

Klinikum Veterinärmedizin, Tierklinik für Reproduktionsmedizin und
Neugeborenenkunde

der Justus-Liebig-Universität Gießen

Vitamin D-Status von Lamas und Alpakas in Mitteldeutschland

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades

beim Fachbereich Veterinärmedizin

der Justus-Liebig-Universität Gießen

Eingereicht von

Felix Valerian Husemann

Gießen 2025

Mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Dekan: Prof. Dr. Dr. S. Arnhold

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. h.c. A. Wehrend

Tag der mündlichen Prüfung:

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Fragestellung	1
2	Literaturübersicht	2
2.1	Bedeutung von Vitamin D	2
2.2	Stoffwechsel von Vitamin D bei Herbivoren	7
2.3	Referenzwerte zur Vitamin D-Versorgung bei Neuweltkameliden	10
2.4	Empfehlungen zur Vitamin D-Versorgung von Neuweltkameliden	12
3	Material und Methode	15
3.1	Tiere	15
3.2	Probenentnahme	20
3.3	Probenaufbereitung	21
3.4	Labordiagnostische Bestimmung	21
3.4.1	Vitamin D	21
3.4.2	Weitere labordiagnostische Parameter	22
3.4.2.1	Gesamteiweiß	22
3.4.2.2	Aspartataminotransferase (AST)	22
3.4.2.3	Glutamatdehydrogenase (GLDH)	23
3.4.2.4	Gamma-Glutamyltransferase (γ -GT)	23
3.4.2.5	Gesamtcalcium	24
3.4.2.6	Natrium	24
3.5	Statistik	24
4	Ergebnisse	26
4.1	Labordiagnostische Parameter im Jahresverlauf	26
4.2	Einflussfaktoren auf die Vitamin D-Serumkonzentration	28
4.3	Zusammenhänge zwischen den labordiagnostischen Parametern	32
5	Diskussion	35
5.1	Diskussion der Fragestellung	35

5.2	Diskussion der Methode	37
5.3	Diskussion der Ergebnisse	42
5.3.1	Allgemeine Datenbeschreibung.....	42
5.3.2	Einflussfaktoren auf die Vitamin D-Serumkonzentration	47
5.3.3	Zusammenhang zwischen labordiagnostischen Parametern	55
6	Zusammenfassung	56
7	Summary	58
8	Literaturverzeichnis.....	60
9	Anhang	66
9.1	Ausschnitte der Anlage zur Akkreditierung D-ML-13129-01-00	66
9.2	Erhobene Daten für statistische Rechenläufe	66
9.3	Tabellenverzeichnis.....	76
9.4	Abbildungsverzeichnis.....	78
9.5	Abkürzungsverzeichnis	79

1 Einleitung und Fragestellung

Die Vitamin D-Versorgung von Neuweltkameliden ist international ein zentrales Thema in der Alpaka- und Lamahaltung. In Südamerika konzentriert sich die Haltung auf die Kordillern zwischen 10° und 21° südlicher Breite. Das Hochland der Anden in Peru, Bolivien, Chile und Argentinien über 4300 Meter repräsentiert das Hauptverbreitungsgebiet (Gauly 2011). Die dortige UV-Strahlung ist deutlich intensiver als in Mitteleuropa, Nordamerika und Australien, wo sich Alpakas und Lamas heutzutage besonderer Beliebtheit erfreuen. Die Vitamin D-Synthese in der Haut ist auf UV-Strahlung angewiesen. Vermutlich wurde diese aufgrund der hohen Sonneneinstrahlung im Ursprungsgebiet herunterreguliert, sodass in Deutschland mit geringerer Sonneneinstrahlung keine bedarfsdeckende Synthese von Vitamin D erfolgen kann (Helmer *et al.* 2017). Um den damit verbundenen Problemen vorzubeugen, ist es in vielen Ländern üblich, Vitamin D zu supplementieren. Allerdings basieren in Deutschland angewendete Dosierungen auf keiner wissenschaftlichen Grundlage, da der Status der aktuellen Vitamin D-Versorgung in Deutschland nicht bekannt ist und sich Empfehlungen aus anderen Ländern nicht ohne Weiteres übertragen lassen. So ergeben sich folgende Fragestellungen, die im Rahmen der Dissertation bearbeitet werden sollen:

- Wie ist der Status der Vitamin D-Versorgung bei Neuweltkameliden in Mitteldeutschland?
- Besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen Tierart, Rasse, Vliesfarbe, Geschlecht, Alter, Jahreszeit und dem Vitamin D-Status?
- Ist eine Korrelation zwischen den labordiagnostischen Parametern Gesamteiweiß, Aktivitäten der Aspartataminotransferase (AST), der Glutamatdehydrogenase (GLDH) und der Gamma-Glutamyltransferase (GGT), Gesamtcalcium und Natrium und dem Vitamin D-Status im Blut zu erkennen?
- Kann mithilfe der genannten labordiagnostischen Parametern die Vitamin D-Konzentration im Blut abgeschätzt werden?

2 Literaturübersicht

2.1 Bedeutung von Vitamin D

Dem Steroidhormon Vitamin D kommt neben Calcitonin und Parathormon (PTH) eine zentrale Rolle in der homöostatischen Kontrolle des Blutcalciumspiegels und der Aufrechterhaltung der Knochendichte zu. Seine Wirkung an Darm, Niere, Knochen und Nebenniere wird vor allem durch den Metaboliten 1,25-Dihydroxy-Cholecalciferol ($1,25-(OH)_2-D_3$) vermittelt. Als Steroidhormon wirkt es intranukleär auf die Transkription von Genen. So nimmt es durch die Synthese des calciumbindenden Proteins Calbindin im Darm und den Einbau von apikalen Calciumkanälen und basolateralen Calciumpumpen in Darm und Niere Einfluss auf die Calciumresorption bzw. Rückresorption (Schweigert 2009).

Vitamin D ist für eine physiologische Mineralisierung von Knochengewebe notwendig, was durch eine erhöhte Bereitstellung von Calcium und Phosphat durch verstärkte Absorption vermittelt wird. In physiologischen Konzentrationen besteht wahrscheinlich keine direkte Wirkung am Knochen (Erben 2009), wohingegen in hohen Dosen eine gesteigerte Osteoklastenaktivität und somit eine Calciummobilisierung aus den Knochen beobachtet werden kann (Schweigert 2009). Serum-Vitamin D und Phosphatkonzentration unterliegen saisonalen Schwankungen. In der nördlichen Hemisphäre treten von Dezember bis März die niedrigsten Serumkonzentrationen auf, von Juni bis September werden die höchsten Konzentrationen gemessen (Smith und Van Saun 2001). 1,25-Dihydroxy-Cholecalciferol kommen neben der Calciumhomöostase auch andere Aufgaben zu, wie die Haarbildung und die Insulinsekretion im Pankreas (Erben 2009).

Vitamin D-Quellen sind diätetisch (Ergocalciferol) und endogen (D_3) aus Cholesterolmetaboliten unter Sonneneinstrahlung in der Haut zu finden (Mc Dowell 1989). Die endogene Form stellt den Hauptteil des zur Verfügung stehenden Vitamin D bei Kameliden dar, die längere Zeit in Weidehaltung leben (Smith und Van Saun 1996). Im Gegensatz dazu haben Hunde und Katzen im Laufe der Evolution aufgrund der hohen Konzentration von Vitamin D_3 in der Nahrung die Fähigkeit zur kutanen Synthese verloren (Uhl 2018).

Vitamin D wird in den nicht pigmentierten Arealen der Haut unter Sonneneinstrahlung synthetisiert, sodass dunklere Tiere und Tiere mit viel Vlies niedrigere Vitamin D-Konzentrationen aufweisen. Durch eine Schur wird die Exposition der Haut mit UVB-

Strahlen erhöht, was zu einem Anstieg der Vitamin D-Konzentration führt (Smith und Van Saun 2001). Der Winkel und die Intensität der Sonneneinstrahlung in südlicher oder nördlicher Hemisphäre (je nach Jahreszeit) könnten bei ausbleibender Supplementierung eine unzureichende Vitamin D-Versorgung bewirken (Van Saun 2006). Bei ausreichender UV-Strahlung (285 - 315 nm) ist eine alimentäre Versorgung nicht erforderlich (Schweigert 2009).

Folgen eines Vitamin D-Mangels sind Rachitis bei Jungtieren und Osteomalazie bei adulten Individuen. Letztere beschreibt eine Demineralisierung des ausgereiften Knochens, die mit Verbiegungen der Röhrenknochen, Verbreiterung der Epiphysenplatten und erhöhter Frakturanfälligkeit einhergeht (Baumgärtner und Wohlsein 2015). Auch wenn die Pathophysiologie von Rachitis und Osteomalazie bei allen Tierarten vergleichbar ist, scheint bei Neuweltkameliden die fibröse Ostedystrophie häufiger klinisch in Erscheinung zu treten (Uhl 2018). Bei in der Badanjiling-Wüste Chinas gehaltenen Trampeltieren konnte eine erhöhte Anfälligkeit von Stuten während der Trächtigkeit sowie post partum beobachtet werden. Grundsätzlich traten bei Stuten stärkere klinische Symptome auf als bei männlichen Tieren (kastriert und unkastriert) (Zongping 2005). Der Autor nennt eine Inzidenz von 27,8 % mit einer Häufung der Fälle zwischen Februar und Juni.

Rachitis ist charakterisiert durch eine unzureichende Mineralisierung des Knochens. Durch ungenügende Einlagerung von Calcium in die Knorpelmatrix kommt es zu Reifungsstörungen, Akkumulation und Kompression der Chondroblasten in den Wachstumsfugen. Die Folgen sind Elongation, Schwellung und Degeneration mit mangelhafter Kapillarversorgung (Baumgärtner und Wohlsein 2015). Es handelt sich um eine ernährungsbedingte metabolische Knochenerkrankung, die durch geschwollene Gelenke und Lahmheit in Erscheinung tritt (Van Saun *et al.* 1996). Histologisch können an den Wachstumsfugen, den Gelenken und in den proximalen Metaphysen persistierende hypertrophe Knorpelzonen sowie nekrotische Chondrozyten auftreten. Einige Knochen fallen durch eine Resorption der primären Spongiosa auf, andere durch dicken irregulären Geflechtknochen. Insgesamt liegt eine hohe Aktivität von Osteoblasten und Osteoklasten vor. Zwischen den Knochentrabekeln sind häufig Bindegewebe und Blutungen zu finden (Hill *et al.* 1994). Unbehandelt führt die Erkrankung neben Knochendeformationen zur Frakturanfälligkeit (Palmer 1993). Crias mit Symptomen zeigen verminderte Wachstumsraten, Bewegungsunwilligkeit, vermehrtes Liegen und Lahmheit. Einige

Tiere weisen deformierte Gelenke auf. Vor allem Carpi, Tarsi, Fesselgelenke und die costochondralen Übergänge der Rippen (rachitischer Rosenkranz) sind geschwollen (Fowler 2010, Hill *et al.* 1994, Baumgärtner und Wohlsein 2015). Verminderte Wachstumsraten bei Crias in Australien konnten mit einer Plasmakonzentration von 25-Hydroxycholecalciferol (25-OH-D₃) von weniger als 20 nmol/L beobachtet werden. Bei einem Tier wurden bei einer Plasmakonzentration von 7 nmol/L klinische Anzeichen einer Rachitis sichtbar (Judson und Feakes 1999). Hypophosphatämie unter 0,97 mmol/L findet man diagnostisch am häufigsten neben röntgenologischen Veränderungen (Fowler 2010, Van Saun *et al.* 1996).

Saisonale Häufung traten in den Monaten Dezember bis März in nördlichen Breiten Nordamerikas auf (Van Saun *et al.* 1996, Smith und Van Saun 2001). Im Sommer geborene Crias weisen signifikant höhere Vitamin D-Konzentrationen in den ersten sieben Lebensmonaten auf als in Herbst und Winter geborene Crias (Smith und Van Saun 2001). Letztere verfügen über keine Vitamin D-Reserven des Sommers, sodass sie im Vergleich zu Crias, die im Frühling bzw. Sommer geboren wurden, in der Phase des schnellen Wachstums sehr niedrige Konzentrationen von Vitamin D und Phosphat aufweisen (Van Saun 2006). Folglich scheint ein Rachitis-Hypophosphatämie-Syndrom von Lamas und Alpakas durch einen Vitamin D-Mangel verursacht zu werden (Van Saun *et al.* 1996).

Die Vitamin D-Versorgung der Muttertiere während der Trächtigkeit spielt ebenfalls eine wichtige Rolle. Bei unzureichender Versorgung während der fetalen Entwicklung, insbesondere während des dritten Trimesters, steigt das Risiko für Gelenksdeformationen der Gliedmaßen beim Fetus stark an (Smith und Van Saun 1996). Da Vitamin D als fettlösliches Vitamin die Plazenta nicht effektiv passieren kann, sind Neonaten auf eine hohe Dosis von Vitamin D über das Kolostrum angewiesen. Die Konzentration ist wiederum von dem Vitamin D-Status des Muttertieres abhängig (Smith und Van Saun 2001). Bei einer unzureichenden Intensität von UV-Strahlen sinkt die cutane Synthese von Vitamin D ebenso wie die Vitamin D-Konzentration im Kolostrum (Jankovsky und Newman 2017). Laut Fowler (2010) enthält Milch natürlicherweise kein Vitamin D. Daher sind Crias, die aufgrund äußerer Umstände keiner Sonnenexposition ausgesetzt sind, gefährdet eine Hypovitaminose D zu entwickeln. Dies könnte die Pathogenese von Rachitis bei Crias und Absetzern darstellen.

Zusammenfassend sind Crias, die im Herbst und Winter geboren werden, aufgrund geringer Serum-Vitamin D-Konzentrationen, geringer Vitamin D-Konzentrationen im Kolostrum und geringer Sonnenexposition dem höchsten Risiko ausgesetzt Rachitis und Knochendeformationen zu entwickeln (Smith und Van Saun 2001).

Ein Vitamin D-Mangel führt unter anderem zu einer Hypokalzämie (Erben 2009). Die Calciumhomöostase ist allerdings strikt geregelt. Befindet sich zu wenig Calcium im Plasma, wird aus dem Calciumdepot in Knochen, Gewebe und Zellorganellen Calcium mobilisiert (Littledike und Goff 1987). Diese Wirkung wird durch das Polypeptid Parathormon vermittelt. Es führt neben einer vermehrten Freisetzung von Calcium und Phosphat aus den Knochen zu einer gesteigerten Calcitriolsynthese und verminderten 24,25-Dihydroxy-Cholecalciferolsynthese ($24,25(\text{OH})_2\text{-D}_3$) in den Nieren. Zusätzlich wird die intestinale Calciumresorption erhöht. Zusammenfassend dienen diese Stoffwechselvorgänge einer Erhöhung des Serumcalciumspiegels. Zeitgleich sinkt das Serumphosphat aufgrund einer durch Parathormon einsetzenden Phosphaturie (Erben 2009, Littledike und Goff 1987) und einer Hemmung der Resorption in den Nieren (Fromm und Gäbel 2009, Littledike und Goff 1987).

Wie bereits beschrieben wird das anfallende Serumphosphat aufgrund der Wirkung von Parathormon schnell über den Harntrakt exkretiert (Littledike und Goff 1987). Im Vergleich zu anderen Spezies spielt dieser Regulationsweg bei Wiederkäuern eine untergeordnete Rolle. Wiederkäuer nutzen vermehrt den Regulationsweg des Recyclings von Phosphat über den Speichel, in welchen das Phosphat abgegeben wird. Aufgrund der oben genannten Regulationsvorgänge, führt ein Vitamin D-Mangel zu einer verminderten Phosphatabsorption. Die Kombination von Phosphatausscheidung über die Niere und Phosphatverlust über den Speichel, kann zu einer Hypophosphatämie bei physiologischen Calciumwerten führen (Parker *et al.* 2002). Auch Smith und Van Saun (1996) beobachteten, dass ein bestehender Vitamin D-Mangel sekundär zu einer Hypophosphatämie führt.

Im Gegensatz zu Monogastriern führt ein Phosphatmangel bei Wiederkäuern nicht zu einer vermehrten Bildung von $1,25(\text{OH})_2\text{-D}_3$ in der Niere (Wolffram und Scharrer 2009), wodurch wiederum eine gesteigerte Phosphatabsorption erfolgen würde (Erben 2009). In den USA (Smith und Van Saun 1996) und in Neuseeland (Hill *et al.* 1994) wurden bei Lamas und Alpakas Lahmheiten, Rachitis und Wachstumsstörungen beobachtet, assoziiert mit niedrigem Blutphosphatkonzentrationen.

Einem Abfall der Vitamin D-Konzentration folgt verzögert eine Reduktion der Knochendichte (Parker *et al.* 2002). Daher führen die Variationen der Vitamin D-Konzentrationen im Serum zu einer Anfälligkeit von Frakturen der langen Röhrenknochen (Parker *et al.* 2002).

Wird zu viel Vitamin D substituiert, kann es vor allem bei Jungtieren zu metastatischen Verkalkungen von Organen und Gewebe kommen. Besonders betroffen sind Basalmembranen beispielsweise von Nierentubuli und Glomeruli, elastische Fasern von Lunge und arteriellen Gefäßen, Epi- und Endokard und die Magenschleimhaut (Baumgärtner und Wohlsein 2015). Jankovsky und Newman (2017) konnten bei einem Cria einer nordamerikanischen Herde mit über 75 Tieren zusätzlich Mineralisierungen im Plexus choroideus nachweisen. Individuelle Empfindlichkeiten scheinen ebenfalls eine Rolle zu spielen, da andere Crias dieser Herde mit äquivalenter Vitamin D-Versorgung keine Symptome zeigten. Klinische Anzeichen einer Vitamin D-Intoxikation können aufgrund einer langen funktionellen Halbwertszeit von Cholecalciferol und seiner Metaboliten zeitlich verzögert auftreten. Nach primärer Speicherung in Leber und Fettgewebe werden sie bis zu 30 Tage lang freigesetzt (Rumbeiha 2013). Wagener *et al.* (2021) beschreiben die Auswirkungen einer akzidentiellen ca. 40-fachen Überdosierung (68.000-78.000 I.E./kg) von Vitamin D innerhalb von ein bis zwei Wochen und konnten wie Jankovsky und Newman (2017) individuelle Empfindlichkeiten bestätigen. Drei von zwölf Crias entwickelten unspezifische klinische Symptome wie Mattigkeit und respiratorische Probleme. Im Plasma konnten eine schwere Azotämie, Hyperkalzämie und Hyperphosphatämie nachgewiesen werden. Darüber hinaus zeigten sich eine hochgradige gestörte Nierenfunktion durch glomeruläre Schädigungen, sowie Verkalkungen verschiedener Organe. Besonders betroffen waren Nieren, Lunge und Leber. Bei einer acht Jahre alten Alpakastute, die im November 2014 und im Januar 2015 jeweils 500.000 I.E. Vit-D₃ intramuskulär appliziert bekam, kam es zu einer dystrophischen Mineralisierung der linken Nierenarterie. Die Stute wurde durch einen spontanen Abort mit Uterusprolaps und Plazentaablösung auffällig. Anschließend kam es zu einer Hämorrhagie durch Ruptur des Nierenhilus, der das Tier erlag. Eine Hypervitaminose D wurde als wahrscheinlichste Ursache für die Mineralisierung der Nierenarterie benannt (Tavella *et al.* 2016).

Semevolos *et al.* (2013) untersuchten bei Lamas und Alpakas mit metacarpo- und metatarsophalangealer Hyperextension einen möglichen Einfluss der

Serumkonzentration von Vitamin D. Dieser konnte nicht nachgewiesen werden. Klinisch auffällige Tiere zeigten in Sommermonaten dennoch eine signifikant höhere Vitamin D-Konzentration im Serum als Tiere ohne dieses klinische Bild.

Zu einer UV-induzierten Hypervitaminose kann es aufgrund körpereigener Schutzmechanismen nicht kommen (Erben 2009).

2.2 Stoffwechsel von Vitamin D bei Herbivoren

Vitamin D ist kein Vitamin im klassischen Sinne. Es kann nicht nur mit der Nahrung aufgenommen werden, sondern wird bei vielen Spezies auch in der Haut unter UV-Bestrahlung aus 7-Dehydrocholesterol (Provitamin D₃) bzw. Ergosterol (Provitamin D₂) endogen gebildet. Über pflanzliche Nahrung oder Mikroorganismen kann es als Ergocalciferol (Vitamin D₂) oder dessen Vorstufe Ergosterol aufgenommen werden (Schweigert 2009). Vitamin D₂ entsteht in Pflanzen unter UV-Strahlung aus Ergosterol (Fowler 2010). Die Vorstufe Ergosterol liegt allerdings deutlich häufiger vor (Schweigert 2009). In Weidepflanzen ist die Vitamin D₂-Konzentration sehr gering, getrocknetes Heu stellt allerdings eine gute Vitamin D₂-Quelle dar (Fowler 2010). Cholecalciferol (Vitamin D₃) oder dessen Vorstufe 7-Dehydrocholesterol werden fast ausschließlich über tierische Nahrung aufgenommen (Schweigert 2009), daher ist es in der natürlichen Nahrung vom Neuweltkameliden nicht enthalten (Parker *et al.* 2002). Beide Formen, Vitamin D₃ und Vitamin D₂, wirken beim Säuger gleich stark (Erben 2009).

Da es sich beim Vitamin D um ein Steroidhormon handelt, ist für die intestinale Resorption im Dünndarm eine intakte Fettverdauung erforderlich. Nach alimentärer Aufnahme der Vorstufen Provitamin D₂ und Provitamin D₃, findet in der Haut eine fotochemische Umwandlung in Vitamin D₂ bzw. Vitamin D₃ statt (Schweigert 2009). Unter UVB-Strahlen spaltet sich der B-Ring des Sterangerüsts von 7-Dehydrocholesterol auf. So entsteht Prävitamin D₃. Nach thermischer Umlagerung entsteht das Secosteroid Vitamin D₃. Diese Reaktion dauert bei Körpertemperatur relativ lange. So erreichen die Prävitamin D₃-Konzentrationen bei UV-Bestrahlung der Haut nach wenigen Stunden ein Maximum. Bei weiterer UV-Bestrahlung entstehen aus dem Prävitamin D₃ die biologisch inaktiven Substanzen Lumisterol und Tachysterol, die eine Reservoirwirkung besitzen. Bei sinkenden Prävitamin D₃-

Konzentrationen und ausbleibender Sonnenexposition werden sie wieder in Prävitamin D₃ umgewandelt (Erben 2009). Nach der alimentären Aufnahme oder endogener Bildung von Vitamin D (Vitamin D₂ und Vitamin D₃) folgt die Bindung an das Vitamin D-Bindungsprotein (DBP) und Albumin im Blut (Littledike und Goff 1987, Erben 2009). Dies stellt neben dem Fettgewebe die zweite wichtige Speicherform dar. Die Leber stellt beim Säuger keinen Speicherort dar (Erben 2009). Über das Blut wird Vitamin D in die Leber transportiert, wo eine erste Hydroxylierung am C25-Atom zu 25-Hydroxycholecalciferol (Calcidiol) erfolgt. In der Niere schließt sich eine zweite Hydroxylierung am C1-Atom zu 1,25-Dihydroxy-Cholecalciferol (Calcitriol) an (Littledike und Goff 1987). Abgesehen von der Plazenta während einer Gravidität, stellt die Niere unter physiologischen Bedingungen die einzige Quelle für 1,25(OH)₂-D₃ dar (Erben 2009). Die Aktivität der 1-Hydroxylase in der Niere wird streng reguliert (Schweigert 2009). Parathormon und niedrige Serumkonzentrationen vom Calcium und Phosphat stimulieren das Enzym, durch Calcitriol und Phosphat wird das Enzym gehemmt. Der Fibroblast Growth Factor-23 (FGF-23) supprimiert die Expression des Proteins und hemmt die renale Phosphat-Reabsorption. Der Faktor wird von Osteozyten sezerniert. Stimuliert wird die Sezernierung unter anderem durch Calcitriol und Phosphat. Dementsprechend liegt eine negative Feedback-Achse zwischen Knochen und Niere vor (Erben 2009). 1,25(OH)₂-D₃ und hohe Phosphatkonzentrationen stimulieren in der Niere eine Hydroxylierung am 24. Kohlenstoffatom zu 24,25(OH)₂-D₃ (Abbildung 1). Dadurch wird das Substrat praktisch inaktiviert, da die biologische Aktivität etwa um den Faktor 10.000 herabgesetzt wird. Durch Parathormon wird dieser Schritt gehemmt (Erben 2009). Zu einer UV-induzierten Hypervitaminose kann es aufgrund dieser körpereigenen Schutzmechanismen und über obengenannte Photokonversion nicht kommen (Erben 2009). Hines *et al.* (1986) konnten bei Ziegen beobachten, dass alimentäre Calciumgaben die Konzentration von 1,25-(OH)₂D₃ signifikant verringern, alimentäre Vitamin D₃-Gaben hatten keinen Effekt.

