

Aus dem Institut für Physiologie, Physiologische Chemie und Tierernährung
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München
Lehrstuhl für Tierernährung und Diätetik
Arbeit angefertigt unter der Leitung von
Univ.-Prof. Dr. Ellen Kienzle

**Allometrie der Kotpartikelgröße von pflanzenfressenden
Säugetern, Reptilien und Vögeln**

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

vorgelegt von
Julia Fritz
aus Bremen

München, 2007

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

Dekan:	Univ.-Prof. Dr. E. P. Märtlbauer
Referentin:	Univ.-Prof. Dr. Kienzle
Korreferentin:	Jun. Prof. Dr. Deeg

Tag der Promotion: 20. Juli 2007

Forsche allen Dingen nach. Erkenntnis ist köstlich.

Aus Ägypten

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	9
Abbildungsverzeichnis.....	11
Tabellenverzeichnis.....	17
1 Einleitung	18
2 Schrifttum	20
2.1 Herbivorie	20
2.1.1 Vormagenverdauung versus Dickdarmverdauung	22
2.1.2 Verdauungsstrategie kleiner Pflanzenfresser	23
2.1.3 Verdauungsstrategie herbivorer Reptilien	25
2.1.4 Verdauungsstrategie herbivorer Vögel	29
2.2 Nahrungsgruppen innerhalb der Pflanzenfresser	34
2.3 Aufbau und Inhaltsstoffe von Pflanzen	35
2.3.1 Aufbau von Pflanzen	35
2.3.2 Chemische Zusammensetzung von Pflanzen	37
2.4 Nahrungszerkleinerung	38
2.4.1 Zahntypen bei Herbivoren	42
2.4.1.1 Säugetiere	42
2.4.1.2 Reptilien	50
2.4.1.3 Vögel.....	51
2.4.2 Kaumechanismus bei Herbivoren.....	52
2.4.2.1 Säugetiere	52
2.4.2.2 Reptilien	53
2.4.3 Zahneffektivität und Kaueffektivität.....	54
2.4.4 Isometrie und Allometrie.....	57
2.4.5 Muskelmagen bei Vögeln	58
2.4.6 Gastrolithen	62
2.4.6.1 Reptilien	63
2.4.6.2 Vögel.....	64

2.5	Relevanz der Partikelgröße	66
2.5.1	Einfluss des Futters auf die Kotpartikelgröße	69
2.5.2	Einfluss des Tieres auf die Partikelgröße	71
2.6	Ingesta-Partikelverteilung innerhalb des MDT	73
2.6.1	Vormagenfermentierer	73
2.6.2	Dickdarmfermentierer	76
2.6.3	Vögel und Reptilien	77
2.7	Übersicht über bisher erfolgte vergleichenden Analysen	79
2.7.1	Vergleiche von Vormagen- und Dickdarmfermentierern	79
2.7.2	Vergleiche verschiedener Ernährungstypen	82
2.7.3	Vergleiche innerhalb einer Spezies	83
3	Eigene Untersuchungen	84
3.1	Studienziel	84
3.2	Material und Methoden	85
3.2.1	Versuchsplan	85
3.2.2	Probengewinnung	85
3.2.2.1	Herkunft der Proben	85
3.2.2.2	Artenspektrum	86
3.2.2.3	Probennahme	95
3.2.2.4	Bestimmung der Körpermasse	96
3.2.3	Untersuchungsmethoden	97
3.2.3.1	Probenvorbereitung	97
3.2.3.2	Trockensubstanz-Bestimmung	97
3.2.3.3	Siebanalyse	98
3.2.4	Berechnungsmethoden	98
3.2.4.1	Trockensubstanz	98
3.2.4.2	Kumulative Darstellungen	99
3.2.4.3	Durchschnittliche Partikelgröße	99
3.2.5	Darstellungsmethoden	103
3.2.6	Statistische Methoden	103

3.3	Ergebnisse	104
3.3.1	Kot-TS-Gehalt	104
3.3.2	Berechneter Anteil nicht auf den Sieben retinierter TS.....	106
3.3.3	Vergleich der Darstellungsweisen von Partikelgrößen	106
3.3.3.1	Verhältnis Median zu Mittelwert	108
3.3.3.2	Verhältnis Weighted Average zu Mittelwert	108
3.3.3.3	Verhältnis Modulus of Fineness zu Mittelwert.....	110
3.3.4	Allometrie der Kotpartikelgröße	110
3.3.5	Vergleich der Kotpartikelgröße	114
3.3.5.1	Innerhalb der Säuger	114
3.3.5.2	Innerhalb der Reptilien und Vögel	116
3.3.5.3	Zwischen verschiedenen Verdauungstypen	117
3.3.5.4	Zwischen verschiedenen Äsungstypen	118
3.3.5.5	Innerhalb bestimmter Gruppen	119
3.3.5.6	Bei unterschiedlicher Herkunft bzw. Fütterung.....	125
3.3.6	Innerhalb verschiedener Abschnitte des MDT	127
3.3.6.1	Säuger	127
3.3.6.2	Reptilien	128
3.3.6.3	Vögel.....	129
4	Diskussion	130
4.1	Diskussion der Methodik	130
4.1.1	Kotpartikelgröße als Maß für den Zerkleinerungsgrad der Nahrung	130
4.1.2	Bestimmung des Körpergewichts	131
4.1.3	Herkunft der Proben	132
4.1.4	Trockensubstanzgehalt im Kot und der berechnete Anteil nicht auf den Sieben retinierten Materials.....	137
4.1.5	Analytik von Partikelgrößen.....	138
4.1.5.1	Siebverfahren.....	138
4.1.5.2	Optische Verfahren.....	143
4.1.5.3	Vergleich optische Verfahren zu Siebverfahren	143
4.1.5.4	Begründung der gewählten Methode	144
4.1.6	Darstellungsweisen von Partikelgrößen	145

4.1.6.1	Modulus of Fineness (MOF)	145
4.1.6.2	Weighted Average (WA).....	146
4.1.6.3	Geometrischer Median und geometrischer Mittelwert...	147
4.2	Besprechung der Ergebnisse	149
4.2.1	Einfluss der Körpergröße auf die Kotpartikelgröße.....	149
4.2.2	Zwischenartlicher Vergleich.....	150
4.2.2.1	Wirbeltierklassen	150
4.2.2.2	Säuger	154
4.2.2.3	Reptilien	159
4.2.2.4	Vögel.....	167
4.2.3	Vergleich nicht-wiederkauende Vormagenfermentierer zu Dickdarmfermentierern	169
4.2.4	Vergleich innerhalb bestimmter Gruppen	170
4.2.4.1	Marsupialia	170
4.2.4.2	Primates	170
4.2.4.3	Rodentia.....	171
4.2.4.4	Carnivora.....	173
4.2.4.5	Proboscidae.....	176
4.2.4.6	Sirenia.....	177
4.2.4.7	Perissodactyla.....	177
4.2.4.8	Artiodactyla.....	181
4.2.5	Schlussbetrachtung.....	185
4.2.6	Ausblick	187
5	Zusammenfassung	189
6	Summary	192
7	Literaturverzeichnis	195
8	Tabellenanhang	217
9	Danksagung	270
10	Lebenslauf	272

Abkürzungsverzeichnis

ADF	Acid Detergent Fiber (saure Detergentienfaser)
BCS	Body Condition Score
CSM	Colonic Separation Mechanism (Trennmechanismus im Colon)
F.	Familie
g	Gramm
h	Stunde
kg	Kilogramm
KM	Körpermasse
l	Liter
µm	Mikrometer
m	Meter
Ma	Jahrmillion
MDT	Magen-Darm-Trakt
Med6	Median der Partikelgröße bezogen auf 6 Siebgrößen (0,125 mm, 0,25 mm, 0,5 mm, 1 mm, 2mm und 4 mm)
Med9	Median der Partikelgröße bezogen auf 9 Siebgrößen (0,063 mm, 0,125 mm, 0,25 mm, 0,5 mm, 1 mm, 2mm, 4 mm, 8 mm und 16 mm)
min	Minute
mm	Millimeter
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
MOF	Modulus Of Fineness (Feinheitsgrad)
MOF6	bezieht sich auf 6 Siebgrößen
MOF9	bezieht sich auf 9 Siebgrößen
MRT	Mean Retention Time (mittlere Retentionszeit)
MW6	Mittelwert der Partikelgröße bezogen auf 6 Siebgrößen
MW9	Mittelwert der Partikelgröße bezogen auf 9 Siebgrößen
n	Anzahl der Stichproben
NDF	Neutral Detergent Fiber (neutrale Detergentienfaser)
NPN	Non Protein Nitrogen (nicht proteinogener Stickstoff)
O.	Ordnung
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
Rfa	Rohfaser

Rp	Rohprotein
SA	Standardabweichung
TS	Trockensubstanz
T.O.	Teilordnung
U.F.	Unterfamilie
U.K.	Unterklasse
U.O.	Unterordnung
uS	ursprüngliche Substanz
WA	Weighted Average (bezogen auf die Siebgrößen 0,125 mm, 0,25 mm, 0,5 mm, 1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm und 16 mm)
WAm _{ax}	Weighted Average mit Berücksichtigung der maximalen Partikelgrößen (bezogen auf die Siebgrößen 0,125 mm, 0,25 mm, 0,5 mm, 1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm und 16 mm)
Wdk	Wiederkäuer

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	<i>Funktionelle Variation im Darm von herbivoren Säugern (aus STEVENS und HUME 1995)</i>	20
Abb. 2:	<i>Leitbündelverlauf im Blatt (nach NUTSCH 2000).....</i>	37
Abb. 3:	<i>Schema der Zerkleinerung von groben Partikeln bei Rindern (nach McLEOD und MINSON 1988a).....</i>	40
Abb. 4:	<i>Tierartspezifische, „lophodonte“ Schmelzfaltung der Molaren bei verschiedenen Nagerarten, „loxodonte“ Schmelzfaltung bei Hydrochaeridae (aus The Animal Diversity Web - http://animaldiversity.org).....</i>	43
Abb. 5:	<i>Backenzähne von laubfressenden Sumpfwallabies (Wallabia bicolor) und grasfressenden östlichen grauen Riesenkängurus (Macropus giganteus) (nach SANSON 1980)</i>	46
Abb. 6:	<i>Querschnitt durch den Backenzahn eines Grasäfers (A) und eines Laubäfers (B) (nach ARCHER und SANSON 2002)</i>	48
Abb. 7:	<i>Transversalschnitt durch einen Hoatzin-Schnabel (aus KORZOUN et al. 2003).....</i>	52
Abb. 8:	<i>Querschnitt durch den Magen von Hausgeflügel (nach KING und McLELLAND 1984).....</i>	58
Abb. 9:	<i>Verteilung von groben, mittleren und feinen Partikeln im Vormagen herbivorer Säuger (nach LANGER 1988)</i>	76
Abb. 10:	<i>Durchschnittliche Partikelgröße im Verdauungstrakt von Gabelschwanzseekühen (n=3) (nach LANYON und SANSON 2006)....</i>	77
Abb. 11:	<i>Partikelgröße ausgedrückt als Mittelwert (\pm SA) der einzelnen Abschnitte des Verdauungstrakts von Gänsen nach Fütterung von 10 cm langen Grasspartikeln (nach MOORE 1999).....</i>	78
Abb. 12:	<i>Zusammenhang zwischen Kotpartikelgröße (MOF) und Körpermasse (kg) bei Wiederkäuern (Giraffe, Kamel, Lama, Rind, Schaf) und Dickdarmfermentierern (Flusspferd, Tapir, Pferd) nach OKAMOTO (1997)</i>	80
Abb. 13:	<i>Zusammenhang zwischen Kotpartikelgröße (Partikelgrößenindex) und Körpermasse (kg, logarithmiert) bei Dickdarmfermentierern (Kaninchen, Pferde) und Wiederkäuern (Rinder, Schafe, Ziegen) nach UDEN und VAN SOEST (1982a)</i>	81
Abb. 14:	<i>Zusammenhang zwischen Kotpartikelgröße (MOF) und Körpermasse (kg, logarithmiert) bei Wiederkäuern (81 Spezies) nach CLAUSS et al. (2002).....</i>	82
Abb. 15:	<i>Kurvenanpassung mit Hilfe der Funktion $y^{-1}=a+bx$ (Probennummer 201).....</i>	102
Abb. 16:	<i>Kurvenanpassung mit Hilfe der Funktion $y=a+b/x^{0,5}$ (Probennummer 201).....</i>	103

Abb. 17:	Verhältnis des Kot-TS-Gehaltes (%) zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) aller untersuchten Spezies, aufgeteilt in Nicht-Wiederkäuer, Wiederkäuer (inkl. Daten aus CLAUSS et al. 2004c), Vögel, Reptilien und das Insekt	105
Abb. 18:	Verhältnis des Anteils nicht auf den Sieben retinierter Trockensubstanz (%) zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) aller untersuchten Spezies, aufgeteilt in Nicht-Wiederkäuer, Wiederkäuer, Vögel, Reptilien und das Insekt.....	106
Abb. 19:	Verhältnis der geometrischen Mittelwerte der Kotpartikelgröße (mm, logarithmiert) bei Verwendung unterschiedlicher Siebsätze (6er-Siebsatz: MW6; 9er-Siebsatz: MW9), dargestellt als Durchschnittswert pro Spezies inkl. Regressionsgeraden (durchgezogene Linie) und $y=x$ -Geraden (gestrichelte Linie)	107
Abb. 20:	Verhältnis des geometrischen Medians der Kotpartikelgröße für 6 Siebe (Med6; mm, logarithmiert) zum geometrischen Mittelwert der Kotpartikelgröße für 6 Siebe (MW6; mm, logarithmiert), dargestellt als Durchschnittswert pro Spezies inkl. Regressionsgeraden (durchgezogene Linie) und $y=x$ -Geraden (gestrichelte Linie)	108
Abb. 21:	Verhältnis des Weighted Average ohne Maximalwert der Kotpartikelgröße (WA; mm, logarithmiert) zum geometrischen Mittelwert der Kotpartikelgröße für 6 Siebe (MW6; mm, logarithmiert), dargestellt als Durchschnittswert pro Spezies inkl. Regressionsgeraden (durchgezogene Linie) und $y=x$ -Geraden (gestrichelte Linie)	109
Abb. 22:	Verhältnis des Weighted Average mit Maximalwert der Kotpartikelgröße (WAm _{max} ; mm, logarithmiert) zum geometrischen Mittelwert der Kotpartikelgröße für 6 Siebe (MW6; mm, logarithmiert), dargestellt als Durchschnittswert pro Spezies inkl. Regressionsgeraden (durchgezogene Linie) und $y=x$ -Geraden (gestrichelte Linie)	109
Abb. 23:	Verhältnis des Modulus of Fineness für 6 Siebe (MOF6; logarithmiert) zum geometrischen Mittelwert der Kotpartikelgröße für 6 Siebe (MW6; mm, logarithmiert), dargestellt als Durchschnittswert pro Spezies	110
Abb. 24:	Durchschnittliche Kotpartikelgröße, dargestellt als Weighted Average mit Maximalwert (WAm _{max} ; mm logarithmiert), geometrischer Median und geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (Med6 und MW6; mm logarithmiert) sowie Modulus of Fineness für 6 Siebe (MOF6; logarithmiert) im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert), angegeben als Durchschnittswert für jede Säugerspezies (n=205).....	111
Abb. 25:	Durchschnittliche Kotpartikelgröße, dargestellt als Weighted Average mit Maximalwert (WAm _{max} ; mm logarithmiert), geometrischer Median und geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (Med6 und MW6; mm logarithmiert) sowie Modulus of Fineness für 6 Siebe (MOF6; logarithmiert) im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert), angegeben als Durchschnittswert für jede Reptilienspezies (n=12)	111

Abb. 26:	Durchschnittliche Kotpartikelgröße, dargestellt als Weighted Average mit Maximalwert (WAm _{max} ; mm logarithmiert), geometrischer Median und geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (Med ₆ und MW ₆ ; mm logarithmiert) sowie Modulus of Fineness für 6 Siebe (MOF ₆ ; logarithmiert) im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert), angegeben als Durchschnittswert für jede Vogelspezies (n=14).....	112
Abb. 27:	Durchschnittliche Kotpartikelgröße, dargestellt als Weighted Average mit Maximalwert (WAm _{max} ; mm logarithmiert), geometrischer Median und geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (Med ₆ und MW ₆ ; mm logarithmiert) sowie Modulus of Fineness für 6 Siebe (MOF ₆ ; logarithmiert) im Verhältnis zu Körpermasse (KM; kg, logarithmiert), angegeben als Mittelwert pro Säugergruppe.....	114
Abb. 28:	Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW ₆ ; mm, logarithmiert) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) bei herbivoren Säugerspezies (n=205).....	115
Abb. 29:	Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW ₆ ; mm, logarithmiert) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) bei herbivoren Reptilienspezies (n=12).....	116
Abb. 30:	Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW ₆ ; mm, logarithmiert) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) bei herbivoren Vogelspezies (n=14).....	116
Abb. 31:	Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW ₆ ; mm, logarithmiert) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) bei herbivoren Säugern, aufgeteilt in Dickdarmfermentierer (n=96), nichtwiederkauende Vormagenfermentierer (n=18) und Wiederkäuer (n=91).....	117
Abb. 32:	Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW ₆ ; mm, logarithmiert) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) von Wiederkäuern, aufgeteilt in Laubäser (n=22), Mischäser (n=34) und Grasäser (n=30).....	118
Abb. 33:	Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW ₆ ; mm, logarithmiert) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) von Makropoden, aufgeteilt in Laubäser (n=2) und Grasäser (n=6).....	118
Abb. 34:	Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW ₆ ; mm, logarithmiert) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) innerhalb der Primatenspezies (n=21).....	119
Abb. 35:	Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW ₆ ; mm) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg) innerhalb der Menschenaffen (n=23).....	119
Abb. 36:	Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW ₆ ; mm, logarithmiert) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) innerhalb der Nagerspezies (n=53).....	120

Abb. 37:	Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW6; mm) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg) innerhalb der afrikanischen und asiatischen Elefanten (n=18 und n=13)	121
Abb. 38:	Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW6; mm) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg) innerhalb der Hauspferde (9 Rassen)(n=36)	122
Abb. 39:	Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW6; mm) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg) innerhalb der Hausesel (4 Rassen)(n=11).....	122
Abb. 40:	Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW6; mm) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg) innerhalb der Spitzmaulnashörner (n=8), Breitmaulnashörner (n=12) und Panzernashörner (n=6).....	123
Abb. 41:	Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW6; mm) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg) innerhalb der Giraffen (n=14)	124
Abb. 42:	Geometrischer Mittelwert für 9 Siebe (MW9) der Partikelgröße im Magen, Caecum und Colon jeweils eines afrikanischen und asiatischen Elefanten.....	128
Abb. 43:	Geometrischer Mittelwert bei 9 Sieben (MW9) der Partikelgröße im Magen, Caecum und Colon von Straußen (n=3)	129
Abb. 44:	Geometrischer Mittelwert der Kotpartikelgröße bei 6 Sieben (mm) von Rindern bei Grasheu- und Luzerneheufütterung (n=3)	132
Abb. 45:	Vergleich der durchschnittlichen Kotpartikelgröße (geometrischer Mittelwert bei 6 Sieben, mm) von Spitzmaulnashörnern bei verschiedenen Krafffutteranteilen in der Ration (berechnet nach Daten aus CASTELL 2005)(n=29).....	133
Abb. 46:	Anteil retinierter Trockensubstanz (TS) auf dem feinsten Sieb (0,125 mm) in Prozent der Gesamt-TS-Menge bei unterschiedlichen Anteilen unstrukturiertem Futter (% TS) bei Spitzmaulnashörnern (Daten aus CASTELL 2005)(n=29).....	134
Abb. 47:	Weighted Average mit Maximalwert der Kotpartikelgröße (WAm _{max}) von Spitzmaulnashörnern bei unterschiedlichen Anteilen unstrukturiertem Futter bei Verwendung von sechs (0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 4 mm), fünf (0,25; 0,5; 1; 2; 4 mm), vier (0,5; 1; 2; 4 mm), drei (1; 2; 4 mm) und zwei (2; 4 mm) Sieben (berechnet nach Daten aus CASTELL 2005).....	135
Abb. 48:	Geometrischer Mittelwert der Kotpartikelgröße bei 6 Sieben (mm) von Wasserschweinen (n=2) und Viscachas (n=5) bei unterschiedlicher Fütterung	136
Abb. 49:	Kugelige, flächenhafte und längliche Partikel, die ein Sieb mit quadratischen Öffnungen der Kantenlänge a gerade noch passieren können (aus LECHNER-DOLL 1986).....	139
Abb. 50:	Maximale Länge eines Partikels, mit der ein Sieb mit quadratischen Öffnungen gerade noch passiert werden kann (aus LECHNER-DOLL 1986)	139

Abb. 51:	Veranschaulichung des Übergewichtsprinzip nach VAAGE et al. (1984) (aus LECHNER-DOLL 1986).....	140
Abb. 52:	Kurvenanpassung mit Hilfe der Funktion $y^{-1}=a+bx^{1,5}$ (Probennummer 365).....	147
Abb. 53:	Kurvenanpassung mit Hilfe der Funktion $\ln y=a+bx^{0,5}$ (Probennummer 365).....	148
Abb. 54:	Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe der Kotpartikelgröße (MW6; mm, logarithmiert) im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) aller untersuchten Spezies, aufgeteilt in Säuger (n=205), Reptilien (n=12) und Vögel (n=14)	151
Abb. 55:	Weighted Average mit Maximalwert der Kotpartikelgröße (WAm _{max} ; mm, logarithmiert) im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) aller untersuchten Spezies, aufgeteilt in Säuger (n=205), Reptilien (n=12) und Vögel (n=14)	151
Abb. 56:	Weighted Average mit Maximalwert (WAm _{max} ; mm, logarithmiert) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) bei herbivoren Säugerspezies (n=205)	155
Abb. 57:	Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe der Kotpartikelgröße (MW6; mm, logarithmiert) im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) dargestellt als Durchschnittswert für pro Säugergruppe (n=21).....	156
Abb. 58:	Weighted Average mit Maximalwert der Kotpartikelgröße (WAm _{max} ; mm, logarithmiert) im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) dargestellt als Durchschnittswert für pro Säugergruppe (n=21).....	156
Abb. 59:	Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe der Kotpartikelgröße (MW6) von griechischen Landschildkröten (<i>T. hermanni</i>) und maurischen Landschildkröten (<i>T. graeca</i>) aus freier Wildbahn (n=7, bzw. 5) und aus Zootierhaltung bei Fütterung unterschiedlicher Nahrungspartikelgrößen (jeweils n=10, bzw. n=9).....	160
Abb. 60:	Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe der Kotpartikelgröße (MW6) im Verhältnis zur Körpermasse (KM) von griechischen Landschildkröten aus freier Wildbahn (n=7) und aus Zootierhaltung (n=10) bei Fütterung unterschiedlicher Nahrung.....	161
Abb. 61:	Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe der Kotpartikelgröße (MW6) im Verhältnis zur Körpermasse (KM) von maurischen Landschildkröten aus freier Wildbahn (n=5) und aus Zootierhaltung (n=9) bei Fütterung unterschiedlicher Nahrung	162
Abb. 62:	Auf dem obersten Sieb (Maschenweite 16 mm) retinierte Kotpartikel von Galapagos-Schildkröten.....	163
Abb. 63:	Blatt aus dem Kot eines grünen Leguans	164
Abb. 64:	Geometrischer Mittelwert für 9 Siebe der Kotpartikelgröße (MW9) in verschiedenen Abschnitten des Verdauungstrakts eines grünen Leguans.....	165

Abb. 65:	<i>Auf den verschiedenen Sieben retinierte Partikelanteile aus dem Magen (a), Cacum (b) und Colon (c) eines Straußes</i>	168
Abb. 66:	<i>Geöffneter Drüsenmagen eines Straußes</i>	169
Abb. 67:	<i>Durchschnittliche Kotpartikelgrößen innerhalb der Primaten. Daten von DUNBAR und BOSE (1991), dargestellt als kleine Symbole, miteinbezogen.</i>	171
Abb. 68:	<i>Morphologie der Backenzähne verschiedener Nagergruppen (erstellt nach einer Abbildung aus The Animal Diversity Web - http://animaldiversity.org)</i>	172
Abb. 69:	<i>Schädel eines großen Pandabären (aus CHORN und HOFFMANN 1978)</i>	173
Abb. 70:	<i>Auf den verschiedenen Sieben retinierte Partikel von Kotproben großer Pandas aus dem Wiener Zoo. Linkes Bild: Blattanteile, rechtes Bild: Stängelanteile</i>	175
Abb. 71:	<i>Geometrischer Mittelwert bei 6 Sieben der Kotpartikelgröße (MW6) von Spitzmaulnashörnern (<i>D. bicornis</i>) (n=8), Breitmaulnashörnern (<i>C. simun</i>) (n=12) und Panzernashörnern (<i>R. unicornis</i>) (n=6), dargestellt als Durchschnittswert pro Spezies</i>	180
Abb. 72:	<i>Molare von <i>Hippopotamus amphibius</i> (Zähne der linken Gebisshälfte, Foto: Roland Frey)</i>	182
Abb. 73:	<i>Geometrischer Mittelwert bei 6 Sieben der Kotpartikelgröße (MW6) von Halsbandpekaris aus freier Wildbahn (n=5) und Zootierhaltung (n=6) (Daten aus SCHWARM et al. 2005)</i>	183
Abb. 74:	<i>Geometrischer Mittelwert bei 6 Sieben der Kotpartikelgröße (MW6) von Auerochsen (<i>B. primigenius</i>) und Giraffen (<i>G. camelopardalis</i>) aus freier Wildbahn (n=6, bzw. n=10) und Zootierhaltung (n=4, bzw. n=14)</i>	184
Abb. 75:	<i>Durchschnittliche Kotpartikelgrößen (mm, logarithmiert) in Relation zur Körpermasse (kg, logarithmiert) aller untersuchten Tierarten</i>	190
Abb. 76:	<i>Mean faecal particle size (mm, logarithmic) in relation to body mass (kg, logarithmic) of all species analysed</i>	193

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	<i>Einfluss der Nahrungspartikelgröße auf die Fermentation</i>	67
Tab. 2:	<i>Taxonomie der untersuchten Spezies mit Angabe der Probenanzahl</i>	87
Tab. 3:	<i>Beispielrechnung für den MOF</i>	100
Tab. 4:	<i>Beziehung zwischen der Körpermasse (KM) und der durchschnittlichen Kotpartikelgröße (angegeben als geometrischer Mittelwert bei 6 Sieben [MW6], Weighted Average mit Maximalwert [WAm_{max}], geometrischer Median bei 6 Sieben [Med6] und Modulus of Fineness bei 6 Sieben [MOF6]) bei herbivoren Säugern, Reptilien und Vögeln, dargestellt als allometrische Gleichung ($y=ax^b$)</i>	112
Tab. 5:	<i>Körpermasse (KM), Weighted Average (WA), Weighted Average mit Maximalwert (WAm_{max}), geometrischer Median für 6 Siebe (Median₆), geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW6) und Modulus of Fineness für 6 Siebe (MOF6) der Kotpartikelgröße, angegeben als Mittelwert pro Säugergruppe</i>	113
Tab. 6:	<i>Geometrischer Mittelwert der Kotpartikelgröße bei 6 Sieben in mm (MW6) bei Tieren aus Zootierhaltung (Zoo) und freier Wildbahn (FW), angegeben als Mittelwert ± Standardabweichung (SA)</i>	125
Tab. 7:	<i>Geometrischer Mittelwert der Kotpartikelgröße bei 6 Sieben in mm (MW6) von griechischen (<i>T. hermanni</i>) und maurischen Landschildkröten (<i>T. graeca</i>) aus freier Wildbahn (FW) und Zootierhaltung (Zoo) bei unterschiedlicher Nahrung (zerkleinertes und unzerkleinertes Futter [ZF und UZF]), angegeben als Mittelwert ± Standardabweichung (SA)</i>	126
Tab.8:	<i>Geometrischer Mittelwert der Partikelgröße bei 6 Sieben (MW6) im Magen, Caecum und Colon von Viscachas (<i>L. maximus</i>), Mittagsrennmäusen (<i>M. meridianus</i>), mongolischen Rennmäusen (<i>M. unguiculatus</i>) und Hauskaninchen (<i>O. cuniculus f. domestica</i>), dargestellt als Durchschnittswert ± Standardabweichung</i>	127
Tab. 9:	<i>Geometrischer Mittelwert der Partikelgröße bei 9 Sieben (MW9) in mm innerhalb des Verdauungstrakts eines grünen Leguans (<i>I. iguana</i>) sowie bei Wickelschwanzskinken (<i>C. zebra</i>), angegeben als Mittelwert ± Standardabweichung</i>	128
Tab. A:	<i>Speziesmittelwerte der Körpermasse, des Kot-TS-Gehalts, des Anteils nicht auf den Sieben retinierter TS, der durchschnittlichen Kotpartikelgrößen</i>	217
Tab. B:	<i>Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)</i>	232

1 Einleitung

Die Verdauung von Futterpartikeln im Darm von Pflanzenfressern hängt von verschiedenen Faktoren wie der chemischen Zusammensetzung der Nahrung, insbesondere ihres Faseranteils, der Retentionszeit im Magen-Darm-Trakt und der anatomischen Position der „Fermentationskammer“ – vor oder nach dem Dünndarm – ab. Diese Parameter wurden in einer Vielzahl von Publikationen untersucht.

Die Größe der Nahrungspartikel im Verdauungstrakt (zu messen im Kot) ist ein weiterer derartiger Faktor. Je kleiner ein Partikel, desto günstiger ist sein Oberflächen-Volumen-Verhältnis, sei es für den Abbau durch körpereigene Verdauungsenzyme oder für den Abbau durch symbiotische Mikroorganismen.

Vergleichende Studien zur Partikelgröße im Kot von Pflanzenfressern sind rar, und es gilt zu beachten, dass bei der Partikelanalytik Ergebnisse verschiedener Studien nur bedingt miteinander verglichen werden können (DIXON und MILLIGAN 1985). Von Reptilien (FOLEY et al. 1992) und Vögeln (MOORE 1999, POTTER et al. 2006) wurden bisher überhaupt nur sporadisch die Partikelgröße bei einzelnen Spezies bestimmt. Bei Säugern wurden quantitative Vergleiche der Kotpartikelgröße lediglich bei fünf (UDEN und VAN SOEST 1982a), sechs (FUJIKARA et al. 1989) und acht (OKAMOTO 1997a) Spezies durchgeführt. Einzig eine Untersuchung zur Kotpartikelgröße bei 81 Wiederkäuer-Spezies (CLAUSS et al. 2002) versuchte bislang einen umfassenderen Vergleich, allerdings nur innerhalb dieser taxonomischen Gruppe. Aus diesen Studien lässt sich ein Trend erkennen, nachdem größere Tiere anscheinend gröbere Partikel ausscheiden, was hinsichtlich der Zerkleinerung der Nahrung bedeuten würde, dass größere Pflanzenfresser im Vergleich zu kleineren benachteiligt sein könnten (CLAUSS und HUMMEL 2005).

In der vorliegenden Arbeit soll untersucht werden, ob sich dieser Trend bestätigen lässt. Des Weiteren soll der Einfluss der Körpergröße, der phylogenetischen Zugehörigkeit sowie des Verdauungstyps auf die Partikelgröße quantitativ erfasst werden. Hierzu wurden insgesamt über 1100 Proben von 205 verschiedenen Säugerspezies sowie von 12 verschiedenen Reptilien- und 14 verschiedenen Vogelspezies in einem standardisierten Nass-Siebverfahren analysiert. Es handelt

sich hierbei um den ersten Versuch, die Kotpartikelgröße über eine sehr große Speziesbandbreite sowohl bei Säugern als auch bei Reptilien und Vögeln zu quantifizieren.

2 Schrifttum

2.1 Herbivorie

Über 90% der gesamten Säugetierpopulation sind Pflanzenfresser (BJÖRNHAG 1987). Als Pflanzenfresser bezeichnet man Tiere, die sich von Blattorganen von Pflanzen (Gräser, Laub, Kräuter) ernähren. Dieses Pflanzenmaterial können sie nur begrenzt selbst verdauen, da Zellulose nicht durch körpereigene Enzyme von Wirbeltieren aufgeschlossen werden kann (WOLIN 1981, COLLINDER et al. 2003). Hierfür sind symbiotische Mikroorganismen, die den Magen-Darm-Trakt besiedeln, nötig, die das Fasermaterial - die wesentliche Energiequelle für reine Pflanzenfresser - fermentieren (JANIS 1976, PARRA 1978). Die dabei entstehenden kurzkettigen Fettsäuren können vom Wirtstier als Energiequelle genutzt werden; die ebenfalls entstehenden Fermentationsgase CO₂ und Methan gehen als Energie verloren. Die Mikroorganismen sind zudem eine wichtige Proteinquelle für Koprophage und Vormagenfermentierer und liefern außerdem B-Vitamine. Der relativ niedrige Nährstoffgehalt der Pflanzen wird durch Aufnahme großer Futtermengen kompensiert. Um solche Mengen aufnehmen zu können und große Bakterienpopulationen zu beherbergen, brauchen Pflanzenfresser voluminöse anatomische Strukturen (sog. „Gärkammern“). Vormagenfermentierer, zu denen unter anderem die Wiederkäuer, Flusspferde, Faultiere, Colobusaffen (BAUCHOP und MARTUCCI 1968) und Kängurus zählen, haben hierfür sehr geräumige, kompartimentierte Mägen; Dickdarmfermentierer (z.B. Equiden, Nager) haben entweder einen großen, zum Teil gekammerten Blinddarm oder ein großes Colon (oder beides) (Abb. 1) (WOLIN 1981, STEVENS und HUME 1995, 1998, ENGELHARDT 2000, HILDEBRAND und GOSLOW 2004).

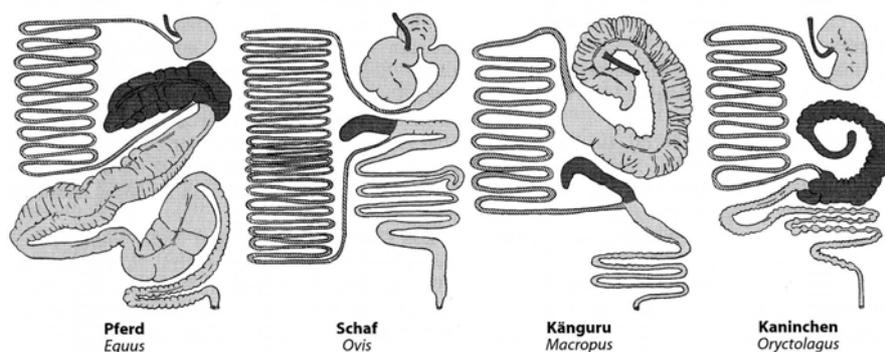


Abb. 1: Funktionelle Variation im Darm von herbivoren Säugetern (aus STEVENS und HUME 1995)

Neben einer ständigen intensiven Durchmischung der Ingesta ist auch eine lange Verweilzeit der Nahrungspartikel eine wichtige Voraussetzung für eine effektive mikrobielle Verdauung, bei der es sich um einen zeitabhängigen Prozess handelt. Dieser kann umso gründlicher ablaufen, je länger der Nahrungsbrei in der entsprechenden Gärkammer zurückgehalten wird. Eine Verlangsamung der Passage und damit einhergehenden längeren Verweilzeit wird zum einen durch das große Volumen und zum anderen durch die unterschiedlich starke Kompartimentierung der Gärkammern ermöglicht (VAN SOEST 1994, EHRLEIN und KASKE 2000, ENGELHARDT 2000, HILDEBRAND und GOSLOW 2004). Manche Tiere speichern vorübergehend ihre Nahrung – Vögel im Kropf oder Drüsenmagen, manche Nager und Primaten in Backentaschen, und bei den vielen Säugern und Reptilien dient der große Magen ebenfalls als Speicherorgan (KING 1996, STEVENS und HUME 1998, HILDEBRAND und GOSLOW 2004, DIAZ-FIGUEROA und MITCHELL 2006).

Unabhängig davon, welche Verdauungsstrategie verfolgt wird, müssen die Tiere einen großen Anteil kleiner Nahrungspartikel produzieren, um entweder die Oberfläche der Partikel für eine effektive Fermentation zu vergrößern und/oder um an die löslichen Zellinhaltsstoffe zu gelangen. Da Pflanzenzellen im Unterschied zu tierischen Zellen, die nur eine Zellmembran umhüllt, Zellwände aufweisen, ist die mechanische Zerkleinerung hierbei von besonderer Bedeutung (PEARCE und MOIR 1964, ROBLES et al. 1980, POPPI et al. 1980, 1981, POND et al. 1984a). Die Ausbildung eines hierfür geeigneten Kauapparates ist in der derzeitigen Fauna ein Charakteristikum von gleichwarmen Tieren. Übernehmen bei Vögeln der Muskelmagen bzw. Magensteine die Zerkleinerungsfunktion (z. B. MOORE 1999), so sind es bei Säugetieren die Zähne. Manche Pflanzenfresser kauen wieder – die echten Wiederkäuer sowie die Kamelartigen - oder praktizieren in gewissem Maße ein wiederkau-ähnliches Verhalten, den sogenannten Meryzismus – wie Koalas¹ (LOGAN 2001) oder manche Kängurus (HUME 1982, STEVENS und HUME 1995, 1998, ENGELHARDT 2000, HILDEBRAND und GOSLOW 2004). Eine im Vergleich zu Fischen, Amphibien und (rezenten) Reptilien intensive Nahrungszerkleinerung ermöglicht Säugern und Vögeln eine hohe Futteraufnahme bei gleichzeitig hoher Verdaulichkeit (KARASOV et al. 1986) und stellt somit eine Grundvoraussetzung für die Ausbildung eines intensiven Stoffwechsels dar (z. B. REILLY et al. 2001).

¹ Die wissenschaftlichen Speziesbezeichnungen finden sich in Tabelle 2 auf S. 87

2.1.1 Vormagenverdauung versus Dickdarmverdauung

Obwohl sich im Vormagen und im Dickdarm eine in Menge und Vielfalt vergleichbare Symbiontenfauna befindet, bestehend aus Bakterien, Protozoen und Pilzen, (STEVENS und HUME 1998, BREVES und DIENER 2000), und sich die prinzipiellen Verdauungsabläufe der Vormagenverdauung mit denen der Dickdarmverdauung vergleichen lassen, ergeben sich doch aufgrund der Positionierung der Gärkammer innerhalb des Magendarmkanals einige Unterschiede.

Die Vorderdarmfermentation ist sehr langsam, dafür aber relativ effektiv, da die Verdauungsprodukte gleich im Dünndarm resorbiert werden können. Die an dem Nahrungsbrei anhaften Mikroorganismen werden ebenfalls verdaut und liefern so Proteine und andere Nährstoffe (UDEN und VAN SOEST 1982b, BJÖRNHAG 1987, STEVENS und HUME 1998, HILDEBRAND und GOSLOW 2004). Die Zelluloseverdauung im Vormagen von Wiederkäuern ist bei vergleichbaren Gärkammervolumen prinzipiell besser, da hier eine selektive Partikelretention gegenüber Flüssigkeit stattfindet (z.B. POPPI et al. 1980, COLLINDER et al. 2003). Durch die daraus resultierende längere Retentionszeit ist ein effizienterer Abbau der Gerüstsubstanzen möglich (UDEN und VAN SOEST 1982b), denn die Effizienz der Celluloseverdauung ist bei herbivoren Säugern proportional zur Passagezeit (PARRA 1978). Allerdings sind Wiederkäuer durch diesen Verzögerungsmechanismus in ihrer Futteraufnahmekapazität limitiert, weshalb sie bei Aufnahme von Futter minderer Qualität gegenüber Dickdarmfermentierern benachteiligt sind. Ein weiterer Nachteil ist, dass hochwertige Nährstoffe weniger effizient genutzt werden können, da sie zunächst mikrobiell verstoffwechselt werden. Bei proteinarmer Fütterung jedoch wirkt sich dies günstig aus, da die Pansenbakterien hochwertiges Eiweiß auch aus qualitativ schlechtem Futterprotein und NPN-Verbindungen synthetisieren können (STEVENS und HUME 1998, ENGELHARDT 2000).

Bei der Dickdarmfermentation wird gewissermaßen Qualität durch Quantität ersetzt. Dickdarmverdauern können vergleichsweise mehr Nahrung aufnehmen und diese, da sie nicht so lange im Magen gespeichert wird, schneller verarbeiten. Bei Aufnahme von Futter minderer Qualität ist dies vorteilhaft, denn die sinkende Verdaulichkeit des Futters kann durch eine Erhöhung der Futteraufnahme ausgeglichen werden. Die Gärverluste sind bei Dickdarmverdauern vergleichsweise niedriger, da weniger Methangas gebildet wird – vermutlich, weil andere Mechanismen zur Bindung von

Wasserstoff existieren (IMMING 1996, JENSEN 1996). Die löslichen Nährstoffe werden bei Dickdarmfermentierern körpereigen verdaut und im Dünndarm resorbiert. Die durch die Mikroorganismen gebildeten Nährstoffe (z.B. Aminosäuren und Vitamine) sind allerdings aufgrund fehlender Transportsysteme im Dickdarm für das Wirtstier größtenteils nicht nutzbar und werden mit dem Kot ausgeschieden (JANIS 1976, UDEN und VAN SOEST 1982b, STEVENS und HUME 1998, BREVES und DIENER 2000, ENGELHARDT 2000, HILDEBRAND und GOSLOW 2004). Diese von den Mikroorganismen gebildeten Nährstoffe, als auch die Mikroorganismen an sich, können von Dickdarmfermentieren nur durch Koprophagie genutzt werden (UDEN und VAN SOEST 1982b) - ein Verhalten, dass v.a. bei Nagern beobachtet werden kann (z.B. HOLTENIUS und BJÖRNHAG 1985, TAKAHASHI und SAKAGUCHI 1998). Manche Tiere, die normalerweise keine Koprophagie betreiben, gehen bei knappen Nährstoffangebot hierzu über, um ein Defizit auszugleichen (SOAVE und BRAND 1991, ENGELHARDT 2000).

2.1.2 Verdauungsstrategie kleiner Pflanzenfresser

Verglichen mit großen Herbivoren benötigen Pflanzenfresser kleiner Körpergröße pro Einheit Körpermasse mehr Energie und Protein, da der Grundumsatz (pro Einheit Körpermasse) mit sinkender Körpermasse zunimmt (KLEIBER 1947, 1961), und der Stickstoffumsatz proportional zum Energieverbrauch ist (SMUTS 1935). Einhergehend mit der kleinen Körpergröße ist auch eine niedrigere Darmkapazität, da diese ein konstanter Teil der Körpermasse bleibt (DEMMENT 1982, DEMMENT und VAN SOEST 1985).

Um ihren Energiebedarf zu decken, müssen kleine Herbivore relativ große Mengen an Nahrung aufnehmen, was nur durch Dickdarmfermentation als Verdauungsstrategie gewährleistet werden kann. Durch Erhöhung der Passagerate können kleine Herbivore ihre Nahrung schneller durch den Darm schleusen und dadurch die Futteraufnahme erhöhen. Allerdings bedeutet dies auch, dass sie keine großen Mengen an Zellwänden verdauen können (UDEN und VAN SOEST 1982b), da ein effizienter Abbau von Fasermaterial nur langsam ablaufen kann (ENGELHARDT 2000). Die Energieausbeute aus der mikrobiellen Fermentation reicht kleinen Herbivoren nicht aus (z.B. 30% bei Kaninchen; PARKER 1976). Sie gewinnen die meiste Energie aus der Resorption der Zellinhaltsstoffe im Dünndarm

und verdauen zusätzliche Gerüstsubstanzen anschließend im Dickdarm (ENGELHARDT 2000).

ENGELHARDT (2000) gibt an, dass Vormagenfermentation als Verdauungsstrategie ab einem Körpergewicht von 4 kg möglich ist. Kleine Wiederkäuer, wie beispielsweise Muntjaks und Dikdiks, haben ihr Futter ihrem relativ höheren Energiebedarf angepasst und fressen v. a. leicht verdauliche Blätter, Früchte und Blüten, die in den Vormägen relativ schnell abgebaut werden können (s. hierzu 2.2). Diese Strategie der selektiven Nahrungsaufnahme von leichtverdaulichen Pflanzenteilen konnte auch bei jungen herbivoren Schmuckschildkröten (*Pseudemys nelsoni*) beobachtet werden (BJORNDAL und BOLTON 1992). Da kleinere Tiere geringere absolute Futtermengen benötigen, können sie es sich (vom Energieaufwand her) „leisten“, länger nach geeignetem energiereichem Futter zu suchen, während große Tiere nicht so wählerisch sein können und deshalb energieärmeres Futter fressen (SIBLY und CALOW 1986).

Um die Einschränkungen durch ihre kleine Körpermasse auszugleichen, haben kleine herbivore Dickdarmfermentierer spezielle Verdauungsstrategien entwickelt (SAKAGUCHI 2003), die sich von denen großer Dickdarmfermentierer absetzen. Im Allgemeinen verfügen sie über einen großen Blinddarm, der zugleich Hauptort bakterieller Verdauung ist (HUME 1982, UDEN und VAN SOEST 1982b, SAKAGUCHI 2003). Der Vorteil der Blinddarmfermentation gegenüber der Colonfermentation liegt darin, dass dieses sackartige Organ auf einer Seite geschlossen ist und dadurch die Möglichkeit bietet, Nahrungspartikel länger zurückzuhalten. Diese werden dann nicht im Zuge der Ingestapassage durch den Dickdarm mit ausgeschieden und können somit von den Mikroorganismen, denen dann mehr Zeit für die Zelluloseverdauung zur Verfügung steht, im Blinddarm fermentiert werden (UDEN und VAN SOEST 1982b). HUME (1982) gibt an, dass anscheinend alle großen (über ca. 50 kg) Dickdarmverdauer Colonfermentierer sind, während die kleinen (unter 5 kg), die substantiell Fasermaterial nutzen, Blinddarmfermentierer sind. Bei dazwischen liegenden Körpergewichtsklassen kann sowohl das eine als auch das andere vorkommen.

Viele Spezies, insbesondere Nager, betreiben Koprophagie (MEYER 1955, LECHLEITNER 1957, INGLES 1961, HINTZ 1969, KENAGY und HOYT 1980, HOLTENIUS und BJÖRNHAG 1985, SOAVE und BRAND 1991, TAKAHASHI und SAKAGUCHI 1998, KENAGY et al. 1999, MENDES et al. 2000), wodurch sie sich

zusätzlich mit Nährstoffen versorgen, die ansonsten verloren wären. Unter den koprophagen Spezies bilden viele zwei Kotarten unterschiedlicher Zusammensetzung, die unabhängig voneinander ausgeschieden werden (STEVENS und HUME 1998). Unterstützt wird dieses Verhalten durch einen Trennmechanismus im Colon (CSM: Colonic Separation Mechanism), durch welchen Flüssigkeit, feine Partikel und Bakterien mittels retrograder Bewegungen zurück ins Caecum transportiert werden (BJÖRNHAG 1987, SAKAGUCHI 2003). Die größeren, wenig verdauten faserreichen Partikel werden schneller durch das Colon geschleust und bilden den sogenannten Hartkot, der nicht gefressen wird. Der andere, sogenannte Weichkot (Caecotrophe) enthält mehr Wasser und viele von den Bakterien gebildete Nährstoffe, die nach erneuter Aufnahme durch körpereigene Enzyme verdaut und im Dünndarm resorbiert werden können (UDEN und VAN SOEST 1982b, STEVENS und HUME 1998, ENGELHARDT 2000, SAKAGUCHI 2003, HILDEBRAND und GOSLOW 2004).

Der CSM ist tierartlich verschieden. Kaninchen leiten den Blinddarminhalt periodisch in das proximale Colon, wo Flüssigkeit und feinere Partikel in den Haustra zurückgehalten und mittels antiperistaltischer Wellen zurück ins Caecum befördert werden (BJÖRNHAG 1981, 1987). Koalas zeigen einen ähnlichen CSM wie Kaninchen (STEVENS und HUME 1998). Nutrias (TAKAHASHI und SAKAGUCHI 2000), Meerschweinchen und Chinchillas haben als Separierungsmechanismus eine von Schleimhautfalten gebildete longitudinale Furche im proximalen Colon und im Caecum, in die die Bakterien geleitet und mittels antiperistaltischen Darmbewegungen zurück in den Blinddarm transportiert werden (HOLTENIUS und BJÖRNHAG 1985). Durch diese Retention von Bakterien werden zudem kurze caecale Retentionszeiten ausgeglichen, die ein Aufrechterhalten der Bakterienflora durch Replikation nicht erlauben (STEVENS und HUME 1998).

2.1.3 Verdauungsstrategie herbivorer Reptilien

Fast alle pflanzenfressenden Reptilien sind Dickdarmfermentierer, deren Verdauungsphysiologie in vielen Aspekten der von nichtwiederkäuenden herbivoren Säugern ähnelt (TROYER 1984b, FOLEY et al. 1992, STEVENS und HUME 1995, BOYER und BOYER 2006). Die Art und die Anzahl der Mikroorganismen sind vergleichbar (PARRA 1978, IVERSON 1980, McBEE und McBEE 1982, TROYER

1982), und die Endprodukte der Fermentation sind identisch (PARRA 1978, TROYER 1984b, BJORNDAL 1985, 1987).

Reine Pflanzenfresser findet man unter den Echsen nur in den Familien Iguanidae (ca. 30 Spezies), Agamidae (ca. 17 Spezies) und Scincidae (nur *Corucia zebrata*) (IVERSON 1982). Sie tendieren zur Folivorie, fressen v. a. reife, vollentwickelte Blätter, und zeigen hierfür spezielle Anpassungen wie eine spezialisierte Bezahnung, vergleichsweise längere Därme und eine Gärkammer, sowie Strukturen zur Verlangsamung der Nahrungspassage und somit zur Erhöhung der Verdauungseffizienz. Omnivore Echsen, die nicht über solche Adaptationen verfügen, fressen mehr Früchte, Blüten, Keime und Pflanzenteile, die leichtverdaulich sind (COOPER und VITT 2002).

Genauso wie unter den Säugern besitzen unter den Reptilien die Pflanzenfresser den vergleichsweise längsten Darm (SKOCZYLAS 1978, DIAZ-FIGUEROA und MITCHELL 2006), obwohl er verglichen mit Säugern kürzer ist (KARASOV et al. 1986). Schildkröten besitzen innerhalb der Reptilien den in Relation zur Körperlänge längsten Darmtrakt (LUPPA 1977). Der Dünndarm, der meist durch eine Klappe vom Dickdarm getrennt ist, ist bei herbivoren Spezies kürzer, der Dickdarm dafür länger und voluminöser (GUARD 1980, STEVENS und HUME 1995, 1998, COOPER und VITT 2002, BOYER und BOYER 2006, DIAZ-FIGUEROA und MITCHELL 2006). Entwicklungsgeschichtlich sind Reptilien die ersten Wirbeltiere, deren Verdauungstrakt am Übergang vom Ileum zum Colon einen Blindarm, zumindest andeutungsweise, aufweist (PORTER 1972). Während das Caecum bei Schildkröten nicht besonders entwickelt ist (LUPPA 1977, GUARD 1980, DENNERT 1997, BOYER und BOYER 2006), ist es bei herbivoren Echsen i.d.R. deutlich ausgebildet und zudem durch Transversalfalten (semilunar oder zirkulär, teilweise mit Sphinkterfunktion) in Kompartimente unterteilt. Die Anzahl der Falten und damit Komplexität des Colons (vielzählige Unterkammerung) nimmt mit steigender Körpermasse zu. Manche Autoren sprechen von Colon, manche von Caecum, gemeint ist aber immer der gekammerte proximale Anteil des Colons, der die Mikroorganismen beherbergt, die den bis dahin weitestgehend unverdauten Faseranteil vergären (IVERSON 1982, STEVENS und HUME 1995, KING 1996). Durch die Unterteilung wird zum einen die Nahrungspassage verzögert, zum anderen eine größere relative Oberfläche für die Absorption der Nährstoffe und die Beherrschung der Mikroorganismen geschaffen (GUARD 1980, IVERSON 1982,

FRYE 1995, STEVENS und HUME 1998). Beim grünen Leguan findet sich eine Einzigartigkeit: vom Dünndarm führt eine Art verlängertes Ventil in eine Vorkammer des Colons. In dieser Kammer ist ein Bereich räumlich als Caecum abgetrennt. Eine Klappe führt zum nächsten Colonabschnitt, wo fünf ausgedehnte Transversalfalten, die in ihrer Größe nach distal abnehmen, das Colon in Taschen unterteilen (PARSONS und CAMERON 1977, GUARD 1980, IVERSON 1980, FRYE 1995). Das Colon von Dornschwanzagamen und Wickelschwanzskinken zeigt ebenfalls eine Unterkammerung, allerdings in anderer Form (IVERSON 1982). Interessanterweise ist der proximale Anteil des Dickdarms von der nur teilweise herbivor lebenden Westkanareneidechse (*Gallotia galloti*) ebenso vergrößert und ähnlich wie bei reinen herbivoren Echsen unterkammert. HERREL et al. (2004) fanden bei dieser Spezies ein blinddarmähnliches Kompartiment mit Falten und Klappen.

Viele Studien haben gezeigt, dass Zellwände von Reptilen zu einem vergleichbaren Ausmaß wie bei Wiederkäuern verdaut werden (BJORNDAL 1980, 1987, TROYER 1984a, 1984b, ZIMMERMAN und TRACY 1989, HATT et al. 2005). Da Reptilien ihre Nahrung wenig bis gar nicht zerkleinern (z.B. THROCKMORTON 1976), müssen sie ihre Nahrung sehr viel länger im Darm halten, um ähnliche Verdaulichkeiten zu erzielen wie herbivore Säuger (BJORNDAL et al. 1990). Die Passagezeiten bei Reptilien, die durch die Körpertemperatur (GUARD 1980, ZIMMERMAN und TRACY 1989), den Nahrungstyp (BJORNDAL 1989) und die Partikelgröße (GUARD 1980, BJORNDAL et al. 1990) beeinflusst werden, sind entsprechend lang und können bei Schildkröten zwischen 200 und 300 Stunden betragen (BJORNDAL 1987, 1989), während die Passagezeiten für Partikel bei Wiederkäuern zwischen 13 und 80 Stunden und bei den meisten Nicht-Wiederkäuern zwischen einer und 48 Stunden liegen (WARNER 1981). Mehrere Untersuchungen (GUARD 1980, BARBOZA 1995) haben gezeigt, dass größere Partikel länger im Darm retiniert werden als kleine Partikel und Flüssigkeit. Beim grünen Leguan und bei Köhlerschildkröten (*Geochelone carbonaria*) ist der Hauptort der Partikelretention das Caecum sowie das proximale Colon (GUARD 1980). Neben der Kompartimentierung von Darmabschnitten ist eine Partikelretention auch durch Antiperistaltik und Stasis bzw. Stauung möglich, was insbesondere bei herbivoren Schildkröten eine Rolle spielen könnte, da deren Dickdarm nicht kompartimentiert ist. In der Tat beschreiben HUKUHARA et al. (1975) intermittierende antiperistaltische Wellen im Dickdarm von *Geoclemys reevesii*. Untersuchungen an Wüstenschildkröten (*Xerobates agassizii*)

zeigten, dass große Partikel auf einmal, und kleine Partikel hingegen eher kontinuierlich ausgeschieden werden (BARBOZA 1995). BJORN DAL und BOLTON (1990) konnten bei herbivoren Schmuckschildkröten keinen Hinweis auf morphologische Strukturen, die der Verlangsamung der Passage dienen, finden.

Der Kot von Reptilien besteht oft aus ganzen Blättern, die fast unverdaut aussehen (BJORN DAL 1979, IVERSON 1982). Elektronenmikroskopische Untersuchungen von Blättern aus dem Kot von Gopherschildkröten (*Gopherus polyphemus*) haben gezeigt, dass es sich hierbei um intakte Skelette aus Kutin und Xylemfasern handelt (BJORN DAL et al. 1990), die auch bei Säugern unverdaut bleiben, allerdings – da zerkaut – nicht mehr die ursprüngliche Blatt-Struktur aufweisen (HARBERS et al. 1981). Die Epidermis von Pflanzen stellt eine physikalische Barriere für den mikrobiellen Angriff dar (HARBERS et al. 1981), so dass die Mikroorganismen an Schnitt- oder Bruchstellen in der Epidermis angreifen und sich von dort aus vorarbeiten (LATHAM et al. 1978). Das Mesophyll und Phloem wird sozusagen wegverdaut, wobei das Blattgerüst nicht reduziert wird, und die Blätter bei Reptilien so ihre ursprüngliche äußere Gestalt bewahren (BJORN DAL et al. 1990).

Die intestinale Mikroflora ist wichtig für eine gründliche Verdauung von Pflanzenteilen und somit auch essentiell für das Wachstum (McBEE und McBEE 1982, TROYER 1982). TROYER (1982) demonstrierte dies bei einem Versuch mit grünen Leguanen, die bereits von Geburt an herbivor sind - im Gegensatz zu vielen anderen pflanzenfressenden Reptilien, die anfangs oft carnivor sind (z.B. BOUCHARD und BJORN DAHL 2005). Jungtiere, die in Gefangenschaft aufgezogen wurden, wuchsen langsamer als Jungtiere aus freier Wildbahn und konnten zudem nicht die gleichen komplexen Bakterienpopulationen aufbauen. Nach der Verfütterung von Frischkot von Adulttieren wuchsen sie in der gleichen Geschwindigkeit und wiesen die gleiche Bakterienflora auf. Koprophagie bei Reptilien wird als Mechanismus angesehen, um eine intestinale Mikroflora aufzubauen. In diesem Zusammenhang vermutete SOKOL (1971), dass die Darmsymbionten passagär sein könnten und aus diesem Grund immer wieder aufgenommen werden müssen. CHRISTIAN et al. (1984) beobachteten Koprophagie sowohl bei juvenilen als auch bei adulten Landleguanen (*Conolophus pallidus*). Sie vermuteten, dass die Stabilität der Mikroorganismenflora im Darm bei Echsen für individuelle und interspezifische Schwankungen der Verdauungsleistung ausschlaggebend sein könnte.

2.1.4 Verdauungsstrategie herbivorer Vögel

Im Vogelreich sind alle möglichen Nahrungstypen zu finden: herbivor (Pflanzen), folivor (Blätter), granivor (Körner), frugivor (Früchte), insektivor (Insekten), omnivor (allesfressend), carnivor (Fleisch), testacivor (Schalentiere) und piscivor (Fisch), wobei manche Spezies auch einen saisonalen Nahrungswechsel vollziehen (z.B. NOVOA et al. 1996). Reine Herbivorie ist dabei sehr selten, denn lediglich 3% aller existierenden Vogelspezies (ca. 300 von 9600 Spezies) nutzen ausschließlich faserhaltiges Pflanzenmaterial als Energiequelle (MACKIE 2002). Die meisten herbivoren Vogelspezies fressen zusätzlich auch Insekten, Früchte oder Samen (KARASOV 1990). Da sie zum Fliegen einerseits relativ viel Energie benötigen und andererseits das Gewicht ihrer Verdauungsorgane und deren Inhalt möglichst gering halten müssen, selektieren Vögel als Nahrung v.a. Pflanzenteile mit hohem Protein- und niedrigen Fasergehalt, wie beispielsweise Knospen, sehr junge Blätter oder junges Gras.

Der Verdauungstrakt von Vögeln unterscheidet sich morphologisch und funktional je nach Ernährungsweise, und auch ein jahreszeitlicher Nahrungswechsel geht mit einer Veränderung des Verdauungstrakts einher (PENDERGAST und BOAG 1973, DROBNEY 1984, NOVOA et al. 1996). Verglichen mit Säugern ist der Verdauungstrakt bei Vögeln kürzer (DENBOW 2000). Die wesentlichen Unterschiede sind das Fehlen von Zähnen und einer kräftigen Backenmuskulatur, das Vorhandensein eines Kropfes (bei den meisten Spezies), eines zweigekammerten Magens sowie meist paariger Blinddärme. Ähnlich wie bei Reptilien mündet der Darm zusammen mit den Ausführungsgängen des Urogenitaltraktes in die Kloake (STEVENS und HUME 1995, MØLLER 2000).

