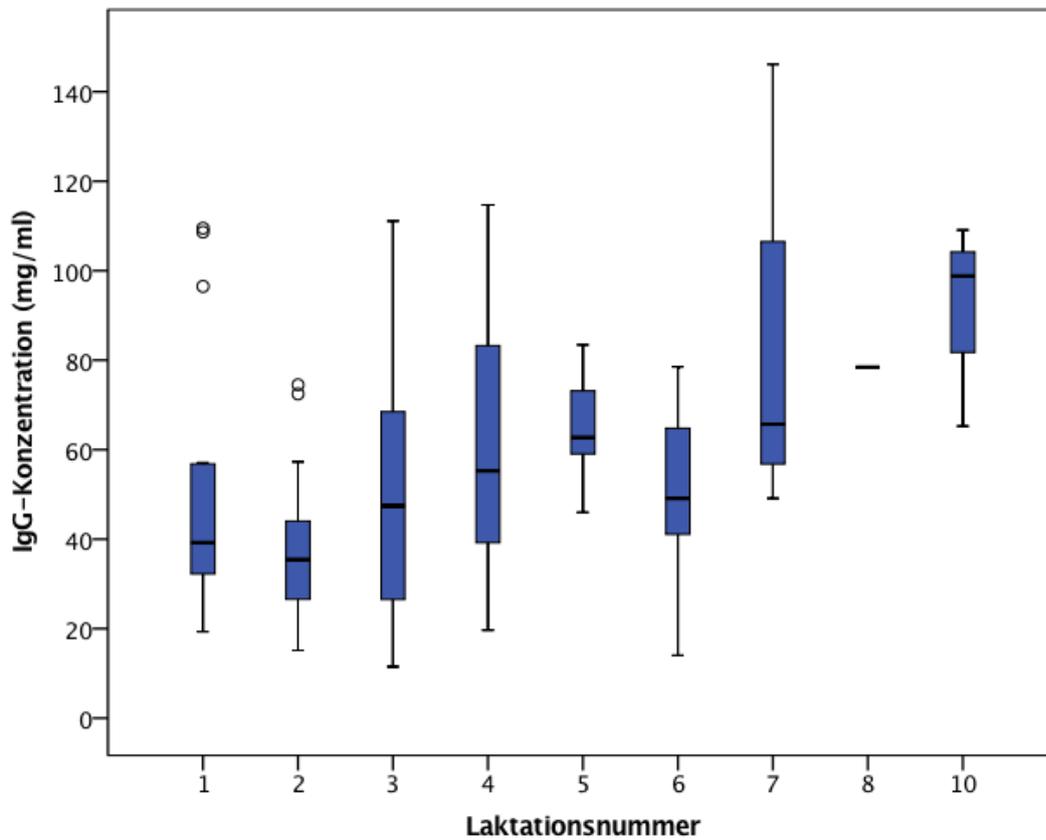


Abbildung 14: IgG- Konzentration (mg/ml) in Abhängigkeit von der Laktationsnummer. N = 123

Aufgrund der geringen Zahl von Tieren mit mehr als 6 Laktationen wurden alle Tiere mit ≥ 6 Laktationen zu einer Gruppe (Laktationsgruppe 6) zusammengefasst (Tab. 4). In Abbildung 15 ist die signifikante Zunahme der IgG-Konzentration in den Laktationsgruppen mit Ausnahme der ersten Laktation dargestellt ($P < 0,001$).

Tabelle 4: Bildung von Laktationsgruppen. Zuordnung der Laktationsnummern in die entsprechende Laktationsgruppe. Tiere mit Laktation ≥ 6 wurden in Gruppe 6 zusammengeschlossen. N = 123

Laktationsgruppe	N	%
1	17	14
2	39	32
3	21	17
4	21	17
5	11	9
6	14	11
Gesamt	123	100

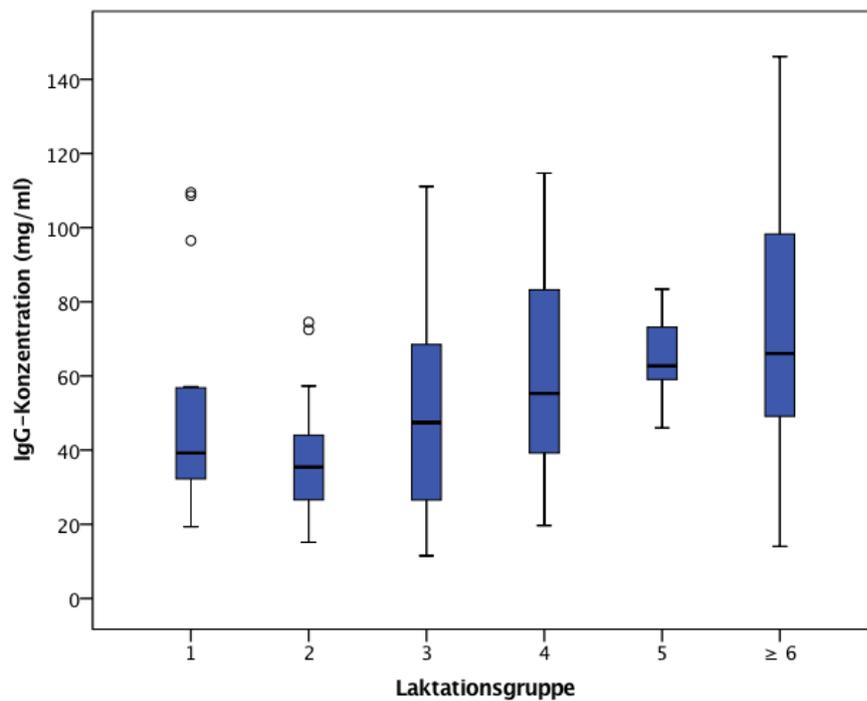


Abbildung 15: IgG-Konzentration (mg/ml) in Abhängigkeit von der Laktationsgruppe. N = 123

3.2.2 Abstand Kalbung-Melkung

Der Einfluss des Abstandes Kalbung-Melkung auf den IgG-Gehalt wird in Abbildung 16 dargestellt. Der errechnete Korrelationskoeffizient $r = -0,222$ war gering und das daraus errechnete Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,05$ erklärte nur ca. 5 % der Fälle. Der Einfluss des Abstandes Kalbung-Melkung war statistisch signifikant ($P = 0,013$). Der IgG-Gehalt des Kolostrums nahm mit jeder Stunde um den Faktor 1,7 ab.

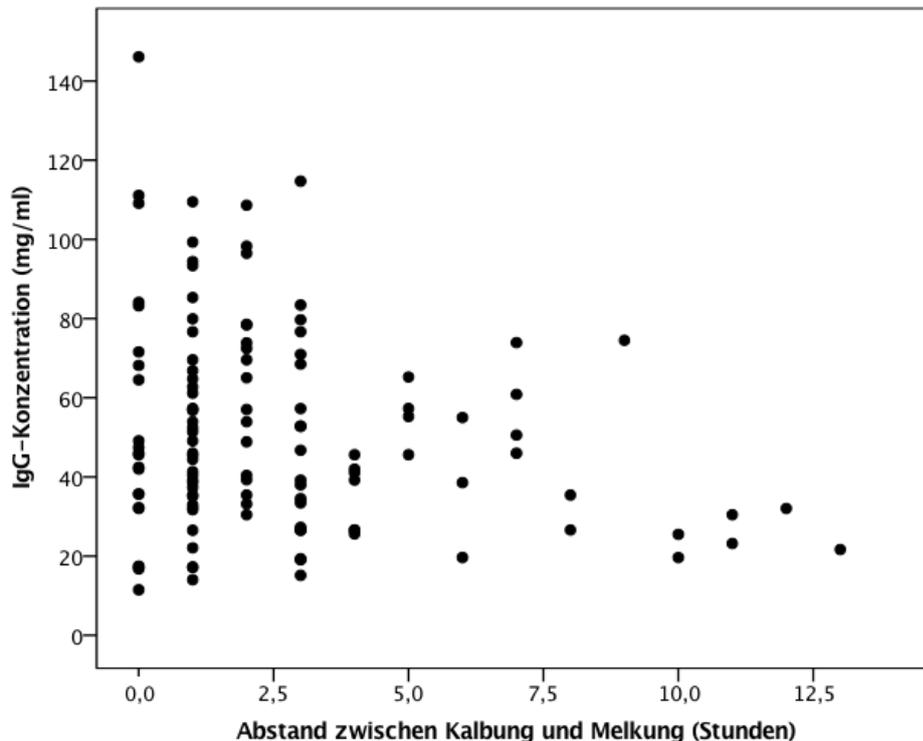


Abbildung 16: Zusammenhang zwischen IgG-Konzentration (mg/ml) und dem Abstand Kalbung-Melkung in Stunden. $N = 123$

3.2.3 Ermolkene Kolostrummenge, pH-Wert, Ausmelken (ja/nein) und Abstand Melkung-Messung

In einer weiteren Berechnung wurden die Faktoren ermolkene Kolostrummenge, pH-Wert, Ausmelken (ja/nein) und Abstand Melkung-Messung ausgewertet. Die ermolkene Kolostrummenge hatte keinen Einfluss auf den IgG-Gehalt des Kolostrums ($r = -0,117$; $P = 0,198$), ebensowenig der pH-Wert ($r = 0,059$; $P = 0,516$) und der Abstand zwischen der Melkung und der Messung ($r = 0,125$; $P = 0,169$). Der Faktor Ausmelken (ja/nein) hatte ebenfalls keinen Einfluss auf den IgG-Gehalt des Kolostrums ($P = 0,384$).

3.2.4 Gemeinsamer Einfluss aller gemessenen Faktoren auf den IgG-Gehalt des Kolostrums

In der multiplen Regressionsberechnung mit Gegenüberstellung aller erhobenen 6 Faktoren (Laktationsnummer, Abstand Kalbung-Melkung, ermolkene Kolostrummenge, pH-Wert, Ausmelken (ja/nein) und Abstand Melkung-Messung) blieben nur die zwei Variablen (Laktationsnummer und Abstand Kalbung-Melkung) mit Einfluss auf den IgG-Gehalt übrig. Die Faktoren ermolkene Kolostrummenge, Ausmelken (ja/nein), pH-Wert vor dem Gefrieren und der Abstand Melkung bis zur Messung hatten keine signifikanten Einflüsse auf den IgG-Gehalt. Mit zunehmender Laktationsnummer nahm der IgG-Gehalt des Kolostrums zu ($P < 0,001$) und mit zunehmendem Abstand zwischen der Kalbung und der Melkung nahm der IgG-Gehalt ab ($P = 0,029$).

3.3 Bestimmung der Kolostrumqualität mit dem Präzisionstrichterverfahren

Die im Rahmen der Evaluierung des neuen Präzisionstrichterverfahrens durchgeführten Messungen der Proben ergaben für den Durchlauf von 100 ml Kolostrum eine durchschnittliche Trichterdurchlaufzeit von $25,19 \pm 6,76$ sec. Beim Vergleich von Trichterdurchlaufzeit und IgG-Gehalt fiel im Punktediagramm die Streuung der Ergebnisse auf. Besonders auffallend war ein „Ausreißer“ mit extrem langer Durchlaufzeit (über 80 sec.) und extrem hohen IgG-Gehalt, der von den weiteren Auswertungen ausgeschlossen wurde (Abb. 17). Zwischen der Trichterdurchlaufzeit und dem IgG-Gehalt ergab sich eine positive Korrelation ($r = 0,422$). Der Einfluss des IgG-Gehaltes auf die Trichterdurchlaufzeit war statistisch signifikant ($P < 0,01$).

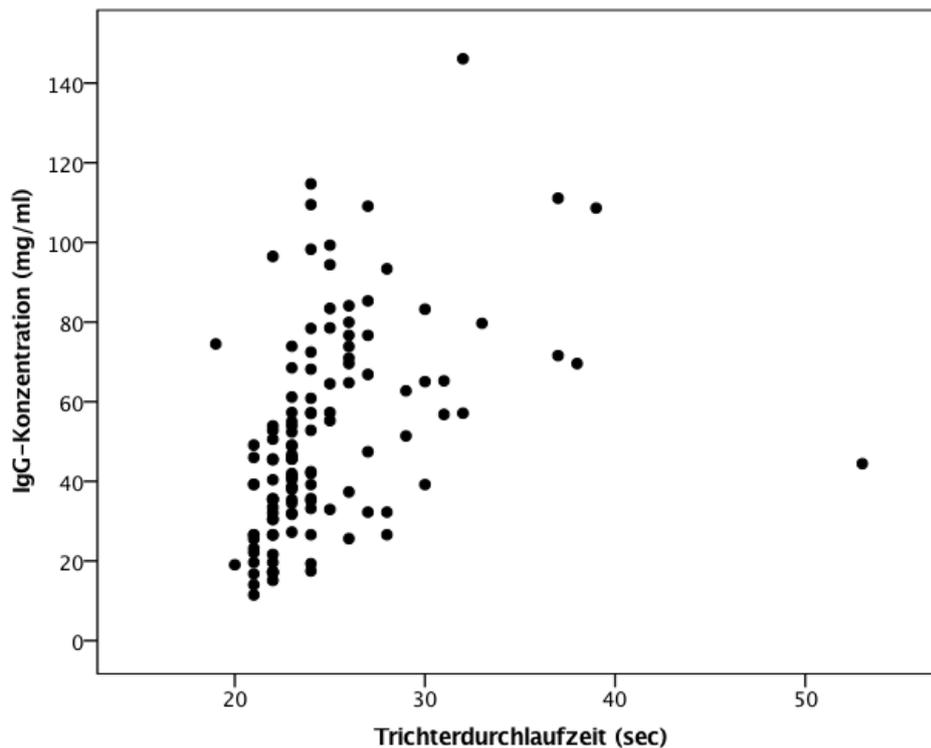


Abbildung 17: Vergleich der Trichterdurchlaufzeit (sec) mit der IgG-Konzentration (mg/ml). N=123

In den weiteren Auswertungen wurden Faktoren untersucht, die die Trichterdurchlaufzeit beeinflussen.

3.3.1 Ermolkene Kolostrummenge

Der Einfluss der ermolkene Kolostrummenge auf die Trichterdurchlaufzeit ist im Punktediagramm dargestellt (Abb. 18). In der Korrelationsberechnung betrug der Koeffizient nach Pearson $r = -0,124$ und der Zusammenhang war mit $P = 0,171$ statistisch nicht signifikant. Die Trichterdurchlaufzeit von 100 ml Kolostrum ist demnach nicht von der Kolostrummenge abhängig.

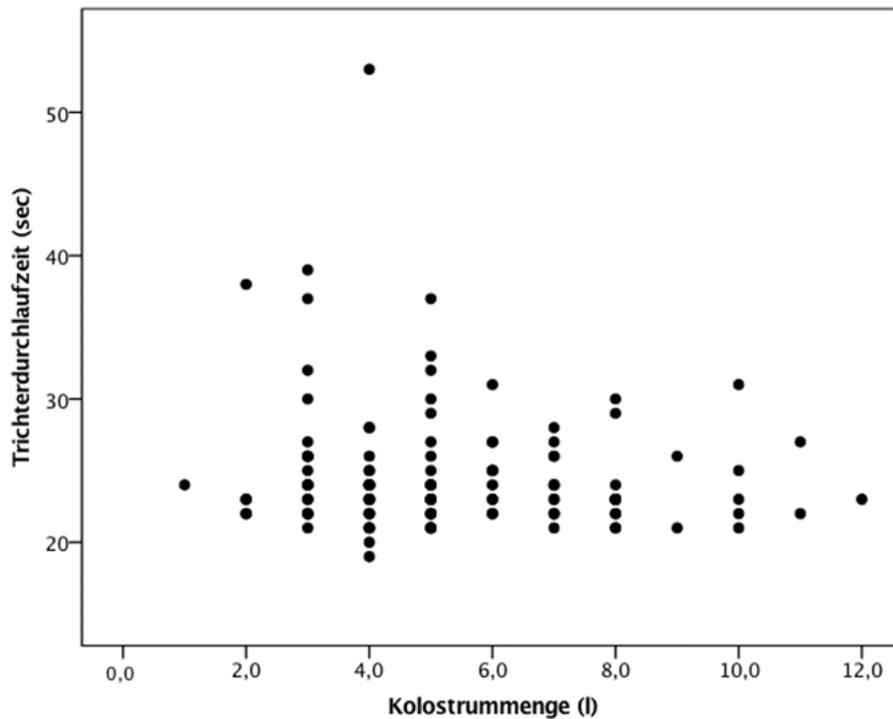


Abbildung 18: Trichterdurchlaufzeit (sec) von 100 ml Kolostrum in Abhängigkeit von der ermolkenen Kolostrummenge in Liter. N=123

3.3.2 Abstand Kalbung-Melkung

Der durchschnittliche Abstand Kalbung-Melkung betrug $2,56 \pm 2,77$ Stunden. Es bestand ein signifikanter Einfluss des Abstandes Kalbung-Melkung auf die Trichterdurchlaufzeit ($r = 0,24$, $P = 0,007$). Mit zunehmendem Abstand Kalbung-Melkung verkürzte sich die Trichterdurchlaufzeit. Mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,059$ erklärte der Abstand Kalbung-Melkung 5,9% der Ergebnisse. In Abbildung 19 wird der Zusammenhang zwischen dem Abstand Kalbung-Melkung und der Trichterdurchlaufzeit graphisch dargestellt.

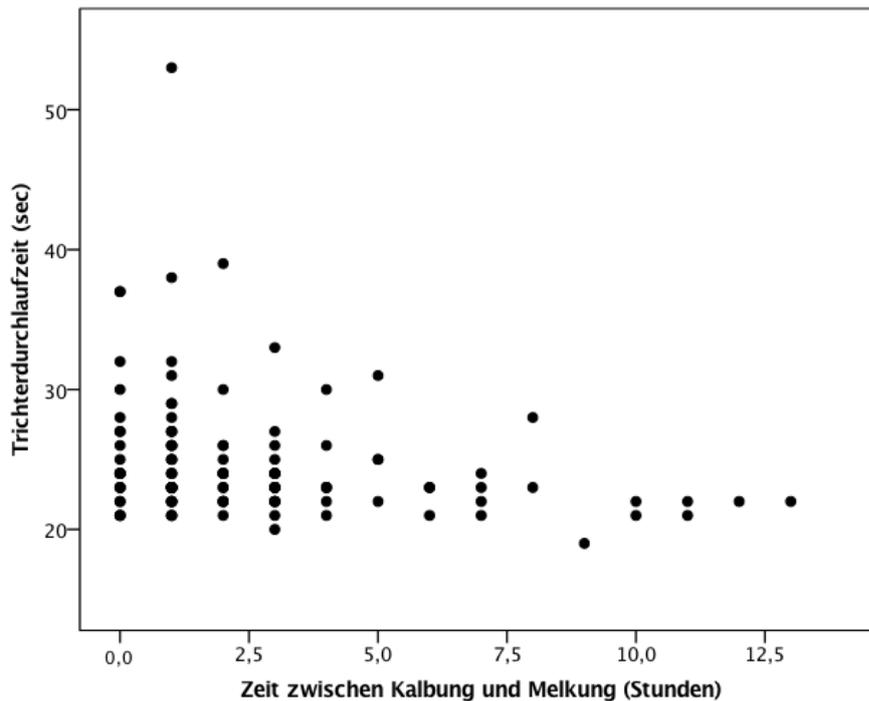


Abbildung 19: Trichterdurchlaufzeit (sec) von 100ml Kolostrum in Abhängigkeit vom Abstand Kalbung-Melkung in Stunden. N = 123

3.3.3 Laktationsnummer

Wegen der geringen Zahl von älteren Tieren wurden die Kühe in den höheren Laktationen zu einer Gruppe zusammengefasst. Die jeweiligen Laktationsnummern wurden der entsprechenden Laktationsgruppe zugeordnet und alle Tiere mit einer Laktationsnummer ≥ 6 der Laktationsgruppe 6 zugeordnet. Eine Gegenüberstellung der verschiedenen Laktationsgruppen und der Trichterdurchlaufzeiten zeigt eine starke Streuung der Trichterdurchlaufzeiten in der Laktationsgruppe 1 mit einem höheren Durchschnittswert als in Laktationsgruppe 2 (Abb. 20). Ab Laktationsgruppe 2 stiegen die Trichterdurchlaufzeiten langsam an. Erstlaktierende Tiere hatten längere durchschnittliche Trichterdurchlaufzeiten als Tiere der zweiten Laktation. Der Einfluss der Laktationsnummer auf die Trichterdurchlaufzeit war statistisch signifikant ($P < 0,001$).