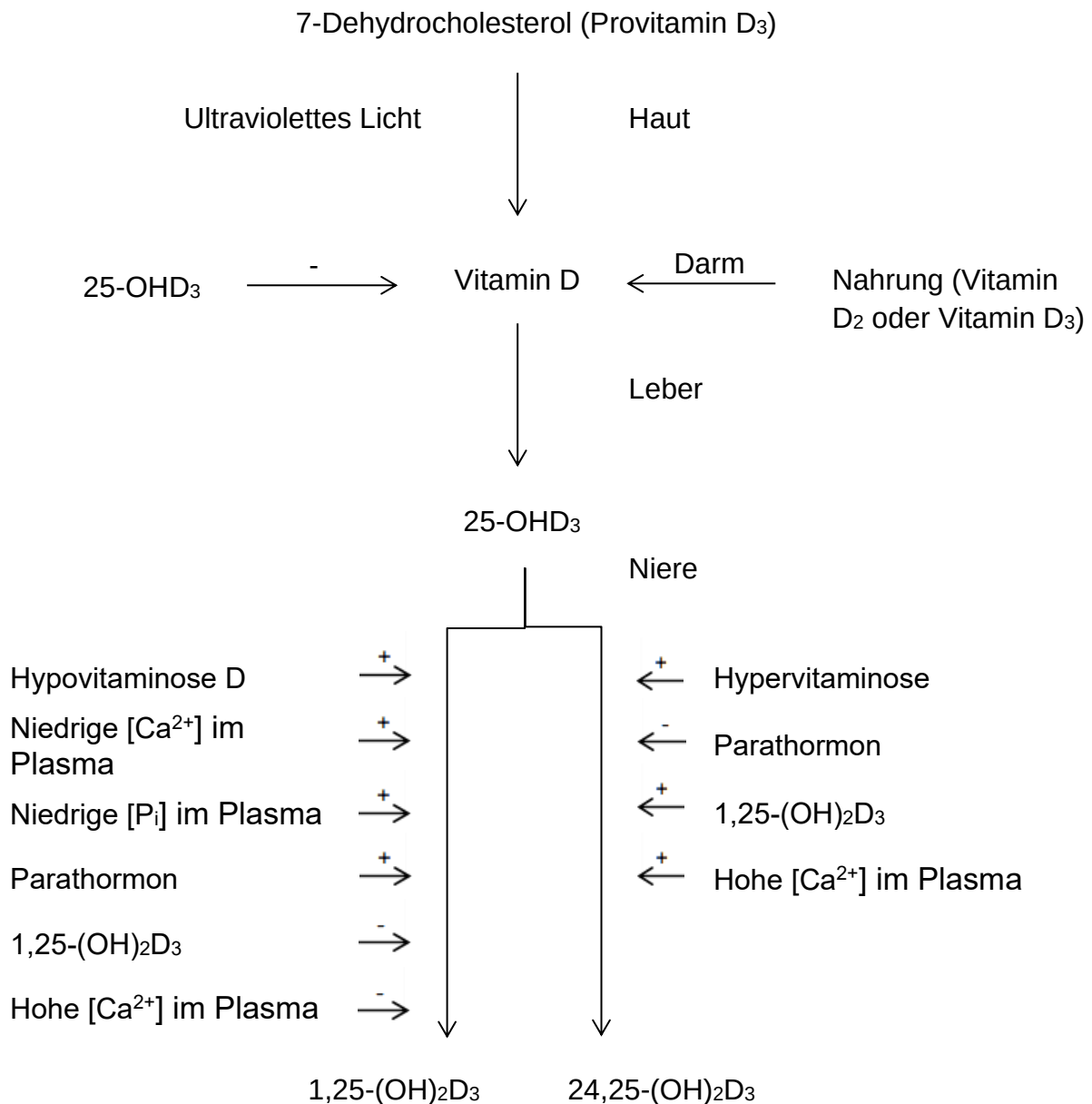


Abb. 1: Schema des Vitamin D-Metabolismus und Einflüsse auf die Synthese von 1,25(OH)₂-D₃ bzw. 24,25(OH)₂-D₃ (Horst 1986).

Säugetiere sind in der Lage Cholesterol selbst zu synthetisieren und dieses als Ausgangssubstanz für die Vitamin D-Synthese zu verwenden. Daher ist eine Hypovitaminose meist Produkt einer unzureichenden fotochemischen Umwandlung des Provitamins in das eigentliche Vitamin (Baumgärtner und Wohlsein 2015). Hinzukommend werden ca. 80 – 90 % des Vitamin D-Bedarfs bei Herbivoren über die kutane Synthese gedeckt (Erben 2009). Voraussetzung dafür ist eine ausreichende Intensität der Sonneneinstrahlung. Die UV-Strahlung in Mitteleuropa ist allerdings nicht

so intensiv wie in den Heimatländern der Neuweltkameliden (Helmer *et al.* 2017, Uhl 2018). Judson *et al.* (2008) konnten zeigen, dass für die endogene Vitamin D-Synthese neben der Sonneneinstrahlung die Fließfarbe und –beschaffenheit ebenfalls eine Rolle spielen. So sind dunkle Tiere der Huacaya-Linie dem größten Risiko einer Vitamin D-Unterversorgung ausgesetzt. Grund für den Einfluss der Vliesfarbe ist das Melanin, welches UV-Strahlung absorbiert. Dadurch steht weniger UV-Strahlung für die photochemische Umwandlung des Provitamins zur Verfügung (Holick 1995).

2.3 Referenzwerte zur Vitamin D-Versorgung bei Neuweltkameliden

Derzeit liegen in Deutschland keine allgemeinen Daten zur Vitamin D-Versorgung (Helmer *et al.* 2017) sowie Referenzwerte für Serumvitamin D-Konzentrationen von Neuweltkameliden vor. Im Vergleich zu anderen Wiederkäuern reagieren Lamas und Alpakas signifikant empfindlicher auf einen Vitamin D-Mangel (Van Saun 2005). Die Übertragung von Dosierungen anderer Tierarten kann schnell zu Intoxikationen führen (Helmer 2017). Van Saun (2006) beschreibt, dass Neuweltkameliden weniger empfindlich für Intoxikationen sind im Vergleich zu anderen Spezies. Dosierungen anderer Tierarten sollten dennoch nicht ohne weiteres auf Lamas und Alpakas übertragen werden. Van Saun und Herdt (2014) geben altersabhängige Erwartungswerte für die USA an (Tabelle 1). Konzentrationen unter 25 nmol/L (10 ng/ml) und über 500 nmol/L (200 ng/ml) stellen ein hohes Risiko eines Mangels bzw. einer Intoxikation dar (Van Saun und Herdt 2014). Für die Studie wurden 44 Lamas und Alpakas verwendet. Der jahreszeitliche Verlauf wurde nicht dargestellt, in dem die Serumkonzentration von Vitamin D starken Schwankungen unterliegt (Smith und Van Saun 2001). Gerspach *et al.* (2010) nennen einen Referenzbereich von 50 - 200 nmol/L).

Tab. 1: Altersabhängige Erwartungswerte für Serum Vitamin D-Konzentrationen (25-Hydroxycholecalciferol) bei Lamas und Alpakas (Van Saun und Herdt 2014).

Alter	Erwarteter Bereich	
	nmol / l	ng / ml
Cria (1 - 6 Monate)	26 - 344	10,4 - 137,6
Absetzer (7 - 12 Monate)	28 - 316	11,2 - 126,4
Jährling (13 - 24 Monate)	40 - 359	16 - 143,6
Adult (> 24 Monate)	30 - 414	12 - 165,6

Judson *et al.* (2008) konnten zeigen, dass von der Serumphosphatkonzentration nicht ohne weiteres auf die 25-OH-D₃-Konzentration im Plasma geschlossen werden kann, da niedrige 25-OH-D₃-Konzentrationen nicht immer mit niedrigen Phosphatwerten korrelierten. Darüber hinaus verhält sich die Phosphatkonzentration im Serum von Alpakas ähnlich zu der von Schafen, die Vitamin D-Konzentration von Alpakas wird jedoch deutlich stärker durch wechselnde UV-Exposition beeinflusst (Judson *et al.* 2011). Referenzwerte für Phosphat im Serum reichen also nicht aus, um eine Hypovitaminose D zu diagnostizieren. Trotz fehlender einheitlicher Referenzwerte für Vitamin D, werden in der Literatur verschiedene Serumkonzentrationen für das Auftreten von Rachitis beschrieben. Dennoch sind keine Mindestwerte für eine ausreichende Serumkonzentration von Vitamin D bekannt (Van Saun *et al.* 1996). Die Autoren beobachteten klinische Ausprägungen einer Rachitis ab einer Plasmakonzentration von 25-OH-D₃ von 15 nmol/L. Van Saun und Herdt (2014) nennen 10 ng/ml (25 nmol/L) als unteren Grenzwert, bei dessen Unterschreitung klinisch Rachitis sichtbar wird. Verminderte Wachstumsraten treten bereits bei einer Plasmakonzentration von 25-OH-D₃ unter 20 nmol/L auf (Judson und Feakes 1999, Judson *et al.* 2008). Klinische Rachitis trat bei einem Tier mit einer Plasmakonzentration von 7 nmol/L in Erscheinung (Judson und Feakes 1999).

Smith und Van Saun (2001) untersuchten bei 23 Lamas der Oregon State University Forschungsherde die Vitamin D-Konzentrationen im Serum im Jahresverlauf. Keines der Tiere zeigte klinische Anzeichen einer Rachitis. Die mittlere Vitamin D-Konzentration im gepoolten Serum betrug 65,3 nmol/L (26,1 ng/ml). Die niedrigste bei

Crias gemessene Konzentration betrug $< 25 \text{ nmol/L}$ ($< 10 \text{ ng/ml}$) im Februar, die höchste Konzentration wurde im September gemessen mit $> 175 \text{ nmol/L}$ ($> 70 \text{ ng/ml}$). Bei Jährlingen wurden ähnliche Werte beobachtet, jedoch mit maximalen Konzentrationen im Oktober. Die adulten Tiere zeigten eine geringere Bandbreite der Vitamin D₃-Konzentration im Serum. Die minimalen Konzentrationen (Februar bis April) betrugen stets $> 50 \text{ nmol/L}$ (20 ng/ml), die höchsten Werte (Oktober) erreichten Konzentrationen von $> 250 \text{ nmol/L}$ (100 ng/ml).

Grenzwerte für eine Intoxikation mit Vitamin D sind nicht bekannt. Dennoch gilt die Messung der 25-Hydroxycholecalciferol-Konzentration, der 25-Hydroxyergocalciferol-Konzentration und der 1,25-Dihydroxy-Cholecalciferol-Konzentration im Serum als sichere Diagnose (Fowler 2010). Van Saun (2006) beschreibt eine Applikation von 64.000 I.E./kg Körpergewicht. Obwohl Serumkonzentrationen von Vitamin D und Phosphat im toxischen Bereich für die meisten Spezies waren, konnte keine akute Toxizität festgestellt werden. Eine Applikation von mindestens 100.000 I.E. bei einem Cria in den USA führte laut Jankovsky und Newman (2017) zu einer Vitamin D-Intoxikation, Wagener *et al.* (2021) konnten pathologische Veränderungen bei drei Crias nach Injektion von 1.000.000 I.E. bis 2.000.000 I.E. je nach Körpergewicht beobachten. Gerspach *et al.* (2010) berichten Vitamin D-Konzentrationen über 600 nmol/L bei zwei betroffenen Crias. Travella *et al.* (2016) stellen in einem Fallbeispiel eine Hypervitaminose D einer acht Jahre alten Alpakastute nach zweimaliger Behandlung mit 500.000 I.E. Vitamin D₃ intramuskulär vor. Besteht bereits eine Kalzifizierung, ist eine Behandlung nicht mehr wirksam (Fowler 2010).

2.4 Empfehlungen zur Vitamin D-Versorgung von Neuweltkameliden

Da keine einheitlichen Referenzwerte in der Literatur zu finden sind, ist es nicht verwunderlich, dass sich die Empfehlungen zur Supplementierung bzw. Applikation von Vitamin D unterscheiden. Anhand einer Hochrechnung basierend auf Daten von Schafen und Fleischrindern nennt Van Saun (2006) einen minimalen Bedarf an fettlöslichen Vitaminen (Tabelle 2).

Tab. 2: Empfehlungen des Bedarfs an fettlöslichen Vitaminen bei Lamas und Alpakas in verschiedenen physiologischen Zuständen, basierend auf Daten von Fleischrindern und Schafen (Van Saun 2006).

Nährstoff	Durchschnittlicher Bedarf (I.E./kg) ¹	Hochgerechneter Bedarf		Physiologischer Status ⁴
		Aufnahme (I.E./Tag) ²	Konzentration in der Nahrung (I.E./kg) ³	
Vitamin D	6 ⁵	360 - 960	400 - 480	E, Wa, T, L
	30 ⁶	1800 - 4800	2000 - 2400	E, Wa, T, L

¹ Hochgerechnet vom Bedarf von Fleischrindern und Schafen

² Basierend auf einem Körpergewicht von Adulten von 60-160 kg

³ Auf Basis der Trockenmasse (TM), Nährstoffdichte berechnet anhand von geschätzter TM-Aufnahme zwischen 1,25 % und 1,5 % des Körpergewichts

⁴ E = Erhaltung, Wa = Wachstum, T = Trächtigkeit, L = Laktation

⁵ Aufrechterhaltung von minimalen Vitamin D-Konzentrationen, keine Rachitisprophylaxe

⁶ Angepasst an höheren Vitamin D-Bedarf (25-30 I.E./kg KGW) von Kameliden

In einer weiteren Veröffentlichung beschreibt Van Saun (2006) eine intramuskuläre Applikation von Vitamin D mit einer Dosierung von 1500 - 2000 I.E. Vitamin D pro Kilogramm Körpergewicht, um die Serumkonzentration von Vitamin D für 3 Monate effektiv zu steigern. Diese Dosierung kann präventiv oder therapeutisch eingesetzt werden. Die Bioverfügbarkeit von oral supplementiertem Vitamin D scheint in Lamas und Alpakas niedriger zu sein als in anderen Spezies. Vorläufige Schätzungen legen eine tägliche orale Supplementierung mit einer Dosierung von 33 I.E./kg Körpergewicht nahe, um die Serumkonzentration aufrecht zu erhalten und einer Rachitis vorzubeugen. Bei Unterschreitung dieser Dosierung konnten sinkende

Phosphatwerte, jedoch kein Abfall der Vitamin D-Konzentration im Serum beobachtet werden. Rademacher (2021) untersuchte die Auswirkungen einer einmaligen Vitamin D-Injektion mit 1000 I.E. / kg Körpergewicht bei Alpakas in Norddeutschland. Über 15 Wochen wurde in regelmäßigen Abständen die Vitamin D-Konzentration im Serum gemessen. Diese fiel nach etwa einem Monat ab, nach 15 Wochen war die Serumkonzentration von Vitamin D der meisten Tiere noch über dem Ausgangswert. Die verwendete Dosierung führte bei einigen Tieren zu einer toxischen Vitamin D-Konzentration über mehrere Wochen. Laut Fowler (2010) sollten rachitische Crias ein Depot einer wässrigen Vitamin D-Emulsion subkutan oder intramuskulär appliziert bekommen. Zusätzlich sollte Phosphat als Natrium-Phosphat täglich oral supplementiert werden. Prophylaktisch empfiehlt Fowler (2010) für Crias in den Wintermonaten und in Zeiten schlechten Wetters orale Gaben von 15.000 – 30.000 I.E. Vitamin D₃ alle 2 Wochen. Alternativ kann Vitamin D₃ über Pellets supplementiert werden, die 6000 I.E. Vitamin D₃ pro 0,45 kg Pellets enthalten. Diese werden mit 0,23 kg Pellets pro 45,36 kg Körpergewicht dosiert. Vaughan und Gauly (2011) raten zu einer prophylaktischen Gabe von 2.000 I.E. pro kg Lebendgewicht für gefährdete Crias in Herbst und Winter. Darüber hinaus können Tiere in ungünstigen Breiten eine dritte Injektion im Frühjahr erhalten. Stuten, deren Geburtstermin in die kalte Jahreszeit fällt, sollten 6 Wochen vor dem Geburtstermin mit Vitamin D versorgt werden. In Südaustralien scheint eine subkutane Dosis von 1000 I.E. D₃/kg Körpergewicht in Spätherbst und Winter bei Crias und im Winter bei adulten Stuten eine ausreichende Vitamin D-Versorgung in Winter und Frühling zu gewährleisten und einer Hypophosphatämie vorzubeugen. Eine Dosierung von 2000 I.E. D₃/kg Körpergewicht der ersten Injektion gewährleistet einen längeren Schutz gegen eine Vitamin D-Unterversorgung, ersetzt jedoch nicht die Notwendigkeit einer zweiten Injektion bei Crias (Judson und Feakes 1999). In der durchgeführten Studie teilten die Autoren die Probanden (15 Crias und 15 adulte Weibchen) drei verschiedenen Behandlungsgruppen zu: 0 I.E. D₃/kg Körpergewicht, 1000 I.E. D₃/kg Körpergewicht und 2000 I.E. D₃/kg Körpergewicht. Über einen Zeitraum von 16 Wochen (Mai bis September) wurden zwei und sieben Tage nach der Behandlung, sowie zwei, vier, sieben, elf und sechzehn Wochen nach der Behandlung, Blutproben entnommen und auf ihre 25-OH-D₃-Konzentration untersucht. Van Saun und Herdt (2014) betonen, dass bei Vitamin D-Konzentrationen von 30 nmol/L oder weniger, eine Supplementierung erfolgen sollte.

3 Material und Methode

3.1 Tiere

Die Tierklinik für Reproduktionsmedizin und Neugeborenenkunde betreut in Hessen verschiedene Alpaka- und Lamabetriebe. Im Rahmen dieser tierärztlichen Bestandsbetreuung wurden vier Betriebe in Mittelhessen für eine Erhebung des Vitamin D-Status der Tiere ausgewählt. Zwei davon sind auf Alpakas spezialisiert und halten Tiere des Suri- und Huacaya-Schlages. Im Betrieb Alpaka 1 wurden 20 Suri-Alpakas und 4 Huacaya-Alpakas, im Betrieb Alpaka 2 6 Suri- und 14 Huacaya-Alpakas beprobt. Die anderen zwei Betriebe halten ausschließlich Lamas. Die Nutzung der Alpakas besteht in beiden Betrieben in der Vliesproduktion und in der Zucht. Die Lamabetriebe nutzen die Tiere nicht zur Vliesproduktion. Im Betrieb Lama 1 stehen Zucht und Hobby im Vordergrund, Betrieb Lama 2 nutzt die Tiere neben der Zucht für Trekking. Die vier Betriebe verfolgen verschiedene Strategien der Haltung bezüglich Unterbringung, Fütterung, Supplementierung von Vitaminen und Mineralien und Prophylaxe von Parasiten. Blutproben wurden repräsentativ im Jahresverlauf entnommen. In allen Betrieben findet eine Kombination zwischen Freiland- und Stallhaltung statt, wobei die Zeit im Freien zwischen den Betrieben differiert (Tabelle 3).

Tab. 3: Durchschnittliche Freilandaufenthalte der Neuweltkameliden in den verschiedenen Betrieben zu den Blutabnahmetermen.

	Zeitraum der Blutentnahme im Jahr 2012 und 2013			
Betrieb	22. - 24.10.	28. - 30.01.	16. - 18.04.	30.07 - 01.08.
Alpaka 1	6 - 8 Std.	0 Std.	24 Std.	7 - 9 Std.
Alpaka 2	10 Std.	9,5 Std.	10 Std.	11,5 Std.
Lama 1	24 Std.	24 Std.	24 Std.	24 Std.
Lama 2	24 Std.	24 Std.	24 Std.	24 Std.

Die Betriebe setzten unterschiedliche Futtermittel ein. Die Unterschiede sind in Tabelle 4 gegenübergestellt.

Tab. 4: Übersicht zum Futterangebot in den Betrieben.

Betrieb	Futter
Alpaka 1	Heu, Gras und Müsli für Alpakas
Alpaka 2	Alpaka und Co (Marstall), Gras, Heu und Luzerne, Mineralleckstein
Lama 1	Gras, Heu, Mineralfutter für Schafe und Müsli für Kameliden, Weibchen erhalten in Wintermonaten zusätzlich Lammgold
Lama 2	Getreide (Hafer, Mais, Gerste), teilweise Kraftfutter, Heu und Silage

Bei der Vitaminversorgung werden unterschiedliche Strategien verfolgt. Diese sind in Tabelle 5 dargestellt. Appliziert werden die Vitamine per injectionem.

Tab. 5: Präparate und Strategien der Vitaminversorgung.

Betrieb	Vitamine	Termine Vitamingaben
Alpaka 1	Ursovit (A, D ₃ , E)	Dezember, Januar/ Februar
Alpaka 2	Vitamin A, D, E Vitamin E + Selen	September 2012 Vitamin A, D, E + Selen März 2013 Vitamin E + Selen April 2013 Weibchen (über 1 Jahr) Vitamin A, D, E Jungtiere im ersten Lebensmonat

Fortsetzung Tab. 5

Lama 1	Vitamin A, D, E + Selen	Mai 2012
	Ursovit (A, D ₃ , E)	Januar 2013
Lama 2	Keine	Keine

Zur Prophylaxe und Behandlung von Parasiten werden ähnliche Präparate angewendet (Tabelle 6).

Tab. 6: Angewendete Antiparasitika und Termine deren Applikation.

Betrieb	Antiparasitikum	Termine der Applikation
Alpaka 1	Zolvix (Moneoantel)	Männchen und zwei Weibchen 12.2012, alle 06./07.2013
	Ivomec (Ivermectin)	08.2012
Alpaka 2	Ivomec	23.08.2012 außer Tiere bis 14 Monate 03./04.2013 (4 Tiere nicht, Grund unbekannt)
	Panacur (Fenbendazol)	23.08.2012 außer Tiere bis 1,5 Jahre
	Zolvix, Valbazen (Albendazol)	Einzeltierbehandlung am 22.12.11, 23.05.12, 04.10.12
	Vecoxan (Diclazuril)	Einzeltierbehandlung (2) am 09.,25.07.13
Lama 1	Qualimec (Ivermectin)	2-mal im Jahr im Wechsel
	Ivomec	
	Cydectin (Moxidectin)	
Lama 2	Dectomax (Doramectin)	1-mal im Jahr

Die Betriebe weisen eine unterschiedliche Altersstruktur auf. Im Betrieb Alpaka 1 beträgt das Durchschnittsalter 3,7 Jahre (8 Monate bis 9 Jahre, Standardabweichung 3,0 Jahre), im Betrieb Alpaka 2 2,5 Jahre (7 Wochen bis 8 Jahre, Standardabweichung 2,3 Jahre), im Betrieb Lama 1 5,9 Jahre (1 Jahr bis 17 Jahre, Standardabweichung 4,7 Jahre) und im Betrieb Lama 2 4,3 Jahre (1 Jahr bis 14 Jahre, Standardabweichung 3,6 Jahre). Das Geschlechterverhältnis ist in Tabelle 7 dargestellt.

Tab. 7: Geschlechterverhältnis der Neuweltkameliden in den Betrieben.

Betrieb	Männlich	Weiblich
Alpaka 1	11	13
Alpaka 2	4	16
Lama 1	13	8
Lama 2	6	14

In drei Betrieben wurden im Zeitraum der Probenentnahme gesundheitliche Probleme beobachtet. In Betrieb Lama 2 sind derartige Probleme nicht bekannt. Die von den Haltern zeitweise beobachteten Veränderungen sind in Tabelle 8 zusammengefasst. Zum Zeitpunkt der Probenentnahme waren die Tiere klinisch gesund.

Tab. 8: Gesundheitliche Veränderungen der Tiere während des Untersuchungszeitraumes.