Der dünnwandige, dehnbare Ösophagus ist mit zahlreichen longitudinalen Falten versehen, durch die lange Futterpartikel ihrer Länge nach ausgerichtet werden (MOORE 1999). Der Durchmesser ist vergleichsweise größer als bei Säugern, und bei vielen Spezies ist der Ösophagus an seinem distalen Ende zu einem Kropf erweitert, welcher der vorübergehenden Speicherung und manchmal auch der Einweichung der Nahrung dient (KING und McLELLAND 1984, STEVENS und HUME 1995, DENBOW 2000). Ein einzigartige Ausnahme ist der brasilianische Hoatzin (*Opisthocomus hoazin*), bei dem der muskulöse, dreiteilige (KING und McLELLAND 1984) Kropf eine Fermentationskammer darstellt (GRAJAL et al. 1989). Pinguine, Möwen, Strauße (DENBOW 2000) und Emus (HERD und DAWSON 1984,

HERD 1985) haben beispielsweise keinen Kropf, und bei Enten und Gänsen handelt es sich lediglich um eine einfache spindelförmige Erweiterung der Speiseröhre (KING und McLELLAND 1984, VOLLMERHAUS und SINOWATZ 1992, ENGELHARDT 2005). Wenn der Muskelmagen leer ist, wird Futter aus dem Kropf weiter zum Drüsen- und Muskelmagen geleitet, und erst wenn die Mägen gefüllt sind, kommt es zur Nahrungsspeicherung im Kropf (KING und McLELLAND 1984, VOLLMERHAUS und SINOWATZ 1992).

Der Magen von Vögeln setzt sich aus zwei Teilen zusammen, dem cranialen Drüsenmagen (*Pars glandularis*, Proventrikulus) und dem caudalen Muskelmagen (*Pars muscularis*, Ventrikulus) (KING und McLELLAND 1984, DENBOW 2000). Der spindelförmige Drüsenmagen ist meistens relativ klein und dient als Durchlaufstation für das Futter, wobei die Verweildauer vom Füllungsstatus des Muskelmagens abhängt. Der Drüsenmagen sezerniert Salzsäure und Pepsinogen und ist mit dem einhöhligen Magen von Säugern vergleichbar (HERD 1985, VOLLMERHAUS und SINOWATZ 1992, STEVENS und HUME 1995, DENBOW 2000). Der Nahrungsbrei wird in den Muskelmagen entleert, wo dann die Durchmischung und eigentliche Proteolyse beginnt (KING und McLELLAND 1984, HERD 1985, VOLLMERHAUS und SINOWATZ 1992). Bei omnivoren, insectivoren, granivoren und herbivoren Spezies ist der Muskelmagen auch Ort der mechanischen Zerkleinerung (KING und McLELLAND 1984, MACKIE 2002). Der bei diesen Arten linsenförmige, relativ große und kräftig ausgebildete Muskelmagen wird als Kompensationsorgan für die fehlenden Zähne angesehen, da in ihm die eigentliche Nahrungszerkleinerung – bewirkt durch kräftige Kontraktionen – stattfindet (MOORE 1999) (s.h. hierzu 2.4.5). Der intraluminale Druck kann bei Herbivoren (Hausgans) bis zu 280 mmHg erreichen, im Vergleich zu Aasfressern (Bussard), bei denen der Druck nur 8-26 mmHg erreicht (STEVENS und HUME 1995). Alle bislang untersuchten Spezies nehmen kleine Steine oder Sandkörner, den sogenannten Grit, in den Muskelmagen auf, um die Effizienz der Zerreibung zu erhöhen (STEVENS und HUME 1995, MØLLER 2000, MACKIE 2002) (s.h. hierzu 2.4.6.2).

Der Darm unterscheidet sich in seiner Länge in Abhängigkeit von Alter, Spezies und Art sowie Menge des Futters. Verglichen mit frugivoren und carnivoren Spezies ist der Darm von Herbivoren und Granivoren länger (VOLLMERHAUS und SINOWATZ 1992, DENBOW 2000). Im Duodenum kommt es zur Vermischung mit Verdauungssekreten der Bauchspeicheldrüse und der Gallenflüssigkeit. Durch

antiperistaltische Bewegungen wird ein Teil des Nahrungsbreis zurück in den Magen transportiert, wo dieser dann erneut zerkleinert werden kann. Im Jejunioileum finden die eigentlichen Verdauungsprozesse statt, weshalb dies auch der längste Darmabschnitt ist (VOLLMERHAUS und SINOWATZ 1992). Der Dickdarm von Vögeln setzt sich im Allgemeinen aus paarigen Blinddärmen und einem kurzen, geraden Enddarm zusammen, der kaum weiter ist als der Dünndarm und der dem Rektum von Säugern am nächsten kommt (KING und McLELLAND 1984, VOLLMERHAUS und SINOWATZ 1992, STEVENS und HUME 1995, DENBOW 2000, MØLLER 2000). Das Caecum ist bei den meisten Spezies durch Klappen vom restlichen Dickdarm getrennt und kann auch doppelpaarig (Sekretär) ausgebildet sein oder nur einfach vorkommen (z.B. Reiher), ganz fehlen (z.B. Papageien), bzw. nur rudimentär (z.B. Tauben) vorhanden sein (VOLLMERHAUS und SINOWATZ 1992, CLENCH und MATHIAS 1995, STEVENS und HUME 1995, CLENCH 1999, DENBOW 2000). Bei den meisten Spezies sind die Blinddärme von tubulärer Form und wenig differenziert, bei einigen wenigen Spezies sind sie sackförmig und haben Divertikel (u.a. Strauß, Nandu, Kiwi, Satyr-Tragopan, Riesentrappe, Pampashühner) (McLELLAND 1989). DeGOLIER et al. (1999) untersuchten Blinddärme von 154 Spezies aus 21 Ordnungen. Dabei fanden sie heraus, dass gutentwickelte Blinddärme bei Spezies vorkommen, deren Nahrung einen hohen Faseranteil enthält, also bei Herbivoren und Omnivoren. Spezies, deren Nahrung Protein- und Kohlehydratreich ist, haben mit einigen Ausnahmen hingegen schwach entwickelte oder gar keine Blinddärme. Die Autoren stellten die Hypothese auf, dass die relativ gut ausgebildeten Caeca einiger nicht herbivorer Spezies zum Speichern von kritischen Rohnährstoffen wie Protein und Wasser dienen. Der Blinddarminhalt unterscheidet sich hinsichtlich Farbe und Konsistenz von dem übrigen ausgeschiedenen Darminhalt und wird ein- oder zweimal täglich abgesetzt (KING und McLELLAND 1984, VOLLMERHAUS und SINOWATZ 1992, DENBOW 2000), wobei der Vorgang der Füllung und Entleerung noch nicht vollständig geklärt (VOLLMERHAUS und SINOWATZ 1992). Im Gegensatz zu Säugetieren können im Blinddarm von Vögeln zum Teil Aminosäuren resorbiert werden (DENBOW 2000, ENGELHARDT 2005). Eine weitere nennenswerte Besonderheit ist der Stickstoff-Stoffwechsel im Dickdarm der Vögel. Durch antiperistaltische Bewegungen im Colon wird aus der Kloake Urin in die Blinddärme transportiert - laut BJÖRNHAG und SPERBER (1977) sind 87-97% des Blinddarminhalts Urin - und der darin enthaltene

Stickstoff kann dann für die mikrobielle Proteinsynthese genutzt werden (ENGELHARDT 2005).

Bei den meisten herbivoren Vögeln findet die mikrobielle Faserverdauung in den paarigen Blinddärmen statt (ANNISON et al. 1968, GASAWAY 1976, KING und McLELLAND 1984, VOLLMERHAUS und SINOWATZ 1992, CLENCH und MATHIAS 1995, MØLLER 2000), die dann hierfür groß und gut entwickelt sind (CLENCH und MATHIAS 1995, CLENCH 1999). Große Blinddärme findet man z. B. bei Gänsen, Hühnern, Straußen und Nandus (CHO et al. 1984, STEVENS und HUME 1995, MØLLER 2000). Emus und Kasuare, die sich vornehmlich von Früchten und Samen ernähren, haben kurze Blinddärme (CHO et al. 1984), und beim Emu ist ausnahmsweise das Ileum Hauptort bakterieller Fermentation (HERD und DAWSON 1984). Beim Strauß, der einen für Vögel ungewöhnlich langen Dickdarm hat (50% des gesamten Verdauungstrakts), findet der Hauptanteil der mikrobiellen Verdauung in dem durch Haustra unterteilten Colon statt, das mit ca. 10 m Länge fast zwölfmal so lang ist wie die Blinddärme (SKADHAUGE et al. 1984, SWART et al. 1993, MØLLER 2000).

Für eine effektive Fermentation muss der Darminhalt in eine nährstoffreiche, flüssige Fraktion mit Anteilen feinsten Partikel, die dann in die Caeca eintritt, und eine unverdauliche Faserfraktion aufgeteilt werden, die, ohne in die Caeca zu gelangen, ausgeschieden wird (KING und McLELLAND 1984, DENBOW 2000). Untersuchungen von CLEMENS et al. (1975) an Gänsen zeigten, dass ein Teil der Flüssigmarker in den Blinddärmen retiniert wird, während Partikelmarker v.a. im Vorderdarm für eine ausreichende Zerkleinerung zurückgehalten werden. In ähnlicher Weise konnten GASAWAY et al. (1975) beim Alpenschneehuhn (*Lagopus mutus*) feststellen, dass flüssiges Material fast komplett in die Blinddärme geleitet wurde. Allerdings fanden CLEMENS et al. (1975) und GASAWAY et al. (1975) keinen Hinweis auf retrograden Transport Richtung Blinddarm, wie dies bei einigen Nagern der Fall ist (SAKAGUCHI 2003). Beim Emu deuten laut HERD (1985) die gut entwickelten Zotten am Anfang des Blinddarms auf einen Separierungsmechanismus hin, der sicherstellt, dass nur Flüssigkeit und feine Partikel in den Blinddarm eintreten.

Das Vermögen herbivorer Vögel, pflanzliche Gerüstsubstanzen zu verdauen, ist sehr unterschiedlich. Es scheint, als wenn sie insbesondere Hemizellulosen verdauen, welche durch Pepsin bei niedrigem pH-Wert aufgeschlossen werden können

(PARRA 1978, BUCHSBAUM et al. 1986). HSU et al. (1996) fanden für Gänse eine Verdaulichkeit für Hemizellulose von ca. 45%, für Zellulose von ca. 18% und für Protein von ca. 80%. Eine frühere Studie von BUCHSBAUM et al. (1986) zeigte bei Gänsen limitierte Zellwandverdauung (25% Hemizellulosen, 28% Zellulose), aber hohe Verdaulichkeit der Zellinhaltsstoffe (lösliche Kohlenhydrate 69-85%, Protein 61-80%). Trotzdem konnten die Tiere ein Drittel der Energie durch den Abbau von Pflanzenzellwänden erbringen, da diese in hoher Konzentration (40% der TS) im Futter vorlagen. Bei Hühnerartigen und Gänsen wurde gezeigt, dass der Anteil der Faserverdauung nur einen kleinen Beitrag zum Energiebedarf liefert (10%, BUGAUT und BENTEJAC 1993), so dass die Bedeutung der Caeca beim Hausgeflügel fraglich ist (KING und McLELLAND 1984). GASAWAY (1976) vermutete, dass bei Hühnerartigen ein Teil der Zelluloseverdauung präcaecal stattfindet. Er fand bei Alpenschneehühnern eine scheinbare Zelluloseverdaulichkeit von 34%. Im Gegensatz dazu können die großen Laufvögel einen Großteil ihrer Energie aus der Verdauung von Pflanzenfasern gewinnen, was vermutlich auch mit den vergleichsweise längeren Passagezeiten zusammenhängt. Beim Hausgeflügel beträgt die Passagezeit beispielsweise 5-12 Stunden (ENGELHARDT 2005), beim Alpenschneehuhn 2 Stunden (GASAWAY et al. 1975), während sie beim Strauß mit durchschnittlich 40 Stunden mit denen von anderen herbivoren Säugern vergleichbar ist (SWART et al. 1993). Im Allgemeinen sind die Passagezeiten bei Vögeln verglichen mit Säugern aber verhältnismäßig kurz (CLEMENS et al. 1975, GASAWAY et al. 1975, MØLLER 2000). SWART et al. (1993) ermittelten in vivo für heranwachsende Strauße, dass zwischen 20% und 43% des Energiebedarfs über kurzkettige Fettsäuren gedeckt werden. Basierend auf in vitro ermittelten Produktionsraten schätzten FIEVEZ et al. (2001), dass adulte Strauße 57-66% ihres Energieerhaltungsbedarfs über kurzkettige Fettsäuren decken können. SWART et al. (1993) fanden bei Straußen Verdauungskoeffizienten von 47%, 66% und 38% für NDF, Hemizellulose und Zellulose.

Untersuchungen von HERD und DAWSON (1984) zeigten, dass Emus, obwohl sie eine simple Darmstruktur und eine schnelle Passage haben (MRT 5,5 Std.), Pflanzenfasern (NDF) zu 35-45% verdauten. Sie können ihren Erhaltungsbedarf bis zu 50% über pflanzliche Zellwände decken, wobei allerdings nur ca. 11% aus den Fermentationsprodukten kommen. Der Großteil ist durch Säurespaltung verdaute Hemizellulose. Emus ernähren sich von kleinen Portionen energiereichem Futters

und fressen eher leicht verdauliche Pflanzen mit einem hohen Anteil an Hemizellulose und einem niedrigen Ligninanteil. Im Gegensatz zu anderen Vögeln gibt es keinen Hinweis auf Retention von Nahrungsbrei. Das Fehlen großer Fermentationskammern wird laut HERD und DAWSON (1984) durch die große Körpergröße und den niedrigen Stoffwechselumsatz kompensiert. Strauße und Nandus hingegen besitzen anatomische Strukturen, die an die Ernährung mit energieärmerem, faserreichem Futter angepasst sind.

Es besteht die Theorie, dass die Masse und das Gewicht der Fermentationskammer im hinteren Teil des Körpers den Flug von Vögeln beeinträchtigt, weshalb lediglich die großen, flugunfähigen Vögel ihre Nahrung hauptsächlich fermentativ verdauen (MACKIE 2002, HILDEBRAND und GOSLOW 2004).

LOPEZ-CALLEJA und BOZINOVIC (2000) unterteilten demnach die herbivoren Vögel in drei Gruppen: 1. große flugunfähige Vögel mit Fermentationskammern, deren Nahrung einen hohen Faseranteil enthält; 2. Vögel mittleren Gewichts (im Durchschnitt 1,5 kg) wie Enten und Gänse mit einer hohen Futteraufnahme, schnellen Futterpassage und einer vorwiegend auf Säurespaltung basierenden Verdauung von Hemizellulosen mit zusätzlicher Blinddarmfermentation und 3. kleine Vögel von weniger als 100 g, die foli- oder frugivor sind und deren Verdauungstrakt keine speziellen morphologischen Strukturen aufweist.

2.2 Nahrungsgruppen innerhalb der Pflanzenfresser

Aufgrund des Äsungsverhalten und verschiedener morphologischer Aspekte des Magendarmtrakts lassen sich Wiederkäuer in drei Nahrungsgruppen einteilen, nämlich Grasäser, Laubäser und Intermediärtypen (HOFMANN 1968, HOFMANN und STEWART 1972, HOFMANN 1988). Grasäser ernähren sich von Gräsern, die eher abrasiv sind, da sie silikathaltig sind und oft einen hohen Fasergehalt haben. Gräser zählen zu den einkeimblättrigen Pflanzen (Monokotyledonen). Grasäser sind gut an die Ernährung von faserreichem Futter adaptiert und können dieses besser nutzen als Laubäser (HOFMANN 1988, LECHNER-DOLL et al. 1991, IASON und VAN WIEREN 1999). Im Verhältnis zur Körpermasse haben ihre Vormägen ein größeres Volumen und sind zudem morphologisch stärker differenziert als bei Laubäsern (HOFMANN 1968, HOFMANN 1988). Laubäser ernähren sich

vornehmlich von weniger abrasiven zweikeimblättrigen Pflanzen (Dikotyledonen), also Blättern und Zweigen sowie Rinden von Sträuchern, Büschen und Bäumen. Die meisten Wiederkäuer kleiner Größe zählen zu den Laubäsern, wenn auch einige große Wiederkäuer wie die Giraffe und der Elch zu dieser Gruppe gehören. Die große Gruppe der Intermediärtypen bewegt sich zwischen den beiden anderen Typen (HOFMANN 1988), sie fressen sowohl Laub als auch Gras und können ihre Nahrungsstrategie bis zu einem gewissen Grad dem jeweiligen Nahrungsangebot anpassen (HOFMANN 1988, OWEN-SMITH 1988, LECHNER-DOLL et al. 1991, 1995).

Kängurus werden ebenfalls in die drei o.g. Ernährungsgruppen eingeteilt, allerdings basiert diese Einteilung auf der Zahnmorphologie, da diese die jeweiligen Nahrungsanpassungen widerspiegelt (SANSON 1978). Die Nahrung von Makropoden geht über eine heterogene Mischung von Insekten, Früchten und Pilzen (v.a. Potoridae), über zweikeimblättriges Laub bis hin zu strukturell einheitlichen einkeimblättrige Gräsern (Macropodinae) (SANSON 1989). Große Kängurus zählen zu den Grasäsern, viele Wallabies mittlerer Körpergröße sind Intermediärtypen und Wallabies kleiner Körpergröße sowie Baum- und Rattenkängurus gehören zu den Laubäsern (HUME 1982, 1984). SANSON (1978) geht davon aus, dass es zwei Grundtypen von Kauapparaten bei Makropoden gibt, nämlich den ursprünglichen Laubäsertyp und den Grasäsertyp, der sich aus ersterem entwickelt hat.

Spätere Untersuchungen von ARCHER und SANSON (2002) zeigten einen ähnlichen Zusammenhang zwischen der Morphologie der Backenzähne und der Ernährungsweise bei Wiederkäuern.

Prinzipiell können auch in anderen Pflanzenfresser-Gruppen, wie den Nashörnern, den Elefanten sowie den Nagern gras- und laubäsende Typen mit unterschiedlichen morphophysiologischen Anpassungen dargestellt werden (zusammengefasst in CLAUSS 2006).

2.3 Aufbau und Inhaltsstoffe von Pflanzen

2.3.1 Aufbau von Pflanzen

Da die Verdauungsstrategie mancher Pflanzenfresser auf die Aufnahme und Verdauung von entweder einkeimblättrigen Pflanzen (Monokotyledonen) oder

zweikeimblättrigen Pflanzen (Dikotyledonen) ausgelegt ist, und sich dieser Unterschied sowohl in der Morphologie als auch in der Physiologie der Zerkleinerungs- und Verdauungsapparate widerspiegelt, soll zum allgemeinem Verständnis an dieser Stelle in groben Zügen auf die Pflanzenstruktur und die wesentlichen Unterschiede zwischen Monokotyledonen und Dikotyledonen eingegangen werden.

Der allgemeine Aufbau eines Blattes ist bei allen Pflanzen gleich. Die Blattoberfläche wird von einer meist einschichtigen Epidermis bedeckt, darunter liegt das Palisadenparenchym - das Photosynthesegewebe -, dessen gleichmäßige Zellen quer zur Oberfläche verlaufen. Hieran angrenzend befindet sich das Schwammparenchym, dessen Zellen unregelmäßig gestaltet sind und große Hohlräume umschließen. Beide zusammen werden als Zwischenblattgewebe (Mesophyll) bezeichnet. In der Epidermis befinden sich die Spaltöffnungen, die das interzellulare System mit der Außenluft verbinden und den Gasaustausch sowie die Wasserdampfabgabe vermitteln. Die Leitbündel, die die Sprossachsen (Stängel), Blattstiele, Blätter sowie Blüten durchziehen, dienen dem Wasser- und Stofftransport und bestehen stets aus zwei funktionell verschiedenen Komponenten, dem Xylem und Phloem. Das Xylem ist ein komplexes, holziges Leitgewebe, das dem Transport von Wasser und anorganischen Salzen durch die Pflanze dient und auch Stützfunktionen übernimmt. Das Phloem ist das Leitgewebe für den Nährstofftransport von den Blättern in Richtung Wurzeln, es hat keine Festigungselemente. Der Aufbau von einkeimblättrigen und zweikeimblättrigen Pflanzen unterscheidet sich im wesentlichen durch die Anordnung der Leitbündel, die bei ersteren streifig und bei letzteren netzartig ist. Monokotyledonen haben eine größere Anzahl etwa gleichstarker und nahezu parallel zueinander verlaufender Leitbündel, die die Blätter in Längsrichtung durchziehen, wobei es allerdings auch kleine Querverbindungen gibt. Die zum Ende hin immer feiner werdenden Leitbündel von Dikotyledonen hingegen bilden ein reich verzweigtes Netz, dessen Verästelung von einem relativ starken, median gelegenen Hauptstrang ausgeht (Abb. 2) (NUTSCH 2000).

Das Festigungsgewebe von Pflanzen ist das Sklerenchym, dessen Zellen allseitig gleichmäßig verdickt sind und oft auch verholzte Zellwände haben. Es verläuft größtenteils in separaten Bündeln und zum Teil verbunden mit Leitbündeln (VINCENT 1982, NUTSCH 2000).

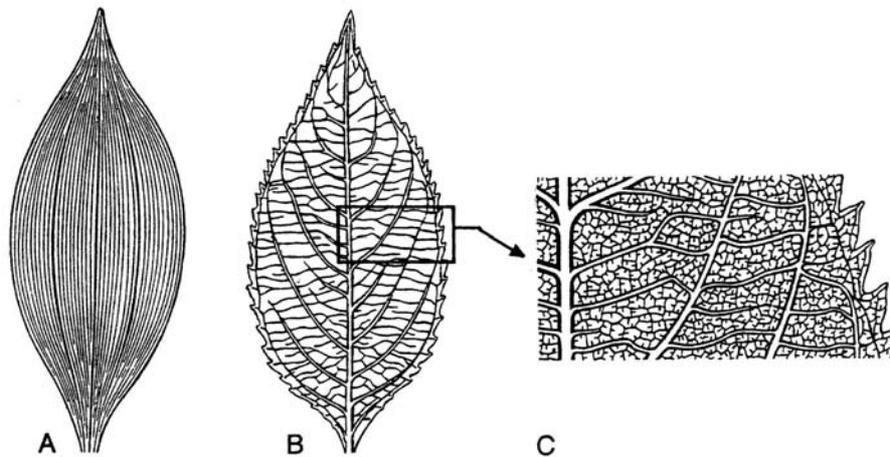


Abb. 2: Leitbündelverlauf im Blatt (nach NUTSCH 2000)

A Streifiger Verlauf bei Monokotyledonen

B netzartiger Verlauf bei Dikotyledonen

C Ausschnitt aus B

Aufgrund der unterschiedlichen Leitbündelverläufe bei monokotyledonen und dicotyledonen Pflanzen kommt es zu unterschiedlichen Frakturmustern, die bei ersteren zu eher länglichen und bei letzteren zu eher polygonalen Partikeln führen (s.h. 2.5.1, Übersichtsartikel CLAUSS et al. 2003a).

2.3.2 Chemische Zusammensetzung von Pflanzen

Die chemische Zusammensetzung von Pflanzen lässt sich in vier Hauptbestandteile einteilen: Zellwände, Lignin (ein Zellwandbestandteil), Zellinhaltsstoffe und sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe. Zellwände oder Gerüstsubstanzen - das Fasermaterial - verleihen Pflanzen mechanischen Halt. Diese Gerüstsubstanzen können im Gegensatz zu den löslichen Zellinhaltsstoffen nicht durch körpereigene Verdauungsenzyme, sondern nur mit Hilfe von symbiotischen Darmbakterien aufgeschlossen werden; die unlöslichen Fasern (Zellulosen, Hemizellulosen) sind dabei nur langsam fermentierbar. Lignin (der hölzerne Anteil einer Pflanze) ist unverdaulich und limitiert dadurch die Verdauung der Zellwände im Gesamten. Sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe oder Toxine können die Verdauung verzögern bzw. schädlich sein. Pflanzenfresser können sich entweder auf den Abbau der Zellwandbestandteile (z.B. Wiederkäuer) oder der Zellinhaltsstoffe (z.B. Vögel, Panda) konzentrieren.

2.4 Nahrungszerkleinerung

Die Nahrungszerkleinerung wird durch Zahneffektivität (morphologische Besonderheiten, insbesondere Schneidkanten und Mahleffektivität), Kauverhalten/Kauineffektivität (Kaurate und Kaudauer), Futtermenge und physikalische Eigenschaften der Nahrung bestimmt (PEREZ-BARBERIA und GORDON 1998a). Sie erfolgt hauptsächlich mechanisch, bei Säugern durch den Kauvorgang (UDEN und VAN SOEST 1982a, CHAI et al. 1984, McLEOD und MINSON 1988a, VAN SOEST 1994, EHRLEIN und KASKE 2000), bei Vögeln durch den Muskelmagen (MOORE 1999, BREVES 2000). Nach FARLOW (1987) besteht der Hauptvorteil der Nahrungszerkleinerung – sei es durch den Kauakt oder das Zermahlen mittels Muskelmagen – in der Verkürzung der Dauer, die nötig ist, um eine Verdaulichkeit zu erzielen, die ansonsten einfach durch längeres Verweilen der Digestamasse erzielt werden könnte. Reptilien zerkleinern ihre Nahrung kaum, da sie einerseits nicht kauen können (z.B. THROCKMORTON 1976, DIAZ-FIGUEROA und MITCHELL 2006) und die mechanische Zerkleinerung durch Muskelkontraktionen des Magens (McARTHUR et al. 2004) andererseits sehr begrenzt ist (EHRLEIN und KASKE 2000).

Der Kauvorgang ist einerseits wichtig, um die Nahrung in feine Partikel zu zerkleinern (vgl. Kapitel 2.5) und andererseits, um die Zellinhaltsstoffe freizusetzen (LANYON und SANSON 1986b, ACOSTA et al. 2007). Die Kauintensität ist tierartspezifisch (DOMINGUE et al. 1991) und wird außerdem durch die Futteraufnahme (BAE et al. 1981, SHAVER et al. 1988), die Futterpflanze per se (Fasergehalt) (GILL et al. 1966, PARRA 1978, ULYATT et al. 1982, POND et al. 1985, NELSON 1988, WILSON et al. 1989a, 1989b) und durch die Grobstruktur des Futters (BROUK und BELYEA 1993) beeinflusst. LEE und PEARCE (1984) sowie ACOSTA et al. (2007) fanden zudem in einer Untersuchung mit Ochsen bzw. Milchkühen einen starken Unterschied der Kauineffektivität bei einzelnen Individuen bei gleichem Futter; BAE et al. (1983) zeigten in dem Zusammenhang einen Einfluss der Körpermasse bei Rindern. Größere Tiere kauten effizienter, die Kaudauer pro Kilogramm aufgenommene Zellwandbestandteile war vergleichsweise kürzer. Herbivore zeichnen sich durch eine vergleichsweise hohe Kauintensität aus, die bei Wiederkäuern durch die langen Wiederkauphasen besonders deutlich wird (Rinder: 12 Std./Tag SEMIADI et al. 1994, 9 Std./Tag PEREZ-BARBERIA und GORDON

1998b, BREVES 2000; Kamele: 11 Std./Tag LECHNER-DOLL 1986, 8 Std./Tag ENGELHARDT et al. 2006).

Mehrere Autoren stellten fest, dass die bakterielle Fermentation bei der Reduktion der Partikelgröße keine große Bedeutung hat (PEARCE 1967, FUJIKARA et al. 1989, POPPI et al. 1980, MURPHY und NICOLETTI 1984, SPALINGER und ROBBINS 1992). Bei ihren Untersuchungen mit Milchkühen fanden SHAVER et al. (1988) eine ähnliche Partikelverteilung jenseits des Pansens und im Kot, woraus sie eine geringe postruminale Zerkleinerung schlußfolgerten. Die Versuche von LECHNER-DOLL (1986) mit gefärbten Partikeln bei Kamelen, Rindern und Schafen zeigten, dass jenseits der Hauptfermentationskammer keine wesentliche Partikelzerkleinerung mehr stattfindet. FREUDENBERGER (1992) fand bei Kängurus keinen signifikanten Unterschied der Größenverteilung zwischen den verschiedenen Darmabschnitten (sack- und schlauchförmiger Magenteil, Endmagen, Caecum, Kot), die Partikelverteilung im sackförmigen Magenteil war vergleichbar mit der im Kot.

Intensive Untersuchungen über das Kauverhalten haben gezeigt, dass das Kauen maßgeblich an der Partikelzerkleinerung beteiligt ist (EWRING und WRIGHT 1918, LEE und PEARCE 1984, McLEOD und MINSON 1988a, FUJIKARA et al. 1989, DOMINGUE et al. 1991, GROSS et al. 1995). DOMINGUE et al. (1991) fütterten Ziegen und Schafen gehäckseltes Luzerneheu von 50 – 80 mm Länge und fanden nach dem Kauen einen Partikelanteil < 1,0 mm von 85% bzw. 48%. EWRING und WRIGHT (1918) zeigten bei Rindern, dass bei Rationen aus grobstrukturiertem Futter mehr als die Hälfte (63%) über den Kauvorgang zerkleinert wird. In ähnlicher Weise demonstrierten McLEOD und MINSON (1988a) in vivo mit Rindern, dass der Anteil der Partikelzerkleinerung, der durch die Verdauung und durch Zersetzungserscheinungen im Zuge von Reibeeffekten während der Nahrungspassage zustande kommt, ausgesprochen gering ist. 75% der Nahrung wurden durch das Kauen (25%) und Wiederkauen (50%) zerkleinert und lediglich 17% durch Verdauungsvorgänge (Abb. 3).

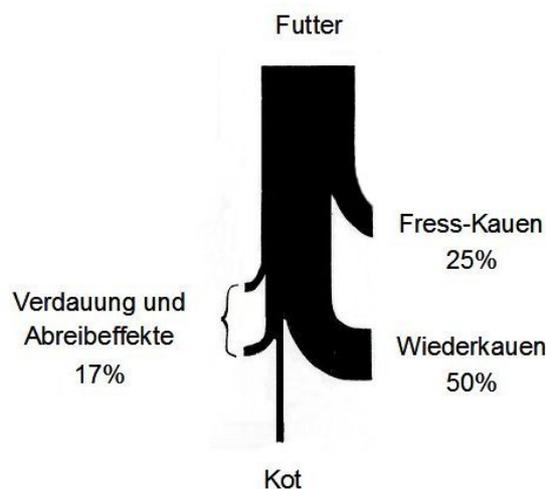


Abb. 3: Schema der Zerkleinerung von groben Partikeln bei Rindern (nach McLEOD und MINSON 1988a)

In einer weiteren Studie (1988b) fanden sie mit Hilfe eines neu entwickelten Apparates zur Simulation von Verdauungs- und Zersetzungsvorgängen (durch Reibeeffekte) heraus, dass hierbei die Verdauung per se knapp zwei Drittel und die Reibeeffekte während der Nahrungspassage ein Drittel ausmachen. Das gleiche Futter wie aus der vorherigen Studie wurde auf 1 cm Länge gehäckselt und anschließend für 48 Std. bei 39°C in einem Gemisch aus Pansensaft und künstlicher Speichelflüssigkeit inkubiert, wobei eine Hälfte in dem erwähnten Apparat gleichmäßig bewegt wurde. Den Anteil der Partikelzerkleinerung durch die Zersetzungserscheinungen im Zuge von Reibeeffekten wurde aus der Differenz der beiden rechnerisch ermittelt.

Andere Studien zeigten, dass die Partikel in ihrer Länge substantiell nur durch den Kauvorgang verändert und durch fermentative Verdauung lediglich in ihrer Breite verringert werden (WILSON et al. 1989a, b). NOCEK und KOHN (1988) untersuchten die Reduktion des Partikeldurchmessers von Luzerneheu und Wiesenlieschgras bei in situ Inkubation und fanden eine Reduzierung um im Durchschnitt ca. die Hälfte. Sie folgerten daraus, dass die mikrobielle Fermentation sowie Reibeeffekte während der Pansenbewegungen einen substantiellen Beitrag zur Partikelzerkleinerung zu leisten scheinen. Allerdings muß bei der Interpretation beachtet werden, dass die Inkubationszeit im Pansen 100 Std. betrug. In ähnlicher Weise stellten BOWMAN und FIRKINS (1995) substantielle Partikelreduzierung durch mikrobielle Verdauungsaktivität bei Rindern fest. Die durchschnittliche Partikelgröße (gemessen als Mittelwert nach Siebfraktionierung) von Gras (*Tripsacum dactyloides*) wurde nach 60 Std. in situ Inkubation um 44% und von Rotklee nach 36 Std. um 67% reduziert.

Allerdings gilt zu beachten, dass die initiale Partikelgröße unter 1 mm lag, was einer Größe entspricht, bei der die Partikel physiologischerweise den Pansen bereits verlassen können (POPPI et al. 1980).

EVANS et al. (1974) sowie MURPHY und NICOLETTI (1984) stellten fest, dass durch die mikrobielle Verdauung im Pansen die Stabilität der pflanzlichen Gerüstsubstanzen geschwächt wird, so dass die Partikelzerkleinerung während des Wiederkauens erleichtert ist. Mikrobielle Fermentation bewirkt somit weniger eine direkte mechanische Zerkleinerung als vielmehr eine Verminderung der Stabilität der Futterpartikel. CHAI et al. (1984) bezeichneten dies als „specific fragility“. Sie verglichen die Zerkleinerungsrate großer Partikel beim Wiederkauen 4 und 16 Stunden nach Futteraufnahme. Vier Stunden nach Fütterung wurden halb so viele große Futterpartikel durch Wiederkauen in ihrer Größe reduziert wie 16 Stunden nach Fütterung.

LANYON und SANSON (2006) untersuchten die Partikelverteilung der Ingesta innerhalb des Magen-Darm-Trakts bei 41 gestrandeten Seekühen (*Dugong dugong*), die sich im Gegensatz zu landlebigen Spezies von Wasserpflanzen ernähren. Sie stellten eine konstante Partikelreduzierung entlang des Verdauungstraktes fest. Die durchschnittliche Partikelzerkleinerung lag im Magen bei 47%, im Dünndarm bei 25%, im Caecum bei 10% und im Dickdarm bei 18%. Eine Quantifizierung des Anteils, der über Mundwerkzeuge zerkleinert wurde, war nicht möglich, aber alle Partikel im Magen waren kleiner als 8 mm. Sie vermuten eine postorale Partikelzerkleinerung aufgrund von mechanischen Abnutzungerscheinungen durch Reibeeffekte während der Ingestapassage und/oder Muskelaktivität des Magens und Dünndarms. Tatsächlich zeigte die Untersuchung verschiedenen Seegräser, von denen sich Seekühe ernähren, dass diese im Gegensatz zu terrestrischen Futterpflanzen mechanisch leichter zu zerstören sind. Eine Desintegration im Zuge enzymatischer und fermentativer Prozesse schlossen sie nicht aus. Eine Ernährung von ausschliesslich Wasserpflanzen ist in sofern besonders, da sich Wasserpflanzen von terrestrischen Pflanzen unterscheiden: Da sie sich nicht der Schwerkraft entgegenstemmen müssen, benötigen sie kein strukturell-statisches Fasergestüt und können daher vermutlich aufgrund von enzymatischer und mikrobieller Verdauung als auch mechanischer Effekte während der Ingestapassage allein zerkleinert werden. Für diese Theorie spricht auch, dass diese Seekühe eine starke evolutionäre Reduktion ihrer Bezahnung aufweisen (LANYON und SANSON 2005).

2.4.1 Zahntypen bei Herbivoren

Die Zahnapparate sind hinsichtlich ihrer Morphologie und Arbeitsweise der jeweiligen Ernährungsweise angepasst (STEVENS und HUME 1998, HILDEBRAND und GOSLOW 2004). Die Zahnmorphologie bestimmt die Zahneffektivität und dadurch u.a. die Reduktion der Partikelgröße (PEREZ-BARBERIA und GORDON 1998a).

2.4.1.1 Säugetiere

Einer der großen Evolutionsvorteile der Säugetiere war die Ausbildung eines extrem effizienten Kauapparates (CROMPTON und PARKER 1978). Hierzu gehört ein heterodontes Gebiss, das bei den meisten Säugern aus Schneidezähnen (Insisivi), Greif- bzw. Fangzähnen (Canini) und Backenzähnen (Premolaren und Molaren) besteht. Mit den vorderen Zähnen wird die Nahrung aufgenommen, mit den hinteren Backenzähnen wird sie zerkleinert. Damit die Nahrung, die bei Pflanzenfressern vorwiegend aus zähem, faserhaltigen Material besteht, gründlich und effizient zermahlen bzw. zerdrückt werden kann, sind die breiten Backenzähne entsprechend groß und haben flache Kauflächen. Die nötige raue Oberfläche wird durch die tierartspezifische Schmelzfältelung gebildet (Abb. 4). Sie wachsen alternierend zueinander und greifen bei Kieferschluss ineinander. Aufgrund der Schmelzstruktur werden folgende Zahntypen unterschieden:

- *selenodont*: sichelmondförmige Schmelzeinstülpungen (Wiederkäuer)
- *lophodont*: kammartig strukturierte Kaufläche mit parallel zur Quer- oder Längsseite des Zahns verlaufenden Leisten (Tapire, Seekühe, Einhufer und viele Nager)
- *loxodont*: kammartig strukturierte Kaufläche mit schräg verlaufenden Leisten. Die Zähne sehen dabei aus wie ein Waschbrett. (afrikanischer Elefant, Wasserschwein und einigen Mäusearten)
- *bilophodont*: Oberfläche mit zwei Querfurchen/-kanten (Meerkatzenartige und Kängurus)

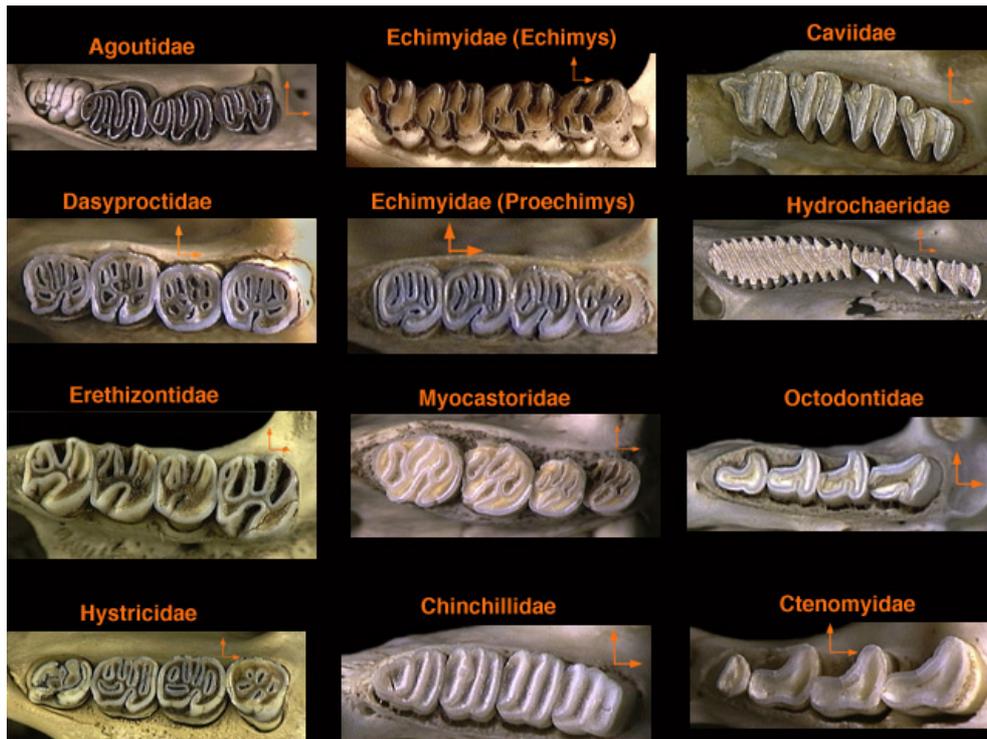


Abb. 4: Tierartspezifische, „lophodonte“ Schmelzfaltung der Molaren bei verschiedenen Nagerarten, „loxodonte“ Schmelzfaltung bei *Hydrochaeridae* (aus *The Animal Diversity Web* - <http://animaldiversity.org>)

Im Gegensatz zu den schmelzfaltigen Backenzähnen von Herbivoren haben Carnivore schmelzhöckerige Zähne mit mehreren komplex angeordneten Spitzen (*sekodont*), die sich besonders gut zum Schneiden und Hacken eignen (EVANS und SANSON 2003). Vereinzelt findet man sekodonte Zähne auch bei Pflanzenfressern wie bei Kängurus, und dem kleinen und großen Panda, die taxonomisch zu den Carnivora zählen. Omnivore, die über ein umfassendes Nahrungsspektrum mit Futter unterschiedlicher Konsistenzen verfügen, haben *bunodonte* Zähne mit abgerundeten, warzenförmigen Höckern (SCHUMMER und HABERMEHL 1995, STEVENS und HUME 1998, BREVES 2000, HILDEBRAND und GOSLOW 2004). Hierzu zählen auch die Schweine und Pekariss, die teilweise herbivor sind.

Mit der Zeit tritt durch den Kau- bzw. Mahlvorgang Substanzverlust auf. Damit diesem entgegengewirkt werden kann, wachsen bei vielen Pflanzenfressern die Zähne kontinuierlich nach, teilweise sogar lebenslang. Außerdem haben Herbivore aus verschiedenen Ordnungen hochkronige (*hypsodonte*) Zähne mit verhältnismäßig kurzen bzw. offenen Wurzeln entwickelt (VAN VALEN 1960, LUCAS 2004). Im Gegensatz dazu zeigen brachydonte Zähne, wie sie v.a. bei Carni- und Omnivoren

vorkommen, niedrige Kronen und gutentwickelte bzw. geschlossene Wurzeln sowie ein abgeschlossenes Wachstum (SCHUMMER und HABERMEHL 1995, MYERS 2001, HILDEBRAND und GOSLOW 2004).

Der Grad der Hypsodontie scheint die Abrasivität der Nahrung wiederzuspiegeln, die durch Silikate in Gräsern (DOUGALL et al. 1964, McNAUGHTON et al. 1985) und Staubkontaminationen auf der Nahrung erhöht wird (BAKER et al. 1959, HEALY und LUDWIG 1965). Als Ergebnis dieser erhöhten Abnutzung haben Grasäser in der Regel höherkronige Molaren als Laubäser (FORTELIUS 1985, JANIS und FORTELIUS 1988, MENDOZA et al. 2002, PALMQVIST et al. 2003), mit Ausnahmen wie beispielsweise Flusspferde und Klippschliefer (PALMQVIST et al. 2003). Untersuchungen von ARCHER und SANSON (2002) zeigten bei grasfressenden Wiederkäuern hypsodonte und bei blattfressenden Wiederkäuern brachydonte Zahnkronen. Auch bei Nagern findet man sowohl Hypsodontie als auch Brachydontie, wobei Spezies, die sich vornehmlich von Körnern, Samen, Früchten und z.T. Insekten ernähren eher brachydont sind, und Spezies, die sich von Grünfutter (Gräser, Kräuter, Blätter) oder Rinden ernähren, eher hypsodonte Zähne aufweisen (RENDSBERGER 1975, WILLIAMS und KAY 2001). Ein Vergleich von gras- und laubfressender Makropodenspezies zeigte einen härteren Zahnschmelz bei den grasfressenden Spezies (PALAMARA et al. 1984).

Hypsodonte Zähne sind zum Zermahlen von grobem Futter besonders geeignet. Durch die Abnutzung der unterschiedlich harten Zahnschichten - Schmelz, Dentin und Zement – kommt es auf der Okklusionsoberfläche zur Bildung von Schmelzleisten und -kanten, die etwas über das weichere Dentin und den Zement hinausragen. Auf diese Weise wird eine raspelähnliche Oberfläche mit Schneidkanten gebildet (NORMAN und WEISHAMPEL 1985). Die Länge und Schärfe der Schneidkanten und ihre Anordnung auf der Zahnoberfläche (Schlüssel-Loch-Prinzip) spielen eine entscheidende Rolle hinsichtlich der Zahneffektivität (LANYON und SANSON 1986a, PEREZ-BARBERIA und GORDON 1998a), welche daneben auch durch die Faktoren molare Okklusionsoberfläche und molare Okklusionskontaktfläche (definiert als die Fläche der oberen und unteren Zähne, die bei Okklusion Kontakt oder beinahe Kontakt haben) bestimmt wird (PEREZ-BARBERIA und GORDON 1998a).

Man unterscheidet vier verschiedene Typen von Zahnabnutzung: thegotisch, interproximal, abrasiv und korrosiv (EVERY et al. 1998). Thegosis beschreibt das

eigentliche Aneinanderreiben der Zähne von Ober- und Unterkiefer, wodurch charakteristische flache Oberflächen auf dem Zahnschmelz mit typischerweise klar definierten Kanten und feiner paralleler Riffelung auf der Zahnoberfläche entstehen. Durch Thegosis werden scharfe Zahnschmelzkanten erhalten, die ein effizientes Zerkleinern bzw. Zerschneiden der Nahrung während des Kauens und Wiederkauens ermöglichen. Interproximale Abnutzung findet zwischen angrenzenden Zähnen statt und verhindert, zusammen mit einem Aneinanderrücken der Zähne („mesial drift“), dass Nahrung zwischen den Zähnen hängen bleibt. Abrasive Abnutzung entsteht durch das Futter oder andere exogene Komponenten, die sich über die Zahnoberflächen bewegen. Zwischen den Schneidkanten wird dadurch auf den Backenzähnen Dentin ausgehöhlt, die scharfen Zahnkanten werden abgestumpft und die parallele Riffelung verschwindet. Es entstehen zahlreiche zufällig verteilte Kerben unterschiedlicher Tiefe. Korrosive Abnutzung entsteht durch bestimmte chemische Komponenten im Futter (organische Säuren), welche den Zahnschmelz zersetzen.

Neben der Hypsodontie ist ein weiterer Mechanismus, um das Problem des Zahnverschleißes zu lösen, das Hinzufügen von zusätzlichen Zähnen durch molare Progression. Die Backenzähne wandern sozusagen der Reihe nach von hinten nach vorne, wobei der nächste nachrückt, wenn der vorangehende abgenutzt ist (SANSON und MILLER 1979). Molare Progression kommt bei allen Kängurus, bei Elefanten sowie bei Rundschwanzseekühen vor. Sie ist typisch für Grasäser, da es durch den hohen Silikatgehalt von Gräsern verstärkt zum Zahnabrieb kommt.

Zusammenhang zwischen Ernährungsweise und Zahnmorphologie

Unter den Pflanzenfressern finden sich verschiedenste Nahrungsstrategien. Diese sind teilweise auf die spezifische Aufnahme von bestimmten Pflanzentypen oder Pflanzenteilen ausgelegt, die sich wiederum sowohl in ihrer chemischen als auch in ihrer physikalischen Struktur voneinander unterscheiden. Da Säuger ihre Nahrung mit den Backenzähnen zerkleinern, sind diese strukturell optimal an die entsprechende Nahrungsstrategie angepasst. Somit lässt die Morphologie der Backenzähne Rückschlüsse auf die jeweilige Ernährungsweise zu und umgekehrt (JANIS 1995, SPENCER 1995, MENDOZA et al. 2002).

Kängurus

Wie schon unter 2.2. erwähnt, teilte SANSON (1978) Kängurus aufgrund ihrer Zahnmorphologie in drei Ernährungsklassen ein: die Raufuttertypen, die vornehmlich grobes und faserreiches Futter (insbesondere Gräser) fressen, die Laubäser (Konzentratselektierer), die vor allem weiches, faserärmeres Futter fressen und die Intermediärtypen, die dazwischen liegen. In einer späteren Studie (1980) verglich er die Morphologie und die funktionale Okklusion der Backenzähne von Sumpfwallabies (*Wallabia bicolor*) als Laubäser und östlichen grauen Riesenkängurus (*Marcopus giganteus*) als Grasäser. Abb. 5 zeigt die zwei zahnmorphologischen Grundtypen, einerseits während des initialen Kontakts der gegenüberliegenden Zahnkanten und andererseits während maximaler Verzahnung bei Okklusion.

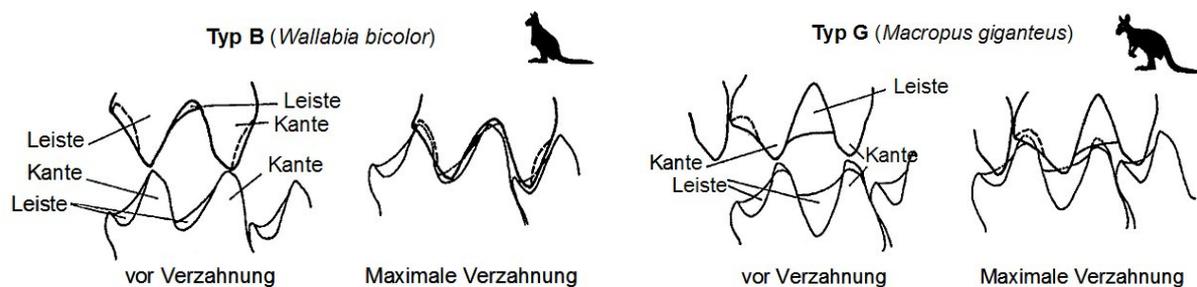


Abb. 5: Backenzähne von laubfressenden Sumpfwallabies (*Wallabia bicolor*) und grasfressenden östlichen grauen Riesenkängurus (*Macropus giganteus*) (nach SANSON 1980)

Ein Vergleich der beiden Typen zeigt, dass die eher schwach entwickelten Zahnleisten bei den Laubäsern (B-Typ) bei Okklusion aneinander anschließen. Die Kontaktfläche zwischen dem oberen und unteren Backenzahn ist dabei sehr groß, woraus ein Zerquetschen der Nahrung resultiert. Bei den Grasäsern (G-Typ) sind die Zahnleisten stärker entwickelt, so dass diese bei Okklusion Kontakt zu den gegenüberliegenden Zahnkanten haben. Die Kontaktfläche bei Okklusion ist daher vergleichbar kleiner, und es kommt eher zu einem Zerschneiden der Nahrung, was für faserreiches Futter ideal ist. Ein weiterer Unterschied ist die Anzahl der Zähne, die bei Kieferschluss Kontakt haben. Aufgrund der flachen Zahnreihen haben bei adulten Sumpfwallabies alle Zähne gleichzeitig Kontakt, während bei grauen Riesenkängurus durch die konkave unter Zahnreihe lediglich ein paar Zähne gleichzeitig Kontakt haben, wodurch der Kaudruck an den wenigen in Kontakt befindlichen Stellen höher ist.

In einem Übersichtsartikel zeigte SANSON (1989) den Zusammenhang zwischen der Funktionsweise der Zähne von Makropoden und den physikalischen Eigenschaften ihrer Nahrung. Das Gebiss der Potoridae, die sich von Insekten, Früchten und Pilzen ernähren, besteht charakteristischerweise aus spezialisierten Prämolaren und einfachen höckerigen Molaren, die nur geringe bis gar keine Scherkapazität aufweisen. Die Backenzähne der Laubäser hingegen umfassen einerseits reduzierte Prämolare und andererseits Molare, die sowohl Scher- als auch Mahlfunktionen übernehmen. Die Prämolaren der Grasäser sind unterentwickelt, die Molaren aber haben erhöhte Scherkapazität.

Wiederkäuer

Mehrere Untersuchungen zeigen diesen Zusammenhang zwischen der Struktur der Backenzähne und der Ernährungsweise ebenfalls bei Wiederkäuern (PEREZ-BARBERIA und GORDON 2001, ARCHER und SANSON 2002). ARCHER und SANSON (2002) untersuchten insgesamt 26 Spezies, die sie nach HOFMANN (1968, 1989) in Grasäser, Laubäser und Intermediärtypen einteilten. Innerhalb einer Spezies waren zwischen den Individuen keine Variationen zu verzeichnen, aber innerhalb einer Ernährungsgruppe als auch zwischen Laubäsern und Grasäsern gab es morphologische Unterschiede. Innerhalb der Laubäser wiesen die größeren Spezies, die vergleichsweise stärker lignifizierte Blätter fressen, höher und breiter ausgebildete Schneidkanten auf als Spezies kleinerer Körpergröße, die eher junge, leichtverdauliche Blätter mit relativ weniger Zellwandanteilen fressen (FORTELIUS 1985). Im allgemeinen ist Laub ein eher heterogenes Material mit unterschiedlichen Dicken und verschiedenen Brucheigenschaften. Mit zunehmenden Reifegrad der Pflanze werden die Blätter lignifizierter - insbesondere die Adern - und haben dadurch einen höheren Zellwandanteil. Durch die hohen Zahnschmelzkanten der Laubäser, wovon eine nicht mit dem gegenüberliegenden Zahn okkludiert, entstehen zwischen diesen auf der Zahnoberfläche relativ große Flächen im Dentinbecken, die sich zwar bei Okklusion nicht berühren, aber trotzdem für die Nahrungszerkleinerung sehr wichtig sind. Übersteigt nämlich das Futtervolumen das Dentinbeckenvolumen, werden kompressive Kräfte tätig, durch die die Pflanzenzellen sozusagen aufgesprengt werden, wodurch der Zellinhalt freigesetzt wird. Im Gegensatz dazu bilden die Schneidkanten bei den Grasäsern ein vergleichsweise niedrigeres Relief (Abb. 6). Durch die zusätzliche funktionelle Schneidkante wird die Fläche der

zwischen den Kanten liegenden Dentinbecken kleiner, und es werden somit mehr Scher- und weniger Kompressionskräfte ausgeübt. Gräser sind eher homogen, ihre Blätter sind meist schmal und einheitlich dick, die Leitbündel sind weniger verstreut und gleichmäßiger verteilt. Den Autoren zu Folge erfordern diese unterschiedlichen Nahrungseigenschaften verschiedene Zerkleinerungsstrategien, was sich in den Unterschieden der Backenzahnmorphologien zwischen den Laub- und Grasäsern widerspiegelt.

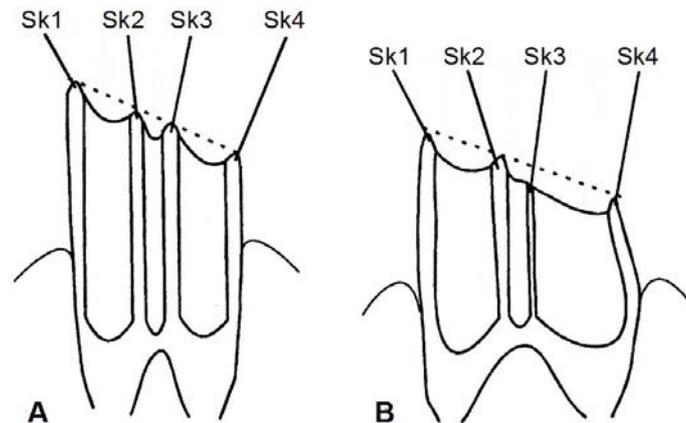


Abb. 6: Querschnitt durch den Backenzahn eines Grasäfers (A) und eines Laubäfers (B) (nach ARCHER und SANSON 2002)

Sk1, Sk2, Sk3 und Sk4: Schmelzkanten von bukkal nach lingual

Elefanten

Die Molaren des eher grasfressenden asiatischen Elefanten unterscheiden sich von denen des eher laubfressenden afrikanischen Elefanten durch ihre größere Lamellenzahl (MAGLIO 1972, 1973) und die enge, fast parallele Lagerung dieser Lamellen auf der Kaufläche sowie durch ihre kompaktere Struktur. Im Gegensatz dazu sind die weniger zahlreichen Lamellen des afrikanischen Elefanten eher rautenförmig angeordnet.

Nashörner

Innerhalb der Nashörner unterscheidet sich die Backenzahnanatomie der laubfressenden Spitzmaulnashörner deutlich von denen der grasfressenden Panzer- und Breitmaulnashörner (PALMQVIST et al. 2003). Im Gegensatz zu den hypsodonten Backenzähnen der Panzer- und Breitmaulnashörner (GROVES 1972, LAURIE et al. 1983) besitzen Spitzmaulnashörner brachydonte Backenzähne (HILLMANN-SMITH und GROVES 1994). Um dem Abrieb durch die silikathaltige

Grasnahrung entgegenzuwirken, weisen die Kronen der Breitmaulnashörner zwischen den Zahnleisten zusätzlich Zement auf (HILLMANN-SMITH und GROVES 1994), welcher bei den Spitzmaulnashörnern, die weniger abrasive Nahrung fressen, fehlt (GROVES 1972). Panzernashörner haben - ähnlich wie Breitmaulnashörner - ebenfalls gut entwickelte Zahnleisten (LAURIE et al. 1983).

Primaten

Unter den Primaten finden sich nur wenige Nahrungsspezialisten; die meisten können als Herbivore oder Omnivore klassifiziert werden. Allen gemein ist eine bunodonte Zahnstruktur ohne Schmelzfalten. Primaten, die vornehmlich frugivor sind, haben Backenzähne mit abgerundeten Spitzen und flachen Zahnbecken, während die mehr folivoren Spezies eher Zähne mit steilwinkligen Spitzen haben, die sich zu scharfen Kanten und Leisten verbinden (KAY 1975, SHEINE und KAY 1982, YAMASHITA 1998, LUCAS 2004).

Ein Vergleich der Zahnstrukturen von 37 verschiedenen Primatenspezies unterschiedlicher Ernährungstypen (KAY 1975) ergab, dass die Adulttiere der frugivoren Spezies, die eher weiche Nahrung fressen, kleinere Backenzähne mit schwach entwickelten Kanten und Leisten haben, während die Adulten der folivoren Spezies eher große Zähne haben, die ausgeprägte Strukturen aufweisen, die für das Zerkleinern von groben und hartem Futter gut geeignet sind.

Untersuchungen mit Lemuren von YAMASHITA (1998) über den Zusammenhang zwischen der Backenzahnstruktur und den Futtereigenschaften Härte (definiert als der Eindrückwiderstand) und Scherfestigkeit brachten hervor, dass die Länge der Zahnkanten einerseits negativ mit einer hohen Scherfestigkeit des Futters und andererseits mit der Menge an aufgenommenen Blättern korreliert. Der Radius des Bogens der Zahnspitzen korreliert positiv mit der Futterhärte und negativ mit der Scherfestigkeit, allerdings gilt dies nur für die oberen Backenzähne. Harte Nahrung korreliert mit einer engen Passung der okkludierenden Zahnspitzen und Zahnbecken. Obwohl Primaten in den verschiedensten Habitaten vorkommen, haben sie keine Adaptationsmechanismen wie Hypsodontie entwickelt, um dem Zahnverschleiß entgegenzuwirken. Sie haben brachydonte Zähne, welche im Gegensatz zu den meisten Säugern vor Erreichen eines hohen Lebensalters abgenutzt sind. Anscheinend kompensieren sie den Verschleiß durch das Entwickeln scharfer Zahnkanten. Eine Langzeitstudie von KING et al. (2005) zeigte, dass Edwards-Sifaka

(*Propithecus edwardsi*), mit einer Lebenserwartung über 27 Jahren, auf diese Weise ihre Zahnfunktion über 18 Jahre aufrechterhalten können.

Seekühe

Innerhalb der Seekühe (*Sirenia*) sind die Backenzähne von Gabelschwanzseekühen, die sich ausschließlich von Blättern und Wurzeln verschiedener Seegräser (*Hydrocharitidae*, *Potamogetonaceae*) ernähren (DOMNING 1982, MARSH et al. 1982, MARSHALL et al. 2003), weitgehend nicht funktional und zu stiftähnlichen Zähnen aus weichem Dentin degeneriert (LANYON und SANSON 2005), während Rundschwanzseekühe schmelzfaltige hypsodonte, bilophodonte Backenzähne besitzen (DOMNING 1982). Rundschwanzseekühe sind weniger nahrungsspezialisiert und fressen neben Seegräsern auch verschiedene Wasserpflanzen, welche zu den echten Gräsern (*Gramineae*) zählen, sowie teilweise auch terrestrische Pflanzen (DOMNING 1982, MARSHALL et al. 2003). Um den vergleichsweise erhöhten Zahnverschleiß durch die u.a. in den Wasserpflanzen enthaltenen Silikophytolithen auszugleichen, haben sie außerdem – einzigartig unter den Säugern - eine anscheinend unlimitierte Anzahl an Backenzähnen, von denen pro Kieferhälfte sechs bis acht gleichzeitig funktionieren und die durch molare Progression gewechselt bzw. erneuert werden (DOMNING und HAYEK 1984, MYERS 1997). Trotz dieser Unterschiede sind Gabelschwanzseekühe in der Lage, Seegräser ebenso effizient zu zerkleinern wie Rundschwanzseekühe (MARSH et al. 1999). Sie verfügen ausgleichend über Gaumenplatten mit verhornten Papillen und Leisten, mit denen sie ihre Nahrung mechanisch zerkleinern (MARSH et al. 1999, MARSHALL et al. 2003, LANYON und SANSON 2005).

