

**Inhaltsverzeichnis**

Verzeichnis der Abbildungen	- VI -
Verzeichnis der Tabellen	- IX -
Abkürzungsverzeichnis	- XI -
1 Einleitung	- 1 -
2 Literaturübersicht	- 3 -
2.1 Zoologische Grundlagen und Evolution	- 3 -
2.1.1 Taxonomie	- 3 -
2.1.2 Verbreitung und Nutzung der Neuweltkameliden	- 4 -
2.2 Thermoregulation	- 5 -
2.2.1 Physiologie der Thermoregulation	- 5 -
2.2.1.1 Einfluss der Bewollung auf die Thermoregulation	- 9 -
2.2.1.2 Thermoregulation durch Verhalten	- 10 -
2.2.1.3 Hitzestress	- 11 -
2.2.2 Bewertung der Körperoberflächentemperatur mit Hilfe der Infrarotthermographie	- 12 -
2.3 Verhalten	- 13 -
2.3.1 Verhalten von Neuweltkameliden auf der Weide	- 13 -
2.3.2 Einfluss von Klimafaktoren	- 14 -
2.3.2.1 Temperatur	- 14 -
2.3.2.2 Niederschlag	- 14 -
2.3.2.3 Wind	- 15 -
2.4 Wolle	- 15 -
2.4.1 Charakteristika der Lamawolle	- 15 -
2.4.2 Schur	- 16 -
2.4.2.1 Schurformen	- 17 -
2.4.2.2 Einfluss der Schur auf physiologische Parameter und Verhalten	- 17 -
2.4.2.3 Einfluss der Schur auf die Thermoregulation	- 18 -
2.5 Fortpflanzung	- 19 -
2.5.1 Anatomie und Physiologie der männlichen Geschlechtsorgane von Neuweltkameliden	- 19 -
2.5.1.1 Skrotum und Hoden	- 19 -
2.5.1.1.1 Mikroskopischer Aufbau des Hodens	- 20 -
2.5.1.1.2 Proliferation der Spermatogonien	- 23 -
2.5.1.1.3 Thermoregulation der Hoden	- 24 -
2.5.1.1.4 Skrotaltemperaturmessung mit Hilfe der Infrarotthermographie	- 26 -

2.5.1.2 Nebenhoden und Samenstrang	- 27 -
2.5.1.3 Geschlechtsdrüsen	- 28 -
2.5.1.4 Penis und Präputium	- 28 -
2.5.2 Fortpflanzungsphysiologie der männlichen Neuweltkameliden	- 29 -
2.5.2.1 Geschlechts- und Zuchtreife	- 29 -
2.5.2.2 Deckakt	- 30 -
2.5.2.3 Sperma	- 31 -
2.5.2.3.1 Spermatogenese	- 31 -
2.5.2.3.2 Hormonelle Regulation der Spermatogenese	- 31 -
2.5.2.3.3 Spermagewinnung	- 32 -
2.5.2.3.4 Spermacharakteristika	- 33 -
2.5.2.3.5 Einflüsse des Alters, der Rangordnung, der Deckdauer und wiederholter Ejakulationen auf die Spermaparameter	- 35 -
2.5.2.3.6 Saisonalität der Spermaqualität bei Neuweltkameliden	- 35 -
2.5.3 Einfluss von Hitze einwirkung auf die Reproduktion männlicher Tiere	- 36 -
2.5.3.1 Einfluss von Hitze auf die Spermaparameter	- 36 -
2.5.3.2 Einfluss von Hitze auf die Hoden	- 37 -
2.5.3.2.1 Histologische Veränderungen des Hodens nach Hitzebelastung	- 38 -
2.5.3.2.2 Veränderungen der Genexpression und die Rolle von Hitzeschockproteinen (HSP) im Hoden nach Hitzebelastung	- 39 -
2.5.3.3 Einfluss der Schur auf die Hitzebelastung männlicher Tiere	- 41 -
2.6 Endokrinologie	- 42 -
2.6.1 Androgene	- 42 -
2.6.1.1 Einfluss von Hitze auf die Testosteronwerte	- 44 -
2.6.2 Schilddrüsenhormone	- 44 -
2.6.2.1 Einfluss von Hitze auf Schilddrüsenhormonwerte	- 45 -
3 Material und Methoden	- 47 -
3.1 Tiere	- 47 -
3.2 Haltung und Fütterung	- 47 -
3.2.1 Aufbau der temperierbaren Stallungen	- 48 -
3.3 Versuchsplan	- 49 -
3.3.1 Versuchsphasen	- 50 -
3.3.1.1 Versuchsphasen für Gruppe 1	- 50 -
3.3.1.2 Versuchsphasen für Gruppe 2	- 51 -
3.4 Physiologische Parameter und Kontrolle der Tiere	- 54 -