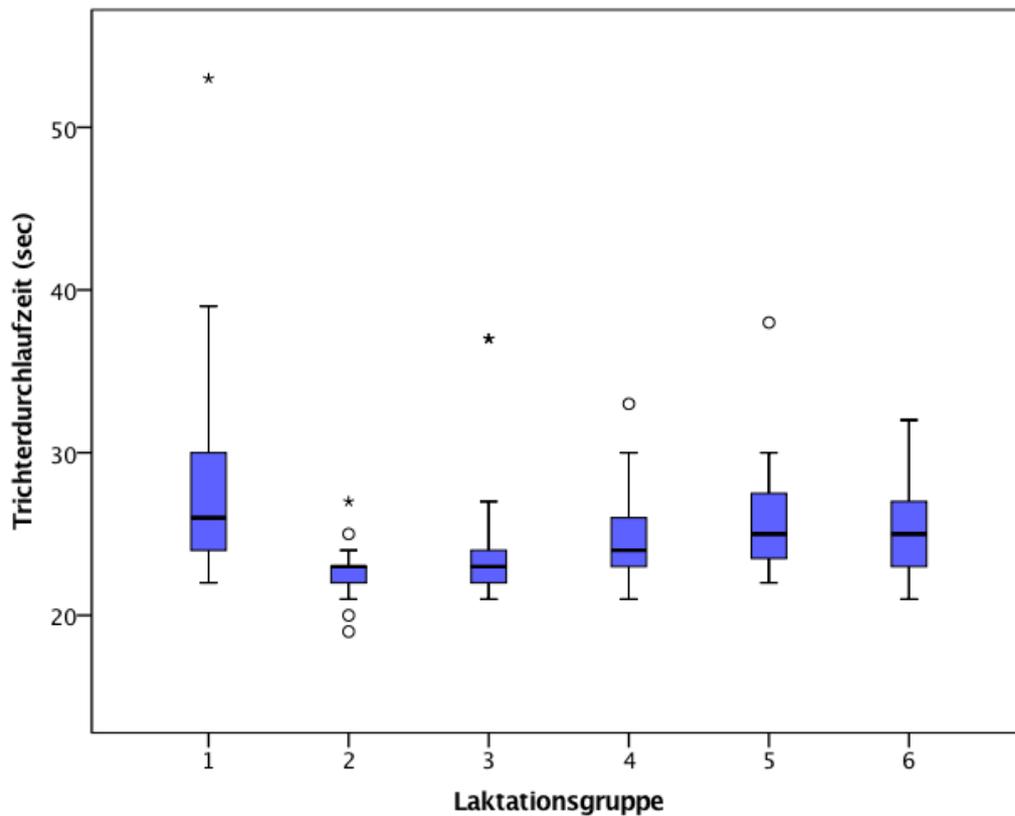


Abbildung 20: Trichterdurchlaufzeit (sec) der verschiedenen Laktationsgruppen.

Laktationsgruppe 6 = Kühe mit Laktationsnummer ≥ 6 . N = 123

3.3.4 Trichterdurchlaufzeit in Abhängigkeit von anderen Faktoren

Nach der Auswertung der Einflüsse auf den IgG-Gehalt sollte auch nach einer Korrelation aller erhobenen Faktoren mit der Trichterdurchlaufzeit gesucht werden. Es konnte keine Korrelation ($P = 0,107$) zwischen der Trichterdurchlaufzeit und dem Faktor Ausmelken (ja/nein) nachgewiesen werden (Abb. 21). Ebenso ist die Trichterdurchlaufzeit nicht abhängig vom Abstand Melkung-Messung ($r = -0,081$; $P = 0,371$) und dem pH-Wert ($r = 0,154$; $P = 0,089$).

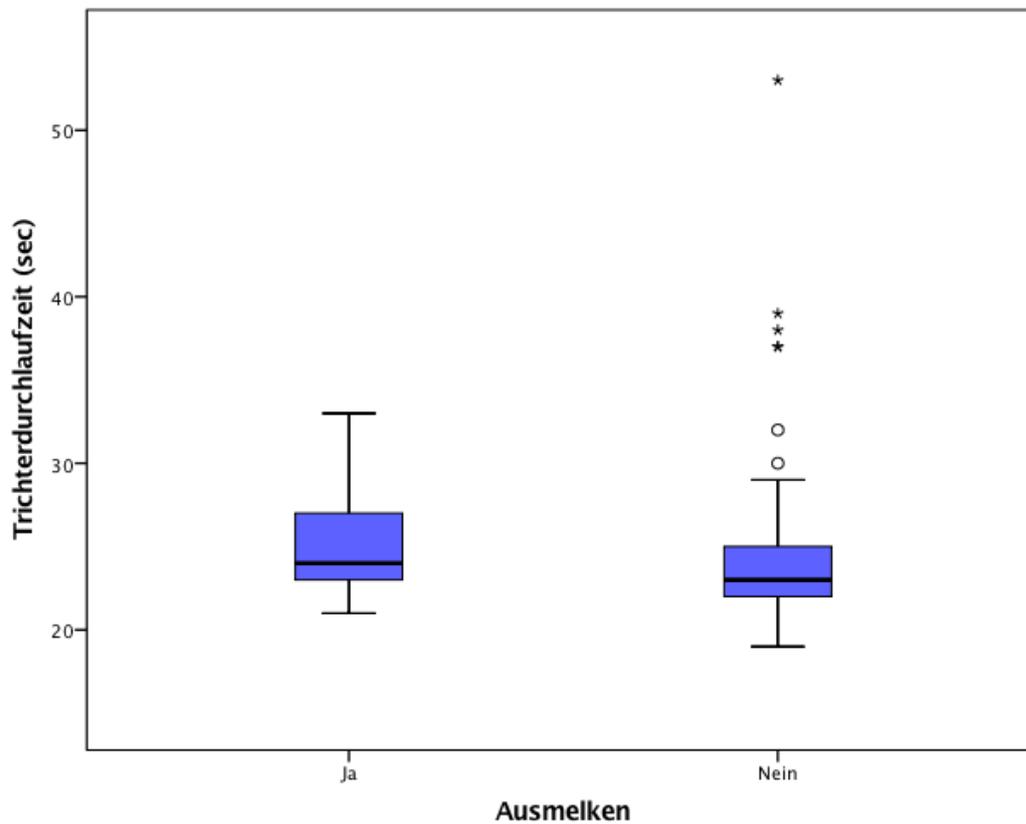


Abbildung 21: Vergleich der Trichterdurchlaufzeit (sec) mit dem Faktor Ausmelken (Ja/Nein).

3.3.5 Trichterdurchlaufzeit in Abhängigkeit aller erhobenen Faktoren (multivariabel)

In der Regressionsberechnung verblieb nur die Laktationsnummer mit signifikantem Einfluss auf die Trichterdurchlaufzeit ($P = 0,013$). Mit zunehmendem Abstand Kalbung-Melkung nahm die Trichterdurchlaufzeit tendenziell ab ($P = 0,078$; Tabelle 5).

Tabelle 5: Auswertung der Trichterdurchlaufzeiten in Abhängigkeit von der Laktationsnummer und dem Abstand zwischen Kalbung und Melkung mittels eines multivariablen allgemeinen linearen Modells. (N=123)

	Regressionskoeffizient	Standardfehler	T-Wert	Signifikanz (P-Wert)
Konstante	29,600	1,685	17,565	< 0,001
Laktationsnummer				0,013
Laktation 1	-0,219	2,282	-0,096	0,924
Laktation 2	-6,059	1,967	-3,080	0,003
Laktation 3	-3,822	2,225	-1,718	0,088
Laktation 4	-3,750	2,193	-1,709	0,090
Laktation 5	-2,474	2,553	-0,969	0,334
Laktation \geq 6	Referenz			
Abstand zwischen Kalbung und Melkung	-0,381	0,214	-1,777	0,078

3.3.6 Qualitätseinstufung mit dem Präzisionstrichter

Der Grenzwert für gutes Kolostrum liegt bei ≥ 50 mg/ml IgG (Conneely et al., 2013; Le Cozler et al., 2016). 55,6% der im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Proben waren von nicht ausreichender Qualität (< 50 mg/ml IgG). Die in der vorliegenden Arbeit festgestellten Kolostrumqualitäten werden im folgenden Säulendiagramm dargestellt (Abb. 22). Der Mittelwert der mittels RID gemessenen IgG-Gehalte lag bei $51,34 \pm 25,78$ mg/ml.

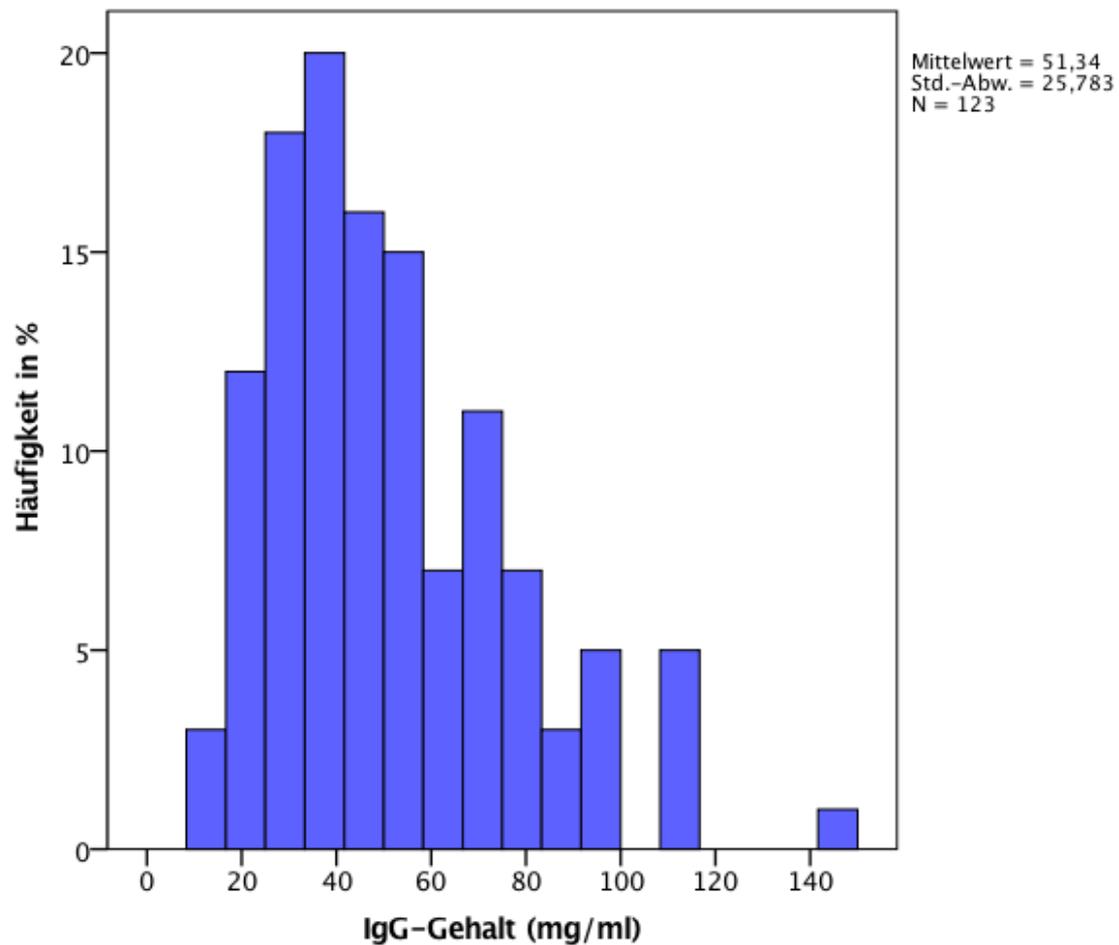


Abbildung 22: Prozentuelle Verteilung (Häufigkeit) der mittels RID gemessenen IgG-Gehalte (mg/ml).

Zur Ermittlung des optimalen Grenzwertes für die Unterscheidung von „gutem“ und „schlechtem“ Kolostrum wurde die ROC-Kurve (Receiver-Operating-Characteristic-Kurve) berechnet und ein Grenzwert von 23,5 Sekunden ermittelt (Abb. 23). Trichterdurchlaufzeiten unter 23,5 sec. sprechen für „schlechte“, längere Durchlaufzeiten sprechen für „gute“ Kolostrumqualitäten. Die Fläche unterhalb der ROC-Kurve (area under curve, AUC) lag bei 0,805.

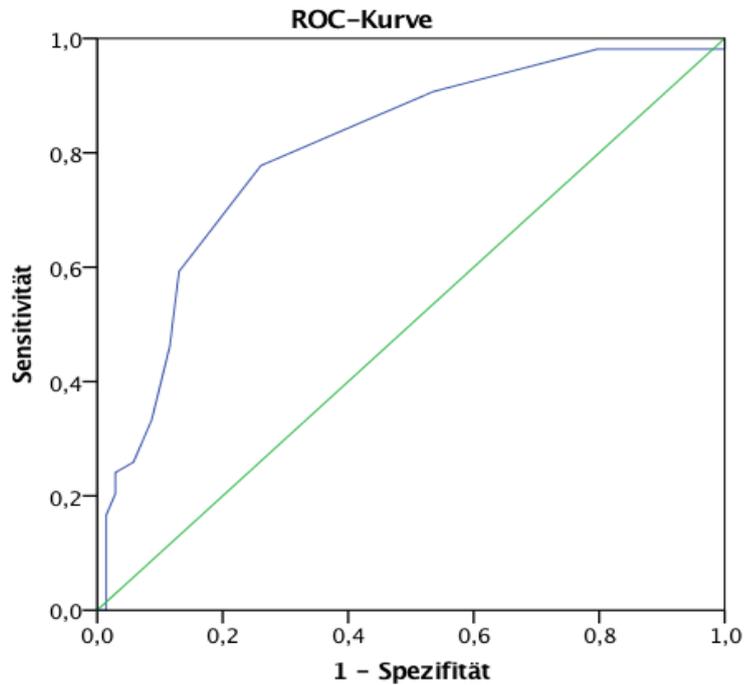


Abbildung 23: ROC-Kurve der Trichterdurchlaufzeit zur Unterscheidung von „guten“ (≥ 50 mg/ml IgG) und „schlechten“ (< 50 mg/ml IgG) Kolostrumqualitäten. AUC = 0,805. N = 123

Zur Berechnung von Sensitivität und Spezifität wurden in einer Kreuztabelle die falsch positiven und die falsch negativen Ergebnisse dargestellt (Tab. 6). 18 Proben wurden mit dem Trichter als falsch „gut“ und 12 Proben als falsch „schlecht“ bewertet. Daraus resultiert eine Sensitivität von 77,8 % und eine Spezifität von 73,9 % für den gewählten Grenzwert.

Tabelle 6: Gegenüberstellung der Qualitätseinstufung mit dem Trichter und der Qualitätseinstufung nach den mittels RID gemessenen IgG-Gehalt. N=123

		Qualität nach IgG-Gehalt		
		schlecht ³	gut ⁴	gesamt
Qualität nach Trichtermessung	schlecht ¹	51	12	63
	gut ²	18	42	60
	gesamt	69	54	123

¹ Qualität nach Trichtermessung schlecht: ≤ 23 sec Durchlaufzeit

² Qualität nach Trichtermessung gut: ≥ 24 sec Durchlaufzeit

³ Qualität nach IgG-Gehalt schlecht: < 50 mg/ml IgG

⁴ Qualität nach IgG-Gehalt gut: ≥ 50 mg/ml IgG

In einer weiteren Berechnung wurde wegen der großen Schwankungsbreite der Ergebnisse der Erstlaktierenden die erste Laktation ausgeschlossen (Abb. 24). Der optimale Grenzwert lag mit dieser Einschränkung wieder bei 23,5 sec. Die Fläche unter der Kurve (AUC) vergrößerte sich durch den Ausschluss der ersten Laktation auf den Wert AUC = 0,864.

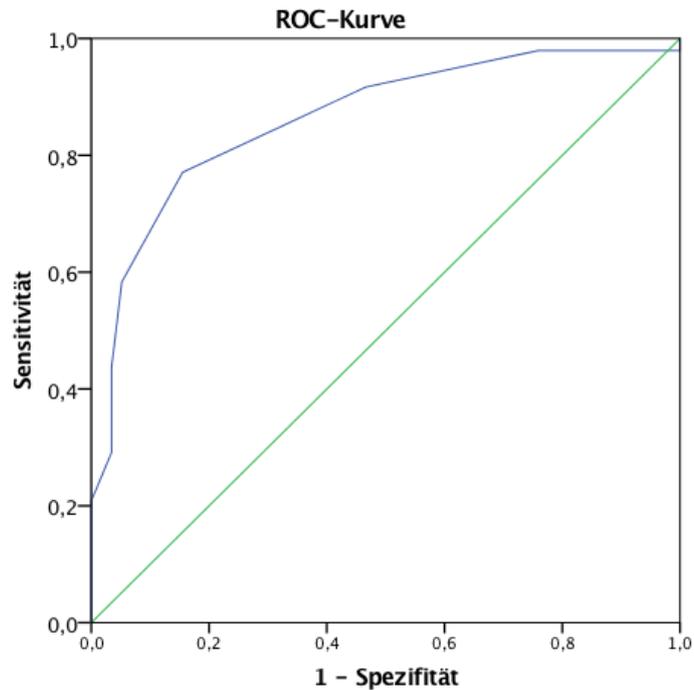


Abbildung 24: ROC-Kurve der Trichterdurchlaufzeit zur Unterscheidung von „guten“ (≥ 50 mg/ml IgG) und „schlechten“ (< 50 mg/ml IgG) Kolostrumqualitäten bei Tieren ab der 2. Laktation. AUC = 0,864. N = 106

In der weiteren Folge wurde anhand des Abstandes Kalbung-Melkung eine Gruppe „kurz“ (Abstand Kalbung-Melkung < 6 h) und eine Gruppe „lang“ (Abstand Kalbung-Melkung ≥ 6 h) unterteilt. In der Gruppe „lang“ befanden sich nur wenige Tiere (n=14). Die meisten Tiere in dieser Gruppe wiesen kurze Trichter-durchlaufzeiten und schlechte Kolostrumqualitäten auf (Tab. 7).

Tabelle 7: Gegenüberstellung der Qualitätseinstufung mit dem Trichter und dem Abstand Kalbung-Melkung. N = 123

	Abstand Kalbung-Melkung			
		kurz ³	lang ⁴	gesamt
Qualität nach Trichtermessung	schlecht ¹	49	14	63
	gut ²	58	2	60
	gesamt	107	16	123

¹ Qualität nach Trichtermessung schlecht: ≤ 23 sec Durchlaufzeit

² Qualität nach Trichtermessung gut: ≥ 24 sec Durchlaufzeit

³ Abstand Kalbung-Melkung kurz: < 6 h

⁴ Abstand Kalbung-Melkung lang: ≥ 6 h

Eine getrennte Berechnung der ROC-Kurven der zwei Gruppen (Kalbung-Melkung < 6 h = kurz, Kalbung-Melkung ≥ 6 h = lang) ergab unterschiedliche Flächen unter der Kurve (AUC). Der Wert für die Gruppe „kurzer Abstand“ lag bei AUC = 0,827 (Abb. 25), derjenige für die Gruppe „langer Abstand“ bei AUC = 0,618 (Abb. 26). Für den Grenzwert von 23,5 sec. lagen Sensitivität und Spezifität bei kurzem Abstand bei 83,7% bzw. 70,7% und bei langem Abstand bei 20% bzw. 90,9%.