2.4.1.2 Reptilien

Das Gebiss von Reptilien besteht aus homodonten Zähnen, mit einigen Ausnahmen wie *Uromastix spp.*, die Kauplatten haben, und Schildkröten, die zahnlos sind. Wie auch bei Säugern zeigt die morphologische Feinstruktur der Zähne spezielle Anpassungen an die herbivore Ernährungsweise. Die Zähne bei Herbivoren sind seitlich komprimiert, oft fein gezahnt und haben Spitzen; sie haben eine scharfe Schneidkante und funktionieren wie eine Schere oder Klinge. Die abgebissene Nahrung wird abgeschluckt, ohne weiter zerkaut zu werden (HOTTON 1955, SOKOL

1967, EDMUND 1969, HERREL und DE VREE 1999, HERREL et al. 1998, 1999, 2004).

Schildkröten besitzen an Stelle von Zähnen einen Hornschnabel, der in Anlehnung an die Ernährungsweise bei den herbivoren Spezies gleichmäßig gezackt ist. Bei Riesenschildkröten bedeckt er sogar fast die gesamte Breite des Unterkiefers und weist zudem hintereinander verlaufende Höckerreihen auf. Ähnlich wie bei den Echsen funktionieren die hornigen Mundränder wie eine Schere; die aufgenommenen Bissen werden ebenfalls unzerkaut heruntergeschluckt (GUARD 1980, OBST 1985, BOYER und BOYER 2006, DIAZ-FIGUEROA und MITCHELL 2006).

2.4.1.3 Vögel

Der ausgestorbene Urvogel (*Archaeopteryx*) ist der einzige Vogel, der Zähne besaß. Bei den rezenten Vögeln wurden die Zähne funktional durch die Schneidkante (*Tomia*) des Hornschnabels (*Rhamphoteuca*) ersetzt (KING und McLELLAND 1984). In der Schnabelhöhle findet – mit Ausnahme des Hoatzins - keine mechanische Zerkleinerung der Nahrung statt (MØLLER 2000, VOLLMERHAUS und SINOWATZ 1992); das Futter wird im Ganzen heruntergeschluckt. Die Form des Hornschnabels variiert stark zwischen den Vogelarten, je nachdem, welche Strategie zur Nahrungsaufnahme angewendet wird (KING und McLELLAND 1984, DENBOW 2000). Bei pickenden Hühnervögeln ist er beispielsweise spitz, und bei Gänsen sowie Enten löffelförmig mit vielzähligen Lamellen am Schnabelrand, die wie Reusen wirken (KING und McLELLAND 1984, VOLLMERHAUS und SINOWATZ 1992, HILDEBRAND und GOSLOW 2004).

Der südamerikanische obligat folivore Hoatzin ist eine einzigartige Ausnahme. Dieser Spezies wird aufgrund der besonderen Morphologie von Schnabel (Gaumenkämme, vgl. Abb. 7) und Zungenapparat eine gewisse Fähigkeit zur Nahrungszerkleinerung durch den Schnabel und die Schnabelhöhle zugesprochen. KORZOUN et al. (2003) formulierten die Hypothese, dass, wenn auch die meiste mechanische Nahrungszerkleinerung im Kropf stattfindet (GRAJAL et al. 1989), der Hoatzin ein „kauender Vogel“ ist.



Abb. 7: *Transversalschnitt durch einen Hoatzin-Schnabel (aus KORZOUN et al. 2003)*

mGk = medialer Gaumenkamm, IGk = lateraler Gaumenkamm

2.4.2 Kaumechanismus bei Herbivoren

2.4.2.1 Säugetiere

Pflanzenfresser üben typischerweise horizontale Kau- bzw. Mahlbewegungen aus, wobei die Richtung tierartlich verschieden ist. Je nach anatomischer Struktur des Kiefergelenks und Stellung der Backenzähne zueinander sind laterale Kaubewegungen möglich, wie sie bei den meisten Säugern zu beobachten sind, oder auch rostrocaudale bzw. anterior-posteriore Bewegungen, wie sie Nager, Elefanten und Kängurus ausüben (NORMAN und WEISHAMPEL 1985, SCHUMMER und HABERMEHL 1995, STEVENS und HUME 1995, 1998, PEREZ-BARBERIA und GORDON 1998a, BREVES 2000).

Diese seitlichen Mahlbewegungen werden durch einen bei den Säugern einzigartigen Aufbau der Kiefer, Kaumuskulatur und Zähne ermöglicht. Die Kiefer der meisten Säuger sind anisognath: der Unterkiefer ist schmaler als der Oberkiefer, so dass er von einer Seite zur anderen bewegt werden kann. Während eines typischen Kauzykluses öffnet sich der Kiefer, der Unterkiefer bewegt sich zu einer Seite, der Kiefer wird dann geschlossen, die Zähne okkludieren einseitig, so dass der Kauvorgang an sich nur auf einer Seite stattfindet (HIIEMAE 1978, NORMAN und WEISHAMPEL 1985, BREVES 2000, SCHUMMER und HABERMEHL 1995). Bei isognathen Kiefern, oder wenn der Unterkiefer weiter ist als der Oberkiefer, ist beidseitiges Kauen grundsätzlich möglich (HIIEMAE 1978). Obwohl Nager diese Voraussetzungen im Allgemeinen erfüllen, wurde echtes bilaterales Kauen bisher nur bei Ratten beschrieben (HIIEMAE und ARDRAN 1968, HIIEMAE 1971, WEIJS

und DANTUMA 1975). Die Kiefer von Koalas sind ebenfalls für Säuger untypischerweise isognath. LANYON und SANSON (1986a) beschreiben laterale Kaubewegungen, bei denen sich der Unterkiefer in einem dem Oberkiefer folgenden Bogen bewegt. Während des Kauschlags sind auch vertikale Bewegungen zu verzeichnen. Obwohl Koalas regelmäßig die Kauseite sowie die Bewegungsrichtung während eines Kauzyklus wechseln, kauen sie nicht gleichzeitig auf beiden Seiten; man kann sie daher als funktionelle Anisognathen bezeichnen. Ähnlich wird dies auch bei den meisten Nagern der Fall sein.

Während des Kauschlags pressen die Kiefermuskeln die okkludierenden Zähne zusammen und ziehen sie gleichzeitig in Richtung Mittellinie (HIEMAE 1978). Die Mahlbewegung resultiert aus dem Entlanggleiten der Schneidkanten der sich gegenüberliegenden unteren und oberen Backenzähne (PEREZ-BARBERIA und GORDON 1998a).

2.4.2.2 Reptilien

Reptilien kauen nicht, sondern beißen oder reißen lediglich Stücke von Pflanzen ab, die sie dann im ganzen herunterschlucken (OSTROM 1963, THROCKMORTON 1976, McBEE und McBEE 1982, STEVENS und HUME 1995, HILDEBRAND und GOSLOW 2004, BOYER und BOYER 2006, DIAZ-FIGUEROA und MITCHELL 2006). Sie besitzen isognathe Kiefer mit einer einfachen Kaumuskulatur (Adduktoren), die nur vertikale scherenhafte Bewegungen erlaubt (NORMAN und WEISHAMPEL 1985, STEVENS und HUME 1995). Der typische Ablauf eines Kauzyklus besteht aus Öffnen des Kiefers, Schließen des Kiefers und Ingestion, ein Kauschlag wie bei Säugern wird nicht ausgeführt (GORNIAK et al. 1982). Verglichen mit nicht herbivoren Echsen verfügen die herbivoren Vertreter über mehr Beißkraft (HERREL et al. 1998).

Landschildkröten üben bei der Nahrungsaufnahme typischerweise zwei aufeinanderfolgende Kieferschläge aus. Mit dem ersten wird mit dem scharfkantigen Hornschnabel ein Stück Nahrung abgetrennt und in die Maulspalte befördert, mit dem zweiten wird mit Hilfe der Zunge der Bissen rachenwärts transportiert (DENNERT 1997).

2.4.3 Zahneffektivität und Kaueffektivität

Abgesehen von den Eigenschaften der Nahrung selber (s.h. hierzu 2.5.1.) bestimmen die Effizienz der Kaubewegungen und der Zahnmorphologie der Backenzähne die erreichte Partikelzerkleinerung (SHEINE und KAY 1982, PEREZ-BARBERIA und GORDON 1998a, ACOSTA et al. 2007).

Die Effektivität der Backenzähne wird durch die morphologischen Merkmale der Zahnkronen und der Größe der Okklusionsoberfläche (definiert als Länge x Breite des Zahns) bestimmt, die sich mit zunehmendem Alter verändern (SHEINE und KAY 1982, LANYON und SANSON 1986a, PEREZ-BARBERIA und GORDON 1998a), wobei die Ausprägung dabei von der Zahnmorphologie, der Art und Weise, wie die Zähne bei Kieferschluss okkludieren, und der Art der Nahrung abhängt (RENDSBERGER 1973). Diese Veränderungen können, müssen aber nicht zwangsläufig mit einer erniedrigten Nahrungszerkleinerung einhergehen. LANYON und SANSON (1986b) fanden bei Koalas mit fortgeschrittener Zahnabnutzung einen höheren Anteil von großen Partikeln im Magen. Mit zunehmendem Zahnabrieb nahm der Anteil dieser großen Partikel so zu, dass sie schliesslich die Mehrheit aller Partikel im Magen darstellten. Bei einer anderen Untersuchung (2006) von gestrandeten Gabelschwanzseekühen konnten LANYON und SANSON keinen Zusammenhang zwischen der Nahrungszerkleinerung und dem Alter der Tiere feststellen, obwohl die Fläche der funktionalen Zerkleinerungsorgane zunahm.

PEREZ-BARBERIA und GORDON (1998a) nahmen an, dass die Größe der Okklusionsoberfläche in direktem Zusammenhang zur Nahrungsmenge steht, die zwischen der oberen und unteren Zahnreihe liegt, und damit zur Anzahl der Nahrungsfragmente pro Kaubewegung, die bei einer größeren Oberfläche zunimmt. Bei einer späteren Studie (1998b) fanden sie bei Rotwild (*Cervus elaphus*) eine Zunahme der Oberfläche der Molaren mit dem Alter (Höhepunkt bei 13-14 Jahren), die erst bei sehr alten Individuen signifikant abnahm (26 Jahre). Aufgrund der kleineren Oberfläche zeigten diese Tiere größere Kotpartikel (die allerdings nicht mit einer niedrigeren Verdaulichkeit der Nahrung assoziiert waren). In diesem Zusammenhang fanden POND et al. (1984a), dass auch ohne eine offensichtliche Reduktion der Partikelgröße die Verdauungsrate erhöht sein kann, denn durch das Zerdrücken und Zerquetschen der Nahrung während des Kauens kann das Pflanzengewebe und die Zellwände auch ohne Partikelseparation gebrochen werden. LANYON und SANSON (1998b) beobachteten bei Koalas mit sehr

abgenutzten Zähnen ausgefranzte Ränder bei den Ingesta-Partikeln, während die Partikelränder bei Tieren mit nicht abgenutzten Zähnen scharfkantig gezackt waren. Diese Untersuchungen stehen im Einklang zu einer Studie von ACOSTA et al. (2007), die bei Milchkühen eine negative Korrelation der Backenzahnoberfläche (genauer der Kieferlänge, die von Backenzähnen besetzt ist) zu der medianen Partikelgröße der gekauten Boli fanden. Außerdem fanden die Autoren unterschiedliche Partikelverteilungen der gekauten Boli bei verschiedenen Individuen, ohne dass davon der Anteil an freigesetzten Zellinhaltsstoffen beeinflusst wurde. Daraus folgerten sie einerseits, dass durch die Kompression der Nahrung zwischen den Zähne während des Kauakts Zellinhaltsstoffe freigesetzt werden können, ohne dass eine Zerkleinerung im Sinne von Zerschneiden/Zerteilen der Nahrungspartikel stattfindet, und andererseits, dass ein Zerschneiden/Zerteilen der Nahrungspartikel nicht zwangsläufig auch ein Freisetzen der Zellinhaltsstoffe bedingt.

Es scheint keinen eindeutigen Schlüsselfaktor bezüglich der Morphologie der Zähne zu geben, wodurch die Zahneffektivität bestimmt wird. Möglicherweise ist die komplexe dreidimensionale Struktur der Schmelzfältelung der Backenzähne, insbesondere die Wirksamkeit der Schneidkanten, wichtiger als die Okklusionsfläche allein (PEREZ-BARBERIA und GORDON 1998a). Untersuchungen von SHEINE und KAY (1982) zeigten einen signifikanten Zusammenhang zwischen der relativen Größe der molaren Schneidekanten und der Effektivität, mit der ein Tier seine Nahrung zerkleinert. LANYON und SANSON (1986b) fanden bei Koalas eine Zunahme der Schneidekantenlänge mit der Abnutzung um das Doppelte, was in direktem Zusammenhang zur Kau-effektivität stand. Sie definierten den Begriff „Occlusal efficiency“ als das Verhältnis zwischen kleinen Partikeln zu großen, die von den Zähnen produziert werden. Die Größe der produzierten Partikel ist eine Funktion von Länge und Anordnung der Schneidekanten. Je mehr sich die Schneidkanten von gegenüberliegenden Zähnen berühren können, desto mehr können kleine Partikel produziert werden und um so grösser ist die okklusale Effektivität. Die Bedeutung der Komplexität der Zahnoberfläche erschliesst sich aus vergleichenden Studien. So fanden ARCHER und SANSON (2002), dass die Komplexität des Schmelzleisten-Musters bei afrikanischen Wiederkäuern mit einem erhöhten Anteil von Gras in der natürlichen Äsung zunahm.

Eine abnehmende Zahneffektivität kann durch Steigerung der Kau-effektivität ausgeglichen werden; der Kompensationsmechanismus ist die Erhöhung der Kauaktivität (PEREZ-BARBERIA und GORDON 1998a).

PEREZ-BARBERIA und GORDON (1998a) definierten die Kau-effektivität als die Reduktion einer bestimmten Menge an vorgegebenen Futter mit bestimmter Partikelgröße nach einer bekannten, aber nicht zwingend vorgegebenen Anzahl an Kaubewegungen. Die Haupteinflussfaktoren von der Tierseite auf die Kau-effektivität sind Zahnmorphologie und Kauverhalten. In einer vergleichenden Studie von Rotwild mit unterschiedlichen Abnutzungsgraden der Backenzähne fanden PEREZ-BARBERIA und GORDON (1998b) bei Tieren mit geringerer molarer Okklusionsoberfläche eine größere Anzahl an Kaubewegungen pro g TS Futteraufnahme, eine längere tägliche Kaudauer und eine erniedrigte Futteraufnahme. Trotzdem war die Kompensation nicht komplett, da die Gruppe mit kleinerer molarer Okklusionsoberfläche eine größere durchschnittliche Kotpartikelgröße zeigte. Theoretisch wäre eine Aufnahme von kürzeren oder weicheren Pflanzenteilen denkbar, da hierbei weniger Zeit zum Zerkleinern benötigt wird, um die gleiche Partikelgröße zu erhalten (LEE und PEARCE 1984, McSWEENEY und KENNEDY 1992, GROSS et al. 1995). PEREZ-BARBERIA und GORDON (1998b) konnten diese Theorie nicht bestätigen, da kein signifikanter Unterschied in der Auswahl des Futters (kurz vs. lang und Blätter vs. Halme) bei Rotwild mit unterschiedlicher Zahnmorphologie feststellbar war.

Koalas scheinen eine zunehmende Zahnabnutzung in ähnlicher Weise zu kompensieren wie Wiederkäuer. Obwohl Beobachtungen von LANYON und SANSON (1986b) an in Gefangenschaft lebenden Koalas zunächst nicht darauf hindeuteten, dass ältere Tiere pro Bissen mehr kauten, konnte in einer späteren Studie an in freier Wildbahn lebenden Koalas gezeigt werden, dass einzelne Blätter mit zunehmender Zahnabnutzung intensiver zerkaut werden, die durchschnittliche Kaurate zunimmt (LOGAN und SANSON 2002) und auch die durchschnittliche Rate des Meryzismus-Kauen gesteigert wird (LOGAN 2003). Im Gegensatz zu Wiederkäuern erhöhen Koalas die Futteraufnahme und damit die Passagerate. Durch selektive Partikelretention können sie so ein konstantes Niveau von feinen Partikeln im Caecum und Colon aufrecht erhalten (LOGAN und SANSON 2002). Allerdings kann auch bei Koalas die Zahnabnutzung nur bis zu einem gewissen

Punkt kompensiert werden, denn ab einem gewissen Abnutzungsgrad kann das Futter nicht mehr adäquat zerkleinert werden. Dies steht im Einklang mit den Untersuchungen von LANYON und SANSON (1986b), aus denen hervorging, dass Koalas die Okklusionseffektivität (Anteil an kleinen Partikeln verglichen mit Anteil an großen Partikel, die von Zähnen erzeugt werden) bis zu einem gewissen Abnutzungsgrad aufrecht erhalten konnten. Danach wurde das Verhältnis von groben Partikeln zu feinen Partikeln größer.

2.4.4 Isometrie und Allometrie

Es bestehen verschiedene - sowohl strukturelle wie funktionale - isometrische als auch allometrische Beziehung zwischen verschiedenen Aspekten des Kauapparates und der Körpermasse von Säugetieren (GOULD 1975, FORTELIUS 1985, 1986, 1987, DRUZINSKY 1993, SHIPLEY et al. 1994, JULIEN et al. 1996, POPWICS und FORTELIUS 1997). Eine Isometrie besteht, wenn ein bestimmter Parameter zur KM^1 skaliert. Bei einer Korrelation eines bestimmten Parameters zur KM mit einem bestimmten Exponenten, der nicht 1 ist, spricht man von Allometrie. Bei einer positiven Korrelation ist der allometrische Exponent ebenfalls positiv und bei einer negativen Korrelation entsprechend negativ.

Davon ausgehend, dass eine positive Beziehung zwischen Zahngrößenparametern und Kaeffizienz besteht, vermuteten PEREZ-BARBERIA und GORDON (1998a) eine negative isometrische Beziehung zwischen Kaudauer und Körpermasse bei verschiedenen herbivoren Spezies. Bei Wiederkäuern korreliert die Kaudauer in der Tat negativ zum Körpergewicht, sowohl innerhalb (BAE et al. 1983) als auch zwischen den Spezies (WELCH 1982). Größere Tiere benötigen demnach pro Einheit Futter weniger Zeit und weniger Kaubewegungen als kleinere Tiere. Eine vergleichende Studie von WELCH (1982) zeigte, dass ausgewachsene Kühe (560 kg KM) pro kg NDF 100 min wiederkauten, während Schafe (82 kg KM) 1180 min und Ziegen (39 kg KM) 1300 min benötigten.

PEREZ-BARBERIA und GORDON (1998a) folgerten weiter, dass - bei einem vorgegebenen Futter - eine positive allometrische Beziehung zwischen der Körpermasse und der Größe der abgeschluckten Partikel (dem Gegenteil der Kaeffektivität) besteht, abhängig von den Dimensionen (Länge, Breite, Gewicht) der

geschätzten Partikelgröße. Auf einen bestimmten allometrischen Exponenten legten sich die Autoren allerdings nicht fest.

2.4.5 Muskelmagen bei Vögeln

Der linsenförmige Muskelmagen (*Ventrikulus*) der Vögel wird von zwei sich gegenüberliegenden asymmetrisch angeordneten Muskelpaaren gebildet (VOLLMERHAUS und SINOWATZ 1992, MOORE 1998a, DENBOW 2000) (Abb. 8). Der mehr oder weniger schlauchförmige Innenraum des Muskelmagens ist mit einer ungleichmäßig dicken keratinähnlichen Schicht (Kutikula) ausgekleidet, dem sogenannten Koilin (bestehend aus Proteinen und Kohlenhydraten), das von den Mukosadrüsen sezerniert wird und an der Oberfläche erhärtet. Diese Schicht dient einerseits als Schutzschicht vor dem Magensaft und Verletzungen durch das Zermahlen harter Nahrungsbestandteile und trägt andererseits entscheidend zur effektiven Nahrungszerkleinerung bei. Im zentralen Bereich der beiden Mageninnenwände ist die Kutikula am dicksten und bildet so zwei scheibenähnliche, sehr harte keratinoide Reibplatten auf jeder Seite, die kaum verformbar bzw. komprimierbar sind. Dadurch können die Kräfte, die von den Muskeln ausgeübt werden, direkt auf das Lumen übertragen werden, wodurch ein hoher intraluminaler Druck entsteht. (KING und McLELLAND 1984, VOLLMERHAUS und SINOWATZ 1992, STEVENS und HUME 1995, MOORE 1998a, DENBOW 2000, ENGELHARDT 2005).

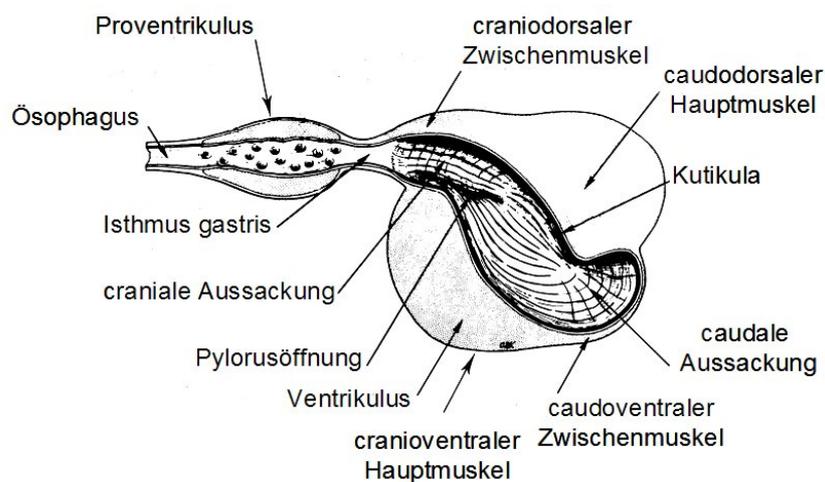


Abb. 8: Querschnitt durch den Magen von Hausflügel (nach KING und McLELLAND 1984)

Die Nahrung tritt aus dem Drüsenmagen in kleinen Mengen in den Muskelmagen ein und wird dabei entlang einer schmalen Rinne befördert, die parallel zu den Schleimhautfalten der Speiseröhre verläuft und an die Reibplatten angrenzt (MOORE et al. 1998). Das Futter wird durch Kontraktion der Zwischenmuskeln zwischen die Reibplatten gedrückt, die anschließende Kontraktion der Hauptmuskeln bringt dann die Zerkleinerung. (VOLLMERHAUS und SINOWATZ 1992, MOORE 1998a).

Die Kontraktion der Hauptmuskeln setzt den gefüllten Muskelmagen unter einen hohen Druck. Das Magenlumen erhält durch die Kutikula eine gewisse Steifheit, die beiden Muskelwände sind starr und nur schwer komprimierbar, wodurch die beiden Reibplatten während der Kontraktion parallel zueinander verbleiben, und es somit nicht zu einer gleichmäßig verteilten Kontraktion kommt, wie dies bei anderen zirkulären Muskeln im Darm der Fall ist. Die Innenwände bewegen sich in zwei Ebenen, zum einen bewegen sie sich aufeinander zu, so dass Kompressionskräfte entstehen, und zum anderen schieben sie sich aneinander vorbei (die eine Reibplatte bewegt sich nach cranial während sich die andere gleichzeitig nach caudal bewegt), so dass außerdem Scherkräfte entstehen (MOORE 1998a). Diese verschiebende Bewegung wird durch die Asymmetrie der Hauptmuskeln herbeigeführt (VOLLMERHAUS und SINOWATZ 1992, MOORE 1998a), was durch Versuche von MOORE et al. (1998) mit zwei künstlichen Muskelmägen (mit symmetrischen und asymmetrischen Muskeln) gezeigt werden konnte. Das Modell mit symmetrisch angeordneten Muskeln erzeugte lediglich komprimierende Bewegungen. Es hat sich gezeigt, dass durch die translationalen Bewegungen, und den damit verbundenen Scherkräften, Schwachstellen von Gräsern gewissermaßen ausgenutzt werden, da auf diese Weise das Zwischenzellgewebe (Mesophyll) von den Leit- oder Faserbündeln – die bei Gräsern parallel zur Längsachse verlaufen (NUTSCH 2000) – getrennt wird. Dies ist ein wesentlicher Faktor, ohne den die Zerkleinerung von Gras limitiert ist (MOORE 1999). Bei Kompression allein platzen die Pflanzenzellen vermutlich, wenn genügend Druck auf die Zellwände ausgeübt erzeugt wird, die Partikelzerkleinerung ist hierbei aber weniger effektiv (MOORE et al. 1998).

Hartes Futter kann somit auch ohne Schneidkanten effektiv zerkleinert werden. Allerdings ist dies nur möglich, wenn die Längsachse der Faserbündel in einer Linie mit der Hauptbewegungsachse der Reibplatten liegt. MOORE (1999) entdeckte bei

der Sektion von Gänsen kurz nach der Aufnahme großer Partikel, dass die Partikel im Ösophagus durch die ausgeprägten Schleimhautfalten der Länge nach aneinander ausgerichtet werden, bevor diese in den Muskelmagen gelangen. Versuche mit zwei unterschiedlichen Nahrungspartikelgrößen (2 mm und 10 mm) zeigten, dass die kleineren Partikel zu einem geringeren Ausmaß zerkleinert wurden als die größeren. In der Tat entsprach die Länge der kleinen Partikel auch gleichzeitig der Breite, wodurch diese Partikel nicht ihrer Länge nach im Ösophagus ausgerichtet werden konnten und somit senkrecht zur Hauptbewegungsachse im Muskelmagen eintraten - eine Trennung des Mesophylls war dadurch verhindert. Frühere Versuche von MOORE et al. (1998) mit einem künstlichen Muskelmagen zeigten ein ähnliches Bild. Die Partikel wurden zu einem geringeren Ausmaß zerkleinert, da es unmöglich war, das Pflanzenmaterial adäquat zu positionieren. VINCENT (1983) gibt an, dass ein „Bruch“ zwischen den Fasern von Grasblättern parallel zu diesen leichter ist als quer zu ihnen. Es ist denkbar, dass der Muskelmagen Pflanzenmaterial von zweikeimblättrigen Pflanzen mit ihren netzartigen Leitbündeln mechanisch nicht effektiv zerkleinern kann, da ein adäquates Ausrichten der Nahrungspartikel unmöglich ist, das Mesophyll also auch nicht effektiv von den Faserbündeln getrennt werden kann (MOORE 1999). Vermutlich ist dies ein Grund dafür, warum es nur eine einzige obligat folivore Vogelspezies gibt (MOORE 1999) (den Hoatzin, der interessanterweise eine völlig andere Nahrungsstrategie entwickelt hat, nämlich die Zerkleinerung und Fermentation im Kropf (GRAJAL et al. 1989), und bei dem der Muskelmagen entsprechend stark reduziert ist (KING und McLELLAND 1984).

Das Ausmaß, in dem Gras durch den Muskelmagen zerkleinert wird, ist laut MOORE (1999) vergleichbar mit der Partikelzerkleinerung durch den Kau- und Wiederkauakt bei Wiederkäuern. Die Partikel, die den Muskelmagen von Gänsen passieren, haben eine vergleichbare Größe (<0,5 mm lang und 0,25 mm breit) mit Partikeln, die den Pansen bei Schafen verlassen. CLEMENS et al. (1975) und MOORE (1999) stellten die Hypothese auf, dass es einen ähnlichen Mechanismus im Muskelmagen von Vögeln wie im Pansen von Wiederkäuern gibt (z.B. REID et al. 1977, POPPI et al. 1980), der nur Partikel einer bestimmten, kritischen Größe durchlässt. Wenn es jedoch zu einem Rückstau des Nahrungsbreis kommt, hat die kritische Partikelgröße keine Relevanz, so dass ein konstanter Weitertransport unabhängig von der ursprünglichen Partikelgröße gewährleistet ist (MOORE 1999). Wenn den Tieren ein

reichhaltiges Nahrungsangebot zur Verfügung steht, kann dieses somit (im Gegensatz zu Wiederkäuern, deren Aufnahmekapazität durch den Retentionsmechanismus limitiert ist) durch Erhöhung der Futteraufnahme und damit einhergehendem Weitertransport auch größerer Partikel genutzt werden (MOORE 1999), was für die meisten Vögel, die größtenteils auf die Verdauung der Zellinhaltsstoffe angewiesen sind, entscheidend ist. Untersuchungen von CLEMENS et al. (1975) an Gänsen zeigten außerdem, dass Partikelmarker, die ins proximale Duodenum injiziert wurden, durch retrograde Bewegungen zurück in den Vorderdarm transportiert wurden, um dort ausreichend zerkleinert zu werden.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass im Muskelmagen von Vögeln – zusätzlich zum Retentionsmechanismus für grobe Partikel – auch ein Retentionsmechanismus für Gastrolithen wirken muß (BARTONEK 1969), da Gastrolithen meist nicht im distalen Verdauungstrakt von Vögeln beobachtet werden.

Sowohl durch experimentelle als auch empirische Studien konnte gezeigt werden, dass die Muskelmasse des Magens bei faserreicher Nahrung zunimmt. Versuche von PIERSMA et al. (1993) zeigten, dass der Muskelmagen von Knuttstrandläufern (*Calidris canutus*) und Pfuhlschnepfen (*Limosa lapponica*) bei Fütterung von weicher Nahrung atrophierte, und die Tiere als Folge daraus die Aufnahme von harten Muscheln - ihrer natürlichen Nahrung - verweigerten. PENDERGAST und BOAG (1973) fanden bei Tannenhühnern (*Canachites canadensis*) schwerere Muskelmägen zu Zeiten, in denen sich die Tiere von sehr faserreicherer Nahrung (ausschließlich Tannennadeln im Winter) ernährten. Sie vermuteten einen gewissen Trainingseffekt der Muskulatur des Muskelmagens. Eine ähnliche Beobachtung machte auch DROBNEY (1984). Das Gewicht der Muskelmägen von Brautenten (*Aix sponsa*) war während der Aufnahme von faserreichem Futter im Herbst am höchsten und nahm im Frühling mit abnehmendem Faseranteil wieder ab. HERD und DAWSON (1984) fanden dickere Muskelwände bei Emus aus freier Wildbahn verglichen mit Tieren aus Gefangenschaft. MOORE (1998b) verglich die Morphologie der Muskelmägen von insgesamt acht Vogelspezies (sechs herbivore und zwei omnivore) und stellte folgendes fest: die Muskulatur zeigte bei allen Spezies eine ähnliche Asymmetrie, das Magenlumen war meist schmal. Schwerere Muskelmägen erzeugten nicht zwangsläufig höhere Kontraktionskräfte, konnten aber größere Mengen an Nahrung zerkleinern. Die kräftigsten Muskelmägen wiesen herbivore

Vögel auf. Ein Vergleich des Verhältnisses Muskelmasse des Kaumagens zu Magenvolumen (und damit der Scherkräfte) bei fünf der acht Spezies brachte hervor, dass obwohl zwei der Spezies im Verhältnis zum Körpergewicht schwerere Muskelmägen hatten, das Verhältnis von Muskelmasse zu Magenvolumen bei den untersuchten Spezies vergleichbar war, was auf vergleichbare Scherkräfte hindeutet. Die große Muskelmasse der Kaumägen der beiden grasfressenden Spezies im Verhältnis zum Magenvolumen deutet darauf hin, dass zum Zerkleinern von Gras mehr Kraft benötigt wird als für die Zerkleinerung von Samen, Schilfgräsern und Wasserpflanzen.

2.4.6 Gastrolithen

Steine, die im Verdauungstrakt von Tieren verweilen werden allgemein als Gastrolithen (griechisch: gastir = Magen, lithos = Stein) oder umgangssprachlich als Magensteine, bzw. beim Vogel auch als Grit bezeichnet. Gastrolithen kommen in verschiedenen Stämmen von Invertebraten und Vertebraten vor und können verschiedene Funktionen erfüllen oder auch verschiedene Ursachen haben. Neben der Unterstützung der Nahrungszerkleinerung im Muskelmagen von Vögeln (STEVENS und HUME 1995, MACKIE 2002) dienen Gastrolithen eventuell auch der Mineralstoffversorgung (v.a. Kalzium) (z.B. VERBEEK 1993, LEE et al. 2004), der Detoxifikation und Adsorption von aufgenommenen giftigen Inhaltsstoffen im Futter, oder helfen schwimmendem Vertebraten als Ballast bei der Auftriebskontrolle (TAYLOR 1993, WINGS 2004). Es ist durchaus denkbar, dass Gastrolithen auch mehrere Funktionen auf einmal erfüllen, beispielsweise als Mineralquelle und zur Adsorption von Toxinen bei Vögeln (BRIGHTSMITH und MUNOZ-NAJAR 2004) und Säugern (Brüllaffen, DE SOUZA et al. 2002), oder auch als Unterstützung beim Zermahlen der Ingesta und als Mineralstoffquelle bei herbivoren Vögeln (NORRIS et al. 1975). Die physikalischen Eigenschaften von Gastrolithen, insbesondere Rundheit und Oberflächenbeschaffenheit, hängen von der Funktion der Steine und Faktoren wie Gesteinstyp, Retentionszeit oder Abnutzungsrate in Magen ab (WINGS 2004). Die absichtliche Aufnahme von Sedimenten durch Tiere wird entweder als Geophagie oder als Lithophagie bezeichnet. Geophagie ist die Aufnahme von Erde. Sie ist bekannt bei Reptilien, Vögeln, Säugern und sogar bei Menschen bestimmter Nationen und dient als Mineralstoffergänzung oder hat medizinische Hintergründe

(WINGS 2004). WINGS (2004) schlägt vor, ab einer Partikelgröße von 0,063 mm (Standardgröße für den Übergang zwischen Erde und Sand) den Begriff Lithophagie zu verwenden. Hierbei handelt es sich um die gewollte Aufnahme von Steinen, die dann anschließend als Gastrolithen bezeichnet werden.

2.4.6.1 Reptilien

Die Aufnahme von Erde, Sand, Steinen und Knochen wurde bei sowohl freilebenden als auch bei in Gefangenschaft lebenden Reptilien beobachtet (MOODIE 1912, RICK und BOWMAN 1961, SKOREPA 1966, SOKOL 1971, KRAMER 1973, RHODIN 1974, FRYE 1991, McARTHUR et al. 2004). Auch wenn der Grund für dieses Verhalten unklar ist, könnte es die mechanische Verdauung unterstützen (McARTHUR et al. 2004).

Gastrolithen (Steine, Kies, Sand) wurden bei Krokodilen, Schildkröten und Echsen beobachtet. Bei Krokodilen wird, ähnlich wie bei Vögeln, in erster Linie eine Funktion bei der Zerkleinerung der Nahrung gesehen, bei den übrigen Tieren ist ihre genaue Funktion unklar und wird kontrovers diskutiert (STEVENS und HUME 1995, WINGS 2004). Bei Carnivoren, Insectivoren und Omnivoren ist eine verdauungsunterstützende Funktion am wahrscheinlichsten, da es hier gilt, harte Panzer oder Hüllen zu knacken, um einen Zugang für die Verdauungssäfte zu schaffen (MOODIE 1912, JOHNSON 1966, SOKOL 1971, SKOCZYLAS 1978). Es ist durchaus denkbar, dass Gastrolithen auch bei herbivoren Reptilien der mechanischen Nahrungszerkleinerung dienen, allerdings fehlen hierfür Nachweise. Da jedwede Zerkleinerung die Verdauung durch Vergrößerung der Oberfläche erleichtert, und da Echsen nicht kauen, könnten abrasive Steine maßgeblich zur effizienten Verdauung beitragen. Leider mangelt es an umfangreichen Angaben, über herbivore Reptilienspezies, die tatsächlich Lithophagie betreiben.

Neben Lithophagie wird auch Geophagie bei herbivoren Reptilien beobachtet (RICK und BOWMAN 1961, SOKOL 1971). SOKOL (1971) beobachtete Geophagie bei einigen herbivoren Reptilien, darunter die griechische Landschildkröte und der grüne Leguan. Er hielt es für unwahrscheinlich, dass hier eine abrasive Funktion bestünde. Er vermutete, dass es der Aufrechterhaltung der Mikroflora und dem Erwerb von Mikroorganismen diene. Konträr hierzu konnten RAND et al. (1990) bei 31

untersuchten freilebenden grünen Leguanen weder Sand noch Steine im Magen finden.

2.4.6.2 Vögel

Vögel zerkleinern ihre Nahrung mit Hilfe ihres Muskelmagens (MOORE 1999). Um die mechanische Desintegration zu unterstützen, nehmen viele Vögel eine je nach Ernährungsweise unterschiedliche Menge kleiner Steine auf, im Allgemeinen als Grit oder Magensteine bezeichnet (HERD 1985, VERBEEK 1993, GIONFRIDDO und BEST 1996, LOPEZ-CALLEJA et al. 2000, MACKIE 2002), die dann im Muskelmagen retiniert werden (BARTONEK 1969).

FRITZ (1937) untersuchte den Einfluss von Grit auf die Verdaulichkeit bei Hühnern bei Fütterung eines Legehennen-Alleinfutters und bei Fütterung von Futtererbsen. Die Verdauungskoeffizienten der meisten Nahrungsbestandteile waren bei Zugabe von Grit höher, insbesondere von Rohfett. Ohne die Zufütterung von Grit zeigten die Tiere Gewichtsverlust, den sie erst nach Zufütterung von Grit wieder ausgleichen konnten. Des weiteren stellte er fest, dass Grit die Bewegungsrate des Muskelmagens erhöht. Laborversuche von LOPEZ-CALLEJA et al. (2000) mit kommerziellem Vogelfutter, Hanf und Mehlwürmern zeigten bei Morgenammern (*Zonotrichia capensis*) eine signifikante Steigerung der Verdaulichkeit um 7% bei ergänzender Fütterung von Grit. TITUS (1955)² stellten einen Anstieg der Verdaulichkeit von Körnern und Samen um 10% und von Mischfutter um 3% bei Zugabe von Grit fest.

Die Aufnahme von Grit wird stark von der Nahrung beeinflusst (NORRIS et al. 1975, TROST 1981, GIONFRIDDO und BEST 1995, 1996) und gewinnt bei vornehmlich hartem und groben Futter (z.B. Gras, Blätter, Körner) zunehmend an Bedeutung FRITZ (1937). Untersuchungen von TROST (1981) zeigten bei Enten eine zweifach höhere Gritaufnahme bei Körnerfütterung verglichen mit Fütterung kommerzieller Entenpellets. Studien von GIONFRIDDO und BEST (1995) zeigten ebenfalls, dass Vögel, denen hartes pflanzliches Futter gefüttert wurde, mehr Grit aufnahmen als Tiere, denen weiche tierische Kost gefüttert wurde. In einer weiteren Studie (1996) verglichen sie die Inhalte von insgesamt 1440 Muskelmägen von 90 Spezies unterschiedlicher Nahrungsgruppen und fanden mehr und häufiger Grit bei den

² zitiert nach STURKIE (1965), Quelle nicht zugänglich.

granivoren Spezies als bei den insektivoren, omnivoren und frugivoren, wobei sich die Griteigenschaften (Größe, Form, Oberflächenbeschaffenheit) nicht unterscheiden. Versuche von NORRIS et al. (1975) zeigten eine zwei- bis viermal höhere Gritaufnahme bei Fütterung von Zweigen und Knospen von Weide bzw. Birke verglichen mit pelletiertem Futter. Viele Spezies ändern im Laufe des Jahres ihre Nahrungsgewohnheiten, weil sich entweder das Nahrungsangebot verändert oder ein erhöhter Energiebedarf gedeckt werden muss. In dem Zusammenhang fanden mehrere Autoren saisonale Schwankungen hinsichtlich der Menge und Größe der Magensteine (MAY und BRAUN 1973, NORRIS et al. 1975, TROST 1981, ALONSO 1985, VERBEEK 1993, LOPEZ-CALLEJA et al. 2000). MAY und BRAUN (1973) fanden bei Weißschwanz-Schneehühnern (*Lagopus leucurus*) proportional größere Gritpartikel zu Zeiten, in denen sich die Tiere v.a. von hartem schwerverdaulichem Futter (Weideknospen, Zweige und Blätter) ernähren. Pieper (*Anthus* spp.), die im Herbst und Winter mehr Samen und weniger Insekten fressen, nehmen in der Zeit mehr Grit auf (VERBEEK 1993). LOPEZ-CALLEJA et al. (2000) stellten fest, dass die Aufnahme von Gastrolithen proportional zum durchschnittlichen Gewicht der Körner ist, und postulierten daher, dass die Größe und Härte der Nahrung eine Rolle bei der Aufnahme von Grit spielt. ALONSO (1985) stellte fest, dass Weidensperlinge (*Passer hispaniolensis*) im Winter, wenn ihre Nahrung vornehmlich aus kleineren Samen besteht, eine höhere Anzahl kleinerer Steinchen aufnehmen, während sie im Sommer, wenn die Nahrung auch größere Insekten und Samen enthält, größere, aber dafür weniger Gritpartikel aufnehmen. Da das Gritgewicht konstant blieb, vermutete Alonso, dass die Tiere die Gritaufnahme - je nach Größe der Steinchen - so regulieren, dass immer ein bestimmtes, optimales Gritgewicht erreicht wird. Weiterhin schlussfolgerte er, dass die Größe des Futters hierbei eher eine Rolle spielt als die Härte. Einen ähnlichen Zusammenhang zwischen der Menge und der Größe der Magensteine fanden auch BEST und GIONFRIDDO (1991) und GIONFRIDDO und BEST (1995) bei ihren Studien mit über 90 Vogelspezies. Je größer die Magensteine, desto weniger zahlreich sind sie. Anscheinend wird bei einigen Spezies die Gritmenge im Verhältnis zum Magenvolumen reguliert. MOORE (1998b) fand bei einem Vergleich der funktionellen Morphologie des Muskelmagens von acht Vogelspezies eine signifikante Korrelation zwischen dem Muskelmagenvolumen und dem Gritvolumen (bei zwei Spezies) und eine signifikante Korrelation zwischen dem Muskelmagenvolumen und der Gritmasse (bei drei

Spezies). In einem Versuch mit einem künstlichen Muskelmagen konnte gezeigt werden, dass ein hohes Verhältnis von Gritmenge zu Futtermenge besonders günstig ist (MOORE 1998c). Des Weiteren fanden BEST und GIONFRIDDO (1991) sowie GIONFRIDDO und BEST (1996) eine positive Korrelation der durchschnittlichen Größe der Gritpartikel mit der Körpermasse. Dem widersprechend fand WINGS (2004) bei insgesamt 347 Straußen zwar eine durchschnittliche Gastrolithenmasse von ca. 1% der Körpermasse, eine signifikante Korrelation war aber innerhalb dieser Spezies nicht festzustellen.

2.5 Relevanz der Partikelgröße

Die Partikelgröße ist ein entscheidender Faktor für die Verdauungseffizienz, da sie einen maßgeblichen Einfluss auf die Verdaulichkeit von Fasermaterial hat. Kleinere Partikel bedeuten ein größeres Oberflächen-Volumenverhältnis, dadurch eine beschleunigte Mikrobenbesiedelung sowie einen beschleunigten Abbau der Zellwandbestandteile und somit eine effektivere Fermentation (LATHAM et al. 1978, FUJIKARA et al. 1989, POPPI et al. 1980, 1981, POND et al. 1984a, BJORNDAL et al. 1990, PEREZ-BARBERIA und GORDON 1998a, WILMAN et al. 1999).

Zahlreiche in vitro-Experimente mit unterschiedlich feinem Material zeigen, dass größere Pflanzenpartikel erwartungsgemäß schlechter fermentierbar sind als kleinere Partikel (DEHORITY und JOHNSON 1961, McLEOD und MINSON 1969, ROBLES et al. 1980, EHLE 1984a, CHERNEY et al. 1988, SCHOFIELD et al. 1994, WILMAN et al. 1999, ELLIS et al. 2005). Ein Unterschied ist vor allem bei kürzeren Fermentationszeiten deutlich; bei langen Fermentationszeiten hingegen erscheinen die Unterschiede weniger groß (Tab. 1).

Bei BOWMAN und FIRKINS (1993) führt eine Partikelgrößenreduktion um den Faktor 2,5 zu einer Erhöhung der NDF-Fermentationsrate um den Faktor 1,4; bei EMANUELE und STAPLES (1988) führt eine Partikelgrößenreduzierung um den Faktor 2 bzw. 3,4 zu einer Erhöhung der Fermentationsrate um jeweils den Faktor 1,1; BJORNDAL et al. (1990) verwendeten kein gemahlene Material, sondern untersuchten Graspartikel, die sie mit einer Schere in unterschiedliche Längen schnitten. Eine Reduktion der Partikelgröße um den Faktor 10 resultierte in einer Erhöhung der Fermentationsrate um den Faktor 1,7. ROBLES et al. (1980) fanden in

in vitro für Luzerne fast doppelt so hohe Abbauraten für 1 mm bzw. 4 mm große Partikel verglichen mit 8 mm bzw. 16 mm großen Partikeln.

Tab. 1: Einfluss der Nahrungspartikelgröße auf die Fermentation

(NDF = Neutrale Detergenzienfaser, entspricht der Summe von Hemizellulose, Zellulose und Lignin).

Pflanze	Partikelgröße	Fermentations - Rate	Abbau	Publikation
Gras (<i>Tripsacum dactyloides</i> , <i>Dactylis glomerata</i>), Leguminose (<i>Trifolium pratense</i>) ³	< 2 mm ¹⁾	NDF: 0,066 h ⁻¹	NDF: 54,2 %	BOWMAN und FIRKINS (1993)
	< 5 mm ¹⁾	NDF: 0,048 h ⁻¹	NDF: 57,4 %	
Leguminose (<i>Arachis glabrata</i>)	106 µm ²⁾	0,192 h ⁻¹	72 h: 77,3 %	EMANUELE und STAPLES (1988)
	355 µm ²⁾	0,168 h ⁻¹	72 h: 74,3 %	
	710 µm ²⁾	0,148 h ⁻¹	72 h: 73,2 %	
Gras (<i>Cenchrus ciliaris</i>)	0,4 mm ¹⁾		48 h: 53 %	McLEOD und MINSON (1969)
	1,0 mm ¹⁾		48 h: 50 %	
	1,96 mm ¹⁾		48 h: 46 %	
Gras (<i>Chloris gayana</i>)	0,4 mm ¹⁾		48 h: 55 %	
	1,0 mm ¹⁾		48 h: 52 %	
	1,96 mm ¹⁾		48 h: 50 %	
Gras (<i>Stenotaphrum secundatum</i>)	2 mm ³⁾		48 h: 60 %	BJORNDAL et al. (1990)
	10 mm ³⁾		48 h: 30 %	
	60 mm ³⁾		48 h: 20 %	
Gras (<i>Pennisetum purpureum</i>)	3 mm ³⁾	0,05 h ⁻¹	140 h: 83 %	
	30 mm ³⁾	0,03 h ⁻¹	140 h: 85 %	
Luzerne	1 mm ¹⁾	0,070 h ⁻¹		ROBLES et al. (1980)
	4 mm ¹⁾	0,055 h ⁻¹		
	8 mm ¹⁾	0,039 h ⁻¹		
	12 mm ¹⁾	0,041 h ⁻¹		

¹⁾Partikel, die ein Sieb der jeweiligen Maschenweite passieren ²⁾Partikel, die auf dem Sieb dieser Maschenweite zurückgehalten werden ³⁾auf diese Länge geschnitten

SMITH et al. (1983) untersuchten in situ den Einfluss der Partikelgröße und des Lignifikationsgrades auf das Ausmaß und die Rate der Reduktion der Pflanzenzellwände. Bei gleichem Anteil von Lignin wurden kleinere Partikel besser verdaut als größere. EMANUELE und STAPLES (1988) zeigten in situ, dass die Verdaulichkeit der TS von Leguminosen bei kleineren Partikeln größer war, bzw. linear mit abnehmender Partikelgröße anstieg. Mehrere Autoren fanden einen

³ Jede einzelne Pflanze wurde mit zwei verschiedenen Partikelgrößen inkubiert. Es ist nicht ersichtlich, auf welche Pflanze sich Fermentations- und Abbaurate bezieht.

abnehmenden Anteil an Gerüstsubstanzen bei abnehmender Partikelgröße (JASTER und MURPHY 1983, EHLE 1984a, EMANUELE und STAPLES 1988, BOWMAN und FIRKINS 1993).

Bei Verdauungsversuchen mit Rindern fanden PALOHEIMO et al. (1968) sowie JASTER und MURPHY (1983) eine niedrigere Verdaulichkeit bei vergleichsweise größeren Kotpartikeln. Die Kotpartikelgröße gibt Aufschluss darüber, wie fein die Nahrung durch das Tier zerkleinert wurde und damit auch auf die Größe der Ingestapartikel, die von den Bakterien fermentiert werden. Wie auch bei den oben genannten in vitro Fermentationsversuchen führt eine kleinere Partikelgröße zu einer besseren Verdaulichkeit. In ähnlicher Weise fanden LENTLE et al. (2003) bei zwei Wallabyspezies höhere Verdauungskoeffizienten für ADF und NDF mit steigendem Anteil feiner Partikel im Kot. Eine Studie von KAY und SHEINE (1979) mit insektivoren Primaten (*Galago senegalensis*) zeigte, dass Chitinpartikel mit einem Durchmesser von maximal 0,25 mm zu 23% verdaut wurden, während Chitinpartikel mit einem Durchmesser zwischen 0,325 - 0,425 mm nur zu 3 % von den Tieren verdaut wurden.

Neben der Beschleunigung des Abbaus ermöglicht eine stärkere Zerkleinerung der Nahrung die Aufnahme einer größeren Menge voluminösen Pflanzenmaterials und erleichtert außerdem den Transport der Ingesta entlang des Magendarmkanals. Die Partikelgröße ist somit, neben der Dichte und den Fließeigenschaften der Nahrungspartikel (die beide durch die Form der Partikel bestimmt werden), ein wichtiger Parameter, denn durch den Einfluss auf die Passagedauer und die Futteraufnahme beeinflusst die Partikelgröße insgesamt auch die Verdaulichkeit (UDEN und VAN SOEST 1982a, JASTER und MURPHY 1983, FREUDENBERGER und HUME 1992, BEZZOBS und SANSON 1997, HADJIGEORGIOU et al. 2003).

FREUDENBERGER und HUME (1992) demonstrierten bei Bergkängurus, dass durch das Pelletieren von faserreichem Futter zum einen die Futteraufnahme und zum anderen die TS-Verdaulichkeit stieg. Sie schlussfolgerten, dass Makropoden einen höheren Faseranteil in der Nahrung dann ausgleichen können, wenn dieses vorher zerkleinert und/oder pelletiert wird, da auf diese Weise das Limit der Nahrungszerkleinerung durch das Kauen aufgehoben wird.

2.5.1 Einfluss des Futters auf die Kotpartikelgröße

Verschiedene Futtermittel werden unterschiedlich von den Mikroorganismen (BOWMAN und FIRKINS 1995) und von dem Tier (GRENET 1970, ULYATT et al. 1982, MEYER et al. 1986, WILSON et al. 1989a, WILMAN und REZVANI MOGHADDAM 1998, WILMAN et al. 1999) in der Partikelgröße reduziert, wobei durch die Bakterien v.a. die Breite und durch den Kauakt v.a. die Länge der Partikel reduziert wird (WILSON et al. 1989a). Mehrfach wurde die Hypothese aufgestellt, dass die erforderliche Kaukraft, um Gras bzw. Laub zu zerkleinern, unterschiedlich ist (z.B. SOLOUNIAS und DAWSON-SAUNDERS 1988, ARCHER und SANSON 2002, MENDOZA et al. 2002), jedoch wurde dies bislang nicht quantifiziert. Die Hypothese deckt sich aber mit der Tatsache, dass Blätter von Gräsern verglichen mit denen von Kräutern und Laubbäumen dickere Zellwände haben (SPALINGER et al. 1986). CASWELL et al. (1973) beschreiben, dass das Zermahlen von tropischen C4-Gräsern mehr Kraft bedarf als das Zermahlen von C3-Gräsern der gemässigten Zone. Dies steht im Einklang mit einer Untersuchung von WILMAN et al. (1996), die bei Schafen eine niedrigere Aufnahme von tropischen Gräsern als von Gräsern der gemässigten Zone fanden. Sie führen dies auf unterschiedliche physikalische Strukturen der Gräser zurück, da C4-Gräser vergleichsweise mehr Leitbündel als C3-Gräser aufweisen. Mehrfach wurden unterschiedliche Brucheigenschaften von Gras und Laub festgestellt (SPALINGER et al. 1986, KAY 1993, SANSON 2006) und von verschiedenen Autoren wurden unterschiedliche Partikelformen beschrieben (TROELSEN und CAMPBELL 1968, GRENET 1970, MOSELEY und JONES 1984, EMANUELE und STAPLES 1988, MTENGETI et al. 1995, 1996, WILMAN und REZVANI MOGHADDAM 1998). So sind die Partikel von Laubblättern eher polygonal, während die Partikel von Gräsern eher länglich und Partikel von Leguminosen eher quadratisch oder dreieckig sind. Auch wenn empirische Daten bislang fehlen, wird Laub als eher heterogenes Material mit verschiedenen dicken Geweben und unterschiedlichen Bruchresistenzen angesehen, während Gras diesbezüglich als homogen bezeichnet wird (z.B. ARCHER und SANSON 2002). SANSON (1989) geht davon aus, dass die Faserbündel in Gräsern gleichmäßiger und dichter verteilt sind als bei den meisten Laubarten.

Die unterschiedlichen Brucheigenschaften von Laub und Gräsern sollten sich in unterschiedlichen Morphologien der okklusalen Zahnoberfläche widerspiegeln (FORTELIUS 1985) (s.h. hierzu 2.4.1.1), und diese Unterschiede der

Zahnmorphologie sollten sich wiederum in Unterschieden der Nahrungspartikelzerkleinerung zwischen Spezies bei ähnlichem Futter widerspiegeln (LENTLE et al. 2003).

Unterschiedliche Kotpartikelgrößen, bzw. unterschiedliche Partikelverteilungen beim Einsatz verschiedener Futtermittel konnte u.a. bei Hauswiederkäuern (GRENET 1966, POPPI et al. 1980, ULYATT et al. 1982, GRENET et al. 1984, LECHNER-DOLL 1986, SHAVER et al. 1988, VAN BRUCHEM et al. 1991, ACOSTA et al. 2007), bei Wildwiederkäuern (NYGREN und HOFMANN 1990, RENECKER und HUDSON 1990, SCHAUB 2004), bei Kamelen (LECHNER-DOLL 1986), bei Pferden (GRENET et al. 1984, MEYER et al. 1986, CARMALT et al. 2004) und bei Kaninchen (ZUMBROCK 2002) gezeigt werden.

Pflanzen und deren Teile unterscheiden sich hinsichtlich ihrer chemischen (LEA UND PEARCE 1984) und physikalischen Eigenschaften (LEES et al. 1982, WRIGHT und ILLIUS 1995, WILMAN et al. 1999), wobei diese Unterschiede bei Gräsern eher die komplette Pflanzenstruktur, und bei Laub eher einzelne Regionen betreffen (VAN SOEST 1994). HUMMEL et al. (2006) zeigten in vitro, dass verschiedene Futtermittel unterschiedlich fermentierbar sind. Nach SPALINGER et al. (1986) spielt die anatomische Pflanzenstruktur eine ebenso wichtige Rolle für die Ernährung von Herbivoren wie die Pflanzeninhaltsstoffe. Sie beeinflusst das Ausmass, in dem die Nahrung zerkleinert wird und dadurch auch die Verdauungs- und/oder Fermentationsrate (LEES et al. 1982, LANYON und SANSON 1986a, SPALINGER et al. 1986, VAN SOEST 1994, PEREZ-BARBERIA und GORDON 1998a, ARCHER und SANSON 2002).

Daneben hat auch die Zusammensetzung der Faserbestandteile einen Einfluss auf die Partikelzerkleinerung (WRIGHT und ILLIUS 1995) sowohl durch das Tier (z.B. GRENET 1966, 1970, LENTLE et al. 1999, LANYON und SANSON 2006), als auch durch die Mikroorganismen (BOWMAN und FIRKINS 1995). Ein hoher Fasergehalt erschwert sowohl das Aesen als auch die Verdauung (WRIGHT und ILLIUS 1995, WILMAN et al. 1999). Wiederkäuer kauen umso länger, je höher der Gehalt an Zellwandbestandteilen in der Futterpflanze (z.B. BAE et al. 1981, McLEOD & MINSON 1988a, GRENET 1989, BAILEY et al. 1990). Der Ligningehalt ist der wichtigste Faktor bezüglich der Reduzierung der Faserverdaulichkeit (VAN SOEST 1967), was zahlreiche experimentelle Studien mit Wiederkäuern (z.B. DEHORITY and JOHNSON 1961, KEYS et al. 1969, GRENET 1970, SMITH et al. 1983) und

aquatischen Herbivoren (BJORNDAL 1980, BURN 1986, BJORNDAL und BOLTON 1993) zeigen. DEHORITY and JOHNSON (1961) vermuten, dass ein genereller Unterschied der Zelluloseverdaulichkeit pro gegebener Menge Lignin zwischen Leguminosen und Gräsern besteht, der allerdings weniger mit der Gesamtkonzentration an Lignin zusammenhängt, als vielmehr daher rührt, dass Lignin als eine physikalische Barriere zwischen der Zellulose und den Pansenbakterien agiert. In der Tat verhindert Lignin teilweise bis ganz die Anhaftung der Bakterien (LATHAM et al. 1978). BURN (1986) fand bei Rundschwanzseekühen, die sich von Seegrass ernähren, einen Verdauungskoeffizienten für Zellulose von 80%, was dem bislang bekannten höchsten Verdauungskoeffizienten unter den herbivoren Säugern entspricht. Diese hohe Verdaulichkeit rührt u.a. daher, dass Seegräser verglichen mit Landgräsern einen relativ niedrigen Ligningehalt haben (SHORT et al. 1974, BJORNDAL 1980), da diese im Unterschied zu terrestrischen Pflanzen kein strukturell-statisches Fasergerüst benötigen. Meeresschildkröten (*Chelonia mydas*), die sich ebenfalls von Seegrass ernähren, können sogar bis zu 94% der Cellulose verdauen (BJORNDAL 1980), und Süßwasserschildkröten (*Pseudemys nelsoni*) verdauen die Zellwandbestandteile von Grundnesseln zu 86% (BJORNDAL und BOLTON 1993).

Einen weiteren Einfluss auf die Partikelzerkleinerung hat die Nahrungspartikelgröße per se. Wiederkäuer zerkleinern größere Nahrungspartikel besser als kleine, da sie diese intensiver kauen. Versuche mit Rindern von SMITH et al. (1965), JASTER und MURPHY (1983), SHAVER et al. (1988) und UDEN (1988) zeigen, dass die Kotpartikelgröße (als Maß für den Zerkleinerungsgrad) bei Aufnahme kleinerer Nahrungspartikel zunimmt. Im Gegensatz dazu nimmt bei Dickdarmfermentierern die Kotpartikelgröße bei Fütterung von pelletiertem Futter ab (CARMALT et al. 2004, CASTELL 2005).

2.5.2 Einfluss des Tieres auf die Partikelgröße

Die Morphologie der Zahnkronen und die Größe der Okklusionsoberfläche bestimmen die Effektivität der Backenzähne. Beides verändert sich mit zunehmendem Alter (LANYON und SANSON 1986a, PEREZ-BARBERIA und GORDON 1998a) und kann sich auf die Partikelgröße (GILL et al. 1966) und damit auf die Verdaulichkeit auswirken. Das gleiche gilt für Zahnprobleme, die meistens in

Verbindung mit falscher Ernährung (abnormale Zahnabnutzung) oder in erhöhtem Lebensalter (WAFÄ 1988) auftreten. Mehrere Studien zeigen, dass abnormale Zahnabnutzung häufiger in Gefangenschaft als in freier Wildbahn auftritt (COLYER 1931, ENQVIST et al. 2003, MARTIN JURADO et al. 2006, CLAUSS et al. im Druck). WAFÄ (1988) fand eine Anhäufung abnormaler Zahnabnutzung mit steigendem Alter bei Pferden mit einer Inzidenz von 47,5% bei Tieren über 20 Jahren.