3.4.1 Wasserverbrauch pro Stall	- 54 -
3.5 Stallklima	- 54 -
3.6 Verhaltensbeobachtungen	- 54 -
3.7 Erfassung von Körperoberflächentemperaturen mittels Infrarotthermographie	- 55 -
3.7.1 Auswertung der IR-Bilder	- 56 -
3.8 Blutentnahme und Hormonbestimmung	- 57 -
3.8.1 Blutentnahme	- 57 -
3.8.2 Hormonbestimmung	- 58 -
3.8.2.1 Schilddrüsenhormone	- 58 -
3.8.2.2 Testosteron	- 58 -
3.9 Spermagewinnung und -beurteilung	- 60 -
3.9.1 Spermagewinnung	- 60 -
3.9.2 Ejakulatbeurteilung	- 61 -
3.10 Kastration	- 62 -
3.10.1 Kastrationszeitpunkte	- 62 -
3.10.2 Narkose und Operationsvorbereitung	- 63 -
3.10.3 Operation	- 63 -
3.10.4 Nachsorge	- 64 -
3.11 Histologische Untersuchung der Hoden	- 64 -
3.11.1 Fixierung	- 64 -
3.11.2 Einbettung in Paraffin	- 65 -
3.11.3 Beschichtung der Objektträger	- 65 -
3.11.4 Anfertigung und Färbung der Schnitte	- 65 -
3.11.5 Auswertung der H.E.-gefärbten Schnitte	- 67 -
3.12 Immunhistochemischer Nachweis von Ki-67	- 67 -
3.13 Haarlängenmessung	- 69 -
3.14 Hodenvermessung	- 69 -
3.15 Körpergewicht der Tiere	- 69 -
3.16 Statistische Auswertung der Daten	- 69 -
4 Ergebnisse	- 71 -
4.1 Gesundheitsstatus, Körpergewichte, Skrotalfläche und Wasserverbrauch der Lamahengste	- 71 -
4.2 Physiologische Parameter	- 73 -
4.2.1 Pulsfrequenz	- 73 -
4.2.2 Atemfrequenz	- 75 -
4.2.3 Rektaltemperatur	- 77 -
4.2.4 Korrelationen der physiologischen Parameter	- 79 -

4.3.1 Spermagewinnung	- 80 -
4.3.1.1 Libido der Hengste	- 80 -
4.3.2 Spermaparameter	- 82 -
4.3.2.1 Geruch, Farbe und Konsistenz	- 82 -
4.3.2.2 Ejakulatvolumen	- 83 -
4.3.2.3 pH-Wert	- 84 -
4.3.2.4 Spermiendichte	- 84 -
4.3.2.5 Vorwärtsbeweglichkeit	- 86 -
4.3.2.6 Anteil morphologisch abnormer Spermien	- 87 -
4.3.2.7 Morphologische Veränderungen der Spermien	- 89 -
4.3.3 Histologisches Erscheinungsbild der Hoden	- 94 -
4.3.4.1 Proliferation der Spermatogonien in der Kontrollgruppe	- 96 -
4.3.4.2 Proliferation der Spermatogonien in der Versuchsgruppe	- 97 -
4.4 Hormonwerte	- 100 -
4.4.1 Schilddrüsenhormone	- 100 -
4.4.1.1 Trijodthyronin ( $T_3$ )	- 100 -
4.4.1.2 Thyroxin ( $T_4$ )	- 101 -
4.4.1.3 Korrelationen zwischen Schilddrüsenhormonen und Rektaltemperaturen	- 103 -
4.4.2 Testosteron	- 103 -
4.4.2.1 Korrelation von Testosteron mit Spermaparametern	- 104 -
4.5 Körperoberflächentemperaturen	- 105 -
4.5.1 Körperoberflächentemperatur im Bereich des Anus	- 105 -
4.5.2 Körperoberflächentemperaturen des Rumpfes	- 106 -
4.5.3 Oberflächentemperaturen des Skrotums	- 108 -
4.5.3.1 Temperaturgradient des Skrotums	- 109 -
4.5.4 Korrelation von Körperoberflächentemperaturen mit Rektaltemperaturen	- 110 -
4.6 Verhalten der Tiere im Versuchsverlauf	- 110 -
4.6.1 Verhaltensmerkmal „Gehen“ im Versuchsverlauf	- 110 -
4.6.2 Verhaltensmerkmal „Stehen“ im Versuchsverlauf	- 111 -
4.6.3 Verhaltensmerkmal „Liegen“ im Versuchsverlauf	- 113 -
5 Diskussion	- 115 -
5.1 Versuchsbedingungen	- 115 -
5.2 Beurteilung der Hitzetoleranz anhand der Körpergewichte, des Wasserverbrauchs und der physiologischen Messparameter	- 116 -
5.3 Einfluss der Hitzebelastung auf die Reproduktionsparameter	- 121 -