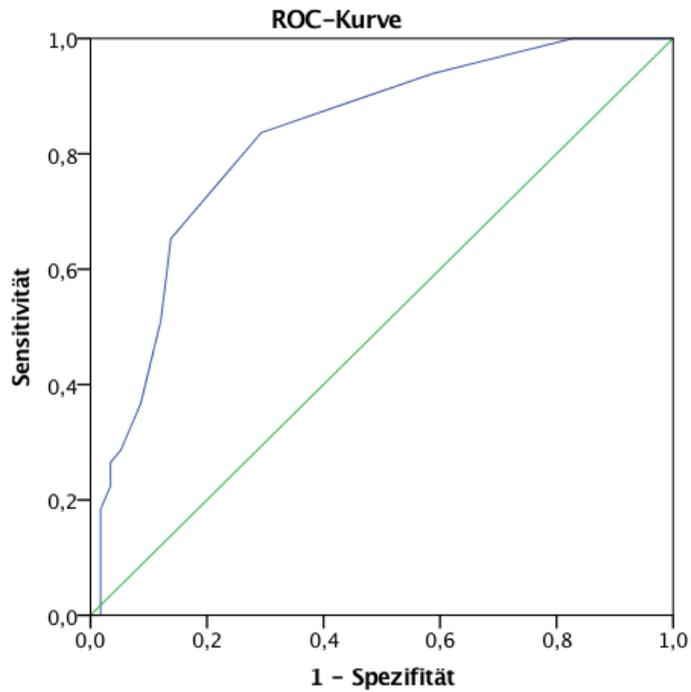


Abbildung 25: ROC-Kurve der Trichterdurchlaufzeit bei kurzem Abstand Kalbung-Melkung (< 6 h) zur Unterscheidung von „guten“ (≥ 50 mg/ml IgG) und „schlechten“ (< 50 mg/ml IgG) Kolostrumqualitäten. AUC = 0,827. N = 107

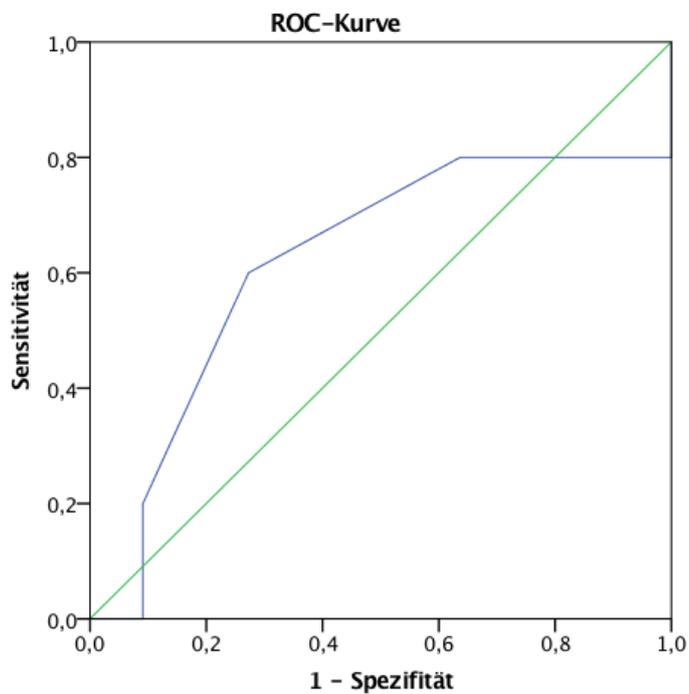


Abbildung 26: ROC-Kurve der Trichterdurchlaufzeit bei langem Abstand Kalbung-Melkung (≥ 6 h) zur Unterscheidung von „guten“ (≥ 50 mg/ml IgG) und „schlechten“ (< 50 mg/ml IgG) Kolostrumqualitäten. AUC = 0,618. N = 16

Die Darstellung der Trichterdurchlaufzeiten in Abhängigkeit vom IgG-Gehalt zeigt eine Häufung des Punkteschwarms im rechten oberen und im linken unteren Quadranten (Abb. 27). Die eingezeichneten Linien stellen die entsprechenden Grenzwerte für „gutes“ Kolostrum dar. Die horizontale Linie zeigt die IgG-Grenze von 50 mg/ml für gutes Kolostrum, die vertikale Linie die Grenze von 23,5 sec für gutes Kolostrum bei Messung mit dem Trichter. Die den Punkten im rechten oberen Quadranten entsprechenden Kolostrumproben wurden nach der Trichtermethode als Kolostrum guter Qualität klassifiziert, dies entspricht auch den gemessenen IgG-Werten. Die Punkte im linken unteren Quadranten zeigen, dass die entsprechenden Kolostrumproben mit niedrigen IgG-Gehalten auch bei der Trichtermethode als solche erkannt werden. Die Punkte im linken oberen Quadranten stellen die falsch-negativ klassifizierten, die Punkte im rechten unteren Quadranten die falsch positiv klassifizierten Kolostrumproben dar.

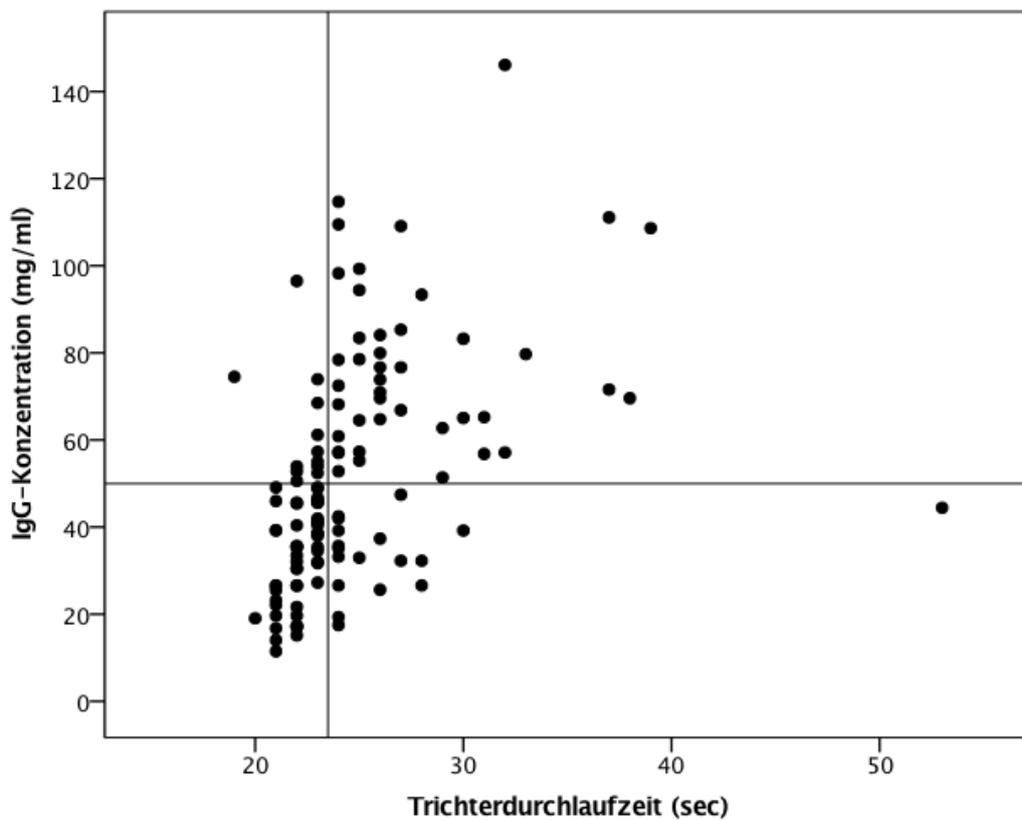


Abbildung 27: Abhängigkeit der Trichterdurchlaufzeit (sec) vom IgG-Gehalt (mg/ml). Horizontale Linie: Grenzlinie bei 50 mg/ml IgG für „gutes“ Kolostrum, vertikale Linie: Grenzlinie bei 23,5 sec Trichterdurchlaufzeit für „gutes“ Kolostrum. N = 123

Bei einer farblichen Differenzierung des Diagramms nach den Laktationsnummern fällt eine Häufung blauer Punkte (erste Laktation) im rechten unteren Quadranten mit den falsch positiven Ergebnissen auf. Außerdem ist im rechten oberen Quadranten eine Häufung roter Punkte (Laktationsnummer ≥ 6) zu erkennen. Punkte in diesem Quadranten stehen für richtig positiv („gutes“ Kolostrum) bewertete Proben (Abb. 28).

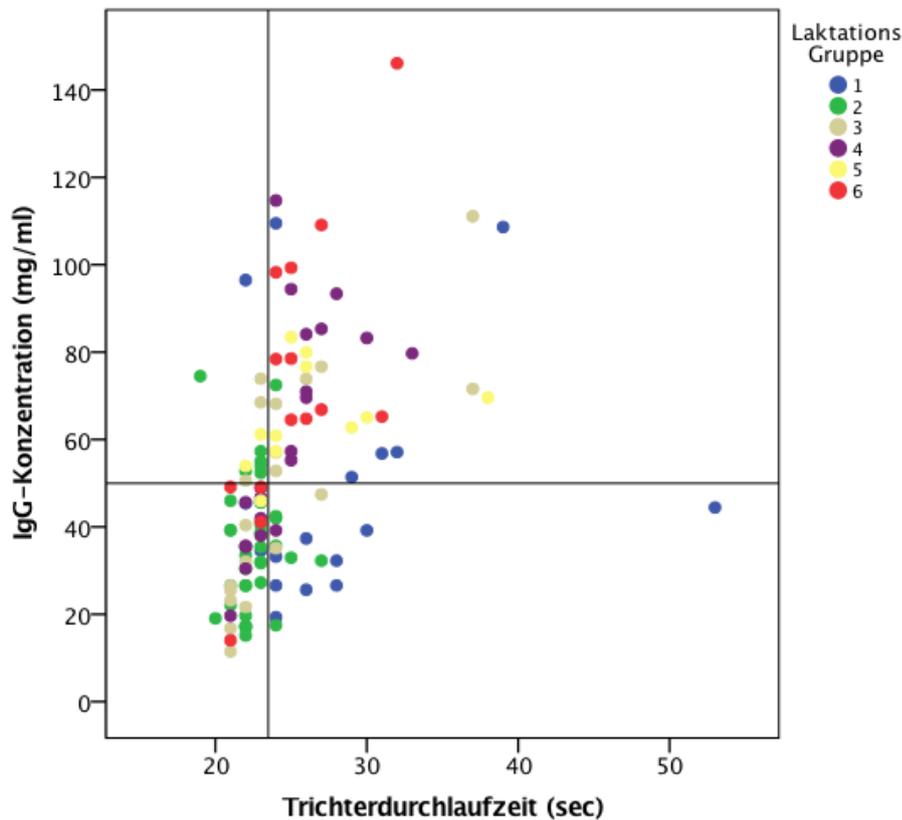


Abbildung 28: Abhängigkeit der Trichterdurchlaufzeit (sec) vom IgG-Gehalt (mg/ml). Horizontale Linie: Grenzlinie bei 50 mg/ml IgG für „gutes“ Kolostrum, vertikale Linie: Grenzlinie bei 23,5 sec Trichterdurchlaufzeit für „gutes“ Kolostrum. Farbliche Aufteilung der Punkte nach Zuordnung der einzelnen Laktationsnummern zur entsprechenden Laktationsgruppe. Laktationsgruppe rot umfasst alle Laktationsnummern ≥ 6 . N = 123

3.4 Vergleich verschiedener Messmethoden

In Tabelle 8 werden die Beziehungen zwischen den Ergebnissen der verschiedenen Messverfahren und der IgG-Konzentration im Kolostrum mittels Pearson-Korrelationskoeffizienten dargestellt. Sie lagen auf einem Niveau zwischen $r = 0,422$ (Trichter) und $r = 0,596$ (opt. Refraktometer). Die Korrelationen zwischen den Messergebnissen von optischem und digitalem Refraktometer, dem Kolostrometer, der digitalen Dichtemessung und der Trichtermethode befanden sich mit 2 Ausnahmen auf einem höheren Niveau ($r > 0,6$). Zwischen der digitalen Dichtemessung und der Trichtermethode ($r = 0,349$) und zwischen der Trichtermethode und der Kolostrometermessung ($r = 0,411$) bestanden nur geringe Korrelationen. Alle Korrelationen waren auf dem Niveau von $P < 0,001$ signifikant.

Tabelle 8: Korrelationen der Ergebnisse der verschiedenen Messmethoden und der mittels RID bestimmten IgG-Gehalte. N=123

	Optisches Refraktometer	Digitales Refraktometer	Kolostrometer	Dichte digital	Trichter
IgG-Konzentration (RID)	0,596	0,592	0,569	0,525	0,422
Optisches Refraktometer	1	0,915	0,809	0,720	0,701
Digitales Refraktometer		1	0,826	0,730	0,630
Kolostrometer			1	0,872	0,411
Dichte digital				1	0,349
Trichter					1

* alle Korrelationen signifikant ($P < 0,001$)

Zum Qualitätsvergleich der verschiedenen Messverfahren (Kolostrometer, optisches und digitales Refraktometer, Trichter) sind die ROC-Kurven in einer Abbildung zusammengefasst (Abb. 29). Die sich daraus ergebenden optimalen Grenzwerte sind zusammen mit der AUC in Tabelle 9 angegeben. Die angeführten Sensitivitäten lagen zwischen 68,5% (Kolostrometer) und 81,5% (dig. Refraktometer). Die entsprechenden Spezifitäten lagen zwischen 73,9% (Trichter) und 82,6% (opt. Refraktometer). Die AUC als Qualitätsmaß einer Methode lag für alle untersuchten Messmethoden auf einem ähnlichen Niveau. In der Reihung hatten beide Refraktometer die besten Werte.

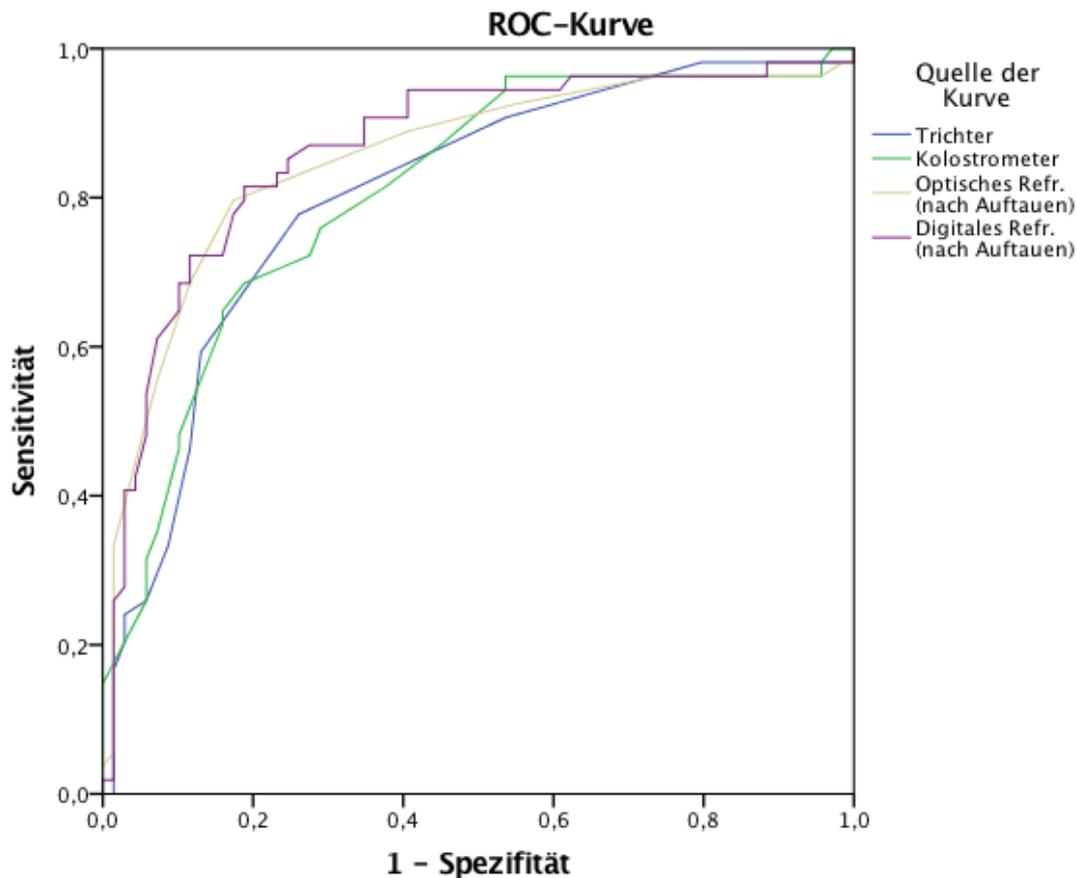


Abbildung 29: ROC-Kurven der verschiedenen Messverfahren zur Unterscheidung von „guten“ (≥ 50 mg/ml IgG) und „schlechten“ (< 50 mg/ml IgG) Kolostrumqualitäten bei Messung mit: Trichter, Kolostrometer, opt. und dig. Refraktometer (Ref.). N = 123

Tabelle 9: Optimaler Grenzwert, Sensitivität, Spezifität und AUC für die verschiedenen Messmethoden. Messung mit: Trichter, Kolostrometer und opt. und dig. Refraktometer. N = 123

Messinstrument	Optimaler Grenzwert	Sensitivität	Spezifität	AUC (ROC-Kurve)
Trichter	23,5 sec	77,8%	73,9%	0,805
Kolostrometer	1,052 g/l	68,5%	81,2%	0,808
Opt. Refraktometer	21,5% Brix	79,6%	82,6%	0,853
Dig. Refraktometer	21,9% Brix	81,5%	81,2%	0,865

Zur Verbesserung der Qualitätsparameter der Trichtermethode wurde im Folgenden eine Auswertung ohne Berücksichtigung der ersten Laktation und nur mit kurzem Abstand Kalbung-Melkung (< 6 h) durchgeführt. Die ROC-Kurven sind zur besseren Vergleichbarkeit in der Abbildung 30 zusammengefasst.

Dabei erhöhte sich der optimale Grenzwert für die Messung mit dem optischen Refraktometer auf 22,5% Brix. Die restlichen Grenzwerte blieben unverändert. Ferner veränderten sich die AUC, sowie die Sensibilität und Spezifität und damit die Qualitätsreihung der untersuchten Methoden. Die Sensitivität lag zwischen 83,7% (Trichter) und 79,1% (dig. Refraktometer). Die Spezifität betrug zwischen 79,2% (Kolostrometer) und 89,6% (dig. Refraktometer). Die AUC lag unter diesen Bedingungen zwischen 0,863 beim Kolostrometer und 0,915 bei beiden Refraktometern (Tab. 10).

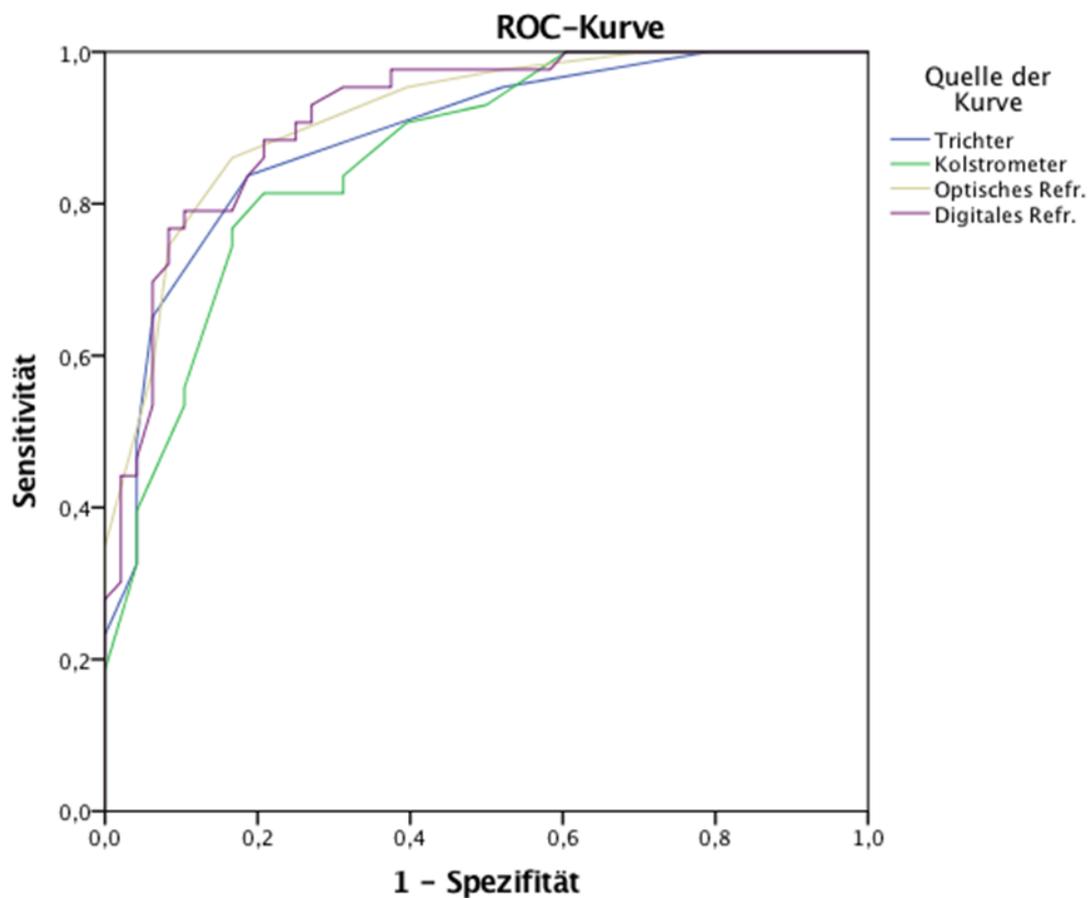


Abbildung 30: ROC-Kurven der verschiedenen Messverfahren zur Unterscheidung von „guten“ (≥ 50 mg/ml IgG) und „schlechten“ (< 50 mg/ml IgG) Kolostrumqualitäten bei Messung mit: Trichter, Kolostrometer, opt. und dig. Refraktometer (Ref.). Ohne Laktation 1, nur kurzer Abstand Kalbung-Melkung (< 6 h). N = 91

Tabelle 10: Optimaler Grenzwert, Sensibilität, Spezifität und AUC für die verschiedenen Messmethoden mit Fokussierung (ohne Laktation 1, nur kurzer Abstand Kalbung-Melkung < 6h). Messung mit: Trichter, Kolostrometer und opt. und dig. Refraktometer. N = 91

Messinstrument	Optimaler Grenzwert	Sensitivität	Spezifität	AUC (ROC-Kurve)
Trichter	23,5 sec	83,7 %	81,2 %	0,888
Kolostrometer	1052,5 g/l	81,4 %	79,2 %	0,863
Opt. Refraktometer	21,5 % Brix	86,0 %	83,3 %	0,915
Dig. Refraktometer	22,5 % Brix	79,1 %	89,6 %	0,915

Die gesamten erhobenen Daten sind in Tabelle 11 + 12 im Anhang zu finden.