Betrieb	Tier		Veränderung
	Geschlecht (W = weiblich. M = männlich)	Alter (Jahre)	
Alpaka 1	W	9	Hautprobleme an Rücken und Ohren
	W	10	Hautprobleme
	W	2	Wachstumsprobleme, struppiges Fell, Milben
	W	4	Struppiges Fell, Fellverlust
	M	2	Hautprobleme Nase, Augen, Fellverlust
	M	1	Hautprobleme am Rücken
Alpaka 2	W	1,3	Durchfall (3 Tage)
	W	5	Wässriger Durchfall (2 Tage)
	W	2	Milben an Vordergliedmaßen, wässriger Durchfall (3 Tage)
	W	2	Durchfall (1 Tag)
	W	1,5	Wässriger Durchfall (1 Tag)
	W	2	Würmer und Kokzidien

Fortsetzung Tab. 8

Betrieb	Tier		Veränderung
	Geschlecht (W = weiblich. M = männlich)	Alter (Jahre)	
Lama 1	W	9	Hautprobleme v.a. im Sommer
	W	8	Hautprobleme
	M	5	Hautkrusten v.a. im Sommer

3.2 Probenentnahme

Über einen Zeitraum von einem Jahr wurden die Tiere jeweils vier Mal beprobt. Dazu wurden im Oktober 2012, im Januar, im April und im Juli/ August 2013 44 Alpakas (15 männlich, 29 weiblich) und 41 Lamas (19 männlich, 22 weiblich) Blutproben entnommen. Es konnten nicht an allen Terminen alle Tiere beprobt werden, da Tiere verkauft wurden, verstorben sind oder die Besitzer die Tiere schonen wollten (Tabelle 9). Die Blutproben wurden von Tierärzten genommen, die zum jeweiligen Zeitpunkt mit der Bestandsbetreuung der Betriebe betraut waren.

Tab. 9: Anzahl der Blutentnahmen von männlichen (M) und weiblichen (W) Tieren an den vier Entnahmetermen in den ausgewählten Betrieben.

Betrieb	Termin 1 Oktober		Termin 2 Januar		Termin 3 April		Termin 4 Juli / August	
Geschlecht	M	W	M	W	M	W	M	W
Alpaka 1	11	13	10	13	10	11	10	13
Alpaka 2	5	15	5	14	5	14	5	11
Lama 1	13	7	13	8	13	7	11	7
Lama 2	6	14	6	14	6	14	6	14

Nach Fixierung der Tiere wurde die Entnahmestelle der Vena jugularis desinfiziert und die Vene distal manuell gestaut. Mit einer Kanüle (rosa, 18G x 1 ½, Ø 1,2 x 40mm) der Firma B. Braun Sterican® wurden 9 ml in eine Heparin-Monovette® (92 x 16mm) der Firma Sarstedt AG & Co zur Überprüfung des Gesamteiweiß, der Aspartataminotransferase-, der Glutamatdehydrogenase- und der GAMMA-Glutamyltransferase-Aktivität entnommen. Neun ml wurden in eine Serum-Monovette® (92 x 16mm) der Firma Sarstedt AG & Co zur Untersuchung von Vitamin D, Gesamtcalzium und Natrium entnommen.

3.3 Probenaufbereitung

Die Serumröhrchen wurden alsbald mit 4000 Umdrehungen pro Minute (RPM) durch die Zentrifuge Rotina 35 R der Firma Hettich zentrifugiert und das Serum bei -20°C eingefroren. Zur Bestimmung der Vitamin D (25-OH)-Konzentration wurden davon jeweils 1 ml in Serumröhrchen an die Firma Synlab GmbH Augsburg gekühlt geschickt.

3.4 Labordiagnostische Bestimmung

3.4.1 Vitamin D

Zur Analyse der Vitamin D (25-OH)-Konzentrationen verwendete die Firma Synlab GmbH Augsburg ein Chemilumineszenz-Immunoassay (CLIA). Bei dieser Methode wird Vitamin D (25-OH) als Antigen gemessen, indem das natürliche Vitamin mit enzymmarkiertem Vitamin um Bindungsstellen spezifischer Antikörper konkurrieren muss. Die Antikörper sind an das Reagenzgefäß fixiert und die Menge enzymmarkierten Vitamins ist bekannt. Im nächsten Schritt wird nicht gebundenes Vitamin ausgewaschen. Nach Zugabe einer Chemolumineszenz-Substratlösung werden Relative light units (RLU) mittels Luminometer gemessen. Die Lichtemission verhält sich proportional zur vorliegenden Enzymmenge und antiproportional zur Vitamin D (25-OH)-Konzentration in der Serumprobe (Griebisch und Neiger 2013).

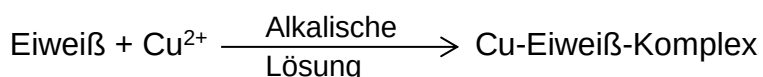
3.4.2 Weitere labordiagnostische Parameter

Die Parameter Gesamteiweiß, Aktivitäten der Aspartataminotransferase, der Glutamatdehydrogenase und der Gamma-Glutamyltransferase wurden in der Tierklinik für Reproduktionsmedizin und Neugeborenenkunde der Justus-Liebig-Universität mittels Spektralphotometer EPAC 6140 (Eppendorf) gemessen. Gesamtcalcium und Natrium wurden mit dem Flammphotometer EFOX 5053 (Eppendorf) ermittelt. Diese Laborarbeiten wurden vom Verfasser unter Anleitung und Aufsicht der Labormitarbeiterinnen selbstständig durchgeführt und anschließend analysiert.

3.4.2.1 Gesamteiweiß

Für die photometrische Messung bzw. die quantitative *in vitro*-Bestimmung des Gesamteiweißes wurde die Reagenz LT-TP 0253 für Humanserum oder –plasma der Firma Labor + Technik Eberhard Lehmann GmbH verwendet. Es handelt sich um einen colorimetrischen Test (Biuret-Reaktion), bei der zweiwertiges Kupfer mit der Peptidbindung der Proteine in alkalischer Lösung reagiert. Die Farbintensität des entstehenden Biuretkomplexes ist direkt proportional zur Eiweißkonzentration.

Reaktionsprinzip:



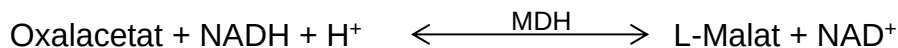
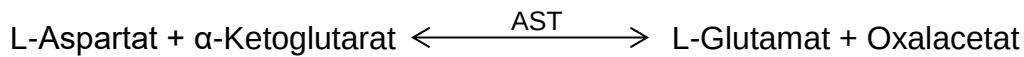
Gemessen werden die Serumproben nach Zentrifugation mit einer Wellenlänge von 546 nm. Die untere Nachweisgrenze liegt bei 2,0 g/L, die Messtemperatur bei 25 – 37°C.

3.4.2.2 Aspartataminotransferase (AST)

Die quantitative *in vitro*-Bestimmung der AST-Aktivität wird photometrisch durchgeführt. Das Reagenz der Firma Labor + Technik Eberhard Lehmann LT-AS

0003 für Humanserum oder -plasma wird hierzu verwendet. Es handelt sich um die optimierte Standardmethode nach Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Klinische Chemie.

Reaktionsprinzip:

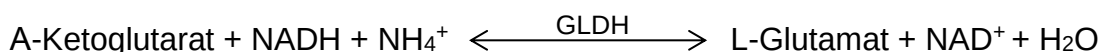


Gemessen wird nach Zentrifugation bei einer Wellenlänge von 340 nm. Die untere Nachweisgrenze liegt bei 2 I.E./L, die Messtemperatur bei 37°C.

3.4.2.3 Glutamatdehydrogenase (GLDH)

Die GLDH-Aktivität wird nach der optimierten Standardmethode der Deutschen Gesellschaft für Klinische Chemie mithilfe der Reagenz LT-GD 0010 für Humanserum oder -plasma der Firma Labor + Technik Eberhardt Lehmann GmbH gemessen. Mit einer Wellenlänge von 340 nm wird eine quantitative *in vitro*-Bestimmung durchgeführt.

Reaktionsprinzip:

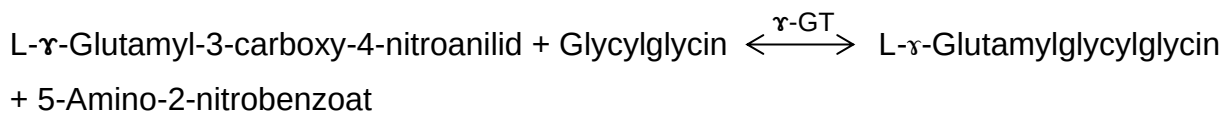


Die untere Nachweisgrenze beträgt 0,2 I.E./L, die Messtemperatur 37°C.

3.4.2.4 Gamma-Glutamyltransferase (γ -GT)

Die photometrische *in vitro*-Bestimmung der Gamma- Glutamyltransferase-Aktivität in Serum oder Plasma wird mit den Reagenzien LT-GT 0063 und LT-GT 0123 der Firma Labor + Technik Eberhardt Lehmann GmbH durchgeführt. Die quantitative *in vitro*-Bestimmung beruht auf einem enzymatischen Farbttest, bei dem die γ -GT den γ -Glutamylrest von L- γ -Glutamyl-3-carboxy-4-nitroanilid auf Glycylglycin überträgt. Dabei wird 5-Amino-2-nitrobenzoat freigesetzt, welches somit proportional zur Aktivität der γ -GT anfällt.

Reaktionsprinzip:



Die untere Nachweisgrenze ist nicht angegeben, die Messtemperatur beträgt 37°C.

3.4.2.5 Gesamtcalcium

Bei der Flammenfotometrie nach Leitlinienprinzip wird das gelöste Messelement fein verteilt in eine nicht leuchtende Flamme in einer Verdünnungslösung mit Lithium als Leitelement gebracht. Die charakteristische Lichtfarbe von Leit- und Messelement wird gemessen. Veränderungen der Zerstäubung, des Gas- und Luftdrucks wirken sich auf Leit- und Messelement annähernd gleich aus. Die Probe sendet ein spezifisches Messsignal aus, welches im Anschluss mit einer Standardlösung verglichen wird. Änderungen der Lithiummessung werden in einen Korrekturfaktor übertragen, um den die Probe korrigiert wird.

Der Messbereich für Calcium liegt zwischen 1,00 und 5,00 mmol/L. Gemessen wird bei einer Wellenlänge von 622 nm.

3.4.2.6 Natrium

Das Messprinzip ist identisch mit der Gesamtcalciummessung. Natrium wird mit einer Wellenlänge von 589 nm in einem Messbereich zwischen 80 und 180 nm gemessen.

3.5 Statistik

Die erhobenen Daten und die Ergebnisse der Blutuntersuchung wurden mittels Microsoft Excel 2010 erfasst und verwaltet. Die Durchführung der statistischen Analysen und Rechnungen wurden von der Arbeitsgruppe Biomathematik und Datenverarbeitung, Fachbereich Veterinärmedizin, der Justus-Liebig-Universität Gießen übernommen. Für die einfache Datenbeschreibung wurde das Programm BMDP1D (BMDP Statistical Software, Inc.) verwendet.

Zur Bearbeitung der Fragestellung „Besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen Tierart, Rasse, Vliesfarbe, Geschlecht, Alter, Jahreszeit und dem Vitamin D-Status im Blut?“ wurde eine multiple Regressionsanalyse mit Messwiederholungen (generalised linear mixed models: glmm) durchgeführt. Hierbei wurde zusätzlich eine Wechselwirkung zwischen Tierart (Alpaka oder Lama) und Fellstruktur bzw. Rasse (Huacaya oder Suri bzw. Woolly oder Classic) überprüft. Die Notwendigkeit einer Logarithmierung wurde mittels Diagnoseplots festgestellt (Residualanalyse). Dazu wurden die jeweiligen Variablen der Jahreszeit und dem individuellen Tierfaktor gegenübergestellt. Die Variablen Vitamin D, GGT, AST und GLDH wurden für nachfolgende Rechenläufe logarithmiert. Die Durchführung der multiplen Regressionsanalyse mit Messwiederholungen erfolgte mithilfe des Statistikprogrammes R 3.2.3 (2015-12-10), R-Bibliothek: lme4, Funktion: lmer. Es handelt sich um ein „partiell hierarchisches linear mixed effects model“, da sowohl fixe Faktoren (Jahreszeit, Tierart, Geschlecht, Fellfarbe, Fellstruktur und Vitamin D-Substitution), als auch zufällige Faktoren (Tiernummer) in die Berechnungen eingehen. Bei der Tiernummer handelt es sich um einen zufälligen Faktor, da bei gleichen äußeren Bedingungen stets individuelle Tierunterschiede auftreten. Die hierarchische Struktur ist in diesem Falle zu vernachlässigen, da zu jedem Beprobungszeitpunkt alle Tiere nur einmal beprobt wurden. Für nominale (= qualitative) Einflussfaktoren mit über zwei Stufen (betrifft Jahreszeit) wurde zusätzlich ein Wald-Test durchgeführt. Zur Beantwortung der Fragestellung „Ist eine Korrelation zwischen den labordiagnostischen Parametern Gesamteiweiß, Aktivitäten der Aspartataminotransferase (AST), der Glutamatdehydrogenase (GLDH) und der Gamma-Glutamyltransferase (GGT), Gesamtcalcium und Natrium und dem Vitamin D-Status im Blut zu erkennen?“ wurde zunächst der rohe Zusammenhang zwischen der Vitamin D-Konzentration und den einzelnen labordiagnostischen Parametern überprüft. Dazu wurde mit dem Programm BMDP6D (BMDP Statistical Software, Inc.) eine paarweise Regressions- und Korrelationsanalyse angewendet. Anschließend erfolgte mithilfe des Statistikprogrammes R 3.2.3 (2015-12-10), R-Bibliothek: lme4, Funktionen: lmer (), eine multiple schrittweise Regressionsanalyse mit Modellreduktion. Hierbei werden alle Einflussgrößen parallel betrachtet und jene Einflussgrößen mit der geringsten Bedeutung schrittweise weggelassen. Es handelt sich auch hier um ein „partiell hierarchisches linear mixed effects model“ mit dem Zufallsfaktor Tiernummer.

4 Ergebnisse

4.1 Labordiagnostische Parameter im Jahresverlauf

Tabelle 10 zeigt die einfache Datenbeschreibung der gemessenen labordiagnostischen Parameter.

Tab. 10: Einfache Datenbeschreibung der labordiagnostischen Parameter Vitamin D-Konzentration, Gesamteiweiß, Aktivitäten der Aspartataminotransferase, der Glutamatdehydrogenase und der GGT, Gesamtcalcium- und Natriumkonzentration für die vier Beprobungstermine, gerundet auf zwei Stellen hinter dem Komma. n = Anzahl der Tiere.

Parameter an den Terminen 1 - 4		n	Arithmetischer Mittelwert	Standard-abweichung	Niedrigster Wert	Höchster Wert
Vitamin D-Konzentration (µg/L)	1	84	370,31	345,15	11,40	1447,00
	2	83	171,63	218,60	8,93	823,00
	3	80	160,08	191,70	14,90	819,00
	4	77	409,11	346,17	20,10	1452,00
Gesamtcalcium (mmol/L)	1	84	2,24	0,02	1,89	2,73
	2	83	2,13	0,02	1,23	2,50
	3	80	2,16	0,02	1,93	2,55
	4	77	2,16	0,01	1,95	2,48
GGT (I.E./L)	1	84	16,08	5,55	8,00	35,00
	2	83	16,24	5,48	7,00	33,00
	3	80	15,50	5,46	6,00	35,00
	4	77	17,00	4,85	7,00	28,00
AST (I.E./L)	1	84	57,27	13,67	30,00	122,00
	2	83	55,27	16,39	29,00	135,00
	3	80	60,94	19,36	37,00	173,00
	4	77	56,43	13,46	36,00	116,00

Fortsetzung Tab. 10

Parameter an den Terminen 1 - 4		n	Arithmetischer Mittelwert	Standardabweichung	Niedrigster Wert	Höchster Wert
GLDH (I.E./L)	1	84	7,52	6,64	1,00	39,00
	2	83	9,46	10,11	2,00	65,00
	3	80	9,98	11,33	3,00	90,00
	4	77	8,78	4,45	2,00	23,00
Gesamtprotein (g/L)	1	84	63,59	6,96	46,14	79,27
	2	83	65,10	5,71	53,79	81,20
	3	80	63,47	6,81	49,20	79,90
	4	77	70,01	6,74	53,80	94,10
Natrium (mmol/L)	1	84	149,45	2,80	141,30	157,40
	2	83	148,45	2,52	142,60	155,70
	3	80	148,08	2,82	140,70	154,20
	4	77	144,45	4,78	133,60	152,90

In Tabelle 11 sind die Vitamin D-Konzentrationen der Tiere betriebsspezifisch dargestellt.

Tab. 11: Arithmetische Mittelwerte der Vitamin D-Konzentrationen in µg/L und deren Standardabweichung in den vier ausgewählten Betrieben. MW = arithmetischer Mittelwert, SA = Standardabweichung.

	Termin 1		Termin 2		Termin 3		Termin 4	
Betrieb	MW	SA	MW	SA	MW	SA	MW	SA
Alpaka 1	289,00	331,19	226,58	197,88	181,86	179,62	368,23	377,12
Alpaka 2	409,65	266,50	93,84	178,51	150,12	157,93	453,11	316,25
Lama 1	664,30	374,37	325,86	258,81	272,57	253,89	642,26	290,80
Lama 2	135,91	144,10	20,41	11,30	34,19	11,13	211,07	252,16

Abbildung 2 zeigt die saisonale Variabilität der Serumkonzentration von Vitamin D.

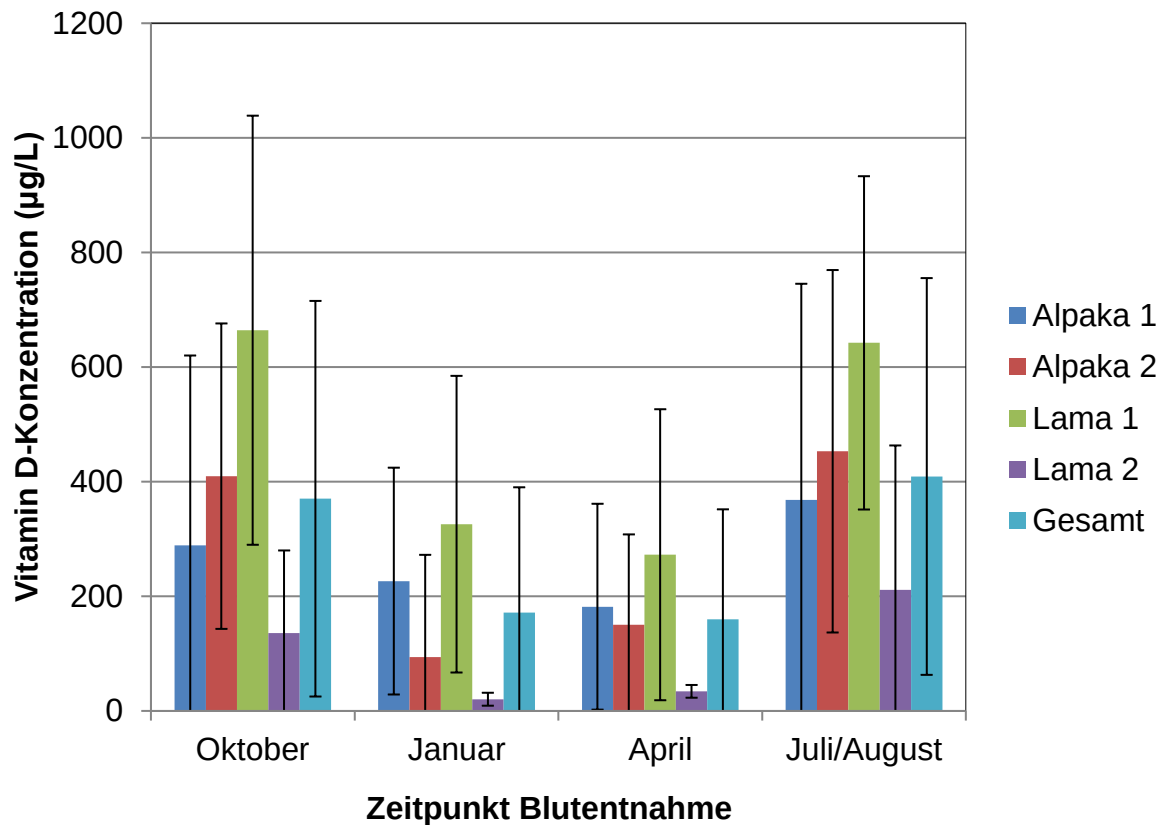
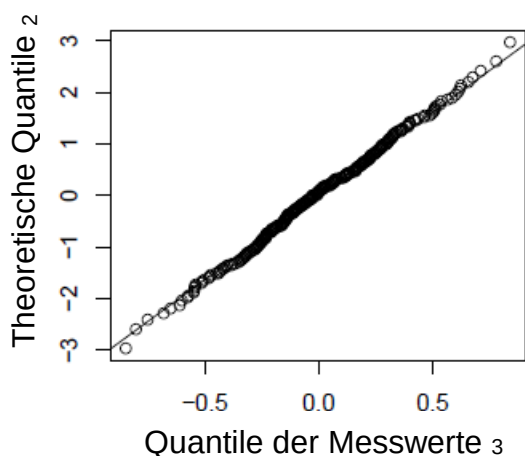


Abb. 2: Jahresverlauf der arithmetischen Mittelwerte und der Standardabweichung der Vitamin D-Konzentration in den vier Betrieben, sowie des arithmetischen Mittelwertes aller Betriebe (Gesamt) in µg/L.

4.2 Einflussfaktoren auf die Vitamin D-Serumkonzentration

Die graphische Prüfung auf Normalverteilung (Residualanalyse) ergab eine rechtsschiefe Verteilung der Konzentration von Vitamin D, sowie der Aktivitäten der GGT, AST und GLDH. Demzufolge wurde für diese Werte eine Logarithmierung für folgende Rechenläufe genutzt. Anschließend zeigte sich annäherungsweise eine Normalverteilung. Abbildung 3 zeigt die Vitamin D-Konzentration im Verhältnis zur Jahreszeit und dem individuellen Tiereinfluss nach logarithmischer Transformation. Die Analyse der Calciumkonzentration ergab beinahe eine Normalverteilung, es sind allerdings einige Ausreißer im unteren Bereich vorhanden. Auch die Konzentrationen des Gesamtproteins und Natrium wurden nicht logarithmiert, da näherungsweise eine Normalverteilung vorliegt.

Normal Q-Q₁ Diagramm für lgVit D



Histogramm der Residuen von lgVit D

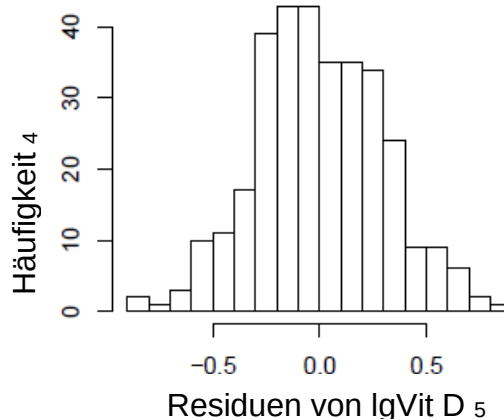


Abb. 3:

Grafische Darstellung der Ergebnisse der Residualanalyse (Prüfung auf Normalverteilung) am Beispiel der Vitamin D-Konzentration nach Logarithmierung mithilfe eines Q-Q Diagramms und Histogramms. Zugrunde liegen der fixe Faktor Jahreszeit und der variable Faktor Tiereinfluss. ₁ = Quantil zu Quantil, ₂ = Theoretische Quantile unter Annahme einer Normalverteilung, ₃ = entsprechen in diesem Falle den beobachteten Residuen, ₄ = bezogen auf die Messwerte, ₅ = meint den vertikalen Abstand vom Beobachtungspunkt zur geschätzten Regressionsgerade.

Es folgte die Regressionsanalyse der fixen und zufälligen Faktoren. In diesem linearen Modell wird eine Geradengleichung erzeugt, die die fixen und zufälligen Faktoren gleichzeitig berücksichtigt. Es wird ermittelt, wie groß der Einfluss der Faktoren auf die Vitamin D-Konzentration (genauer logVit D) ist bzw. ob er signifikant ist. Die Ergebnisse der Regressionsanalyse der fixen Faktoren mit Messwiederholungen sind in Tabelle 12 zusammengestellt. Als Orientierung für den individuellen Tiereinfluss (zufälliger Faktor) eignet sich die Standardabweichung des Residuums (Abweichung des vorhergesagten Wertes von dem tatsächlichen Wert). Sie beträgt 0,319. Sie beschreibt die Streuung zwischen den Tieren. Das Alter, als sich verändernde Größe, beschreibt in der entstehenden Gleichung die Steigung. Die übrigen Faktoren werden additiv berücksichtigt. Der Schätzwert stellt die Abweichung zur oppositionellen Ausprägung eines Merkmals dar, also wie groß der Einfluss durch die Ausprägung

ausfällt. So kann man in Tabelle 12 anhand des Vorzeichens erkennen, welche Merkmalsausprägungen sich positiv bzw. negativ auf die Vitamin D-Konzentration auswirken. Beispielsweise besitzt der Schätzwert des Merkmals „Lama“ (= kein Alpaka) ein negatives Vorzeichen. Daraus lässt sich ableiten, dass die Lamas eine geringere Vitamin D-Konzentration aufwiesen als die Alpakas. Durch Rücktransformation des Schätzwertes der qualitativen Einflussgrößen erhält man einen Faktor, um den sich die Merkmalsausprägungen in der Vitamin D-Konzentration unterscheiden.