---

5.3.1 Hitzeeinfluss auf die Libido und die Ejakulatparameter	- 121 -
5.3.2 Skrotaltemperaturen in den beiden Temperaturphasen	- 127 -
5.3.2.1 Skrotaler Temperaturgradient	- 130 -
5.3.3 Hitzeeinfluss auf die Hodenhistologie	- 131 -
5.3.4 Proliferation der Spermatozoen	- 133 -
5.3.4.1 Ki-67 Färbung der Spermatozoen im physiologischen Lamahoden	- 133 -
5.3.4.2 Hitzeeinfluss auf die Proliferation der Spermatozoen	- 134 -
5.3.5 Zusammenfassende Betrachtung des Hitzeeinflusses auf Reproduktionsparameter	- 136 -
5.4. Körperoberflächentemperaturen in den beiden Temperaturphasen	- 137 -
5.4.1 Oberflächentemperaturen des Anuskegels in den beiden Temperaturphasen	- 137 -
5.4.2 Körperoberflächentemperaturen des Körpers in den beiden Temperaturphasen	- 138 -
5.5 Hitzeeinfluss auf Hormonwerte	- 139 -
5.5.1 Schilddrüsenhormone	- 139 -
5.5.2 Testosteron	- 141 -
5.6 Veränderungen des Verhaltens in den beiden Temperaturphasen	- 142 -
6 Zusammenfassung	- 146 -
7 Summary	- 149 -
8 Literaturnachweis	- 152 -
9 Anhang	- 173 -

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Taxonomie der Kameliden.....	3 -
Abb. 2: Möglichkeiten der Thermoregulation eines homiothermen Tieres.....	6 -
Abb. 3: Verteilung von Fell verschiedener Dicke auf dem Körper eines Guanakos.....	10 -
Abb. 4: „Rumpfschnitt“ und „modifizierter Löwenschnitt“.....	17 -
Abb. 5: Laterale Ansicht der männlichen Genitalorgane eines Neuweltkamels mit Vergrößerung des Skrotal- und Hodenbereiches .....	27 -
Abb. 6: Schema der präputialen Verklebung bei Neuweltkameliden in Abhängigkeit vom Alter der Tiere.....	29 -
Abb. 7: Stallgrundriss .....	48 -
Abb. 8: Mittelwerte der Pulsfrequenzen der Schurtypen im Versuchsverlauf .....	74 -
Abb. 9: Mittelwerte der Atemfrequenzen der Schurtypen im Versuchsverlauf .....	76 -
Abb. 10: Mittelwerte der Rektaltemperatur der Schurtypen im Versuchsverlauf .....	78 -
Abb. 11: Libido A und D der Hengste im gesamten Versuchszeitraum.....	81 -
Abb. 12: Durchschnittliche Libido A und D der Hengste in den zwei Temperaturphasen ..	81 -
Abb. 13: Ejakulatkonsistenz der Hengste im gesamten Versuchszeitraum und durchschnittliche Ejakulatkonsistenz in den zwei Temperaturphasen .....	82 -
Abb. 14: Durchschnittliches Ejakulatvolumen der Hengste im gesamten Versuchszeitraum und durchschnittliches Ejakulatvolumen in den beiden Versuchsphasen .....	83 -
Abb. 15: Durchschnittlicher pH-Wert der Hengste im gesamten Versuchszeitraum und in den zwei Temperaturphasen.....	84 -
Abb. 16: Spermiedichte im Versuchsverlauf der einzelnen Hengste und LSQ-Mittelwert .....	85 -
Abb. 17: Vorwärtsbeweglichkeit der Spermien der einzelnen Hengste und LSQ-Mittelwert .....	86 -
Abb. 18: Morphologisch abnorme Spermien in % der einzelnen Hengste und LSQ-Mittelwert .....	88 -
Abb. 19: Spermien mit Kopfnissbildungen in % der einzelnen Hengste und LSQ-Mittelwert .....	90 -
Abb. 20: Spermien mit abnormem Schwanz in % der einzelnen Hengste und LSQ-Mittelwert .....	91 -
Abb. 21: Lose Spermienköpfe in % der einzelnen Hengste und LSQ-Mittelwert .....	91 -
Abb. 22: Lose Spermienchwänze in % der einzelnen Hengste und LSQ-Mittelwert .....	92 -
Abb. 23: Spermien mit Plasmotropfen in % der einzelnen Hengste und LSQ-Mittelwert ...	93 -