Durch eine starke Zahnabnutzung kann das Futter nicht mehr effizient zerkleinert werden, wodurch Tiere ihre körpereigenen Fettreserven nicht aufrecht erhalten können (FORTELIUS 1985, SKOGLAND 1988, KOJOLA et al. 1998, LOE et al. 2006). Eine Untersuchung von KOJOLA et al. (1998) zeigte, dass der Grad der Zahnabnutzung einen signifikanten Einfluss auf die Körpermasse von älteren weiblichen Rentieren hat. SKOGLAND (1988) zeigte, dass weibliche Rentiere mit erhöhtem Zahnabnutzungsgrad ihre körperlichen Reserven (Gewicht und Fettdepots) vergleichsweise früher aufbrauchen. MYSTERUD et al. (2001) beschreiben einen Einfluss des Zahnverschleisses auf den Alterungsprozess bei Rotwild aus freier Wildbahn. Eine spätere Studie von GARROTT et al. (2002) bewies, dass starke Zahnmalformation die Lebensdauer dieser Spezies verkürzt. GILL et al. (1966) bemerkten zufällig bei ihren Untersuchungen zur Partikelzerkleinerung an sechs Kühen, dass eine von den sechs Kühen länger fraß als die anderen und die Nahrung zu einem geringeren Ausmaß zerkleinerte. Obwohl die Kaubewegungen pro Minute nicht vom Mittel abwichen, beanspruchte diese Kuh die meisten Kaubewegungen pro Bolus und schluckte zudem schwerere Boli ab als die anderen Kühe. Da diese Kuh ein vollständiges Gebiss hatte, konnten sie sich dieses Phänomen nicht erklären, jedoch war die Kuh mit ihren 12 Jahren doppelt so alt wie der Durchschnitt der anderen. Im Gegensatz dazu konnten ACOSTA et al. (2007) bei ihrer Untersuchung der Partikelgröße von abgeschluckten Boli von Milchkühen keinen Zusammenhang zur KM oder dem Alter der Tiere finden. Allerdings vermuteten die Autoren, dass dies daran liege, dass die untersuchten Kühe sich alters- sowie gewichtsmäßig nicht sehr voneinander unterscheiden.

LANYON und SANSON (1986b) fanden bei sehr alten Koalas vergleichsweise anteilig mehr größere Partikel. REICHARD (1982) beschreibt ein geringeres Kauvermögen, Gewichtsverlust und eine generelle Verschlechterung des Allgemeinbefindens aufgrund molarer Fehlentwicklung bei Elefanten. Eine große

Studie von DIXON et al. (2000) über Zahnprobleme beim Pferd zeigte, dass von 44 untersuchten Pferden mit abnormaler Zahnabnutzung (Durchschnittsalter 10 Jahre) 39% an Gewichtsverlust litten.

Zahnkorrekturen bei Pferden haben anscheinend nur bei größeren Problemen positive Auswirkungen auf die Verdaulichkeit und die Partikelgröße. Bei Pferden mit geringeren Zahnproblemen (kleine Kanten und Haken, ansonsten gesunde Zähne) konnten RALSTON et al. (2001) weder einen signifikanten Einfluss von routinemäßigen Zahnkorrekturen noch von Zahnpflegemaßnahmen auf die Verdaulichkeit feststellen. Ein Vergleich von 56 trächtigen (4. Monat) Stuten zwischen 3 und 18 Jahren zeigte ebenfalls keinen signifikanten Einfluss von Zahnpflege auf die Parameter Gewichtszunahme, BCS, Futtermverdaulichkeit oder durchschnittliche Kotpartikelgröße (CARMALT et al. 2004). Über den Effekt von Zahnkorrekturen bei größeren Zahnprobleme auf die Verdaulichkeit oder die Partikelgröße gibt es bislang kaum experimentelle Studien. Versuche von PAGLIOSA et al. (2006) zeigten einen Anstieg der scheinbaren Verdaulichkeit der TS um 14%, der Bruttoenergie um 13%, von Rp um 12%, von NDF um 16%, von ADF um 15%, von Hemizellulose um 18% und von Zellulose um 10% nach Korrektur von starken Zahnspitzen. Klinische Fallberichte zeigen, dass eine positiver Einfluss von Zahnkorrekturen hinsichtlich Gewichtszunahme besteht (DIXON 2000).

2.6 Ingesta-Partikelverteilung innerhalb des MDT

Da Herbivore verschiedene Verdauungsstrategien anwenden (s.h. hierzu 2.1), finden sich sowohl bei Vormagenfermentieren als auch bei Dickdarmfermentierern unterschiedliche Partikelverteilungen innerhalb oder zwischen den verschiedenen Segmenten des Verdauungstrakts.

2.6.1 Vormagenfermentierer

Infolge der Vormagenmotorik und aufgrund der unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften der Futterpartikel (Größe, Form, Dichte) findet man im Retikulumen von gesunden grasäsenden Wiederkäuern (Ruminantia) eine ausgeprägte Schichtung des Panseninhalts. Im dorsalen Pansensack befinden sich vorwiegend

grobe, weniger zerkleinerte Partikel mit niedriger Dichte („Pansenmatte“), darüber befindet sich die dorsale Gasblase, der Inhalt vom ventralen Pansensack und Haube ist relativ flüssig („Pansensee“) und durch einen höheren Anteil von kleineren Partikeln mit höherer Dichte charakterisiert (EHRLEIN und KASKE 2000). Im Gegensatz dazu zeigten mehrere Untersuchungen einiger Laubäser, dass bei diesen eine ausgeprägte Schichtung des Panseninhalts fehlt (NYGREN und HOFMANN 1990, RENECKER und HUDSON 1990, CLAUSS et al 2001). CLAUSS und LECHNER-DOLL (2001) sowie CLAUSS (2006) stellten die Hypothese auf, dass es bei blattäsenden Wiederkäuern natürlicherweise keine Schichtung des Panseninhaltes gibt, wobei der Mechanismus der Partikelverteilung bislang nicht bekannt ist.

Im Allgemeinen finden sich im Pansen von Wiederkäuern (Ruminantia und Tylopoda) größere Partikel als im distalen Verdauungstrakt (UDEN 1978, UDEN und VAN SOEST 1982a, LECHNER-DOLL 1986, KASKE 1987, LECHNER-DOLL und VON ENGELHARDT 1989, LECHNER-DOLL et al. 1991, FREUDENBERGER 1992), während sich die Partikel innerhalb des distalen Traktes nicht unterscheiden (GRENET 1970, UDEN 1978, UDEN und VAN SOEST 1982a, FUJIKARA et al. 1989, POPPI et al. 1980, FREUDENBERGER 1992). Die selektive Retention größerer Partikel im Vormagen ist - neben der effizienten Nahrungszerkleinerung durch den Wiederkauakt - ein entscheidender Faktor bezüglich der Verdauungsleistung, denn durch die dabei entstehende längere Retentionszeit ist ein effizienterer Abbau der Gerüstsubstanzen möglich. Sie ist bei verschiedenen Spezies unterschiedlich stark ausgeprägt (ENGELHARDT 2000, EHRLEIN und KASKE 2000, CLAUSS und LECHNER-DOLL 2001) und scheint sich generell zwischen Ruminantia und Tylopoden zu unterscheiden. Der Vormagen von Kamelen wird in drei Compartmente unterteilt, an die sich der sogenannte Nachmagen (entspricht Labmagen) anschließt. Eine umfangreiche Studie von LECHNER-DOLL (1986) zeigte eine Abnahme großer Partikel innerhalb der verschiedenen Compartmente des Vormagens zum Nachmagen und von diesem zum Dünndarm. Er fand Hinweise auf selektive Retention von größeren Partikeln in den ersten beiden Compartmenen, sowie im Nachmagen von Kamelen, nicht aber im Labmagen von Rindern und Schafen.

Der Vormagen von Makropoden weist im Gegensatz zum Vormagen der Wiederkäuer keine Strukturen oder Abläufe zur selektiven Partikelretention auf. Es

findet nur lokal Vermischung der Digestamasse statt, was durch die charakteristischen Haustra begünstigt wird (LANGER et al. 1980); die Nahrung wird als Bolus weitertransportiert (DELLOW 1982). Eine Untersuchung der Partikelverteilungen innerhalb des MDT von freilebenden Kängurus zeigte einerseits, dass es keinen signifikanten Unterschied der Partikelgrößenverteilung zwischen den verschiedenen Darmabschnitten (sack- und schlauchförmiger Magenteil, Endmagen, Caecum, Kot) gibt und andererseits, dass die Partikelverteilung im sackförmigen Magenteil mit der im Kot vergleichbar ist (FREUDENBERGER 1992).

Dem Vormagen von Faultieren fehlen ebenfalls Strukturen, mit Hilfe derer eine Trennung der flüssigen von der festen Digestaphase stattfindet. Trotzdem wurde beobachtet, dass im caudalen Magenabschnitt (Konnektionskammer und präpylorischer Magen) deutlich mehr große Partikel als in den restlichen Vormagenabschnitten akkumulieren (LANGER 1988, FOLEY et al. 1995). CLAUSS (2004) stellte die Hypothese auf, dass sich Faultiere möglicherweise eines Schwerkraftgradienten „bedienen“ um – wie es sonst nur bei Dickdarmfermentierern vorkommt - selektiv feine Partikel zu retinieren und große schneller auszuschleusen. Der Theorie nach werden die Partikel, die sozusagen näher am Ausgang sind, schneller ausgeschleust. Demnach können im Vormagen von Wiederkäuern große Partikel u.a. deshalb länger zurückhalten werden, da sich diese im dorsalen Teil des Pansens befinden, während die Magenöffnung ventral ist. Nebenbei bemerkt, wird diese Position niemals - nicht einmal im Schlaf – geändert. Faultiere bewegen sich zwar hängenderweise voran, ihre Ruherposition aber, in der sie die meiste Zeit des Tages verweilen, ist aufrecht, und in dieser Position befinden sich die großen Partikel näher am Magenausgang.

Die folgende Abbildung (Abb. 9) nach LANGER (1988) zeigt eine semischematische Darstellung des allgemeinen Verteilungsschemas der Partikel unterschiedlicher Größen im Vormagen von herbivoren Säugern. Grundlage hierfür waren Siebexperimente, die allerdings nicht quantitativ ausgewertet wurden, was Widersprüche zu Ergebnissen quantitativer Studien (z.B. FREUDENBERGER 1992) erklären könnte.

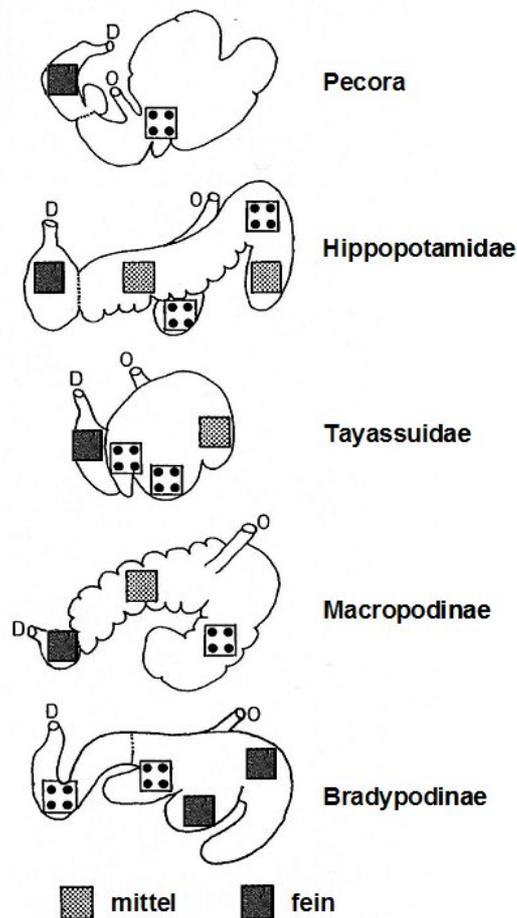


Abb. 9: Verteilung von groben, mittleren und feinen Partikeln im Vormagen herbivorer Säuger (nach LANGER 1988)

2.6.2 Dickdarmfermentierer

Mit einer bisher bekannten Ausnahme, den Equiden (BJÖRNHAG et al. 1984), nutzen ausschließlich kleine Dickdarmfermentierer, die eine andere Verdauungsstrategie verfolgen als große Dickdarmfermentierer (s.h. hierzu 2.1.2), selektive Partikelretention zur Erhöhung der Faserverdauung. Im Gegensatz zu den Wiederkäuern werden hierbei allerdings feine Partikel länger zurückgehalten. Bei vielen Caecum- u. Colonfermentieren wurde selektive Partikelretention im Caecum dargestellt (z.B. BJÖRNHAG 1972, LAPLACE und LEBAS 1977, LANYON und SANSON 1986b, FOLEY und CORK 1992, VISPO und HUME 1995, POTTER et al. 2006). Beispielsweise fanden LANYON und SANSON (1986b) bei Koalas einen größeren Anteil an feinen Partikeln im proximalen Caecum als im Magen und proximalen Colon. Obwohl sehr alte Tiere insgesamt vergleichsweise mehr größere Partikel aufwiesen, wurde im Caecum gleichzeitig nur ein sehr geringer Anstieg an

groben Partikeln festgestellt, was somit auf einen selektiven Retentionsmechanismus hinweist. VISPO und HUME (1995) fanden im Caecum von Baumstachelschweinen einen größeren Anteil feiner Partikel und einen geringeren Anteil grober Partikel als im Magen und Colon. Bei kanadischen Bibern verhielt es sich genauso, womit für beide Spezies selektive Retention feiner Partikel im Blinddarm nachgewiesen werden konnte. BJÖRNHAG (1972) sowie LAPLACE und LEBAS (1977) beschreiben selektive Retention von feinem Material im Blinddarm von Kaninchen.

Seekühe scheinen vom generellen Muster abzuweichen. LANYON und SANSON (2006) demonstrierten bei drei gestrandeten Gabelschwanzseekühen (*Dugong dugong*) eine kontinuierliche Abnahme der Partikelgröße entlang des Magen-Darm-Trakts (Abb. 10). Dies ist vermutlich weniger auf bestimmte Merkmale zurückzuführen, als vielmehr darauf, dass sich Seekühe von aquatischen Futterpflanzen ernähren, die im Gegensatz zu terrestrischen Pflanzen mechanisch leichter zerstörbar sind (LANYON und SANSON 2006), weshalb man eine deutliche Abnahme der Partikelgröße durch die Reibeffekte im Zuge der Passage erwarten kann.

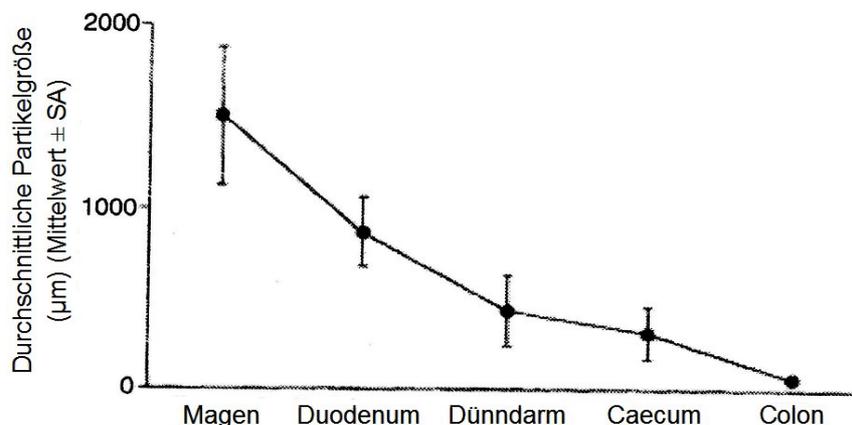


Abb. 10: Durchschnittliche Partikelgröße im Verdauungstrakt von Gabelschwanzseekühen (n=3) (nach LANYON und SANSON 2006)

2.6.3 Vögel und Reptilien

Obwohl bei Vögeln mehrfach Retention von Flüssigkeit und feinen Partikel im Caecum beschrieben wurde (z.B. CLEMENS et al. 1975, GASAWAY et al. 1975, HERD 1985), existieren quantitative Daten bislang nur von Kiwis (POTTER et al. 2006). POTTER et al. (2006) analysierten den Inhalt von Muskelmagen, Dünndarm, Blinddarm und Rektum bei braunen Kiwis (*Apteryx mantelli*) und fanden anteilig am

meisten große Partikel im Muskelmagen und die meisten feinen Partikel im Caecum. Dies steht im Widerspruch zu den Ergebnissen von MOORE (1999), die die größten Partikel im Drüsenmagen fand, während sich die Partikelgrößen im Muskelmagen von denen im Dünndarm kaum unterschieden (Abb. 11). Vermutlich handelt es sich in der Studie von POTTER et al. (2006) um Mageninhalt - also den Inhalt von Drüsen- und Muskelmagen -, da einerseits der englische Begriff „gizzard“ für beides verwendet wird, und keine gesonderte Partikelanalyse des Drüsenmageninhalts durchgeführt wurde.

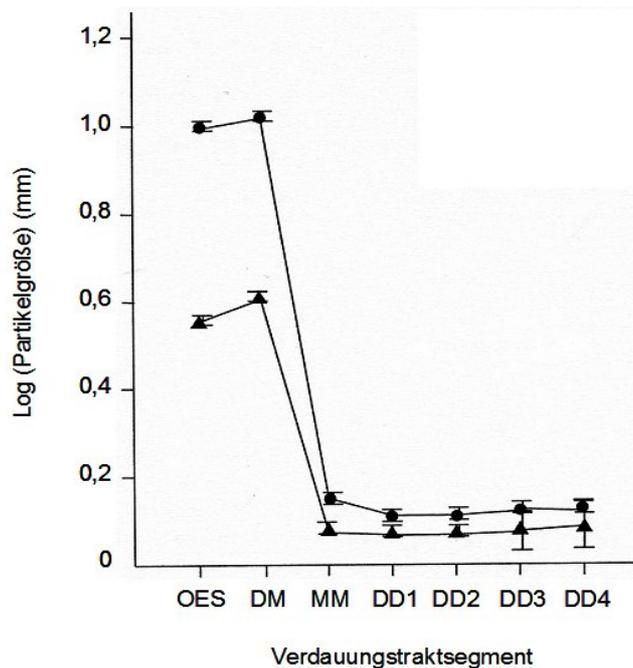


Abb. 11: Partikelgröße ausgedrückt als Mittelwert (\pm SA) der einzelnen Abschnitte des Verdauungstrakts von Gänsen nach Fütterung von 10 cm langen Grasspartikeln (nach MOORE 1999)

▲ = Partikellänge, ● = Partikelbreite, OES = Ösophagus, DM = Drüsenmagen, MM = Muskelmagen, DD1-DD4 = Dünndarmabschnitte

Bei Reptilien konnte gezeigt werden, dass sich im Magen von ägyptischen Dornschwanzagamen (*Uromastix aegypticus*) signifikant mehr große Partikel (> 2 mm, ca. 78%) befinden als im Caecum und im Kot (ca. 17-22%). Die Partikelverteilungen im Caecum, proximalen Colon und Kot waren vergleichbar, wodurch sich kein Hinweis auf selektive Partikelretention im Darm für diese Spezies ergibt (FOLEY et al. 1992). Allerdings zeigte eine Untersuchung von GUARD (1980), dass herbivore Schildkröten und Leguane große Partikel länger im Dickdarm retinieren als kleine.

2.7 Übersicht über bisher erfolgte vergleichenden Analysen

Bislang wurden nur wenige vergleichende Untersuchungen zur Kotpartikelgröße über eine größere Speziesbandbreite bei Herbivoren durchgeführt (UDEN und VAN SOEST 1982a, FUJIKARA et al. 1989, OKAMOTO 1997a, CLAUSS et al. 2002). Mehrfach wurden vereinzelt Kotpartikelgrößen bei verschiedenen Spezies gemessen (z.B. GRENET et al. 1984, DUNBAR und BOSE 1991, FREUDENBERGER und HUME 1992); zwei Studien beschreiben den Zusammenhang zwischen der Kotpartikelgröße und der KM innerhalb einer Spezies (BAE et al. 1981, ZUMBROCK 2002). Bei den verschiedenen Studien scheint es einen Trend zu geben, der mit der Körpermasse zusammenhängt.

Die Partikelgrößen wurden - mit einer Ausnahme (DUNBAR und BOSE 1991) - in jeder der folgenden Studien mittels Siebanalyse bestimmt. Gemessen wurde also die Passagefähigkeit der Partikel durch ein Sieb mit bestimmter Porengröße. Für näheres zur Analytik und Darstellungsweise von Partikelgrößen sei auf die Diskussion (4.1.5 und 4.1.6) verwiesen. Aufgrund der unterschiedlichen Darstellungsweisen der durchschnittlichen Partikelgrößen (MOF, Mittelwert, Partikelgrößenindex, mittlere Partikellänge) als auch der verwendeten Siebgrößen in den verschiedenen Publikationen ist es nicht möglich, die Ergebnisse in einer Übersicht vergleichend zusammenzufassen. In einigen Publikationen (z.B. PALOHEIMO et al. 1968, FUJIKARA et al. 1989) wurden zudem lediglich die Verteilungen der einzelnen Partikelgrößenfraktionen beschrieben und darüber hinaus kein Durchschnittswert für die Partikelgröße bestimmt, was einen Vergleich zusätzlich erschwert. Die verschiedenen Studien werden daher im folgenden einzeln vorgestellt.

2.7.1 Vergleiche von Vormagen- und Dickdarmfermentierern

OKAMOTO (1997a) verglich die durchschnittliche Kotpartikelgröße (dargestellt als MOF) von jeweils einem Rind, Schaf, Giraffe, Kamel, Lama, Flusspferd (Vormagenfermentierer) sowie einem Pferd und Tapir (Dickdarmfermentierer). Die größten Kotpartikel ergaben sich für das Pferd und das Flusspferd, mit einem Anteil an großen Partikeln von ca. 60%, die feinsten Kotpartikel ergaben sich für das Lama mit einem Anteil an feinen Partikeln von ca. 90%.

Im allgemeinen zeigten die Wiederkäuer – die echten und die Kameliden – feinere Kotpartikel als die Nicht-Wiederkäuer, mit einer Ausnahme, dem Tapir, dessen Kotpartikel in dieser Studie größtmäßig mit denen der Wiederkäuer vergleichbar war (Abb. 12). Allerdings ist zu beachten, dass insbesondere das Tapir in dieser Studie einen hohen Anteil an nicht-strukturiertem Futter in seiner Nahrung aufwies (OKAMOTO 1997b).

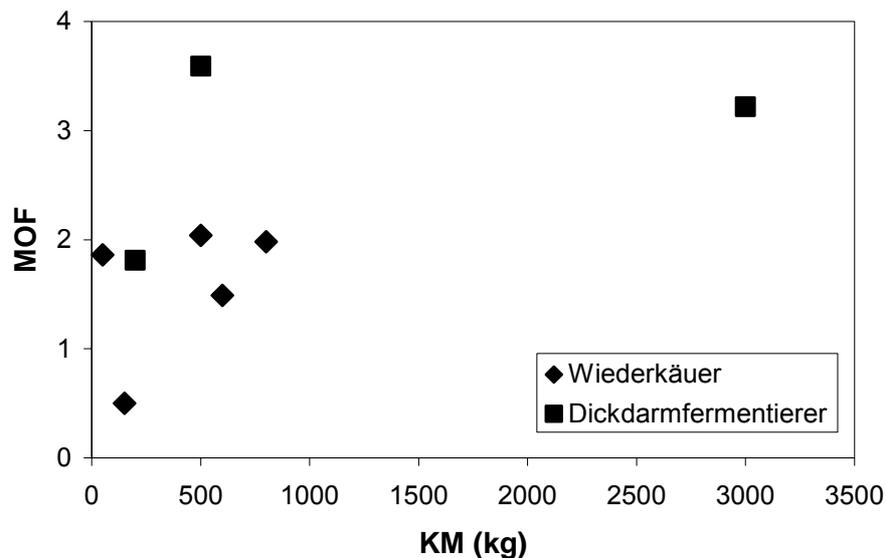


Abb. 12: Zusammenhang zwischen Kotpartikelgröße (MOF) und Körpermasse (kg) bei Wiederkäuern (Giraffe, Kamel, Lama, Rind, Schaf) und Dickdarmfermentierern (Flusspferd, Tapir, Pferd) nach OKAMOTO (1997)

UDEN und VAN SOEST (1982a) verglichen die Kotpartikelgrößen (dargestellt als Partikelgrößenindex) von Rindern, Schafen, Ziegen, Pferden und Kaninchen. Pferde hatten größere Kotpartikel als Wiederkäuer und Kaninchen; die Partikelgröße der Kaninchen war zu der von Schafen und Ziegen vergleichbar (Abb. 13).

Auch GRENET et al. (1984) fanden für Pferde eine deutlich höhere durchschnittliche Kotpartikelgröße (dargestellt als Mittelwert) (1,8 mm), als bei Schafen (0,3 mm), und PALOHEIMO et al. (1968) demonstrierten einen geringeren Anteil an feinen Partikeln im Kot von Pferden verglichen mit Rindern und Schafen.

FUJIKARA et al. (1989) verglichen die Partikelverteilungen im Kot von Vormagenfermentierern (Rind, Kamel, Wallabies) und Dickdarmfermentierern (Elefant, Pferde, Koalas). Sie fanden ein ähnliches Verteilungsschema der verschiedenen Partikelfractionen bei allen untersuchten Spezies mit Ausnahme des Elefanten, der einen höheren Anteil sehr großer Partikel (>2360 µm) aufwies, die bei

den anderen nicht vorkamen. Es sei angemerkt, dass teilweise zu großen Anteilen auch unstrukturiertes Futter gefüttert wurde, was bei Wiederkäuern zu größeren Kotpartikel führen kann (JASTER und MURPHY 1983), bei anderen Säugetieren hingegen vermutlich zu kleineren Kotpartikeln führt, so dass die Unterschiede zwischen den Tiergruppen in dieser Studie vermutlich aus diesem Grund nivelliert sind. Die Wiederkäuer zeigten einen geringeren Anteil großer Partikel ($>1180 \mu\text{m}$) als nicht-wiederkauende Vormagenfermentierer. Das gleiche fanden auch FREUDENBERGER und HUME (1992) bei einem Vergleich von Ziegen und Kängurus. Somit leistet der Wiederkauakt einen entscheidenden Beitrag zur effizienteren Nahrungszerkleinerung.

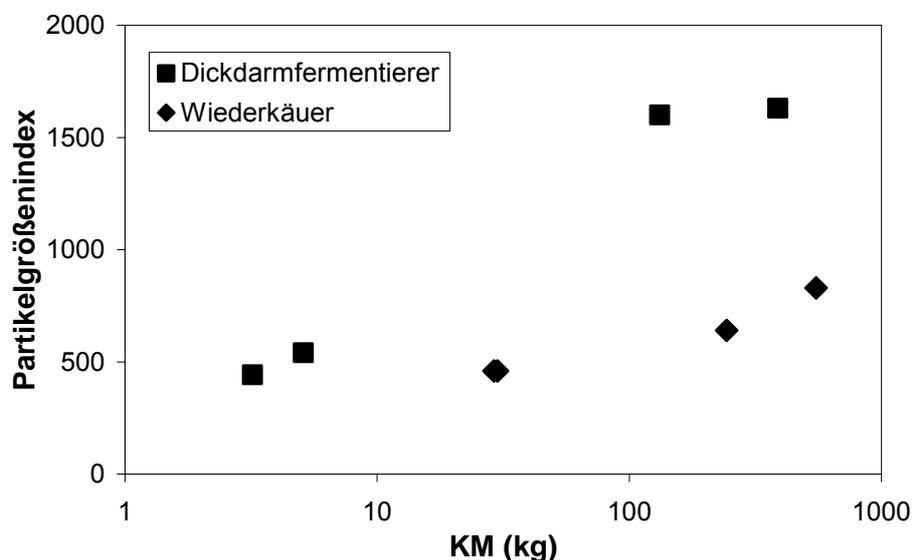


Abb. 13: Zusammenhang zwischen Kotpartikelgröße (Partikelgrößenindex) und Körpermasse (kg, logarithmiert) bei Dickdarmfermentierern (Kaninchen, Pferde) und Wiederkäuern (Rinder, Schafe, Ziegen) nach UDEN und VAN SOEST (1982a)

DUNBAR und BOSE (1991) fielen in einer vergleichenden Untersuchung zwischen Rindern, Steppenzebras (*Equus burchelli*) und zwei Primaten-Spezies (*Dschelada Theropithecus gelada*, Anubispavian *Papio anubis*) auf, dass die herbivoren Dscheladas eine durchschnittliche Kotpartikelgröße (dargestellt als mittlere Länge, bestimmt durch optisches Verfahren) aufwiesen, die mit der von Zebras vergleichbar ist, während die omnivoren Anubispaviane deutlich größere Partikel in ihrem Kot hatten. Rinder hatten mit Abstand die feinsten Partikel in dieser Studie. Die an sich bemerkenswerte Tatsache, dass Zebras trotz zwölfmal größerer Körpermasse (200-

250 kg) ihr Futter nahezu ebenso fein zerkauten wie die Dscheladas (14-21 kg), blieb von den Autoren unerwähnt.

2.7.2 Vergleiche verschiedener Ernährungstypen

Eine umfassende Kotpartikelgrößenanalyse von CLAUSS et al. (2002) von 81 Wiederkäuerspezies brachte hervor, dass Laubäser größere Partikel (dargestellt als MOF) als Intermediärtypen und Grasäser haben (Abb.14).

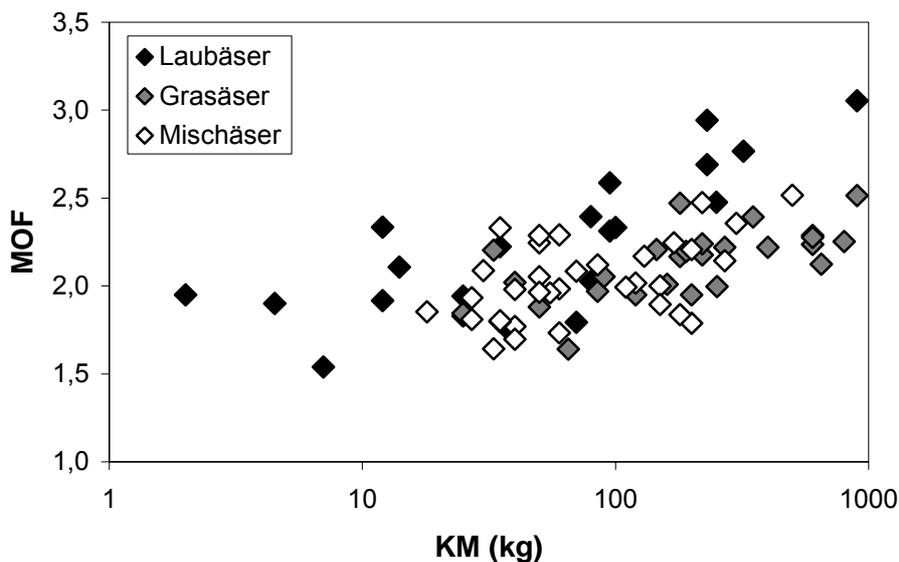


Abb. 14: Zusammenhang zwischen Kotpartikelgröße (MOF) und Körpermasse (kg, logarithmiert) bei Wiederkäuern (81 Spezies) nach CLAUSS et al. (2002)

Obwohl der Einfluss der Körpermasse nicht untersucht wurde, lässt sich ein Trend erkennen, nach dem größere Tiere anscheinend größere Kotpartikel haben. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von UDEN und VAN SOEST (1982a), die bei Wiederkäuern im Pansen und Kot eine Abnahme der Kotpartikelgröße mit der Körpermasse demonstrierten.

Der Unterschied zwischen den verschiedenen Äsungstypen konnte auch bei Nicht-Wiederkäuern demonstriert werden. So wurden bei Kängurus aus dem Mageninhalt von drei blattfressenden Arten ebenfalls im Durchschnitt größere Partikel bestimmt als in dem einer grasfressenden Art (LENTLE et al. 2003).

2.7.3 Vergleiche innerhalb einer Spezies

ZUMBROCK (2002) untersuchte die Kotpartikelgröße (Hartkot) von Kaninchen verschiedener Rassen. Dabei zeigte sich, dass Zwergkaninchen (Durchschnittsgewicht 2 kg) verglichen mit Neuseeländern (Durchschnittsgewicht 4,5 kg) und deutschen Riesen (Durchschnittsgewicht 7,3 kg) den geringsten Anteil an groben Partikeln haben, was einen Einfluss der Körpermasse auf die Kotpartikelgröße vermuten lässt.

Im Gegensatz dazu konnten BAE et al. (1983) bei ihrer Untersuchung der Kotpartikelgrößen verschiedener Rinderrassen unterschiedlicher Gewichtsklassen keinen signifikanten Unterschied finden. Sie vermuteten, dass der Schwellenwert, mit dem die Partikel den Pansen verlassen, sich nicht bei verschiedenen Körpergewichtsklassen unterscheidet. Dies steht jedoch im Widerspruch zu dem angedeuteten Trend aus der Studie von CLAUSS et al. (2002), ließe sich aber möglicherweise dadurch erklären, dass BAE et al. zwar verschiedene Rassen aber nur eine Spezies untersuchten, und sich ein signifikanter Unterschied möglicherweise nur im zwischenartlichen Vergleich zeigt.

3 Eigene Untersuchungen

3.1 Studienziel

Die vorliegende Studie hat das Ziel, vergleichbare Daten von Pflanzenfressern unterschiedlichster Körpergröße und phylogenetischer Zugehörigkeit zu erheben, um den Zusammenhang zwischen der Körpermasse und der Kotpartikelgröße (als Maß für die Zerkleinerung der Nahrung) quantitativ darstellen zu können – sowohl im Vergleich verschiedener Arten als auch innerhalb bestimmter Arten, bei denen ein breites Körpermassen-Spektrum abgedeckt werden kann (wie z. B. Hauspferde oder Elefanten).

Dabei sollen auch systematische Unterschiede (z. B. zwischen Wiederkäuern und Nicht-Wiederkäuern, zwischen Säugetieren, Vögeln und Reptilien etc.) quantitativ herausgearbeitet und Spezies, die vom generellen Muster abweichen – wie z. B. die herbivoren Vertreter der „Carnivora“, der große und der kleine Panda, identifiziert werden.

Die ermittelten Ergebnisse sollen mit veröffentlichten Angaben zu Verdauungsleistungen und zu anatomischen Beschreibungen der Gebisse in Bezug gesetzt werden.

Bei Tieren, von denen Inhalt verschiedener Darmabschnitte verfügbar war, soll zu dem untersucht werden, ob sich anhand der Siebergebnisse eine selektive Retention feiner Partikel im Blinddarm demonstrieren lässt, so wie dies in der Literatur für verschiedene Nager und auch das Pferd beschrieben ist.

In einigen Fällen war es darüber hinaus möglich, Spezies aus freier Wildbahn und in Menschenobhut hinsichtlich der Kotpartikelgröße zu vergleichen und hierdurch den Einfluß der in Menschenobhut veränderten Fütterung darzustellen.

3.2 Material und Methoden

3.2.1 Versuchsplan

Insgesamt wurden Kotproben von 130 verschiedenen Säugerspezies, 12 verschiedenen Reptilienspezies, 14 verschiedenen Vogelspezies sowie eine Probe einer Schmetterlingsraupe in einem standardisierten Naß-Siebeverfahren mittels Siebmaschine analysiert (POPPI et al. 1980, CLAUSS et al. 2002).

Von 9 Spezies standen zusätzlich Proben von Magen- und/oder Caecuminhalt zur Verfügung. Von 8 Spezies (darunter zwei Reptilienspezies) konnten Proben für einen Vergleich Zootierhaltung – freie Wildbahn gesammelt werden.

Des Weiteren standen Daten aus verschiedenen Studien zur Verfügung, welche mit den gleichen Siebgrößen erhoben wurden und daher mit in diese Studie einbezogen werden. Die durchschnittlichen Kotpartikelgrößen wurden eigens anhand der Rohdaten dieser Studien ermittelt. Diese sind:

- Daten von 81 Wiederkäuerspezies aus CLAUSS et al. (2002)
- Daten von Spitzmaulnashörnern aus CASTELL (2004)
- Daten von Flusspferden (Zootierhaltung und freie Wildbahn) und Zwergflusspferden aus CLAUSS et al. (2004a, b)
- Daten von Halsbandpekaris (Zootierhaltung und freie Wildbahn) aus SCHWARM et al. (2005)

Unter Einbeziehung der Spezies aus den o.g. Studien wurden die durchschnittlichen Kotpartikelgrößen von insgesamt 205 Säugerspezies ermittelt und miteinander verglichen. Die gesamte Anzahl aller im Rahmen dieser Studie untersuchten Proben beträgt über 1100.

3.2.2 Probengewinnung

3.2.2.1 Herkunft der Proben

Die Sammlung der Kotproben erfolgte in verschiedenen Zoologischen Gärten; der Grossteil der Proben wurde dabei persönlich in Absprache mit den entsprechenden Tierpflegern gesammelt. Ein geringerer Teil der Proben wurde aus den verschiedenen Zoologischen Institutionen zugeschickt.

Aus folgenden Einrichtungen wurden Proben gesammelt:

- Münchener Tierpark Hellabrunn
- Haupt- und Landgestüt Schwaiganger
- Tiergarten Nürnberg
- Zoo Berlin
- Tierpark Berlin-Friedrichsfelde
- Zoologischer Garten Köln
- Zoo Duisburg
- Zoologischer Garten Wuppertal
- Vogelpark Walsrode
- Zoologischer Garten Leipzig
- Zoologischer Garten Zürich, Schweiz
- Zoologischer Garten Basel, Schweiz
- Tiergarten Schönbrunn Wien, Österreich
- Zoo Dvur Kralove, Tschechien
- Testudo-Farm, Sardinien
- Zoo Aquarium de Madrid, Spanien
- Al Wabra Wildlife Preservation, Qatar

Außerdem wurden Proben von Tierärzten, Züchtern und privaten Tierhaltern zur Verfügung gestellt. Zusätzlich konnten durch verschiedene Kontakte Proben von Tieren aus freier Wildbahn gesammelt werden. Dieses waren Kotproben von Bibern aus Deutschland, Proben von Tapirkot aus Brasilien, Feldhasenkotproben aus Österreich, Giraffenkotproben aus Südafrika, Kotproben von Nacktnasenwombats sowie östlichen grauen Riesenkängurus aus Australien, Proben von Magen-, Caecum- und Coloninhalt von zwei Rennmausspezies aus der Mongolei und Kotproben von griechischen und maurischen Landschildkröten aus Sardinien.

3.2.2.2 Artenspektrum

Aus der Gruppe der Säugetiere wurde Kot von Vertretern der Beuteltiere, Primaten, Nebengelenktiere, Nagetiere, Raubtiere (großer und kleiner Panda), Hasentiere, Rüsseltiere, Seekühe, Schliefer sowie Unpaar- und Paarhufer untersucht. Bei den Wiederkäuern wurden nur exemplarisch einige Spezies beprobt, da die Rohdaten einer vergleichbaren Studie über 81 Wiederkäuerspezies von CLAUSS et al. (2002)

mit in diese Studie einbezogen werden konnten. Aus der Gruppe der Vögel wurden v.a. Kotproben von Laufvögeln, Wehrvögeln und Gänsen, und aus der Reptiliengruppe von Leguanen, Skinks und Landschildkröten untersucht.

Tabelle 2 zeigt die taxonomische Einordnung (WOLTERS 1982, GRZIMEK 1989, SAVAGE 2002, PERRINS 2004, NOWAK 2005) der untersuchten Spezies, mit der Anzahl der Gesamtprobenzahl der jeweiligen Spezies, unterteilt in Proben, die in zoologischen Einrichtungen und in freier Wildbahn genommen wurden, sowie Proben von Magen- bzw. Blinddarminhalt. Die Anzahl der Proben, die dabei aus der Studie von CLAUSS et al. (2002) mit in die vorliegen Studie einbezogen wurden, ist in Klammern angegeben.

Tab. 2: Taxonomie der untersuchten Spezies mit Angabe der Probenanzahl

Z=Zootierhaltung, FW=Freie Wildbahn, M=Mageninhalt, C=Caecuminhalt

		Probenanzahl			
		Z	FW	M	C
Klasse MAMMALIA					
U.K. Beutelsäuger (<i>Metatheria</i>)					
O. Beutelrattenartige (<i>Didelphimorphia</i>)					
F. Beutelratten (<i>Didelphidae</i>)					
Hausspitzmaus-Beutelratte	<i>Monodelphis domestica</i>	2			
O. Beuteltiere (<i>Diprotodontia</i>)					
F. Beutelbären (<i>Phascolarctidae</i>)					
Koala	<i>Phascolarctus cinereus</i>	5			
F. Plumpbeutler (<i>Vombatidae</i>)					
Nacktnasewombat	<i>Vombatus ursinus</i>	3	3		
F. Rattenkängurus (<i>Potoroidae</i>)					
Bürstenrattenkänguru	<i>Bettongia penicillata</i>	2			
F. Eigentliche Kängurus (<i>Macropodidae</i>)					
Sumpfwallaby	<i>Wallabia bicolor</i>	2			
Flinkwallaby	<i>Macropus agiles</i>	2			
Parmawallaby	<i>Macropus parma</i>	2			
Benettwallaby	<i>Macropus rufogriseus rufogriseus</i>	3			
Rotes Riesenkänguru	<i>Macropus rufus</i>	2			
Westliches graues Riesenkänguru	<i>Macropus fuliginosus</i>	1			
Östliches graues Riesenkänguru	<i>Macropus giganteus</i>	3	6		
Matschie-Baumkänguru	<i>Dendrolagus matschiei</i>	3			
U.K. Höhere Säugetiere (<i>Eutheria</i>)					
O. Primaten (<i>Primates</i>)					
U.O. Halbaffen (<i>Prosimiae</i>)					
F. Eigentliche Lemuren (<i>Lemuridae</i>)					
Alaotra-Halbmaki	<i>Haplemur griseus alaotrensis</i>	1			
Roter Vari	<i>Varecia variegata rubra</i>	4			
Katta	<i>Lemur catta</i>	3			

Fortsetzung Tab. 2: Taxonomie der untersuchten Spezies mit Angabe der Probenanzahl

		Probenanzahl			
		Z	FW	M	C
U.O. Affen (<i>Simiae</i>)					
T.O. Neuweltaffen (<i>Platyrrhini</i>)					
F. Kapuzinerartige (<i>Cebidae</i>)					
Weisskopfsaki	<i>Pithecia pithecia</i>	2			
Brüllaffe	<i>Alouatta palliata</i>	1			
Wollaffe	<i>Lagothrix lagotricha</i>	2			
T.O. Altweltaffen (<i>Catarrhini</i>)					
F. Meerkatzenverwandte (<i>Cercopithecidae</i>)					
Mandrill	<i>Mandrillus sphinx</i>	2			
Dschelada	<i>Theropithecus gelada</i>	6			
Berberaffe/Magot	<i>Macaca sylvana</i>	1			
Vervetmeerkatze	<i>Cercopithecus pygerythrus</i>	1			
Hulman/Hanumanlangur	<i>Presbytis entellus</i>	2			
Brillenlangur	<i>Presbytis obscurus</i>	1			
Haubenlangur	<i>Presbytis cristata</i>	3			
Kleideraffe	<i>Pygathrix nemaeus</i>	5			
F. Kleine Menschenaffen (<i>Hylobatidae</i>)					
Siamang	<i>Hylobates syndactylus</i>	4			
Weißhandgibbon	<i>Hylobates lar</i>	2			
Silbergibbon	<i>Hylobates lar moloch</i>	2			
F. Große Menschenaffen (<i>Pongidae</i>)					
Gorilla	<i>Gorilla gorilla</i>	8			
Orang-Utan	<i>Pongo pygmaeus</i>	5			
Schimpanse	<i>Pan troglodytes</i>	5			
Bonobo	<i>Pan paniscus</i>	5			
O. Nebengelenktiere (<i>Xenartha</i>)					
Zweifingerfaultier	<i>Choloepus didactylus</i>	5			
O. Nagetiere (<i>Rodentia</i>)					
F. Hörnchen (<i>Sciuridae</i>)					
Alpenmurmeltier	<i>Marmota marmota</i>	1			
Steppenmurmeltier	<i>Marmota bobac</i>	1			
Grauhörnchen	<i>Sciurus carolinensis</i>	1			
Costa-Rica Grauhörnchen	<i>Sciurus</i>	1			
Kap-Borstenhörnchen	<i>Xerus inauris</i>	1			
Präriehund	<i>Cynomys ludovicianus</i>	1			
F. Biber (<i>Castoridae</i>)					
Europäischer Biber	<i>Castor fiber</i>		3		
Kanadischer Biber	<i>Castor canadensis</i>	2			
F. Springhasen (<i>Pedetidae</i>)					
Springhase	<i>Pedetes capensis</i>	1			
F. Springmäuse (<i>Dipodidae</i>)					
Wüstenspringmaus	<i>Jaculus jaculus</i>	1			

Fortsetzung Tab. 2: Taxonomie der untersuchten Spezies mit Angabe der Probenanzahl

		Probenanzahl			
		Z	FW	M	C
F. Echte Mäuse (<i>Muridae</i>)					
Hausmaus	<i>Mus musculus</i>	1			
Eurasische Zwergmaus	<i>Micromys minutus</i>	2			
Mehrstreifen-Grasmaus	<i>Lemniscomys barbarus</i>	1			
Goldstachelmaus	<i>Acomys russatus</i>	2			
Vielzitzenmaus	<i>Mastomys natalensis</i>	1			
Nilgrasratte	<i>Arvicanthis niloticus</i>	1			
F. Wühler (<i>Cricetidae</i>)					
U.F. Hamster (<i>Cricetinae</i>)					
Chinesischer Zwerghamster	<i>Cricetulus griseus</i>	1			
Dsungarischer Zwerghamster	<i>Phodopus sungorus</i>	3			
Roborowski Zwerghamster	<i>Phodopus roborovskii</i>	2			
U.F. Madagaskar-Ratten (<i>Nesomyinae</i>)					
Madagaskar-Ratte (Votsotsa)	<i>Hypogeomys antimena</i>	2			
U.F. Wühlmäuse (<i>Arvicolinae</i>)					
Schilfwühlmaus	<i>Microtus fortis</i>	1			
Steppenwühlmaus	<i>Microtus brandti</i>	1			
U.F. Rennmäuse (<i>Gerbillinae</i>)					
Mongolische Rennmaus	<i>Meriones unguiculatus</i>		11	9	8
Mittagsrennmaus	<i>Meriones meridianus</i>		13	8	9
Blaue Rennmaus	<i>Gerbillus perpallidus</i>	2			
Buschschwanzrennmaus	<i>Skeetamys calurus</i>	1			
U.F. Hamsterratten (<i>Cricetomyinae</i>)					
Emin-Riesenhamsterratte	<i>Cricetomys emini</i>	1			
F. Bilche oder Schläfer (<i>Glirinae</i>)					
Afrikanischer Zwergschläfer	<i>Graphiurus murinus</i>	1			
F. Gundis (<i>Ctenodactylidae</i>)					
Gundi	<i>Ctenodactyles gundi</i>	1			
F. Stachelschweine (<i>Hystricidae</i>)					
Gewöhnliches Stachelschwein	<i>Hystix cristata</i>	5			
Südafrikanisches Stachelschwein	<i>Hystrix africaeaustralis</i>	1			
Weißschwanz-Stachelschwein	<i>Hystrix leucura</i>	2			
Afrikanischer Quastenstachler	<i>Atherurus africanus</i>	1			
F. Felsenratten (<i>Petromuridae</i>)					
Felsenratte	<i>Petromus typicus</i>	1			
F. Sandgräber (<i>Bathyergidae</i>)					
Nacktmull	<i>Heterocephalus glaber</i>	2			
F. Hasenmäuse (<i>Chinchillidae</i>)					
Viscacha	<i>Lagostomus maximus</i>	11		6	6 ^a
Chinchilla	<i>Chinchilla</i>	3			
F. Meerschweinchen (<i>Caviidae</i>)					
U.F. Eigentliche Meerschweinchen (<i>Caviinae</i>)					
Hausmeerschweinchen	<i>Cavia aperea f. porcellus</i>	6			
Wildmeerschweinchen	<i>Cavia aperea</i>	3			
Wieselmeerschweinchen	<i>Galea musteloides</i>	1			
Bergmeerschweinchen	<i>Kerodon rupestris</i>	1			

Fortsetzung Tab. 2: Taxonomie der untersuchten Spezies mit Angabe der Probenanzahl

		Probenanzahl			
		Z	FW	M	Z
U.F. Maras (<i>Dolichotinae</i>)					
Großes Mara (Pampashase)	<i>Dolichotis patagonum</i>	5			
F. Riesennager (<i>Hydrochaeridae</i>)					
Wasserschwein (Capybara)	<i>Hydrochaerus hydrochaeris</i>	3			
F. Agutis (<i>Dasyproctidae</i>)					
Aguti	<i>Dasyprocta</i>	1			
Goldagouti	<i>Dasyprocta leporina</i>	2			
Azara-Aguti	<i>Dasyprocta azarae</i>	1			
F. Trugratten (<i>Octodontidae</i>)					
Degu	<i>Octodon degus</i>	2			
Cururo	<i>Spalacopus cyanus</i>	1			
F. Baum- und Ferkelratten (<i>Capromyidae</i>)					
Kuba-Baumratte	<i>Capromys pilorides</i>	3			
F. Biberratten (<i>Myocastoridae</i>)					
Nutria (Sumpfbiber)	<i>Myocastor coypus</i>	5			
O. Raubtiere (<i>Carnivora</i>)					
F. Katzenbären (<i>Ailuridae</i>)					
Kleiner Panda	<i>Ailurus fulgens</i>	5			
F. Bambusbären (<i>Ailuropodidae</i>)					
Großer Panda	<i>Ailuropoda melanoleuca</i>	8 ^b			
O. Hasentiere (<i>Lagomorpha</i>)					
F. Hasenartige (<i>Leporidae</i>)					
Hauskaninchen	<i>Oryctolagus cuniculus f. domestica</i>	5		5	6 ^c
Europäischer Feldhase	<i>Lepus europaeus</i>		5		
O. Rüsseltiere (<i>Proboscidae</i>)					
F. Elefanten (<i>Elephantidae</i>)					
Afrikanischer Elefant	<i>Loxodonta africana</i>	12		1	1
Asiatischer Elefant	<i>Elephas maximus</i>	18 ^d		1 ^d	2 ^d
O. Seekühe (<i>Sirenia</i>)					
F. Rundschwanz-Seekühe (<i>Trichechidae</i>)					
Nagelmanati, Seekuh	<i>Trichecus manatus</i>	5			
O. Schliefer (<i>Hyracoidea</i>)					
F. Schliefer i.e.S. (<i>Procaviidae</i>)					
Kap-Klippschliefer	<i>Procavia capensis</i>	2			
O. Unpaarhufer (<i>Perissodactyla</i>)					
F. Pferde (<i>Equidae</i>)					
Böhm-Steppenzebra	<i>Equus quagga boehmi</i>	6			
Chapman-Steppenzebra	<i>Equus quagga chapmani</i>	5			
Damara-Steppenzebra	<i>Equus quagga antiquorum</i>	3			

Fortsetzung Tab. 2: Taxonomie der untersuchten Spezies mit Angabe der Probenanzahl

		Probenanzahl			
		Z	FW	M	Z
Burchell-Steppenzebra	<i>Equus quagga burchelli</i>	2			
Hartmann-Bergzebra	<i>Equus zebra hartmannae</i>	5			
Grevy-Zebra	<i>Equus grevyi</i>	5			
Somali Wildesel	<i>Equus africanus somalicus</i>	4			
Hausesel (4 Rassen)	<i>Equus africanus f. asinus</i>	11			
Onager	<i>Equus hemionus onager</i>	2			
Kulan	<i>Equus hemionus kulan</i>	5			
Kiang	<i>Equus hemionus kiang</i>	6			
Przewalzki-Pferd, Urwildpferd	<i>Equus przewalskii</i>	5	8		
Hauspferd (9 Rassen)	<i>Equus przewalskii f. caballus</i>	37			
F. Tapire (<i>Tapiridae</i>)					
Schabrackentapir	<i>Acrocodia indica</i>	5			
Flachlandtapir	<i>Tapirus terrestris</i>	10	5		
F. Nashörner (<i>Rhinocerotidae</i>)					
Breitmaulnashorn	<i>Ceratotherium simun</i>	8			
Spitzmaulnashorn	<i>Diceros bicornis</i>	12			
Panzernashorn	<i>Rhinoceros unicornis</i>	6			
O. Paarhufer (<i>Artiodactyla</i>)					
U.O. Nichtwiederkäuer (<i>Nonruminantia</i>)					
F. Schweine (<i>Suidae</i>)					
Warzenschwein	<i>Phacochoerus aethiopicus</i>	5			
Babirusa (Hirscheber)	<i>Babirusa babirusa</i>	3			
F. Pekaris (<i>Tayassuidae</i>)					
Halsbandpekari	<i>Tayassu tajacu</i>	5 ^e	6 ^e		
F. Flußpferde (<i>Hippopotamidae</i>)					
Flußpferd	<i>Hippopotamus amphibius</i>	10 (4) ^f	10		
Zwergflußpferd	<i>Hexaprotodon liberiensis</i>	8 (4) ^f			
U.O. Schwielensohler (<i>Tylopoda</i>)					
F. Kamele (<i>Camelidae</i>)					
Dromedar	<i>Camelus dromedarius</i>	5			
Trampeltier	<i>Camelus ferus</i>	5			
Vikunja	<i>Lama vikugna</i>	5			
Guanaco	<i>Lama guanicoe</i>	5			
Alpaka	<i>Lama guanicoe f. pacos</i>	5			
Lama	<i>Lama guanicoe f. glama</i>	5			
U.O. Wiederkäuer (<i>Ruminantia</i>)					
F. Hirschferkel (<i>Tragulidae</i>)					
Kleinkantschil	<i>Tragulus javanicus</i>	5 (1)			
F. Hirsche (<i>Cervidae</i>)					
U.F. Muntjakhirsche (<i>Muntiacinae</i>)					
Chinesischer Muntjak	<i>Muntiacus reevesi</i>	5			
Indischer Muntjak	<i>Muntiacus muntjak</i>	(4)			
Schopfhirsch	<i>Elaphodus cephalophus</i>	(3)			

Fortsetzung Tab. 2: Taxonomie der untersuchten Spezies mit Angabe der Probenanzahl

		Probenanzahl			
		Z	FW	M	Z
U.F. Echthirsche (Cervinae)					
Axishirsch	<i>Axis axis</i>	(3)			
Damhirsch	<i>Dama dama</i>	(3)			
Davidshirsch	<i>Elaphurus davidianus</i>	(3)			
Indischer Sambar/Pferdehirsch	<i>Cervus unicolor</i>	(3)			
Mähnenhirsch/Timorhirsch	<i>Cervus timorensis</i>	(3)			
Barasingha/Sumpfhirsch	<i>Cervus duvauceli</i>	(4)			
Leierhirsch	<i>Cervus eldi</i>	(3)			
Sikahirsch	<i>Cervus nippon</i>	(3)			
Rothirsch	<i>Cervus elaphus</i>	(4)			
Buchara-Hirsch	<i>Cervus elaphus bactrianus</i>	(3)			
Wapiti	<i>Cervus elaphus canadiensis</i>	(3)			
Weisslippenhirsch	<i>Cervus albirostris (Prezwalskium)</i>	(7)			
U.F. Trughirsche (Odocoileinae)					
Reh	<i>Capreolus capreolus</i>	(3)			
Weißwedelhirsch	<i>Odocoileus virginianus</i>	(3)			
Schwarzwedelhirsch	<i>Odocoileus hemionus</i>	(3)			
Pampashirsch	<i>Ozotoceros beoarticus</i>	(2)			
Sumpfhirsch	<i>Blastocerus dichotomus</i>	(2)			
Südlicher Pudu	<i>Pudu pudu</i>	(2)			
Elch	<i>Alces alces</i>	(3)			
Rentier	<i>Rangifer tarandus</i>	(3)			
F. Giraffen (Giraffidae)					
Giraffe	<i>Giraffa camelopardalis</i>	17 (3)	10		
Okapi	<i>Okapia johnstoni</i>	9 (3)			
F. Gabelhorntiere (Antilocapridae)					
Gabelbock/Pronghorn	<i>Antilocapra americana</i>	(3)			
F. Hornträger (Bovidae)					
U.F. Ducker (Cephalophinae)					
Blauducker	<i>Cephalophus monticola</i>	(3)			
Rotducker	<i>Cephalopus natalensis</i>	5 (3)			
U.F. Böckchen (Neotraginae)					
Kirkdikdik	<i>Madoqua kirki</i>	2 (1)			
Klippspringer	<i>Oreotragus oreotragus</i>	4 (3)			
U.F. Waldböcke (Tragelaphinae)					
Sitatunga-Sumpfantilope	<i>Tragelaphus spekei</i>	(4)			
Nyala	<i>Tragelaphus angasi</i>	(3)			
Kleiner Kudu	<i>Tragelaphus imberbis</i>	(3)			
Grosser Kudu	<i>Tragelaphus strepsiceros</i>	(5)			
Bongo	<i>Tragelaphus euryceros</i>	(3)			
Elenantilope	<i>Tragelaphus oryx</i>	(3)			
Nilgauantilope	<i>Boselaphus tragocamelus</i>	(4)			
U.F. Rinder (Bovinae)					
Tieflandanaoa	<i>Bubalis depressicornis</i>	(2)			
Wasserbüffel	<i>Bubalus arnee</i>	(3)			

Fortsetzung Tab. 2: Taxonomie der untersuchten Spezies mit Angabe der Probenanzahl

		Probenanzahl			
		Z	FW	M	Z
Kafferbüffel	<i>Syncerus caffer</i>	(3)			
Rotbüffel	<i>Syncerus caffer nanus</i>	(3)			
Auerchse/Ur	<i>Bos primigenius</i>	4	6		
Hausrind (2 Rassen)	<i>Bos primigenius f. taurus</i>	6			
Zebu	<i>Bos primigenius indicus</i>	(3)			
Gaur	<i>Bos gaurus</i>	(3)			
Banteng	<i>Bos javanicus</i>	(3)			
Yak	<i>Bos grunniens</i>	(3)			
Bison	<i>Bison bison</i>	(3)			
Wisent	<i>Bison bonasus</i>	(3)			
U.F. Kuhantilopen (Alcelaphinae)					
Kuhantilope/Hartebeest	<i>Alcelaphus buselaphus</i>	(3)			
Blessbock	<i>Damaliscus dorcas phillipsi</i>	(3)			
Weisschwanzgnu	<i>Connochaetus gnou</i>	(3)			
U.F. Pferdeböcke (Hippotraginae)					
Pferdeantilope/Roan	<i>Hippotragus equinus</i>	(3)			
Rappenantilope	<i>Hippotragus niger</i>	(3)			
Südafrikanischer Spießbock/Onduno	<i>Oryx gazella</i>	(2)			
Ostafrikanischer Spießbock/Beisa	<i>Oryx beisa</i>	(3)			
Säbelantilope	<i>Oryx dammah</i>	(3)			
Mendesantilope	<i>Addax nasomaculatus</i>	(3)			
U.F. Ried- und Wasserböcke (Reduncinae)					
Wasserbock	<i>Kobus ellispiprymnus</i>	(3)			
Litschi-Wasserbock/Moorantilope	<i>Kobus leche</i>	(4)			
Riedbock	<i>Redunca redunca</i>	(3)			
U.F. Schwarzfersenantilopen (Aepycerotinae)					
Schwarzfersenantilope/Impala	<i>Aepyceros melampus</i>	(3)			
U.F. Springantilopen (Antilopinae)					
Damagazelle	<i>Gazella dama</i>	(2)			
Mhorgazelle	<i>Gazella dama mhor</i>	(3)			
Dorcasgazelle	<i>Gazella dorcas</i>	(3)			
Kropfgazelle	<i>Gazella subgutturosa</i>	(3)			
Hirschziegenantilope	<i>Antilope cervicapra</i>	(3)			
Giraffengazelle/Gerenuk	<i>Litocranius walleri</i>	(2)			
Springbock	<i>Antidorcas marsupialis</i>	(6)			
U.F. Saigaartige (Saiginae)					
Saiga	<i>Saiga tartarica</i>	(3)			
U.F. Gemsenartige (Rupicaprinae)					
Gemse	<i>Rupicapra rupicapra</i>	(3)			
Schneeziege	<i>Oreamnos americanus</i>	(3)			
Goral	<i>Nemorhaedus goral</i>	(3)			
Takin	<i>Budorcas taxicolor</i>	(3)			
U.F. Ziegenartige (Caprinae)					
Steinbock	<i>Capra ibex</i>	(3)			
Schraubenziege/Markohr	<i>Capra falconeri</i>	(3)			

Fortsetzung Tab. 2: Taxonomie der untersuchten Spezies mit Angabe der Probenanzahl

		Probenanzahl			
		Z	FW	M	Z
Hausziege	<i>Capra hircus</i>	(3)			
Bezoarziege	<i>Capra aegagrus</i>	(3)			
Mufflon	<i>Ovis ammon musimon</i>	(3)			
Blauschaf/Bharal	<i>Pseudois nayaur</i>	(2)			
Kreishornschaf	<i>Ovis ammon cycloceros</i>	(3)			
Kamerunschaf (eigentlich Hausschaf)	<i>Ovis ammon aries</i>	(3)			
Moschusochse	<i>Ovibos moschatus</i>	5 (3)			
Klasse REPTILIA					
O. Squamaten (<i>Squamata</i>)					
U.O. Echsen (<i>Sauria</i>)					
F. Leguane (<i>Iguanidae</i>)					
Grüner Leguan	<i>Iguana iguana</i>	8		1	7 ^g
Nashornleguan	<i>Cyclura cornuta</i>	5			
F. Skinke (<i>Scincidae</i>)					
Wickelschwanzskink	<i>Corucia zebrata</i>	10			8 ^h
O. Wasser-, Sumpf- und Landschildkröten (<i>Testudinata</i>)					
F. Landschildkröten (<i>Testudinidae</i>)					
Aldabra-Riesenschildkröte	<i>Dipsoschelys dussumieri</i>	6			
Seychellen-Riesenschildkröte	<i>Testudo gigantea</i>	5			
Galapagos-Riesenschildkröte	<i>Geochelone nigra</i>	7			
Strahlenschildkröte	<i>Testudo radiata</i>	3			
Pantherschildkröte	<i>Testudo pardalis</i>	4			
Spornschildkröte	<i>Testudo sulcata</i>	3			
Russische Landschildkröte	<i>Testudo horsfieldii</i>	1			
Griechische Landschildkröte	<i>Testudo hermanni</i>	14	7		
Maurische Landschildkröte	<i>Testudo graeca</i>	13	5		
Klasse AVES					
O. Flachbrustvögel (<i>Struthioniformes</i>)					
U.O. Strausse (<i>Struthiones</i>)					
F. Strauße (<i>Struthionidae</i>)					
Strauß	<i>Struthio camelus</i>	5		3	3
U.O. Nandus (<i>Rheae</i>)					
F. Nandus (<i>Rheidae</i>)					
Nandu	<i>Rhea americana</i>	5			
U.O. Kasuarvögel (<i>Casuarii</i>)					
F. Kasuare (<i>Casuariidae</i>)					
Helmkasuar	<i>Casuarus casuarius</i>	2			
F. Emus (<i>Dromaiidae</i>)					
Emu	<i>Dromaius novaehollandiae</i>	6			

Fortsetzung Tab. 2: Taxonomie der untersuchten Spezies mit Angabe der Probenanzahl

		Probenanzahl			
		Z	FW	M	Z
O. Entenvögel (<i>Anseriformes</i>)					
F. Entenartige (<i>Anatidae</i>)					
U.F. Pfeifgänse (<i>Dendrocygninae</i>)					
Witwenpfeifente	<i>Dendrocygna viduata</i>	1			
U.F. Gänse (<i>Anserinae</i>)					
Kaisergans	<i>Philacte canagica</i>	3			
Schneegans	<i>Chen caerulescens</i>	3			
Streifengans	<i>Eulabeia indica</i>	1			
Rothalsgans	<i>Rufibrenta ruficollis</i>	2			
Nonnengans	<i>Branta leucopsis</i>	4			
Hawaiigans	<i>Branta sandvicensis</i>	1			
O. Wehrvögel (<i>Anhimiformes</i>)					
F. Wehrvögel (<i>Anhimidae</i>)					
Halsband-Tschaja	<i>Chauna torquata</i>	2			
O. Hühnervögel (<i>Galliformes</i>)					
F. Hühner (Fasanenartige) (<i>Phasianidae</i>)					
Wallich-Fasan	<i>Catreus wallichii</i>	1			
Satyr-Tragopan	<i>Tragopan satyra</i>	2			

a bei 4 Tieren wurde jeweils eine Probe aus der Apex caeci und des Corpus caeci entnommen.

b jeweils 2 Proben von 4 Individuen

c von 1 Tier zusätzlich eine Probe des Weichkots.

d bei einem Tier wurde eine Probe des Mageninhalts sowie insgesamt 2 Proben aus dem Blinddarm und 4 Proben aus dem Colon, jeweils einmal bzw. zweimal zentral und peripher genommen.

e Daten aus der Studie von SCHWARM et al. (2005)

f Daten aus der Studie von CLAUSS et al. (2004a,b)

g Proben von insgesamt 3 Tieren; bei 2 davon wurde jeweils eine Probe aus dem Bereich der großen und der kleinen Septen im Blinddarm entnommen, bei 1 Tier von Caecum Anfang, Recessus caeci und Sulcus caeci.

h bei 2 Tieren wurde jeweils eine Probe aus dem Cecum und aus dem Colon proximale entnommen.