Beispiel: Farbe nicht schwarz $\rightarrow 10^{0,087} = 1,22$
 Substitution ja $\rightarrow 10^{0,320} = 2,09$

Tab. 12: Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse mit Messwiederholungen der fixen Faktoren. Die Schätzwerte geben die Abweichung zur oppositionellen Ausprägung an. Gerundet wurde auf zwei Stellen nach dem Komma.

Fixe Faktoren		Schätzwert	Standardfehler	p-Wert
Alter		<0,01	<0,01	<0,01
Monat	Januar	-0,47	0,05	< 0,01
	April	-0,31	0,05	< 0,01
	Juli/August	0,19	0,06	<0,01
Vliesfarbe		0,09	0,13	0,50
Geschlecht		-0,11	0,08	0,19
Substitution		0,32	0,05	< 0,01
Tierart		-0,27	0,12	0,03
Vliesstruktur		-0,04	0,11	0,71
Wechselwirkung Tierart-Vliesstruktur		0,289	0,16	0,07

Es zeigt sich, dass die Serumkonzentration von Vitamin D in signifikantem Zusammenhang mit der quantitativen Einflussgröße Alter steht ($p = 0,0009$). Der Steigerungsfaktor pro Jahr beträgt 1,00735. Dieser ergibt sich nach Rücktransformation des Schätzwertes 0,00318 (nicht gerundet). Ebenfalls signifikant

($p < 0,0001$) ist der Einfluss der Substitution (qualitative Einflussgröße). Nach Rücktransformation ergibt sich ein Faktor von substituiert zu nicht substituiert von 2,09, also eine Konzentrationssteigerung um ca. 100 %. Tabelle 12 zeigt, dass Lamas signifikant ($p = 0,034$) weniger Vitamin D im Serum aufweisen als Alpakas (Schätzwert = -0,266). Nach Rücktransformation ergibt sich ein Faktor von 1,84.

Der durchgeführte Wald-Test für nominale Einflussfaktoren mit mehr als 2 Stufen weist einen signifikanten Einfluss der Jahreszeit auf die Vitamin D-Konzentration im Serum nach ($p = 0,0001$). Zum zweiten Beprobungszeitpunkt hat sich die Vitamin D-Konzentration etwa um den Faktor 2,96 verringert, beim dritten Termin um den Faktor 2,03 und beim vierten Termin ist sie um den Faktor 1,55, immer bezogen auf den Wert von Termin 1, gestiegen.

Bei den durchgeführten Untersuchungen konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Vliesfarbe, der Vliesstruktur, sowie des Geschlechts mit der Vitamin D-Konzentration im Serum festgestellt werden. Ebenfalls fielen tragende oder laktierende Stuten nicht durch sinkende Vitamin D-Konzentrationen im Serum auf (Abb. 4). Um zu differenzieren, ob Lamas und Alpakas unterschiedlich durch die Vliesstruktur beeinflusst werden und um zu verhindern, dass ein tierartlicher Unterschied die Ergebnisse verzerrt, wurde die Wechselwirkung von Tierart und Rasse untersucht. Sie ist knapp nicht signifikant ($p = 0,071$). Es konnte zwischen Alpakas und Lamas kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden.

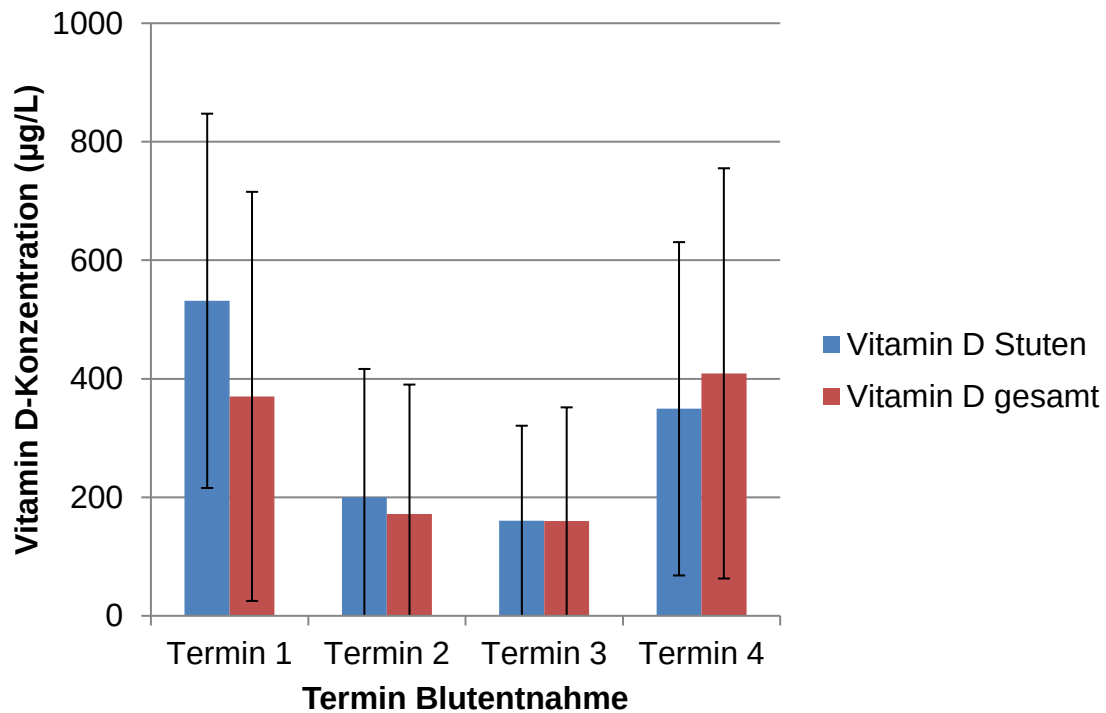


Abb. 4: Mittlere Vitamin D-Konzentration im Serum der Lamas und Alpakas, die trächtig waren bzw. post partum (Vitamin D Stuten) verglichen mit den Gesamtmittelwerten aller Tiere (Vitamin D gesamt). Die Fehlerbalken skizzieren die Standardabweichung.

4.3 Zusammenhänge zwischen den labordiagnostischen Parametern

Die Ergebnisse der paarweisen Regressions- und Korrelationsanalyse, der „rohe“ Zusammenhang (Zusammenhang zweier Merkmale in Außerachtlassung der anderen Variablen), sind in Tabelle 13 dargestellt. Mithilfe des Korrelationskoeffizienten (R) kann die Stärke und die Richtung des Zusammenhangs der Merkmale skizziert werden. Er kann Werte zwischen -1 und 1 annehmen, bei null liegt kein Zusammenhang vor. Ob sich die Werte von R signifikant von 0 unterscheiden, wird durch den p-Wert überprüft.

Tab. 13: Korrelation der einzelnen labordiagnostischen Parameter und der Vitamin D-Konzentration im Serum zum jeweiligen Entnahmezeitpunkt. R = Korrelationskoeffizient, P = p-Wert, lg = Logarithmus. ¹ = Gesamtcalcium. Gerundet wurde auf zwei Stellen hinter dem Komma.

Parameter	lg Vitamin D							
	Oktober		Januar		April		Juli / August	
	R	P	R	P	R	P	R	P
Calcium ¹	0,05	0,65	0,24	0,03	0,40	< 0,01	0,27	0,02
lg GGT	0,20	0,06	-0,05	0,67	-0,16	0,16	0,09	0,42
lg AST	-0,24	0,03	-0,39	< 0,01	0,01	0,95	-0,04	0,73
lg GLDH	-0,18	0,10	-0,09	0,43	-0,22	0,05	-0,11	0,35
Protein ges.	0,07	0,50	0,17	0,12	0,43	< 0,01	0,13	0,25
Natrium	-0,18	0,10	-0,08	0,45	0,30	0,01	0,45	< 0,01

Keiner der labordiagnostischen Parameter weist einen signifikanten Zusammenhang mit der Vitamin D-Konzentration zu allen Entnahmezeitpunkten auf.

Die multiple schrittweise Regressionsanalyse mit Modellreduktion erfolgte in vier Schritten. Im Unterschied zum rohen Zusammenhang, werden hier alle Parameter parallel berücksichtigt. Daher variieren die Ergebnisse der einzelnen Regressionsanalysen nach Wegnahme eines Parameters deutlich. Nach erfolgter Berechnung mit allen labordiagnostischen Parametern wurde der Wert geringster Signifikanz in einer Neuberechnung nicht berücksichtigt, sodass im zweiten Schritt lg GGT ($p = 0,8242$) nicht in die Rechenläufe aufgenommen wurde. Im dritten und vierten Schritt wurden Natrium ($p = 0,4305$) und lgAST ($p = 0,0838$) nicht berücksichtigt. Tabelle 14 zeigt die Ergebnisse der schrittweisen multiplen Regressionsanalyse der vierten Berechnung.

Die Schätzwerte bilden die Faktoren der jeweiligen Parameter in der entstehenden Regressionsgleichung (s. u.).

Tab. 14: Ergebnisse der schrittweisen multiplen Regressionsanalyse nach Wegnahme der Parameter GGT, Natrium und AST. Gerundet wurde auf zwei Stellen nach dem Komma. Die Schätzwerte bilden die Faktoren der zugehörigen Parameter in der Regressionsgleichung.

Parameter	Schätzwert	p-Wert
Gesamtcalcium	0,58	< 0,01
Ig GLDH-Aktivität	-0,33	< 0,01
Gesamtprotein	0,01	0,01

Zur Beantwortung der Fragestellung, ob durch andere labordiagnostische Parameter die Vitamin D-Konzentration geschätzt werden kann, ergibt sich auf Grundlage der durchgeführten Analyse folgende Formel:

$$\text{IgVitD} = 0,472 + 0,58 \times \text{Ca} - 0,33 \times \text{IgGLDH} + 0,01 \times \text{gesProtein} + \varepsilon$$

ε beschreibt den maximalen Zufallsfehler. Errechnet aus der Varianz der Tiernummer, dem individuellen Tiereinfluss, (0,1027) und der Varianz des Residuums (0,1689), ergibt sich eine Gesamtvarianz von 0,2716. Dies führt zu einer Gesamtstandardabweichung von $0,2716^{0,5} = 0,521$. Nach erfolgter Rücktransformation ergibt sich ein Streufaktor von $10^{0,521} = 3,32$.

Ein Streufaktor von 3,32 ist als sehr hoch zu bewerten. Daher stellt die Formel keine Grundlage für eine sichere Abschätzung der Vitamin D-Konzentration im Serum dar.

5 Diskussion

5.1 Diskussion der Fragestellung

Die Statuserhebung von Vitamin D in einem Bestand von Neuweltkameliden ist der erste essenzielle Schritt, um eine bedarfsdeckende Versorgung von Vitamin D gewährleisten zu können. In Deutschland sind derzeit keine Referenzwerte für die Serumvitamin D-Konzentration von Lamas und Alpakas verfügbar (Helmer *et al.* 2017) und es liegen keine Untersuchungen zu den Schwankungen der Serumkonzentration im Jahresverlauf vor.

Empfehlungen von Referenzwerten bzw. zur Versorgung von Neuweltkameliden aus anderen Ländern (Van Saun und Herdt 2014, Van Saun *et al.* 1996, Gerspach *et al.* 2010) können nicht ohne weiteres auf Deutschland übertragen werden, da die jeweilige UV-Intensität einen großen Einfluss auf den Vitamin D-Status der Tiere ausübt. Abbildung 5 skizziert länderspezifische UV-Indices. Bei dem UV-Index handelt es sich um einen international normierten Richtwert, der die am Boden erwarteten Tagesspitzenwerte der sonnenbrandwirksamen UV-Strahlung charakterisiert (Bundesamt für Strahlenschutz 2018). Abbildung 5 zeigt den Stand vom 27.04.2018 aus Berlin, New York, Los Angeles, Sidney, Melbourne, Darwin, Rio de Janeiro und Buenos Aires. Diese Städte repräsentieren die Länder, in denen sich Neuweltkameliden besonderer Beliebtheit erfreuen bzw. in denen ihr ursprüngliches Verbreitungsgebiet liegt (Gauly 2011). Die berechneten Werte sind als Orientierungswerte für typische atmosphärische Bedingungen zu verstehen (Bundesamt für Strahlenschutz 2018).

Anhand der Abbildung 5 wird deutlich, dass für jedes Land individuell eine Erhebung des Vitamin D-Status bzw. des Jahresverlaufs sinnvoll wäre, um einen Anhaltspunkt für die Notwendigkeit einer Supplementierung bzw. für eine angemessene Dosierung zu bekommen. Aufgrund der sichtbar geringen Sonneneinstrahlung in Deutschland, kommt der Vitamin D-Versorgung in der Haltung dieser Tiere eine entscheidende Rolle zu. Als Herbivoren sind Neuweltkameliden auf eine kutane Vitamin D-Synthese angewiesen, um unter natürlichen Bedingungen ausreichend Vitamin D zu bilden und dem Stoffwechsel zur Verfügung zu stellen (Erben 2009).

Aufgrund des Einflusses der UV-Strahlung müssen Empfehlungen von Vitamin D-Gaben immer landesspezifisch bzw. regional verstanden werden, um

Überdosierungen zu vermeiden. Eine Dosierungsempfehlung aus Nordamerika könnte bei einfacher Übertragung in Teilen Australiens möglicherweise zu einer Überdosierung führen. Die Notwendigkeit einer Statusermittlung für das jeweilige Land wird somit eindeutig. Im Anschluss kann reagiert werden und ein Referenzwert, falls vorhanden, angestrebt werden.

Die Bestimmung der Vitamin D-Konzentration im Serum ist im Vergleich zur klinischen Chemie oder der Hämatologie relativ aufwendig (Dauer: 2 - 3 Tage bei Synlab). In Großbritannien beschreiben D'Alterio und Bazeley (2006), dass die Analyse von Vitamin D teuer ist und in Laboren nicht immer zur Verfügung steht. Für Tierhalter wäre es dementsprechend vorteilhaft, mithilfe anderer Blutparameter, einzeln oder in Kombination, Rückschlüsse auf die Vitamin D-Konzentration ziehen zu können. Da im Rahmen der Vitamin D-Bestimmung in dieser Arbeit auch andere labordiagnostische Parameter bestimmt wurden, erfolgte eine explorative Überprüfung auf potentielle Zusammenhänge.

Rademacher (2021) konnte keinen Zusammenhang zwischen der Vitamin D-Konzentration im Blut und einem anderen labordiagnostischen Parameter feststellen. Smith und Van Saun (2001) beschreiben, dass das Calcium-Phosphat-Verhältnis bei Neuweltkameliden mit klinischen Anzeichen einer Rachitis von diagnostischem Nutzen sein kann. Calcium und Phosphat stehen bei Adulten und Jährlingen in signifikantem Zusammenhang mit der Vitamin D₃-Konzentration in Serum, bei Crias lediglich das Phosphat. Bei schnell wachsenden Crias mit einer Serumkonzentration von Phosphat < 7 mg/dl und einem Calcium-Phosphat-Verhältnis von > 1,5, liegt die Konzentration von Vitamin D₃ < 50 nmol/L (20 ng/ml). Dennoch empfehlen die Autoren weitere Untersuchungen und diagnostische Abklärungen mittels Röntgenuntersuchung und Messung der tatsächlichen Vitamin D₃-Konzentration im Serum. Kritisch ist auch, dass eine indirekte Bestimmung von Vitamin D₃ nur bedingt eine Aussage zulässt, wenn keine valide Serumkonzentration von Vitamin D₃ bekannt ist, bei der eine Rachitis klinisch in Erscheinung tritt. Darüber hinaus korrelieren niedrige 25-OH-D₃-Konzentrationen nicht zwangsläufig mit niedrigen Phosphatkonzentrationen (Judson *et al.* 2008).

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die Überprüfung des Zusammenhanges der getesteten Laborparameter mit der Vitamin D-Konzentration in erster Linie deshalb erfolgte, da die Laborparameter im Rahmen des labordiagnostischen Screenings im

Rahmen der Bestandsbetreuung erhoben wurden. Eine enge Korrelation war deshalb nicht zu vermuten. Es hätte jedoch einen Vorteil gebraucht, wenn ein derartiger Zusammenhang vorgelegen hätte, um im begründeten Verdachtsfall gezielt eine weitergehende Diagnostik einleiten zu können.

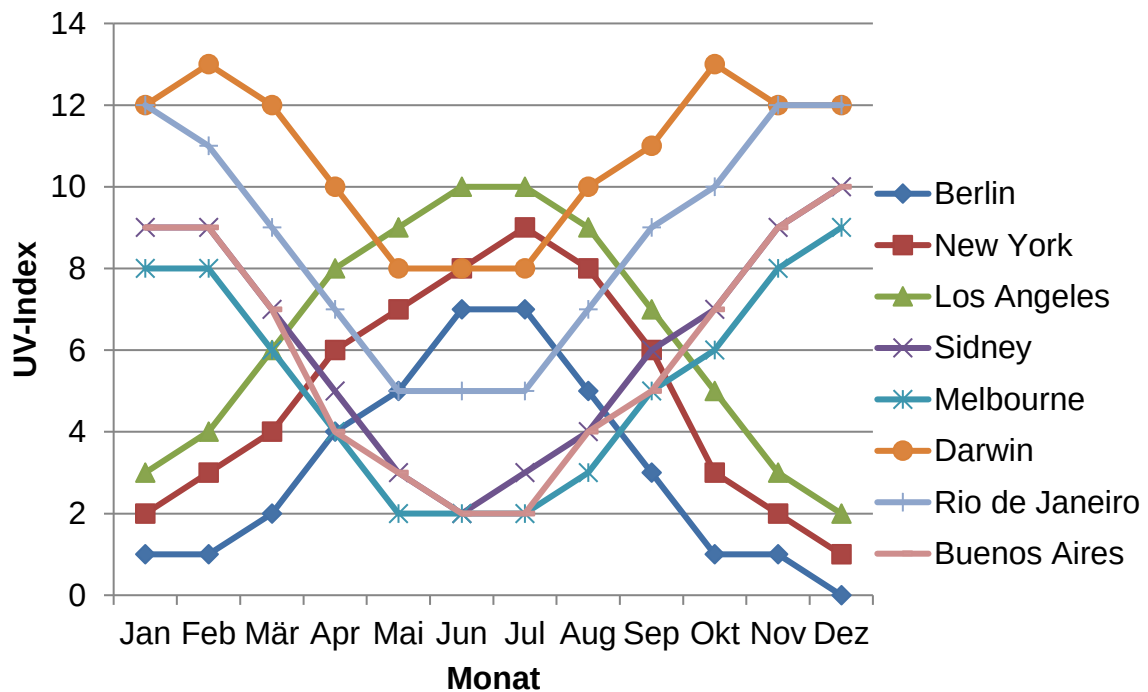


Abb. 5: Typische UV-Index-Werte für verschiedene Städte weltweit, Stand 27.04.2018, Modellrechnung mittels Strahlungstransferprogramm.

5.2 Diskussion der Methode

Grundsätzlich stellte sich die Frage, wie der aktuelle Status der Vitamin D-Versorgung bzw. dessen Serumkonzentration ist, wie er sich im Jahresverlauf verhält und welchen Einflussfaktoren er unterliegt. Untersuchungen dieser Fragestellungen haben in Deutschland noch nicht stattgefunden. Einzig Rademacher (2021) untersuchte die Vitamin D-Konzentration und andere labordiagnostische Parameter nach Vitamin D-Injektion bei Alpakas. Um die Situation in der Praxis zu erheben, wurde diese Untersuchung als Feldstudie durchgeführt. So wurden vier Betriebe ausgewählt, deren Bestand von der Tierklinik für Reproduktionsmedizin und Neugeborenenkunde betreut wird und deren Gesundheitsstatus und Management bekannt sind. Durch die regelmäßige Blutprobenentnahme in diesen Betrieben zur Stoffwechselüberprüfung

konnte die Vitamin D-Konzentration zusätzlich gemessen werden. Standardisierte Bedingungen eignen sich, einzelne Einflussfaktoren zu gewichten, eignen sich jedoch nicht, um die tatsächlichen Bedingungen in Neuweltkamelidenhaltungen zu analysieren. Damit die Tiergruppen jeweils einen äquivalenten Einfluss auf die Statistik haben, wurden aus jedem Betrieb ca. 20 Tiere pro Entnahmedatum ausgewählt. Da die Vitamin D-Konzentration im Serum starken jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt (Smith und Van Saun 2001), muss für eine aussagekräftige Untersuchung der Jahresverlauf betrachtet werden. Aus diesem Grund wurden pro Tier vier Blutentnahmen mit einer zeitlichen Differenz von etwa drei Monaten durchgeführt. Dies entsprach dem Besuchsintervall im Rahmen der Bestandsbetreuung. Soweit es möglich war, wurden immer die gleichen Individuen beprobt. Innerhalb des Untersuchungszeitraums ist es jedoch vorgekommen, dass Tiere verstorben sind oder aus anderen Gründen wie Verkauf oder gesundheitlichen Gründen nicht zur Verfügung standen. Von diesen Tieren konnte kein vollständiger Jahresverlauf der Blutparameter dokumentiert werden. Als Ausgleich wurden andere Tiere in die Untersuchung aufgenommen, um die Tierzahl konstant zu halten.

Die Messung der Vitamin D-Konzentrationen erfolgte bei der Firma Synlab GmbH Augsburg mittels des akkreditierten Verfahrens Chemilumineszenz-Immunoassay (Anhang 9.1). Dieses Verfahren wurde ebenfalls von Rademacher (2021) angewendet. Judson und Feakes (1999) beschreiben einen Nachweis über eine „competitive protein-binding procedure“, ebenso wie Judson *et al.* (2011) und Judson *et al.* (2008). Smith und Van Saun (2001) nutzten äquivalent zu Van Saun *et al.* (1996) einen Radioimmunoassay. Parker *et al.* (2002) beschreiben wie Bauer und Neumann (2013) ebenfalls die Verwendung eines Radioimmunoassays (RIA).

Die Bestimmung der übrigen Blutparameter erfolge nach Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für klinische Chemie im Falle von der Aktivität der AST und GLDH. Die Aktivität der GGT wurde nach Empfehlung der IFCC ermittelt. Für die Bestimmung von Calcium stehen flammenemissionsphotometrische, komplexometrische oder absorptions-photometrische Verfahren zur Verfügung (Bauer und Neumann 2013). In diesem Falle wurde nach dem Leitlinienprinzip eine flammphotometrische Bestimmung durchgeführt. Huisinga (2013) empfiehlt für die Ermittlung der Serumkonzentration von Natrium eine Flammenemissionsphotometrie. Sie wurden identisch zum Calcium gemessen. Für die Messung des Gesamtproteins in Serum oder Plasma eignet sich

neben einer Bestimmung mittels Refraktometer eine Farbreaktion nach Biuret (Schwendenwein 2013), welche in diesem Falle durchgeführt wurde.

Die Substituierung von Vitamin D wurde in den vier Betrieben nicht einheitlich durchgeführt (Tabelle 5). Da die genaue Dosierung nicht nachvollzogen werden konnte, weil die Besitzer teilweise nicht nach Gewicht dosiert haben, wurde für die statistische Auswertung unterschieden, ob vor der jeweils aktuellen Blutentnahme substituiert wurde oder nicht. Aufgrund des signifikanten Effektes der Substituierung auf die Serum-Vitamin D-Konzentration, stellt sich die Frage, ob neben Rademacher (2021) andere Autoren eine genaue Dosierung nachvollziehen konnten und den Effekt der Substituierung untersucht haben. Rademacher (2021) untersuchte bei 14 Alpakas die Auswirkungen einer einmaligen subkutanen Injektion von 1000 I.E. Vitamin D über 15 Wochen. Die Autorin beschreibt einen sehr individuellen Anstieg und Abfall der Vitamin D-Konzentration. Einige Tiere wiesen nach vier Wochen einen deutlichen Abfall der Serumkonzentrationen von Vitamin D auf, andere zeigten über den gesamten Untersuchungszeitraum hohe Vitamin D-Konzentrationen. Judson *et al.* (2008) beziehen sich bezüglich Haltungsbedingungen und Supplementierung der untersuchten Tiere auf Judson (1999). Es standen fünf Farmen zur Verfügung, von denen jeweils 20 – 30 Tiere beprobt wurden (Judson *et al.* 2008). In zwei Betrieben erhielten die Tiere neben dem täglichen Futter Pellets, zu deren Inhaltsstoffen die Vitamine A, D und E gehörten. In allen Betrieben erfolgten Injektionen von Multivitaminpräparaten mit Vitamin A, D und E. Dabei verfolgten alle Tierhalter unterschiedliche Strategien, sodass weder die Auswahl der Tiere noch der Zeitpunkt der Applikation übereinstimmen. Genaue Dosierungen sind nicht bekannt (Judson 1999). Smith und Van Saun (2001) errechneten über das Futter und die Supplementierungen der Tiere die täglichen Vitamin D-Aufnahmen. Neonaten und laktierende Muttertiere erhielten zusätzliches Kraftfutter, sodass für diese Gruppen eine tägliche Aufnahme von 300 bis 500 I.E. bzw. 1200 bis 1800 I.E. ermittelt wurden. Bei den übrigen Tieren wurde eine Aufnahme von 700 bis 1200 I.E. bestimmt. Allen Tieren stand ein Mineralsalzstein *ad libitum* zur Verfügung. Die Berechnung der Vitamin D-Aufnahmen über das Futter ist grundsätzlich kritisch zu betrachten, da die tatsächlichen Futteraufnahmen deutlich von den Erwartungen abweichen können. In diesem Falle standen den Autoren jedoch 30 Tiere der Forschungsherde der Oregon State University zur Verfügung, sodass ein sehr gutes Monitoring vorausgesetzt

werden kann. Parker *et al.* (2002) supplementierten über den Untersuchungszeitraum von einem Jahr kein Vitamin D.