Abb. 24: Stadienverteilung in % der Kastrationsgruppen .....	- 94 -
Abb. 25: Mehrkernige Riesenzellen/Tubulusquerschnitt zu den verschiedenen Kastrationszeitpunkten .....	- 95 -
Abb. 26: Prozentanteil an Hodentubuli mit Ki-67 positiven Spermatogonien in % je Hoden der Kontrolltiere eingeteilt in 7 Gruppen je nach Prozentsatz der Ki-67 positiven Spermatogonien/Tubulus .....	- 96 -
Abb. 27: Prozentanteil an Hodentubuli mit Ki-67 positiven Spermatogonien in % je Hoden der Kastrationsgruppen eingeteilt in 7 Gruppen je nach Prozentsatz der pos. Spermatogonien/Tubulus .....	- 98 -
Abb. 28: LSQ-Mittelwerte der Ki-67 positive Spermatogonien/Stadium in % im Versuchsverlauf.....	- 98 -
Abb. 29: Serumgehalt an Trijodthyronin ( $\bar{x} \pm SD$ ) in ng/dl im Versuchsverlauf .....	- 101 -
Abb. 30: Serumgehalt an Thyroxin ( $\bar{x} \pm SD$ ) in $\mu\text{g/dl}$ im Versuchsverlauf .....	- 102 -
Abb. 31: Serumtestosteron ( $\bar{x} \pm SD$ ) in ng/ml der Gruppe 1 im Versuchsverlauf.....	- 103 -
Abb. 32: : Temperaturen der skrotalen Messpunkte 1-5 in beiden Temperaturphasen .....	- 109 -
Abb. 33: LSQ-Mittelwerte des Verhaltensmerkmals „Gehen“ der einzelnen Lamahengste im gesamten Versuchszeitraum.....	- 111 -
Abb. 34: LSQ-Mittelwerte des Verhaltensmerkmals „Gehen“ im Tagesverlauf .....	- 111 -
Abb. 35: LSQ-Mittelwerte des Verhaltensmerkmals „Stehen“ der einzelnen Lamahengste im gesamten Versuchszeitraum.....	- 112 -
Abb. 36: LSQ-Mittelwerte des Verhaltensmerkmals „Stehen“ im Tagesverlauf.....	- 112 -
Abb. 37: LSQ-Mittelwerte des Verhaltensmerkmals „Liegen“ der einzelnen Lamahengste im gesamten Versuchszeitraum.....	- 113 -
Abb. 38: LSQ-Mittelwerte des Verhaltensmerkmals „Liegen“ im Tagesverlauf.....	- 114 -
Abb. 39: Messung der Körperoberflächentemperatur mit Hilfe der Infraotthermographie.....	- 173 -
Abb. 40: Thermographieaufnahme des Skrotums eines Lamas .....	- 173 -
Abb. 41: Messung der Skrotaltemperatur mit Hilfe der Infrarotthermographie.....	- 174 -
Abb. 42: Thermographieaufnahme des Anus eines Lamas .....	- 174 -
Abb. 43: Spermagewinnung beim Lama mit Hilfe eines Lamastutenphantoms und einer künstlichen Vagina .....	- 175 -
Abb. 44: Spermagewinnung beim Lama mit Hilfe einer künstlichen Vagina (Detailansicht) .....	- 175 -

Abb. 45: Stadium I, II/III, IV des Hodenepithels vom Lama in H.E.-Färbung und Ki-67-Färbung, .....	- 176 -
Abb. 46: Stadium V, VI, VII des Hodenepithels vom Lama in H.E.-Färbung und Ki-67-Färbung, .....	- 177 -
Abb. 47: Stadium VIII und „kein Stadium“ des Hodenepithels vom Lama in H.E.-Färbung und Ki-67-Färbung .....	- 178 -
Abb. 48: Zwei Darstellungen einer H.E.-Färbung von mehrkernigen Riesenzellen im hitzebeschädigten Lamahoden .....	- 179 -
Abb. 49: Größenmessung der Hoden im Skrotum.....	- 179 -
Abb. 50: H.E.-Färbung des physiologischen Lamahodens.....	- 180 -
Abb. 51: H.E.-Färbung eines hitzebeschädigten Lamahodens .....	- 180 -
Abb. 52: Ki-67-Färbung des physiologischen Lamahodens.....	- 181 -
Abb. 53: Ki-67-Färbung eines hitzebeschädigten Lamahodens .....	- 181 -
Abb. 54: Thermographiaufnahme eines a) ungeschorenen b) halbgeschorenen c) vollgeschorenen Lamas .....	- 182 -