3.2.2.3 Probennahme

Nach Möglichkeit wurden Proben von einzelnen Individuen gewonnen, bei Sammelkotproben wurde darauf geachtet, dass es sich um eine homogene Gewichtsguppe handelte. Es wurden nur gesunde, adulte Tiere beprobt, bei denen keine Zahnprobleme oder Durchfallerkrankungen bekannt oder offensichtlich waren. Generell wurde darauf geachtet, dass vorzerkleinertes Futter (Pellets) keinen wesentlichen Anteil am Fütterungsregime ausmacht. Die meisten Rationszusammensetzungen konnten durch Befragungen der Tierpfleger und Zootierärzte ermittelt werden.

Pro Probe wurde nach Möglichkeit „eine Handvoll“ gesammelt. Bei größeren Tieren wie Elefanten, Nashörner oder Flusspferde entsprach dies einem einzelnen

Kotballen, bei mittelgroßen Tieren wie z. B. Zebras, Riesenkängurus, oder Menschenaffen entsprach dies ca. zwei bis fünf Kotballen. Bei Tieren, die eine einzelne, größere Kotportion pro Tag absetzen, wie z. B. Leguane und Schildkröten, wurde von diesen Tieren eine Portion eingesammelt. Bei kleineren Tieren (z.B. Nagern) wurden mehrere Kotabsätze pro Tier gesammelt und zu einer Probe vereint. Die Proben wurden in einem verschlossenen, wasserdichten Plastikbeutel oder Gefäß aufbewahrt und eingefroren bei -20°C Grad bis zur Verarbeitung gelagert.

3.2.2.4 Bestimmung der Körpermasse

Aufgrund der großen Tierzahl und der unterschiedlichen Haltungsbedingungen war es nicht möglich, alle beprobten Tiere zu wiegen. Für die meisten Tiere dieser Studie wurde das Gewicht geschätzt; sofern vorhanden, wurden Angaben aus den Unterlagen der Zootierärzte von zurückliegenden Wägungen herangezogen. Wenn keine Schätzungen vorlagen oder möglich waren, z.B. im Falle von zugeschickten Kotproben, wurden zur Bestimmung der Durchschnittsgewichte Referenzwerte aus der Literatur für das Körpergewicht herangezogen, welche aus praktischen Gründen aus dem Internet bezogen wurden. Als besonders hilfreich erwiesen sich die Homepages der Zoologischen Einrichtungen (insbesondere Duisburg, Nürnberg, Zürich und Basel), sowie folgende Internetseiten:

- www.wikipedia.de
- www.das-tierlexikon.de
- www.tierenzyklopaedie.de
- www.lextoday.de
- www.tierreich.de
- www.primatis.de
- www.rodent-info.net
- www.esel.org
- www.equi-balance.de

Es hat sich als sinnvoll erwiesen, Angaben aus mehreren Quellen (mindestens zwei) zu vergleichen. Bei ähnlichen Angaben wurden die Mittelwerte genommen. Stimmt die Schätzungen mit den Referenzangaben überein, wurden die Schätzwerte genommen. Bei Spezies, die bezüglich des Körpergewichts einen Geschlechtsdimorphismus aufweisen, und bei denen entweder eine Sammelprobe

vorlag oder keine Geschlechtszuordnung möglich war, wurde der Mittelwert des Gewichts von Männchen und Weibchen genommen. Bei Spezies, die über viele Jahre kontinuierlich wachsen – z.B. Primaten, Schildkröten - muss für eine gerechte Einschätzung des Gewichts mindestens das Alter des Tieres bekannt sein, sofern man die Tiere nicht selbst gesehen hat. Für einige der asiatischen Elefanten wurde das Gewicht anhand einer Regressionsgleichung mittels gemessenem Brustumfang nach HILE et al. (1997) bestimmt.

3.2.3 Untersuchungsmethoden

3.2.3.1 Probenvorbereitung

Bei den selbst-gesammelten Proben wurde gleich beim Sammeln auf Sauberkeit geachtet und anhaftende Erde und Futter-/Einstreupartikel entfernt. Bei den anderen Proben wurde dies nach dem Auftauen durchgeführt, was sich z. T. als ausgesprochen zeitaufwändig erwies. Die Proben wurden vorsichtig unter einem Wasserhahn abgespült und mit Zellstoff trocken getupft. Einzeln anhaftende Schmutzpartikel wurden mit Hilfe einer Pinzette entfernt. Sofern die Reinigung nicht möglich war, wurde die Probe verworfen. In Tab. 2 sind nur solche Probe aufgelistet, die auch tatsächlich zur Untersuchung kamen.

3.2.3.2 Trockensubstanz-Bestimmung

Die Proben wurden in zwei Ansätzen auf tarierten Petrischalen eingewogen und anschließend im Trockenschrank bei 103°C Grad bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Danach wurden sie im Exsikkator abgekühlt und mittels Analysenwaage (Model AE 160, Mettler-Instrumente, Gießen-Deutschland) zurückgewogen.

Um einen zuverlässigen TS-Wert des tatsächlich gesiebten Materials zu bestimmen, wurde darauf geachtet, bei einer größeren Probenmenge die Portionen für die TS-Bestimmung und für die Siebeinwaage an gleichen Stellen zu entnehmen, bzw. bei Spezies, die Kotballen absetzen, diese in entsprechende Portionen aufzuteilen.

Um Krustenbildung während des Trocknens zu verhindern, wurden die Kotballen zerbröseln.

3.2.3.3 Siebanalyse

Je nach verfügbarer Probenmenge wurde eine für die Gesamtprobe repräsentative Menge zwischen ca. 0,3 g uS (bei Kleinstnagern) und ca. 15 g uS (bei Megaherbivoren) auf eine Petrischale eingewogen und anschließend in einem Becherglas (1000 ml) für mindestens 12 Stunden in Wasser gelöst. Das Probenmaterial wurde dann über die Siebsäule geschüttet und mit einem Liter Wasser nachgespült. Die Siebung erfolgte 10 Minuten bei einer durchschnittlichen Schwingungshöhe von 2,0 mm und einem Wasserdurchlauf von ca. 2 l/min. Verwendet wurde die Siebmaschine AS 200 digit (Retsch, Haan, Deutschland). Die Siebe hatten einen Durchmesser von 20 cm und eine Höhe von 5 cm, die Poren der Siebe waren quadratisch. Die Trennschärfe umfasste 9 Siebe mit einer Maschenweite von 63 µm, 125 µm, 250 µm, 500 µm, 1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm und 16 mm. Die feinen Siebe (0,063 mm bis 0,5mm) wurden in regelmäßigen Abständen in einem Ultraschallbad gereinigt. Der Belüftungsring wurde je nach Höhe des zu erwartenden Anteils feiner Partikelfraktionen nach dem dritt- oder viertkleinsten Sieb platziert. Die einzelnen Fraktionen wurden im Anschluss quantitativ auf tarierte Petrischalen überführt und im Trockenschrank bei 103°C Grad bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Nach Abkühlen im Exsikkator wurden sie mittels Analysenwaage (Model AE160, Mettler-Instrumente, Gießen, Deutschland; Messgenauigkeit 1 mg) gewogen.

Die Dschelada-Proben wurden freundlicherweise von Patrick Steuer am Institut für Tierwissenschaften Bonn und die Proben der Babirusa, Warzen- und Wasserschweine von Angela Schwarm am Institut für Zoo- und Wildtierforschung Berlin mit den gleichen Siebsätzen gesiebt.

3.2.4 Berechnungsmethoden

3.2.4.1 Trockensubstanz

Die Trockensubstanz wurde in Prozent der Originalsubstanz aus dem Mittelwert der beiden Ansätze für die TS-Bestimmung berechnet.

Hieraus wurde dann die Trockenmasse für die Siebeinwaage errechnet.

Die Trockenmasse der einzelnen Siebfraktionen wurde in Prozent der eingewogenen Trockenmasse angegeben.

Die Partikelfraktion kleiner als 63 μm , bzw. 125 μm wurde mittels Substraktion der TS-Menge aller Siebe von der berechneten TS-Einwaage berechnet.

3.2.4.2 Kumulative Darstellungen

Die kumulative TS wurde für jedes Sieb als Anteil der Gesamt-TS-Menge, die auf diesem Sieb zurückgehalten wurde, errechnet. Dieses ist der zusammengezählte Prozentanteil von allen Partikeln, die auf diesem Sieb und den größeren liegen bleiben. Auf dem feinsten Sieb sind es somit immer 100%. Der Partikelanteil, der von dem feinsten Sieb nicht mehr retiniert wird ($<63 \mu\text{m}/<125 \mu\text{m}$), wird hierbei nicht berücksichtigt.

3.2.4.3 Durchschnittliche Partikelgröße

Zur Darstellung von Partikelgrößen eignen sich verschiedene Berechnungsmethoden (z.B. WALDO et al. 1971, POPPI et al. 1980, MOSELEY 1984, CHERNEY et al. 1988, FISHER et al. 1988). In der vorliegenden Arbeit wurden jeweils der Modulus of fineness, der Weighted Average und Weighted Average-Max, der Median und der Mittelwert bestimmt. Im folgenden werden die verschiedenen Darstellungsweisen beschrieben.

Modulus of fineness (MOF)

Der „Modulus of fineness“ (MOF) wurde nach POPPI et al. (1980) berechnet. Er gibt an, bei welcher Siebnummer die Partikel einer Probe im Durchschnitt abgefangen werden. Die pro Sieb zurückgehaltene Trockenmasse wird hierbei in Prozent der auf allen Sieben retinierten Trockenmasse ausgedrückt. Der Prozentsatz der Partikel, die auf dem feinsten Sieb zurückgehalten wurden, werden mit 1 multipliziert, der Prozentsatz des nächst gröbereren Siebes mit 2, der nächste mit 3 usw. bis zum größten Sieb, dessen Partikelprozentsatz dann mit 9 multipliziert wird. Die Werte werden addiert und das Ergebnis durch 100 geteilt (s.h. Beispielrechnung Tabelle 3). Ein MOF von 1 würde bedeuten, dass alle Partikel erst auf dem Sieb mit der kleinsten Porenweite abgefangen wurden; bei der verwendeten Siebreihe mit 9 Sieben würde ein MOF von 9 bedeuten, dass alle Partikel bereits auf dem Sieb mit der größten Maschenweite abgefangen wurden.

Tab. 3: *Beispielrechnung für den MOF*

Porengröße (mm)	% der retinierten TS	Konstante	Summe
0,063	7,10	x 1	7,10
0,125	14,21	x 2	28,42
0,25	23,80	x 3	71,39
0,5	25,66	x 4	102,66
1	14,18	x 5	70,92
2	12,63	x 6	75,76
4	1,94	x 7	13,56
8	0,37	x 8	2,93
16	0,11	x 9	1,03
Gesamt	100,00		373,77

$$\text{MOF} = 373,77/100 = \underline{3,73}$$

Der MOF wurde einmal für neun Siebe (Maschenweite 0,063 mm, 0,125 mm, 0,25 mm, 0,5 mm, 1 mm, 2 mm, 4 mm und 16 mm) sowie einmal für sechs Siebe (Maschenweite 0,125 mm, 0,25 mm, 0,5 mm, 1 mm, 2 mm und 4 mm) berechnet.

Weighted Average (WA)

Der „Weighted Average“ (gewichteter Mittelwert) wird in der gleichen Weise wie der MOF berechnet, nur dass anstatt einer fortlaufenden Zahl für jedes Sieb die tatsächliche Maschenweite eingesetzt wird.

Der WAm_{ax} wird auf die gleiche Weise wie der WA berechnet, allerdings wird für das größte Sieb die maximale Partikelgröße miteinbezogen. D.h. der Multiplikationsfaktor für das größte Sieb ergibt sich aus der Maschenweite zuzüglich der maximalen durch Längenmessung bestimmten bzw. geschätzten Partikelgröße (mm) geteilt durch 2.

Beide Parameter wurden in der vorliegenden Studie für die Siebgrößen 0,125 mm, 0,25 mm, 0,5 mm, 1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm und 16 mm berechnet.

Median und Mittelwert (MW)

Für kugelige und kubische Partikel gilt die Darstellung der Gewichtsverteilung mittels logarithmischer Normalverteilung als Standard (POND et al. 1984b, FISHER et al. 1988). Für die Darstellung von länglichen Partikeln eignet sich ein exponentielles Model. In der vorliegenden Arbeit wurde der geometrische Median und der geometrische Mittelwert für die Partikelgröße berechnet. Grundlage hierfür ist die Gleichung nach POND et al. (1984b), bzw. FISHER et al. (1988; Gleichung 1):

$$R = 100 * e^{kw-ks}$$

wobei:

R = kumulativer retinierter Gewichtsanteil auf einem Sieb mit der Maschenweite s

s = Maschenweite des Siebs auf dem die Partikel retiniert werden

w = kleinstmögliche schätzbare Partikelgröße

k = Konstante mit der die Partikel mit abnehmender Maschenweite akkumulieren

Für die vorliegende Arbeit wurde zunächst versucht, die Werte für den geometrischen Median und geometrischen Mittelwert durch Anpassung der o. g. Funktion (FISHER et al. 1988) zu ermitteln. Hierbei zeigte sich, dass diese Funktion nicht alle Verteilungsmuster ausreichend gut beschreibt, und eine gute Anpassung insbesondere bei hohen Prozentanteilen auf den größten Sieben gar nicht erreicht werden konnte. Für diese Fälle wurden geometrischer Mittelwert und geometrischer Median der Partikelverteilung numerisch ermittelt mit Hilfe des Programms TableCurve 2D v5.01 (Systat Software UK Ltd., London, Großbritannien). Das Programm passt zahlreiche Funktionen an die Partikeldaten an. Hieraus wählt man die Kurve, die dem Partikelverteilungsmuster am ehesten entspricht (s.h. Bsp. weiter unten). Bei der Ergebnisberechnung mittels TableCurve ist es erforderlich, nach Anpassung einer geeigneten Funktion eine maximale Partikelgröße einzusetzen. Diese konnte für viele Proben nur im nachhinein – oft mit Hilfe von Fotografien der auf dem größten Sieb retinierten Partikel - geschätzt werden, da sich diese Überlegungen erst nach Abschluss der Siebanalysen ergaben. Allerdings ist dies nur für Proben, bei denen auf dem größten Sieb Partikel aufgefangen wurden, relevant. Für die anderen kann die nächsthöhere Maschenweite als maximale Partikelgröße gewählt werden. In zukünftigen Analysen sollte während des Siebens die maximale Partikelgröße gemessen werden, um mögliche Ungenauigkeiten auszuschließen.

Die Rohdaten können für andere Siebsätze berechnet werden, in dem man den Anteil auf den feineren Sieben aus der Berechnung ausschließt. Die durchschnittliche Partikelgröße als geometrischer Median und geometrischer Mittelwert wurde jeweils einmal für die in der vorliegenden Studie verwendeten 9 Siebe und einmal für 6 Siebe (mit Ausnahme der Proben aus verschiedenen Darmabschnitten) (125 µm, 250 µm, 500 µm, 1 mm, 2 mm, 4 mm) berechnet; auf

diese Weise konnten die Daten aus den Studien CLAUSS et al. (2002, 2004a, b), CASTELL (2005) und SCHWARM et al. (2005) miteinbezogen werden.

Beispiel:

Abb. 15 und Abb. 16 zeigen zwei verschiedene Kurvenanpassungen ein und derselben Probe (Nordafrikanisches Stachelschwein, 6 Siebe). Die x-Achse repräsentiert die Maschenweite in mm, bzw. die Partikellänge und die y-Achse die kumulativen TS-Anteile in %. Da die maximale Partikelgröße dieser Probe bei 20 mm lag, entspricht die zweite Kurve nicht dem Partikelverteilungsmuster, denn die x-Achse geht bereits bei ca. 12 mm gegen null. Diese Kurve sollte deshalb nicht gewählt werden.

Das Programm bietet insgesamt eine Auswahl von über 80 verschiedenen Kurvenfunktion, wovon allerdings nur eine geringe Anzahl - je nach Verteilungsmuster - eine gute Anpassung bietet. Die Funktionen, die am häufigsten eine gute Anpassung lieferten waren: $\ln y = a + bx^{0,5}$, $y^{-1} = a + bx^{1,5}$, $y^{-1} = a + be^x$, $y^{-1} = a + bx$, $y^{0,5} = a + b \ln x$, $y = a + bx$, $y = a + b \ln x$ und $y^{-1} = a + bx^{0,5}$.

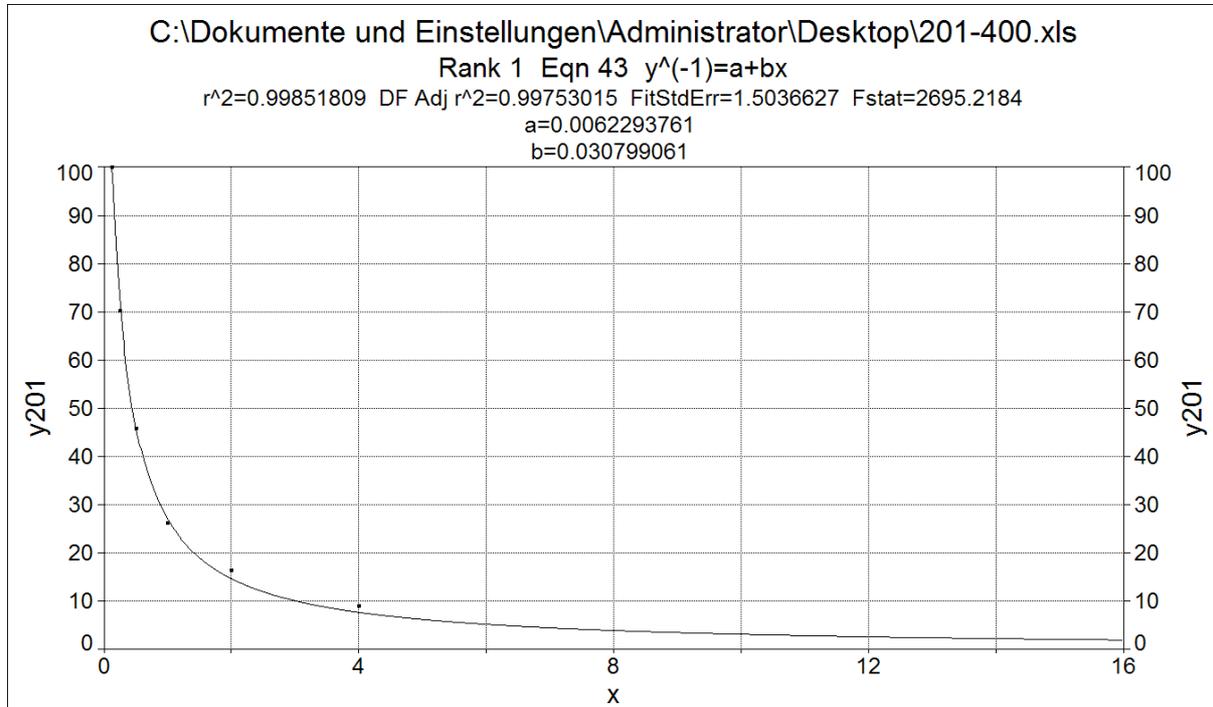


Abb. 15: Kurvenanpassung mit Hilfe der Funktion $y^{-1} = a + bx$ (Probennummer 201)

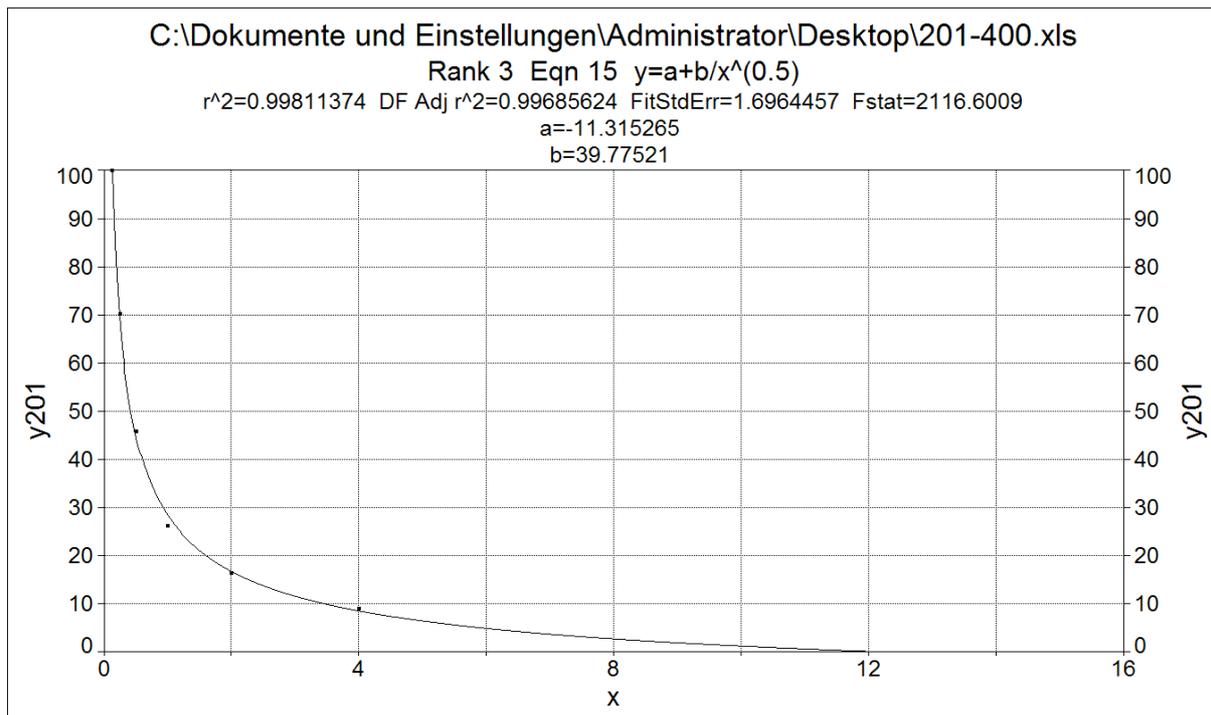


Abb. 16: Kurvenanpassung mit Hilfe der Funktion $y=a+b/x^{0.5}$ (Probennummer 201)

3.2.5 Darstellungsmethoden

Die graphische Darstellung der Ergebnisse erfolgte als Säulendiagramme sowie als Scatterplots, in denen pro Spezies der durchschnittliche MOF, WA/WAmax, geometrische Median oder geometrische Mittelwert in Abhängigkeit von der Körpermasse aufgetragen wurden.

3.2.6 Statistische Methoden

Als Methode der deskriptiven Statistik wurde der Mittelwert zur Zusammenfassung mehrerer Einzelwerte ermittelt. Die Standardabweichung diente als Streuungsmaß. Zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen der durchschnittlichen Kotpartikelgröße und der Körpermasse wurde eine einfache logarithmische Regressionsanalyse durchgeführt.

Die statistische Auswertung einiger Daten erfolgte mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS 11.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA). Als parametrischer Test kam der t-Test zum Einsatz. Als nichtparametrische Tests dienten der Kruskal-Wallis-Test, der Friedman-Test sowie der Wilcoxon-Test. Die Irrtumswahrscheinlichkeit für statistische Signifikanz wurde auf $p = 0,05$ gesetzt.

Unterschiede der Kotpartikelgröße bei verschiedener Herkunft der Tiere (Zoo-freie Wildbahn) sowie zwischen den beiden Elefantenspezies wurden mit Hilfe des t-Tests geprüft. Für Dreifachvergleiche zwischen verschiedenen Diäten (bei maurischen und griechischen Landschildkröten sowie bei Flachlandtapiren) und zwischen der Partikelgröße innerhalb der drei Nashornspezies wurde der Kruskal-Wallis-Test (ggf. mit anschließender Bonferroni-Adjustierung für paarweise Tests verwendet - statistische Signifikanz ergab sich dabei bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,017$). Unterschiede der Partikelgröße in drei verschiedenen Abschnitten des Verdauungstrakts (Magen, Caecum und Colon) wurden anhand des Friedman-Tests geprüft, und Unterschiede der Partikelgröße zwischen Caecum und Kot (beim Wickelschwanzskink) mit Hilfe des Wilcoxon-Tests.

3.3 Ergebnisse

Angaben zu den Speziesmittelwerten der Körpermasse (KM) in kg, des Trockensubstanzgehalts (TS) der Probe in %, des Anteils nicht auf den Sieben retinierter TS in % für den 6er- sowie 9er-Siebsatz und der durchschnittlichen Partikelgrößen in mm dargestellt als Weighted Average ohne und mit Maximalwert (WA, WAm_{ax}), als Modulus of Fineness, geometrischen Median und geometrischen Mittelwert für jeweils den 6er- und den 9er-Siebsatz (MOF6, MOF9, MW6, MW9, Median6, Median9) sind der Tabelle A im Anhang zu entnehmen. Angaben zur KM in kg, zum TS-Gehalt der Probe in %, zur Einwaage in g TS sowie zu den auf den jeweiligen Sieben retinierten Partikelanteilen in g TS aller untersuchten Einzelproben sind in der Tabelle B im Anhang zu finden.

3.3.1 Kot-TS-Gehalt

Abb. 17 zeigt den Trockensubstanzgehalt aller untersuchten Kotproben in % als Speziesmittelwerte im Verhältnis zur mittleren Körpermasse in kg der entsprechenden Spezies, aufgeteilt in Nicht-Wiederkäuer, Wiederkäuer (inkl. Daten aus CLAUSS et al. 2004c), Vögel, Reptilien und das Insekt. Die Individuenanzahl pro Spezies variiert zwischen 1 und 18.

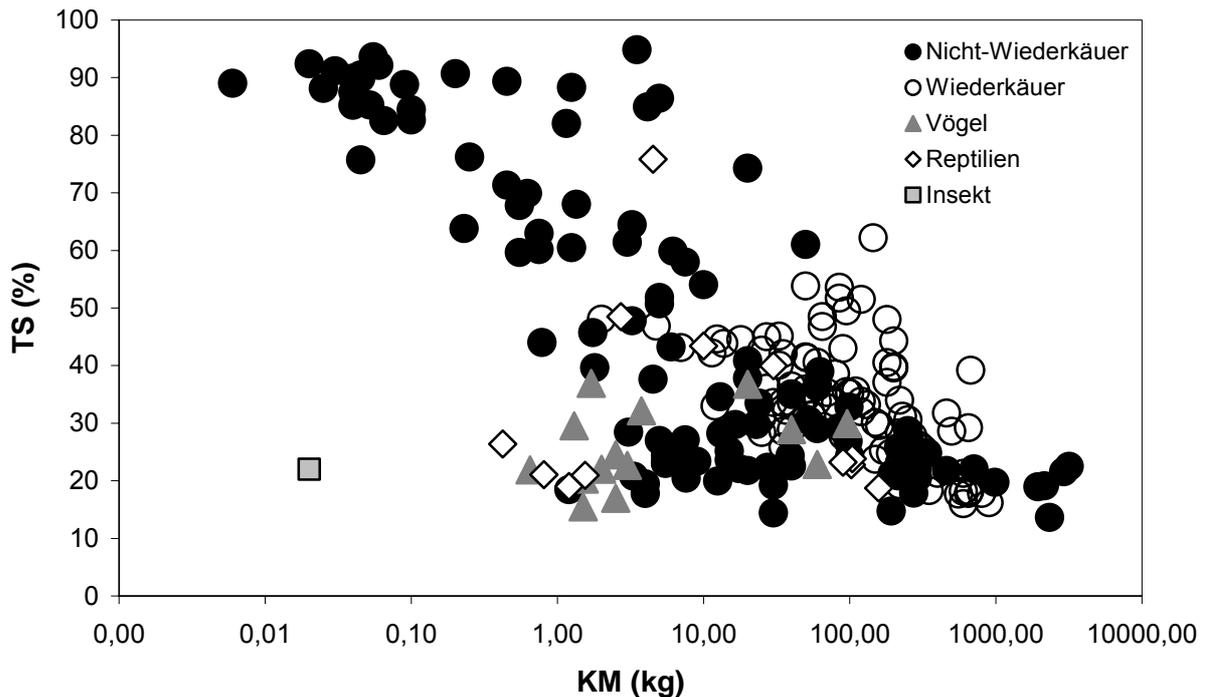


Abb. 17: Verhältnis des Kot-TS-Gehaltes (%) zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) aller untersuchten Spezies, aufgeteilt in Nicht-Wiederkäuer, Wiederkäuer (inkl. Daten aus CLAUSS et al. 2004c), Vögel, Reptilien und das Insekt

Der Kot-TS-Gehalt von Säugern (Wiederkäuer sowie Nicht-Wiederkäuer) schwerer als 5 kg, Reptilien und Vögeln variiert zwischen 15 und 60 %.

Der Kot-TS-Gehalt bei Säugern mit einer KM unter 5 kg variiert zwischen 60 und 95%. Hierbei handelt es sich größtenteils um Nagetiere, die relativ kleine Kotballen absetzen. Bei den Kotproben der kleineren Spezies handelt es sich größtenteils um Sammelproben, welche sich aus einzelnen Kotballen zusammensetzen, die an verschiedenen Tagen abgesetzt wurden und sich hinsichtlich des Frischegrades unterscheiden.

Der Kot-TS-Gehalt der Schmetterlingsraupe, die im gleichen Körpermassenbereich wie die Nager liegt, ist vergleichsweise deutlich niedriger (22%). Die Kotballen der Schmetterlingsraupe hatten eine ungefähre Größe von 1x1 cm, die Probe wurde frisch und im Schatten entnommen.

3.3.2 Berechneter Anteil nicht auf den Sieben retinierter TS

Abb. 18 zeigt den Anteil nicht retinierter Trockensubstanz, also die Menge die von dem feinsten Sieb nicht mehr aufgefangen wird, aller untersuchten Kotproben in % als Speziesmittelwerte im Verhältnis zur mittleren Körpermasse in kg der entsprechenden Spezies, aufgeteilt in Nicht-Wiederkäuer, Wiederkäuer, Vögel, Reptilien und das Insekt. Die Individuenanzahl pro Spezies variiert zwischen 1 und 18.

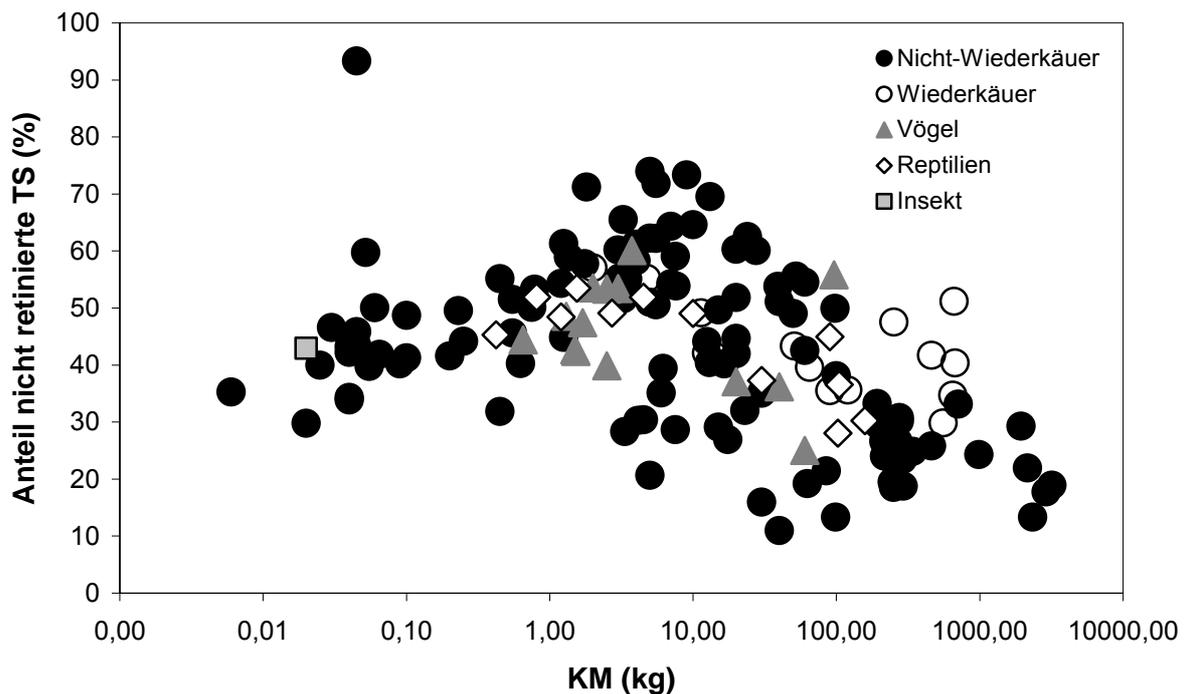


Abb. 18: Verhältnis des Anteils nicht auf den Sieben retinierter Trockensubstanz (%) zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) aller untersuchten Spezies, aufgeteilt in Nicht-Wiederkäuer, Wiederkäuer, Vögel, Reptilien und das Insekt

Bei Säugern (Wiederkäuer sowie Nicht-Wiederkäuer) schwerer als 5 kg, bei Reptilien und bei Vögeln ist eine Abnahme des Anteils „nicht retinierte TS“ zu mit steigender Körpermasse zu erkennen. Bei Säugern mit einer KM unter 5 kg deutet sich ein Anstieg mit steigender KM an.

3.3.3 Vergleich der Darstellungsweisen von Partikelgrößen

Für den Vergleich der in der vorliegenden Arbeit verwendeten unterschiedlichen Darstellungsweisen der Partikelgröße wird der geometrische Mittelwert als Bezugsgröße verwendet.

Da die Daten für zwei unterschiedliche Siebsätze (6er und 9er Siebsatz, s.h. hierzu Methoden 3.2.4) ermittelt wurden, wird zunächst anhand des Beispiels geometrischer Mittelwert ein Vergleich zwischen diesen beiden Siebsätzen durchgeführt. Abb. 19 zeigt die geometrischen Mittelwerte in mm für die Kotpartikelgröße für den 9er Siebsatz (MW9) als Durchschnittswert pro Spezies im Verhältnis zum geometrischen Mittelwert in mm der Kotpartikelgröße für den 6er Siebsatz (MW6) derselben Spezies. Es handelt sich hierbei ausschließlich um Daten aus der vorliegenden Arbeit.

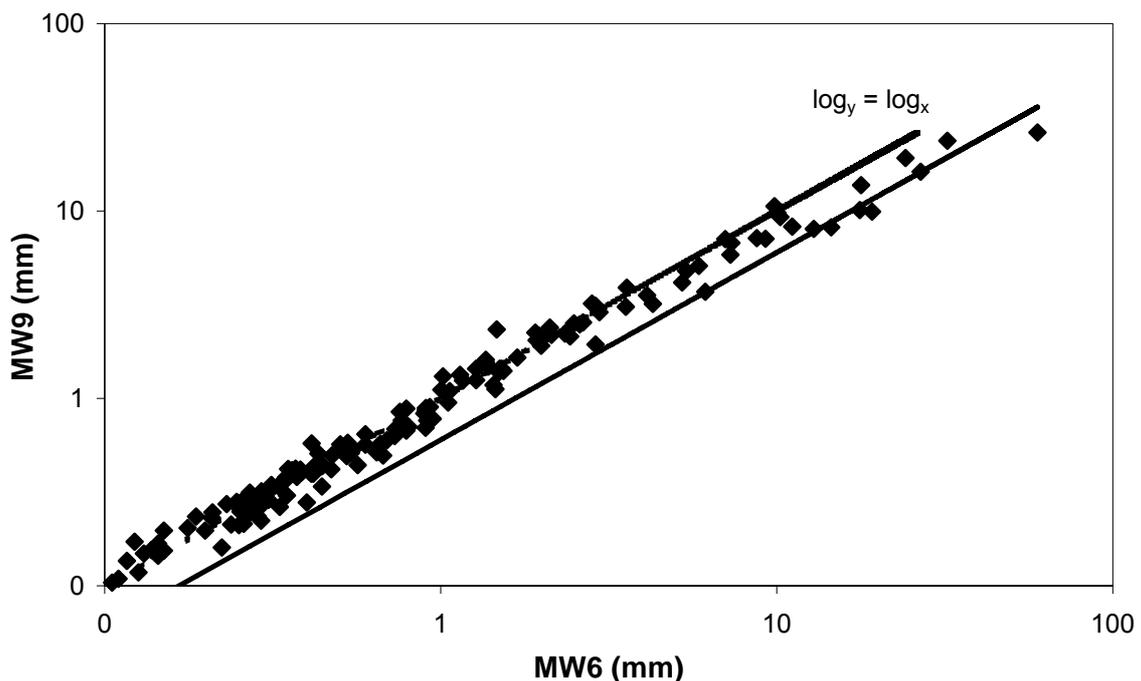


Abb. 19: Verhältnis der geometrischen Mittelwerte der Kotpartikelgröße (mm, logarithmiert) bei Verwendung unterschiedlicher Siebsätze (6er-Siebsatz: MW6; 9er-Siebsatz: MW9), dargestellt als Durchschnittswert pro Spezies inkl. Regressionsgeraden (durchgezogene Linie) und $y=x$ -Geraden (gestrichelte Linie)

In den Studien CLAUSS et al. (2002, 2004a, b), CASTELL (2004) und SCHWARM et al. (2005) wurde als kleinste Siebgröße eine Maschenweite von 0,125 mm verwendet. Eine Darstellung der Daten dieser Studien kann daher nur für den 6er-Siebsatz erfolgen. Zum Zwecke einer größeren Speziesanzahl wird im folgenden der geometrische Mittelwert für 6 Siebe (MW6) als Bezugsgröße verwendet. Im Sinne einer einheitlichen Darstellungsweise werden die Ergebnisse - nach Möglichkeit - als MW6 angegeben.

3.3.3.1 Verhältnis Median zu Mittelwert

Abb. 20 zeigt die geometrischen Medianwerte in mm für die Kotpartikelgröße als Durchschnittswert pro Spezies im Verhältnis zum geometrischen Mittelwert in mm der Kotpartikelgröße derselben Spezies.

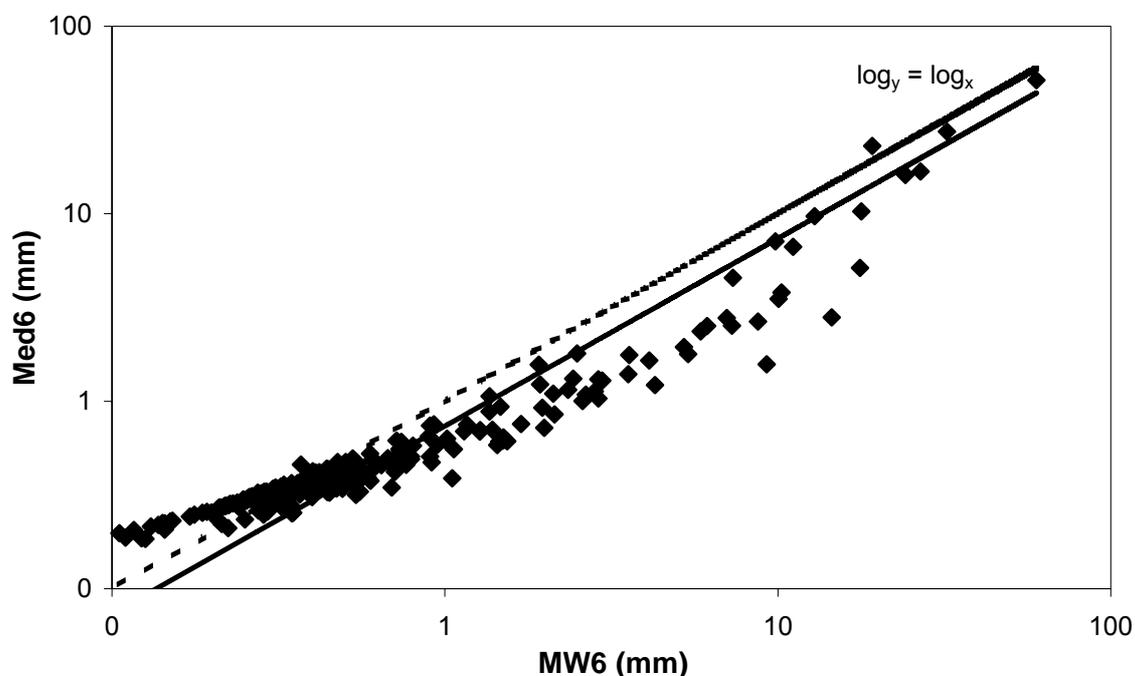


Abb. 20: Verhältnis des geometrischen Medians der Kotpartikelgröße für 6 Siebe (Med6; mm, logarithmiert) zum geometrischen Mittelwert der Kotpartikelgröße für 6 Siebe (MW6; mm, logarithmiert), dargestellt als Durchschnittswert pro Spezies inkl. Regressionsgeraden (durchgezogene Linie) und $y=x$ -Geraden (gestrichelte Linie)

3.3.3.2 Verhältnis Weighted Average zu Mittelwert

Abb. 21 und Abb. 22 zeigen die Weighted Averages in mm für die Kotpartikelgröße ohne (WA) und mit Maximalwert (WAm_{ax}) als Durchschnittswert pro Spezies im Verhältnis zum geometrischen Mittelwert in mm der Kotpartikelgröße (MW6) derselben Spezies.

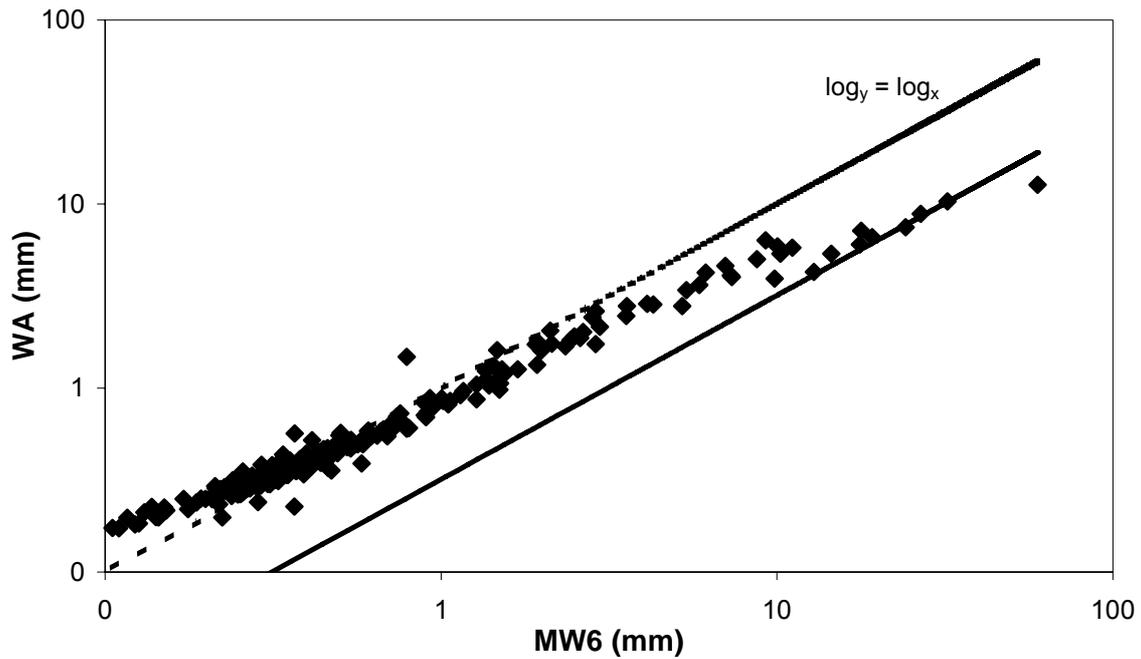


Abb. 21: Verhältnis des Weighted Average ohne Maximalwert der Kotpartikelgröße (WA; mm, logarithmiert) zum geometrischen Mittelwert der Kotpartikelgröße für 6 Siebe (MW6; mm, logarithmiert), dargestellt als Durchschnittswert pro Spezies inkl. Regressionsgeraden (durchgezogene Linie) und $y=x$ -Geraden (gestrichelte Linie)

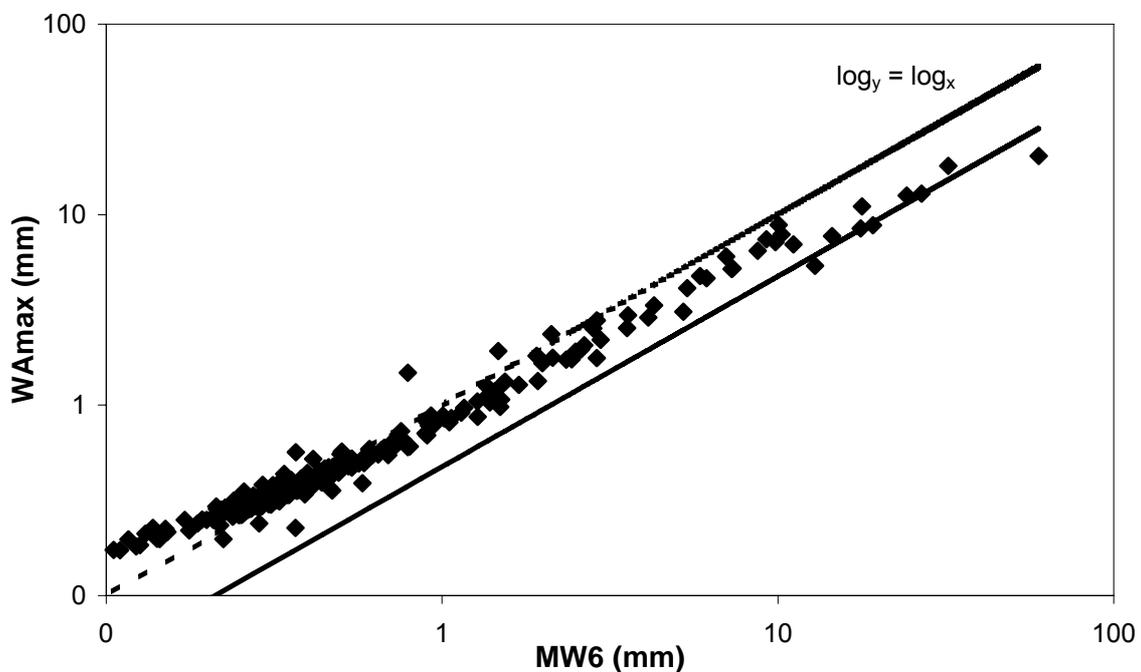


Abb. 22: Verhältnis des Weighted Average mit Maximalwert der Kotpartikelgröße (WAmix; mm, logarithmiert) zum geometrischen Mittelwert der Kotpartikelgröße für 6 Siebe (MW6; mm, logarithmiert), dargestellt als Durchschnittswert pro Spezies inkl. Regressionsgeraden (durchgezogene Linie) und $y=x$ -Geraden (gestrichelte Linie)

3.3.3.3 Verhältnis Modulus of Fineness zu Mittelwert

Abb. 23 zeigt die Modulus of Fineness für die Kotpartikelgröße als Durchschnittswert pro Spezies im Verhältnis zum geometrischen Mittelwert in mm der Kotpartikelgröße derselben Speziesmittelwerte.

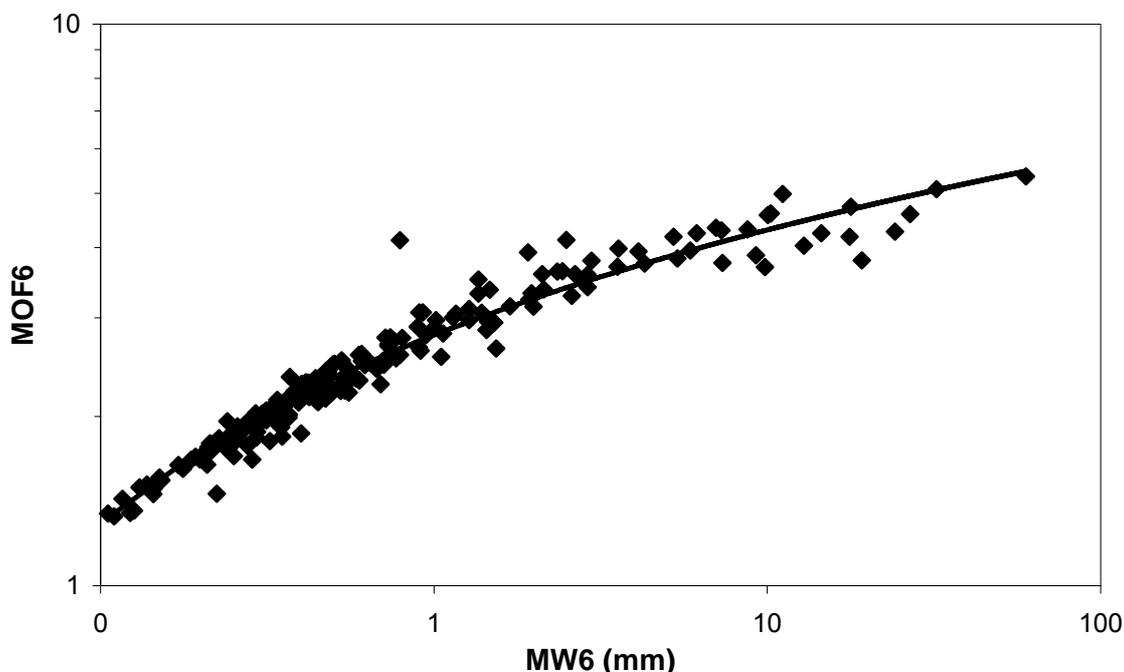


Abb. 23: Verhältnis des Modulus of Fineness für 6 Siebe (MOF6; logarithmiert) zum geometrischen Mittelwert der Kotpartikelgröße für 6 Siebe (MW6; mm, logarithmiert), dargestellt als Durchschnittswert pro Spezies

3.3.4 Allometrie der Kotpartikelgröße

Die folgenden Abbildungen zeigen die durchschnittlichen Kotpartikelgrößen als Durchschnittswert pro Säuger- (Abb. 24), Reptilien- (Abb. 25) und Vogelspezies (Abb. 26) im Verhältnis zur durchschnittlichen Körpermasse. Die Darstellung der Partikelgröße erfolgt jeweils als Weighted Average mit Maximalwert, als geometrischer Median und geometrischer Mittelwert für 6 Siebe sowie als Modulus of Fineness für 6 Siebe. Ebenfalls angegeben sind die allometrischen Gleichungen ($y=ax^b$) der Beziehung zwischen der Körpermasse in kg und der durchschnittlichen Kotpartikelgröße. In Tab. 4 sind diese Gleichungen für die drei im Rahmen dieser Studie untersuchten Wirbeltierklassen zusammengefasst dargestellt.

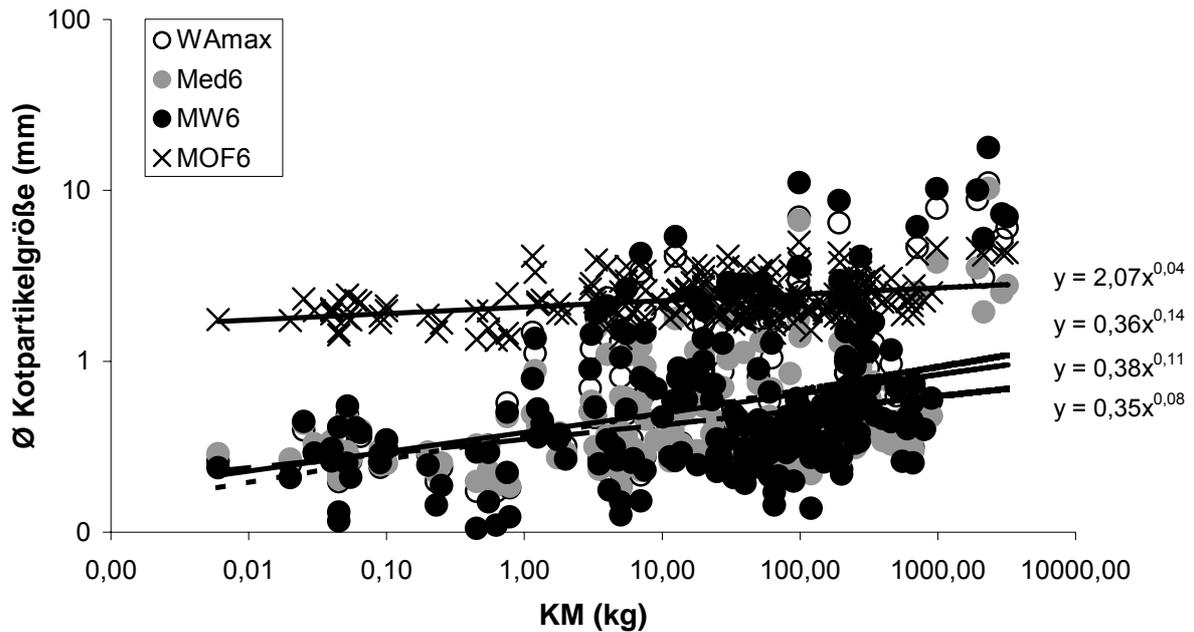


Abb. 24: Durchschnittliche Kotpartikelgröße, dargestellt als Weighted Average mit Maximalwert (WAmox; mm logarithmiert), geometrischer Median und geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (Med6 und MW6; mm logarithmiert) sowie Modulus of Fineness für 6 Siebe (MOF6; logarithmiert) im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert), angegeben als Durchschnittswert für jede Säugerspezies (n=205)

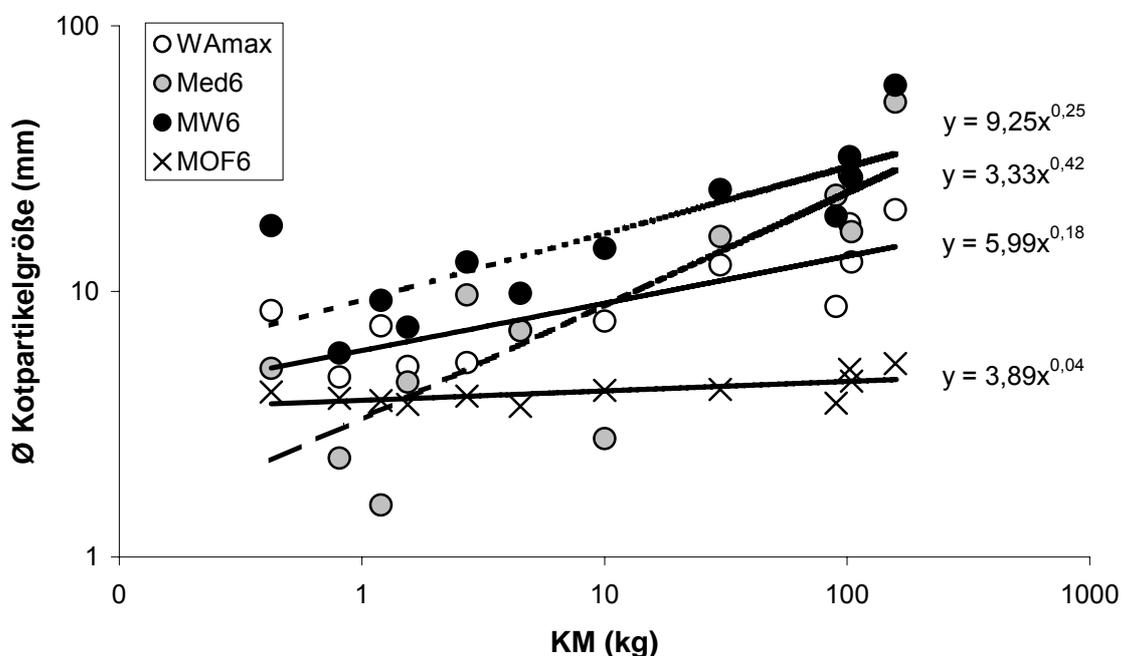


Abb. 25: Durchschnittliche Kotpartikelgröße, dargestellt als Weighted Average mit Maximalwert (WAmox; mm logarithmiert), geometrischer Median und geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (Med6 und MW6; mm logarithmiert) sowie Modulus of Fineness für 6 Siebe (MOF6; logarithmiert) im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert), angegeben als Durchschnittswert für jede Reptilienspezies (n=12)

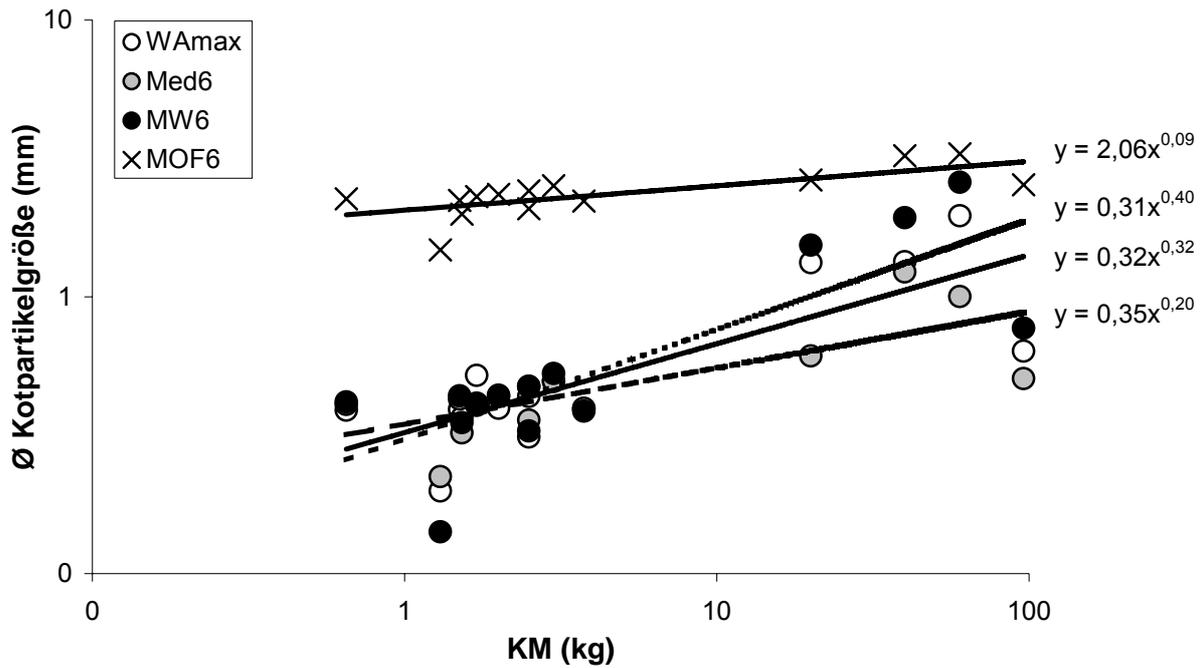


Abb. 26: Durchschnittliche Kotpartikelgröße, dargestellt als Weighted Average mit Maximalwert (WAmox; mm logarithmiert), geometrischer Median und geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (Med6 und MW6; mm logarithmiert) sowie Modulus of Fineness für 6 Siebe (MOF6; logarithmiert) im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert), angegeben als Durchschnittswert für jede Vogelspezies (n=14)

Tab. 4: Beziehung zwischen der Körpermasse (KM) und der durchschnittlichen Kotpartikelgröße (angegeben als geometrischer Mittelwert bei 6 Sieben [MW6], Weighted Average mit Maximalwert [WAmox], geometrischer Median bei 6 Sieben [Med6] und Modulus of Fineness bei 6 Sieben [MOF6]) bei herbivoren Säugern, Reptilien und Vögeln, dargestellt als allometrische Gleichung ($y=ax^p$)

	n*	MW6 (mm)	WAmox (mm)	Med6 (mm)	MOF6
Säuger	205	$0,36 \text{ KM}^{0,14}$	$0,38 \text{ KM}^{0,11}$	$0,35 \text{ KM}^{0,08}$	$2,07 \text{ KM}^{0,04}$
Reptilien	12	$9,25 \text{ KM}^{0,25}$	$5,99 \text{ KM}^{0,18}$	$3,33 \text{ KM}^{0,42}$	$3,89 \text{ KM}^{0,04}$
Vögel	14	$0,31 \text{ KM}^{0,40}$	$0,32 \text{ KM}^{0,32}$	$0,35 \text{ KM}^{0,20}$	$2,06 \text{ KM}^{0,09}$

* Speziesanzahl

Innerhalb der Säuger variiert die Spezies-Zahl pro Säugergruppe zwischen 1 und 86. Zur Bestimmung der Allometrie innerhalb der Säuger ist daher es nötig, für die einzelnen Säugergruppen Mittelwerte zu bilden. In der Tabelle 5 sind diese Mittelwerte für die Körpermasse sowie für die durchschnittlichen Kotpartikelgrößen angegeben.