Ob eine Substitution einen signifikanten Effekt auf die Vitamin D-Konzentration im Serum hat, wurde sowohl von Judson *et al.* (2008) bzw. von Judson (1999), als auch von Smith und Van Saun (2001) nicht berücksichtigt. Judson *et al.* (1999) beschrieben den Effekt einer Supplementierung von Vitamin D. Da die Tiere in der Studie von Judson *et al.* (2008) unterschiedlich supplementiert wurden, hätte die Berücksichtigung der Substitution neben den Tierparametern in der multiplen Regression deren Effekt berücksichtigt. So hätte ein Substitutionseffekt die anderen Parameter nicht verzerren können.

Zur Berechnung des Einflussfaktors Fellfarbe wurde zwischen „schwarz“ und „nicht schwarz“ unterschieden. Judson *et al.* (2008) und Smith und Van Saun (2001) beschreiben einen Einfluss dunklen Vlieses auf die Serumkonzentration von Vitamin D. Um dies zu berücksichtigen, wurde in dieser Arbeit unterschieden, ob Tiere mit schwarzem Vlies signifikant weniger Vitamin D im Serum zur Verfügung haben als Tiere mit nicht schwarzem Vlies. In letztere Gruppe fallen Tiere mit Vlies verschiedener Brauntöne und Graustufen, weißem Vlies und deren Kombinationen. Judson *et al.* (2008) beschreiben bei Alpakas außerdem, dass die Vliesstruktur, also die Rasse und deren Kombination mit der Vliesfarbe das Maß der Gefährdung einer Hypovitaminose D bedingen. Mc Gregor und Butler (2004) konnte zeigen, dass helle Vliese feiner sind als dunkle und im Durchmesser der Haare weniger variieren. Auch dies könnte neben dem Melanin (Holick 1995) einen Einfluss auf die Exposition der Haut mit UVB-Strahlung nehmen. In dieser Untersuchung wurde daher zwischen glattem Vlies (Suri Alpaka und Classic Lama) und lockigem/ krausem Vlies (Huacaya Alpaka und Wooly Lama) unterschieden. Eine Wechselwirkung zwischen Tierart und Rasse verhindert das Verzerren der Ergebnisse, falls nur bei einer der Tierarten ein signifikanter Effekt durch die Vliesstruktur gegeben ist.

Die Dauer der Freilandaufenthalte wurde für die Berechnungen durch die Berücksichtigung des Faktors Jahreszeit erfasst, da diese im Mittel der Betriebe bei längerer Dauer und Intensität der Sonneneinstrahlung höher ist. Die mittleren täglichen bzw. den Tieren möglichen Freilandaufenthalte zum ersten Termin betragen 16,25 Stunden, zum zweiten Termin 14,3 Stunden, zum dritten Termin 20,5 Stunden und zum vierten Termin 16,8 Stunden. Die durchschnittlichen Sonnenstunden betragen im

vieljährigen Mittel im Oktober 109 Stunden, im Januar 44 Stunden, im April 154 Stunden und im Juli 211 Stunden (Deutscher Wetterdienst 2019). Daraus ergeben sich im Oktober etwa 21 %, im Januar etwa 10 %, im April etwa 25 % und im Juli etwa 41 % nutzbare Sonnenzeit während der Freilandaufenthalte. Es wird deutlich, dass der Effekt der Dauer der Freilandaufenthalte bereits mit der Jahreszeit erfasst wird.

Für die Überprüfung der Fragestellung, ob ein signifikanter Zusammenhang zwischen Tierart, Rasse, Vliesfarbe, Geschlecht, Alter, Jahreszeit und dem Vitamin D-Status besteht, eignet sich am besten eine multiple Regressionsanalyse. Bei einer multiplen Regressionsanalyse wird der Zusammenhang von einer abhängigen Variable und mehreren unabhängigen Variablen untersucht. Dabei werden alle unabhängigen Variablen parallel berücksichtigt. Das bedingt, dass sie sich gegenseitig beeinflussen. So ist beispielsweise in dieser Studie der Tierarteffekt, dass Lamas signifikant weniger Vitamin D im Serum aufweisen als Alpakas, nicht dadurch bedingt, dass in einem Lamabetrieb nicht substituiert wurde. Judson *et al.* (2008) verwendeten in ihrer Studie zu Faktoren, die bei australischen Alpakas mit niedrigen Vitamin D-Status assoziiert sind, ebenfalls eine multiple Regression. Dabei wurden der Entnahmemonat, die Alterskategorie, die Vliesfarbe und die Rasse berücksichtigt. Als Zufallsfaktoren gelten Tier und Farm. Die Vitamin D-Konzentration wurde für die durchgeführten Rechenläufe logarithmiert. Im Gegensatz zu dieser Studie, bei der lediglich ein Wald Test für nominale Einflussgrößen mit mehr als zwei Stufen (Jahreszeit) verwendet wurde, nutzten Judson *et al.* (2008) einen Wald-Test, um anhand der p-Werte zu entscheiden, welche Faktoren in die Berechnungen der Regression einfließen. Smith und Van Saun (2001) und Parker *et al.* (2002) griffen auf eine „ANOVA for repeated measures“, also eine Analyse der Varianz mit Messwiederholungen, zurück. Im Vergleich zu einer Regression, bei der der jeweilige kategorische Schätzwert mit dem Schätzwert der Referenz (Achsenabschnitt) verglichen wird, wird bei der ANOVA der jeweilige Mittelwert jeder Kategorie mit dem Gesamtmittelwert verglichen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass beide Analysen auf einer sehr ähnlichen statistischen Methodik beruhen und daher beide Methoden zur Bearbeitung der Fragestellung geeignet sind.

Für die zweite Fragestellung, ob durch andere Blutparameter auf die Vitamin D-Konzentration im Serum geschlossen werden kann, wurde zunächst überprüft, ob einzelne Parameter stets in signifikantem Zusammenhang mit der Vitamin D-Konzentration stehen, der sogenannte rohe Zusammenhang. Anschließend wurde

eine multiple Regressionsanalyse durchgeführt, bei der alle Parameter parallel berücksichtigt wurden. Um eine bessere Genauigkeit und Sicherheit für eine Vorhersage zu erhalten, wurden in einer Modellreduktion die am wenigsten signifikanten Parameter schrittweise entfernt.

5.3 Diskussion der Ergebnisse

5.3.1 Allgemeine Datenbeschreibung

Die Ergebnisse des Vitamin D-Status sind in Tabelle 10 und 11, sowie in Abbildung zwei dargestellt. Bereits an dieser Stelle wird der Effekt der Jahreszeit deutlich und die Bedeutung einer Untersuchung über einen längeren Zeitraum, um eine Aussage über den Herdenstatus zu erlangen. Rademacher (2021) konnte im November 2014 bei 14 Alpakas in Norddeutschland eine durchschnittliche Vitamin D-Konzentration von $70,3 \pm 45,4 \mu\text{g/L}$ messen. Dies entspricht der beobachteten Tendenz niedriger Vitamin D-Konzentrationen in Herbst und Winter. Van Saun und Herdt (2014) beschreiben Referenzwerte für Lamas und Alpakas von Vitamin D in Abhängigkeit vom Alter (Tabelle 16), der Jahresverlauf bleibt dabei unbeachtet. Der sichtbare Alterseffekt bei Vitamin D harmoniert mit den Ergebnissen der multiplen Regressionsanalyse. Van Saun und Herdt (2014) schlagen bei der Vitamin D-Konzentration für Lamas und Alpakas identische Werte vor. Auch Semevolos *et al.* (2013) konnten keinen tierartlichen Unterschied feststellen. In dieser Studie konnte jedoch ein Tierarteffekt beobachtet werden. Insgesamt erscheinen die Referenzwerte für Vitamin D (Tabelle 16) im Vergleich zu den Werten aus Tabelle 10 und 11 niedrig. Das Referenzintervall ist groß, was zu der hohen Standardabweichung der gemessenen Vitamin D-Konzentration passt (Tabelle 10 und 11). Da der Zeitpunkt der Blutentnahme und die Strategie der Substituierung der Tiere nicht bekannt sind, ist es schwierig die Werte mit den erhobenen Daten zu vergleichen. Die Tiere in dieser Studie wiesen keine klinischen Symptome einer Hypo- bzw. Hypervitaminose auf. Entweder liegt es an der relativen Unempfindlichkeit von Neuweltkameliden gegenüber hohen Vitamin D-Konzentrationen (Van Saun 2006), das Referenzintervall ist für Tiere in Deutschland ungeeignet oder die Haltung der Tiere in Bezug auf Substitution und Freilandaufenthalte und der Zeitpunkt der Blutentnahme bedingen diese hohen Differenzen nach oben.

Gerspach *et al.* (2010) nennen ein Referenzintervall von 50 bis 200 nmol/L, wobei unklar bleibt, wie diese Werte ermittelt wurden bzw. woher sie stammen. Neben dem beschriebenen Erwartungswert nennen Van Saun und Herdt (2014) ebenfalls ein risikoorientiertes Intervall von 25 bis 500 nmol/L. In Bezug auf die arithmetischen Mittelwerte der Vitamin D-Konzentration der Neuweltkameliden dieser Studie, erscheint dieses Intervall plausibel. Im Vergleich zu anderen Wiederkäuern (Tabelle 15) fällt die große Spanne der Vitamin D-Konzentration bei Neuweltkameliden auf.

Tabelle 15: Referenzwerte des labordiagnostischen Parameters Vitamin D für die Tierarten Rind, Schaf und Ziege nach Bauer und Neumann (2013)¹ und Whitlock *et al.* (2012)².

Parameter	Rind	Schaf	Ziege
Vitamin D (nmol/L)	50 - 65 ¹	31,6 - 49,8 ²	18,1 - 29,5 ²

Gesundheitliche Probleme traten bei den untersuchten Tieren gelegentlich auf und können grundsätzlich den Stoffwechsel von Vitamin D beeinflussen. Allerdings stehen hier schwerwiegende Veränderungen wie eine chronische Nephritis oder eine renale Ausscheidungsstörung mit sekundärer Vitamin D-Resistenz im Vordergrund (Baumgärtner und Wohlsein 2015). Eine mangelnde intestinale Resorption durch eine Darmschädigung oder ein Leberschaden sind ebenfalls denkbare Ursachen. Derartige Veränderungen wurden bei den Tieren dieser Studie nicht diagnostiziert. Lokale Haueränderungen sind als Einflussfaktor wahrscheinlich zu vernachlässigen, da ausreichend physiologische Hautareale zur Vitamin D-Synthese zur Verfügung stehen.

Hengrave Burri *et al.* (2005) untersuchten zur Ermittlung der in Tabelle 16 dargestellten Referenzwerte der klinischen Chemie in der Schweiz Blutproben von 141 Lamas und 132 Alpakas. Die Autoren beprobten einmalig Tiere aus 40 Betrieben. Der Effekt der Jahreszeit wurde nicht berücksichtigt und der Entnahmezeitpunkt ist nicht angegeben. Dennoch sind die ermittelten Referenzwerte aufgrund der ähnlichen klimatischen Verhältnisse interessant.

Tabelle 16: Referenzwerte aus der Schweiz für Lamas und Alpakas für die labordiagnostischen Parameter Calcium, GGT, AST, GLDH, Gesamtprotein, Natrium und Kalium nach Hengrave Burri *et al.* (2005). Vitamin D nach Van Saun und Herdt (2014).

	Lamas			Alpakas		
	< 6 Monate	Stute	Hengst	< 6 Monate	Stute	Hengst
Vitamin D (µg/L)	10,4 - 137,6	12 – 165,6	12 – 165,6	10,4 - 137,6	12 – 165,6	12 – 165,6
Kalium (mmol/L)	4,2 – 5,5	4 – 5,4	4,3 – 5,5	4 – 5,4	4 – 5,2	4 – 5,3
Natrium (mmol/L)	148 – 156	148 – 158	147 - 156	144 – 154	148 – 155	148 – 155,6
Calcium (mmol/L)	2,4 – 2,7	2,3 – 2,6	2,3 – 2,6	2,3 – 2,7	2,1 – 2,5	2,1 – 2,5
GLDH (I.E./L)	8,4 – 57,8	6 – 44,2	6 – 50,3	5 – 72	4 – 21,2	3,4 – 29,8
AST (I.E./L)	174 – 284	167 – 302	177 – 285	197 – 360	155 – 248	150 – 263
GGT (I.E./L)	22,5 – 42,4	29,8 – 56,4	27,1 – 51,5	13 – 30,8	15 – 43	13,4 – 37,8
Ges. Protein (g/L)	53,5 – 62,2	57,3 – 72,2	58 – 69,3	54,6 – 62	56,2 – 70,4	59,9 – 69,1

Foster *et al.* (2009) beschreiben andere Referenzwerte der klinischen Chemie bei Lamas und Alpakas. Diese sind in Tabelle 17 aufgeführt.

Tabelle 17: Referenzwerte der labordiagnostischen Parameter für Lamas und Alpakas nach Foster *et al.* (2009). Gegenübergestellt sind die Mittelwerte der obengenannten labordiagnostischen Parameter für die untersuchten Lamabetriebe (Lama 1 und Lama 2) und Alpakabetriebe (Alpaka 1 und Alpaka 2) ohne Berücksichtigung der Jahreszeiten, sowie deren Standardabweichung.

Parameter	Lama (Foster <i>et al.</i> 2009)	Mittelwert Lama 1+2	Standard- abweichung Lama 1+2	Alpaka (Foster <i>et al.</i> 2009)	Mittelwert Alpaka 1+2	Standard- abweichung Alpaka 1+2
Calcium (mmol/L)	1,9 – 2,7	2,2	0,2	2,0 – 2,7	2,1	0,2
GGT (I.E./L)	3 – 28	19,3	4,4	13 – 50	13,3	4,4
AST (I.E./L)	128 – 450	57,5	16,9	137 – 391	57,4	14,9
GLDH (I.E./L)	0 – 25	9,7	10,8	/	8,2	5,6
Protein ges. (g/L)	47 – 73	64,9	6,6	51 – 79	66,0	7,4
Natrium (mmol/L)	148 – 158	147,6	3,2	142 – 154	147,6	4,0

Die Aktivitäten der GGT liegen innerhalb des Referenzintervalls nach Foster *et al.* (2009), die Untergrenzen des Referenzintervalls nach Hengrave Burri *et al.* (2005) ist teilweise höher als die gemessenen Daten. Ob eine Angabe eines unteren Referenzwertes im Falle der Leberenzyme sinnvoll ist, ist sicherlich fraglich. Die Aktivität der GGT unterliegt jahreszeitlichen Schwankungen ($p = 0,0139$) und weist einen signifikanten Tierarteffekt auf ($p < 0,0001$). Bei Lamas treten höhere Werte auf als bei Alpakas. Die Kombination aus Jahreszeiteffekt und Tierarteffekt könnte die unterschiedlichen Ergebnisse erklären.

Die Aktivität der AST weicht deutlich von den vorgeschlagenen Referenzwerten von Hengrave Burri *et al.* (2005) und Foster *et al.* (2009) ab. Die ermittelten Werte sind

deutlich niedriger. Es konnte kein Tierarteffekt nachgewiesen werden, allerdings liegt ein signifikanter jahreszeitlicher Einfluss vor. Es ist unklar, warum es zu derartigen Unterschieden gekommen ist. Hengrave Burri *et al.* (2005) geben für die Messung der Aktivität der AST eine Reaktionstemperatur von 37°C an, diese ist identisch mit der Reaktionstemperatur in der eigenen Studie. Durch Lipämie oder Hämolyse können falsch hohe Werte der AST-Aktivität gemessen werden, wahrhaftig erhöhte Werte treten bei Leberschädigungen und Myopathien unterschiedlicher Genese in Erscheinung (Neumann 2013). Es konnte ein signifikanter Zusammenhang der AST-Aktivität mit dem Alter nachgewiesen werden. Junge Tiere weisen eine höhere Aktivität der AST auf als adulte Individuen.

Laut Hengrave Burri *et al.* (2005) haben Lamas eine höhere GLDH-Aktivität als Alpakas. Foster *et al.* (2009) nennen ein niedrigeres Referenzintervall, ähnlich dem Referenzintervall von Hengrave Burri *et al.* (2005) für Alpakas.

Wie es zu den Differenzen zu den Referenzintervallen für Neuweltkameliden von Hengrave Burri *et al.* (2005) in Bezug auf die Aktivität der GGT und AST und Foster *et al.* (2009) beziehungsweise auf die AST kommt, bleibt unklar. Diese Beobachtung unterstützt die Forderung, dass neben den Werten aus der Literatur auch laborspezifische Einflüsse bei der Interpretation Berücksichtigung finden müssen.

Judson *et al.* (2011) konnten in zwei Sommermonaten geringfügig höhere Calciumkonzentrationen messen als in den übrigen Monaten (November und Februar 2,27 - 2,35 mmol/L, andere Monate 2,04 - 2,28 mmol/L). Dies konnte in dieser Studie nicht beobachtet werden.

Rademacher (2021) konnte einen Anstieg der Calciumkonzentration im Blut durch eine Vitamin D-Substitution mit 1000 I.E. / kg feststellen, wobei keines der untersuchten Tiere eine Hypercalcämie entwickelte. Dies ist aufgrund der Physiologie des Calciumstoffwechsels plausibel. Durch die hohe Variabilität von Vitamin D bei gleichzeitiger strenger Regulierung der Calciumkonzentration im Serum konnte jedoch kein roher Zusammenhang in dieser Untersuchung festgestellt werden. Pearson *et al.* (2014) beschreiben bei weiblichen Lamas und Alpakas ein „Postpartum Downer Syndrome“, welches unter anderem durch eine Hypocalcämie begünstigt werden kann. Allerdings werden keine Grenzwerte für die Calciumkonzentration im

Blut genannt, die bei betroffenen Tieren gemessen werden konnten und es wurde kein Zusammenhang mit Vitamin D hergestellt.

5.3.2 Einflussfaktoren auf die Vitamin D-Serumkonzentration

Die Vitamin D-Konzentration im Serum wird von den Faktoren Alter, Jahreszeit, Substitution und Tierart signifikant beeinflusst. Die Faktoren Vliesfarbe, Vliesstruktur, Geschlecht und die Wechselwirkung zwischen Tierart und Vliesstruktur haben keinen signifikanten Einfluss.

Der Alterseffekt ist in dieser Studie deutlich signifikant. Ältere Tiere weisen höhere Serumvitamin D-Konzentrationen als jüngere Tiere auf. Diese Beobachtung könnte damit zusammenhängen, dass junge Tiere einen höheren Vitamin D-Bedarf haben. Dieser Altersunterschied deckt sich mit den Beobachtungen von Van Saun und Herdt (2014) (Tabelle 16). Smith und Van Saun (2001) konnten keinen signifikanten Einfluss durch das Alter nachweisen, dennoch beschreiben sie, dass der jahreszeitbedingte Effekt auf die Vitamin D-Konzentration im Serum bei Neonaten und Jährlingen signifikant größer war als bei Adulten. Auch Rademacher (2021) konnte keinen Einfluss durch das Alter feststellen, jedoch lag das Mindestalter der untersuchten Alpakas in ihrer Studie bei zwölf Monaten, sodass potenzielle Effekte gegebenenfalls nicht detektiert werden konnten.

Judson *et al.* (2008) konnten einen signifikanten Effekt des Alters zeigen. Ältere Tiere wiesen stets höhere Vitamin D-Konzentrationen im Serum auf als jüngere Tiere. Auch die pathologischen Effekte scheinen mit dem Alter und dem metabolischen Status zusammenzuhängen. Zongping (2004) beschreibt bei Trampeltieren in Wüstengebieten im Norden Chinas eine Prävalenz von 32,9 % für Rachitis, für Osteomalazie eine geringere Prävalenz von 27,8 %, welche sich im Wesentlichen auf adulte Weibchen prä und post partum bezieht. D'Alterio und Bazeley (2006) berichten von Neuweltkameliden, dass juvenile Tiere eine höhere Empfindlichkeit aufweisen klinische Anzeichen einer Fehlernährung mit Mineralien und Vitaminen zu zeigen als adulte Tiere. Zusätzlich konnte bei tragenden und laktierenden Weibchen ein progressiver Gewichtsverlust beobachtet werden, wahrscheinlich durch ein Energiedefizit.

Van Saun *et al.* (1996) konnten einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Vitamin D-Konzentration und dem Geburtstermin feststellen. Junge Tiere scheinen in den Monaten weniger Sonnenstunden am empfindlichsten für einen Vitamin D-Mangel zu sein. Diese Tiere haben einen hohen Bedarf an Vitamin D aufgrund des Knochenwachstums und der geringen Konzentration von Vitamin D in der Milch. Die endogene Synthese ist also besonders bei Crias von entscheidender Bedeutung. Die Autoren beschreiben, dass auf einigen Farmen alle Jungtiere von Lamas und Alpakas klinisch von Rachitis betroffen waren. Das Alter korrelierte allerdings nicht mit den Metaboliten im Blut, sondern der Geburtstermin sei entscheidend (Van Saun *et al.* 1996). Wie schon erläutert, beschreiben Judson *et al.* (2008) einen signifikanten Zusammenhang von Alter und Serumvitamin D-Konzentration. Sherman *et al.* (1990) konnten beim Menschen keinen Zusammenhang zwischen dem Alter und der Konzentration von 25-OH-D₃ und 1,25-(OH)₂-D₃ feststellen. Sherman *et al.* (1990) vermuten auf Grundlage ihrer Ergebnisse, dass deutliche pathologische Nierenveränderung für eine Abnahme der Vitamin D-Konzentration im Serum erforderlich seien. Laut Gallagher *et al.* (1979) korrelieren in gesunden Patienten die Calciumabsorption und die Serumkonzentration von 1,25-(OH)₂-D₃. Bei Patienten zwischen 65 und 90 Jahren konnte diese Korrelation nicht festgestellt werden (Gallagher *et al.* 1979).

Bei Neuweltkameliden könnte die Steigerung der Serumvitamin D-Konzentration mit dem Alter auf einen größeren bzw. volleren Speicher von Vitamin D in Fettgewebe und Blut zurückzuführen sein.

Die Vitamin D-Synthese ist von der UV-Strahlung abhängig (Erben 2009). Daher ist die Dokumentation der jahreszeitlichen Variabilität der Serumkonzentration von Vitamin D plausibel. Die Begründung liegt in der wechselnden Anzahl der Sonnenstunden, welche sich im Jahresverlauf ergeben (Deutscher Wetterdienst 2019). Bei Rindern in Dänemark konnte eine Zeitschwelle bestimmt werden, bei der die Tiere ausreichend Vitamin D synthetisieren können, indem Tiere einer Herde unterschiedlich lange Zugang zur Weide erhielten. Die Verlaufsentwicklung ergab einen erforderlichen Freilandaufenthalt im Sommer von 90 Minuten pro Tag, um einem Abfall der Serumkonzentration vorzubeugen bzw. ein Level von 45 nmol/L zu erhalten (Hymøller und Søren 2012). Van Saun *et al.* (1996) vermuten einen saisonalen Einfluss der Vitamin D-Konzentration im Blut, da sie eine hypophosphatämische

Rachitis gehäuft zwischen Januar und März beobachten konnten. Diese Beobachtung konnte Zongping (2004) bei *Camelus bactrianus* machen. Er erkannte ein gehäuftes Auftreten dieser Erkrankung zwischen Februar und Juni in China. Auch bei anderen Spezies, wie Schaf und Ziege, treten in den Wintermonaten die niedrigsten Serumkonzentrationen von Vitamin D in Erscheinung (Rankins Jr. und Pugh 2012). Laut Smith und Van Saun (2001), sowie Semevolos *et al.* (2013) korrelieren Jahreszeit und Vitamin D-Konzentration signifikant bei Lamas und Alpakas. Auch Parker *et al.* (2002) und Judson *et al.* (2008) beschreiben saisonale Schwankungen der Vitamin D-Konzentration bei Alpakas, mit Tiefstwerten im Winter.