4 Diskussion

Neugeborene Kälber müssen wegen fehlendem uterinen Immuntransfers mit Immunglobulinen aus dem Kolostrum geschützt werden (Baumrucker et al., 2010). Die präkolostrale IgG-Serumkonzentration ist sehr gering und liegt bei ca. 1 g/l (Bender, 2004). Für eine intakte Immunabwehr ist jedoch eine Konzentration von > 10 g/l notwendig (Boccardo et al., 2016). Da mit einer körpereigenen Immunantwort frühestens nach 1-2 Wochen zu rechnen ist, kann erst mit der Aufnahme einer Mindestmenge an kolostralen Immunglobulinen mit einem protektiven Serumspiegel im Blut des Kalbes gerechnet werden. Der Gefahr einer Unterversorgung mit resultierendem Immundefizit steht eine unter heutigen Haltungsbedingungen rasche Exposition mit einer großen Menge an Krankheitserregern gegenüber. Ein mangelhafter Immunschutz begünstigt die Entstehung vieler Krankheiten. Eine unzureichende Versorgung mit schützenden Immunglobulinen (FPT) hat einen Anstieg von Morbidität und Mortalität zur Folge (Donovan et al., 1998; Margerison u. Downey, 2005). Die Konzentration der Immunglobuline im Kolostrum und die daraus resultierende Qualität und spielt für einen erfolgreichen Ig-Transfer eine elementare Rolle. Der Immunglobulinspiegel der Kälber wird primär von der Qualität des Kolostrums beeinflusst. Weitere Einflussfaktoren sind der Zeitpunkt der Versorgung und das aufgenommene Kolostrumvolumen (Bartier et al., 2015).

Zur Sicherstellung einer adäquaten Versorgung ist daher eine Qualitätsbestimmung vor Verfütterung des Kolostrums unerlässlich. In der Vergangenheit haben sich dazu bisher zwei Methoden zum Einsatz auf den Betrieben etabliert. Die Refraktometermessung und die Messung mit einem Kolostrumeter sind geeignete Verfahren zur Einschätzung der Kolostrumqualität (Fleenor u. Stott, 1980; Biemann et al., 2010). Die Zerbrechlichkeit des Kolostrumeters und der technische Aufwand der Refraktometermessung sind jedoch Nachteile der genannten Verfahren. In der Praxis hat daher die Qualitätsbestimmung bisher nur eine sehr geringe Verbreitung gefunden.

Es war daher das Ziel der vorliegenden Arbeit, eine neue Trichtermethode zur schnellen und einfachen Qualitätseinstufung von bovinem Kolostrum zu entwickeln und zu validieren, Einflussfaktoren zu erfassen und die Methode mit anderen Messverfahren zu vergleichen. Im Versuch fand dafür ein Präzisionstrichter der Firma Erichsen Verwendung. Es sollte ein Zusammenhang von Viskosität (dünn- oder dickflüssig) und Kolostrumqualität nachgewiesen werden.

4.1 Ausschluss messrelevanter Veränderungen durch die Lagerung oder den Gefriervorgang

In Zusammenhang mit dem Aufbau der Studie war es notwendig, versuchsbedingte Faktoren mit messrelevanter Wirkung zu identifizieren. Es bestand einerseits durch die Lagerung und Erwärmung die Gefahr des Verderbs durch Gerinnung sowie eine durch den Gefriervorgang bedingte Veränderung des Immunglobulingehaltes der Proben.

4.1.1 Ausschluss einer Gerinnung

Eine Gerinnung mit Ausflockung des Caseins würde die Durchlaufzeit durch die 3 mm-Auslaufdüse des Trichters verfälschen oder die Düse verstopfen. Als Parameter für den Ausschluss einer Gerinnung wurde der pH-Wert gewählt. Der pH-Wert von frischem Kolostrum liegt bei ca. 6,3 und steigt mit den folgenden Melkungen auf ca. 6,7 an (Hurley, 1987). Ab einem pH-Wert $\leq 4,7$ muss bei 20°C mit Flocken- und Klumpenbildung gerechnet werden (Kielwein, 1976). Die pH-Werte lagen vor dem Einfrieren zwischen 6,2 und 6,9 ($6,43 \pm 0,15$) und nach

dem Auftauen im 30°C warmen Wasserbad zwischen 5,9 und 6,8 ($6,22 \pm 0,15$). Nach den in der Literatur angegebenen Grenzwerten kann damit bei allen Proben eine Verfälschung der Trichterdurchlaufzeit durch Gerinnung ausgeschlossen werden.

4.1.2 Ausschluss von Veränderungen durch den Gefriervorgang

Im Rahmen der gewählten Methodik wurden die Kolostrumproben im Gefrierschrank bei -18°C konserviert. Um eine mögliche Veränderung des Immunglobulingehaltes durch den Gefrier- und Auftauvorgang erkennbar zu machen, wurde der Ig-Gehalt mit dem optischen und dem digitalen Refraktometer vor dem Gefrieren und nach dem Wiederauftauen gemessen. In der vorliegenden Arbeit liegen die mit dem optischen Refraktometer gemessenen Ergebnisse vor dem Gefrieren bei $21,71 \pm 3,75\%$ Brix und nach dem Auftauen bei $21,57 \pm 3,58\%$ Brix ($r = 0,925$). Die entsprechenden mit dem digitalen Refraktometer gemessenen Werte liegen bei $21,13 \pm 4,33\%$ Brix vor dem Gefrieren und $21,63 \pm 3,84\%$ Brix nach dem Wiederauftauen ($r = 0,887$). Die nach dem Gefrieren gemessenen Veränderungen sind sehr gering und sind teilweise durch Messfehler erklärbar. Es bestätigen sich die Ergebnisse von Holloway et al. (2001), die im Zusammenhang mit der Vorratshaltung von Kolostrum ebenfalls keine Veränderungen des Ig-Gehaltes durch das Einfrieren nachweisen konnten.

Ein Vergleich von optischem und digitalem Refraktometer zeigt eine hohe Korrelation zwischen den mit den beiden Messsystemen ermittelten Ergebnissen mit $r = 0,915$ (vor Gefrieren) und $r = 0,961$ (nach Auftauen). Die Beziehungen sind statistisch signifikant, was mit der von Biemann et al. (2010) gefundenen guten Vergleichbarkeit von optischen und digitalen Refraktometer übereinstimmt.

4.2 Kolostrumqualität

In der Literatur werden verschiedene Faktoren beschrieben, die die Kolostrumqualität beeinflussen. Diskutiert werden unter anderen Laktationszahl, Kolostrummenge, Ausmelken (ja/nein), Stoffwechselsituation, Fütterung, Abstand Kalbung-Melkung, Jahreszeit, Trockenstehdauer, Rasse, Genetik, Stress, Zwillingsfruchtbarkeit, Geburtsverlauf und Mastitis. Allgemein wird die Grenze für gutes Kolostrum bei $\geq 50\text{mg/ml}$ IgG angesetzt (Godden, 2008; Beam et al., 2009; Conneely et al., 2013). Die durchschnittlichen IgG-Gehalte im Kolostrum werden in der Literatur mit 35 mg/ml (Baumrucker et al., 2010) bis 65 mg/ml (Bartier et al., 2015) angegeben. Bei den in der vorliegenden Arbeit untersuchten Proben kann ein durchschnittlicher IgG-Gehalt von 52 mg/ml nachgewiesen werden. Der Anteil schlechter Qualitäten ($< 50\text{ mg/ml}$) liegt bei über 55%, während es dazu in der Literatur sehr unterschiedliche Angaben gibt (Conneely et al., 2013: 4%; Morrill et al., 2012: 30%; Shearer et al., 1992: 93%).

Es besteht eine starke Korrelation zwischen der Kolostrumqualität und der Serum-IgG-Konzentration des Kalbes. Die Kolostrumqualität stellt den größten Einfluss auf die Höhe des Blutspiegels dar (Stott u. Fellah, 1983; Petrie, 1984). Da erst ab einer gewissen Konzentration von IgG im Serum mit einem Schutz der Kälber gerechnet werden kann, muss die Qualitätsbeurteilung von Kolostrum hinsichtlich des hohen Anteiles an minderwertigen Qualitäten unter Praxisbedingungen unbedingt empfohlen werden. Zur Sicherstellung einer adäquaten Immunglobulinversorgung des Kalbes ist daher bei jeder Kalbung das Qualitätskriterium als maßgeblicher Faktor zu berücksichtigen.

4.2.1 Faktoren, die die Kolostrumqualität beeinflussen

4.2.1.1 Laktationsnummer

Der Einfluss der Laktationsnummer wird in der Literatur unterschiedlich gesehen. Conneely et al. (2013) haben keine Korrelation zwischen der Laktationsnummer und der Kolostrumqualität festgestellt. Dobbelaar et al. (1987), Pritchett et al. (1991), Shearer et al. (1992), Svensson et al. (2003), Moore et al. (2005) und Morrill et al. (2012) konnten zunehmende IgG-Gehalte bei steigender Laktationsnummer nachweisen. Bei Gulliksen et al. (2008) und Bartier et al. (2015) stellten die Zweitlaktierenden eine Ausnahme dar. Sie hatten die geringsten IgG-Gehalte und somit schlechtere Kolostrumqualitäten als erstlaktierende Kühe. Dies kann auch in der vorliegenden Arbeit bestätigt werden. Der mittlere IgG-Gehalt von Kühen in der ersten Laktation liegt höher als in der Gruppe der Zweitlaktierenden. Mit zunehmender Laktationsnummer kommt es nach der zweiten Laktation zu einem Anstieg der IgG-Konzentration bis zur fünften Laktation. Es besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Laktationsnummer und der Kolostrumqualität ($P < 0,001$).

4.2.1.2 Abstand Kalbung-Melkung

Moore et al. (2005) postulierten in ihrer Studie die höchsten IgG-Gehalte bei einer frühen Melkung 2 h p.p. und fanden eine Abnahme der Konzentration bei einer Melkung 6, 10 und 14 h p.p. um respektive 17%, 27% und 33%. Auch in der Arbeit von Morin et al. (2010) gab es einen negativen Effekt der Zeitspanne Kalbung-Melkung auf den IgG-Gehalt ($P = 0,001$). Er wies mit Zunahme des Abstandes Kalbung-Melkung eine stündliche Abnahme des IgG-Gehaltes um 3,7 % durch Verdünnung nach. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit entsprechen den Erkenntnissen der genannten Autoren und weisen ebenso einen signifikanten Einfluss des Zeitabstandes Kalbung-Melkung auf den IgG-Gehalt nach ($P = 0,013$). Der Einfluss ist jedoch gering ($r = -0,222$) und das Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,05$ erklärt nur ca. 5 % der Fälle. Der IgG-Gehalt des Kolostrums nimmt mit jeder Stunde um den Faktor 1,7 ab. Die genannten Erkenntnisse sprechen für eine frühe Melkung der Tiere nach der Kalbung. Eine frühe Melkung ist für die Landwirte die einzige Möglichkeit die Kolostrumqualität, wenn auch nur in geringem Umfang, positiv zu beeinflussen. Neben einer frühen Tränkung der Kälber ist dies ein Beitrag zur entsprechenden Versorgung der Tiere mit kolostralen Immunglobulinen.

4.2.1.3 Ermolkene Kolostrummenge

Die Kolostrummenge übt in der Literatur unterschiedlichen Einfluss auf die Kolostrumqualität aus. Nach Ansicht von Baumrucker et al. (2010) und Conneely et al. (2013) gibt es keine Korrelation zwischen der Kolostrummenge und der IgG-Konzentration im Kolostrum. Diese Beobachtungen stehen im Gegensatz zu den Ergebnissen von Pritchett et al. (1991) und Morin et al. (2010). In der Studie von Morin et al. besteht eine signifikante negative Korrelation zwischen der Kolostrummenge und der IgG-Konzentration ($P = 0,004$). Bei Pritchett et al. war unter den untersuchten Variablen die Kolostrummenge der Faktor mit der höchsten Korrelation zur Kolostrumqualität. Die von Morin et al. und Pritchett et al. gefundenen Erkenntnisse können in der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt werden. Es besteht keine signifikante Korrelation zwischen der ermolkene Kolostrummenge und der IgG-Konzentration ($P = 0,209$). Allerdings ist die ermolkene Kolostrummenge nicht mit der Menge an absolut produziertem Kolostrums gleichzusetzen. In der vorliegenden Arbeit wird unter der Kolostrummenge die Menge an Erstgemelk festgelegt, die nach der subjektiven Entscheidung des Landwirtes über den Ausmelkgrad zustande gekommen ist. Eine Vergleichbarkeit der Variablen „Kolostrummenge“ ist daher nicht gegeben. Die Kolostrummenge kann nur unter dem Aspekt einer vollständigen Ausmelkung eine objektive Bedeutung haben.

4.2.1.4 Weitere Einflüsse auf die Kolostrumqualität

Die Einflüsse der weiteren untersuchten Variablen Ausmelken (ja/nein), Abstand Melkung-Messung, pH-Wert sind nicht signifikant und die Irrtumswahrscheinlichkeiten liegen bei $P = 0,511$, $P = 0,634$ und $P = 0,916$. Unter Berücksichtigung der erhobenen Faktoren können die hier genannten Variablen als Einflussfaktoren ausgeschlossen werden.

Aus den hier erhobenen Daten ergeben sich lediglich für die Faktoren „Laktationsnummer“ und „Abstand Kalbung-Melkung“ signifikante Einflüsse auf die Kolostrumqualität. „Kolostrummenge“ und der Faktor „Ausmelken (ja/nein)“ haben keinen Bezug zur Qualität des Kolostrums.

4.3 Kolostrumtrichter

Die Viskosität von bovinem Kolostrum als Indikator für den Gehalt an wertbestimmenden Immunglobulinen wird sowohl in tierärztlichen als auch in landwirtschaftlichen Kreisen immer wieder diskutiert und teilweise als Faktum angenommen. In Zusammenhang mit der Viskositätsbeurteilung von Kolostrum sind in der Literatur sehr subjektive Beurteilungskriterien wie „dünn-wässrig“, „honigartig“, „serumartig“ oder „eingedickt“ zu finden (Hallberg et al., 1995).

In der Industrie und im technischen Handwerk finden sogenannte Auslaufbecher zur präzisen Messung der Viskosität Verwendung. Diese werden je nach Verwendungszweck in verschiedenen Dimensionen angeboten. In der vorliegenden Arbeit sollte ein Auslaufbecher (Viskositätstrichter) aus der Lackindustrie Verwendung finden.

Maunsell et al. (1999) suchten nach einem Zusammenhang von Viskosität und IgG-Konzentration und fanden, dass dickflüssiges und dünnflüssiges Kolostrum höhere IgG-Gehalte aufweist als Kolostrum mit mittlerer Viskosität. Es war daher in seiner Arbeit nicht möglich, die Viskosität als Kriterium zur Beurteilung der Kolostrumqualität zu nutzen. Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit.

4.3.1 Auswahl des Kolostrumtrichters

In der vorliegenden Arbeit kam der Auslaufbecher Modell 243/1 (Düsen- \emptyset 3mm) der Firma Erichsen zur Anwendung. Das Instrument besteht aus Phenolharz, hat ein Flüssigkeitsvolumen von 100 cm^3 und eine Präzisionsdurchlaufdüse aus Edelstahl mit 3 mm Durchmesser. Die gemessene Variable ist die Zeit (sec.) von Beginn des Durchlaufes bis zum Abriss des Flüssigkeitsstrahles.

4.3.2 Messung mit dem Kolostrumtrichter

4.3.2.1 Bedeutung des IgG-Gehaltes für die Trichterdurchlaufzeit

Bei einer Gegenüberstellung des IgG-Gehaltes und der Trichterdurchlaufzeit im Punktediagramm fällt eine große Streuung der Ergebnisse auf. Es besteht jedoch ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem IgG-Gehalt und der Trichterdurchlaufzeit ($P < 0,01$; $r = 0,422$).

4.3.2.2 Weitere Einflüsse auf die Trichtermessung

Die weiteren Einflüsse auf die Trichterdurchlaufzeit sind mit den Einflüssen auf den IgG-Gehalt identisch. Ebenso wie beim IgG-Gehalt gibt es einen signifikanten Einfluss der Laktationsnummer ($P < 0,001$) und des Abstandes Kalbung-Melkung ($P = 0,007$; $r = 0,24$). Der Zusammenhang des Faktors Abstand Kalbung-Melkung und

der Trichterdurchlaufzeit ist jedoch mit einem Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,059$ sehr gering und erklärt nur 5,9% der Ergebnisse. Die Faktoren Ausmelken (ja/nein) ($P = 0,107$), Abstand Melkung-Messung ($P = 0,371$; $r = -0,081$), pH-Wert ($P = 0,089$; $r = 0,154$) und ermolkene Kolostrummenge ($P = 0,171$; $r = -0,124$) haben keinen Bezug zur Trichterdurchlaufzeit.

Dies spiegelt auch die Einflüsse auf den mittels RID gemessenen IgG-Gehalt. Alle Faktoren, die den IgG-Gehalt verändern, verändern auch die Trichterdurchlaufzeit.

4.3.2.3 Die Qualitätseinstufung von Kolostrum mit dem Kolostrumtrichter

Ziel der Arbeit war nicht eine exakte Quantifizierung des IgG-Gehaltes mit der neuen Methode zu erreichen, sondern eine einfache Möglichkeit zur Unterscheidung von guten und schlechten Kolostrumqualitäten zu entwickeln. Dazu war es notwendig den für die Trichterdurchlaufzeit optimalen Grenzwert mit der besten Kombination von Sensitivität und Spezifität zu bestimmen. In einer Berechnung mit Erstellung einer ROC-Kurve wurde ein optimaler Grenzwert von 23,5 Sekunden bei einer Sensitivität bzw. Spezifität von 77,8% bzw. 73,9% ermittelt. Die Fläche unterhalb der ROC-Kurve (AUC) ist ein Maß für die Qualität eines Klassifikators und liegt für den genannten Grenzwert bei 0,805 (Wertebereich zwischen 0 und 1).

In einer weiteren Berechnung wurde die erste Laktation ausgeschlossen und darauf wiederum ein optimaler Cut-Off-Punkt bei 23,5 Sekunden festgelegt. Unter diesen Bedingungen verbessert sich die AUC auf einen Wert von 0,864. Sensitivität bzw. Spezifität liegen bei 77,1% bzw. 84,5%. Das bedeutet für die Anwendung, dass mit der Trichtermethode bei allen Laktationsgruppen eine Einteilung in „gutes“ und „schlechtes“ Kolostrum möglich ist, die Spezifität bei Tieren ab der zweiten Laktation aber höher ist als bei den Erstlaktierenden. Die geringere Spezifität der Methode bei der Beurteilung der Kolostrumqualität von Erstlaktierenden bedeutet einen höheren Anteil an falsch positiv beurteilten Ergebnissen in dieser Gruppe. Eine Ursache dafür konnte nicht gefunden werden. Unterschiede in der Kolostrumzusammensetzung müssten dazu Grundlage weiterer Untersuchungen sein.