**Verzeichnis der Tabellen**

Tab. 1: Geschätzte Neuweltkamelidenpopulation.....	- 4 -
Tab. 2: Größenentwicklung der Hoden von Lamas in Abhängigkeit vom Alter der Tiere .....	- 20 -
Tab. 3: Stadien des Hodenepithels mit den charakteristischen Merkmalen.....	- 22 -
Tab. 4: Testosteronwerte in pg/ml von Lamas, Alpakas und Vikunjas zu verschiedenen Jahreszeiten auf der Südhalbkugel.....	- 43 -
Tab. 5: Vergleich der Schilddrüsenhormonwerte ( $T_3$ und $T_4$ ) von Lamas.....	- 46 -
Tab. 6: Tabellarische Darstellung des Versuchsplans.....	- 49 -
Tab. 7: Tabellarische Übersicht der erfassten Parameter bzw. der durchgeführten Maßnahmen in den Versuchsphasen.....	- 53 -
Tab. 8: Definition der observierten Verhaltensweisen.....	- 55 -
Tab. 9: Kastrationszeitpunkte der Lamas aus Gruppe 2 und 3.....	- 63 -
Tab. 10: Körpergewichtsentwicklung (in kg) der einzelnen Lamahengste in der Hitzephase .....	- 72 -
Tab. 11: Wasserverbrauch in Liter/Stall (d.h. je 2 Lamas des gleichen Schurtyps) mit Signifikanzniveau zwischen der Hitze (H)- und Erholungsphase (E).....	- 72 -
Tab. 12: LSQ-Mittelwerte (LSQ-M), Standardfehler (SE) und Signifikanzen der Pulsfrequenzen in den beiden Temperaturphasen mit Unterscheidung der Schurtypen.....	- 74 -
Tab. 13: LSQ-Mittelwerte (LSQ-M), Standardfehler (SE) und Signifikanzen der Atemfrequenzen in den beiden Temperaturphasen mit Unterscheidung der Schurtypen.....	- 76 -
Tab. 14: LSQ-Mittelwerte (LSQ-M), Standardfehler (SE) und Signifikanzen der Rektaltemperaturen in den beiden Temperaturphasen mit Unterscheidung der Schurtypen.....	- 78 -
Tab. 15: Korrelationen zwischen den physiologischen Parametern in Hitze- und Erholungsphase .....	- 79 -
Tab. 16: Im gesamten Versuchsverlauf beobachtete morphologisch abnorme Veränderungen der Spermien ( $\bar{x} \pm SD$ ) in %, sortiert nach der Häufigkeit ihres Auftretens .....	- 89 -
Tab. 17: Ki-67 positive Spermatogonien/Stadium in % (Kontrollgruppe).....	- 97 -
Tab. 18: LSQ-Mittelwerte und Standardfehler der $T_3$ -Werte in ng/dl der Schurtypen in den beiden Temperaturphasen.....	- 100 -

Tab. 19: LSQ-Mittelwerte und Standardfehler der $T_4$ -Werte in $\mu\text{g/dl}$ der Schurtypen in den beiden Temperaturphasen.....	- 102 -
Tab. 20: LSQ-Mittelwerte der Oberflächentemperatur des Anuskegels in $^{\circ}\text{C}$ der Schurtypen in beiden Temperaturphasen .....	- 105 -
Tab. 21: LSQ-Mittelwerte und Standardfehler der Körperoberflächentemperaturen „vorne“, „mitte“ und „hinten“ in $^{\circ}\text{C}$ der Schurtypen in den beiden Temperaturphasen .....	- 107 -
Tab. 22: LSQ-Mittelwerte der Oberflächentemperaturen des Skrotums in $^{\circ}\text{C}$ der Schurtypen in den beiden Temperaturphasen .....	- 108 -
Tab. 23: Korrelationen der Körperoberflächentemperaturen und der Rektaltemperatur ...	- 110 -