Tab. 5: Körpermasse (KM), Weighted Average (WA), Weighted Average mit Maximalwert (WAm_{ax}), geometrischer Median für 6 Siebe (Median₆), geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW₆) und Modulus of Fineness für 6 Siebe (MOF₆) der Kotpartikelgröße, angegeben als Mittelwert pro Säugergruppe

Säugergruppe	n*	Ø Kotpartikelgröße (mm)				
		KM (kg)	WAm _{ax}	Median ₆	MW ₆	MOF ₆
<i>Didelphidae</i>	1	0,10	0,3001	0,3459	0,3096	1,9763
<i>Phascolarctidae</i>	1	6,19	0,2970	0,3092	0,2684	1,9176
<i>Vombatidae</i>	1	40,00	0,4150	0,4186	0,4195	2,2990
<i>Potoridae</i>	1	1,25	0,4773	0,4211	0,5253	2,2226
<i>Macropodidae</i>	8	29,75	0,6595	0,5531	0,7633	2,6589
<i>Primates</i>	21	20,04	1,5974	0,9371	1,9401	3,1832
<i>Xenartha</i>	1	10,00	0,4414	0,3419	0,4726	2,1544
<i>Rodentia</i>	49	4,39	0,4883	0,4333	0,5577	2,1104
<i>Carnivora</i>	2	51,88	4,1303	3,6454	6,3160	3,9626
<i>Lagomorpha</i>	2	4,25	0,3254	0,3545	0,3299	2,0679
<i>Proboscidae</i>	2	3047,22	5,6058	2,6536	7,1522	4,3157
<i>Sirenia</i>	1	710,00	4,6405	2,5238	6,1346	4,2405
<i>Hyracoidea</i>	1	3,08	1,1811	0,5843	1,4364	2,8516
<i>Equidae</i>	13	279,60	0,9534	0,6575	1,1991	2,9312
<i>Tapiridae</i>	2	235,25	2,5400	1,4705	3,5389	3,8634
<i>Rhinocerotidae</i>	3	1691,25	6,6009	3,0896	8,5069	4,4509
<i>Suidae</i>	2	92,50	2,1538	1,1218	2,8454	3,5328
<i>Tayassuidae</i>	1	23,00	0,5207	0,3758	0,5969	2,3203
<i>Hippopotamidae</i>	2	1262,85	8,7611	6,4705	13,2622	4,5176
<i>Tylopoda</i>	6	239,33	0,3309	0,2848	0,3150	1,8305
<i>Ruminantia</i>	85	174,86	0,3870	0,3508	0,3805	2,0954

* Speziesanzahl

Abb. 27 zeigt die durchschnittlichen Kotpartikelgrößen als Mittelwert pro Säugergruppe im Verhältnis zur durchschnittlichen Körpermasse. Jeder Datenpunkt repräsentiert eine Säugergruppe. Die Darstellung der Partikelgröße erfolgt jeweils als Weighted Average mit Maximalwert, als geometrischer Median und geometrischer Mittelwert für 6 Siebe sowie als Modulus of Fineness für 6 Siebe. Ebenfalls angegeben sind die allometrischen Gleichungen ($y=ax^b$) der Beziehung zwischen der Körpermasse in kg und der durchschnittlichen Kotpartikelgröße.

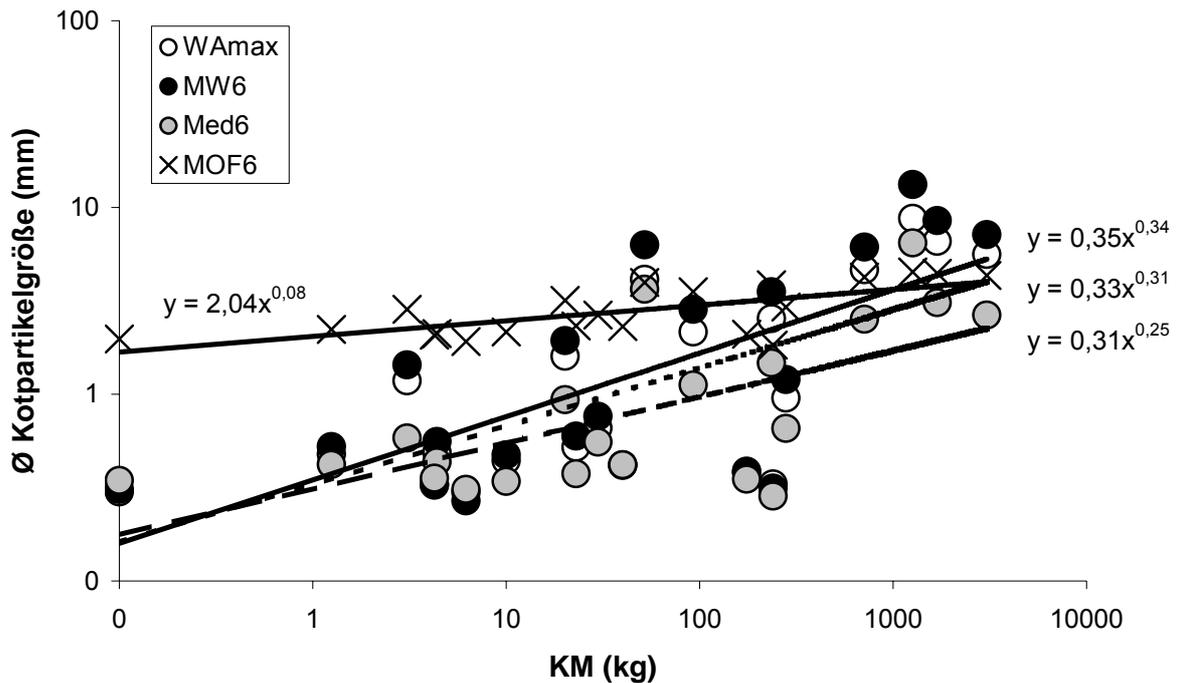


Abb. 27: Durchschnittliche Kotpartikelgröße, dargestellt als Weighted Average mit Maximalwert (WAmox; mm logarithmiert), geometrischer Median und geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (Med6 und MW6; mm logarithmiert) sowie Modulus of Fineness für 6 Siebe (MOF6; logarithmiert) im Verhältnis zu Körpermasse (KM; kg, logarithmiert), angegeben als Mittelwert pro Säugergruppe

Unter Berücksichtigung der einzelnen Gruppen ergeben sich innerhalb der Säuger die folgenden allometrischen Beziehungen der Kotpartikelgröße zur Körpermasse in kg:

$$\text{MW6 (mm)} = 0,35 \text{ KM}^{0,34}$$

$$\text{WAmox (mm)} = 0,33 \text{ KM}^{0,31}$$

$$\text{Med6 (mm)} = 0,31 \text{ KM}^{0,25}$$

$$\text{MOF6} = 2,04 \text{ KM}^{0,08}$$

3.3.5 Vergleich der Kotpartikelgröße

3.3.5.1 Innerhalb der Säuger

Abb. 28 zeigt einen Vergleich der durchschnittlichen Kotpartikelgröße dargestellt als geometrischer Mittelwert für 6 Siebe in mm pro Säugerspezies im Verhältnis zum

Durchschnittswert der Körpermasse in kg derselben Spezies, aufgeteilt in relevante Gruppen. Zum Zwecke einer besseren Übersichtlichkeit werden die *Didelphidae*, *Phascolarctidae*, *Vombatidae*, *Potoridae* und *Macropodidae* einheitlich als Marsupialia dargestellt.

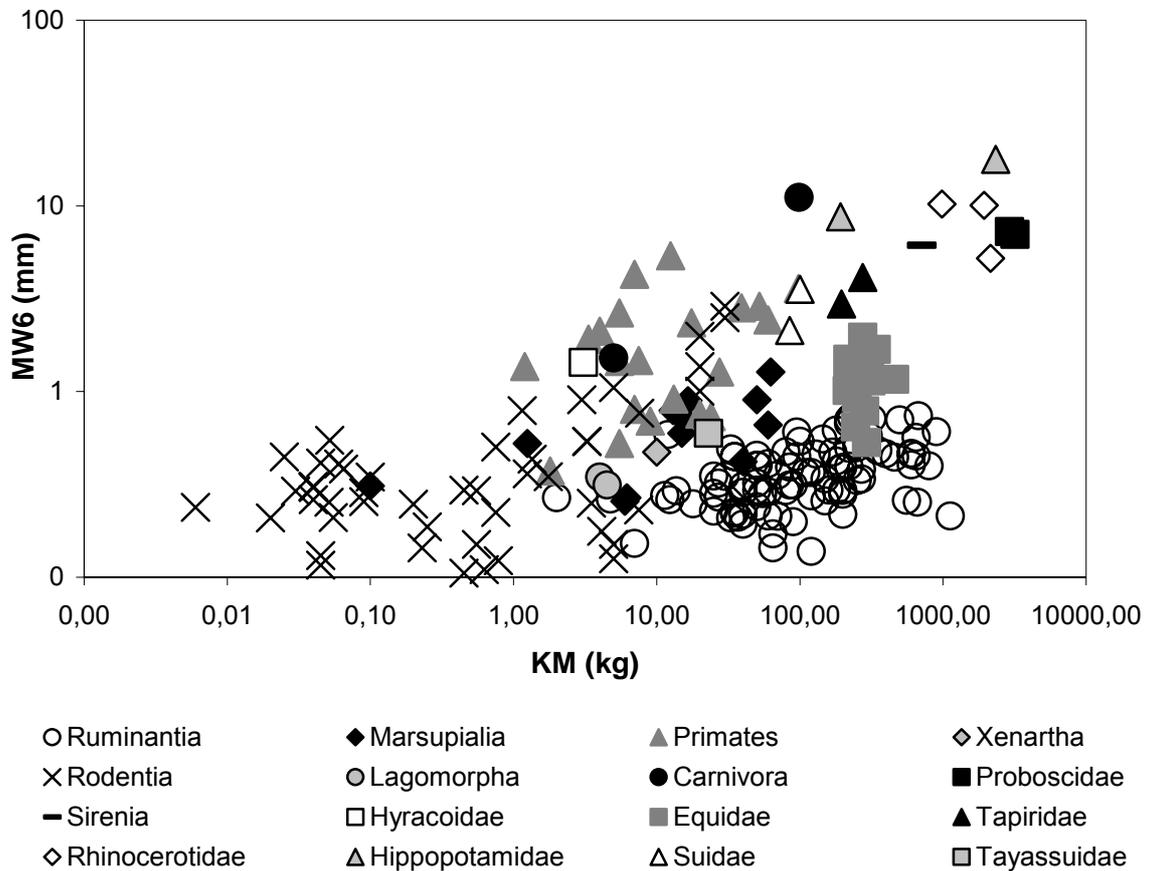


Abb. 28: Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW6; mm, logarithmiert) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) bei herbivoren Säugerspezies (n=205)

3.3.5.2 Innerhalb der Reptilien und Vögel

Abb. 29 und Abb. 30 zeigen einen Vergleich der durchschnittlichen Kotpartikelgröße dargestellt als geometrischer Mittelwert für 6 Siebe in mm pro Reptilien- und Vogelspezies im Verhältnis zum Durchschnittswert der Körpermasse in kg derselben Spezies, aufgeteilt in Gruppen.

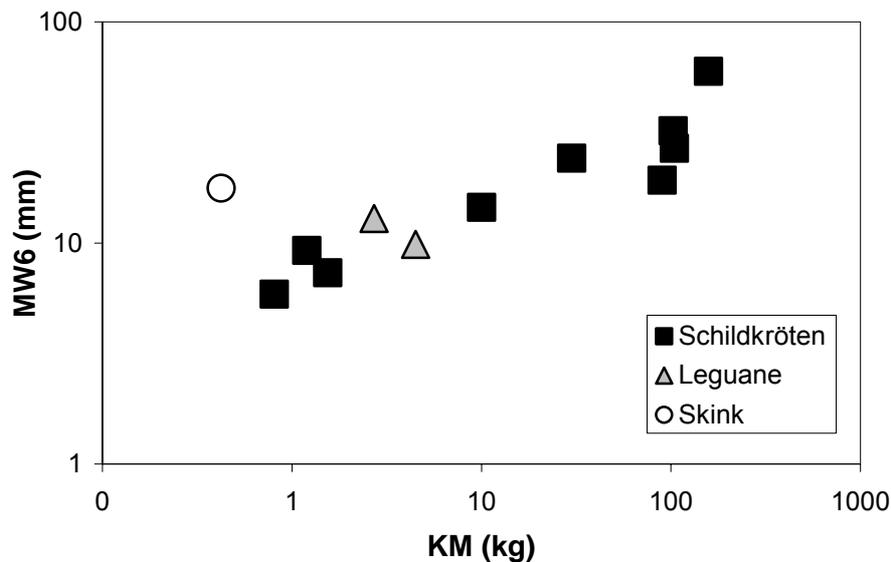


Abb. 29: Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW6; mm, logarithmiert) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) bei herbivoren Reptilienspezies (n=12)

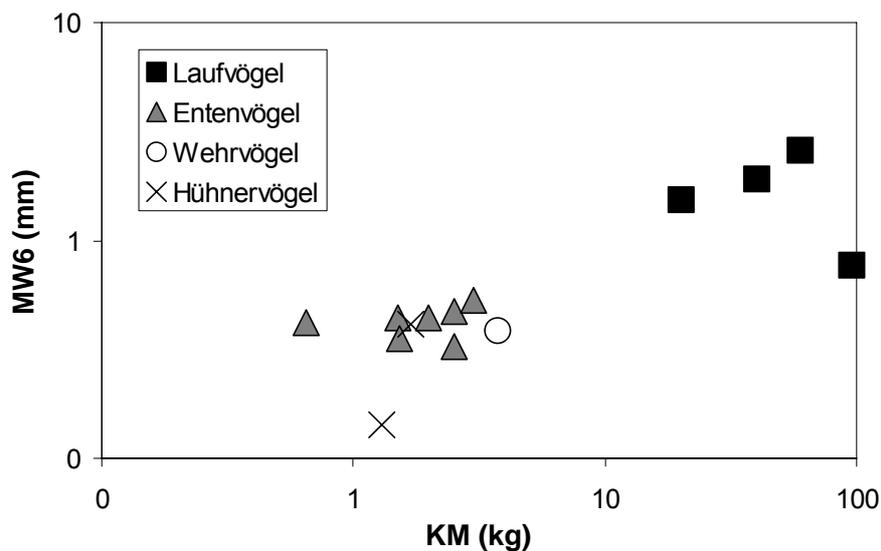


Abb. 30: Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW6; mm, logarithmiert) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) bei herbivoren Vogelspezies (n=14)

3.3.5.3 Zwischen verschiedenen Verdauungstypen

Abb. 31 zeigt einen Vergleich der durchschnittlichen Kotpartikelgröße bei Säugern dargestellt als geometrischer Mittelwert für 6 Siebe in mm pro Spezies im Verhältnis zum Durchschnittswert der Körpermasse in kg derselben Spezies, aufgeteilt in Dickdarmfermentierer, nicht-wiederkauende Vormagenfermentierer und wiederkauende Vormagenfermentierer.

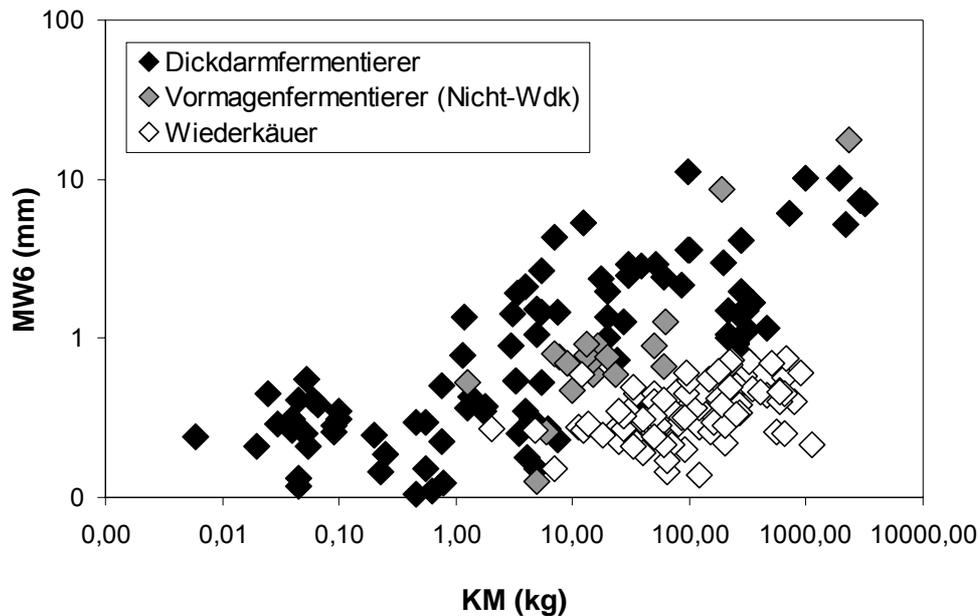


Abb. 31: Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW6; mm, logarithmiert) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) bei herbivoren Säugern, aufgeteilt in Dickdarmfermentierer (n=96), nichtwiederkauende Vormagenfermentierer (n=18) und Wiederkäuer (n=91)

3.3.5.4 Zwischen verschiedenen Äsungstypen

Abb. 32 und Abb. 33 zeigen einen Vergleich der durchschnittlichen Kotpartikelgrößen bei Wiederkäuern und Makropoden dargestellt als geometrischer Mittelwert für 6 Siebe in mm pro Spezies im Verhältnis zum Durchschnittswert der Körpermasse in kg derselben Spezies, aufgeteilt in Laubäser, Mischäser und Grasäser, bzw. Laubäser und Grasäser.

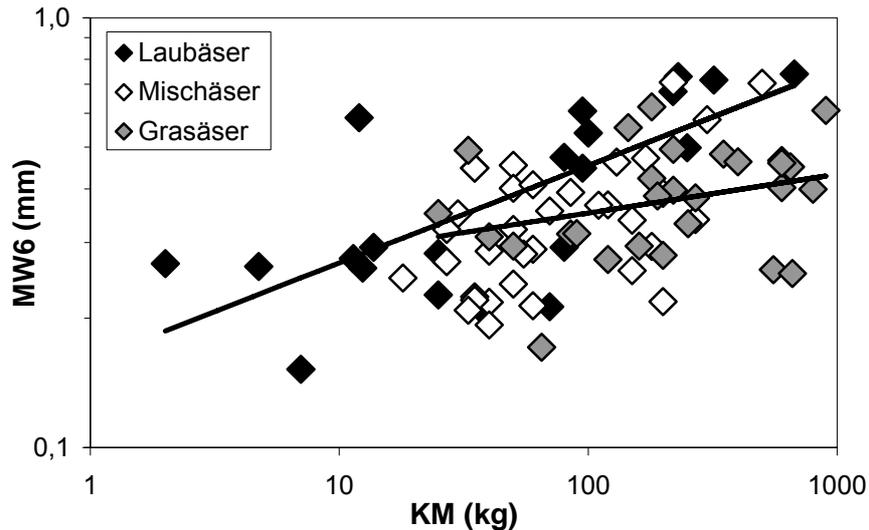


Abb. 32: Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW6; mm, logarithmiert) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) von Wiederkäuern, aufgeteilt in Laubäser (n=22), Mischäser (n=34) und Grasäser (n=30)

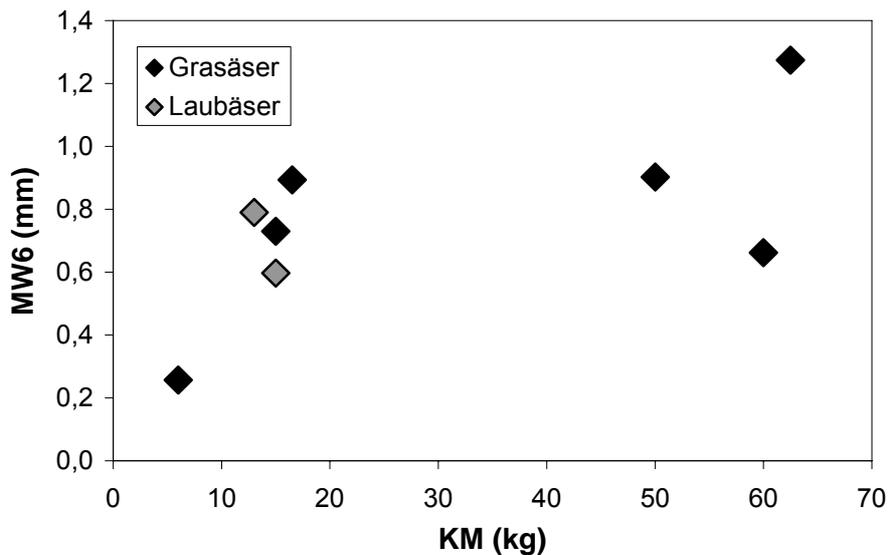


Abb. 33: Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW6; mm, logarithmiert) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) von Makropoden, aufgeteilt in Laubäser (n=2) und Grasäser (n=6)

3.3.5.5 Innerhalb bestimmter Gruppen

Primates

Abb. 34 und Abb. 35 zeigen die Verteilung der durchschnittlichen Kotpartikelgröße innerhalb der verschiedenen Primatenspezies und innerhalb der Menschenaffen. Die Darstellung erfolgt als geometrischer Mittelwert für 6 Siebe in mm pro Spezies bzw. Individuum im Verhältnis zur Körpermasse in kg derselben Spezies bzw. desselben Individuums.

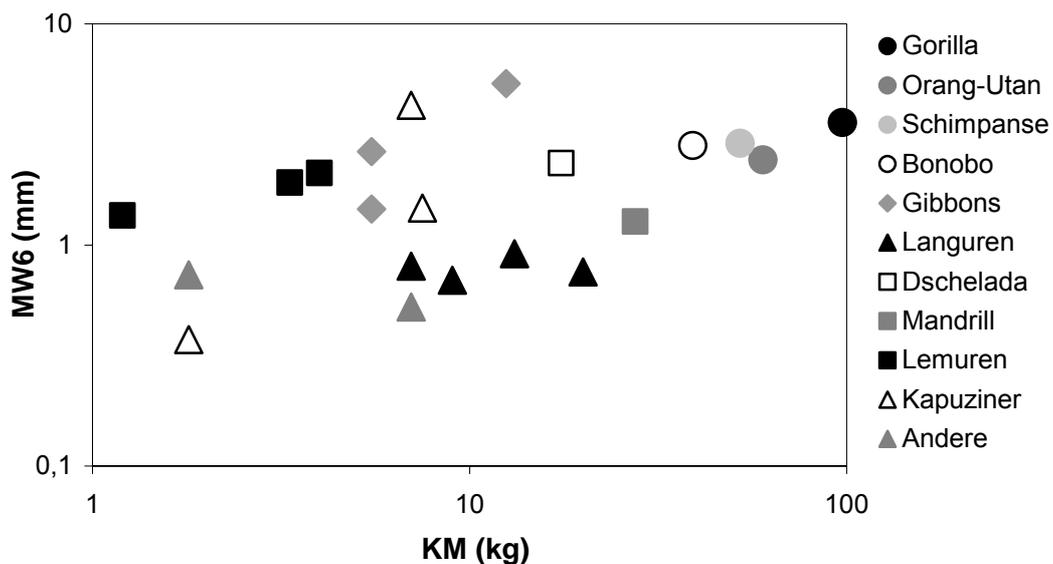


Abb. 34: Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW6; mm, logarithmiert) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) innerhalb der Primatenspezies (n=21)

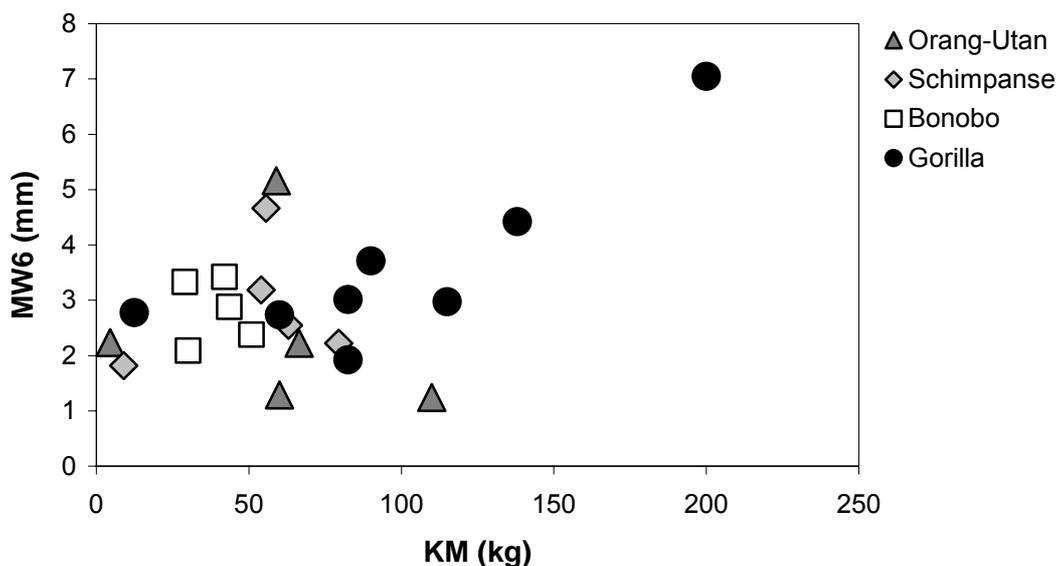


Abb. 35: Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW6; mm) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg) innerhalb der Menschenaffen (n=23)

Rodentia

Abb. 36 zeigt die Verteilung der durchschnittlichen Kotpartikelgrößen innerhalb der Nager und Hasenartigen (eingeteilt in relevante Gruppen) dargestellt als geometrischer Mittelwert für 6 Siebe in mm pro Spezies im Verhältnis zum Durchschnittswert der Körpermasse in kg derselben Spezies.

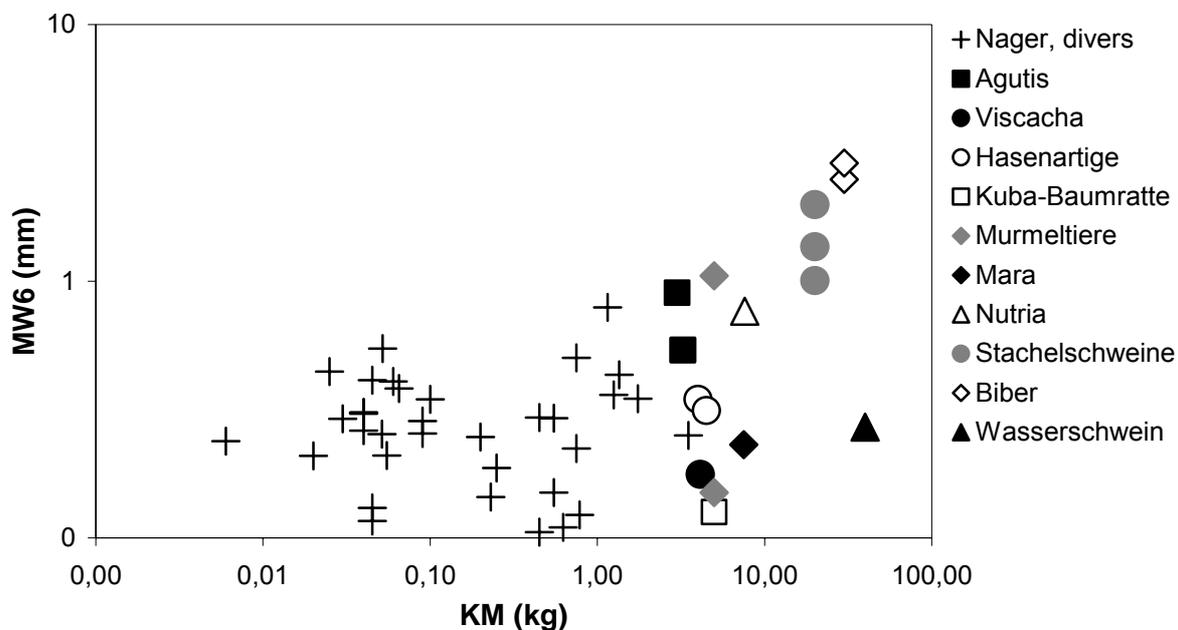


Abb. 36: Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW6; mm, logarithmiert) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) innerhalb der Nagerspezies (n=53)

Proboscidae

Abb. 37 zeigt die Verteilung der durchschnittlichen Kotpartikelgrößen innerhalb der afrikanischen und asiatischen Elefanten. Die Darstellung erfolgt als geometrischer Mittelwert für 6 Siebe in mm pro Individuum im Verhältnis zur Körpermasse in kg desselben Individuums.

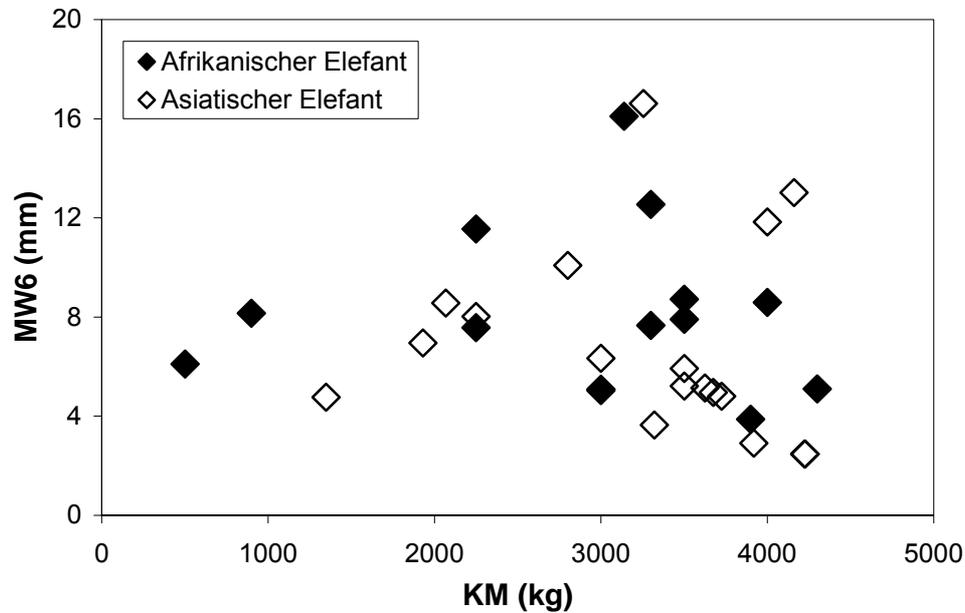


Abb. 37: Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW6; mm) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg) innerhalb der afrikanischen und asiatischen Elefanten (n=18 und n=13)

Equidae

Abb. 37 und Abb. 38 zeigen die Verteilungen der durchschnittlichen Kotpartikelgrößen innerhalb der Pferde und Esel dargestellt als geometrischer Mittelwert für 6 Siebe in mm pro Individuum im Verhältnis zu Körpermasse in kg desselben Individuums.

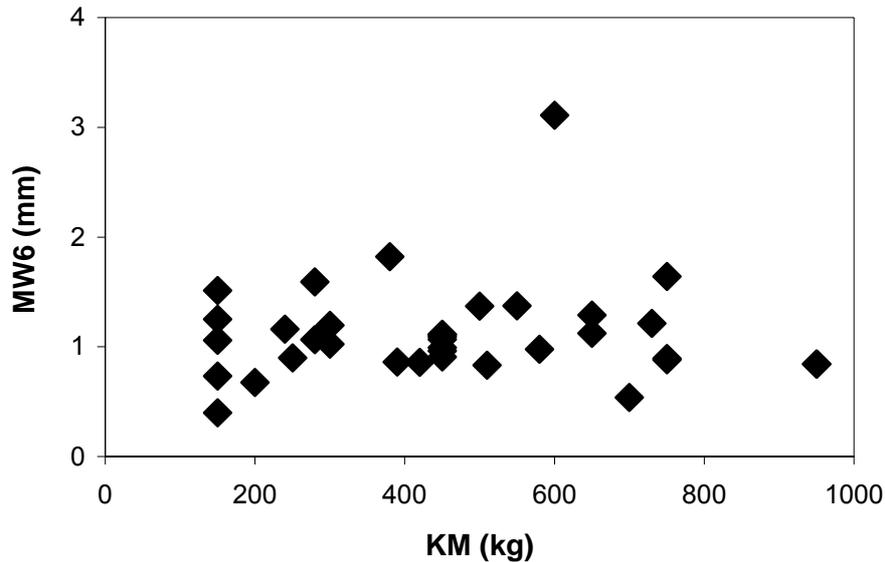


Abb. 38: Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW6; mm) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg) innerhalb der Hauspferde (9 Rassen)(n=36)

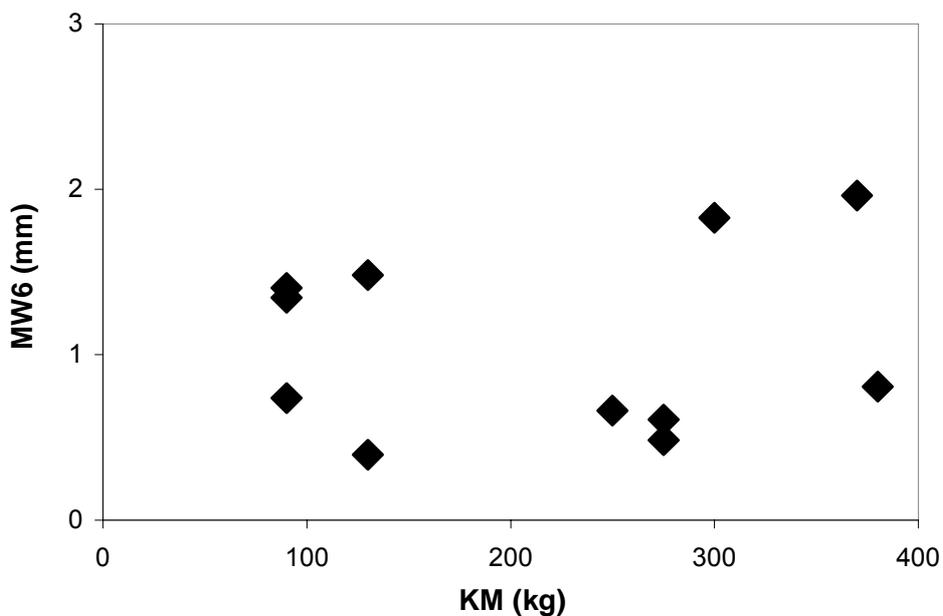


Abb. 39: Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW6; mm) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg) innerhalb der Hausesel (4 Rassen)(n=11)

Rhinocerotidae

Abb. 40 zeigt die Verteilung der durchschnittlichen Kotpartikelgrößen innerhalb der Breitmaul-, Spitzmaul und Panzernashörner. Die Darstellung erfolgt als geometrischer Mittelwert für 6 Siebe in mm pro Individuum im Verhältnis zur Körpermasse in kg desselben Individuums.

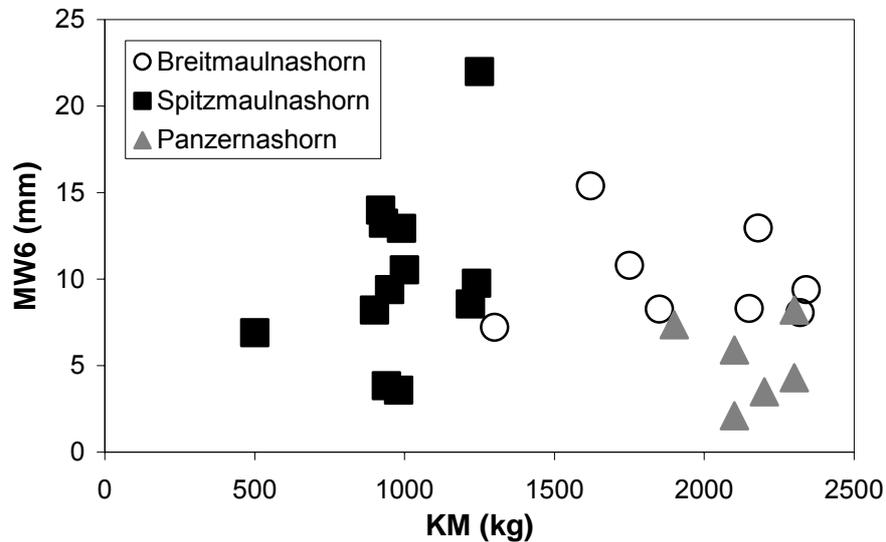


Abb. 40: Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW6; mm) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg) innerhalb der Spitzmaulnashörner (n=8), Breitmaulnashörner (n=12) und Panzernashörner (n=6)

Breitmaulnashörner (n=8) erzielen eine durchschnittliche Kotpartikelgröße von $10,05 \pm 2,83$ mm (MW6), Spitzmaulnashörner (n=12) von $10,25 \pm 4,98$ mm (MW6) und Panzernashörner (n=6) von $5,23 \pm 2,35$ mm (MW6).

Ein Vergleich der drei Nashornspezies zueinander ergibt signifikante Unterschiede ($p=0,02$). Der paarweise Vergleich ergab signifikant feinere Kotpartikel der Panzernashörner im Vergleich zu den Breitmaulnashörnern ($p=0,005$), aber nicht zu den Spitzmaulnashörnern ($p=0,019$). Der Unterschied zwischen Breitmaul- und Spitzmaulnashörnern ist ebenfalls nicht signifikant ($p=0,97$).

Ruminantia

Abb. 41 zeigt die Verteilung der durchschnittlichen Kotpartikelgrößen innerhalb der Giraffen. Die Darstellung erfolgt als geometrischer Mittelwert für 6 Siebe in mm pro Individuum im Verhältnis zur Körpermasse in kg desselben Individuums.

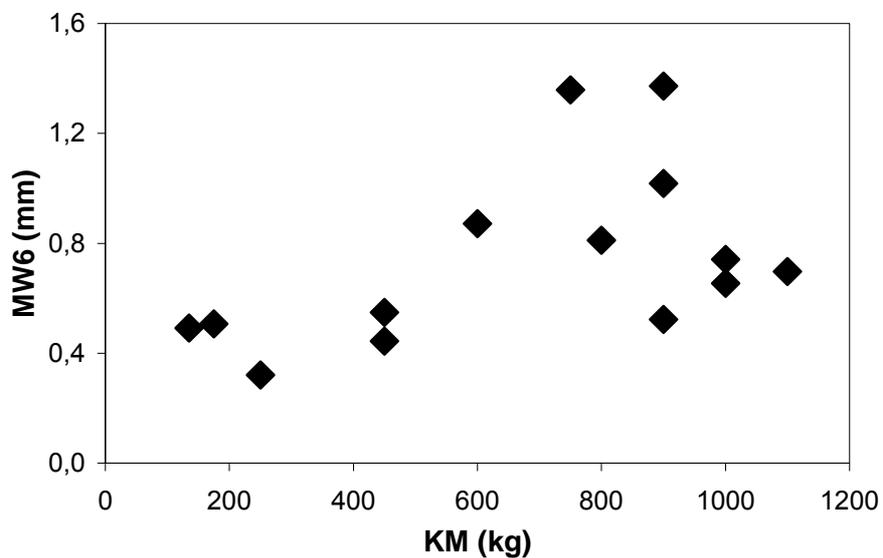


Abb. 41: Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW6; mm) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg) innerhalb der Giraffen (n=14)

3.3.5.6 Bei unterschiedlicher Herkunft bzw. Fütterung

Tabelle 6 zeigt die geometrischen Mittelwerte der Kotpartikelgröße (MW6) in mm einiger Spezies, von denen Kotproben von Tieren aus freier Wildbahn und Zootierhaltung analysiert wurden. Es handelt sich jeweils um verschiedene Individuen.

Tab. 6: Geometrischer Mittelwert der Kotpartikelgröße bei 6 Sieben in mm (MW6) bei Tieren aus Zootierhaltung (Zoo) und freier Wildbahn (FW), angegeben als Mittelwert \pm Standardabweichung (SA)

Spezies	MW6 (mm)						p
	Zoo	\pm SA	n	FW	\pm SA	n	
<i>Vombatus ursinus</i>	0,42	0,07	3	0,20	0,02	3	0,007
<i>Macropus giganteus</i>	0,66	0,42	3	0,35	0,10	6	0,332
<i>Equus przewalskii</i>	0,53	0,08	5	0,79	0,14	8	0,004
<i>Tapirus terrestris</i>	2,97	1,33	10	1,40	0,28	5	0,003
<i>Tayassu tajacu</i> ¹⁾	0,60	0,10	5	1,00	0,19	6	0,002
<i>Hippopotamus amphibius</i> ²⁾	17,81	8,89	10	19,17	4,02	10	0,663
<i>Giraffa camelopardalis</i>	0,74	0,32	14	0,34	0,03	10	<0,001
<i>Bos (Bos) primigenius</i>	0,26	0,02	4	0,42	0,04	6	<0,001

1) Rohdaten aus SCHWARM et al. (2005)

2) inkl. Daten aus CLAUSS et al. (2004 a, b)

Außer bei Flusspferden und östlichen grauen Riesenmärmern sind alle Unterschiede zwischen der Kotpartikelgröße in freier Wildbahn und Menschenobhut signifikant.

Tabelle 7 zeigt die geometrischen Mittelwerte der Kotpartikelgrößen (MW6) in mm von griechischen und maurischen Landschildkröten, von denen Kotproben von Tieren aus freier Wildbahn und Zootierhaltung bei zwei unterschiedlichen Fütterungen analysiert wurden. Bei den Zootieren handelt es sich jeweils um die gleichen Individuen.

Ein Vergleich für griechische Landschildkröten der drei Fütterungen zueinander ergibt signifikante Unterschiede ($p=0,007$). Der paarweise Vergleich ergibt eine signifikant kleinere Kotpartikelgröße bei Fütterung von zerkleinerter Nahrung als bei Fütterung von unzerkleinerter Nahrung ($p=0,003$).

Tab. 7: Geometrischer Mittelwert der Kotpartikelgröße bei 6 Sieben in mm (MW6) von griechischen (*T. hermanni*) und maurischen Landschildkröten (*T. graeca*) aus freier Wildbahn (FW) und Zootierhaltung (Zoo) bei unterschiedlicher Nahrung (zerkleinertes und unzerkleinertes Futter [ZF und UZF]), angegeben als Mittelwert \pm Standardabweichung (SA)

Spezies	MW6 (mm)							
	FW	\pm SA	n	ZF ¹	\pm SA	UZF ²	\pm SA	n
<i>Testudo hermanni</i>	3,12	2,39	7	2,74	2,29	6,71	2,90	10
<i>Testudo graeca</i>	2,27	1,11	5	4,49	4,30	9,16	9,78	9

1: geschnittenes Heu, Kräuter, Petersilie

2: ungeschnittenes Heu und Gemüse

Hausrinder (n=3) haben bei Fütterung von Grasheu eine mittlere Kotpartikelgröße (geometrischer Mittelwert bei 6 Sieben) von $0,21 \pm 0,05$ mm. Bei Fütterung von Luzerneheu beträgt die mittlere Kotpartikelgröße derselben Tiere $0,38 \pm 0,02$. Dieser Unterschied ist signifikant ($p=0,005$).

Wasserschweine (n=2) haben bei Fütterung von Heu und Pellets eine mittlere Kotpartikelgröße (geometrischer Mittelwert bei 6 Sieben) von $0,27 \pm 0,01$ mm. Bei Fütterung von ausschließlich Heu beträgt die mittlere Kotpartikelgröße derselben Tiere $0,41 \pm 0,06$. Aufgrund der geringen Stichprobenzahl war keine statistische Prüfung möglich.

Viscachas (n=5) haben bei Fütterung von Heu und Pellets eine mittlere Kotpartikelgröße (geometrischer Mittelwert bei 6 Sieben) von $0,18 \pm 0,04$ mm. Bei Fütterung von ausschließlich Heu beträgt die mittlere Kotpartikelgröße derselben Tiere $0,14 \pm 0,01$. Dieser Unterschied ist signifikant ($p=0,045$).

Schabrackentapire (n=4) haben bei Fütterung der „normalen Zooration“ (Obst, Gemüse, Brot, Pellets, Heu) eine mittlere Kotpartikelgröße (geometrischer Mittelwert bei 6 Sieben) von $4,40 \pm 2,10$ mm. Bei Fütterung von ausschließlich Heu beträgt die mittlere Kotpartikelgröße derselben Tiere $2,95 \pm 0,62$ mm. Dieser Unterschied ist nicht signifikant ($p=0,794$).

Flachlandtapire (n=2) haben bei Fütterung der „normalen Zooration“ (Obst, Gemüse, Brot, Pellets, Heu) eine mittlere Kotpartikelgröße (geometrischer Mittelwert

bei 6 Sieben) von $3,87 \pm 2,81$ mm. Bei Fütterung von ausschließlich Heu beträgt die mittlere Kotpartikelgröße derselben Tiere $3,94 \pm 2,91$ mm. Aufgrund der geringen Stichprobenzahl war keine statistische Prüfung möglich.

3.3.6 Innerhalb verschiedener Abschnitte des MDT

3.3.6.1 Säuger

Tabelle 8 zeigt die durchschnittlichen Partikelgrößen als geometrischer Mittelwert für 6 Siebe (MW6) jeweils im Magen, Caecum und Colon verschiedener Nagerspezies. Für keine Spezies ist der Unterschied signifikant.

Tab.8: Geometrischer Mittelwert der Partikelgröße bei 6 Sieben (MW6) im Magen, Caecum und Colon von *Viscachas* (*L. maximus*), *Mittagsrennmäusen* (*M. meridianus*), *mongolischen Rennmäusen* (*M. unguiculatus*) und *Hauskaninchen* (*O. cuniculus f. domestica*), dargestellt als Durchschnittswert \pm Standardabweichung

Spezies	MW6 (mm)							p
	n	Magen	SA	Caecum	SA	Colon	SA	
<i>Lagostomus maximus</i>	6	0,24	0,10	0,23	0,06	0,22	0,10	0,091
<i>Meriones meridianus</i>	4	0,25	0,09	0,20	0,03	0,18	0,04	0,368
<i>Meriones unguiculatus</i>	5	0,26	0,10	0,20	0,05	0,23	0,05	0,607
<i>Oryctolagus cuniculus f. domestica</i>	5	0,43	0,04	0,31	0,05	0,35	0,04	0,074

Abb. 42 zeigt die durchschnittlichen Partikelgrößen als geometrischer Mittelwert für 9 Siebe (MW9) im Magen, Caecum und Colon bei jeweils einem afrikanischen und einem asiatischen Elefanten. Aufgrund der geringen Stichprobenzahl war keine statistische Prüfung möglich.

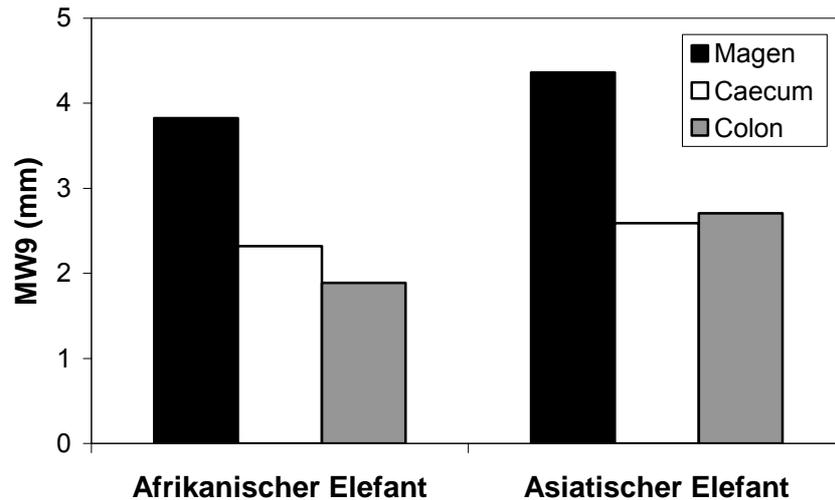


Abb. 42: Geometrischer Mittelwert für 9 Siebe (MW9) der Partikelgröße im Magen, Caecum und Colon jeweils eines afrikanischen und asiatischen Elefanten

3.3.6.2 Reptilien

Der Tabelle 9 sind die Partikelgrößen als geometrischer Mittelwert für 9 Siebe (MW9) in verschiedenen Abschnitten des MDT eines grünen Leguans sowie im Caecum und Colon distale von Wickelschwanzskinken zu entnehmen.

Tab. 9: Geometrischer Mittelwert der Partikelgröße bei 9 Sieben (MW9) in mm innerhalb des Verdauungstrakts eines grünen Leguans (*I. iguana*) sowie bei Wickelschwanzskinken (*C. zebra*), angegeben als Mittelwert \pm Standardabweichung

	<i>Iguana iguana</i>	<i>Corucia zebra</i>
n	1	8
	MW9 (mm)	
Magen	45,70	
Caecum		9,37 \pm 4,26
Anfang	3,27	
Recessi	0,56	
Sulcus	1,45	
Colon	4,38	10,26 \pm 6,17
Rektum	3,81	

Aufgrund der geringen Stichprobenzahl war keine statistische Prüfung der Partikelverteilung innerhalb des Verdauungstrakts des grünen Leguans möglich. Ein

Vergleich der Partikelgröße im Caecum und Colon distale der Wickelschwanzskinke ergab keinen signifikanten Unterschied ($p=0,779$).

3.3.6.3 Vögel

Abb. 43 zeigt die durchschnittliche Partikelgröße als geometrischer Mittelwert bei 9 Sieben (MW9) im Magen, Caecum und Colon beim Strauß.

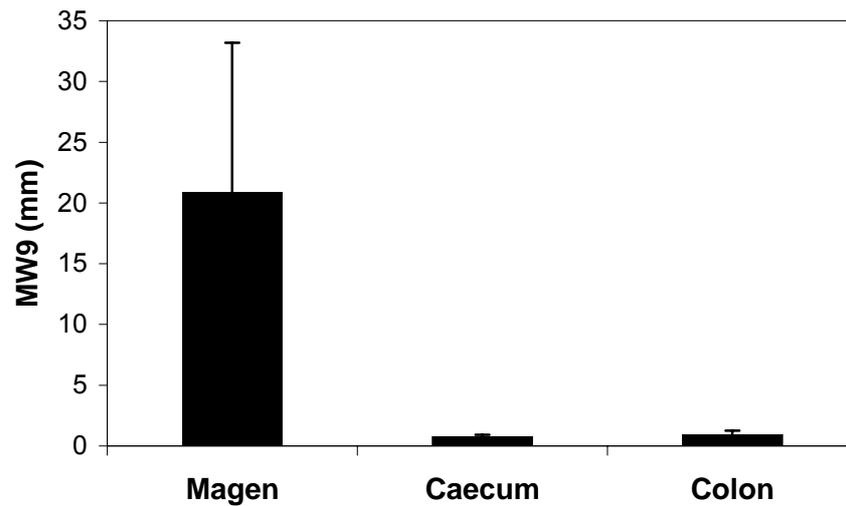


Abb. 43: Geometrischer Mittelwert bei 9 Sieben (MW9) der Partikelgröße im Magen, Caecum und Colon von Straußen ($n=3$)

4 Diskussion

4.1 Diskussion der Methodik

4.1.1 Kotpartikelgröße als Maß für den Zerkleinerungsgrad der Nahrung

Zahlreiche Autoren zeigten bei verschiedenen Wiederkäuern, dass sich die Partikelgröße distal des Pansens nicht wesentlich von der Partikelgröße im Kot unterscheidet (GRENET 1970, UDEN 1978, UDEN und VAN SOEST 1982a, SHAVER 1988, FUJIKARA et al. 1989, POPPI et al. 1980, MARTZ und BELYEA 1986, FREUDENBERGER 1992). FREUDENBERGER (1992) zeigte zudem bei Kängurus, dass die Partikelverteilung im Magen und Kot vergleichbar ist. Die eigenen Untersuchungsergebnisse ergaben keine signifikanten Unterschiede zwischen der Partikelgröße im Magen und der im Colon, bzw. Kot bei verschiedenen Nagerspezies. Untersuchungen von MEYER et al. (1986) zeigen, dass es sich bei größeren Dickdarmfermentieren ähnlich verhält. Sie fanden bei fistulierten Pferden ähnliche Partikelverteilungen im Oesophaguschymus wie im Ileumchymus und Kot. Mehrere Autoren formulierten, dass fermentative Prozesse bei der Reduktion der Partikelgröße keine große Bedeutung haben (PEARCE 1967, FUJIKARA et al. 1989, POPPI et al. 1980, MURPHY und NICOLETTI 1984, LECHNER-DOLL 1986, SPALINGER und ROBBINS 1992), und Untersuchungen von WILSON et al. (1989 a, b) brachten hervor, dass sich durch die bakterielle Verdauung lediglich die Breite der Partikel verändert, während die Länge substantiell nur durch den Kauvorgang verringert wird. Dies steht im Einklang zu Versuchen von NOCEK und KOHN (1988), die eine Reduzierung des Partikeldurchmessers bei in situ Inkubation im Pansen fanden. Es sei hierzu angemerkt, dass die Inkubationszeit beachtliche 100 Std. betrug. BOWMAN und FIRKINS (1995) stellten ebenfalls eine Reduktion der Partikelgröße bei in situ Inkubation fest. Allerdings lag die Größe der inkubierten Partikel unter 1 mm, was einer Größe entspricht, bei der die Partikel physiologischerweise den Pansen bereits verlassen (POPPI et al. 1980). Somit kann zusammengefasst gesagt werden, dass sich die Kotpartikelgröße als Maß für die Zerkleinerung der Nahrung durch den Kauvorgang als zuverlässiger Parameter erwiesen hat.

Es gilt jedoch zwei Aspekte zu beachten. LANYON und SANSON (2006) konnten bei Gabelschwanzseekühen eine kontinuierliche Abnahme der Partikelgröße entlang des Magen-Darm-Trakts nach Aufnahme von Seegrass demonstrieren. Aquatische Futterpflanzen sind mechanisch leichter zerstörbar als terrestrische Futterpflanzen, wie die gleiche Untersuchung zeigte. Somit besteht eine Einschränkung für Tiere, die sich nicht von terrestrischen Pflanzen ernähren. Die in der vorliegenden Studie untersuchten Rundschwanzseekühe wurden ausschließlich mit terrestrischen Futterpflanzen (u.a. Kopfsalat) gefüttert, so dass hier die Kotpartikelgröße ebenfalls als Maß für den Zerkleinerungsgrad durch den Kauapparat angesehen werden kann. Die zweite Einschränkung besteht für Tiere mit relativ langsamer Darmpassage. Eigene Untersuchungsergebnisse sowie eine Studie von FOLEY et al. (1992) haben gezeigt, dass sich die Partikelgröße im Magen bei Reptilien, die bekanntlich eine sehr langsame Passage zeigen, deutlich von der Partikelgröße im distalen Verdauungstrakt unterscheidet (s.h. hierzu 4.2.2.3). Eine Beurteilung der Nahrungszerkleinerung durch den Kauvorgang anhand der Partikelgröße im Kot ist somit bei Reptilien nicht möglich. Allerdings ist die mechanische Zerkleinerungsfähigkeit bei Reptilien von Natur aus extrem eingeschränkt, da sie weder kauen (z.B. THROCKMORTON 1976, McBEE und McBEE 1982), noch über ein anderes Zerkleinerungsorgan - wie bei Vögeln der Muskelmagen - verfügen.

4.1.2 Bestimmung des Körpergewichts

Nur bei einer begrenzten Anzahl der beprobten Tiere war eine Wiegung möglich, oder lag eine in jüngerer Vergangenheit tatsächlich ermittelte Angabe zur Körpermasse vor. In den meisten Fällen musste die Körpermasse anhand einer Adspektion der Tiere oder aufgrund der verschiedenen im Methodenteil aufgeführten Quellen abgeschätzt werden. Die sich auf diese Weise ergebenden Abweichungen von der Realität dürften in der Regel im Vergleich zu dem in dieser Untersuchung abgedeckten gesamten Körpermassen-Bereich einen so geringen Anteil ausmachen, dass sie hinsichtlich des Gesamtbildes keine wesentliche Fehlerquelle darstellen. Allerdings ist davon auszugehen, dass das Fehlen von durch Wiegen ermittelten Gewichtsangaben beim innerartlichen Vergleich eine wichtige potentielle Fehlerquelle darstellt. Aus diesem Grund werden im Folgenden nur bei solchen Tierarten innerartliche Vergleiche angestellt, bei denen nicht nur eine ausreichende

Anzahl von Individuen zur Verfügung standen, sondern bei denen auch entweder durch Wiegen die Körpermasse bekannt war, bei denen die Körpermasse indirekt ermittelt werden konnte (Messung des Brustumfanges bei Elefanten), oder bei denen aufgrund deutlicher individueller Unterschiede eine relativ zuverlässige Einteilung in Größenklassen möglich war (z. B. bei Giraffen oder den Pferderassen).

4.1.3 Herkunft der Proben

In der vorliegenden Studie konnte bei einigen Spezies gezeigt werden, dass der Einsatz verschiedener Futtermittel bzw. verschiedener Nahrungspartikelgrößen zu unterschiedlichen durchschnittlichen Kotpartikelgrößen führt.

Rinder zeigten bei Fütterung von Grasheu eine feinere durchschnittliche Kotpartikelgröße als bei Fütterung von Luzerneheu (Abb. 44).