Durch eine Umkodierung der Variablen „Abstand Kalbung-Melkung“ in zwei Klassen (kurz = < 6 h, lang = ≥ 6 h) wurde der Einfluss dieses Faktors differenziert beurteilt. Die Qualitätseinstufung der zwei Gruppen unterscheiden sich sehr wesentlich in Sensitivität und Spezifität. Sensitivität und Spezifität liegen in der Gruppe „kurz“ bei 83,7% bzw. 70,7% und in der Gruppe „lang“ bei 20% bzw. 90,9%. Das zeigt sich auch in der Auswertung der ROC-Kurve. Die AUC liegt für die Gruppe „kurz“ bei 0,827 und für die Gruppe „lang“ bei 0,618. Für die Anwendung der Methode in der Praxis bedeutet das eine Einschränkung. Die Kolostrumtrichtermethode zur Unterscheidung von guter und schlechter Kolostrumqualität eignet sich demnach gut bei einer Melkung bis zu 6 Stunden nach der Kalbung und verliert bei längeren Abständen wegen abnehmender Sensitivität an Aussagekraft. Die Erklärung dafür ist die Abnahme der Qualität und Viskosität bei zunehmendem Zeitabstand bedingt durch die Verdünnung des Kolostrums durch die neu gebildete Milch. Dies führt zu einem schnelleren Durchlauf durch den Trichter und zu einer Verkürzung der Trichterdurchlaufzeit. Untersuchungen mit kleinerem Trichterauslaufdurchmesser oder größerer Dimensionierung des Trichters mit größerem Vorratsvolumen könnten hier weiteren Aufschluss geben.

4.4 Vergleich der verschiedenen Messsysteme

Zur Bestimmung der Kolostrumqualität haben sich verschiedene Messsysteme etabliert. Es gibt einerseits einfache Geräte für den Einsatz auf den landwirtschaftlichen Betrieben und andererseits aufwendige Analysemethoden für die Anwendung in einem Labor. Einfache Methoden bieten eine semiquantitative indirekte Schätzung des Immunglobulingehaltes, Labormethoden wie RID oder ELISA ermöglichen eine direkte Messung des

Immunglobulingehaltes mit exakten Ergebnissen. Die mittels RID gemessenen Werte werden auch, so wie in der vorliegenden Arbeit, als Referenzwerte (Goldstandard) genutzt. Die Ansprüche an das einfache System sind Robustheit, Einfachheit und Kostengünstigkeit, während Laborsysteme genaue Werte liefern, die mit entsprechendem Aufwand und Kosten verbunden sind.

4.4.1 pH-Wert

In dem in der vorliegenden Studie festgestellten pH-Wert-Bereich von 5,7 bis 6,9 besteht keine signifikante Korrelation zwischen dem pH-Wert und den mittels der verschiedenen angewandten Methoden festgestellten Messwerten ($P > 0,1$). Der pH-Wert kann nicht zur Schätzung der IgG-Konzentration im Kolostrum genutzt werden.

4.4.2 Optisches und digitales Refraktometer

Mit einem Refraktometer wird über die Messung der Lichtbrechung auf die Konzentration von in Flüssigkeit gelösten Stoffen geschlossen. Aufgrund der Korrelation der Refraktometermessung mit dem IgG-Gehalt kann das Refraktometer zur Schätzung des IgG-Gehaltes von Kolostrum genutzt werden. Quigley et al. (2013) fanden eine hohe Korrelation zwischen den mit einem Refraktometer gemessenen %-Brix und den Ergebnissen der RID ($r = 0,75$). Auch Biemann et al. (2010) fanden hohe Korrelationen der Refraktometerergebnisse mit dem Goldstandard (RID). Die Korrelation betrug beim optischen Refraktometer $r = 0,71$ und beim digitalen Refraktometer $r = 0,74$. In der vorliegenden Arbeit lagen die Korrelationen der Refraktometerergebnisse mit dem IgG-Gehalt mit $r = 0,596$ (opt.) und $r = 0,592$ (dig) auf einem niedrigeren Niveau. Die Autoren setzten für optischen und digitalen Refraktometer den optimalen Grenzwert für das Auffinden guter Kolostrumqualitäten bei 22 % Brix bei hoher Sensitivität bzw. Spezifität (optisch: 90,5% bzw. 85%, digital: 92,5% bzw. 80,0%). Auch Chigerwe (2008) differenzierte mit einem digitalen Refraktometer gutes von schlechtem Kolostrum mit einem Grenzwert von 22 % Brix bei einer Sensitivität von 75% und einer Spezifität von 78%. Die Ergebnisse stimmen mit den Erkenntnissen der vorliegenden Arbeit überein. Der Grenzwert für die Refraktometermessung liegt für das optische Refraktometer bei 21,5 % Brix (Sensitivität: 79,6%; Spezifität: 82,6%) und für das digitale Refraktometer bei 21,9% Brix (Sensitivität: 81,5%; Spezifität: 81,2%). Die hohen Sensitivitäten in der Studie von Biemann et al. (2010) können somit nicht bestätigt werden.

In einer Studie von Morill et al. (2015) werden rassenspezifische Grenzwerte empfohlen. Zur Beurteilung des Kolostrums von HF-Kühen wird ein Grenzwert von 21% Brix und zur Einschätzung des Kolostrums von Jerseykühen ein Grenzwert von 18% Brix genannt.

In der vorliegenden Studie wurde das Kolostrum von Fleckviehkühen in die Untersuchung einbezogen. Weitere Untersuchungen zu diesem Thema beim Fleckvieh sind nicht bekannt.

Werden die erste Laktation und die Probanden mit langem Abstand Kalbung-Melkung von der Berechnung ausgeschlossen, so verschiebt sich der Grenzwert beim optischen Refraktometer auf 22,5% Brix. Die Ursache dafür ist nicht bekannt.

Bei einem Vergleich der Refraktometermessung mit der Trichtermethode wurde die AUC aus der berechneten ROC Kurve als Qualitätsparameter verwendet. Die AUC für Messungen mit dem Refraktometer liegt bei 0,853 (opt) bzw. bei 0,865 (dig) und für die Trichtermessungen bei 0,805. Gemessen an der AUC, der Sensitivität und der Spezifität zeigt sich gegenüber der Trichtermethode eine geringe Überlegenheit der Refraktometermessung (opt + dig).

Es bestehen signifikante Korrelationen der Messergebnisse von optischem und digitalem Refraktometer mit den Ergebnissen der Trichtermethode (opt.Refraktometer: $r = 0,701$; $P < 0,001$, dig. Refraktometer: $r = 0,63$; $P < 0,001$).

Der Vergleich zeigt, dass die Trichtermethode gegenüber der Refraktometermessung ein geeignetes und vergleichbares Messverfahren darstellt. Für den Einsatz in der Praxis ist der Trichter im Vergleich zu optischem und digitalem Refraktometer kostengünstiger, wesentlich einfacher in der Handhabung und robuster. Der Nachteil des Kolostrumtrichters gegenüber dem Refraktometer ist die Temperaturabhängigkeit und die etwas geringere AUC.

4.4.3 Kolostrometer

Das Kolostrometer misst die Dichte bzw. das spezifische Gewicht von Flüssigkeiten. Trotz einer relativ geringen Korrelation des spezifischen Gewichts mit der IgG-Konzentration von $r = 0,53$ (Morin et al. 2001) gibt es eine lineare Beziehung des spezifischen Gewichtes mit der IgG-Konzentration ($p < 0,01$), da die Globuline den Hauptfaktor für die Schwankungen des spezifischen Gewichts darstellen (Fleenor u. Stott, 1980). In der vorliegenden Arbeit liegt die Korrelation von IgG und Kolostrometermessung bei $r = 0,56$ ($P < 0,001$). Das Ergebnis stimmt mit den Erkenntnissen von Fleenor u. Stott überein.

Bei Versuchen zur Qualitätseinstufung mit zwei Kolostrometern wurde eine Sensitivität von 75% bzw. 78% und eine Spezifität von 78% bzw. 66% gefunden (Chigerwe et al., 2008b). In der vorliegenden Arbeit wird im Vergleich dazu eine niedrigere Sensitivität (68,5 %) und eine höhere Spezifität (81,2 %) nachgewiesen.

Ein Vergleich der Kolostrometermessung mit der Trichtermethode zeigt eine höhere Sensitivität (78,8%) und eine niedrigere Spezifität (73,9%) der Trichtermethode. Das Qualitätsmerkmal AUC liegt für die Messung mit dem Kolostrometer bei 0,808 und für die Trichtermethode bei 0,805.

Bei einer Fokussierung auf kurzen Abstand Kalbung-Melkung ($< 6h$) und auf Kühe ab der zweiten Laktation verändern sich sowohl die AUC als auch Sensitivität und Spezifität. Es kommt bei beiden Methoden zu einer Zunahme der Sensitivität und der AUC. Die Spezifität nimmt bei der Trichtermethode (81,2%) zu und bei der Kolostrometermessung (79,2%) ab. Die AUC liegt unter diesen Bedingungen für die Trichtermethode auf einem etwas höheren Niveau (Trichter: 0,88; Kolostrometer: 0,86).

Im Vergleich zur Kolostrometermessung zeigt sich, dass die Qualitätseinstufung mit dem Kolostrumtrichter eine geeignete und gleichwertige Methode darstellt. Bei einer Begrenzung auf kurzen Abstand Kalbung-Melkung ($< 6h$) und Ausschluss der ersten Laktation hat der Kolostrumtrichter gegenüber dem Kolostrometer eine leicht größere AUC mit erhöhter Sensitivität und Spezifität. Die Qualität beider Methoden nimmt unter diesen Bedingungen zu.

Der Vorteil des Kolostrumtrichters gegenüber dem Kolostrometer beim Einsatz in der Praxis liegt in der weniger leichten Zerbrechlichkeit und der leichteren Handhabbarkeit. Der Nachteil beider Systeme ist die Temperaturabhängigkeit.

Ein Vergleich der Ergebnisse der Kolostrometermessung mit den Ergebnissen der übrigen Messmethoden zeigt hohe Korrelationen von $r > 0,6$ mit den Ergebnissen von optischem und digitalem Refraktometer sowie digitaler Dichtemessung ($P < 0,001$). Die Korrelation von Kolostrometer und Trichter liegen bei $r = 0,43$ ($P = 0,001$). Es bestehen somit statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen den Messergebnissen aller untersuchten Methoden.

4.4.4 Digitale Dichtemessung

In der vorliegenden Arbeit wurde zusätzlich zur Dichtebestimmung mit einem Kolostrumeter die Dichte mit einem digitalen Dichtemessgerät gemessen. Die Korrelation der digitalen Dichtemessung mit den IgG-Gehalten liegt bei $r = 0,52$ ($P < 0,001$).

Ein signifikanter Zusammenhang der digitalen Dichtemessung mit allen anderen untersuchten Messmethoden ($P < 0,001$) und die hohe Korrelation mit den Messergebnissen von Refraktometer (opt: $r = 0,72$; dig: $r = 0,73$) und Kolostrumeter ($r = 0,87$) zeigen eine mögliche Eignung dieser Methode zur Qualitätsbestimmung von Kolostrum. In der Literatur gibt es jedoch keinen Nachweis für den Einsatz der digitalen Dichtemessung als Messverfahren zur Qualitätseinstufung von Kolostrum. Bei einem Einsatz in der Praxis wäre der Nachteil gegenüber der Trichtermethode der wesentlich größere materielle Aufwand und die Empfindlichkeit und Zerbrechlichkeit des Gerätes.

4.5 Schlussfolgerungen

Die Beurteilung der Kolostrumqualität ist neben der Beachtung der Menge und des Zeitpunktes der Verabreichung vor allem in Problembetrieben eine absolute Notwendigkeit. Neben den bisher vorhandenen Messmethoden ermöglicht der in der vorliegenden Untersuchung geprüfte „Kolostrumtrichter“ ein gut vergleichbares, geeignetes und teilweise überlegenes neues Schätzverfahren zur Qualitätseinstufung von Kolostrum. Die Vorteile liegen in der Robustheit des Präzisionstrichters, der einfachen Durchführung der Messung und im Preis. Der Nachteil gegenüber der Messung mit einem Refraktometer ist die Temperaturabhängigkeit des Verfahrens. Die Methode ist auf eine Proben temperatur von 30°C validiert. Dies entspricht etwa der Temperatur von frisch ermolkenem Kolostrum nach einer kurzfristigen leichten Abkühlung im Melkeimer. Die besten Ergebnisse werden bei früh ermolkenem Kolostrum mit einem Zeitabstand von unter 6 Stunden zwischen Kalbung und Melkung erreicht. Durch die unterschiedliche Zusammensetzung des Kolostrums Erstlaktierender mit hohen Schwankungen im IgG-Gehalt muss bei dieser Tiergruppe mit einem höheren Anteil falsch positiver Messergebnisse gerechnet werden. Eine Verbesserung der Methode durch Vergrößerung des Kolostrumtrichters oder Verkleinerung der Auslaufdüse könnte möglicherweise, besonders im Zusammenhang mit der Untersuchung von spät ermolkenem Kolostrum ($\geq 6\text{h}$) oder dem Kolostrum erstlaktierender Kühe, erreicht werden. Dazu sind weitere Untersuchungen notwendig.

Der in der Studie festgestellte und mit der Literatur übereinstimmende hohe Anteil an schlechten Kolostrumqualitäten ist durch die untersuchten Einflussfaktoren nicht erklärbar und sollte wissenschaftlich weiter untersucht werden. Die in der Literatur teilweise angedeuteten und in der Praxis oft vermuteten Einflüsse von Gesundheitsstatus und Fitness der Kühe, Zwillingsträchtigkeit und Stress bieten insbesondere in Zusammenhang mit der Schlüsselfunktion des IgG-Fc-Rezeptors interessante Ansatzpunkte.

5 Zusammenfassung

Eine ausreichende und zeitgerechte Versorgung neugeborener Kälber mit Kolostrum und damit mit Immunglobulinen ist die wichtigste prophylaktische Maßnahme zum Schutz vor Infektionskrankheiten in den ersten Lebenswochen und weit darüber hinaus.

Für eine ausreichende Versorgung mit Immunglobulinen ist die Qualität des Kolostrums von besonderer Bedeutung. In der vorliegenden Studie wird ein neues, vom Autor entwickeltes, besonders praxistaugliches Verfahren zur Beurteilung der Kolostrumqualität unter Verwendung eines Präzisionstrichters validiert und mit anderen verfügbaren Messmethoden verglichen.

In der Zeit von März bis Mai 2015 wurden im Praxisgebiet der „Tierärzte Vöcklamarkt“ in Oberösterreich 124 Erstkolostrumproben von Fleckviehkühen gesammelt und folgende Daten erhoben: 1. Laktationsnummer, 2. Abstand Kalbung-Melkung, 3. Ausmelken (ja/nein), 4. ermolkenes Kolostrumvolumen, 5. Abstand Melkung-Messung. Nach der Messung des pH-Wertes und der Messung des IgG-Gehaltes mit einem optischen und einem digitalen Refraktometer wurden die Proben bei -18°C tiefgefroren. Der IgG-Gehalt wurde im Labor des Instituts für Milchhygiene der Veterinärmedizinischen Universität Wien mittels RID (Goldstandard) bestimmt. Im Labor des LKV-Oberösterreich in Ried wurden folgende Messungen durchgeführt: pH-Wertmessung, digitale Dichtemessung, Refraktometermessung (digital und optisch), Kolostrometermessung und Messung mit dem Präzisionstrichter. Es wurde der Präzisionstrichter Modell 243/I (Düsendurchmesser 3 mm) der Firma Erichsen, D-58675 Hemer, verwendet. Im Versuchsablauf wurde der Präzisionstrichter in das vorgewärmte Kolostrum (30°C) vollständig eingetaucht und die Zeit vom Herausziehen des Trichters bis zum vollständigen Durchlauf von 100 ml Kolostrum im Augenblick des Abrisses des Flüssigkeitsstrahles gemessen.

Zum Ausschluss messrelevanter Veränderungen hinsichtlich der Ergebnisse der Trichtermessung musste eine mögliche Gerinnung des Kolostrums erkannt werden. Als Indikator wurde der pH-Wert gewählt. Auf Grund der gemessenen Werte von $\text{pH} \geq 5,9$ konnte eine Gerinnung des Kolostrums durch die Lagerung im Wasserbad (30°C) ausgeschlossen werden. Eine weitere Nutzung des pH-Wertes zur Schätzung der Kolostrumqualität war wegen fehlender Korrelation mit dem Immunglobulingehalt nicht möglich ($r = 0,059$; $P = 0,516$).

Veränderungen des IgG-Gehaltes durch das Einfrieren und Auftauen sollten durch Messungen mit dem optischen und digitalen Refraktometer vor und nach dem Gefrieren ausgeschlossen werden. Die Veränderungen betragen höchstens 2 % und können durch die Variation der Messergebnisse erklärt werden. Es bestehen signifikante Korrelationen der Messergebnisse vor dem Einfrieren und nach dem Wiederauftauen (opt: $r = 0,925$; dig: $r = 0,887$; $P < 0,001$).

Aufgabe der Studie war es festzustellen, ob mittels Präzisionstrichterverfahren „gute“ und „schlechte“ Kolostrumqualitäten voneinander unterschieden werden können. Der Anteil schlechter Kolostrumqualitäten ($< 50\text{mg/ml IgG}$) liegt in der vorliegenden Arbeit bei über 55%. Mittels Berechnung einer ROC-Kurve wurde für die Trichterdurchlaufzeit ein Grenzwert von 23,5 sec ermittelt. Ab einer Trichterdurchlaufzeit von 24 sec kann von einer guten Kolostrumqualität ($\geq 50\text{ mg/ml IgG}$) ausgegangen werden. Es besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem IgG-Gehalt des Kolostrums und der Trichterdurchlaufzeit ($r = 0,422$; $P < 0,001$). Die Sensitivität und die Spezifität der neuen Methode liegen bei 77,8% bzw. 73,9% und die AUC liegt bei 0,805. Besonderheiten und starke Schwankungen in der Zusammensetzung des Kolostrums von erstlaktierenden Kühen bedingen eine Verbesserung der Qualität der neuen Methode bei Messungen ab der zweiten Laktation. Sensitivität und Spezifität liegen unter diesen Bedingungen bei 77,1% bzw. 84,5% und die AUC vergrößert sich auf 0,864. Bei einer Zunahme des Abstandes Kalbung-Melkung ($\geq 6\text{h}$) kommt es zu einer Verdünnung des

Kolostrums und zu einer Abnahme der Sensitivität der Trichtermessung auf 20%. Aus diesem Grund ergibt sich für Messungen ab der zweiten Laktation und einem kurzen Abstand Kalbung-Melkung eine vergrößerte AUC von 0,888 mit einer Sensitivität und einer Spezifität von 83,7% bzw. 81,2%.

Die Laktationsnummer hat signifikanten Einfluss auf den IgG-Gehalt ($P < 0,001$) und auf die Trichterdurchlaufzeit ($P < 0,001$). Ebenso gibt es einen signifikanten Zusammenhang zwischen IgG-Gehalt und dem Abstand Kalbung-Melkung ($P = 0,013$) sowie zwischen der Trichterdurchlaufzeit und dem Abstand Kalbung-Melkung ($P < 0,001$). Die Faktoren „ermolkene Kolostrummenge“ und „Ausmelken (ja/nein)“ haben weder Einfluss auf die Kolostrumqualität noch auf die Trichterdurchlaufzeit ($P > 0,09$).

Ein Vergleich der verschiedenen Messmethoden mit der neuen Trichtermethode zeigt eine signifikante Korrelation der Messergebnisse ($r > 0,6$, $P < 0,001$). Die aufgrund der AUC durchgeführte Qualitätsreihung ergibt für die optische und die digitale Refraktometermessung eine AUC von 0,85 bzw. 0,86, für die Messungen mit dem Kolostrumtrichter und dem Refraktometer je eine AUC von 0,8.

Der in dieser Studie validierte Präzisionstrichter (Kolostrumtrichter) eignet sich zur Qualitätseinstufung von frisch gewonnenem bovinen Kolostrum. Die neue Methode ist mit der Refraktometer- und Kolostrometermessung vergleichbar. Die Vorteile sind die Robustheit des Präzisionstrichters, der Preis und die einfache Durchführung. Von Nachteil ist, wie bei der Kolostrometermessung, die Temperaturabhängigkeit der Methode.

Weitere Untersuchungen mit verschiedenen Trichterdimensionen werden empfohlen.

6 Summary

A sufficient and timely supply of neonatal calves with colostrum and therefore with immunoglobulins is essential to the proper development of a cow. It's the most important prophylactic action in order to protect calves from infectious diseases during the first weeks of their life and beyond.

In order to guarantee sufficient supply with immunoglobulins, the quality of colostrum is of particular importance. A new, by the author developed and highly practical procedure to evaluate colostrum's quality with a precision funnel is validated in this study. Furthermore this procedure is being compared with other available measurement methods.