Das entspricht den Ergebnissen der eigenen Arbeit.

Der Effekt der Substitution auf die Vitamin D-Konzentration war hochsignifikant. Der Betrieb Lama 2 hat keine Substitution vorgenommen (Tabelle 5). Abbildung 2 zeigt deutlich die geringeren Vitamin D-Konzentrationen der Tiere dieses Betriebes. Dass Vitamin D-Gaben die Serumkonzentration des Vitamins erhöhen, teilweise bis in einen toxischen Bereich, wurde in der Literatur schon vielfach beschrieben (Rademacher 2021, Judson und Feakes 1999, Van Saun 2006, Van Saun *et al.* 1996, Fowler 2010, Vaughan und Gauly 2011, Hines *et al.* 1986, Baumgärtner und Wohlsein 2015, Tavella *et al.* 2016). Im Vergleich zu einer intramuskulären Injektion von Vitamin D beobachtete Van Saun (2006) eine geringere Bioverfügbarkeit bei einmaliger oraler Applikation (jeweils 4000 I.E./kg).

Die Versorgung der Neuweltkameliden mit Vitamin D wird in Deutschland derzeit nicht einheitlich durchgeführt. Die Daten zeigen, dass die Substitution einen großen Effekt auf die Vitamin D-Konzentration hat und somit dringend bedarfsgerechte Dosierungen ermittelt werden müssen, um Unter- und Überversorgungen zu vermeiden. Die Spannweite der Intervalle der Serumkonzentration ist im Vergleich zu anderen Spezies jedoch groß und die Empfindlichkeit gegenüber einer Hypervitaminose D ist geringer (Van Saun und Herdt 2014, Bauer und Neumann 2013, Whitlock *et al.* 2012, Van Saun 2006).

Eine Unsicherheit im Rahmen der Beurteilung des Effektes einer Substitution besteht darin, dass der Substitutionseffekt nicht für den gesamten Untersuchungszeitraum beurteilt werden kann, da keiner der Betriebe vor dem letzten Termin (also im Sommer) substituierte. Trotz der unterschiedlichen Strategien der Substituierung, zeigen die

Verlaufskurven der Vitamin D-Konzentration eine sehr ähnliche Tendenz (Abbildung 2).

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden die Futtermittel nicht auf deren Vitamin D-Gehalt untersucht. Wie bereits beschrieben, spielt bei Herbivoren die kutane Synthese eine größere Rolle (Erben 2009), dennoch variieren die Vitamin D-Gehalte in Futtermitteln deutlich (Fowler 2010), was die Versorgungslage beeinflusst.

Bevor für deutsche klimatische Verhältnisse eine Dosierungsempfehlung ausgesprochen werden kann, müsste eine Studie durchgeführt werden, die ähnlich der Studie von Judson und Feakes (1999) die Auswirkung verschiedener Dosierungen analysiert. Rademacher (2021) untersuchte die Auswirkungen einer einmaligen Injektion von 1000 IE Vitamin D/kg Körpergewicht bei 14 Alpakas in Norddeutschland. In regelmäßigen Abständen wurden über 15 Wochen Blutproben untersucht, um den Verlauf der Serumkonzentration von Vitamin D darzustellen. Dieser unterlag großen individuellen Schwankungen, jedoch zeigten fast alle Tiere zum Ende der Untersuchung eine höhere Vitamin D-Konzentration im Serum als zu Beginn. Männliche Tiere zeigten einen höheren Anstieg der Vitamin D-Konzentration als weibliche. Die gewählte Dosierung führte bei einigen Individuen zu einer Serumkonzentration von Vitamin D im toxischen Bereich über mehrere Wochen.

Lamas wiesen in dieser Studie geringere Serumkonzentrationen auf als Alpakas. Da in der multiplen Regressionsanalyse alle Faktoren parallel berücksichtigt werden, ist der Tierarteffekt nicht durch den Substitutionseffekt verursacht worden. Die Vorfahren der domestizierten Lamas und Alpakas sind *Lama guanacoe cacsilensis* (Hochland-Guanako) und *Vicugna vicugna mensalis* (nördliche Verbreitung) (Gauly 2010). Da sich die Habitate der Vorfahren überschneiden, ist deren Anpassung an die UV-Exposition wahrscheinlich vergleichbar. Ob im Laufe der Domestikation eine Tierart mit den wechselnden klimatischen Bedingungen besser zurechtgekommen ist, bleibt unbeantwortet. Smith und Van Saun (2001) konnten einen signifikanten tierartlichen Unterschied feststellen, allerdings wiesen Alpakas eine niedrigere Serumkonzentration von Vitamin D auf. Die Autoren begründen diese Beobachtung allerdings nicht mit einem Tierarteffekt, sondern mit den Vliesfarben der Alpakas. Schwarze Alpakas hatten sehr niedrige Konzentrationen von Vitamin D im Serum, helle Alpakas wiesen einen Verlauf der Serumkonzentration wie Lamas auf (Smith und Van Saun 2001). Van Saun *et al.* (1996) konnten keinen Unterschied zwischen Lamas

und Alpakas feststellen. Auch Van Saun und Herdt (2014) geben für Lamas und Alpakas identische Referenzwerte für Vitamin D an (Tabelle 16).

Grundsätzlich ist ein Unterschied des Vitamin D-Status zwischen verschiedenen Pflanzenfressern bekannt (Tabelle 17). Judson *et al.* (2011) konnten zeigen, dass die großen Intervalle der Serumkonzentration bei Alpakas im Vergleich zu Schafen durch Zeiten mit längeren täglichen Sonnenstunden zustande gekommen sind. Möglicherweise treten körpereigene Schutzmechanismen gegen eine Hypervitaminose aufgrund eines höheren Bedarfs bei Neuweltkameliden erst später in Erscheinung und bedingen so einen deutlich höheren Anstieg der Serumkonzentration. Die tierartlichen Unterschiede, die Judson *et al.* (2011) beschreiben, sind nicht von der Vliesfarbe oder –menge abhängig, da der beschriebene Effekt nach dem Scheren beobachtet wurde. Die Menge des Vlieses war keine signifikante Einflussgröße.

Warum Lamas in dieser Untersuchung eine geringere Konzentration von Vitamin D im Serum aufwiesen, ist unklar. Ein Tierarteffekt ist allerdings durchaus plausibel, da bereits bei anderen labordiagnostischen Parametern signifikante Unterschiede detektiert wurden (Hengrave Burri *et al.* 2005).

Der Einfluss der Vliesfarbe und Vliesstruktur war in dieser Studie nicht signifikant. In der Literatur wurde hingegen beschrieben, dass die Vliesfarbe der Tiere einen Einfluss auf die Serumkonzentration von Vitamin D nimmt und somit ein Risikofaktor für eine Hypovitaminose darstellen kann (Smith und Van Saun 2001, Judson *et al.* 2008, Judson *et al.* 2011). Aufgrund der vielen auftretenden Farben und deren Kombinationen wurde in der eigenen Untersuchung zwischen Schwarz und nicht Schwarz unterschieden. Der Unterschied zwischen diesen Gruppen war nicht signifikant. Auch Rademacher (2021) konnte keinen Einfluss der Vliesfarbe nachweisen. In der Literatur wird nicht immer angegeben, welche Farben die Tiere tatsächlich hatten, sondern zwischen hell und dunkel unterschieden (Judson *et al.* 2011, Judson *et al.* 2008). Bei welcher Vliesfarbe die Grenze bei dieser Einteilung gesetzt wurde, bleibt unbeantwortet. Smith und Van Saun (2001) beschreiben niedrige Serumkonzentrationen von Vitamin D bei schwarzen Alpakas. Rankins Jr. und Pugh (2012) nennen als Risikofaktor für ein Defizit an Vitamin D eine starke Bewollung bei Schaflämmern mit wenig Zugang zu natürlicher UV-Strahlung.

Neben der Vliesfarbe könnte die Hautfarbe eine wichtige Rolle spielen, da Neuweltkameliden gerade in wärmeren Jahreszeiten häufig geschoren werden und die Vliesfarbe nicht unbedingt der entscheidende Faktor sein könnte. Alle Tiere, die im Rahmen dieser Studie geschoren wurden, wurden im Mai geschoren. Die Hautfarben der Tiere entsprechen meist den Vliesfarben, wurde jedoch nicht gesondert dokumentiert. Beim Menschen ist der Einfluss der Hautfarbe auf die Vitamin D-Konzentration weitgehend bekannt. So beschreiben Powe *et al.* (2013), dass bei dunkelhäutigen Menschen in Amerika die Vitamin D-Konzentration im Serum, sowie die Konzentration des Vitamin D-Bindungsprotein (DBP) niedriger sind als bei weißen Amerikanern. Johnson und Palmer (1939) beschreiben eine niedrigere Vitamin D-Konzentration bei weißen Schweinen als bei pigmentierten Artgenossen.

Dennoch ist die Bedeutung der Vliesfarbe bei Alpakas nicht ganz klar, da in Australien beobachtet wurde, dass Crias, die nicht mit Vitamin D behandelt wurden unabhängig von der Vliesfarbe einem erhöhten Risiko einer Hypovitaminose ausgesetzt waren (Judson *et al.* 1999).

Die Vliesstruktur hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Vitamin D-Konzentration im Serum. Laut Judson *et al.* (2008) haben Suri-Alpakas höhere Serumkonzentrationen von Vitamin D und dunkle Tiere der Huacaya-Linie (v. a. Crias) sind dem größten Risiko einer Hypovitaminose D ausgesetzt. Rademacher (2021) konnte ebenfalls signifikant höhere Vitamin D-Konzentrationen bei Suri-Alpakas messen als bei Alpakas der Huacaya-Linie. Die Fasern der jeweiligen Tierarten und Rassen weisen einige Unterschiede auf (Gerken und Riek 2011). Laut den Autoren sind Huacaya-Fasern im Gegensatz zu Suri-Fasern stärker gekräuselt, die Fasern der Wooly Lamas sind im Vergleich zu den Classic-Lamas einheitlicher. Suri Alpakas haben ein gröberes Vlies als Huacaya-Alpakas (Mc Gregor und Butler 2004). Classic-Lamas besitzen kaum Unterwolle, Wooly Lamas zeichnen sich durch dickere Oberhaare aus. Die Rassen unterscheiden sich jeweils in der Anzahl der Follikel pro Quadratmillimeter Haut (Gerken und Riek 2011). Antonini *et al.* (2004) verglichen die Follikeldichte in der Haut von Huacaya und Suri Alpakas, sowie von Wooly Lamas. Grundsätzlich war die Follikeldichte bei Huacayas größer als bei Suris, Wooly Lamas lagen noch darunter. Die Unterschiede zwischen Suri und Huacaya Alpakas waren jedoch nicht signifikant und die Unterschiede zu den Wooly Lamas bestanden nur in den ersten neun Lebensmonaten. Grundsätzlich konnte keine Korrelation zwischen

der Follikeldichte und dem Alter festgestellt werden. Classic Lamas wurden nicht berücksichtigt. Die Fasern von dunklem Vlies sind gröber als die hellen Vlieses. Dabei sind die dunklen Fasern um 1 µm gröber als die hellen und variieren stärker im Durchmesser (Mc Gregor und Butler 2004). Bei Alpakas beobachteten die Autoren einen Zuwachs des Faserdurchmessers bis zu einem Alter von 7,5 Jahren. Eine Zunahme des Faserdurchmessers könnte der UV-Exposition der Haut entgegenstehen und somit die Serumkonzentration von Vitamin D negativ beeinflussen. Dies wurde bisher jedoch nicht beobachtet, da ältere Tiere in der Regel höhere Serumkonzentrationen des Vitamins aufweisen.

Unterschiede der Vliesstruktur sind zwischen den unterschiedlichen Rassen messbar. Die Unterschiede bedingen jedoch keinen signifikanten Effekt in dieser Studie und auch die Angaben aus der Literatur bieten keinen sicheren Hinweis auf einen Einfluss auf die Serumvitamin D-Konzentration bei Neuweltkameliden.

Die Wechselwirkung von Tierart und Vliesstruktur war nicht signifikant. Wie bereits beschrieben vermuten einige Autoren einen Zusammenhang von Vliesfarbe und Vitamin D-Konzentration im Serum (Smith und Van Saun 2001, Judson *et al.* 2008, Judson *et al.* 2011), sowie zwischen der Vliesstruktur und der Vitamin D-Konzentration (Judson *et al.* 2008). Da laut Mc Gregor und Butler (2004) die Vliesfarbe einen Effekt auf die Struktur des Vlieses hat, nämlich eine gröbere Faser mit größer variierendem Durchmesser, wird sie hier aufgeführt. Da keine Untersuchung bekannt ist, die einen Effekt des Vlieses von Lamas untersucht, sollte in dieser Studie verhindert werden, dass ein möglicher Effekt bei Alpakas die Ergebnisse für Lamas verzerrt. Die untersuchte Wechselwirkung stellte sich jedoch als nicht signifikant heraus. Die Follikeldichte bei Alpakas korreliert nicht signifikant mit der Rasse (Antonini *et al.* 2004), die Vliesstruktur unterscheidet sich jedoch in der Feinheit (Mc Gregor und Butler 2004). Da in dieser Studie weder die Vliesfarbe noch die Vliesstruktur, die Tierart und die Wechselwirkung von Tierart und Vliesstruktur einen signifikanten Unterschied in der Serumkonzentration von Vitamin D bedingen, scheint in Deutschland das Risiko einer Hypovitaminose D nicht von diesen Parametern abzuhängen.

Wie von anderen Autoren aufgeführt (Judson *et al.* 2008, Van Saun *et al.* 1996) konnte kein Effekt des Geschlechtes auf die Vitamin D-Blutkonzentration nachgewiesen werden. Smith und Van Saun (2001) konnten einen signifikanten Geschlechterunterschied bei neonatalen Lamas beobachten (männliche Crias hatten

höhere Vitamin D-Konzentrationen im Serum) und begründen den Effekt durch den früheren Geburtstermin der männlichen Crias in ihrer Studie. Rademacher (2021) wies bei 14 Alpakas einen signifikanten Geschlechtsunterschied der Vitamin D-Konzentration im Serum nach. Männliche Tiere wiesen sowohl höhere Werte als auch einen stärkeren Anstieg nach Substitution auf. Die Ursache bleibt unklar.

Denkbar ist ein Einfluss durch Trächtigkeit (Smith und Van Saun 1996) oder Laktation (Smith und Van Saun 2001), da für den Knochenaufbau des Jungtieres bzw. des Fetus einerseits mehr Calcium zur Verfügung stehen muss und dafür eine gute Resorptionsrate von Calcium entscheidend ist und andererseits Kolostrum eine erhöhte Vitamin D-Konzentration gegenüber normaler Milch aufweist (Smith und Van Saun 2001, Jankowski und Newman 2017, Fowler 2010). Jankowski und Newman (2017) beschreiben eine sinkende Konzentration von Vitamin D im Kolostrum im Zuge einer unzureichenden UV-Exposition und nicht eine Hypovitaminose D aufgrund hoher Vitamin D-Abgaben in die Milch. Ein solcher Effekt wurde bei Neuweltkameliden noch nicht beschrieben und trächtige sowie laktierende Tiere in dieser Studie fielen nicht durch niedrigere Vitamin D-Konzentrationen auf (Abbildung 4). Beim Menschen beschreiben Hollis und Wagner (2004) eine Korrelation zwischen maternaler Vitamin D-Aufnahme und deren Konzentration in Muttermilch und Säuglingsserum. Die Autoren untersuchten, welche maternalen Vitamin D-Aufnahmen erforderlich sind, um für Mutter und Säugling eine ausreichende Vitamin D-Konzentration zu gewährleisten. Sie empfehlen tägliche Aufnahmen von 4000 I.E. Vitamin D. Der Transport von Calcium durch die Plazenta ist, wie Versuche mit Nagetieren zeigten, wahrscheinlich weniger durch Vitamin D gesteuert, sondern durch Östrogene (Bruns *et al.* 1988).

Smith und Van Saun (1996) beschreiben ein erhöhtes Risiko für Knochendeformationen von Jungtieren bei maternalem Vitamin D-Mangel während der Trächtigkeit. Dies könnte durch eine mangelnde enterale Calciumabsorption begründet sein. In Darm (Bronner 1991) und Uterus (Wooding *et al.* 1996) ist Calbindin-D_{9k} an dem Calciumtransport beteiligt. Vitamin D steigert die Calbindin-D_{9k} Expression im Darm (Bronner 1991). Daher könnte ein Vitamin D-Mangel eine Einschränkung für die maternale Calciumaufnahme im Darm darstellen, somit das skelettale System belasten und eine geringe Vitamin D-Konzentration in der Milch bedingen.

5.3.3 Zusammenhang zwischen labordiagnostischen Parametern

Die zweite Fragestellung widmete sich einer möglichen Abschätzung der Vitamin D-Konzentration mithilfe anderer labordiagnostischer Parameter. Tabelle 13 veranschaulicht, dass bei keinem Parameter eine signifikante Korrelation zu allen Entnahmezeitpunkten besteht. Trotz der großen Variabilität der Vitamin D-Konzentration und der geringen Variabilität der Konzentrationen bzw. Aktivitäten der Serump Parameter, konnten stellenweise signifikante rohe Zusammenhänge ermittelt werden. Der punktuelle Nachweis eines Zusammenhanges ist als Zufallsergebnis zu werten. Auch die Kombination labordiagnostischer Parameter mittels schrittweiser multipler Regressionsanalyse führte zu keiner sicheren Abschätzung der Vitamin D-Konzentration.

Auch Rademacher (2021) konnte keinen Zusammenhang der Vitamin D-Konzentration mit anderen labordiagnostischen Parametern nachweisen. Untersucht wurden Gesamt-Calcium, Phosphat, Aktivität der Alkalischen Phosphatase und Eisen.

6 Zusammenfassung

Ziel dieser Dissertation war es, den aktuellen Status der Vitamin D-Versorgung von Neuweltkameliden in Mitteldeutschland zu untersuchen. Darüber hinaus sollte ein Zusammenhang potenzieller Einflussfaktoren (Tierart, Rasse, Vliesfarbe, Geschlecht, Alter, Jahreszeit) auf die Serumvitamin D-Konzentration und eine Korrelation dieser mit labordiagnostischen Parametern (Gesamteiweiß, Aktivitäten der Aspartataminotransferase (AST), der Glutamatdehydrogenase (GLDH) und der Gamma-Glutamyltransferase (GGT), Gesamtcalcium und Natrium) überprüft werden.

Im Rahmen der Bestandsbetreuung wurden in vier mittelhessischen Betrieben viermal Blutproben von Lamas und Alpakas im Verlauf eines Jahres untersucht. Insgesamt wurden 324 Blutproben von 44 Alpakas und 41 Lamas untersucht.

Zum Zeitpunkt der Blutentnahmen betrug der arithmetische Mittelwert der Vitamin D-Konzentration im Oktober 370,31 µg/L mit einer Standardabweichung von 345,15. Im Januar betrug der arithmetische Mittelwert 171,63 µg/L mit einer Standardabweichung von 218,60. Im April betrug der arithmetische Mittelwert 160,08 µg/L mit einer Standardabweichung von 191,70 und in Juli / August betrug er 409,11 µg/L mit einer Standardabweichung von 346,17.

Es zeigte sich, dass die Serumkonzentration von Vitamin D signifikant ($p < 0,05$) mit der Jahreszeit (in Monaten stärkerer Sonneneinstrahlung war die Vitamin D-Konzentration höher), dem Alter (Steigerungsfaktor pro Jahr 1,00735), der Substitution (Steigerungsfaktor 2,09 bei Substitution) und der Tierart zusammenhängt. Dabei besaßen Alpakas eine 1,84-mal so hohe Vitamin D-Konzentrationen im Blut wie Lamas. Es konnte kein signifikanter Zusammenhang der Vitamin D-Konzentration mit der Vliesfarbe, der Vliesstruktur und dem Geschlecht nachgewiesen werden.

Um einen Zusammenhang der labordiagnostischen Parameter mit der Vitamin D-Konzentration im Serum zu überprüfen, wurde zunächst überprüft, ob signifikante Zusammenhänge zu Einzelparametern zu den jeweiligen Entnahmezeitpunkten bestehen. Keiner der Parameter wies zu jedem Zeitpunkt der Blutentnahmen einen signifikanten Zusammenhang mit der Vitamin D-Konzentration auf und wäre daher geeignet, Rückschlüsse auf diese zuzulassen.

Unter der Berücksichtigung aller Parameter in einer Regressionsanalyse mit Modellreduktion, wurde eine Formel ermittelt, die unter Zuhilfenahme der labordiagnostischen Parameter mit der höchsten Signifikanz, eine Schätzung der Serumkonzentration von Vitamin D ermöglichen sollte. Durch den vorliegenden hohen Streufaktor von 3,35, kann jedoch auf diese Weise keine zuverlässige Abschätzung der Vitamin D-Konzentration erfolgen.

Als Limitation der Arbeit muss beachtet werden, dass es sich um eine Feldstudie in nur vier Betrieben in Mittelhessen handelte. Dadurch konnten betriebspezifische Faktoren und organisatorische Einflussfaktoren (z.B. Verkauf von Tieren während des Untersuchungszeitraums) nicht vermieden werden. Dadurch, dass eine Substituierung von Vitamin D ausschließlich im Winter erfolgte, konnte der Substitutionseffekt im Sommer nicht erfasst werden.

7 Summary

The aim of this dissertation was to investigate the current status of vitamin D supply of New World camelids in central Germany. In addition, a correlation of potential influencing factors (animal species, breed, fleece color, sex, age, season) on serum vitamin D concentration and a correlation of these to laboratory diagnostic parameters (total protein, activities of aspartate aminotransferase (AST), glutamate dehydrogenase (GLDH) and GAMMA glutamyltransferase (GGT), total calcium and sodium) should be checked.

Blood samples from llamas and alpacas were examined four times over the course of a year as part of the herd management program on four farms in central Hesse. A total of 324 blood samples from 44 alpacas and 41 llamas were examined.

At the time of blood sampling, the arithmetic mean of vitamin D concentration in October was 370.31 µg/L with a standard deviation of 345.15. In January, the arithmetic mean was 171.63 µg/L with a standard deviation of 218.60. In April, the arithmetic mean was 160.08 µg/L with a standard deviation of 191.70 and in July/August it was 409.11 µg/L with a standard deviation of 346.17.

It was found that the serum concentration of vitamin D was significantly ($p < 0.05$) related to the season (the vitamin D concentration was higher in months with more sunlight), age (increase factor per year 1.00735), substitution (increase factor 2.09 with supplementation) and animal species. Alpacas had 1.84 times higher vitamin D concentrations in their blood than llamas. No significant correlation of vitamin D concentration with fleece color, fleece structure and sex could be demonstrated.

In order to verify a correlation between the laboratory diagnostic parameters and the vitamin D concentration in the serum, it was first checked whether there were significant correlations with individual parameters at the respective sampling times. None of the parameters showed a significant correlation with the vitamin D concentration at any of the blood sampling times and would therefore be suitable for drawing conclusions about this.

Taking all parameters into account in a regression analysis with model reduction, a formula was determined which, with the aid of the laboratory diagnostic parameters with the highest significance, should enable an estimate of the serum concentration of

vitamin D to be made. However, due to the high scatter factor of 3.35, it is not possible to reliably estimate the vitamin D concentration in this way.

A limitation of the study is that it was a field study on only four farms in Central Hesse. As a result, farm-specific factors and organizational factors (e.g. sale of animals during the study period) could not be avoided. As vitamin D was only substituted in winter, the substitution effect in summer could not be recorded.

Bauer N, Neumann S (2013): Skelettmuskulatur, Knochen, Kalzium-, Phosphor-, Magnesiumstoffwechsel. In: Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin, Moritz A. (Hrsg.) Verlag Schattauer. 7. Auflage. 325-331.

Baumgärtner W, Wohlsein P (2015): Umwelt- und ernährungsbedingte Erkrankungen. In: Allgemeine Pathologie für die Tiermedizin, Baumgärtner W, Gruber AD. Verlag Ferdinand Enke. 2. Auflage. 69-70.