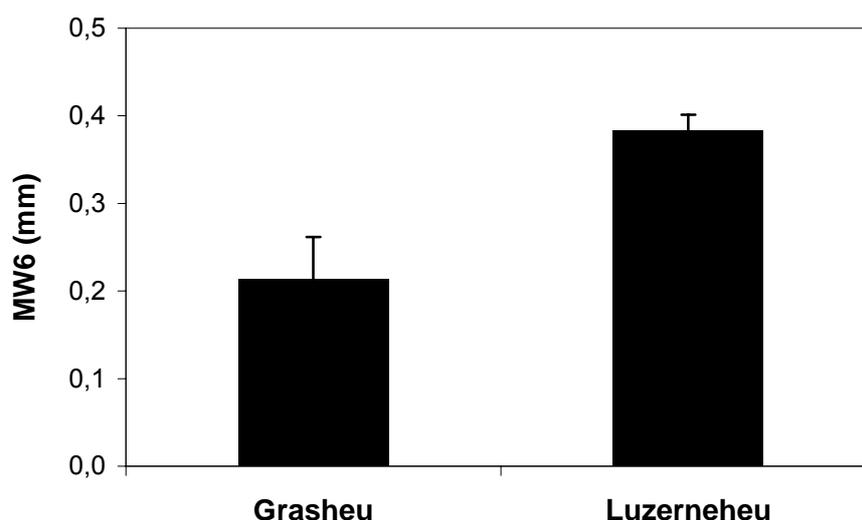


Abb. 44: Geometrischer Mittelwert der Kotpartikelgröße bei 6 Sieben (mm) von Rindern bei Grasheu- und Luzerneheufütterung (n=3)

Dies steht zum einen im Einklang mit einer Untersuchung von KNIPFEL (1984), der bei Fütterung von Luzerne vergleichsweise größere Partikel im Blättermagen von Rindern fand als bei Fütterung verschiedener Grasarten, und zum anderen damit, dass verschiedene Futtermittel unterschiedlich zerkleinert werden (ULYATT et al. 1982, WILSON et al. 1989a, LENTLE et al. 1999, WILMAN et al. 1999, SCHAUB 2004, LANYON und SANSON 2006), und sich die produzierten Partikel in ihrer Form je nach Futtermittel unterscheiden (z.B. EMANUELE und STAPLES 1988, KNIPFEL

1984, MTENGETI et al. 1995, 1996). So sind die Partikel von Gräsern eher länglich und die Partikel von Leguminosen eher quadratisch oder polygonal.

Mehrere Studien bei Dickdarmfermentierern großer Körpergröße haben gezeigt, dass durch einen hohen Anteil an pelletiertem Futter der Anteil an feinen Partikeln im Kot erhöht wird. So fanden beispielsweise CARMALT et al. (2004) für Pferde, denen Heu und Hafer bzw. nur Heu gefüttert wurde, signifikant größere Kotpartikel (Mittelwert 398 μm bzw. 387 μm) als für Pferde, denen Heu und Sojapellets (360 μm) bzw. Heu und Rapsmehlpellets (365 μm) gefüttert wurde. Untersuchungen von CASTELL (2005) an Spitzmaulnashörnern zeigten, dass bei steigendem Krafffutteranteil (Pellets) in der Ration die durchschnittliche Partikelgröße im Kot sinkt (Abb. 45). In ähnlicher Weise fand auch SCHAUB (2004) einen Einfluss des Futters auf die Kotpartikelgröße bei Giraffen, denn bei Fütterung von Luzerneheu und pelletiertem Mischfutter war der Kot am feinsten, bei Fütterung von reinem Luzerneheu hingegen nahm die Partikelgröße zu.

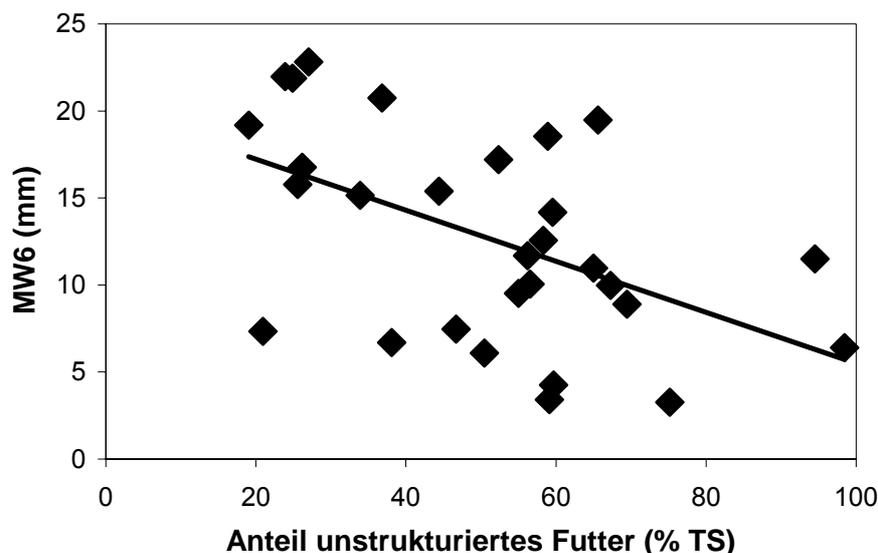


Abb. 45: Vergleich der durchschnittlichen Kotpartikelgröße (geometrischer Mittelwert bei 6 Sieben, mm) von Spitzmaulnashörnern bei verschiedenen Krafffutteranteilen in der Ration (berechnet nach Daten aus CASTELL 2005)(n=29)

Futterpellets bestehen größtenteils aus sehr feinen Partikeln. Eine Untersuchung verschiedener herkömmlicher Futterpellets von CLAUSS et al. (2003b) zeigte, dass der Anteil an Partikeln kleiner als 1,4 mm bei 89% liegt (verwendete Siebgrößen: 0,2; 0,4; 0,56; 0,8; 1,4 und 3,5 mm). Daraus ergibt sich v.a. bei großen Herbivoren, welche ihre Nahrung insgesamt nicht so fein zerkleinern wie kleine Herbivore, dass

durch einen höheren Anteil feiner Partikel in der Nahrung der Anteil an feinen Partikeln im Kot erhöht und somit die durchschnittliche Partikelgröße erniedrigt wird. Demnach wäre es denkbar, dass bei großen Herbivoren auf den feineren Sieben v.a. der Partikelanteil aus den Pellets retiniert wird, sofern dieser einen größeren Teil der Ration ausmacht. Abb. 46 zeigt den TS-Anteil auf dem feinsten Sieb (Maschenweite 0,125 mm) in Abhängigkeit unterschiedlicher Anteile unstrukturiertem Futter in der Ration bei Spitzmaulnashörnern. Man erkennt, dass je höher der Anteil unstrukturiertem Futter, desto höher ist der Partikelanteil auf dem feinsten Sieb.

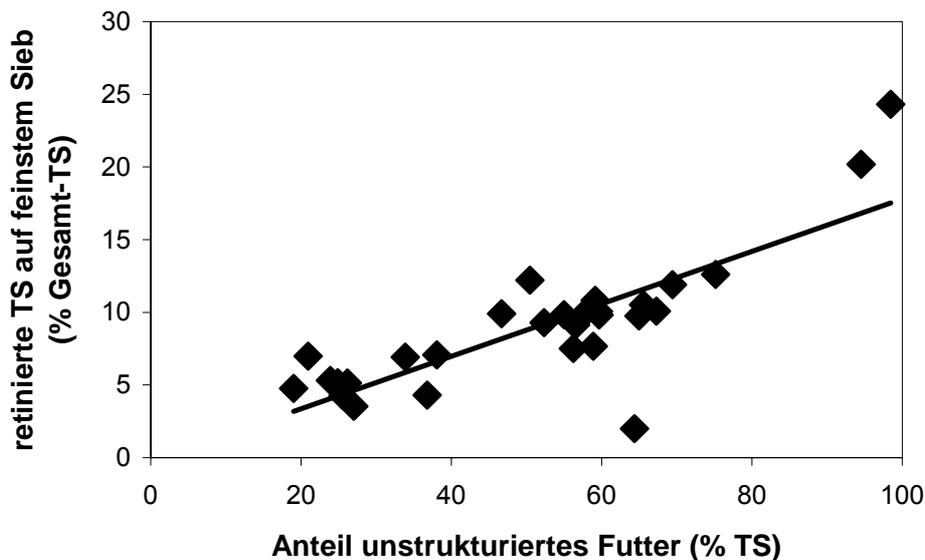


Abb. 46: Anteil retinierter Trockensubstanz (TS) auf dem feinsten Sieb (0,125 mm) in Prozent der Gesamt-TS-Menge bei unterschiedlichen Anteilen unstrukturiertem Futter (% TS) bei Spitzmaulnashörnern (Daten aus CASTELL 2005)(n=29)

Eine Frage, die sich daraus ergibt, ist, ab welcher Siebgröße die Kotpartikelgröße methodisch nicht mehr durch die Fütterung von unstrukturiertem Futter beeinflusst wird. Anhand des WAm_{max} soll dies im folgenden beispielhaft demonstriert werden. In Abb. 47 ist der WAm_{max} für die Nashorn-Daten aus Abb. 45 und 46 für verschiedene Siebreihen dargestellt, wobei immer jeweils das feinste Sieb aus der Berechnung weggelassen wurde – davon ausgehend, dass die feineren Siebe v.a. den Partikelanteil aus den Pellets repräsentieren.

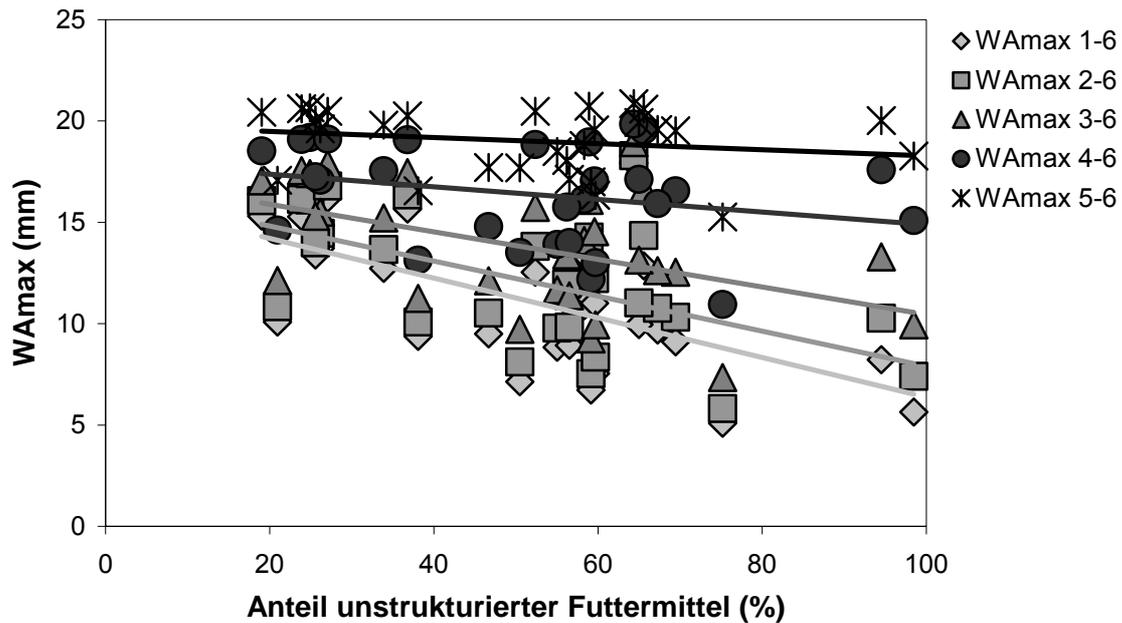


Abb. 47: Weighted Average mit Maximalwert der Kotpartikelgröße (WAmox) von Spitzmaulnashörnern bei unterschiedlichen Anteilen unstrukturiertem Futter bei Verwendung von sechs (0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 4 mm), fünf (0,25; 0,5; 1; 2; 4 mm), vier (0,5; 1; 2; 4 mm), drei (1; 2; 4 mm) und zwei (2; 4 mm) Sieben (berechnet nach Daten aus CASTELL 2005)

Bei einem Vergleich der auf diese Weise ermittelten Werte zeigt sich, dass ab einer Maschenweite von 0,5 bis 1 mm der Anteil an unstrukturiertem Futter keinen Einfluss mehr auf die berechnete Kotpartikelgröße hat, die berechnete Kotpartikelgröße insgesamt aber von Stufe zu Stufe ansteigt. Die Siebgröße, ab der ein Einfluss des Pelletfutters auf das Ergebnis verschwindet, dürfte zudem je nach Tierart variieren (so werden z. B. bei Nagern auf den Siebgrößen, die bei den Nashörnern keine aus unstrukturierten Futtermitteln stammenden Partikel retinieren, überhaupt keine Partikel retiniert). Daher muss von einer solchen, theoretisch denkbaren Möglichkeit, um den Einfluss unstrukturierter Futters zu korrigieren, bei der Auswertung abgesehen werden.

Bei kleinen Herbivoren geht ein hoher Anteil an feinen Nahrungspartikeln nicht zwangsläufig mit einer erniedrigten Kotpartikelgröße einher, da die meisten kleinen Herbivoren ihre Nahrung sehr fein zerkleinern.

Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass eine Ration aus Heu und Pellets bei Wasserschweinen – den größten Nagern (MONES und OJASTI 1986) – ähnlich wie bei Megaherbivoren zu einer feineren Kotpartikelgröße führt als reine Heufütterung bei den gleichen Tieren. Viscachas hingegen, die eine Ration aus Heu

und Pellets erhielten, wiesen eine größere durchschnittliche Kotpartikelgröße auf als die gleichen Tiere bei einer reinen Heuration (Abb. 48). Da der Unterschied nur bei 0,04 mm liegt ist es denkbar, dass die Größe der Nahrungspartikel in den Pellets so fein ist, dass diese der durchschnittlich angestrebten Partikelgröße bereits sehr nahe kommt, so dass keine weitere Zerkleinerung mehr stattfindet. Vermutlich kauen Visachas die Pellets nur so lange, bis diese im Mund zerfallen.

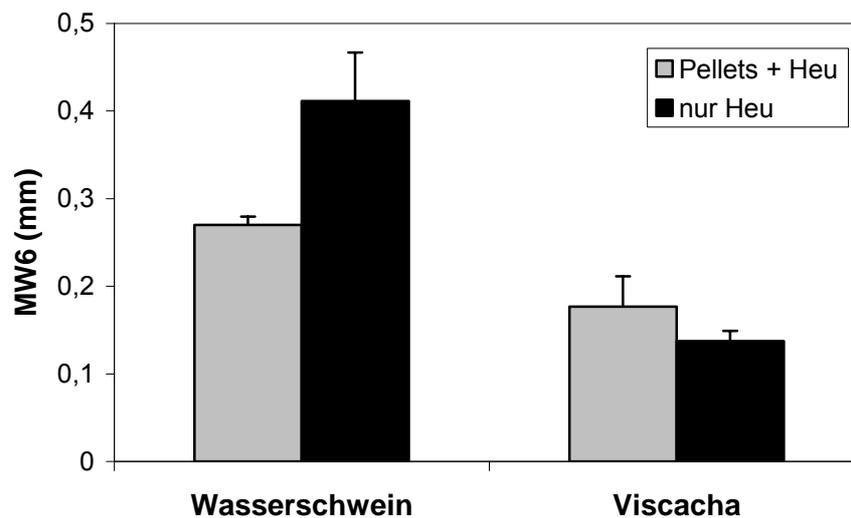


Abb. 48: Geometrischer Mittelwert der Kotpartikelgröße bei 6 Sieben (mm) von Wasserschweinen ($n=2$) und Viscachas ($n=5$) bei unterschiedlicher Fütterung

In vielen Fällen unterscheidet sich die Fütterung in Zootierhaltung, bzw. Gefangenschaft von der natürlichen Nahrung in freier Wildbahn (z.B. SEITZ 1967, eigene Beobachtung). Unterschiedliche Kotpartikelgrößen bei Tieren aus Zootierhaltung und freier Wildbahn konnten in der vorliegenden Studie bei Giraffen, Auerochsen, Tapiren, Przewalskipferden, Halsbandpekaris, Wombats, und Landschildkröten gezeigt werden (Tab. 6).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Futtereinfluss im Einzelfall zwar sehr aufschlussreich sein kann, in der vorliegenden Studie aber aufgrund der angestrebten großen Probenmenge und der damit bedingten variablen Herkunft der Proben nicht wirklich kontrollierbar war, auch wenn Proben von Tieren mit einem - nach Angaben bzw. aufgrund eigener Adspektion bemerkten - hohen Pelletanteil in der Ration ausgeschlossen wurden. Aus diesem Grund muss die Datensammlung mit Vorsicht betrachtet werden. Ziel der vorliegenden Arbeit war die Aufdeckung von Trends über eine große Bandbreite von Spezies hinweg. Bei einer genaueren

Betrachtung einzelner Spezies muss unbedingt das aufgenommene Futter bekannt sein.

4.1.4 Trockensubstanzgehalt im Kot und der berechnete Anteil nicht auf den Sieben retinierten Materials

Es war im Rahmen dieser Studie nicht möglich, bei allen beprobten Individuen auf frisch abgesetzte Kotportionen zu warten. Insbesondere bei den kleineren Tierarten war es zudem notwendig, Kotballen unterschiedlichen Frischezustandes zu sammeln, um überhaupt eine für die Analyse ausreichende Probenmenge zu erhalten. Dadurch ergaben sich bei diesen Arten einerseits oft sehr trockene Kotballen, andererseits war die so gesammelte Gesamtprobe durch eine Heterogenität im TS-Gehalt der einzelnen Kotballen charakterisiert. Daraus folgt, dass die ermittelten Kot-TS-Gehalte für Säuger mit einer KM unter 5 kg (60 bis 95%) - vornehmlich Nager - möglicherweise nicht als repräsentativ erachtet werden können, wenngleich verschiedene Untersuchungen unter standardisierten Laborbedingungen gezeigt haben, dass Nager durchaus Kot-TS-Gehalte erzielen, die im Bereich der Ergebnisse der vorliegende Studie liegen. SCHUG (2005) fand für Ratten - je nach Futter - Kot-TS-Gehalte zwischen 60 und 88%, ROSENGARTEN (2004) für Meerschweinchen, bzw. Zwergkaninchen zwischen 57 und 65%, bzw. 53 und 81%.

Für Säuger mit einer KM über 5 kg ist anzunehmen, dass der durchschnittliche TS-Gehalt von frisch abgesetztem Kot bei gesunden Tieren zwischen 15% und 60% liegt (Abb. 17).

Betrachtet man den Anteil nicht retinierter TS, würde man theoretisch einen kontinuierlichen Anstieg dieses Parameters mit sinkender Körpermasse erwarten, da kleinere Tiere vermeintlich feiner kauen und somit einen höheren Anteil extrem feiner Partikel in ihrem Kot haben sollten. In dem Bereich, in dem der ermittelte TS-Gehalt der Kotproben bei Säugern zuverlässig erschien (KM >5 kg), ist ein abnehmender Anteil nicht retinierter TS an der Gesamtprobe zu beobachten. In dem Bereich jedoch, wo eine zuverlässige Bestimmung des TS-Gehaltes der Kotprobe nicht immer möglich war (KM <5 kg), ist kein solches Muster mehr zu erkennen (Abb. 18).

Aufgrund der erwähnten Heterogenität im TS-Gehalt der einzelnen Kotballen einer Kotprobe konnte diese Fraktion vor allem bei den kleineren Spezies nicht zuverlässig berechnet werden. Wenn der TS-Gehalt in den Kotballen, die mittels Siebanalytik fraktioniert wurden, von dem der Kotballen, in denen der TS-Gehalt tatsächlich bestimmt wurde, differiert, muss es zwangsläufig zu Abweichungen in dem Parameter „nicht retinierte TS“ kommen. Bei Tieren, die größere Kotballen absetzten, kann diese Fraktion selbst bei älterem und damit trocknerem Kot zuverlässig bestimmt werden, wenn die Kotballen in Portionen für die TS-Bestimmung und die Siebeinwaage aufteilt werden (s.h. Methoden S. 97). Bei ganz kleinen Kotballen ist dies jedoch nicht möglich.

4.1.5 Analytik von Partikelgrößen

Unterschiedliche Verfahren und Methoden wurden entwickelt, um die Partikelgröße von Futter-, Ingesta- oder Kotproben zu messen. Die meisten Methoden basieren auf zwei Grundpfeilern, der Aufteilung der Partikel in Fraktionen mittels einer Siebkaskade aus Sieben unterschiedlicher Porengröße, bzw. Maschenweite (POPPI et al. 1980, GRENET 1984, MOSELEY 1984, DIXON und MILLIGAN 1985, PALOHEIMO et al. 1986, CLAUSS et al. 2002) oder der Messung der Größendimensionen der einzelnen Partikel durch einen Untersucher (DUNBAR und BOSE 1991) oder mit Hilfe von Bild-Analyse-Verfahren (z.B. LOGAN und SANSON 2000, NØRGARD et al. 2004).

4.1.5.1 Siebverfahren

Für das Siebverfahren wird die Probe auf das oberste Sieb einer Kaskade von Sieben abnehmender Porengröße verbracht. Für die Nasssieb-Methode wird die Probe zunächst in Flüssigkeit gelöst und dann bei permanenter Wasserbesprühung, bzw. permanentem Wasserdurchlauf oder im Wasserbecken gesiebt. Bei der Trockensieb-Technik wird ohne Wasser gesiebt und die Probe, wenn nötig, zuvor getrocknet. Durch Schwingen bzw. Vibrieren oder Oszillieren der Siebsäule erfolgt die Trennung der Partikel in Fraktionen unterschiedlicher Partikelgröße. Die einzelnen Fraktionen werden anschließend auf Petrischalen oder Filterpapier überführt und nach Trocknung gewogen.

Gemäß LECHNER-DOLL (1986) ist die Trennung von Partikeln in Fraktionen mittels einer Siebsäule eine Funktion von Länge, Breite und Dicke der Partikel. Für das Sieben von kugeligen, flächenhaften und länglichen Körpern ergeben sich somit folgende theoretische Aspekte:

Bei kugeligen Futterpartikeln (z.B. Samen) entspricht der maximale Durchmesser einer das Sieb passierenden Kugel der Porengröße des Siebes (a). Es sammeln sich also Partikel an, deren Durchmesser größer ist als die Porengröße des Siebes auf dem sie liegen, und kleiner als die des darrüberliegenden Siebes. Das gleiche gilt für quadratische Partikel (vgl. Abb. 49).

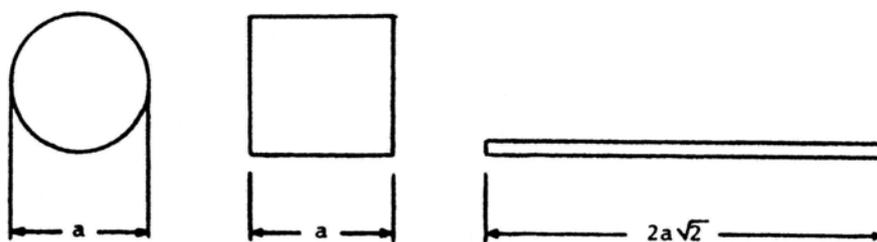


Abb. 49: Kugelige, flächenhafte und längliche Partikel, die ein Sieb mit quadratischen Öffnungen der Kantenlänge a gerade noch passieren können (aus LECHNER-DOLL 1986)

Beim Sieben von flächenhaften Körpern (z.B. Blätter), die weniger als doppelt so lang wie breit sind (Verhältnis von Länge zu Breite $< 2:1$), ist die Breite des Partikels für das Passieren des Siebes entscheidend. Auf dem Sieb sammeln sich folglich Partikel, die breiter sind als die Porengröße des entsprechenden Siebes und schmaler als die Porengröße des darrüberliegenden Siebes.

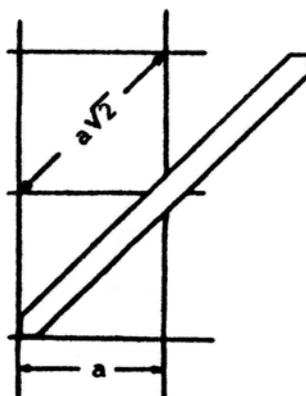


Abb. 50: Maximale Länge eines Partikels, mit der ein Sieb mit quadratischen Öffnungen gerade noch passiert werden kann (aus LECHNER-DOLL 1986)

a : Kantenlänge der Sieböffnung, $a\sqrt{2}$: effektive Porengröße

Bei länglichen Partikeln (z.B. Gras) (Verhältnis von Länge zu Breite $> 4:1$) erfolgt die Trennung gemäß VAAGE et al. (1984) nach dem Übergewichtsprinzip. D.h. ein Partikel mit gleichmäßig verteilter Masse, der kürzer ist als die doppelte Porengröße, bzw. bei quadratischen Sieböffnungen als die doppelte Länge der Diagonalen der Porengröße ($2a\sqrt{2}$, vgl. Abb. 50), bekommt Übergewicht und fällt durch die Masche des Siebes. Größere Partikel bleiben auf dem Sieb liegen (Abb. 51). Verschiedene Studien bestätigen diese Theorie (MURPHY und NICOLETTI 1984, LECHNER-DOLL und ENGELHARDT 1991, FREUDENBERGER 1992).



Abb. 51: Veranschaulichung des Übergewichtsprinzips nach VAAGE et al. (1984) (aus LECHNER-DOLL 1986)

a: Porengröße

Bei der Nasssiebung ist prinzipiell auch ein Zurückhalten der Partikel aufgrund der Oberflächenspannung möglich. Dies kann insbesondere dann passieren, wenn die Oberfläche, bzw. Dicke des Siebgitters größer oder gleich groß ist als die Partikeloberfläche.

An dieser Stelle sei kurz erwähnt, dass die „kritische Partikelgröße“ (definiert als Porengröße des Siebes, auf dem 5% der gesamten Trockensubstanz retiniert werden; POPPI et al. 1980) in der Wiederkäuerliteratur häufig auf die Partikellänge bezogen wird (z.B. LEE und PEARCE 1984), obwohl sie sich korrekterweise auf die Siebporengröße bezieht (POPPI et al. 1980). Der Unterschied kann bei vorwiegend länglichen Partikeln erheblich sein, da diese beim Sieben nach dem Übergewichtsprinzip (VAAGE et al. 1984) durch das Sieb fallen. Auf einem Sieb mit 1 mm Porengröße könnten somit auch Partikel mit einer Länge von 5 mm liegen bleiben, wenn das nächsthöhere Sieb eine Maschenweite von 2 mm hat (also in der Diagonalen einen Abstand von 2,82 mm).

Mehrere vergleichende Untersuchungen haben gezeigt, dass das Nasssiebverfahren für Proben aus dem Verdauungstrakt aus verschiedenen Gründen besser geeignet ist als das Trockensiebverfahren (GILL et al. 1966, UDEN 1978, UDEN und VAN SOEST 1982a, ALLEN et al. 1984, MURPHY und ZHU 1997). Bei der Trocknung von nassen Digestaprobeen kommt es u.a. zu Verklumpungen größerer und kleinerer Partikel (ALLEN et al. 1984, EHLE 1984b, MOSELEY 1984), wodurch es passieren kann, dass die Fraktionen auf den Sieben mit kleiner Maschenweite zu niedrig bestimmt werden (LECHNER-DOLL 1986). Untersuchungen von ALLEN et al. (1984) zeigten, dass Partikel kleiner als 150 µm beim Nasssieben, nicht aber beim Trockensieben aufgefangen wurden. Allerdings soll nicht unerwähnt bleiben, dass SCHWARM (2004) ein Verfahren zur Auflösung der durch die Trocknung entstandenen Verklumpung anhand einer sequentiellen Säure- und Laugen-Behandlung (vergleichbar der Rohfaseranalytik) etablierte, das mit der Siebung von frischem Kot vergleichbare Ergebnisse lieferte.

UDEN (1978) sowie UDEN und VAN SOEST (1982a) beobachteten bei der Trockensiebung ein Herumhüpfen der Partikel auf den Sieben, wodurch diese das Maschengitter mit dem kurzen Ende zuerst passierten. Sie folgerten daraus, dass bei der Trockensiebung vermutlich vor allem der Partikeldurchmesser gemessen wird. Untersuchungen von ALLEN et al. (1984) bestätigten diese Vermutung. Sie fanden eine größere Diskrepanz zwischen der Nasssieb- und Trockensieb-Methode bei länglichen Grasparkeln als bei quadratischen Luzerneheuparkeln. Bei Weizenkleieparkeln, die sehr einheitlich sind, war die Diskrepanz ebenfalls sehr gering. Diese Tatsache, sowie die Probleme, die während des Trocknens auftreten können, erklärt, warum mehrere Autoren beim Vergleich der beiden Methoden unterschiedliche Partikelgrößen fanden (UDEN 1978, UDEN und VAN SOEST 1982a, ALLEN et al. 1984, EHLE 1984b). So fanden UDEN (1978) und EHLE (1984b) beispielsweise beim Nasssieben signifikant höhere Mittelwerte und ALLEN et al. (1984) signifikant niedrigere Medianwerte.

Nach PALOHEIMO et al. (1968) sollte für Kotanalysen die Menge der Frischeinwaage von dem TS-Gehalt der Probe abhängen. Die TS-Einwaage sollte dabei um die 3 g sein. Bei dieser Herangehensweise wäre die Reihenfolge der Arbeitsschritte sehr viel umständlicher, da man zunächst die TS bestimmen und dann die nötige Probenmenge für jede einzelne Probe rechnerisch ermitteln müsste. Die

eigene Erfahrung zeigt außerdem, dass der TS-Gehalt bei der Frischeinwaage eine untergeordnete Rolle spielt. Vielmehr bestimmt die Beschaffenheit der Ausgangsprobe, wie viel Einwaage nötig ist. Insbesondere bei Megaherbivoren erfordert eine repräsentative Probenmenge eine teilweise große Einwaage, da Megaherbivore einen vergleichsweise hohen Anteil an großen Partikeln im Kot haben, was sich bereits bei der Adspektion erkennen lässt. Durch eine zu geringe Einwaage und damit einhergehenden kleinen Kotmenge, welche durch manuelles Abtrennen der grösseren, die verschiedenen kleineren Portionen miteinander verbindender Partikel gewonnen wird, würden durch diese nur wenige große Partikel erfasst werden. Der Anteil großer Partikel kann dann nicht zuverlässig gemessen werden bzw. wäre vermutlich unterrepräsentiert. Nach LECHNER-DOLL (1986) kann ein Fehler, der durch eine nicht repräsentative Stichprobe, insbesondere bei inhomogenen Proben, entsteht, im allgemeinen als größer angesehen werden, als der methodische Fehler beim Sieben der Probe selbst. Bei Nagern hingegen ist teilweise gar keine große Einwaage möglich, da diese vergleichsweise kleine Kotballen absetzen. Man müsste daher u. U. unverhältnismäßig viele Kotabsätze zusammennehmen, was allein aufgrund der sehr viel homogeneren Partikelverteilungen nicht nötig ist.

Nach WALDO et al. (1971) sollte man die Siebgrößen so wählen, dass auf den Sieben mit der größten und der kleinsten Maschenweite jeweils noch kleine Mengen von Material aufgefangen werden. Bei einer großen Heterogenität des Probenmaterials – wie in der vorliegenden Arbeit – ist diese Empfehlung allerdings nicht praktikabel, da ein Vergleich der ermittelten Partikelgrößen den Einsatz gleicher Siebsätze erfordert. In diesem Fall muss besondere Aufmerksamkeit auf die Wahl des feinsten und größten Siebes gelegt werden, da diese Siebe die kleinste messbare Partikelgröße bestimmen sowie die Obergrenze zur Partikeldifferenzierung festlegen.

Nach LECHNER-DOLL (1986) ist ein Nachteil der Siebmethode die Differenzierung zwischen den Partikeln, die das Sieb mit der kleinsten Maschenweite passieren, und den im Spülwasser gelösten Substanzen. Eine Trennung mittels Zentrifugation ist zwar möglich (GRENET 1984, MOSELEY 1984), aber sehr aufwändig. Für die vorliegende Studie wurde als Untergrenze der Siebkaskade 63 µm gewählt, wodurch der Partikelanteil, der hierbei nicht mehr retiniert wird, gering gehalten werden

konnte. Es handelt sich hierbei vermutlich v.a. um Bakterien und Protozoen, denn letztere sind im Durchschnitt ca. zwischen ca. 24 und 146 μm lang und zwischen 15 und 106 μm breit (DEHORITY 1993). Der Anteil nicht retinierter Partikel wurde rechnerisch ermittelt, der Anteil an gelösten Substanzen war für die vorliegende Arbeit nicht von Bedeutung. Bei einem zu feinmaschigen Sieb besteht im allgemeinen die Gefahr, dass sich dieses festsetzt und dann überläuft. Dies wurde nur in seltenen Fällen beobachtet und konnte durch ein kurzfristiges Anheben der Schwingungshöhe behoben werden.

Bei einem zu grobmaschigen Sieb muss man bedenken, dass die Partikel nicht allein aufgrund der Siebfunktion zurückgehalten werden, sondern auch aufgrund der Oberflächenspannung, weshalb die Wahl eines noch größeren Siebes für die vorliegende Arbeit nicht sinnvoll erschien. Eine weitere Differenzierung der größten Partikel müsste in zukünftigen Studien, wenn wieder ein Nass-Siebverfahren zur Anwendung kommen sollte, anhand optischer Verfahren erfolgen.

4.1.5.2 Optische Verfahren

Bei Bild-Analyse-Verfahren werden die Partikeldimensionen einzeln vermessen, die Fraktionen werden als Häufigkeit der Verteilung beschrieben (PEREZ-BARBERIA und GORDON 1998b). Hierfür wird die Probe meist zunächst mittels Siebung in Fraktionen grober und feiner Partikel unterteilt, die dann anschließend auf einen Träger überführt und bei verschiedenen Vergrößerungen, bzw. Auflösungen gemessen werden (LOGAN und SANSON 2000, NØRGAARD et al. 2004).

4.1.5.3 Vergleich optische Verfahren zu Siebverfahren

Die Nasssieb-Methode ist ein einfaches, zuverlässiges Verfahren, welches die Analyse einer großen Anzahl von Proben in relativ kurzer Zeit ermöglicht. Gegenüber Siebverfahren haben optische Verfahren zwar den großen Vorteil, dass eine genaue Bestimmung der Partikeldimensionen möglich ist (PEREZ-BARBERIA und GORDON 1998b), aber auch die großen Nachteile, dass sie nur eine geringe Probenmenge zulassen, dass die ganz feinen Partikel nicht erfasst werden können (PEREZ-BARBERIA und GORDON 1998b), und sie außerdem sehr zeitaufwändig sind und

eine technisch anspruchsvolle Ausstattung erfordern. Da sich bei optischen Verfahren die einzelnen Partikel nicht berühren oder gar übereinander liegen dürfen, kann sich das manuelle Auseinanderlegen als sehr mühsam erweisen und ist für die kleinsten Partikel sogar nahezu unmöglich. Aus diesem Grund müssen die Proben bei den meisten optischen Verfahren zuvor gesiebt oder gefiltert werden, um Fraktionen großer Partikel von denen kleinerer Partikel zu trennen. Beim anschließenden Vermessen der ausgeteilten Partikel ergibt sich das Problem, dass die feinsten Partikel nicht erfasst werden können, da sie entweder beim Siebvorgang verloren gehen, oder die Vergrößerung nicht ausreicht. Außerdem müssen die Partikel unter verschiedenen Vergrößerungen gemessen werden, da bei niedriger Vergrößerung die feinen Partikel nicht erfasst werden können, und bei hoher Vergrößerung lange Partikel oftmals über die Ränder hinaus reichen.

4.1.5.4 Begründung der gewählten Methode

In der vorliegenden Studie wurde v.a. aus Gründen der Praktikabilität im Hinblick auf die sehr hohe angestrebte Probenanzahl und die große Varianz der erforderlichen repräsentativen Probenmengen (Kleinstnager im Vergleich zu Megaherbivoren) das Siebverfahren optischen Verfahren vorgezogen. Ein weiterer wesentlicher Grund war, dass auf diese Weise eine große Anzahl vergleichbarer Daten aus anderen Studien – insbesondere 245 Siebproben von 81 Wildwiederkäuerdaten aus der Studie von CLAUSS et al. (2002) – miteinbezogen werden konnte. Nach DIXON und MILLIGAN (1985) ist für einen Vergleich von Datensätzen aus unterschiedlichen Studien das Anwenden der gleichen Methode erforderlich, da Partikelverteilungen, die mit unterschiedlichen Siebmethoden erhoben wurden, möglicherweise zu einem großen Ausmass Unterschiede der Selektivität der Methode reflektieren, als tatsächliche Unterschiede der Partikelgröße. Vergleiche von Partikelverteilungen aus verschiedenen Studien, die mit unterschiedlichen Siebtechniken erhoben wurden, sind daher von fragwürdiger Gültigkeit. Dies steht im Einklang mit einer Studie von MOSELEY (1984), der eine Variation der Größenordnung der Partikellänge auf jedem Sieb bei einem Vergleich verschiedener Nasssiebmethoden fand.

4.1.6 Darstellungsweisen von Partikelgrößen

4.1.6.1 Modulus of Fineness (MOF)

Der MOF ist ein Mass, das in der Literatur oft gebraucht wurde (z.B. THOMAS und CAMPLING 1977, POPPI et al. 1980, LECHNER-DOLL 1986, LECHNER-DOLL und ENGELHARDT 1989, OKAMOTO 1997a, CLAUSS et al. 2002, 2004a, b, POLSTER 2004, SCHAUB 2004, SCHWARM et al. 2005). Um Angaben zum MOF aus verschiedenen Untersuchungen vergleichen zu können, ist es notwendig, dass die gleichen Siebsätze verwendet wurden, da die Porengröße an sich in die Berechnungsformel nicht eingeht, sondern den einzelnen Sieben nur fortlaufende Nummern zugeordnet werden. Die numerische Bedeutung des MOF hängt daher von den Eigenschaften der Siebreihe ab.

In den meisten Publikationen wird der MOF bei Siebreihen verwendet, bei denen die aufeinanderfolgenden Porengrößen eine \log_2 -Reihe darstellen (die Porengröße des nächsthöheren Siebes ist die verdoppelte Porengröße des aktuellen Siebes). Theoretisch wäre es auch denkbar, dass ein MOF-Wert aufgrund einer linear ansteigenden Siebreihe (1, 2, 3 cm) oder aufgrund einer \log_{10} -Reihe (1, 10, 100 mm) berechnet wird. In der Praxis wird dies deshalb nicht geschehen, weil solche Arten von Siebreihen das Spektrum der Partikelgrößen nicht in praktikabler Weise abdecken. Aus der Tatsache, dass der MOF ein aufgrund einer \log_2 -Siebreihe (1, 2, 4, 8, 16) gewonnenes Ergebnis mittels einer linearen Reihe ganzer Zahlen (1, 2, 3, 4, 5) abbildet, ergibt sich, dass der MOF-Wert mit tatsächlich ansteigender Partikelgröße immer weniger ansteigt. Diese Tatsache wird aus einem Vergleich zwischen dem MOF und dem bei den gleichen Proben ermittelten Mittelwert für die Partikelgröße deutlich (Abb. 23).

Daraus ergibt sich folgendes: setzt man den MOF in Bezug zur Körpermasse, überlagern sich zwei Effekte. Erstens steigt die Partikelgröße mit der Körpermasse an, aber der MOF steigt mit zunehmender Partikelgröße immer weniger stark an. Dementsprechend ist der allometrische Exponent der anhand des MOF⁶ ermittelten Regressionsgleichung (vgl. S. 111, 112, 114) stets geringer als die aufgrund anderer Parameter ermittelten Exponenten. Eine sinnvolle, funktionelle Interpretation etwaiger allometrischer Beziehungen zwischen KM und MOF sind daher nicht möglich.

4.1.6.2 Weighted Average (WA)

Der WA ist ein Parameter, der im Zusammenhang mit Siebanalysen von Ingesta- oder Kotpartikeln in der Literatur bislang nicht vorkommt. Im Prinzip handelt es sich hierbei um die gleiche Berechnung wie für den MOF, außer dass man beim MOF eine lineare Reihe ganzer Zahlen und beim WA eine quadratische Reihe (Zunahme um den Faktor 2) hat. Der Vorteil zum MOF ergibt sich dadurch, dass reale Werte, nämlich die Größe der Maschenweite, eingesetzt werden, wodurch man auch reale Partikelgrößen erhält. Allerdings muss man beachten, dass bei dieser Berechnung einer bestimmten Menge an Partikeln, nämlich der Menge auf den jeweiligen Sieben, eine einzige und bestimmte Partikelgröße zugeordnet wird. Tatsächlich finden sich auf einem Sieb aber verschiedene Partikelgrößen, welche sich je nach Maschenweite in einem bestimmten Größenbereich bewegen. Bei der Berechnung des geometrischen Mittelwertes wird diese Verteilung zwischen den Siebgrößen durch die Kurvenanpassung imitiert, weshalb der geometrische Mittelwert prinzipiell eine genauere Aussage über die durchschnittliche Partikelgröße zulässt. Der große Vorteil des WA/WAmax gegenüber dem geometrischen Mittelwert liegt darin, dass die Methodik hierfür vergleichsweise einfach und wenig zeitaufwändig ist. Der große Nachteil ist aber – ähnlich wie auch beim MOF – dass man Daten aus verschiedenen Studien nur miteinander vergleichen kann, wenn die gleichen Siebsätze verwendet wurden.

Der Vergleich von WA zum geometrischen Mittelwert (MW6) (Abb. 21) zeigt, dass im Bereich von 0,2 mm bis 1,5 mm die Kurve auf der $y=x$ -Kurve liegt. Darunter und darüber gibt es Abweichungen nach oben bzw. nach unten. Dies bedeutet, dass bei kleinen Partikeln der WA größer und bei großen Partikeln kleiner ist als der Mittelwert.

Ein ähnliches Bild ergibt sich beim Vergleich des WAmax zum MW6 (Abb. 22). Verglichen mit der Kurve des WA ohne die maximale Partikelgröße zeigt die Kurve des WAmax allerdings eine bessere Anpassung. Daraus folgt, dass der WA mit Maximalwerten eine bessere Aussage zur Partikelgröße zulässt als der WA ohne Maximalwerte. Bei Partikelgrößen unter 0,2 mm wird die Partikelgröße durch den WA und WAmax generell überschätzt. Vor allem bei der Gruppe der Reptilien, die sehr hohe Partikelgrößen erreichen, wird durch den WA und WAmax im hohen Bereich die Partikelgröße im Vergleich zum geometrischen Mittelwert unterschätzt. Eine

Aussage, welcher der beiden Werte die Realität genauer widerspiegelt, kann im Rahmen dieser Studie nicht getroffen werden; aus diesem Grunde werden bei der Diskussion der Ergebnisse hinsichtlich der Überlegung zur Allometrie sowohl der W_{Amax} als auch der geometrische Mittelwert herangezogen.

4.1.6.3 Geometrischer Median und geometrischer Mittelwert

Der geometrische Median und geometrische Mittelwert wurden für die vorliegende Studie anhand verschiedener Kurvenfunktionen ermittelt. Prinzipiell stellt die manuelle Anpassung hierbei eine potentielle Fehlerquelle dar, die allerdings in der vorliegenden Studie nivelliert werden kann, da für jeden Datensatz eine hohe Kurvenanpassung ermittelt werden konnte ($R^2 > 0,9$). Dies soll im folgenden beispielhaft demonstriert werden.

Die Abbildungen 52 und 53 zeigen zwei verschiedene Kurvenanpassungen derselben Probe bei 9 Sieben (Böhm-Steppenzebra), die maximale Partikelgröße beträgt 16 mm. In beiden Fällen ist $R^2 = 0,99$. Der ermittelte geometrische Median beträgt im ersten Beispiel 0,4357 mm und im zweiten 0,4121 mm, der geometrische Mittelwert 0,8397 mm und 0,8507 mm.

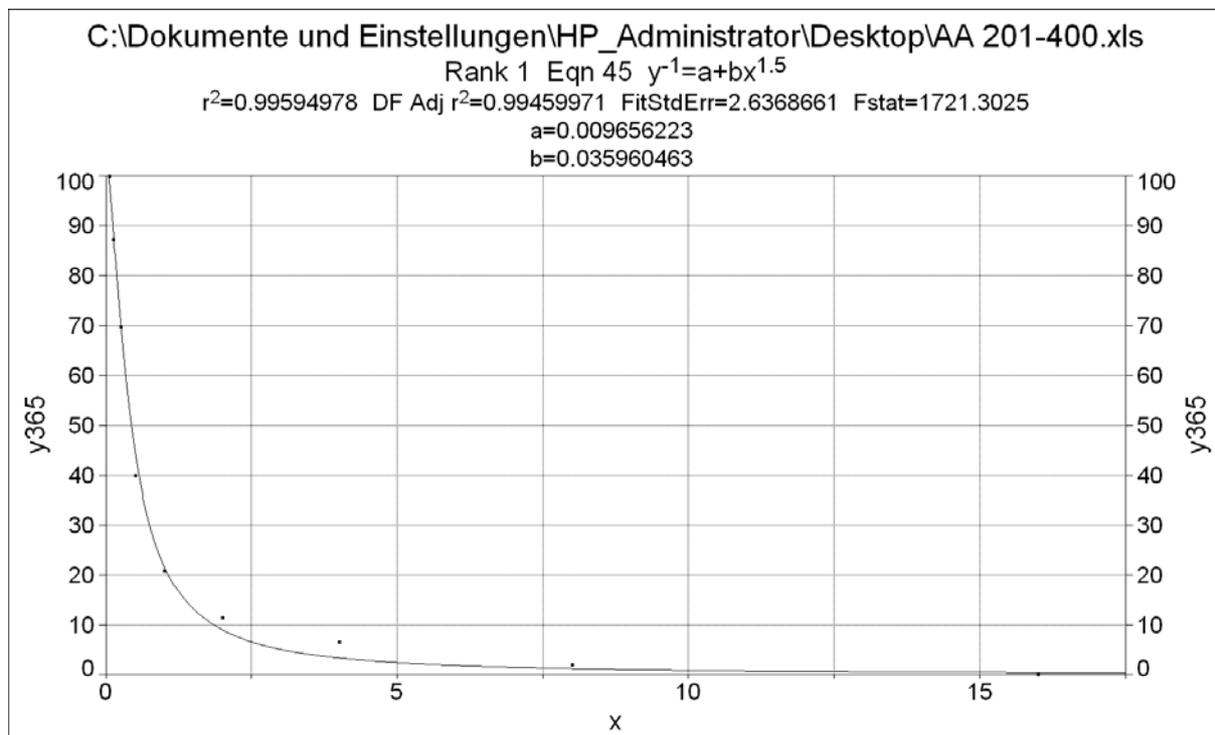


Abb. 52: Kurvenanpassung mit Hilfe der Funktion $y^{-1} = a + bx^{1.5}$ (Probennummer 365)

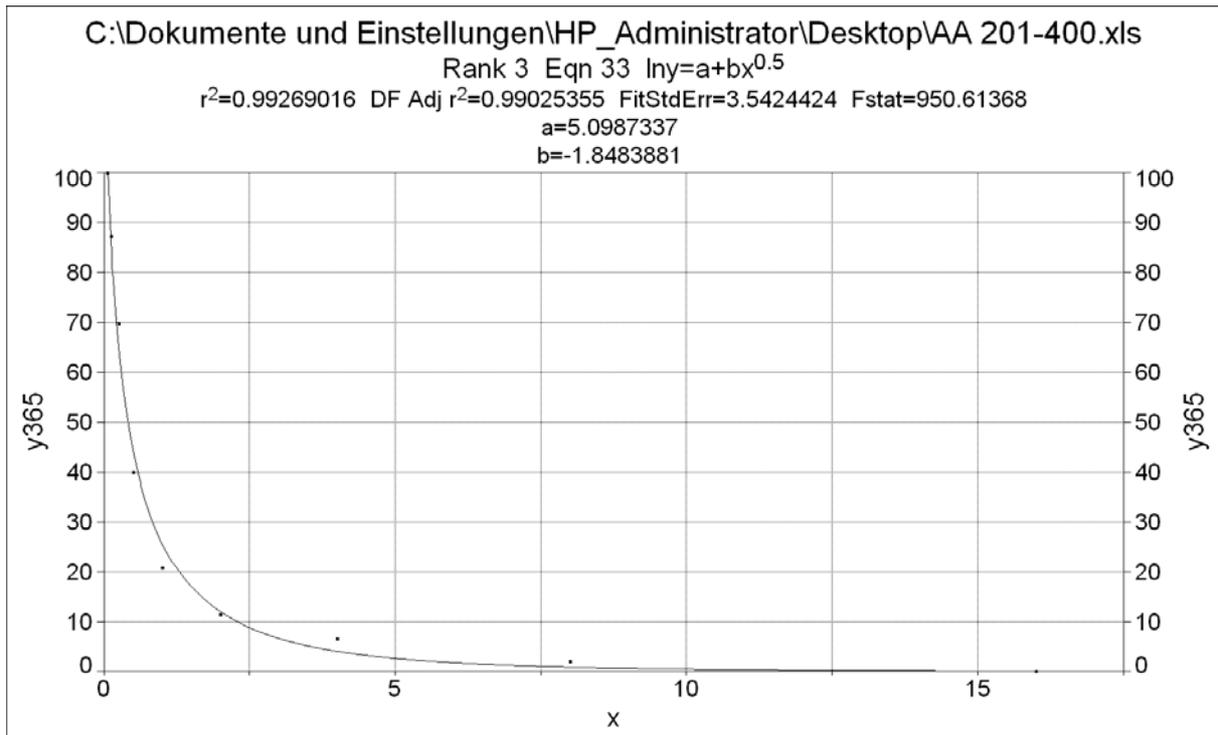


Abb. 53: Kurvenanpassung mit Hilfe der Funktion $\ln y = a + bx^{0.5}$ (Probennummer 365)

Der Vorteil des geometrischen Mittelwerts und des geometrischen Medians gegenüber dem MOF und dem Weighted Average ist, dass kein einheitlicher Siebsatz für Vergleiche notwendig ist, da die geometrische mittlere und mediane Größe eine Eigenschaft der Probe und nicht des Siebsatzes ist.

Eine graphische Darstellung des Verhältnisses vom geometrischen Mittelwert bei Verwendung von 6 und bei Verwendung von 9 Sieben (Abb. 19) zeigt, dass die meisten Punkte auf der $y=x$ -Achse liegen. Nur bei besonders großen Partikeln verschiebt es sich so, dass der MW6 größere Werte gibt. Daraus folgt, dass es methodisch keinen Unterschied macht, ob man den geometrischen Mittelwert für sechs oder für neun Siebe berechnet. Außerdem zeigt sich auf diese Weise, dass der geometrische Mittelwert einen reproduzierbaren Wert darstellt, der relativ zuverlässig ist.

Ein Vergleich des geometrischen Medians zum geometrischen Mittelwert zeigt (Abb. 20), dass der geometrische Median bei höheren durchschnittlichen Partikelgrößen kleiner und bei niedrigen durchschnittlichen Partikelgrößen größer ist. Lediglich im Bereich zwischen 0,3 mm und 0,5 mm sind die beiden Parameter mehr oder weniger identisch.

Diese Unterschiede lassen sich durch die Variation der Verteilungskurven begründen; der geometrische Median beschreibt lediglich den Punkt auf der angepassten Verteilungskurve, der 50 % aller retinierten Partikel entspricht; bei Kotproben mit mehr kleinen Partikeln, also mit steil abfallenden Verteilungskurven, liegt dieser Wert jenseits des errechneten geometrischen Mittelwertes. Bei Kotproben mit vielen großen Partikeln und einer entsprechend flach abfallenden Verteilungskurve wird dieser Wert vor dem errechneten geometrischen Mittelwert erreicht. Für den zwischenartlichen Vergleich erscheint aufgrund dieser systematischen Abweichungen der geometrische Median weniger geeignet.

4.2 Besprechung der Ergebnisse

4.2.1 Einfluss der Körpergröße auf die Kotpartikelgröße

Der vermutete Trend, nach dem größere Tiere anscheinend gröbere Partikel im Kot ausscheiden (UDEN und VAN SOEST 1982a, FUJIKARA et al. 1989, OKAMOTO 1997a, CLAUSS et al. 2002, LENTLE et al. 2003), kann durch die Ergebnisse der vorliegenden Studie sowohl für Säuger als auch für Vögel und Reptilien bestätigt werden.

Größere Pflanzenfresser müssten theoretisch aus verdauungsphysiologischer Sicht Vorteile gegenüber kleineren Tieren haben, da mit steigender Körpermasse die Darmkapazität (PARRA 1978) und die Retentionszeiten (ILLIUS und GORDON 1992) zunehmen. Da die Verdauung von Fasermaterial von der Zeit, die die Bakterien für die Fermentation zur Verfügung haben, abhängt, sollten höhere Retentionszeiten mit höheren Verdauungskoeffizienten einhergehen (DEMMENT und VAN SOEST 1985). Es konnte jedoch gezeigt werden, dass Panzernashörner, denen ausschließlich Heu gefüttert wurde, trotz fast doppelt so hoher MRT nur vergleichbare Verdauungskoeffizienten für die TS erzielten wie Pferde (POLSTER 2004). Im Gegensatz dazu ist die MRT beim asiatischen Elefanten mit der vom Pferd vergleichbar, die Verdauungskoeffizienten für die TS sind aber deutlich niedriger (LOEHLEIN 1999). CLAUSS et al. (2005) folgerten daraus, dass die höhere Körpermasse verdauungsphysiologische Nachteile bedingen könnte, was beim Panzernashorn eventuell durch die längere Passagezeit kompensiert wird. CLAUSS

und HUMMEL (2005) vermuten, dass die Gründe für diesen Nachteil u.a. in einer höheren Ingestapartikelgröße zu suchen sind. Die implizierte Vermutung, dass die Ingestapartikelgröße vom Pferd über das Panzernashorn zum Elefanten hin zunimmt, wird durch die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit bestätigt. Ein kausaler Zusammenhang kann zwar nicht bewiesen werden, doch ist ein quantitativer Hintergrund für eine derartige Argumentation aufgrund dieser Arbeit geschaffen.

4.2.2 Zwischenartlicher Vergleich

4.2.2.1 Wirbeltierklassen

Einen Überblick über die gemessenen durchschnittlichen Kotpartikelgrößen aller untersuchten Tierarten geben die Abbildungen 54 und 55. Aus den Abbildungen wird ersichtlich, dass die Kotpartikelgröße innerhalb der drei Klassen mit steigender Körpermasse zunimmt. Zudem macht diese graphische Darstellung der gewonnenen Daten systematische Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen verschiedenen Gruppen deutlich: Während die Vogelspezies innerhalb der Datenwolke der Säugetiere abgebildet werden, ordnen sich die Reptilien als klar abgrenzbare Gruppe oberhalb der anderen beiden Klassen an.

Dieses Muster lässt folgende zwei Schlussfolgerungen zu:

Die durch ihre Zahnlosigkeit und ihren Muskelmagen charakterisierten herbivoren Vögel erreichen eine Nahrungszerkleinerung, die der von herbivoren Säugetieren vergleichbar ist. Diese bereits von MOORE (1999) geäußerte Vermutung kann durch diese Arbeit somit quantitativ bestätigt werden.

Die durch ihre Zahnlosigkeit und das Fehlen anderer, kompensierender Anpassungen charakterisierten herbivoren Reptilien können nicht die gleiche Effizienz bei der Nahrungszerkleinerung erreichen wie herbivore Säuger oder Vögel. Diese Tatsache wurde bereits von zahlreichen Autoren aufgrund dieser besonderen Charakteristika beschrieben - allerdings nur als qualitative Beobachtung oder deduktive Interpretation (BJORNDAL 1979, IVERSON 1982, BJORNDAL et al. 1989) - und kann somit ebenfalls in dieser Arbeit quantitativ bestätigt werden.

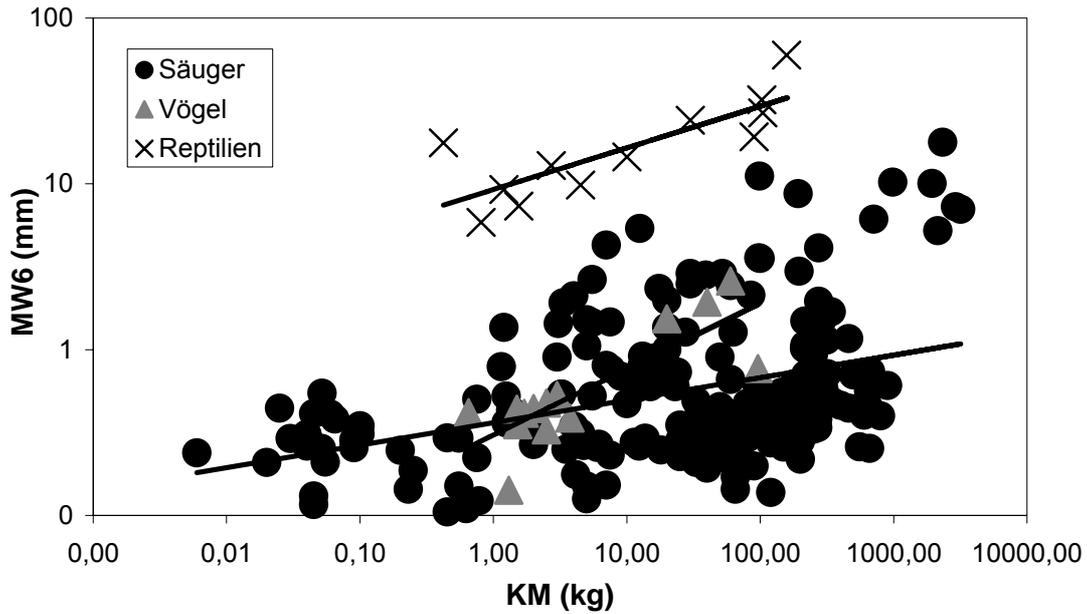


Abb. 54: Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe der Kotpartikelgröße (MW6; mm, logarithmiert) im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) aller untersuchten Spezies, aufgeteilt in Säuger ($n=205$), Reptilien ($n=12$) und Vögel ($n=14$)

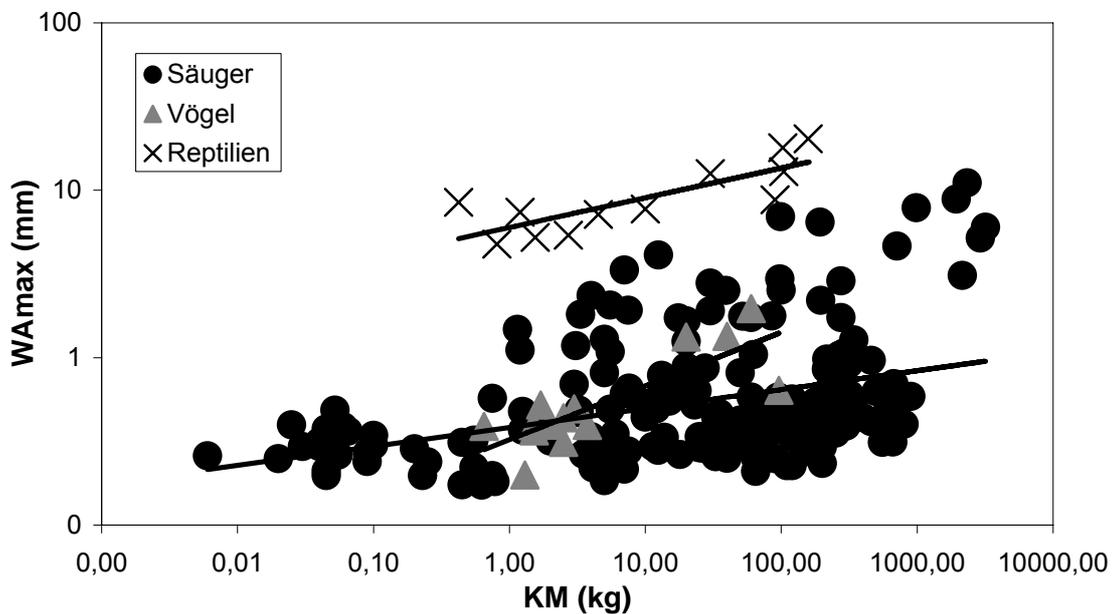


Abb. 55: Weighted Average mit Maximalwert der Kotpartikelgröße (WAmmax; mm, logarithmiert) im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) aller untersuchten Spezies, aufgeteilt in Säuger ($n=205$), Reptilien ($n=12$) und Vögel ($n=14$)

Diese Befunde haben eine besondere Relevanz hinsichtlich der fortwährenden, paläobiologischen Diskussion über die Konkurrenz zweier Dinosaurier-Gruppen – den Sauropoden und den Ornithopoden. Sauropoden – die größten Landwirbeltiere aller Zeiten – ähnelten in ihrer Kopfmorphologie den rezenten Reptilien dahingehend, dass es keine Anzeichen von Anpassungen zur Nahrungszerkleinerung durch Kauen gibt (CALVO 1994, UPCHURCH und BARRETT 2000). Aus diesem Grund wurde wiederholt vermutet, dass Sauropoden einen Muskelmagen mit Gastrolithen zur Zerkleinerung der Futtermassen besaßen (BAKKER 1986, FARLOW 1987, WEISHAMPEL and NORMAN 1989, WING et al. 1992, CHRISTIANSEN 1996, TAGGART und CROSS 1997, UPCHURCH und BARRETT 2000), auch wenn die tatsächlichen Funde von vermeintlichen Gastrolithen diese Annahme quantitativ kaum unterstützen (WINGS und SANDER 2007). Ornithopoden hingegen zeichnen sich durch Zahnreihen aus, die eindeutige Hinweise auf intensive Kauaktivität darstellen; da die Blütezeit der Ornithopoden zugleich das Ende der Sauropoden-Ära darstellte, wird dieser Wechsel in der dominierenden herbivoren Dinosaurier-Fauna oft als Folge einer ökologischen Überlegenheit der Ornithopoden aufgrund ihres ausgeprägten Kauvermögens dargestellt (COE et al. 1987, WEISHAMPEL und NORMAN 1989, WING et al. 1992).