This includes a comparison between this procedure and other available measurement methods.

The study was conducted in the time from March to May 2015 in the Upper Austrian practice area of "Tierärzte Vöcklamarkt". 124 primary colostrum samples of simmental cows have been collected. Following data was documented: 1. Lactation number, 2. Time lag calving - milking, 3. Milk-out (yes/no), 4. Milked volume of colostrum, 5. Time lag milking- measurement. All samples were frozen at -18°C after measuring pH value and IgG concentration with an optical and a digital refractometer. The IgG concentration was established with RID (gold standard) in the laboratory of the Institute of Milk Hygiene at University of Veterinary Medicine, Vienna. The following measurements were conducted at the laboratory of LKV Upper Austria in Ried: pH value measurement, digital density measurement, refractometer measurement (digital and optical), colostrum measurement and measurement with a precision funnel. The precision funnel model 243/I (nozzle diameter 3 mm) by Erichsen D-58675 Hemer was used. In the test procedure the precision funnel was completely immersed in the preheated colostrum (30°C). The time it took for 100 ml to drain from the funnel was measured. Starting from when the funnel was pulled out the moment the stream cut off.

In order to exclude measure relevant changes in terms of the funnel measurement's results a possible coagulation had to be identified. pH value was the chosen indicator. A water bath storage (30°C) could be excluded because of the measured values of $\text{pH} \geq 5.9$. Further exploitation of pH value in order to estimate the quality of colostrum is not possible due to missing correlation with immunoglobulin content.

Changes of the IgG content caused by freezing and thawing should be eliminated through measurements with the optical and digital refractometer before and after freezing. The changes amounted to a maximum of 2% and can be accounted for by the variations of measuring results. Significant correlations between these results do exist before freezing and after thawing (opt: $r = 0,925$; dig: $r = 0,887$; $P < 0,001$).

The purpose of the study was to identify, whether it is possible to distinguish "good" and "bad" colostrum quality with the precision funnel procedure. The percentage of bad colostrum quality ($< 50\text{mg/ml}$ IgG) amounts over 55% in this thesis. The limit value of 23.5 sec for the funnel throughput time was identified with the aid of a ROC curve calculation. A good colostrum quality ($\geq 50\text{ mg/ml}$ IgG) begins at 24 sec funnel throughput time. There is a significant correlation between colostrum's IgG content and funnel throughput time ($r = 0,422$; $P < 0,001$). The new method's sensitivity scores 77.8%, specificity 73.9% and AUC 0.805. Characteristics and strong fluctuation within colostrum's composition from cows in first lactation require a quality enhancement of the new method at measurements beginning at the second lactation. Under these conditions sensitivity scores 77.1%, specificity 84.5% and AUC increases by 0.864. An increase of the time lag calving – milking ($\geq 6\text{h}$) causes a dilution of colostrum and sensitivity reduction by 20% of the funnel measurement. Therefore an increased AUC by 0.888 with a sensitivity score of 83.7% and a specificity score of 81.2% is the result of measurements beginning at the second lactation and a short time lag calving – milking.

The lactation number significantly influences the IgG content ($P < 0.001$) and the funnel throughput time ($P < 0.001$). Furthermore there is a significant correlation between IgG content and time lag calving – milking ($P = 0.013$), as well as between funnel throughput time and time lag calving – milking ($P < 0.001$). Factors “Milked volume of colostrum” and “Milk-out (yes/no)” do neither influence the quality of colostrum nor funnel throughput time ($P > 0.09$).

A comparison of different measuring methods with the new funnel method shows a significant correlation between the measuring methods ($r > 0.6$, $P < 0.001$). The conducted quality sequence due to AUC results an AUC of 0.85 for the optical refractometer measurement and an AUC of 0.86 for the digital refractometer measurement. Measurements with the colostrum funnel and the refractometer result an AUC of 0.8.

The precision funnel (colostrum funnel), validated in this study, is suitable for quality classification of freshly won bovine colostrum. This new method can be compared with the refractometer measurement and the colostrometer measurement. Advantages are the precision funnel’s robustness, the price and the simple conduct. As it is the case at the colostrometer measurement, the temperature dependence is a disadvantage.

Further studies with different funnel diameters are recommended.

7 Literaturverzeichnis

Adams, R.(1993):

Physiologic differences between twin and single born beef calves in the first two days of life.

Cornell Vet,
83(1), 13-29.

Adams, G.D., Bush, L.J., Horner, J.L. und Staley, T.E.(1985):

2 methods for administering colostrum to newborn calves

Journal of Dairy Science,
68(3), 773-775.

Annen, E.L., Collier, R.J., McGuire, M.A., Vicini, J.L., Ballam, J.M. und Lormore, M.J.(2004):

Effect of modified dry period lengths and bovine somatotropin on yield and composition of milk from dairy cows

Journal of Dairy Science,
87(11), 3746-3761.

Awadeh F.T., Kincaid R.L., Johnson K.A. (1998):

Effect of level and source of dietary selenium on concentrations of thyroid hormones and immunoglobulins in beef cows and calves.

J. Anim. Sci., 76, 1204–1215.

Balthazar, E., Doligez, E., Leray, O. und Le Cozler, Y.(2015):

A comparison of thawing methods on igg1 concentration in colostrum of dairy cows

Revue De Medecine Veterinaire,
166(11-12), 341-344.

Barrington, G.M., McFadden, T.B., Huylar, M.T. und Besser, T.E. (2001):

Regulation of colostrumogenesis in cattle

Livestock Production Science,
70(1-2), 95-104.

Barrington, G.M. und Parish, S.M. (2001):

Bovine neonatal immunology

Vet Clin North Am Food Anim Pract,
17(3), 463-476.

Bartier, A.L., Windeyer, M.C. und Doepel, L. (2015):
Evaluation of on-farm tools for colostrum quality measurement
Journal of Dairy Science,
98(3), 1878-1884.

Baumrucker, C.R., Burkett, A.M., Magliaro-Macrina, A.L. und Dechow, C.D. (2010):
Colostrogenesis: Mass transfer of immunoglobulin g1 into colostrum
Journal of Dairy Science,
93(7), 3031-3038.

Beam, A.L., Lombard, J.E., Koprak, C.A., Garber, L.P., Winter, A.L., Hicks, J.A. und Schlater, J.L. (2009):
Prevalence of failure of passive transfer of immunity in newborn heifer calves and associated management practices on us dairy operations
Journal of Dairy Science,
92(8), 3973-3980.

Bender, P. (2004):
Bestimmung von Immunglobulin G und Immunglobulin M im Serum neugeborener Kälber während der ersten zehn Lebenstage unter besonderer Berücksichtigung der Darmgesundheit der Probanden sowie im Kolostrum derer Mütter mittels zweier neuartiger Elisas.
Inaugural-Dissertation; Justus-Liebig-Universität Gießen

Besser, T.E., Garmedia, A.E., McGuire, T.C. und Gay, C.C.(1985):
Effect of colostrum immunoglobulin g1 and immunoglobulin m concentrations on immunoglobulin absorption in calves
Journal of Dairy Science,
68(8), 2033-2037.

Besser, T.E. und Gay, C.C.(1985):
Septicemic colibacillosis and failure of passive transfer of colostrum immunoglobulin in calves
Vet Clin North Am Food Anim Pract,
1(3), 445-459.

Besser, T.E. und Gay, C.C.(1994):
The importance of colostrum to the health of the neonatal calf
Veterinary Clinics of North America-Food Animal Practice,
10(1), 107-117.

Besser, T.E., Gay, C.C. und Pritchett, L.(1991):
Comparison of three methods of feeding colostrum to dairy calves
J Am Vet Med Assoc,
198(3), 419-422.

Besser, T.E., McGuire, T.C., Gay, C.C. und Pritchett, L.C.(1988):
Transfer of functional immunoglobulin-g (igg) antibody into the gastrointestinal-tract accounts for igg clearance in calves
Journal of Virology,
62(7), 2234-2237.

Bielmann, V., Gillan, J., Perkins, N.R., Skidmore, A.L., Godden, S. und Leslie, K.E.(2010):
An evaluation of brix refractometry instruments for measurement of colostrum quality in dairy cattle
Journal of Dairy Science,
93(8), 3713-3721.

Blom, J.Y.(1982):
The relationship between serum immunoglobulin values and incidence of respiratory disease and enteritis in calves
Nord Vet Med,
34(7-9), 276-284.

Blum, J.W.(2006):
Nutritional physiology of neonatal calves
J Anim Physiol Anim Nutr (Berl),
90(1-2), 1-11.

Boccardo, A., Belloli, A., Biffani, S., Locatelli, V., Dall'Ara, P., Filipe, J., Restelli, I., Proverbio, D. und Pravettoni, D.(2016):
Intravenous immunoglobulin transfusion in colostrum-deprived dairy calves
Veterinary Journal,
209(93-97).

Bouda, J., Jagos, P., Klimes, J., Minksova, E. und Jonakova, V.(1987):
Trypsin inhibitor activity in the colostrum of cows
Vet Med (Praha),
32(3), 135-144.

Boyd, J.W. und Boyd, A.J.(1987):
Computer model of the absorption and distribution of colostrum immunoglobulins in the newborn calf
Res Vet Sci,
43(3), 291-296.

Brandon, M.R. und Lascelles, A.K.(1971):
Relative efficiency of absorption of igg 1 , igg 2 , iga and igm in the newborn calf
Aust J Exp Biol Med Sci,
49(6), 629-633.

- Brandon, M.R. und Lascelles, A.K.(1975):
The effect of pre-partum milking on the transfer of immunoglobulin into mammary secretion of cows
Aust J Exp Biol Med Sci,
53(3), 197-204.
- Bush, L.J. und Staley, T.E.(1980):
Absorption of colostrum immunoglobulins in newborn calves
Journal of Dairy Science,
63(4), 672-680.
- Butler, J.E.(1969):
Bovine immunoglobulins: A review
Journal of Dairy Science,
52, (12), 1895-1909.
- Butler, J.E.(1972):
Quantitative changes associated with calving in the levels of bovine immunoglobulins in selected body fluids i.
Changes in the levels of iga, igg1 and total protein
Can J Comp Med. ,
36(3), 234-242.
- Butler, J.E.(1983):
Bovine immunoglobulins: An augmented review
Veterinary Immunology and Immunopathology,
4(1-2), 43-152.
- Chand, N., Pandey, N.N. und Mondal, D.B.(2009):
Effect of timing and frequency of colostrum feeding on immunoglobulin g status and susceptibility to
colibacillotic diarrhoea in neonatal calves
Indian Journal of Animal Sciences,
79(7), 653-657.
- Chigerwe, M., Coons, D.M. und Hagey, J.V.(2012):
Comparison of colostrum feeding by nipple bottle versus oroesophageal tubing in holstein dairy bull calves
J Am Vet Med Assoc,
241(1), 104-109.
- Chigerwe, M., Dawes, M.E., Tyler, J.W., Middleton, J.R., Moore, M.P. und Nagy, D.M.(2005):
Evaluation of a cow-side immunoassay kit for assessing igg concentration in colostrum
J Am Vet Med Assoc,
227(1), 129-131.

Chigerwe, M., Hagey, J.V. und Aly, S.S.(2015):

Determination of neonatal serum immunoglobulin g concentrations associated with mortality during the first 4 months of life in dairy heifer calves

Journal of Dairy Research,

82(4), 400-406.

Chigerwe, M., Tyler, J.W., Middleton, J.R., Spain, J.N., Dill, J.S. und Steevens, B.J.(2008b):

Comparison of four methods to assess colostrum igg concentration in dairy cows

Javma-Journal of the American Veterinary Medical Association,

233(5), 761-766.

Chigerwe, M., Tyler, J.W., Schultz, L.G., Middleton, J.R., Steevens, B.J. und Spain, J.N.(2008a):

Effect of colostrum administration by use of oesophageal intubation on serum igg concentrations in holstein bull calves

Am J Vet Res,

69(9), 1158-1163.

Chigerwe, M., Tyler, J.W., Summers, M.K., Middleton, J.R., Schultz, L.G. und Nagy, D.W.(2009):

Evaluation of factors affecting serum igg concentrations in bottle-fed calves

J Am Vet Med Assoc,

234(6), 785-789.

Conneely, M., Berry, D.P., Sayers, R., Murphy, J.P., Lorenz, I., Doherty, M.L. und Kennedy, E.(2013):

Factors associated with the concentration of immunoglobulin g in the colostrum of dairy cows

Animal,

7(11), 1824-1832.

Corke, M.J.(2012):

Immunoglobulin content of colostrum supplements for calves available in the united kingdom

Cattle Practice,

20(106-109).

Crawford, M.L., Quigley, J.D., 3rd und Martin, K.R.(1995):

Immunoglobulin concentrations in serum in response to injectable immunoglobulin in neonatal dairy calves

Journal of Dairy Science,

78(7), 1567-1572.

Curtain, C.C.(1970):

The origins of the immunoglobulins in the mucous secretions of cattle

Clin Exp Immunol.,

8(2).

Dardillat, J., Trillat, G. und Larvor, P.(1978):

Colostrum immunoglobulin concentration in cows: Relationship with their calf mortality and with the colostrum quality of their female offspring

Ann Rech Vet,
9(2), 375-384.

Dobbelaar, P., Noordhuizen, J. und Vankeulen, K.A.S.(1987):

An epidemiologic-study of gamma-globulin levels in newborn calves

Preventive Veterinary Medicine,
5(1), 51-62.

Donahue, M., Godden, S.M., Bey, R., Wells, S., Oakes, J.M., Sreevatsan, S., Stabel, J. und Fetrow, J.(2012):

Heat treatment of colostrum on commercial dairy farms decreases colostrum microbial counts while maintaining colostrum immunoglobulin g concentrations

Journal of Dairy Science,
95(5), 2697-2702.

Donovan, G.A., Badinga, L., Collier, R.J., Wilcox, C.J. und Braun, R.K.(1986):

Factors influencing passive transfer in dairy calves¹

Journal of dairy science,
69(3), 754-759.

Donovan, G.A., Dohoo, I.R., Montgomery, D.M. und 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.

Elizondo-Salazar, J.A. und Heinrichs, A.J.(2009):

Feeding heat-treated colostrum or unheated colostrum with two different bacterial concentrations to neonatal dairy calves

Journal of Dairy Science,
92(9), 4565-4571.

Erhard, M.H., Leuzinger, K. und Stangassinger, M.(2000):

Studies on the prophylactic effect of feeding probiotics, pathogen-specific colostrum antibodies or egg yolk antibodies in ne newborn calves

Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition-Zeitschrift für Tierphysiologie, Tierernährung und Futtermittelkunde,
84(3-4), 85-94.

Fetcher, A., Gay, C.C., McGuire, T.C., Barbee, D.D. und Parish, S.M.(1983):

Regional distribution and variation of gamma-globulin absorption from the small intestine of the neonatal calf

Am J Vet Res,
44(11), 2149-2154.

- Fidler, A.P., Alley, M.L. und Smith, G.W.(2011):
Short communication: Serum immunoglobulin g and total protein concentrations in dairy calves fed a colostrum-replacement product
Journal of Dairy Science,
94(7), 3609-3612.
- Fleenor, W.A. und Stott, G.H.(1980):
Hydrometer test for estimation of immunoglobulin concentration in bovine colostrum
Journal of Dairy Science,
63(6), 973-977.
- Foley, J.A. und Otterby, D.E.(1978):
Availability, storage, treatment, composition, and feeding value of surplus colostrum: A review^{1,2}
Journal of dairy science,
61(8), 1033-1060.
- Foster, D.M., Smith, G.W., Sanner, T.R. und Busso, G.V.(2006):
Serum igg and total protein concentrations in dairy calves fed two colostrum replacement products
J Am Vet Med Assoc,
229(8), 1282-1285.
- Frerking, H. und Aeikens, T.(1978):
About the importance of colostrum for the newborn calf
Ann Rech Vet,
9(2), 361-365.
- Furman-Fratczak, K., Rzasa, A. und Stefaniak, T.(2011):
The influence of colostrum immunoglobulin concentration in heifer calves' serum on their health and growth
Journal of Dairy Science,
94(11), 5536-5543.
- Garry, F.B., Adams, R., Cattell, M.B. und Dinsmore, R.P.(1996):
Comparison of passive immunoglobulin transfer to dairy calves fed colostrum or commercially available colostrum-supplement products
J Am Vet Med Assoc,
208(1), 107-110.
- Gay, C.C., McGuire, T.C. und Parish, S.M.(1983):
Seasonal variation in passive transfer of immunoglobulin g1 to newborn calves
J Am Vet Med Assoc,
183(5), 566-568.

Godden, S.(2008):

Colostrum management for dairy calves

Veterinary Clinics of North America-Food Animal Practice,
24(1), 19-39.

Gross, J.J., Kessler, E.C. und Bruckmaier, R.M.(2014):

Colour measurement of colostrum for estimation of colostral igt and colostrum composition in dairy cows

Journal of Dairy Research,
81(4), 440-444.

Gulliksen, S.M., Lie, K.I., Sølverød, L. und Østerås, O.(2008):

Risk factors associated with colostrum quality in norwegian dairy cows

Journal of Dairy Science,
91(2), 704-712.

Gürtler, H. und Schweigert, F.(2005):

Physiologie der Laktation.

In: Physiologie der Haustiere., Hrsg. W. Engelhardt & g. Breves

2. Auflage

Enke Verlag, Stuttgart

Gutzwiller, A.(2002):

Effect of colostrum intake on diarrhoea incidence in new-born calves

Schweiz Arch Tierheilkd,
144(2), 59-64.

Guy, M.A., McFadden, T.B., Cockrell, D.C. und Besser, T.E.(1994a):

Regulation of colostrum formation in beef and dairy cows

Journal of Dairy Science,
77(10), 3002-3007.

Guy, M.A., McFadden, T.B., Cockrell, D.C. und Besser, T.E.(1994b):

Effects of unilateral prepartum milking on concentrations of immunoglobulin g(1) and prolactin in colostrum

Journal of Dairy Science,
77(12), 3584-3591.

Hallberg, J.W., Dame, K.J., Chester, S.T., Miller, C.C., Fox, L.K., Pankey, J.W., Nickerson, S.C. und Weaver, L.J.(1995):

The visual appearance and somatic-cell count of mammary secretions collected from primigravid heifers during gestation and early postpartum

Journal of Dairy Science,
78(7), 1629-1636.

- Harp, J.A., Woodmansee, D.B. und Moon, H.W.(1989):
Effects of colostral antibody on susceptibility of calves to cryptosporidium parvum infection
American journal of veterinary research,
50(12), 2117-2119.
- Heckert, H.P., Bardella, I., Hofmann, W. und Oltmer, S.(1999):
Investigation into the influence of antibody-containing egg powder on development of active immunity in calves
Deutsche Tierärztliche Wochenschrift,
106(1), 10-14.
- Heinrichs, A.J. und Elizondo-Salazar, J.A.(2009):
Reducing failure of passive immunoglobulin transfer in dairy calves
Revue De Medecine Veterinaire,
160(8-9), 436-440.
- Herr, M., Bostedt, H. und Failing, K.(2011):
Igg and igm levels in dairy cows during the periparturient period
Theriogenology,
75(2), 377-385.
- Holloway, N.M., Tyler, J.W., Lakritz, J., Carlson, S.L. und Holle, J.(2001):
Serum immunoglobulin g concentrations in calves fed fresh and frozen colostrum
J Am Vet Med Assoc,
219(3), 357-359.
- Hurley, W.L.(1987):
Mammary function during the nonlactating period - enzyme, lactose, protein concentrations, and ph of mammary secretions
Journal of Dairy Science,
70(1), 20-28.
- Husband, A.J., Brandon, M.R. und Lascelles, A.K.(1972):
Absorption and endogenous production of immunoglobulins in calves
Aust J Exp Biol Med,
50(4), 491-498.
- Jaster, E.H.(2005):
Evaluation of quality, quantity, and timing of colostrum feeding on immunoglobulin g1 absorption in jersey calves
Journal of Dairy Science,
88(1), 296-302.

Johnson, J.L., Godden, S.M., Molitor, T., Ames, T. und Hagman, D.(2007):
Effects of feeding heat-treated colostrum on passive transfer of immune and nutritional parameters in neonatal dairy calves
Journal of Dairy Science,
90(11), 5189-5198.

Jones, L.R., Taylor, A.W. und Hines, H.C.(1987):
Characteristics of frozen colostrum thawed in a microwave oven
Journal of Dairy Science,
70(9), 1941-1945.

Kaske, M., Werner, A., Schuberth, H.J., Rehage, J. und Kehler, W.(2005):
Colostrum management in calves: Effects of drenching vs. Bottle feeding
J Anim Physiol Anim Nutr (Berl),
89(3-6), 151-157.