Bronner F (1991): Calcium Transport across Epithelia. International Review of Cytology. Band 131. 169-212.

Bruns ME, Overpeck JG, Smith GC, Hirsch GN, Mills SE, Bruns DE (1988): Vitamin D-Dependent Calcium Binding Protein in Rat Uterus: Differential Effects of Estrogen, Tamoxifen, Progesterone, and Pregnancy on Accumulation and Cellular Localization. Endocrinology. Band 122, Nr. 6. 2371-2378.

Cebra C, Cebra M (2012): Diseases of the Hematologic, Immunologic, and Lymphatic System (Multisystem Disease). In: Sheep and goat medicine, Pugh DG, Baird AN. Verlag Elsevier. 2. Auflage. 466-502.

Christian JA, Pugh DG (2012): Reference Intervals and Conversions. In: Sheep and goat medicine, Pugh DG, Baird AN. Verlag Elsevier. 2. Auflage. 596-600.

D'Alterio GL, Bazeley KJ (2006): Referral service for South American camelids at the University of Bristol Veterinary School: A review of cases from 1999 to 2002. In: South American camelids research Volume I, Gerken M, Renieri C. Verlag Wageningen Academic Publishers. 239-245.

Erben RG (2009): Knochen und Calciumhomöostase. In: Physiologie der Haustiere, Von Engelhardt W. Verlag Ferdinand Enke. 3. Auflage. 656-660.

Foster A, Bidewell C, Barnett J, Sayers R (2009): Haematology and biochemistry in alpacas and llamas. In Practice. Band 31. 276-281.

Fowler ME (2010): Feeding and Nutrition. In: Medicine and surgery of camelids, Fowler ME. Verlag Wiley-Blackwell. 3. Auflage. 36-39.

Fromm M, Gäbel G (2009): Niere. In: Physiologie der Haustiere, Von Engelhardt W. Verlag Ferdinand Enke. 3. Auflage. 292.

Fürll M (2013): Spezielle Untersuchung beim Wiederkäuer. In: Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin, Moritz A. Verlag Schattauer. 7. Auflage. 760-762.

Gallagher JC, Riggs BL, Eisman J, Hamstra A, Arnaud SB, Deluca HF (1979): Intestinal Calcium Absorption and Serum Vitamin D Metabolites in Normal Subjects and Osteoporotic Patients: EFFECT OF AGE AND DIETARY CALCIUM. The Journal of Clinical Investigation. Band 64, Nr. 3. 729-736.

Gauly M, Vaughan J (2011): Fütterung. In: Neuweltkameliden (Haltung, Zucht, Erkrankungen), Gauly M, Vaughan J, Cebra C. Verlag Ferdinand Enke. 3. Auflage. 42-45.

Gerken M, Riek A (2011): Leistungen und Produkte. In: Neuweltkameliden (Haltung, Zucht, Erkrankungen), Gauly M, Vaughan J, Cebra C. Verlag Ferdinand Enke. 3. Auflage. 93-97.

Gerspach C, Bateman S, Sherding R, Chew DJ, Besier AS, Grieves JL, Lakritz J (2010): Acute Renal Failure and Anuria Associated with Vitamin D Intoxication in Two Alpaca (*Vicugna pacos*) Cria. Journal of Veterinary Internal Medicine. Band 24, Nr. 8. 443-449.

Griebsch C, Neiger R (2013) Klinische Endokrinologie. In: Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin, Moritz A. (Hrsg.) Verlag Schattauer. 7. Auflage. 368.

Helmer C, Wagener MG, Hannemann R, Schwennen C, von Altrock A, Kleinschmidt S, Kammeyer P, Puff C, Becker K, Ganter M (2017): Hypervitaminose D bei Neuweltkameliden – zwei Fallbeschreibungen. Der Praktische Tierarzt 98, Heft 09. 952-962.

Hengrave Burri I, Tschudi P, Martig J, Liesegang A, Meylan M (2005): Neuweltkameliden in der Schweiz. II. Referenzwerte für hämatologische und blutchemische Parameter. Schweizer Archiv für Tierheilkunde. Band 147, Nr. 8. 335-343.

Hill FI, Thompson KG, Grace ND (1994): Rickets in alpacas (*Lama pacos*) in New Zealand. New Zealand Veterinary Journal. Band 42 Nr. 6. 229-232.

Hines TG, Horst RL, Littledike ET, Beitz DC, Jacobson NL (1986): Vitamin D₃ and D₃ Metabolites in Young Goats Fed Varying Amounts of Calcium and Vitamin D₃. Journal of Dairy Science. Band 69, Nr. 2. 385-391.

Holick MF (1995): Environmental factors that influence the cutaneous production of vitamin D. The American Journal of Clinical Nutrition. Band 61, Nr. 3. 638S-645S.

Hollis BW, Wagner CL (2004): Vitamin D requirements during lactation: high-dose maternal supplementation as therapy to prevent hypovitaminosis D for both the mother and the nursing infant. The American Journal of Clinical Nutrition. Band 80, Nr. 6. 1752S-1758S.

Horst RL (1986): Regulation of Calcium and Phosphorus Homeostasis in the Dairy Cow. Journal of Dairy Science. Band 69, Nr. 2. 604-616.

Huisinga E (2013): Elektrolyte. In: Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin, Moritz A. (Hrsg) Verlag Schattauer. 7. Auflage. 337-348.

Jankovsky JM, Newman SJ (2017): Pathology in Practice. Journal of the American Veterinary Medical Association. Band 251, Nr. 5. 531-534.

Judson GJ (1999): Biochemistry. In: Australian Alpaca Fibre, Improving Productivity and Marketing. RIRDC Publication. Nr. 99/140. 55-68.

Judson GJ, Feakes A (1999): Vitamin D doses for alpacas (Lama pacos). Australian Veterinary Journal. Band 77, Nr. 5. 310-315.

Judson GJ, Mc Gregor BA, Howse AM (2011): Blood mineral, trace-element and vitamin concentrations in Huacaya alpacas and Merino sheep grazing the same pasture. CSIRO PUBLISHING, Animal Production Science, Band 51. 873-880.

Judson GJ, Mc Gregor BA, Partington DL (2008): Factors associated with low vitamin D status of Australian alpacas. Australian Veterinary Journal. Band 86, Nr. 12. 486-490.

Littledike ET, Goff J (1987): Interactions of Calcium, Phosphorus, Magnesium and Vitamin D that Influence their Status in Domestic Meat Animals. Journal of Animal Science. Band 65, Nr. 6. 1727-1743.

McDowell LR (1989): Vitamin D. In: Vitamins in animal nutrition Comparative aspects to human nutrition. Verlag Academic Press. 55-92.

Mc Gregor BA, Butler KL (2004): Sources of variation in fibre diameter attributes of Australian alpacas and implications for fleece evaluation and animal selection. Australian Journal of Agricultural Research. Band 55, Nr. 4. 433-442.

Moritz A, Schwendenwein I, Kraft W (2013) Hämatologie. In: Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin, Moritz A. (Hrsg.) Verlag Schattauer. 7. Auflage. 89.

Neumann S (2013): Leber. In: Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin, Moritz A. (Hrsg.) Verlag Schattauer. 7. Auflage. 256-258.

Palmer N (1993): Bones and Joints. In: Jubb KVF, Kennedy PC, Palmer N, Pathology of Domestic Animals, vol. 1, fourth ed., Verlag Academic Press. 67–72.

Parker JE, Timm KI, Smith BB, Van Saun RJ, Winters KM, Sukon P, Snow CM (2002): Seasonal interaction of serum vitamin D concentration and bone density in alpacas. American Journal of Veterinary Research. Band 63, Nr. 7. 948-953.

Pearson LK, Rodriguez JS, Tibary A (2014): Postpartum Disorders. In: Llama and alpaca care (medicine, surgery, reproduction, nutrition, and herd health), Cebra C, Anderson DE, Tibary A, Van Saun RJ, Johnson LW. Verlag Elsevier. 1. Auflage. 308.

Powe CE, Evans MK, Wenger J, Zonderman AB, Berg AH, Nalls M, Tamez H, Zhang D, Bhan I, Karumanchi SA, Powe NR, Thadhani R (2013): Vitamin D-Binding Protein and Vitamin D Status of Black Americans and White Americans. New England Journal of Medicine. Band 369, Nr. 21. 1991–2000.

Rademacher (2021): Vitamin D-Konzentration und andere labordiagnostische Parameter nach Vitamin D-Injektion beim Alpaka. Inaugural-Dissertation. Justus-Liebig-Universität Gießen.

Rankins DL Jr., Pugh DG (2012): Feeding and Nutrition. In: Sheep and goat medicine, Pugh DG, Baird AN. Verlag Elsevier. 2. Auflage. 26-27.

Rumbeiha NK (2013): Cholecalciferol. In: Small animal toxicology, Peterson ME, Talcott PA. Verlag Elsevier. 3. Auflage. 489-498.

Schweigert FJ (2009): Vitamine. In: Physiologie der Haustiere, Von Engelhardt W. Verlag Ferdinand Enke. 3. Auflage. 661-665.

Schwendenwein I (2013): Serumproteine – Plasmaproteine. In: Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin, Moritz A. (Hrsg.) Verlag Schattauer. 7. Auflage. 294-297.

Semevolos SA, Reed SK, Schultz LG (2013): Evaluation of serum trace mineral, vitamin D, and sex steroid hormone concentration, and survey data in llamas and alpacas with metacarpophalangeal and metatarsophalangeal hyperextension. American Journal of Veterinary Research. Band 74, Nr. 1. 48-52.

Sherman SS, Hollis BW, Tobin JD (1990): Vitamin D Status and Related Parameters in a Healthy Population: The Effects of Age, Sex, and Season. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism. Band 72, Nr. 2. 405-413.

Smith BB, Van Saun RJ (1996): Hypophosphataemic rickets in South American camelids: interaction of calcium, phosphorus, and vitamin D. In: Gerken M, Renieri C. Proceedings 2nd European Symposium on South American camelids: Università Degli Studi Di Camerino, Italy. 79-94.

Smith BB, Van Saun RJ (2001): Seasonal changes in serum calcium, phosphorus, and vitamin D concentrations in llamas and alpacas. American Journal of Veterinary Research. Band 62, Nr. 8. 1187-1193.

Tavella A, Stefani A, Zanardello C, Bettini A, Gauly M, Zanolari P (2016): Dystrophic mineralization of the arterial fibrovascular tissue associated with a vitamin D hypervitaminosis in an 8-year-old female Alpaca (*Vicugna pacos*). Irish Veterinary Journal, Band 69. 19.

Uhl EW (2018): The pathology of vitamin D deficiency in domesticated animals: An evolutionary and comparative overview. International Journal of Paleopathology. Band 23 (2018).100–109.

Van Saun RJ (2006): Nutritional diseases of South American camelids. Verlag Small Ruminant Research. Band 61, Nr. 2. 153-164.

Van Saun RJ (2006): Vitamin D rickets: diagnosis, treatment and prevention. In: Proceedings of the International Camelid Health Conference for Veterinarians, Columbus, Ohio, Ohio State University. 164-169.

Van Saun RJ (2006): Nutrient requirements of South American camelids: A factorial approach. Small Ruminant Research. Band 61, Nr. 2. 165-186.

Van Saun RJ (2014): Nutritional Requirements. In: Llama and alpaca care (medicine, surgery, reproduction, nutrition, and herd health), Cebra C, Anderson DE, Tibary A, Van Saun RJ, Johnson LW. Verlag Elsevier. 1. Auflage. 78.

Van Saun RJ, Smith BB, Watrous BJ (1996). Evaluation of vitamin D status of llamas and alpacas with hypophosphatemic rickets. Journal of the American Veterinary Medical Association. Band 209, Nr. 6. 1128–1133.

Van Saun RJ und Herdt T (2014): Nutritional Assessment. In: Llama and alpaca care (medicine, surgery, reproduction, nutrition, and herd health), Cebra C, Anderson DE, Tibary A, Van Saun RJ, Johnson LW. Verlag Elsevier. 1. Auflage. 119-120.

Wagener MG, Helmer C, Kammeyer P, Kleinschmidt S, Punsmann TM, Meilwes JM, Schwennen C, von Altrock A, Wilkens M, Schwert B, *et al.* Calcinosis in Alpaca Crias (*Vicugna pacos*) Due to Vitamin D Intoxication—Clinical, Laboratory and Pathological Findings with a Focus on Kidney Function. Animals 2021, 11, 2332.

Whitlock BK, Coffman EA, Pugh DG (2012): Diseases of the Endocrine System. In: Sheep and goat medicine, Pugh DG, Baird AN. Verlag Elsevier. 2. Auflage. 231-255.

Wolffram S und Scharrer E (2009): Magen-Darm-Kanal. In: Physiologie der Haustiere, Von Engelhardt W. Verlag Ferdinand Enke. 3. Auflage. 429.

Wooding FBP, Morgan G, Jones GV, Care AD (1996): Calcium transport and the localisation of calbindin-D9k in the ruminant placenta during the second half of pregnancy. Cell and Tissue Research. Band 285, Nr. 3. 477-489.

Zongping L (2005): Studies on rickets and osteomalacia in Bactrian camels (*Camelus bactrianus*). The Veterinary Journal. Band 169, Nr. 3. 444-453.

Deutscher Wetterdienst (2019):

<https://www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihen/zeitreihen.html?nn=480164#buehneTop>

9 Anhang

9.1 Ausschnitte der Anlage zur Akkreditierung D-ML-13129-01-00



Anlage zur Akkreditierungsurkunde D-ML-13129-01-00

Analyt (Messgröße)	Untersuchungsmaterial (Matrix)	Untersuchungstechnik
Valproinsäure	Serum	CMIA
Vitamin B12	Serum, Plasma	ECLIA
Vitamin D3 (25-OH)	Serum	CLIA

Gültigkeitsdauer: 21.12.2017 bis 17.10.2021

Ausstellungsdatum: 21.12.2017

Seite 4 von 11

9.2 Erhobene Daten für statistische Rechenläufe

Die nachfolgenden Tabellenausschnitte sind Teile einer zusammenhängenden Tabelle. Daher befindet sich die Legende ausschließlich am ersten Tabellenausschnitt.

Tabelle A1: Erhobene Daten für statistische Rechenläufe

Betrieb	Tiernummer	Tierart 1= Alpaka, 2=Lama	Farbe 1=schwarz, 2=nicht schwarz	Rasse (Fellstruktur) 1=H und W 2=S und C	Geschlecht 1=M, 2=W	Alter (Monate)	Jahreszeit	Substitution 0=Nein, 1=Ja	Freiland aufenthalt in Std.	Vitamin D (µg/l)	Calcium	γGT (U/l)	AST (U/l)	GLDH (U/l)	ges. Protein (g/l)	Natrium (mmol/l)
1	1	1	1	2	1	37	1	0	7	59,3	2,09	12	60	6	58,88	148,2
						41	2	1	0	145	2,12	11	57	4	60,7	147,1
						43	3	0	24	382	2,22	11	59	4	64,7	152,5
						46	4	0	8	325	2,19	15	53	8	69	140,4
	2	1	2	2	1	15	1	0	7	56	2,06	11	69	9	61,24	149,9
						18	2	1	0	35,9	2,11	13	54	9	55,5	153
						21	3	1	24	55,7	2,29	14	60	9	64,9	149,7
						24	4	0	8	1452	2,44	19	44	12	76,2	142
	3	1	2	2	2	7	1	0	7	52,7	2,13	10	51	7	73,43	152
						11	2	1	0	78,9	2,35	15	58	3	59,6	144,9
						13	3	0	24	93	2,35	18	62	5	62,5	145,3
						17	4	0	8	53,1	2,27	15	47	6	77,8	141,9
	4	1	2	1	2	39	1	0	7	11,4	2,16	11	52	20	73,84	153,2
						43	2	1	0	70,9	1,98	13	39	13	57,8	148,6
						45	3	0	24	51,9	2,06	14	44	9	60,6	147,5
						49	4	0	8	88,7	2,09	13	36	9	69,6	144,1
	5	1	2	2	2	24	1	0	7	112	2,19	22	56	13	69,67	151,1
						27	2	1	0	348	2,17	15	49	6	73,3	149,1
						30	3	1	24	535	2,13	11	56	7	65,5	144,7
						34	4	0	8	94,9	2,08	13	45	6	78,9	141,9
	6	1	2	2	1	63	1	0	7	34,7	2,1	8	99	39	56,28	152,3
						67	2	1	0	93,3	2,08	13	66	4	64,1	147,6
						70	3	1	24	72,6	2,11	12	67	5	69,9	152,6
						74	4	0	8	54,9	1,96	14	62	5	66,2	143,5
	7	1	2	1	1	14	1	0	7	50,8	2,21	9	44	4	65,66	157,4
						18	2	1	0	35,2	2,13	10	41	13	58,7	149,2
						20	3	1	24	38,7	2,07	8	51	14	62,8	145,8
						24	4	0	8	605	2,26	11	43	15	76,8	141,1
	8	1	2	1	1	48	1	0	7	1155	2,34	18	68	6	65,14	148,7
						52	2	1	0	662	2,12	17	60	2	68,6	147,6
						54	3	1	24	638	2,31	18	86	11	73,2	150,4
						58	4	0	8	1096	2,43	20	68	4	82,2	140,4
	9	1	2	2	1	40	1	0	7	60,7	2,22	16	52	10	68,52	153,1
						43	2	1	0	93,5	2,12	7	56	5	61,1	150,6
						46	3	1	24	407	2,11	7	54	5	65,7	151,9
						49	4	0	8	729	2,08	13	46	5	67,4	143,6

Fortsetzung Tabelle A1: Erhobene Daten für statistische Rechenläufe

1	10	1	1	2	1	53	1	0	7	57,8	2,33	31	39	7	73,07	156
						56	2	1	0	26,2	2,1	10	35	8	80	144
						58	3	1	24	102	2,02	9	38	4	71,2	149,2
						62	4	0	8	599	2,02	9	40	9	64	142,5
	11	1	1	2	2	112	1	0	7	416	2,1	10	56	7	66,94	149,9
						115	2	1	0	440	2,07	10	58	5	61	150,5
						117	3	0	24	441	2,03	14	51	9	57,6	148,9
						121	4	0	8	123	1,98	13	39	9	68,5	145,6
	12	1	1	2	2	117	1	0	7	541	2,1	9	60	4	60,93	151,8
						120	2	1	0	392	2,02	13	45	3	56,3	149,1
						123	3	0	24	116	2,02	11	44	5	52,3	145
						126	4	0	8	108	1,99	15	44	5	65,1	143,4
	13	1	2	2	2	111	1	0	7	132	2,23	11	68	9	77,88	151,1
						115	2	1	0	107	2,13	21	54	14	63,1	149
						*	3	*	*	*	*	*	*	*	*	*
						121	4	0	8	42,9	2,08	18	54	8	66,5	141,3
	14	1	2	2	1	14	1	0	7	13,1	2,2	13	64	5	67,24	150,6
						*	2	*	*	*	*	*	*	*	*	*
						*	3	*	*	*	*	*	*	*	*	*
						*	4	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	15	1	2	2	1	16	1	0	7	40,7	2,51	14	55	5	79,27	147,7
						19	2	1	0	438	2,23	10	50	2	59,6	150,5
						22	3	0	24	65,3	2,2	9	59	3	60,1	148,1
						25	4	0	8	816	2,18	13	47	6	67	145,2
	16	1	2	1	1	38	1	0	7	359	2,31	13	60	6	78,83	151,7
						41	2	1	0	31,9	2,09	10	45	5	67,8	150,1
						44	3	1	24	80,4	2,06	8	49	9	67,1	152,7
						47	4	0	8	528	2,01	14	49	7	72,7	142,7
	17	1	2	2	2	26	1	0	7	619	2,21	8	56	14	67,24	153,2
						30	2	1	0	469	2,18	21	40	4	63,1	148,6
						32	3	0	24	122	2,27	22	47	7	65	154,2
						36	4	0	8	121	2,16	28	47	8	70,5	146,9
	18	1	2	2	2	117	1	0	7	893	2,16	15	62	4	69,4	154,9
						120	2	1	0	487	2,08	15	41	4	66,5	149,1
						*	3	*	*	*	*	*	*	*	*	*
						127	4	0	8	324	2,17	13	61	9	82,5	138,3
	19	1	1	2	2	116	1	0	7	455	2,13	10	56	9	70,38	152,4
						119	2	1	0	445	2,11	11	34	8	67,4	149,85
						122	3	0	24	99,3	2,13	10	37	24	75,1	144,9
						125	4	0	8	338	2,12	10	39	17	75,3	147,6

Fortsetzung Tabelle A1: Erhobene Daten für statistische Rechenläufe

1	20	1	1	2	1	26	1	0	7	59,7	1,91	13	30	7	72,19	150,5
						29	2	1	0	58,3	2,14	10	58	9	73,7	150,3
						32	3	1	24	124	2,41	12	63	11	79,9	148,9
						35	4	0	8	375	2,28	14	57	11	87,1	144,3
	21	1	2	2	2	18	1	0	7	904	2,21	12	67	12	63,87	151,2
						21	2	1	0	113	2,16	19	54	4	58,1	149,1
						24	3	0	24	121	2,23	18	56	5	66,2	148,5
						27	4	0	8	444	2,26	23	69	21	72,5	143,3
	22	1	2	2	2	16	1	0	7	34	2,26	11	53	4	68,33	152,3
						20	2	1	0	69,3	2,1	10	44	2	68,7	148
						22	3	0	24	36,1	2,1	9	44	4	62,9	147,8
						26	4	0	8	23,9	2,13	11	51	6	75,2	144
	23	1	2	2	2	52	1	0	7	382	2,1	12	60	3	78,97	150,6
						56	2	1	0	147	2,06	8	59	4	57,1	149,9
						58	3	0	24	108	2,04	6	65	6	53,1	148,8
						62	4	0	8	68,8	2,05	9	68	6	64,9	141
	24	1	2	2	2	38	1	0	7	437	0,79	8	65	5	50,11	151,7
						42	2	1	0	425	2,26	13	47	7	60,6	148,9
						44	3	0	24	130	2,1	9	43	11	59,1	149,2
						48	4	0	8	59,2	2,02	12	45	17	63,7	142,6
2	25	1	2	2	2	1	1	1	10	58,9	2,34	15	64	19	51,99	145
						4	2	0	9,5	12,9	1,23	8	65	8	60,4	149,9
						7	3	0	10	30,8	2,21	9	68	7	51,3	146,5
						10	4	0	11,5	20,1	2,13	11	68	8	61,2	137,3
	26	1	2	2	1	4	1	1	10	452	2,35	14	59	6	51,87	145,1
						8	2	0	9,5	94,7	2,18	19	69	5	63,3	143,7
						10	3	0	10	92,5	2,22	19	61	5	60,9	148
						14	4	0	11,5	90,5	2,01	18	56	7	57,7	133,6
	27	1	2	2	2	105	1	1	10	330	1,99-	18	53	13	57,75	150,1
						108	2	0	9,5	44,4	2,02	16	58	22	66,3	149,3
						111	3	1	10	89	2,01	13	54	10	64,8	151
						114	4	0	11,5	587	2,01	19	85	23	53,8	145,6
	28	1	2	1	2	14	1	1	10	336	2,25	11	52	3	57,58	146,9
						18	2	0	9,5	45,6	2,2	10	61	8	63	147,5
						20	3	1	10	131	2,14	9	68	3	59,9	148,7
						*	4	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	29	1	2	1	2	3	1	1	10	308	2,33	11	66	11	59,46	141,3
						*	2	*	*	*	*	*	*	*	*	*
						*	3	*	*	*	*	*	*	*	*	*
						*	4	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Fortsetzung Tabelle A1: Erhobene Daten für statistische Rechenläufe