Kaup, F.J., Drommer, W., Jochims, K. und Pickel, M.(1996):
Ultrastructure of pre- and postcolostral enterocytes of the newborn calf
Anat Histol Embryol,
25(4), 249-255.

Kehoe, S.I., Jayarao, B.M. und Heinrichs, A.J.(2007):
A survey of bovine colostrum composition and colostrum management practices on pennsylvania dairy farms
Journal of Dairy Science,
90(9), 4108-4116.

Kelly, G.S.(2003):
Bovine colostrums: A review of clinical uses
Alternative Medicine Review,
8(4), 378-394.

Kielwein, G. (1976):
Leitfaden der Milchkunde und Milchhygiene.
Paul Parey Verlag, Berlin,

Kis, Z., Mayer, B., Juhasz, V., Doleschall, M., Frenyo, V.L. und Kacskovics, I.(2004):
Expression in the udder and igg binding capacity of bovine neonatal fc-receptor (bfcrn)
Magyar Allatorvosok Lapja,
126(10), 598-605.

Klimes, J., Bouska, J., Bouda, J., Dostalova, M. und Toth, J.(1989):
[the effect of subclinical ketosis in dry cows on the composition of the colostrum and on health indicators in newborn calves]
Vet Med (Praha),
34(3), 129-140

Klimes, J., Jagos, P., Bouda, J. und Gajdusek, S.(1986):
Basic qualitative parameters of cow colostrum and their dependence on season and post-partum time
Acta Veterinaria Brno,
55(1-2), 23-39.

Klingenberg, K.(1996):
Serum gamma globulin levels, rotavirus excretion and neonatal enteritis in calves.
British Cattle Vet. Ass., XIX World Buiatric Congress, posters presentation, 116-117.

Koenig, K.M., Beauchemin K.A.(2008)
Supplementing selenium yeast to diets with adequate concentrations of selenium: Selenium status, thyroid hormone concentrations and passive transfer of immunoglobulins in dairy cows and calves
Can. J. Anim. Sci. 89: 111-122.

Kolb, E. und Seehawer, J.(2002):
A review of the significance of immunoglobulins, vitamins and of growth factors in bovine colostrum
Tierärztliche Umschau,
57(7), 348-354.

Lacetera, N., U. Bernabucci, B. Ronchi, and A. Nardone. 1996.
Effects of selenium and vitamin E administration during a late stage of pregnancy on colostrum and milk production in dairy cows, and on passive immunity and growth of their offspring.
Am. J. Vet.Res. 57:1776–1780

Larson, B.L., Heary, H.L., Jr. und Devery, J.E.(1980):
Immunoglobulin production and transport by the mammary gland
Journal of Dairy Science,
63(4), 665-671.

Le Cozler, Y., Guatteo, R., Le Drean, E., Turban, H., Leboeuf, F., Pecceu, K. und Guinard-Flament, J.(2016):
Igg1 variations in the colostrum of holstein dairy cows
Animal,
10(2), 230-237.

Le Jan, C.(1996):

Cellular components of mammary secretions and neonatal immunity: A review
Vet Res,
27(4-5), 403-417.

Lecce, J.G. und Morgan, D.O.(1962):

Effect of dietary regimen on cessation of intestinal absorption of large molecules (closure) in neonatal pig and lamb
Journal of Nutrition,
78(3), 263-268.

Leslie, K.E. und Todd, C.G. (2007):

Keeping your calves healthy.
Advances in Dairy Technology,
Vol 19, 285-300

Logan, E.F., Stenhouse, A., Ormrod, D.J. und Penhale, W.J.(1974):

The role of colostral immunoglobulins in intestinal immunity to enteric colibacillosis in the calf
Research in veterinary science,
17(3), 280-301.

Lomba, F., Fumiere, I., Tshibangu, M., Chauvaux, G. und Bienfet, V.(1978):

Immunoglobulin transfer to calves and health problems in large bovine units
Ann Rech Vet,
9(2), 353-360.

Lona, V. und Romero, C.(2001):

Short communication: Low levels of colostral immunoglobulins in some dairy cows with placental retention
Journal of Dairy Science,
84(2), 389-391.

Lustermann, H. und Gunther, H.(1977):

Intestinal absorption of colostrum components--a review
Arch Exp Veterinarmed,
31(1), 53-59.

Mancini, G., Carbonara, A.O. und Heremans, J.F.(1965):

Immunochemical quantitation of antigens by single radial immunodiffusion
Immunochemistry,
2(3), 235-254.

Mansfeld, R., Sauter-Louis, C. und Martin, R.(2012):
Effects of dry period length on milk production, health, fertility, and quality of colostrum in dairy cows. Invited review
Tieraerztliche Praxis Ausgabe Grosstiere Nutztiere,
40(4), 239-250.

Margerison, J. und Downey, N.(2005):
Guidelines for optimal dairy heifer rearing and herd performance.
In PC Garnsworthy (Eds.), Calf and heifer rearing – principles of rearing the modern dairy heifer. London,
UK: Nottingham University Press.

Matte, J.J., Girard, C.L., Seoane, J.R. und Brisson, G.J.(1982):
Absorption of colostral immunoglobulin g in the newborn dairy calf
Journal of Dairy Science,
65(9), 1765-1770.

Maunsell, F.P., Morin, D.E., Constable, P.D., Hurley, W.L. und McCoy, G.C.(1999):
Use of mammary gland and colostral characteristics for prediction of colostral igg1 concentration and
intramammary infection in holstein cows
J Am Vet Med Assoc,
214(12), 1817-1823.

Maunsell, F.P., Morin, D.E., Constable, P.D., Hurley, W.L., McCoy, G.C., Kakoma, I. und Isaacson, R.E.(1998):
Effects of mastitis on the volume and composition of colostrum produced by holstein cows
Journal of Dairy Science,
81(5), 1291-1299.

Mayer, B., Doleschall, M., Bender, B., Bartyik, J., Bosze, Z., Frenyo, L.V. und Kacskovics, I.(2005):
Expression of the neonatal fc receptor (fcrn) in the bovine mammary gland
Journal of Dairy Research,
72(107-112).

McCutcheon, G.A., Caffrey, P.J., Kelleher, D.L. und Brophy, P.O.(1991):
Twinning in a suckler herd .2. Effects on cow and calf immunoglobulin status
Irish Journal of Agricultural Research,
30(1), 11-17.

McEwan, A.D., Fisher, E.W. und Selman, I.E.(1970):
An estimation of efficiency of absorption of immune globulins from colostrum by newborn calves
Research in Veterinary Science,
11(3), 239

Mech, A., Dhali, A., Baruah, K.K., Singh, R.K., Mondal, S.K. und Rajkhowa, C.(2011):
Effect of method and time of first colostrum feeding on serum immunoglobulin concentration, health status
and body weight gain in mithun (*bos frontalis*) calves
J Anim Physiol Anim Nutr (Berl),
95(6), 756-761.

Mechor, G.D., Grohn, Y.T., McDowell, L.R. und Vansaun, R.J.(1992):
Specific-gravity of bovine colostrum immunoglobulins as affected by temperature and colostrum components
Journal of Dairy Science,
75(11), 3131-3135.

Mechor, G.D., Grohn, Y.T. und Van Saun, R.J.(1991):
Effect of temperature on colostrometer readings for estimation of immunoglobulin concentration in bovine
colostrum
Journal of Dairy Science,
74(11), 3940-3943.

Mensik, J., Dressler, J., Franz, J. und Pokorny, J.(1977):Effect of different systems of colostrum nutrition on the
level of immunoglobulins in the blood of calves
Veterinarni medicina,
22(8), 449-461.

Merten, C. und Willmann, J.(2005):
Physikalische Grundlagen der Spektroskopie
Universität Bremen,
1. korrigierte Auflage, 105-110.

Michanek, P., Ventorp, M. und Westrom, B.(1989a):
Intestinal transmission of macromolecules in newborn dairy calves of different ages at 1st feeding
Research in Veterinary Science,
46(3), 375-379.

Michanek, P., Ventorp, M. und Westrom, B.(1989b):
Intestinal transmission of colostrum antibodies in newborn dairy calves - initiation of closure by feeding
colostrum
Swedish Journal of Agricultural Research,
19(2), 125-127.

Mielke, E.(1994):
Physiologie der Laktation. In: Wendt, K., Bostedt, H., Mielke, H., Fuchs, H.W., (Hrsg): Euter- und
Gesäugekrankheiten.
66-69
Gustav Fisher Verlag Jena. Stuttgart.

Moore, M., Tyler, J.W., Chigerwe, M., Dawes, M.E. und Middleton, J.R.(2005):
Effect of delayed colostrum collection on colostrum igg concentration in dairy cows
J Am Vet Med Assoc,
226(8), 1375-1377.

Morin, D.E., Constable, P.D., Maunsell, F.P. und McCoy, G.C.(2001):
Factors associated with colostrum specific gravity in dairy cows
Journal of Dairy Science,
84(4), 937-943.

Morin, D.E., McCoy, G.C. und Hurley, W.L.(1997):
Effects of quality, quantity, and timing of colostrum feeding and addition of a dried colostrum supplement on immunoglobulin g1 absorption in holstein bull calves
Journal of Dairy Science,
80(4), 747-753.

Morin, D.E., Nelson, S.V., Reid, E.D., Nagy, D.W., Dahl, G.E. und Constable, P.D.(2010):
Effect of colostrum volume, interval between calving and first milking, and photoperiod on colostrum igg concentrations in dairy cows
J Am Vet Med Assoc,
237(4), 420-428.

Morrill, K.M., Conrad, E., Lago, A., Campbell, J., Quigley, J. und Tyler, H.(2012):
Nationwide evaluation of quality and composition of colostrum on dairy farms in the united states
Journal of Dairy Science,
95(7), 3997-4005.

Morrill, K.M., Robertson, K.E., Spring, M.M., Robinson, A.L. und Tyler, H.D.(2015):
Validating a refractometer to evaluate immunoglobulin g concentration in jersey colostrum and the effect of multiple freeze-thaw cycles on evaluating colostrum quality
Journal of Dairy Science,
98(1), 595-601.

Muller, L.D. und Ellinger, D.K.(1981):
Colostrum immunoglobulin concentrations among breeds of dairy cattle
Journal of Dairy Science,
64(8), 1727-1730.

Mulvey, J.P.(1996):
The concentrations of immunoglobulin g in the colostrum of beef cows and in the sera of suckler calves and of calves fed a colostrum substitute before suckling
Irish Veterinary Journal,
49(6), 348-352.

- Murphy, B.M., Drennan, M.J., O'Mara, F.P. und Earley, B.(2005):
Cow serum and colostrum immunoglobulin (igg(1)) concentration of five suckler cow breed types and subsequent immune status of their calves
Irish Journal of Agricultural and Food Research,
44(2), 205-213.
- Nardone, A., Lacetera, N., Bernabucci, U. und Ronchi, B.(1997):
Composition of colostrum from dairy heifers exposed to high air temperatures during late pregnancy and the early postpartum period
Journal of Dairy Science,
80(5), 838-844.
- Nowak, W., Mikula, R., Kasprowicz-Potocka, M., Ignatowicz, M., Zachwieja, A., Paczynska, K. und Pecka, E.(2012):
Effect of cow nutrition in the far-off period on colostrum quality and immune response of calves
Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy,
56(2), 241-246.
- Okamoto, M., Robinson, J.B., Christopherson, R.J. und Young, B.A.(1986):
Summit metabolism of newborn calves with and without colostrum feeding
Canadian Journal of Animal Science,
66(4), 937-944.
- Panigrahi, B., Pandey, H.N. und Pattanaik, A.K.(2005):
Effect of pre-partum feeding of crossbred cows on growth performance, metabolic profile and immune status of calves
Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,
18(5), 661-666.
- Parrish, D.B., Wise, G.H. und Hughes, J.S.(1948):
Effect of the form of vitamin-a and of tocopherol supplements of the ration on the concentration of vitamin-a and carotenoids of colostrum and early milk
Journal of Dairy Science,
31(8), 686-687.
- Pavlata, L., Prasek, J., Filipek, J., Pechova, A.(2004)
Influence of parenteral administration of selenium and vitamin E during pregnancy on selected metabolic parameters and colostrum quality in dairy cows at parturition
Veterinarni Medicina
49(5), 149-155

Penhale, W.J., Logan, E.F., Selman, I.E., Fisher, E.W. und McEwan, A.D.(1973):
Observations on the absorption of colostral immuno globulins by the neo natal calf and their significance in colibacillosis
Annales de Recherches Veterinaires,
4(1), 223-233.

Perino, L.J., Wittum, T.E. und Ross, G.S.(1995):
Effects of various risk factors on plasma protein and serum immunoglobulin concentrations of calves at postpartum hours 10 and 24
Am J Vet Res,
56(9), 1144-1148.

Perryman, L.E., Kapil, S.J., Jones, M.L. und Hunt, E.L.(1999):
Protection of calves against cryptosporidiosis with immune bovine colostrum induced by a cryptosporidium parvum recombinant protein
Vaccine,
17(17), 2142-2149.

Petrie, L.(1984):
Maximising the absorption of colostral immunoglobulins in the newborn dairy calf
Vet Rec,
114(7), 157-163.

Pfeiffer, J., Stucke, T. und Freitag, M.(2010):
Effects of different thawing regimes for cow colostrum on the function of colostral immunoglobulin g
Züchtungskunde,
82(4), 272-281.

Postema, H.J. und Mol, J.(1984):
Risk of disease in veal calves: Relationships between colostrum-management, serum immunoglobulin levels and risk of disease
Zentralblatt für Veterinärmedizin Reihe A,
31(1-10), 751-762.

Pritchett, L.C., Gay, C.C., Besser, T.E. und Hancock, D.D.(1991):
Management and production factors influencing immunoglobulin g1 concentration in colostrum from holstein cows
Journal of Dairy Science,
74(7), 2336-2341.

Quigley, J.D. und Drewry, J.J.(1998):
Nutrient and immunity transfer from cow to calf pre- and postcalving
Journal of Dairy Science,
81(10), 2779-2790.

Quigley, J.D., Lago, A., Chapman, C., Erickson, P. und Polo, J.(2013):
Evaluation of the brix refractometer to estimate immunoglobulin g concentration in bovine colostrum
Journal of Dairy Science,
96(2), 1148-1155.

Quigley, J.D., Martin, K.R. und Dowlen, H.H.(1995):
Concentrations of trypsin inhibitor and immunoglobulins in colostrum of jersey cows
Journal of Dairy Science,
78(7), 1573-1577.

Quigley, J.D., Martin, K.R., Dowlen, H.H., Wallis, L.B. und Lamar, K.(1994):
Immunoglobulin concentration, specific gravity, and nitrogen fractions of colostrum from jersey cattle
Journal of Dairy Science,
77(1), 264-269.

Rademacher, G.(2013):
Kälberkrankheiten: Ursachen und Früherkennung, neue Wege für Vorbeugung und Behandlung
5. Auflage
Ulmer Verlag
19-22.

Rastani, R.R., Grummer, R.R., Bertics, S.J., Gumen, A., Wiltbank, M.C., Mashek, D.G. und Schwab, M.C.(2005):
Reducing dry period length to simplify feeding transition cows: Milk production, energy balance, and metabolic profiles
Journal of Dairy Science,
88(3), 1004-1014.

Rea, D.E., Tyler, J.W., Hancock, D.D., Besser, T.E., Wilson, L., Krytenberg, D.S. und Sanders, S.G.(1996):
Prediction of calf mortality by use of tests for passive transfer of colostral immunoglobulin
J Am Vet Med Assoc,
208(12), 2047-2049.

Rheinboldt, H.(1921):
Bestimmung der Zähflüssigkeit (Viskosität) von Flüssigkeiten in : Houben, j.: Methoden der organischen Chemie
2. Auflage,
Georg Thieme Verlag, Leipzig

Rivero, M.J., Valderrama, X., Haines, D. und Alomar, D.(2012):
Prediction of immunoglobulin g content in bovine colostrum by near-infrared spectroscopy
Journal of Dairy Science,
95(3), 1410-1418.

Sasaki, M.(1976):

Production and turnover of igg1 and igg2 immunoglobulins in the bovine around parturition
Journal of Dairy Science,
59(12), 2046-2055.

Sasaki, M., Davis, C.L. und Larson, B.L.(1977):

Immunoglobulin igg1 metabolism in new born calves
Journal of Dairy Science,
60(4), 623-626.

Schwab, A., Russe, M. und Bambauer, C.(1991):

Field-study of the use of a whey globulin concentrate for newborn calves
Tierärztliche Umschau,
46(4), 207-209.

Sebela, F. und Klicnik, V.(1977):

Relationship between milk acidity after milking and cows age
Zivocisna Vyroba,
22(3), 161-170.

Shearer, J., Mohammed, H.O., Brenneman, J.S. und Tran, T.Q.(1992):

Factors associated with concentrations of immunoglobulins in colostrum at the 1st milking post-calving
Preventive Veterinary Medicine,
14(1-2), 143-154.

Shoshani, E., Rozen, S. und Doekes, J.J.(2014):

Effect of a short dry period on milk yield and content, colostrum quality, fertility, and metabolic status of holstein cows
Journal of Dairy Science,
97(5), 2909-2922.

Smith, H.W. und Halls, S.(1968):

The experimental infection of calves with bacteriaemia-producing strains of escherichia coli: The influence of colostrum
J Med Microbiol,
1(1), 61-78.

Smith, K.L.(1971):

Selective transport of iggl into the mammary gland: Role of estrogen and progesterone
Journal of Dairy Science,
54(12), 1886-1894.

Smith, T. und Little, R.B.(1922):

The significance of colostrum to the new-born calf
J Exp Med,
36(2), 181-198.

Stelwagen, K., Carpenter, E., Haigh, B., Hodgkinson, A. und Wheeler, T.T.(2009):

Immune components of bovine colostrum and milk
Journal of Animal Science,
87(13), 3-9.

Stott, G.H. und Fella, A.(1983):

Colostrum immunoglobulin absorption linearly related to concentration for calves
Journal of Dairy Science,
66(6), 1319-1328.

Stott, G.H., Fleenor, W.A. und Kleese, W.C.(1981):

Colostrum immunoglobulin concentration in two fractions of first milking postpartum and five additional milkings
Journal of Dairy Science,
64(3), 459-465.

Stott, G.H., Marx, D.B., Menefee, B.E. und Nightengale, G.T.(1979):

Colostrum immunoglobulin transfer in calves i. Period of absorption
Journal of Dairy Science,
62(10), 1632-1638.

Streit, P. und Ernst, E.(1992):

Effects on perinatal and postnatal calf losses with special regard to environmental-conditions 2nd communication - effects on postnatal calf losses
Züchtungskunde,
64(1), 45-56.

Svensson, C., Lundborg, K., Emanuelson, U. und Olsson, S.O.(2003):

Morbidity in Swedish dairy calves from birth to 90 days of age and individual calf-level risk factors for infectious diseases
Preventive Veterinary Medicine,
58(3-4), 179-197.

Swan, H., Godden, S., Bey, R., Wells, S., Fetrow, J. und Chester-Jones, H.(2007):

Passive transfer of immunoglobulin G and preweaning health in Holstein calves fed a commercial colostrum replacer
Journal of Dairy Science,
90(8), 3857-3866.

- Tizard, I.(2004):
Veterinary Immunology: An Introduction
W.B. Saunders, Philadelphia
- Tizard, I.(2012):
Veterinary immunology. 9th Edition
Elsevier Health Sciences
ISBN 9781455703623 .
- Tsunemitsu, H., Shimizu, M., Hirai, T., Yonemichi, H., Kudo, T., Mori, K. und Onoe, S.(1989):
Protection against bovine rotaviruses in newborn calves by continuous feeding of immune colostrum
Nihon Juigaku Zasshi,
51(2), 300-308.
- Tyler, J.W., Hancock, D.D., Thorne, J.G., Gay, C.C. und Gay, J.M.(1999):
Partitioning the mortality risk associated with inadequate passive transfer of colostral immunoglobulins in dairy calves
Journal of Veterinary Internal Medicine,
13(4), 335-337.
- van Keulen, K.A., Dobbelaar, P., Noordhuizen, J.P., Schwering, C. und Wensing, T.(1984):
Various aspects of the colostrum supply on dairy farms and the usefulness of the glutaraldehyde test in the evaluation of the colostrum supply
Tijdschr Diergeneeskd,
109(15-16), 605-611.
- Virtala, A.M., Grohn, Y.T., Mechor, G.D. und Erb, H.N.(1999):
The effect of maternally derived immunoglobulin g on the risk of respiratory disease in heifers during the first 3 months of life
Prev Vet Med,
39(1), 25-37.
- Watters, R.D., Guenther, J.N., Brickner, A.E., Rastani, R.R., Crump, P.M., Clark, P.W. und Grummer, R.R.(2008):
Effects of dry period length on milk production and health of dairy cattle
Journal of Dairy Science,
91(7), 2595-2603.
- Weaver, D.M., Tyler, J.W., VanMetre, D.C., Hostetler, D.E. und Barrington, G.M.(2000):
Passive transfer of colostral immunoglobulins in calves
J Vet Intern Med,
14(6), 569-577.

Wells, S.J., Dargatz, D.A. und Ott, S.L.(1996):
Factors associated with mortality to 21 days of life in dairy heifers in the united states
Preventive Veterinary Medicine,
29(1), 9-19.

8 Anhang

Tabelle 11: Zusammenfassung aller erfassten Daten 1

NR.	Allgemein					Erhebung vor dem Gefrieren		
	Lakt	Abstand Geburt- Melkung Stunden	Kolostrum menge Liter.	Ausmelken j=ja n=nein	Abstand Melkung- Messung Stunden	ph-Wert	Optisches Refraktometer % BRIX	Digitales Refraktometer % BRIX
1	2	1	6	j	9	6,7	18	4,5
2	6	1	5	j	12	6,8	19	17,8
3	2	6	8	j	5	6,5	21	20,5
4	2	0	5	n	16	6,3	24	24,2
5	4	1	10	n	7	6,5	21	20,2
6	7	0	4	n	2	6,6	18	18,3
7	1	1	6	j	3	6,4	27	29
8	3	1	4	n	16	6,6	19	18,3
9	8	2	5	n	20	6,4	24	23,3
10	1	0	7	n	4	6,5	23	23
11	2	8	12	j	15	6,5	18	17,9
12	1	1	6	n	3	6,8	19	20,7
13	2	3	7	n	4	6,6	19	20,7
14	3	0	3	n	17	6,7	15	14,9
15	3	2	9	j	3	6,6	19	22,9
16	2	3	4	n	7	6,4	19	14,9
17	4	3	1	n	8	6,8	26	24,8
18	10	2	5	n	28	6,5	25	23,9
19	4	0	3	j	19	6,8	29	28,9
20	5	2	5	n	15	6,6	26	29
21	2	2	11	n	0	6,7	22	21,6
22	2	1	5	n	20	6,5	23	21,8
23	3	3	4	n	8	6,6	25	24,1
24	4	4	8	n	1	6,4	22	21,9
25	2	6	4	n	4	6,8	22	21,7

Fortsetzung Tabelle 11

NR.	Allgemein					Erhebung vor dem Gefrieren		
	Lakt	Abstand Geburt- Melkung Stunden	Kolostrum menge Liter.	Ausmelken j=ja n=nein	Abstand Melkung- Messung Stunden	ph-Wert	Optisches Refraktometer % BRIX	Digitales Refraktometer % BRIX
26	2	0	8	j	2	6,4	23	22,1
27	3	1	4	n	4	6,5	23	21,8
28	3	13	3	n	5	6,5	21	20,4
29	1	1	5	j	5	6,4	26	25,3
30	2	4	5	n	5	6,4	19	18,3
31	4	5	6	n	4	6,4	22	19,5
32	1	3	4	n	5	6,5	24	23,6
33	5	1	5	n	5	6,5	26	25,5
34	3	10	9	j	6	6,6	18	17,5
35	3	0	10	j	3	6,3	16	14,4
36	4	3	7	n	3	6,3	23	21,9
37	3	12	2	n	2	6,7	20	21,4
38	7	1	6	j	6	6,6	26	25,3
39	5	1	8	n	7	6,4	27	29,1
40	1	8	4	n	9	6,4	20	18,2
41	1	1	4	n	4	6,6	32	30,2
42	2	4	5	n	3	6,3	19	18,2
43	2	3	8	n	2	6,4	17	17
44	2	1	7	n	2	6,4	22	22,7
45	6	4	4	n	3	6,3	22	21,8
46	1	3	7	n	2	6,3	21	18,8
47	4	3	5	j	4	6,7	26	26,2
48	4	3	7	n	1	6,4	26	26,3
49	4	1	10	n	12	6,3	24	22,2
50	2	1	4	j	20	6,3	21	18,3
51	4	1	4	n	23	6,4	26	25,4
52	2	0	2	n	11	6,4	24	22

Fortsetzung Tabelle 11

NR.	Allgemein					Erhebung vor dem Gefrieren		
	Lakt	Abstand Geburt- Melkung Stunden	Kolostrum menge Liter.	Ausmelken j=ja n=nein	Abstand Melkung- Messung Stunden	ph-Wert	Optisches Refraktometer % BRIX	Digitales Refraktometer % BRIX
53	2	4	3	n	16	6,4	22	21,8
54	2	3	5	n	3	6,4	17	18,8
55	7	0	4	n	17	6,4	24	23,8
56	2	3	2	n	11	6,4	18	17,2
57	3	3	6	n	10	6,3	22	21,2
58	2	2	3	n	3	6,2	24	22,6
59	10	1	3	n	5	6,4	23	23,4
60	10	0	3	n	7	6,3	25	24,5
61	5	3	8	j	8	6,3	23	22,7
62	3	3	7	n	11	6,4	24	23,2
63	4	3	4	n	2	6,4	21	20
64	2	1	5	n	12	6,4	19	17,5
65	1	1	3	n	2	6,3	22	21,9
66	3	2	3	j	15	6,4	23	20,8
67	1	3	3	j	13	6,5	19	17,2
68	3	1	5	n	18	6,4	18	18,3
69	5	1	3	n	5	6,2	26	29,1
70	6	1	7	n	5	6,4	21	19,8
71	2	2	8	n	1	6,2	18	17,8
72	4	1	11	n	1	6,3	26	24,8
73	3	1	5	n	5	6,5	22	21,1
74	3	7	5	j	9	6,5	22	20,9
75	2	9	4	n	4	6,5	11	10,3
76	2	0	3	n	4	6,3	25	24
77	6	2	5	n	3	6,6	22	22
78	2	7	8	n	2	6,3	19	18,1
79	6	1	4	n	7	6,3	14	13,7

Fortsetzung Tabelle 11

NR.	Allgemein					Erhebung vor dem Gefrieren		
	Lakt	Abstand Geburt- Melkung Stunden	Kolostrum menge Liter.	Ausmelken j=ja n=nein	Abstand Melkung- Messung Stunden	ph-Wert	Optisches Refraktometer % BRIX	Digitales Refraktometer % BRIX
80	5	1	2	n	2	6,3	29	29,1
81	12	1	3	n	2	6,2	33	34
82	4	6	7	n	8	6,2	15	14,8
83	5	1	2	n	7	6,3	22	20,9
84	1	4	8	j	3	6,3	21	20,2
85	4	2	4	j	4	6,5	24	23,5
86	2	3	8	n	3	6,2	19	18,4
87	4	1	5	n	11	6,4	22	20,8
88	2	1	5	n	3	6,4	18	18,5
89	5	0	8	n	3	6,2	23	23
90	2	1	6	j	4	6,4	18	17,5
91	1	1	3	j	2	6,9	25	23,2
92	2	3	8	j	11	6,4	20	18,9
93	2	0	4	n	6	6,7	19	15,4
94	1	2	3	n	3	6,4	26	29,1
95	10	5	10	j	2	6,7	23	20,9
96	5	3	4	n	2	6,4	24	23,3
97	1	2	7	n	1	6,3	15	15
98	3	11	5	j	14	6,4	17	17
99	4	2	5	j	16	6,5	23	21,8
100	4	5	4	j	5	6,4	18	17,2
101	1	2	3	n	3	6,4	21	20,1
102	3	0	5	n	9	6,5	26	23,5
103	3	0	5	n	1	6,4	25	24,7
104	2	10	5	n	3	6,3	14	12,5
105	2	2	5	n	5	6,3	18	16,6
106	7	0	5	n	13	6,4	29	29,1

Fortsetzung Tabelle 11

NR.	Allgemein					Erhebung vor dem Gefrieren		
	Lakt	Abstand Geburt- Melkung Stunden	Kolostrum menge Liter.	Ausmelken j=ja n=nein	Abstand Melkung- Messung Stunden	ph-Wert	Optisches Refraktometer % BRIX	Digitales Refraktometer % BRIX
107	4	0	3	n	6	6,3	20	18,5
108	3	0	4	j	2	6,2	23	20,3
109	3	0	3	n	6	6,4	30	29,8
110	1	1	7	j	2	6,4	21	20,7
111	4	11	7	n	2	6,2	17	18,1
112	2	1	6	n	2	6,1	21	19,7
113	2	1	4	n	3	6,5	15	13,4
114	1	4	3	n	4	6,4	21	20,5
115	3	7	4	n	4	6,4	19	17,4
116	2	2	3	n	3	6,4	20	20,7
117	2	0	6	n	2	6,3	23	22,7
118	2	1	8	n	9	6,3	18	18,3
119	2	0	6	n	3	6,2	18	18,4
120	5	7	7	j	3	6,3	20	20
121	4	0	3	n	6	6,3	27	29,2
122	5	2	3	n	22	6,4	22	22
123	2	1	10	n	12	6,3	22	22,2
124	4	5	6	j	3	6,5	21	21

Tabelle 12: Zusammenfassung aller erfassten Daten 2

NR.	Labor Ried Messung bei 30 C° nach dem Auftauen						RID-Wien
	ph-Wert	Optisches Re- fraktometer % BRIX	Digitales Re- fraktometer % BRIX	Kolostrometer 30C° g/l	Dichte dig. g/l	Trichter Sec. bei 30C°	IgG Gehalt mg/ml
1	6,3	19	16,3	1032	1040	27	32,27
2	6,3	20	19,7	1050	1054	23	49,12
3	6,3	21	19,5	1047	1052	23	38,56
4	6	24	24	1060	1064	24	41,99
5	6,2	20	19,9	1052	1055	22	35,42
6	6,3	19	17,9	1047	1050	21	49,12
7	6,2	27	29,4	1052	1059	31	56,81
8	6,2	19	17,2	1048	1051	21	26,54
9	6,1	24	24,2	1060	1063	24	78,41
10	6,2	24	23,3	1052	1052	28	32,27
11	6,1	20	20,4	1043	1047	23	35,42
12	6,4	21	19,3	1050	1051	22	45,41
13	6,2	19	18,9	1047	1052	22	52,82
14	6,3	15	14	1033	1040	21	16,76
15	6,2	24	23,6	1056	1061	26	73,87
16	6	16	15,4	1040	1045	20	19,06
17	6,3	24	23,3	1062	1066	24	114,7
18	6	23	22,9	1057	1060	24	98,27
19	6,3	29	29,4	1068	1070	30	83,23
20	6,1	26	25,6	1066	1070	30	65,06
21	6,3	21	21	1055	1054	22	35,42
22	6,1	21	21	1052	1053	23	38,56
23	6,1	24	23,4	1060	1065	24	52,82
24	6,2	20	21,3	1053	1056	23	41,99
25	6,5	20	20,8	1052	1055	23	55,01
26	6,2	21	21,1	1057	1060	23	32,04
27	6,2	21	22	1050	1050	24	35,14
28	6,3	20	18,8	1045	1048	22	21,67
29	6,2	25	24,8	1057	1043	29	51,41
30	6,2	18	18	1047	1051	22	26,6
31	6,2	22	21,9	1055	1057	25	55,27
32	6,2	23	21,7	1060	1063	24	26,6

Fortsetzung Tabelle 12

NR.	Labor Ried Messung bei 30 C° nach dem Auftauen						RID-Wien
	ph-Wert	Optisches Re- fraktometer % BRIX	Digitales Re- fraktometer % BRIX	Kolostrometer 30C° g/l	Dichte dig. g/l	Trichter Sec. bei 30C°	IgG Gehalt mg/ml
33	6,4	25	23,2	1062	1064	26	79,95
34	6,3	17	16,9	1044	1047	21	25,51
35	6,1	14	12,7	1025	1033	21	11,49
36	6,1	21	20,6	1052	1057	23	37,99
37	6,5	21	19,9	1055	1059	22	32,04
38	5,8	25	24,3	1059	1061	27	66,85
39	6,1	27	29,4	1047	1061	29	62,73
40	6,2	20	19,4	1032	1052	28	26,6
41	6,3	29	30,2	1060	1064	53	44,44
42	6,1	19	16,3	1036	1045	21	26,6
43	6,2	16	16,3	1039	1046	22	15,15
44	6,2	22	22,4	1053	1058	23	41,34
45	6,1	21	21,8	1055	1058	23	41,09
46	6,2	19	18,5	1035	1043	24	19,33
47	6,5	26	25,6	1062	1066	33	79,7
48	6,2	26	26,1	1063	1068	26	70,96
49	5,7	23	23	1051	1055	25	94,41
50	6	21	20,8	1047	1050	23	52,39
51	6,2	26	25,4	1060	1063	28	93,37
52	6,1	22	21,1	1052	1056	23	45,61
53	6	21	22,3	1052	1054	23	45,61
54	6,1	19	19,2	1050	1050	22	33,45
55	6,2	24	23,3	1054	1058	25	64,53
56	6,1	18	17,8	1038	1046	22	26,54
57	6,1	21	21,4	1055	1059	23	68,5
58	6,1	23	23,5	1057	1060	24	72,47
59	6,2	24	23,7	1058	1069	25	99,31
60	6,1	24	24,4	1059	1062	27	109,1
61	6,1	22	22	1053	1056	24	57,27
62	6,1	25	25,2	1061	1064	27	76,68
63	6,1	21	19,5	1048	1049	23	46,74
64	6	17	17,1	1035	1041	23	31,71

Fortsetzung Tabelle 12

NR.	Labor Ried Messung bei 30 C° nach dem Auftauen						RID-Wien
	ph-Wert	Optisches Re- fraktometer % BRIX	Digitales Re- fraktometer % BRIX	Kolostrometer 30C° g/l	Dichte dig. g/l	Trichter Sec. bei 30C°	IgG Gehalt mg/ml
65	6,2	23	23,2	1051	1059	26	37,35
66	6,2	23	22,2	1050	1054	24	57,04
67	6,4	19	18,2	1035	1033	23	34,53
68	6,2	20	22,6	1043	1039	22	40,4
69	6,2	27	29,2	1060	1058	26	76,68
70	6,4	21	23,3	1048	1043	26	64,76
71	6,3	21	22,2	1050	1045	23	40,4
72	6,3	24	24,7	1055	1046	27	85,31
73	6,4	21	20,7	1047	1046	23	45,99
74	6,4	24	22,2	1048	1051	23	73,92
75	6,3	12	12,5	1027	1046	19	74,5
76	6,3	24	21,5	1060	1059	24	42,46
77	6,5	22	22,7	1055	1053	25	78,53
78	6,3	19	20,6	1050	1045	21	45,99
79	6,2	16	16,2	1030	1027	21	14,04
80	6,3	30	29,5	1060	1057	38	69,58
81	6,2	34	35,1	1075	1077	82	149,85
82	6,1	21	20,9	1040	1038	21	19,66
83	6,2	23	23,3	1058	1056	23	61,18
84	6,3	20	19,8	1040	1031	30	39,2
85	6,4	24	24,5	1055	1053	26	69,58
86	6,2	20	19,5	1036	1032	23	27,26
87	6,2	21	21	1045	1042	24	39,2
88	6,3	19	18,9	1048	1046	21	22,1
89	5,9	23	23,6	1057	1055	23	45,99
90	6,3	19	18,1	1029	1027	25	32,96
91	6,8	24	23,5	1051	1050	32	57,11
92	6,3	18	18,5	1047	1046	21	39,2
93	6,5	18	18,2	1027	1028	24	17,49
94	6,3	26	25,5	1057	1051	39	108,63
95	6,6	23	24,4	1053	1044	31	65,24
96	6,3	24	23,6	1055	1053	25	83,42

Fortsetzung Tabelle 12

NR.	Labor Ried Messung bei 30 C° nach dem Auftauen						RID-Wien
	ph-Wert	Optisches Re- fraktometer % BRIX	Digitales Re- fraktometer % BRIX	Kolostrometer 30C° g/l	Dichte dig. g/l	Trichter Sec. bei 30C°	IgG Gehalt mg/ml
97	6,3	15	16,5	1028	1030	22	96,5
98	6,3	16	16,7	1040	1038	21	23,18
99	6,3	22	23	1047	1036	23	48,88
100	6	18	18,8	1038	1041	22	45,61
101	6,3	19	19,4	1042	1040	24	33,18
102	6,3	24	25,2	1058	1053	27	47,44
103	6,3	27	29,4	1059	1058	37	71,59
104	6,3	15	13,6	1025	1021	22	19,65
105	6,1	17	18,1	1045	1045	21	39,29
106	6,2	28	29,4	1057	1056	32	146,12
107	6,2	19	19,7	1048	1044	22	35,69
108	6,1	23	23,6	1055	1054	24	68,18
109	6,2	31	31,9	1060	1062	37	111,1
110	6,3	21	20,3	1046	1043	24	109,5
111	6,2	18	18,5	1045	1042	22	30,45
112	6,1	20	21,1	1050	1048	23	53,93
113	6,4	17	18,5	1029	1025	22	17,22
114	6,3	21	20,9	1038	1036	26	25,62
115	6,2	19	20,1	1048	1045	22	50,58
116	6,3	20	20	1048	1048	22	30,45
117	6,2	22	22,3	1055	1048	24	35,69
118	6,2	18	19,3	1045	1042	22	17,22
119	6,2	19	18,1	1038	1035	22	17,22
120	6,2	22	22,5	1047	1045	24	60,85
121	6,2	27	26,1	1064	1064	26	84,1
122	6	22	22,5	1055	1053	22	53,93
123	6,1	22	22,2	1057	1054	23	57,29
124	6,1	21	21,2	1050	1046	25	57,29

	Datum:	Name Landwirt:	Name Kuh:
Laktationsnummer.....			
Uhrzeit Kalbung:			
Uhrzeit Melkung:			
Gesamtmenge Kolostrum:Liter			
Ausgemolken: Ja / Nein			
Dieses Feld bitte nicht ausfüllen			
Zeitpunkt Abholung:			
Zeitpunkt Messung:			
ph Wert:			
opt.Refraktometer:.....Brix			
dig.Refraktometer:.....Brix			

Abbildung 31: Protokoll Abholung und Erstmessung

9 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. Rolf Mansfeld. Er hat sich auf eine Idee von mir, die besonders anfänglich nicht immer zielführend schien, eingelassen. Nach einigen Vorarbeiten reifte das Thema und wir konnten erst dann gemeinsam den Inhalt und das Ziel der Arbeit definieren. Prof. Mansfeld hat mich immer geduldig in das wissenschaftliche Arbeiten, das mir nach über 30 Praxisjahren nicht mehr sehr vertraut war, eingewiesen.

Mein ganz besonderer Dank gilt auch Frau Dr. Carola Sauter-Louis. Auch sie hat mit ihren zündenden Ideen maßgeblich zur Entwicklung der Arbeit beigetragen. Besonders mit ihrem mathematischen Wissen leistete sie auch wertvolle Hilfe bei der statistischen Auswertung der Daten.

Mein Dank gilt meinem Schwager Johann Dachs von der gleichnamigen Tischlerei Dachs. Er hat mit seinem bewundernswerten praktischen Geschick und Verständnis den Zündstoff für das Entstehen der Arbeit geliefert.

Ich bedanke mich bei meiner Nichte Lisa Dachs für die hilfreiche und wertvolle Unterstützung bei der Übersetzung ins Englische.

Weiterhin bedanke ich mich bei der oberösterreichischen Landwirtschaftskammer und im Besonderen bei Dipl. Ing. Michael Wöckinger, Geschäftsführer des oö Milchprüfringes, und Herrn Stephan Schröckeneder, Laborleiter im Labor Ried, für die Möglichkeit die Proben im ihrem Labor aufzuarbeiten und für die freundliche und äußerst großzügige Unterstützung bei der Arbeit im Labor. Das von mir stets gepflegte gute Verhältnis mit landwirtschaftlichen Institutionen hat dazu sicher einen Beitrag geleistet.

Mein Dank gilt auch den vielen Landwirten, die bereit waren, die vielen Kolostrumproben zur Verfügung zu stellen.

Schließlich bedanke ich mich sehr herzlich bei meiner Frau Karin Kritzinger für das Verständnis und die Bereitschaft mir Aufgaben und Arbeiten im beruflichen wie auch im privaten Bereich abzunehmen. Das Engagement an dieser Arbeit hat seinen Zeitaufwand gefordert und damit Abstriche in anderen Lebensbereichen mit sich gebracht.