2	30	1	1	1	2	66	1	1	10	413	1,89-	24	54	4	68,89	145,4
						69	2	0	9,5	36	2,08	24	54	5	81,2	148
						72	3	1	10	83,6	2,02	17	65	5	76,5	145,9
						75	4	0	11,5	140	1,95	17	48	6	81,5	138,4
	31	1	1	1	1	4	1	1	10	62,3	2,39	9	71	13	55,4	147
						7	2	0	9,5	25,7	2,25	9	83	19	57,8	146,6
						9	3	0	10	41,7	2,29	10	70	10	61	145,7
						13	4	0	11,5	74,9	2,11	10	70	7	60,9	137,7
	32	1	2	1	2	58	1	1	10	1265	2,19	11	38	10	68,29	149
						61	2	0	9,5	823	2,29	11	40	16	70,8	147,5
						64	3	1	10	642	2,26	10	54	8	66,7	151,9
						*	4	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	33	1	2	1	2	82	1	1	10	401	2,21	10	48	2	62,2	148,3
						85	2	0	9,5	57	2,17	9	54	5	68,7	152
						88	3	1	10	72,6	2,18	9	54	3	67,1	148,9
						*	4	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	34	1	1	1	2	57	1	1	10	616	2,29	13	57	4	67,63	149,2
						61	2	0	9,5	40,3	2,19	18	79	11	66,6	148,2
						63	3	1	10	369	2,07	16	83	7	68,1	150,5
						67	4	0	11,5	775	2,08	17	74	8	67,1	141,7
	35	1	2	1	2	30	1	1	10	544	2,21	11	52	4	58,65	150,4
						33	2	0	9,5	120	2,12	11	53	8	60,8	151,6
						36	3	1	10	108	2,1	11	60	7	67,3	150,8
						40	4	0	11,5	612	2,01	18	56	6	62,5	143,9
	36	1	2	2	2	66	1	1	10	551	2,04	20	52	4	59,37	148,6
						69	2	0	9,5	75,9	2,4	24	52	7	70,9	148
						72	3	1	10	437	2,04	19	54	4	62,1	150,4
						75	4	0	11,5	947	2,14	18	51	5	71,2	151,9
	37	1	2	2	2	25	1	1	10	425	2,21	15	37	2	65,12	148,2
						28	2	0	9,5	60,4	2,14	13	38	4	69	150,7
						31	3	1	10	78,1	2,07	14	44	3	73,7	149,4
						34	4	0	11,5	738	1,97	16	54	7	70,8	138,4
	38	1	2	1	1	3	1	1	10	65,2	2,47	9	77	27	60,31	148,9
						6	2	0	9,5	10,9	2,32	8	81	6	68,7	147,4
						9	3	0	10	50,5	2,44	10	73	11	73,9	146,6
						12	4	0	11,5	735	2,33	12	56	5	79,4	138,8
	39	1	2	2	2	19	1	1	10	489	2,27	12	50	3	65,24	149,5
						22	2	0	9,5	62,4	2,08	10	77	9	59,8	149,6
						24	3	1	10	121	2,16	11	69	3	63,1	152,5
						28	4	0	11,5	779	2,11	12	48	2	62,8	144,7

Fortsetzung Tabelle A1: Erhobene Daten für statistische Rechenläufe

2	40	1	2	1	2	25	1	1	10	482	2,22	28	55	14	58,65	149,7
						28	2	0	9,5	70,1	2,13	19	65	17	65,1	147,3
						30	3	1	10	144	1,94	14	77	10	55,5	141,2
						34	4	0	11,5	618	2,07	16	63	9	67,1	144,5
	41	1	2	1	2	28	1	1	10	415	2,16	13	55	6	64,23	147,9
						31	2	0	9,5	49,4	2,22	14	54	33	78	149,2
						34	3	1	10	71,3	1,95	13	53	19	75,3	151
						37	4	0	11,5	123	2,04	18	65	14	73,9	141,5
	42	1	2	1	2	59	1	1	10	447	2,19	13	58	7	61,42	149,6
						62	2	0	9,5	56,1	2,32	14	66	14	79,6	146,3
						65	3	1	10	101	2,11	10	173	7	65,5	150,1
						68	4	0	11,5	476	1,97	8	50	7	70	140,1
	43	1	2	1	2	14	1	1	10	486	2,28	13	64	5	55,24	148,4
						17	2	0	9,5	64	2,21	13	78	5	63,2	150,9
						19	3	1	10	109	1,97	10	76	4	56	148,7
						23	4	0	11,5	463	2,09	12	65	5	64,2	144,4
	44	1	2	1	1	14	1	1	10	46,5	2,17	11	65	4	51,96	146,6
						17	2	0	9,5	34,2	2,18	8	76	4	58	150,7
						20	3	0	10	80,2	2,21	8	74	9	60,5	148,7
						23	4	0	11,5	71,3	2,09	7	68	6	69,7	140,3
3	45	2	2	1	1	126	1	1	24	873	2,53	19	57	4	72,74	148,7
						129	2	1	24	594	2,22	14	61	5	67,1	147,2
						131	3	0	24	489	2,28	13	61	5	63,5	151,3
						135	4	0	24	1008	2,29	19	64	7	73,3	152,1
	46	2	2	1	1	62	1	1	24	688	2,34	26	60	5	76,82	147,1
						65	2	1	24	434	2,1	22	56	8	65,5	148,1
						68	3	0	24	125	2,26	22	77	8	65,4	149,5
						71	4	0	24	1243	2,17	26	69	8	67	151,8
	47	2	2	2	1	87	1	1	24	1331	2,73	26	51	14	78,18	143,4
						90	2	1	24	755	2,34	21	48	19	70	148,4
						93	3	0	24	743	2,53	18	67	15	70,9	146,4
						*	4	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	48	2	2	2	1	208	1	1	24	625	2,47	19	31	5	68,32	147,4
						212	2	1	24	575	2,35	21	30	6	70,6	148,9
						214	3	0	24	622	2,55	22	41	7	75,4	148,8
						218	4	0	24	598	2,48	22	38	5	75,3	149
	49	2	2	2	1	39	1	1	24	723	2,18	20	63	4	59,78	151,3
						43	2	1	24	444	2,11	15	46	4	65,1	151,4
						45	3	0	24	440	2,2	14	70	4	61,8	151,6
						49	4	0	24	738	2,22	19	62	9	68,5	152,9

Fortsetzung Tabelle A1: Erhobene Daten für statistische Rechenläufe

3	50	2	2	1	1	17	1	1	24	360	2,44	19	73	3	55,06	150,1
						20	2	1	24	85,5	2,2	16	63	6	64,5	144,3
						23	3	0	24	88,6	2,49	17	80	6	64,5	147,5
						26	4	0	24	733	2,32	21	71	7	66,2	147
	51	2	2	2	1	64	1	1	24	586	2,33	16	54	4	65,99	150,1
						68	2	1	24	143	2,1	13	45	5	68,7	147,1
						70	3	0	24	130	2,42	12	78	7	69,8	148,8
						74	4	0	24	952	2,24	15	62	5	72	148,9
	52	2	2	2	1	17	1	1	24	583	2,48	17	62	3	57,3	150,3
						20	2	1	24	137	2,08	17	53	9	63,7	145
						23	3	0	24	111	2,09	15	63	7	56,8	144,5
						*	4	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	53	2	2	2	1	17	1	1	24	149	2,43	21	54	21	58,05	153,8
						21	2	1	24	146	2,26	18	30	6	70,7	149,5
						23	3	0	24	81	2,32	16	66	15	61,9	150,4
						27	4	0	24	496	2,21	20	58	12	69,6	149,5
	54	2	2	1	1	17	1	1	24	142	2,52	12	69	5	59,55	149,4
						20	2	1	24	103	1,74	11	78	13	60,9	147,5
						23	3	0	24	83,5	2,33	12	79	10	61,6	149,3
						26	4	0	24	579	2,46	12	64	8	73,9	150,7
	55	2	2	2	1	63	1	1	24	937	2,31	25	52	6	60,73	152,1
						66	2	1	24	557	2,17	21	39	10	69,6	147,5
						69	3	0	24	544	2,33	22	62	22	69,7	148,7
						73	4	0	24	869	2,24	25	53	11	68,3	151,9
	56	2	2	1	1	16	1	1	24	137	2,58	15	67	4	64,64	151
						19	2	1	24	316	2,33	15	67	10	73,2	145,4
						21	3	0	24	92,1	2,33	11	69	10	62,6	152,3
						25	4	0	24	504	2,24	12	52	7	60	149,4
	57	2	2	1	1	208	1	1	24	433	2,11	19	52	5	63,9	146,6
						212	2	1	24	51,9	1,91	19	71	7	67,2	145,8
						214	3	0	24	109	2,09	19	54	8	64,2	146,9
						218	4	0	24	573	2,12	17	66	7	68,9	148,4
	58	2	2	1	2	87	1	1	24	453	2,14	19	48	5	59,62	149
						91	2	1	24	85,9	2,07	21	37	10	61,9	146,9
						93	3	0	24	83	2,26	20	52	5	68,3	146,6
						97	4	0	24	119	2,03	21	48	10	63	141,5
	59	2	2	2	2	95	1	1	24	493	2,18	20	51	8	65,2	149,4
						98	2	1	24	52,9	2,18	20	43	20	68,6	149,3
						101	3	0	24	50,2	2,26	22	48	12	70,1	148,6
						104	4	0	24	78,7	2,18	25	55	11	74,1	145,2

Fortsetzung Tabelle A1: Erhobene Daten für statistische Rechenläufe

3	60	2	2	2	2	40	1	1	24	634	2,36	20	52	6	65,42	146,9
						43	2	1	24	118	2,33	20	44	9	72,2	143,1
						46	3	0	24	115	2,23	18	54	5	63,9	146,1
						49	4	0	24	478	2,3	20	44	9	73,9	148,8
	61	2	2	2	2	113	1	1	24	1447	2,06	21	43	5	64,83	143,5
						116	2	1	24	786	2,34	21	35	15	67,8	146,9
						119	3	0	24	819	2,42	17	50	7	66,6	145,4
						123	4	0	24	916	2,14	19	41	6	65	151,2
	62	2	2	2	2	26	1	1	24	698	2,32	20	48	9	60,97	149,9
						29	2	1	24	139	2,08	33	72	65	60,5	150,9
						32	3	0	24	144	2,16	16	56	7	64	149,7
						35	4	0	24	640	2,13	19	52	5	68,2	152,1
	63	2	2	2	2	95	1	1	24	680	2,1	20	43	7	57,51	150,2
						99	2	1	24	82,9	2,13	16	29	11	60,9	149,5
						101	3	0	24	100	2,15	17	41	5	61,9	149
						105	4	0	24	481	2	20	51	8	68,6	150,1
	64	2	2	2	2	76	1	1	24	1287	2,16	16	37	4	66,2	148,3
						80	2	1	24	563	2,03	15	48	4	63,8	145,8
						82	3	0	24	482	2,33	18	42	4	77,5	146,8
						86	4	0	24	555	2,18	21	46	13	71,6	149
	65	2	2	2	2	*	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*
						125	2	1	24	674	2,27	20	32	7	73,7	146,3
						*	3	*	*	*	*	*	*	*	*	*
						*	4	*	*	*	*	*	*	*	*	*
4	66	2	2	1	2	27	1	0	24	75,6	2,13	16	53	5	65,8	144,5
						31	2	0	24	9,73	2,28	19	55	6	65,8	149,3
						33	3	0	24	14,9	2,17	21	67	22	56,9	148,4
						37	4	0	24	45,6	2,27	17	58	6	72	138,5
	67	2	2	1	2	105	1	0	24	84,7	2,15	14	72	5	57,9	149,2
						108	2	0	24	23,3	1,73	15	65	5	58,04	148,9
						111	3	0	24	31,6	1,95	15	62	4	49,2	148,1
						114	4	0	24	58,9	2,18	18	54	6	72,4	143,1
	68	2	2	1	2	50	1	0	24	437	2,31	17	46	6	64,96	144,0
						53	2	0	24	19,3	1,89	20	48	8	65,33	147,2
						56	3	0	24	23,1	2,07	24	40	17	61,7	148,8
						59	4	0	24	73,7	2,24	19	49	11	68,5	144,9
	69	2	2	1	2	36	1	0	24	128	2,38	13	52	5	63,56	145,5
						39	2	0	24	21,1	2,41	16	54	8	68,2	150,5
						42	3	0	24	40,1	2,14	15	49	8	61	149,2
						45	4	0	24	760	2,21	15	44	9	72,2	143,4

Fortsetzung Tabelle A1: Erhobene Daten für statistische Rechenläufe

4	70	2	2	1	2	33	1	0	24	149	2,18	14	40	5	63,26	146,9
						36	2	0	24	41,4	2,1	14	39	5	61,9	150,4
						39	3	0	24	44,3	1,96	15	42	8	59,3	146,8
						42	4	0	24	71,3	2,07	15	76	10	71,9	141
	71	2	2	2	2	177	1	0	24	421	2,06	18	72	3	57,07	150,8
						180	2	0	24	47,4	2,07	19	81	9	60,72	153,5
						183	3	0	24	48	1,98	22	73	13	58,8	148,5
						186	4	0	24	129	2,04	20	79	7	69,2	147,3
	72	2	2	2	2	135	1	0	24	103	2,11	22	48	5	61	147,1
						138	2	0	24	22,6	2,18	27	44	5	66,6	152,1
						140	3	0	24	28,7	2,11	28	47	7	51,3	147,2
						144	4	0	24	50,8	2,21	26	56	10	68,6	145
	73	2	2	2	2	16	1	0	24	39,7	2,25	13	78	5	58,64	148,1
						19	2	0	24	8,93	1,69	18	76	7	53,79	154,7
						22	3	0	24	25,1	2,06	21	73	13	52,7	145
						25	4	0	24	34,8	2,17	16	62	18	62,7	144,2
	74	2	2	1	2	16	1	0	24	33,3	2,09	9	90	8	46,14	147,4
						19	2	0	24	10,2	1,37	17	86	11	58,6	148,1
						22	3	0	24	19,4	2,01	16	89	31	50,7	144,6
						25	4	0	24	569	2,2	14	116	23	57,7	148
	75	2	2	2	2	117	1	0	24	521	2,31	35	53	6	67,52	152,3
						120	2	0	24	27	2,15	33	48	7	71,37	148
						123	3	0	24	50	2,16	35	56	19	66,6	146,2
						126	4	0	24	135	2,29	28	65	7	75,2	147
	76	2	1	1	2	71	1	0	24	34,2	2,29	23	57	9	67,57	150,1
						74	2	0	24	15,7	2	23	57	18	62,12	155,7
						76	3	0	24	45,6	1,93	21	77	47	55,2	148,4
						80	4	0	24	42,3	2,11	16	63	7	71	135,7
	77	2	2	2	2	57	1	0	24	84,3	2,12	19	41	4	67,75	149,2
						60	2	0	24	18,6	2,12	19	36	9	63,4	148,3
						63	3	0	24	34,3	2,05	20	41	7	62	148,9
						66	4	0	24	91,8	2,23	19	43	6	69	143
	78	2	2	2	2	15	1	0	24	77,7	2,42	20	122	38	59,48	151,6
						19	2	0	24	14,4	2,5	22	135	63	65,42	146,5
						21	3	0	24	32,8	2,07	20	125	90	52,4	146,8
						25	4	0	24	68,3	2,25	16	91	20	65,7	144,3
	79	2	2	1	2	57	1	0	24	51,9	2,49	19	59	6	70,14	148,6
						60	2	0	24	11,5	1,92	16	66	7	57,4	153,1
						63	3	0	24	21,6	1,98	17	62	12	54,1	151,7
						66	4	0	24	35,8	2,18	21	67	13	70,6	143,9

Fortsetzung Tabelle A1: Erhobene Daten für statistische Rechenläufe

4	80	2	2	2	1	27	1	0	24	91,1	2,3	18	66	4	57,61	151,0
						30	2	0	24	42,2	2,13	23	54	4	66,75	145,8
						33	3	0	24	56,8	2,07	23	39	4	73,4	143,9
						37	4	0	24	512	2,11	24	39	6	94,1	144,8
	81	2	2	2	1	48	1	0	24	129	2,2	19	49	4	59,82	151,6
						51	2	0	24	22,7	2,14	19	45	2	62,06	144,3
						54	3	0	24	38,8	2,12	19	45	5	54,8	141,8
						57	4	0	24	605	2,32	25	55	5	82,8	144,2
	82	2	2	1	1	28	1	0	24	88,6	2,35	18	69	1	62,38	152,9
						32	2	0	24	14,2	2,33	16	61	2	64,747	144,5
						34	3	0	24	40	2,31	16	64	4	61,3	140,7
						38	4	0	24	691	2,22	17	59	5	66,2	146,5
	83	2	2	1	1	27	1	0	24	45,1	2,35	25	54	3	59,83	150,1
						31	2	0	24	10,7	2,27	25	49	3	63,43	146
						33	3	0	24	28,2	2,04	25	56	6	59,5	142,7
						37	4	0	24	95	2,11	26	39	5	71,3	144,3
	84	2	2	2	1	28	1	0	24	58,6	2,28	21	52	3	57,3	149,2
						31	2	0	24	14,1	2,24	23	51	4	60,44	147,7
						34	3	0	24	33,1	2,15	23	50	5	61,6	141,7
						37	4	0	24	93,1	2,14	22	61	16	66,7	147,5
	85	2	2	1	1	64	1	0	24	65,4	2,02	20	42	4	54,73	148,4
						67	2	0	24	13,1	2,36	22	63	9	67,09	142,6
						70	3	0	24	27,3	2,08	21	43	5	65,7	145,9
						74	4	0	24	58,9	2,15	18	42	4	61,9	146,5

9.3 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Altersabhängige Erwartungswerte für Serum Vitamin D-Konzentrationen (25-Hydroxycholecalciferol) bei Lamas und Alpakas (Van Saun und Herdt 2014).....	11
Tab. 2: Empfehlungen des Bedarfs an fettlöslichen Vitaminen bei Lamas und Alpakas in verschiedenen physiologischen Zuständen, basierend auf Daten von Fleischrindern und Schafen (Van Saun 2006).	13
Tab. 3: Durchschnittliche Freilandaufenthalte der Neuweltkameliden in den verschiedenen Betrieben zu den Blutabnahmetermen.	15
Tab. 4: Übersicht zum Futterangebot in den Betrieben.	16
Tab. 5: Präparate und Strategien der Vitaminversorgung.....	16
Tab. 6: Angewendete Antiparasitika und Termine deren Applikation.	17
Tab. 7: Geschlechterverhältnis der Neuweltkameliden in den Betrieben.....	18
Tab. 8: Gesundheitliche Veränderungen der Tiere während des Untersuchungszeitraumes.....	19
Tab. 9: Anzahl der Blutentnahmen von männlichen (M) und weiblichen (W) Tieren an den vier Entnahmetermen in den ausgewählten Betrieben.....	20
Tab. 10: Einfache Datenbeschreibung der labordiagnostischen Parameter Vitamin D-Konzentration, Gesamteiweiß, Aktivitäten der Aspartataminotransferase, der Glutamatdehydrogenase und der GGT, Gesamtcalcium- und Natriumkonzentration für die vier Beprobungstermine, gerundet auf zwei Stellen hinter dem Komma. n = Anzahl der Tiere.	26
Tab. 11: Arithmetische Mittelwerte der Vitamin D-Konzentrationen in µg/L und deren Standardabweichung in den vier ausgewählten Betrieben. MW = arithmetischer Mittelwert, SA = Standardabweichung.....	27
Tab. 12: Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse mit Messwiederholungen der fixen Faktoren. Die Schätzwerte geben die Abweichung zur oppositionellen Ausprägung an. Gerundet wurde auf zwei Stellen nach dem Komma.....	30
Tab. 13: Korrelation der einzelnen labordiagnostischen Parameter und der Vitamin D-Konzentration im Serum zum jeweiligen Entnahmezeitpunkt. R = Korrelationskoeffizient, P = p-Wert, lg = Logarithmus. ¹ = Gesamtcalcium. Gerundet wurde auf zwei Stellen hinter dem Komma.....	33

Tab. 14: Ergebnisse der schrittweisen multiplen Regressionsanalyse nach Wegnahme der Parameter GGT, Natrium und AST. Gerundet wurde auf zwei Stellen nach dem Komma. Die Schätzwerte bilden die Faktoren der zugehörigen Parameter in der Regressionsgleichung.	34
Tabelle 15: Referenzwerte des labordiagnostischen Parameters Vitamin D für die Tierarten Rind, Schaf und Ziege nach Bauer und Neumann (2013) ¹ und Whitlock <i>et al.</i> (2012) ²	43
Tabelle 16: Referenzwerte aus der Schweiz für Lamas und Alpakas für die labordiagnostischen Parameter Calcium, GGT, AST, GLDH, Gesamtprotein, Natrium und Kalium nach Hengrave Burri <i>et al.</i> (2005). Vitamin D nach Van Saun und Herdt (2014).	44
Tabelle 17: Referenzwerte der labordiagnostischen Parameter für Lamas und Alpakas nach Foster <i>et al.</i> (2009). Gegenübergestellt sind die Mittelwerte der obengenannten labordiagnostischen Parameter für die untersuchten Lamabetriebe (Lama 1 und Lama 2) und Alpakabetriebe (Alpaka 1 und Alpaka 2) ohne Berücksichtigung der Jahreszeiten, sowie deren Standardabweichung.	45
Tabelle A1: Erhobene Daten für statistische Rechenläufe	67

9.4 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Schema des Vitamin D-Metabolismus und Einflüsse auf die Synthese von 1,25(OH) ₂ -D ₃ bzw. 24,25(OH) ₂ -D ₃ (Horst 1986).	9
Abb. 2: Jahresverlauf der arithmetischen Mittelwerte und der Standardabweichung der Vitamin D-Konzentration in den vier Betrieben, sowie des arithmetischen Mittelwertes aller Betriebe (Gesamt) in mmol/L.	28
Abb. 3: Grafische Darstellung der Ergebnisse der Residualanalyse (Prüfung auf Normalverteilung) am Beispiel der Vitamin D-Konzentration nach Logarithmierung mithilfe eines Q-Q Diagramms und Histogramms. Zugrunde liegen der fixe Faktor Jahreszeit und der variable Faktor Tiereinfluss. ₁ = Quantil zu Quantil, ₂ = Theoretische Quantile unter Annahme einer Normalverteilung, ₃ = entsprechen in diesem Falle den beobachteten Residuen, ₄ = bezogen auf die Messwerte, ₅ = meint den vertikalen Abstand vom Beobachtungspunkt zur geschätzten Regressionsgerade.	29
Abb. 4: Mittlere Vitamin D-Konzentration im Serum der Lamas und Alpakas, die trächtig waren bzw. post partum (Vitamin D Stuten) verglichen mit den Gesamtmittelwerten aller Tiere (Vitamin D gesamt). Die Fehlerbalken skizzieren die Standardabweichung.	32
Abb. 5: Typische UV-Index-Werte für verschiedene Städte weltweit, Stand 27.04.2018, Modellrechnung mittels Strahlungstransferprogramm.	37

9.5 Abkürzungsverzeichnis

A	Anhang
Abb.	Abbildung
AST	Aspartataminotransferase
ca.	Circa
Ca ²⁺	Calcium-Ionen
CLIA	Chemilumineszenz-Immunoassay
Cu ²⁺	Kupfer
DBP	Vitamin D Binding Protein
E	Erhaltung
<i>et al.</i>	<i>et alii</i> oder <i>et aliae</i>
FGF-23	Fibroblasten-Wachstumsfaktor-23
ges.	Gesamt
GGT	Gamma-Glutamyltransferase
GLDH	Glutamatdehydrogenase
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
g/L	Gramm pro Liter
I.E.	Internationale Einheiten
I.E./L	Internationale Einheiten pro Liter
kg	Kilogramm
KGW	Körpergewicht
L	Laktation
lg	Logarithmus

M	Männlich
MDH	Malatdehydrogenase
ml	Milliliter
mmol/L	Millimol pro Liter
n	Stichprobenanzahl
ng/ml	Nanogramm pro Milliliter
nm	Nanometer
nmol/L	Nanomol pro Liter
PTH	Parathormon
RLU	Relative light units
Std.	Stunden
T	Trächtigkeit
Tab.	Tabelle
TM	Trockenmasse
USA	United States of America
UV	Ultraviolett
Vit-D ₃	Vitamin D ₃
Wa	Wachstum (ausschließlich in Tabelle 2)
W	Weiblich
°C	Grad Celsius
µg/L	Mikrogramm pro Liter
µm	Mikrometer
1,25-(OH) ₂ -D ₃	1,25-Dihydroxy-Cholecalciferol

24,25(OH)₂-D₃ 24,25-Dihydroxy-Cholecalciferol

25-OH-D₃ 25-Hydroxycholecalciferol

Danksagung

Ich bedanke mich herzlich bei:

Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. Axel Wehrend für Unterstützung und die Überlassung des interessanten Themas. Besonders hervorheben möchte ich die Schnelligkeit der Korrekturen und die Geduld beim Warten auf die jeweiligen Versionen der Dissertation.

Herrn Dr. Henrik Wagner und Frau Sandra Kaiser für die Unterstützung bei der Entnahme der Blutproben.

Frau Julia Blad-Stahl aus dem Labor der Tierklinik für Reproduktionsmedizin und Neugeborenenkunde, die eine große Hilfe bei der Probenanalyse war.

Herrn Dr. Klaus Failing und Frau Sparenberg für die statistischen Auswertungen und die ausführlichen Erklärungen.

Den Betrieben Cimander, Müller, Strobel und Wendt für die Kooperation und das zur Verfügung stellen der Tiere.

Meiner lieben Frau und meiner Familie für die Unterstützung.

Eidesstattliche Erklärung

Ich habe die vorgelegte Dissertation selbstständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.

Felix Husemann