Die Kombination dieser beiden Vermutungen – dass Sauropoden einen Muskelmagen mit Gastrolithen aufwiesen, und dass Ornithopoden aufgrund ihrer Zahnreihen einen Wettbewerbsvorteil besaßen – impliziert die Annahme, dass eine Nahrungszerkleinerung mittels Muskelmagen weniger effektiv ist als eine Nahrungszerkleinerung mittels Kauzähne. Diese Annahme wurde bislang in der paläobiologischen Literatur allerdings weder explizit so formuliert noch getestet. Die Daten der Säuger und Vögel der vorliegenden Studie deuten darauf hin, dass ein solcher Unterschied in der rezenten Herbivoren-Fauna nicht existiert; daher erscheint ein solcher Unterschied bei den Dinosauriern zumindest wenig wahrscheinlich. Wenn man hingegen der Hypothese von WINGS und SANDER (2007) folgt, dass Sauropoden *keinen* Muskelmagen besaßen, dann erscheint die Theorie vom Wettbewerbsvorteil der Ornithopoden aufgrund ihrer Zahnreihen plausibel.

Unter Einbeziehung aller im Rahmen dieser Studie analysierten und aus anderen Studien miteinbezogenen Spezies, ergibt sich eine positive allometrische Beziehung der Kotpartikelgröße zur Körpermasse von:

$$MW6_{\text{Säuger}} = 0,36 \text{ KM}^{0,14} \quad \text{und} \quad W_{\text{Amax}}_{\text{Säuger}} = 0,38 \text{ KM}^{0,11}$$

$$MW6_{\text{Reptilien}} = 9,25 \text{ KM}^{0,25} \quad \text{und} \quad W_{\text{Amax}}_{\text{Reptilien}} = 5,99 \text{ KM}^{0,18}$$

$$MW6_{\text{Vögel}} = 0,31 \text{ KM}^{0,40} \quad \text{und} \quad W_{\text{Amax}}_{\text{Vögel}} = 0,32 \text{ KM}^{0,32}$$

Dies steht im Einklang mit einer theoretischen Überlegung von PEREZ-BARBERIA und GORDON (1998a) zu Säugetieren, nach der es eine positive allometrische Beziehung der Partikelgröße zur Körpermasse geben sollte. Auf einen bestimmten Exponenten legten sich die Autoren dabei nicht fest. Allerdings geben sie an (S. 244 in PEREZ-BARBERIA und GORDON 1998a), dass ihre Überlegung - da sie von einer positiven Korrelation ausgehen - im Einklang mit den Ergebnissen einer Studie von UDEN (1978) stehe, der im *Magen* („stomach“) von Rindern, Pferden, Ponies, Ziegen, Schafen und Kaninchen Partikelgrößen fand, die zur KM mit dem Exponenten 0,14 korrelieren. Diese von PEREZ-BARBERIA und GORDON (1998a) gemachten Angaben können nicht nachvollzogen werden, da in der Arbeit von UDEN (1978) einerseits keinerlei allometrische Überlegungen zu finden sind, und andererseits, zwar im *Kot* die Partikelgröße aller o. g. Spezies gemessen wurden, die Partikelgröße im *Vormagen* wurde allerdings nur bei den Rindern, Schafen und Ziegen bestimmt. Es bleibt daher unklar, wie PEREZ-BARBERIA und GORDON (1998a) den Exponenten 0,14 herleiten⁴. Es überrascht jedoch, dass dieser exakt der gleiche Exponent ist, der auch in der vorliegenden Arbeit innerhalb der Säuger (ohne Berücksichtigung der Säugergruppen) für den geometrischen Mittelwert der Kotpartikelgröße bei 6 Sieben gefunden wurde.

Eine Extrapolation anhand der Regression zu Reptilien auf die potentielle Partikelgröße von fossilen, größeren Tieren, zum Beispiel den nicht-kauenden Dinosauriern, erscheint nicht sinnvoll, da ab einer gewissen Größe die Morphologie der Futterpflanze (Blattform, Blattgröße) die wesentliche Determinante der Partikelgröße und -form in der unzerkauerten Ingesta werden dürfte.

KARASOV et al. (1986) postulierten, dass ein wesentlicher Unterschied zwischen den poikilothermen Reptilien und den homoiothermen Säugern die Geschwindigkeit

⁴ Bei einer Prüfung der Originaldaten von UDEN (1978) ergab sich für die hergeleitete Regressionsgleichung ein Exponent von 0,18 für die Kotpartikelgröße und 0,16 für die Partikelgröße im Pansen, jeweils dargestellt als Partikelgrößenindex.

ist, mit der eine Verdaulichkeit von Pflanzennahrung erreicht wird; das Zerkauen der Pflanzennahrung dient dahingehend dazu, den Verdauungsprozess zu beschleunigen und dabei eine hohe Futteraufnahme und somit letztendlich eine hohe Stoffwechselrate zu gewährleisten. Vor dem Hintergrund dieser Darstellung sollte es nicht überraschen, dass die ebenfalls homoiothermen Vögel eine den Säugern vergleichbare Effektivität in der Nahrungszerkleinerung erreichen.

Die Diskussion des allometrischen Zusammenhangs innerhalb der Säugetiere erfolgt im folgenden Abschnitt.

4.2.2.2 Säuger

Die von den verschiedenen Säugetier-Gruppen erreichten Kotpartikelgrößen sind für alle Spezies in Abb. 28 sowie in Abb. 56 und mit einem Durchschnittswert für jede relevante Säugetiergruppe (unter Berücksichtigung der Aufteilung der Marsupialia) in Abb. 57 und 58 dargestellt.

Es fällt auf, dass die Wiederkäuer (Ruminantia und Tylopoda) in ihrer Körpergewichtsklasse eine Nische besetzen, die von keiner anderen Gruppe vertreten wird, was ihnen eine gewisse Sonderstellung gibt.

Bemerkenswert ist weiterhin, dass einzelne Equiden in den Partikelgrößenbereich der Wiederkäuer hineinreichen, wodurch sich die Equiden deutlich von den anderen Perissodactyla (Nashorn, Tapir) sowie anderen großen Herbivoren absetzen.

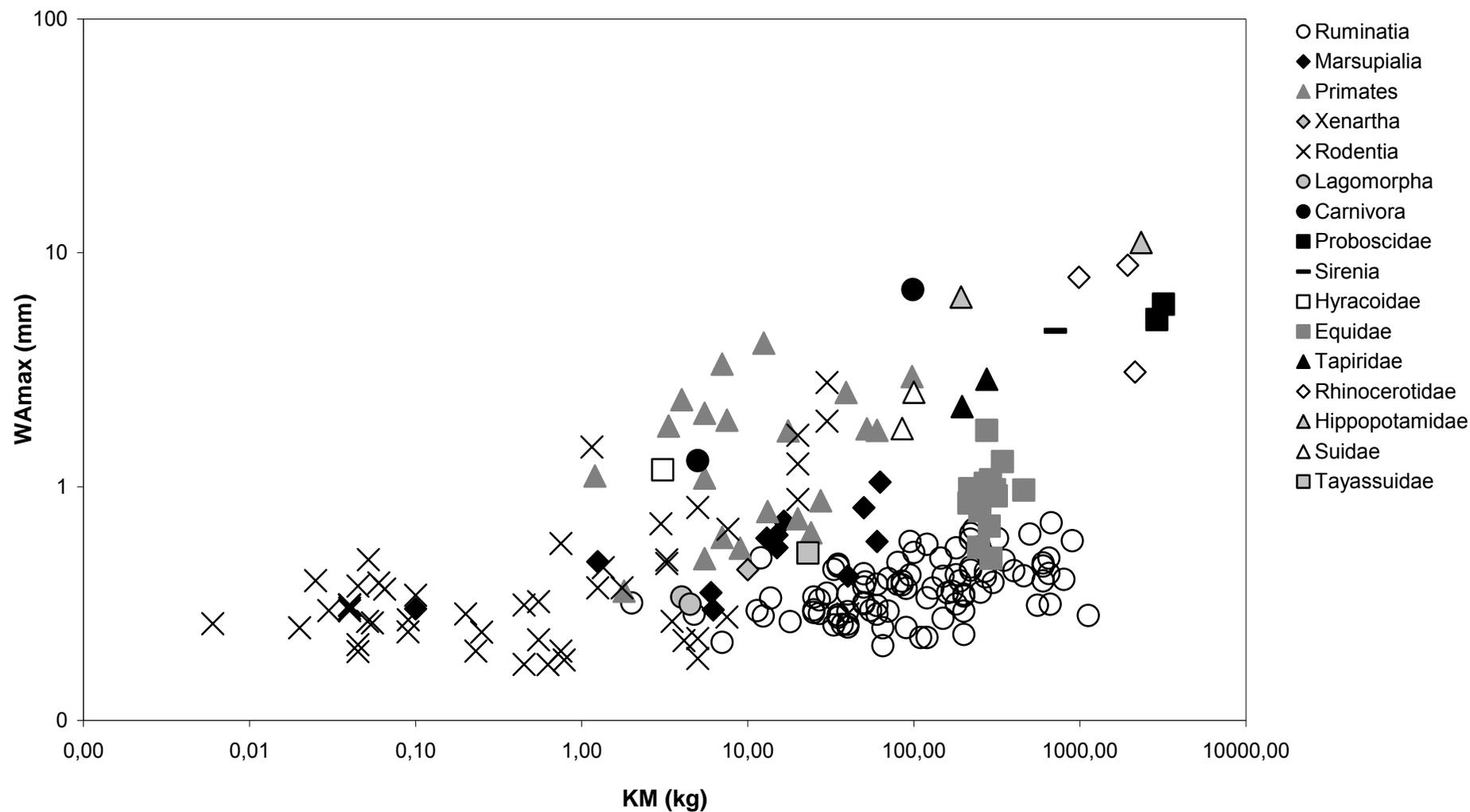


Abb. 56: Weighted Average mit Maximalwert (WAm_{max}; mm, logarithmiert) der Kotpartikelgröße im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) bei herbivoren Säugerspezies (n=205)

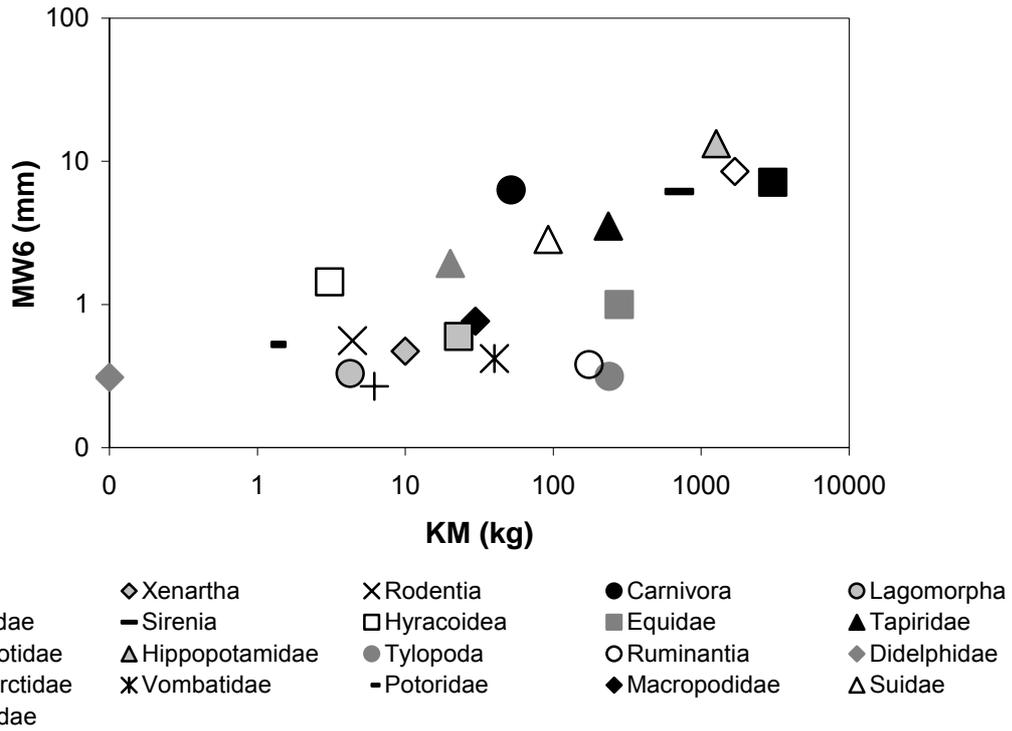


Abb. 57: Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe der Kotpartikelgröße (MW6; mm, logarithmiert) im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) dargestellt als Durchschnittswert für pro Säugergruppe (n=21)

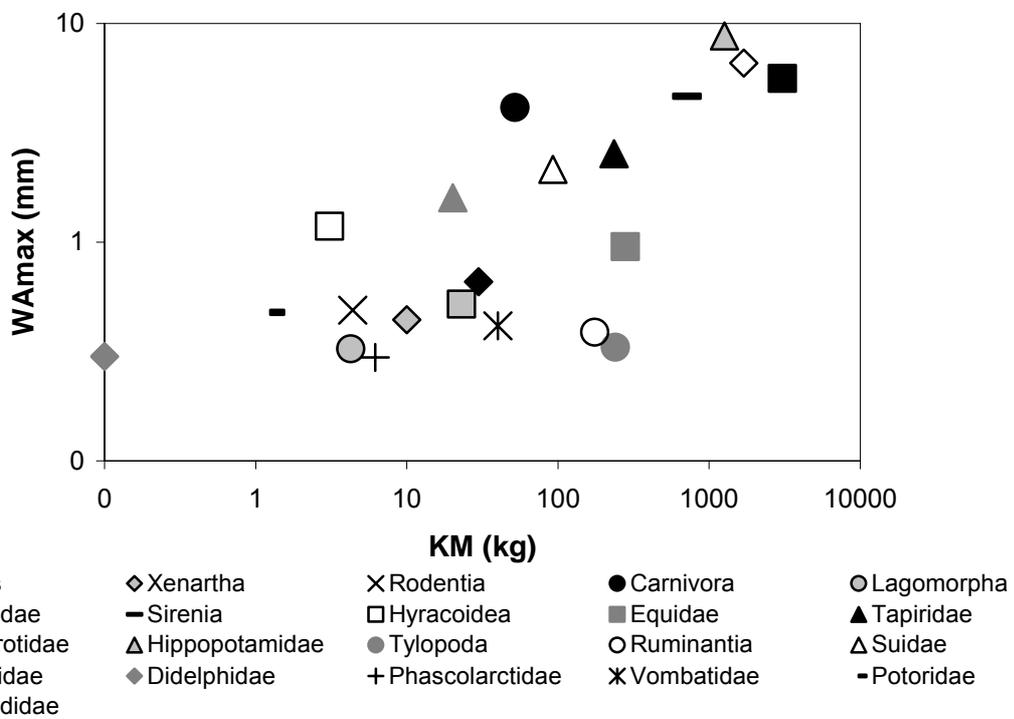


Abb. 58: Weighted Average mit Maximalwert der Kotpartikelgröße (WAmx; mm, logarithmiert) im Verhältnis zur Körpermasse (KM; kg, logarithmiert) dargestellt als Durchschnittswert für pro Säugergruppe (n=21)

Bei einer gesonderten Betrachtung der großen Herbivoren fällt auf, dass die Partikelgröße im Kot - als Mass der Kauaktivität - in folgender Reihenfolge abnimmt: Flusspferd - Nashorn - Elefant - Equiden – Wiederkäuer.

Interessanterweise erfolgte die zeitliche Abfolge der Radiationen dieser Gruppen in der gleichen Reihenfolge, mit den Flusspferden als Ausnahme, da diese keine exponierte Radiation zeigten. Die Nashornradiation fand zwischen 45 und 30 Millionen Jahre (Ma) statt (PROTHERO und SCHOCH 1989, CERDENO 1998), gefolgt von der Elefantenradiation, mit der größten Diversität zwischen 25 und 5 Ma (COPPENS et al. 1978). Im Obermiozän (15-5 Ma) folgt dann die maximale Diversität der *Equidae* (MacFADDEN 1985); zur gleichen Zeit beginnt auch die durch den Menschen gestoppte Radiation der afrikanischen *Bovidae* (GENTRY 1978, SOLOUNIAS 1982). Die Kauaktivität könnte somit ein Haupteinflussfaktor der kompetitiven Evolution gewesen sein. Da die Kauaktivität entscheidend zur Verdauungseffizienz und damit zur Wettbewerbsfähigkeit einer Art beiträgt, wäre es logisch anzunehmen, dass Spezies, die hinsichtlich dieses Parameters anderen Spezies überlegen sind, im Hinblick auf die Evolution und Diversität erfolgreicher sein müssten und ihre Vorgänger im Rahmen der evolutionären Historie „ablösen“.

Aufgrund der hohen Variation der Speziesanzahl (1 bis 86) innerhalb der Säugergruppen muss man für diese Mittelwert bilden, wenn man eine Allometrie innerhalb der Säuger suchen möchte. Unter Berücksichtigung der Aufteilung der Beuteltiere ergeben sich folgende allometrische Beziehungen zwischen der Kotpartikelgröße und der KM (Abb. 27):

$$MW6 = 0,35 KM^{0,34}$$

$$WAm_{\max} = 0,33 KM^{0,31}$$

Diese Allometrie steht im Einklang zu mehreren Überlegungen zu Zusammenhängen verschiedener Aspekte des Kauapparates (insbesondere der Zähne) und der Körpermasse. PILBEAM und GOULD (1974) sowie GOULD (1975) waren die ersten, die postulierten, dass Säugerzähne - um Bedürfnissen des Stoffwechsels zu entsprechen - positiv allometrisch zur KM skalieren sollten. Genauer gesagt schlugen sie vor, dass die postcanine Okklusionsfläche als metabolische Größe zur $KM^{0,75}$ skalieren sollte. Im folgenden konnte von zahlreichen Autoren gezeigt werden, dass

die Backenzähne - in den meisten Fällen - tatsächlich jedoch isometrisch zur Körpermasse skalieren (KAY 1975, 1978, CREIGHTON 1980, GINGERICH et al. 1982, PROTHERO und SERENO 1982, FORTELIUS 1985, 1986, JANIS 1986, FORTELIUS 1987, JULIEN et al. 1996). Das bedeutet, dass die Zahngröße – gemessen als das Zahnvolumen oder die Zahnmasse – zur Körpermasse (KM)¹ skaliert. Dies wiederum bedeutet, da sich das Volumen aus Länge x Breite x Höhe ergibt, dass wenn das Produkt dieser drei Faktoren zur KM¹ skaliert, jeder einzelne von ihnen zur KM^{1/3} oder KM^{0.33} skaliert. Die Isometrie ist also z.B. gegeben, wenn die *Zahnoberfläche* (= Länge x Breite; zweidimensional) zur KM^{2/3} oder KM^{0.67} skaliert. Wenn es sich bei dieser Isometrie, so wie es FORTELIUS mehrfach anhand verschiedenster Säugerspezies darstellt, um eine naturgegebene Regelmäßigkeit handelt, dann könnte man davon ausgehen, dass ein mit den Zähnen funktionell zusammenhängendes *Längenmass* (eindimensional) (z.B. der Abstand zwischen zwei Schmelzkanten) zur KM^{1/3} oder KM^{0.33} skaliert. Die in der vorliegenden Studie ermittelte Partikelgröße wurde als lineare Dimension = Länge gemessen. Tatsächlich ergibt die ermittelte Allometrie einen Faktor, der sehr nahe an 0,33 liegt, wodurch die vorliegende Arbeit eine empirische Unterstützung für die Theorie liefert, dass es einen direkten Zusammenhang zwischen der Isometrie der Zähne zur KM und einem Maß für die Zahnfunktion (Partikelgröße der gekauten Ingesta) gibt. Daraus folgt weiterhin, dass die Partikelfläche zur KM^{2/3} skalieren sollte.

Bei diesen ganzen Überlegungen gilt es jedoch eins zu beachten. Wie weiter oben beschrieben nimmt die Partikelgröße bei den großen Herbivoren in der Reihenfolge Flusspferde-Nashörner-Elefanten-Equiden-Wiederkäuer ab, und diese Reihenfolge entspricht in etwa auch dem zeitlichen Ablauf der großen Herbivoren-Radiationen. Das bedeutet, dass die evolutionsmäßig „neueren“ Gruppen jeweils feinere Ingestapartikel haben. Wie ausgeführt liegt es daher nahe, dass mit fortschreitender Evolution die Kaueffektivität als kompetitiver Faktor immer weiter verbessert wurde. Die von FORTELIUS gefundene Isometrie wurde anhand eines Datensatzes ermittelt, in dem Wiederkäuer und Equiden zahlenmäßig stark vertreten waren. Es stellt sich daher die fundamentale Frage, ob man diese Isometrie überhaupt als naturgegeben hinnehmen darf, oder ob sich diese Isometrie nicht lediglich aufgrund dieser jüngeren Gruppen ergibt.

Würde man die allometrische Regression ohne die jüngeren Gruppen (Wiederkäuer und Equiden) erstellen, käme ein anderes Ergebnis heraus, nämlich $MW6 = 0,35 \text{ KM}^{0,4}$ und $WA_{\text{max}} = 0,33 \text{ KM}^{0,37}$. Somit kann eigentlich nicht von einer naturgegebenen Regelmäßigkeit gesprochen werden, sondern es gilt zu berücksichtigen, dass in einer solchen Datensammlung Prototypen und besonders weiterentwickelte Typen vereint sind.

Aufgrund dieser Überlegungen ergeben sich die folgenden Schlussfolgerungen:

Anhand der Kaueffizienz (hier dargestellt als Kotpartikelgröße) können einerseits logische, allometrische Zusammenhänge zur KM demonstriert werden; andererseits stellt sich aufgrund der evolutionsbiologischen Überlegungen die Frage, ob es sich bei dieser beobachteten Regelmäßigkeit (hier: allometrischem Zusammenhang) nicht eher um eine erdzeitgeschichtliche Momentaufnahme als um ein generelles Prinzip handelt.

4.2.2.3 Reptilien

Innerhalb der wenigen verfügbaren Daten zeichnet sich kein systematischer Unterschied in der Kotpartikelgröße zwischen Schildkröten und Leguanen ab; allerdings liegt das kleinste Reptil – der Wickelschwanzskink – im Vergleich zu den anderen hoch (Abb. 29). Der Wickelschwanzskink ist der einzige herbivore Vertreter innerhalb der Skinke. Dies ist vermutlich eher auf einen ökologischen oder phylogenetischen Hintergrund zurückzuführen, da es keinen bestimmten physiologischen oder anatomischen Grund dafür zu geben scheint, warum nur eine einzige Spezies herbivor ist. Jedoch erfüllt der Wickelschwanzskink aufgrund seiner hohen KM (siebtgrößte Spezies; GREER 2001) die Voraussetzungen (Kieferbeißkraft und relativ niedriger Energiebedarf; POUGH 1973, CASE 1979, VAN DAME 1999) zur Herbivorie.

Es wäre denkbar, dass die Maulbreite von Skinken besonders groß, bzw. größer ist als die von Schildkröten und Leguanen, wodurch Skinke vergleichsweise größere Partikel aufnehmen, bzw. abrufen können. Der Frage, ob es einen Zusammenhang zwischen der Maulbreite bei Reptilien und der Größe der von diesen Tieren aufgenommenen Pflanzenpartikel gibt, sollte in einer kontrollierten Studie nachgegangen werden.

Da Reptilien nicht kauen und ihre Nahrung auch nicht anderweitig (Muskelmagen) zerkleinern können, stellt die Abbißgröße somit den dominierenden Faktor bezüglich der Kotpartikelgröße dar. Ein weiterer Faktor – insbesondere bei Zootieren - ist die Nahrungspartikelgröße. Tiere in freier Wildbahn können ihre Nahrung und damit auch die Größe der Nahrungspartikel selektieren. Vermutlich wählen sie Pflanzen aus, von denen sie entweder Teile abbeißen können (Beißkraft) oder die klein genug sind, um im ganzen abgeschluckt zu werden. Tiere in Gefangenschaft haben diese Wahlmöglichkeiten bisweilen nicht. Es wäre daher denkbar, dass die Kotpartikelgröße mit dem Einsatz großer Nahrungspartikel steigt, sofern das eingesetzte Futtermittel aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften (Härte) nicht weiter von den Tieren zerkleinert (abgebissen) werden kann. Abb. 59 zeigt die durchschnittlichen Kotpartikelgrößen von maurischen und griechischen Landschildkröten aus freier Wildbahn und aus Zootierhaltung. In letzterer wurde den gleichen Tieren einmal zerkleinertes Futter (geschnittenes Heu, Kräuter, Petersilie) und einmal unzerkleinertes Futter (nur ungeschnittenes Heu und Gemüse) angeboten. Bei den Tieren aus freier Wildbahn handelt es sich nicht um die gleichen Individuen wie aus der Zoostudie.

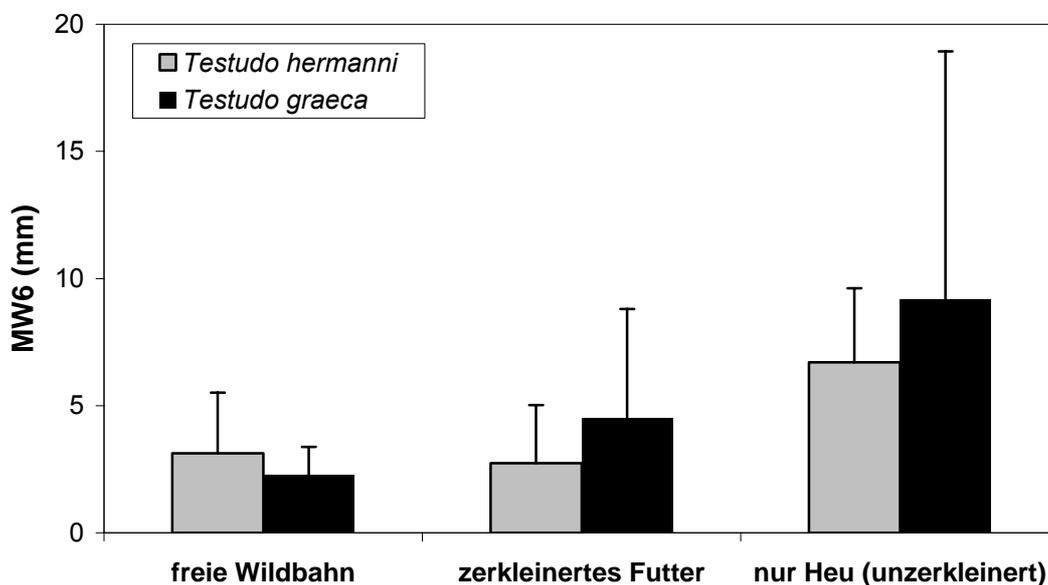


Abb. 59: Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe der Kotpartikelgröße (MW6) von griechischen Landschildkröten (*T. hermanni*) und maurischen Landschildkröten (*T. graeca*) aus freier Wildbahn ($n=7$, bzw. 5) und aus Zootierhaltung bei Fütterung unterschiedlicher Nahrungspartikelgrößen (jeweils $n=10$, bzw. $n=9$)

Verglichen mit der Fütterung kleiner Nahrungspartikel zeigen beide Schildkrötenspezies beim Einsatz großer Nahrungspartikel im Durchschnitt

zweieinhalbmal, bzw. doppelt so große Kotpartikel. Griechische Landschildkröten aus freier Wildbahn zeigen vergleichbare Partikelgrößen wie Zootiere, denen zerkleinertes Futter angeboten wurde, bei maurischen Landschildkröten aus freier Wildbahn sind die Kotpartikel sogar feiner (Tab. 7). Hier könnte der Abbiß-Widerstand, den im Boden verwurzelte Pflanzen in freier Wildbahn bieten, einen für die Abbiß-Größe entscheidenden Faktor darstellen. Tieren, denen in Menschenobhut bei lose vorgelegtem Futter ein Widerstand fehlt, gegen den sie Futterteile „abrupfen“ können, müssen daher eventuell zwangsläufig größere Nahrungspartikel abschlucken. Die Abbiß-Größe könnte theoretisch ein von Reptilien durch entsprechendes Beiß-Verhalten zu beeinflussender Faktor sein.

Stellt man die Partikelgrößen der einzelnen Individuen graphisch dar (Abb. 60 und Abb. 61) zeigt sich, dass bei den griechischen Landschildkröten die Kotpartikelgröße bei allen drei „Fütterungen“ mit der KM ansteigt. Der Anstieg scheint bei der Fütterung der zerkleinerten Nahrung weniger steil zu sein als bei den beiden anderen. Bei den maurischen Landschildkröten hingegen erscheint kein deutlicher Zusammenhang.

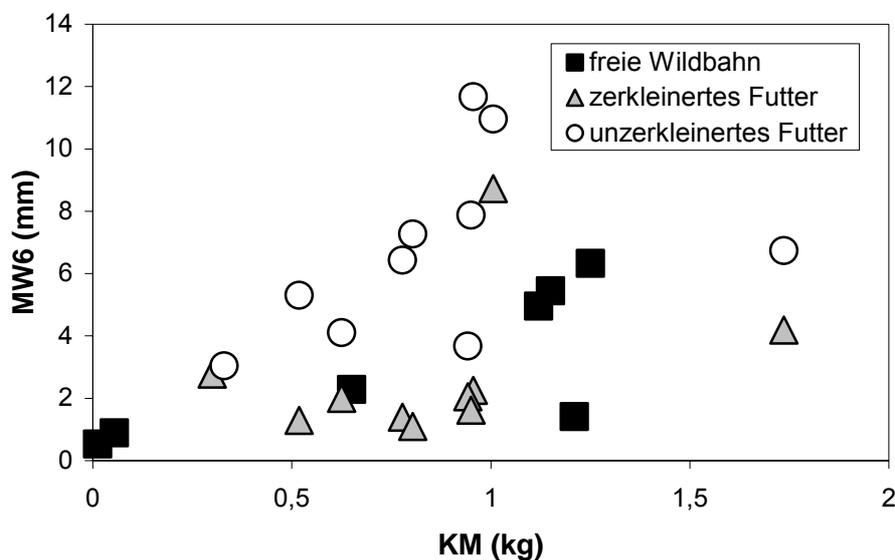


Abb. 60: Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe der Kotpartikelgröße (MW6) im Verhältnis zur Körpermasse (KM) von griechischen Landschildkröten aus freier Wildbahn ($n=7$) und aus Zootierhaltung ($n=10$) bei Fütterung unterschiedlicher Nahrung

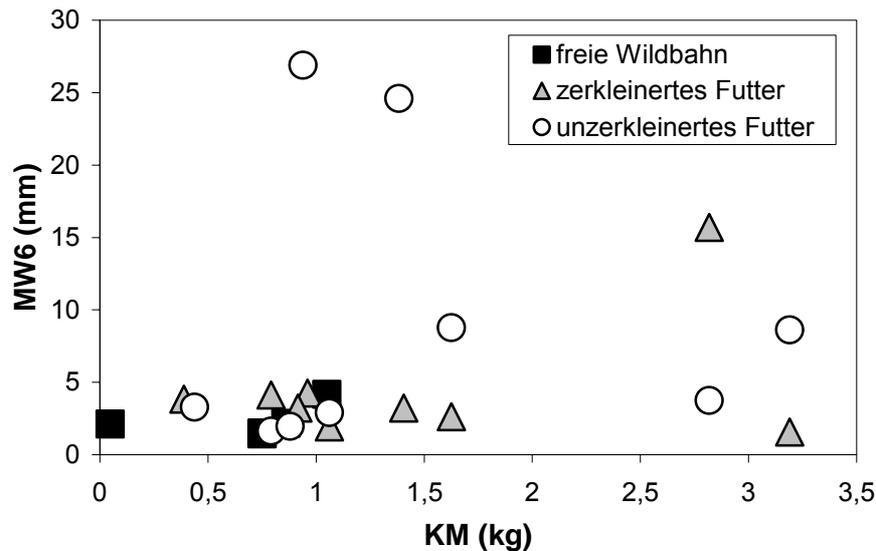


Abb. 61: Geometrischer Mittelwert für 6 Siebe der Kotpartikelgröße (MW6) im Verhältnis zur Körpermasse (KM) von maurischen Landschildkröten aus freier Wildbahn (n=5) und aus Zootierhaltung (n=9) bei Fütterung unterschiedlicher Nahrung

Daraus folgt, dass

- 1) kleinere Tiere feinere Partikel aufnehmen oder abbeißen.
- 2) die Tiere der Zoostudie in der Lage waren, Stücke von dem angebotenen Futter – in der jeweiligen Größe abhängig von ihrer eigenen Körper- und damit vermutlich Maulgröße - abzubeißen.

Zu 1) Zwei der griechischen Landschildkröten aus freier Wildbahn waren Jungtiere (KM 12 und 54 g), während alle Zootiere ausgewachsen waren. Berechnet man die durchschnittliche Partikelgröße nur der erwachsenen Tiere, erhält man einen Wert, der zwischen den beiden Werten der Zootiere liegt (MW6 $4,09 \pm 2,12$ mm), die durchschnittliche Partikelgröße der beiden Jungtiere ist deutlich kleiner (MW6 $0,71 \pm 0,25$ mm), was im Einklang zu einer Untersuchung von BJORN DAL und BOLTEN (1992) steht, die bei juvenilen herbivoren Schmuckschildkröten, deutlich feinere Abrupfgrößen fanden als bei ausgewachsenen Tieren.

Zu 2) Bei einer anderen Schildkrötenspezies – den Seychellen-Riesenschildkröten - wurde beobachtet, dass der Kot aus großen Knäueln von teilweise über 10 cm langen Heu- und Strohhalmen bestand. Allein von der Adspektion sah der Kot aus wie Mist (eine Rückfrage ergab, dass der Kot immer so aussähe). Dies lässt

vermuten, dass es den Tieren nicht möglich war, Teile vom Heu oder Stroh abzubeißen.

Bestimmte Futtermittel können aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften nicht oder nur sehr schlecht von Schildkröten zerkleinert werden. Diese „müssen“ daher im ganzen aufgenommen werden. Hier wäre es interessant zu untersuchen, ob, bzw. welche Anpassungen die Tiere bei einer derartigen Fütterung zum Ausgleich zeigen (eine längere Retentionszeit, oder eine höhere Nahrungsaufnahme mit entsprechend kürzerer Retentionszeit). Wie bei Säugern auch, wird die Kotpartikelgröße bei Reptilien von physikalischen Eigenschaften der Nahrung beeinflusst.

Prinzipiell ergibt sich die Frage, ob und inwieweit Reptilien die Abbiß-Größe regulieren. Gibt es Unterschiede zwischen Reptilien, die nur mit Hornplatten ausgestattet sind (Schildkröten) und denen, die über Zähne verfügen (Echsen, Agamen und Leguane)? Spielt es eine Rolle, ob sich die Blätter noch an der Pflanze befinden (Widerstand) oder nicht? Frisst ein Leguan „freiwillig“ ein ganzes Blatt auf einmal oder würde er dieses am liebsten in Stückchen fressen? Gezielte Untersuchungen, ob Reptilien dieses Potential zum Erreichen möglichst kleiner Ingestapartikel nutzen, wurden bislang nicht durchgeführt.

Die womöglich interessanteste Fragestellung ist die der optimalen Verdauungsstrategie für Herbivore, die ihre Nahrung nicht zerkleinern können. Ansätze zu dieser Fragestellung sollen im folgenden anhand eigener Beobachtungen und Untersuchungsergebnisse diskutiert werden.

Die eigenen Beobachtungen zeigen, dass Blätter, die im ganzen aufgenommen wurden, am Stück verdaut und in toto wieder ausgeschieden werden (Abb. 62). Ähnliches wurde bereits von BJORN DAL (1979) und IVERSON (1982) beobachtet.

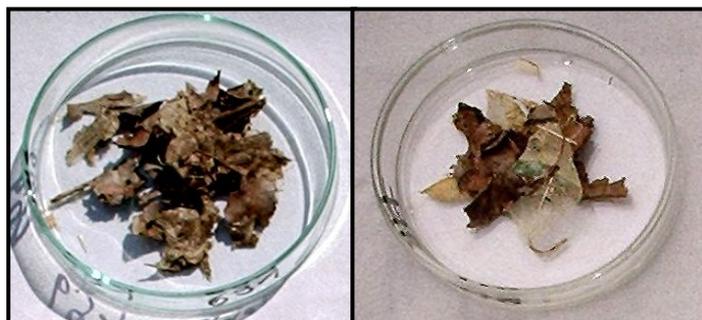


Abb. 62: Auf dem obersten Sieb (Maschenweite 16 mm) retinierte Kotpartikel von Galapagos-Schildkröten

Eine elektronenmikroskopische Untersuchungen von Blättern aus dem Kot von Gopherschildkröten hat gezeigt, dass es sich hierbei um intakte Skelette aus Kutin und Xylemfasern handelt (BJORNDAL et al. 1990). BJORNDAL et al. schlossen daraus, dass Mesophyll und Phloem wegverdaut werden, die Partikelgröße dabei aber nicht reduziert wird, und die Blätter so ihre ursprüngliche äußere Gestalt bewahren. Anhand einer Makroaufnahme eines Blattes aus dem Kot eines grünen Leguans der vorliegenden Studie lässt sich dies sehr schön erkennen (Abb. 63).

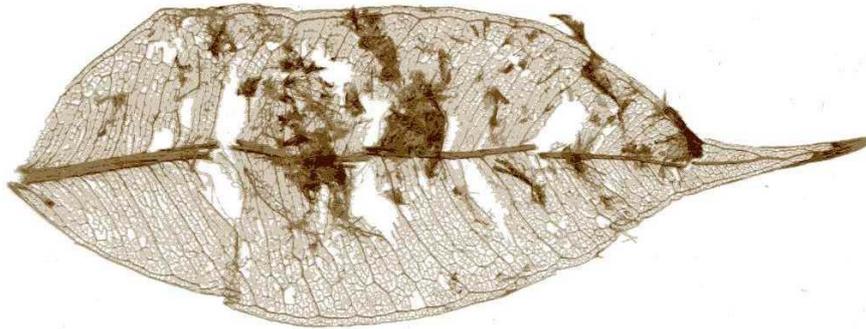


Abb. 63: Blatt aus dem Kot eines grünen Leguans

Herbivore Leguane und Echsen verfügen über einen gekammerten Darmbereich, der meist als Blinddarm bezeichnet wird. Im Gegensatz zum Blinddarm bei Säugern und Vögeln ist dieser allerdings in Reihe platziert, so dass der gesamte Verdauungsbrei diesen passiert. Um Pflanzenfasern effektiver zu verdauen, werden bei vielen Säugern und Vögeln im Caecum selektiv feine Partikel retiniert, während größere Partikel schneller ausgeschleust werden. Allgemein betrachtet wäre dies theoretisch auch für herbivore Reptilien denkbar, jedoch haben Untersuchungen von GUARD (1980) und BARBOZA (1995) gezeigt, dass herbivore Reptilien (Leguane sowie Schildkröten) große Partikel deutlich länger im Darm retinieren als vergleichsweise feine Partikel. Neben dem Faktor Partikelgröße ist der Faktor Zeit ein weiterer Parameter, über den sich die Verdauung optimieren lässt. Daher macht es für Tiere, die nicht kauen Sinn, die Verdauung auf eine möglichst lange Fermentation auszulegen, so wie dies bei Reptilien der Fall ist. Wenn man bedenkt, dass sich die Bakterien von Schnitt- und Bruchstellen der pflanzlichen Epidermis vorarbeiten (LATHAM et al. 1978) und nur noch das Skelett übrig lassen (HARBERS et al. 1981, BJORNDAL et al. 1990, eigene Beobachtung s.h. Abb. 62), erscheint es logisch, große Partikel länger zu retinieren, um den Bakterien so mehr Zeit zu geben.

Eventuell „brauchen“ feinere Partikel nicht speziell retiniert werden, da die verglichen mit Säugern sehr langen Passagezeiten vermutlich für eine effektive Fermentation feiner Partikel ausreichen. GUARD (1980) beschreibt, dass die Retention der größeren Partikel bei Schildkröten und Leguanen v.a. im Dickdarm stattfindet. Auf einen genauen Abschnitt legte er sich dabei nicht fest. Bei Schildkröten, deren Dickdarm nicht unterkammert ist, spekulierte er, dass Antiperistaltik eine bedeutende Rolle spielen könnte.

Diesen Überlegungen zu Folge und der Tatsache, dass Echsen einen unterteilten Dickdarm haben, würde man nun erwarten, dass in den verschiedenen Darmabschnitten unterschiedliche Partikelverteilungen zu finden sind. FOLEY et al. (1992) fanden bei ägyptischen Dornschwanzagamen im Magen deutlich größere Partikel, während sich die Partikelgrößen in den übrigen Darmsegmenten (Caecum, proximales und distales Colon) nicht signifikant voneinander unterschieden. Das gleiche Bild wurde in der vorliegenden Studie beim grünen Leguan gefunden (Abb. 64). Zusätzlich wurde hier der Blinddarm an drei verschiedenen Stellen beprobt. Demnach scheint es, als würden sich im Recessus und im Sulcus feinere Partikel befinden; aufgrund der geringen Probenanzahl lässt sich allerdings keine Aussage treffen, ob es sich dabei um eine Gesetzmäßigkeit handelt. Ein Vergleich der Partikelgröße im Caecum und Colon distale von acht Wickelschwanzskinken ergab ebenfalls keinen signifikanten Unterschied der Partikelgröße.

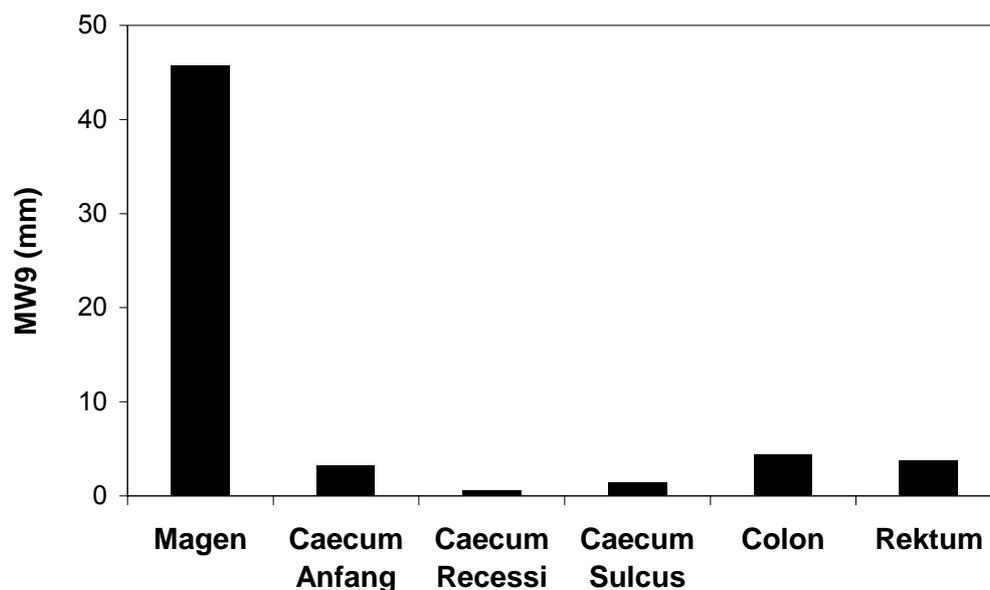


Abb. 64: Geometrischer Mittelwert für 9 Siebe der Kotpartikelgröße (MW9) in verschiedenen Abschnitten des Verdauungstrakts eines grünen Leguans

Bei der Betrachtung des Diagramms fällt augenblicklich der immense Größenunterschied zwischen den Partikeln im Magen und denen in den restlichen Darmabschnitten auf. Nachdem Reptilien keinen Muskelmagen haben und die mechanische Zerkleinerung durch Kontraktionen des Magens (McARTHUR et al. 2004) sehr begrenzt ist (EHRLEIN und KASKE 2000), scheint es am wahrscheinlichsten, dass die Reduktion der Partikelgröße vor allem durch Säurehydrolyse im Magen zustande kommt, bzw. ein gewisses Herauslösen von feinen Partikeln aus den großen Blättern stattfindet. LOBEL (1981) beschreibt, dass herbivore Fische, die über keinerlei Zerkleinerungsorgane verfügen, die Zellwände der Algen durch Säurehydrolyse spalten und dann die Zellinhaltsstoffe verdauen. Er zeigte weiterhin, dass verschiedene Algenspezies unterschiedlich anfällig für Säurespaltung sind. In dem Zusammenhang wäre es interessant zu testen, ob einerseits herbivore Reptilien tatsächlich eine solche Verdauungsstrategie verfolgen und wenn ja, ob eine Selektion bezüglich säureanfälliger Pflanzen oder deren Teile besteht.

Bezüglich der Frage der Partikelretention erscheint es sinnvoll, das Gerüst, also die großen Partikel, möglichst lange zu retinieren, wenn die Zwischenteile am Gerüst sozusagen wegverdaut werden. Wenn sich die Zwischenteile jedoch herauslösen und dann verdaut werden, wäre es sinnvoll, das große Gerüst schneller auszuscheiden und die feinen Anteile zu retinieren. Möglicherweise passiert beides. In dem Fall macht es Sinn, die großen Partikel sehr lange zu retinieren und die kleinen Partikel ihrem „normalen Schicksal“ zu überlassen. Diese Theorie deckt sich mit einer Studie von BARBOZA (1995), der beobachtete, dass Schildkröten die großen Partikel auf einmal und die feinen Partikel kontinuierlich ausscheiden.

Es ist anzunehmen, dass die langen Retentionszeiten von Reptilien per se zu einer ausreichenden Verdauung der feinen Partikel führen. Es bleibt die Frage, ob eine gezielte Retention feiner Partikel u. U. nur bei solchen Arten sinnvoll wäre, die aufgrund ihres hohen Stoffwechsels hohe Futteraufnahmen und damit vergleichsweise schnelle Passagen haben, dass die Passagezeit im Durchschnitt für eine gründliche Verdauung bereits grenzwertig ist.

Schlussendlich kann man sagen, dass sich die Partikelgröße im Darm - im Gegensatz zu dem, was für Säuger gilt – sehr wohl verändern kann, wenn die Retentionszeiten nur lang genug sind.

4.2.2.4 Vögel

Die durchschnittlichen Kotpartikelgrößen der Vögel liegen prinzipiell im Bereich der Nicht-Wiederkäuer (Abb. 54 und 55). Dies erlaubt die Schlussfolgerung, dass die Zerkleinerungsleistung des Muskelmagens von Vögeln der von Säugerzähnen vergleichbar ist. MOORE (1999) untersuchte die Partikelgröße von Gänsen und stellte dabei fest, dass diese mit der von Schafen vergleichbar ist. Sie folgerte daraus, dass das Ausmaß, in dem Gras durch den Muskelmagen zerkleinert wird, mit der Partikelzerkleinerung durch den Kau- und Wiederkauakt bei Wiederkäuern vergleichbar ist, ließ dabei aber den enormen Körpermassenunterschied (die KM von Schafen ist im Durchschnitt ca. bis zwanzigmal höher) außer Acht. Tatsächlich grenzen sich die Wiederkäuer deutlich von den Nicht-Wiederkäuern und auch den Vögeln ab. Die Aussage von MOORE sollte daher auf einen Vergleich zu Nicht-Wiederkäuern revidiert werden.

Ähnlich wie die verschiedenen allometrischen Funktionen, die bei Säugerzähnen im Verhältnis zur KM gefunden wurden (vgl. Kap. 2.4.4), besteht bei Vögeln eine Allometrie des Muskelmagens - genauer gesagt der Masse der Gastrolithen – zur KM. Untersuchungen von WINGS und SANDER (2007) ergaben folgende Gleichung:

$$\text{Gastrolithenmasse (g)} = \text{KM(kg)}^{1.20}$$

Anhand dieser und der allometrischen Gleichung zur Partikelgröße ($MW6_{\text{Vögel}} = 0,31 \text{ KM}^{0,4}$) lassen sich Hochrechnungen für die ausgestorbenen Riesenvögel treffen. Die neuseeländischen Moas (*Dinornithidae*), denen insgesamt zwölf Spezies angehörten, wogen zwischen 20 und 200 kg (ATKINSON und GREENWOOS 1989). Ihre durchschnittliche Kotpartikelgröße hätte demnach zwischen 1,0 mm und 2,5 mm und ihre Gastrolithenmasse zwischen 36 g und 577 g gelegen. Die australischen und tasmanischen Donnervögel (*Dromornithidae*) - alias Riesenemus – sowie die madagassischen Elefantenvögel (*Aepyornithidae*) wogen über 500 kg; ihre durchschnittliche Kotpartikelgröße hätte demnach bei 3,6 mm (MW6) und ihre Gastrolithenmasse bei 1,7 kg gelegen.

Der Muskelmagen bei Vögeln trägt entscheidend zur Partikelzerkleinerung bei herbivoren Vögeln bei. Ein Vergleich der Partikelgröße im Magen, Caecum und

Colon von Straußen zeigt, dass die Partikel um den Faktor 34 reduziert wurden. Der Grenunterschied im Caecum und Colon war nicht relevant, so dass sich kein Hinweis auf selektive Partikelretention für diese Spezies ergibt (Abb. 43). Dies steht im Einklang zu einer Untersuchung von HERD und DAWSON (1984), die keinen Hinweis auf Retention von Nahrungsbrei bei einem anderen Laufvogel (Emus) nachweisen konnten.

Abb. 65 zeigt die auf den verschiedenen Sieben aufgefangenen und auf entsprechende Petrischalen überführten Partikel einer Probe aus Drüsenmagen, Caecum und Colon eines Straußes. Man erkennt, dass sich im Magen deutlich größere Partikel finden, während sich die Partikelverteilungen zwischen Caecum und Colon nicht sonderlich voneinander unterscheiden. Im Magen finden sich Partikelgrößen (8 mm und 16 mm Sieb), die in den anderen beiden Darmabschnitten nicht vorkommen. Abb. 66 zeigt den Inhalt eines geöffnet Drusenmagens beim Strauß. Die grobe Beschaffenheit der Partikel ist deutlich erkennbar.

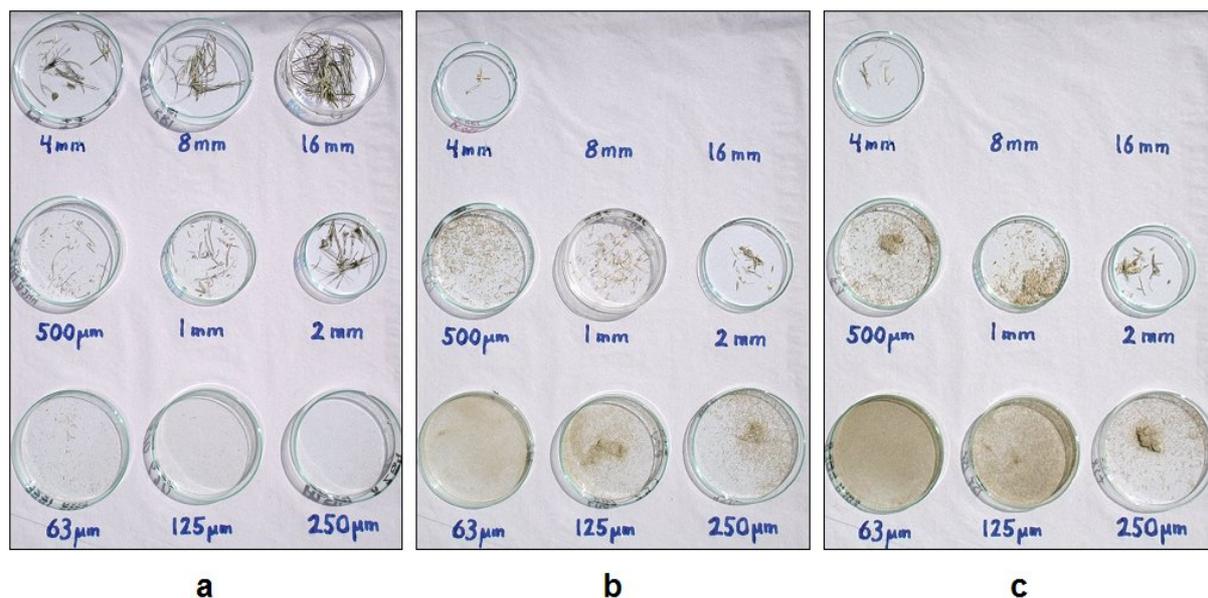


Abb. 65: Auf den verschiedenen Sieben retinierte Partikelanteile aus dem Magen (a), Caecum (b) und Colon (c) eines Straußes

Vögel und Reptilien zeigen eine große Gemeinsamkeit: beide sind nicht in der Lage, ihre Nahrung mit Hilfe von Mundwerkzeugen zu zerkleinern.

Im Gegensatz zu Reptilien wurde bei Vögeln der Einfluss der Schnabelform auf die Bissgröße eingehend untersucht. Dabei hat sich gezeigt, dass die Bissgröße bei Enten (DURANT et al. 2003) und Gänsen (COPE et al. 2005, VAN DER GRAAF et al. 2006) von der individuellen Schnabelform bestimmt wird. DURANT et

al. (2003) zeigten, dass hierbei besonders die Breite eine Rolle spielt, während COPE et al. (2005) eine positive Korrelation zur Schnabellänge fanden. Da der Muskelmagen die Nahrung jedoch unabhängig von der Bissgröße fein zerkleinert, sind diese Überlegungen hinsichtlich eines möglichen Einflusses auf die Kotpartikelgröße irrelevant. Bei Reptilien, bei denen die Bissgröße wesentlich ist, gibt es hierzu keine Untersuchungen. Parallelen zu Vögeln sind hinsichtlich der Form von Schnabel/Maul jedoch wahrscheinlich.



Abb. 66: Geöffneter Drüsenmagen eines Straußes

4.2.3 Vergleich nicht-wiederkauende Vormagenfermentierer zu Dickdarmfermentierern

Ein Vergleich von Dickdarmfermentierern zu nichtwiederkauenden Vormagenfermentierern zeigt keinen systematischen Unterschied (Abb. 31). Daraus folgt, dass bei den nichtwiederkauenden Vormagenfermentierern – im Gegensatz zu den Wiederkäuern - durch den Vormagen kein nahrungszerkleinernder Effekt erzielt wird. Dies deckt sich mit einer Hypothese von CLAUSS (2004) sowie den Befunden von FOLEY et al. (1995), CLAUSS et al. (2004b) und SCHWARM et al. (2005), die keine selektive Retention von großen Partikeln im Vormagen von nichtwiederkäuenden Vormagenfermentierern nachweisen konnten.

4.2.4 Vergleich innerhalb bestimmter Gruppen

4.2.4.1 Marsupialia

Kängurus

Ein Vergleich der unterschiedlichen Äsungstypen, laub- und grasfressender Spezies, bei Makropoden zeigt keinen systematischen Unterschied (Abb. 33). Dies steht im Gegensatz zu einer vergleichenden Studie von LENTLE et al. (2003), die einen signifikant höheren Anteil großer Partikel sowie niedrigeren Anteil feiner Partikel im Vormagen (die Partikelverteilung im Vormagen ist zu der im Kot vergleichbar; FREUDENBERGER 1992) der eher laubfressenden Wallabies (*Petrogale penicillata*) fanden als bei den gras-, bzw. eher grasfressenden Wallabies (*Macropus eugenii* und *Macropus parma*).

Vombatidae

Wombats aus freier Wildbahn haben signifikant feinere Kotpartikel als Tiere aus Zootierhaltung ($p=0,007$) (Tab. 6). Da man prinzipiell davon ausgehen kann, dass die Futterrationen in Zootierhaltung zu einem gewissen Anteil aus unstrukturiertem Futter bestehen, würde man eigentlich erwarten, dass die Partikelgröße in Gefangenschaft vergleichsweise feiner sein sollte. Hierzu hat eine Untersuchung der Kotpartikelgröße von Nacktnasewombats mit unterschiedlicher Fütterung von BARBOZA (1993) gezeigt, dass der größte Partikelanteil beim Einsatz von Luzernepellets auf den mittleren Siebgrößen lag, während dieser bei Fütterung von Luzerneheu auf den größten Sieben lag. Die Tatsache, dass Tiere aus freier Wildbahn feinere Partikel erzielen, ist ein Hinweis darauf, dass ihre Zähne optimal an ihre natürliche Nahrung angepasst sind und sie diese demnach besser zerkleinern können.

4.2.4.2 Primates

Innerhalb der Menschenaffen zeigt sich kein systematischer Unterschied, auch nicht zwischen den großen und kleinen Menschenaffen – trotz des im Durchschnitt achtfachen Körpermassenunterschieds. Die Languren haben in ihrem Körpermassenbereich eher feine Kotpartikel, die Lemuren liegen eher hoch (Abb. 65).

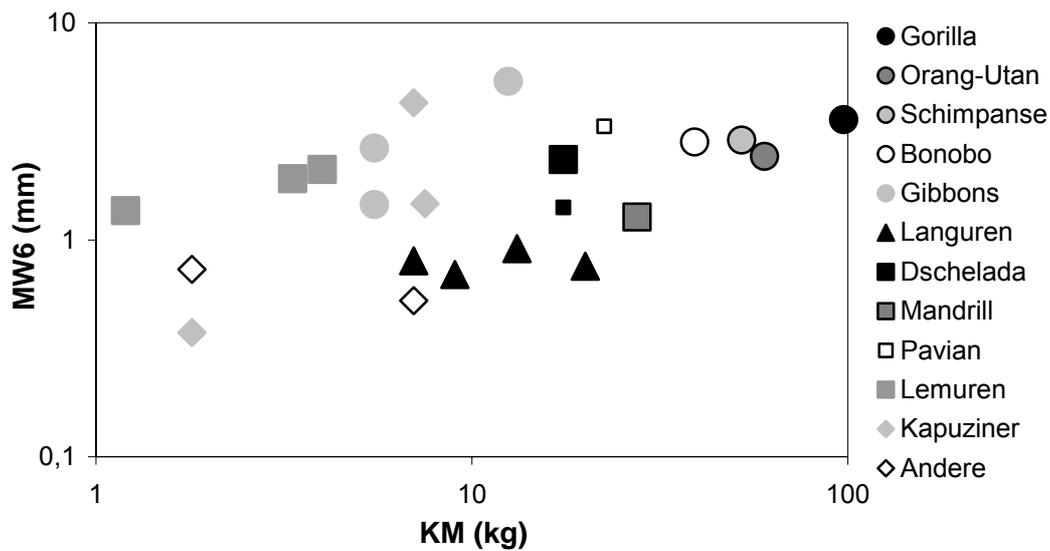


Abb. 67: Durchschnittliche Kotpartikelgrößen innerhalb der Primaten. Daten von DUNBAR und BOSE (1991), dargestellt als kleine Symbole, miteinbezogen

Die Dscheladas aus der Studie von DUNBAR und BOSE (1991) unterscheiden sich nicht wesentlich von den Tieren der eigenen Studie, die omnivoren Paviane sind zu denen der Menschenaffen vergleichbar. Die Besonderheit der Dscheladas ist die Tatsache, dass sie sich von einer ehemals frugivoren Ernährungsweise zu einer ausschließlich folivoren Ernährungsweise entwickelt haben, was einzigartig innerhalb der Primaten ist. Einhergehend damit, zeigen Dscheladas bestimmte Zahnmerkmale - große Backenzähne, Hypsodontie und ein tiefes Oberflächenrelief (JOLLY 1972) - die für ein Zermahlen des Futters angepasst sind.

Bei einem innerartlichen Vergleich der Menschenaffen ergab sich kein deutlicher Zusammenhang zwischen der KM und der Kotpartikelgröße (Abb. 35). Lediglich bei den Gorillas – bei denen ein größerer Körpermassenbereich abgedeckt werden konnte – deutete sich ein Zusammenhang an.

4.2.4.3 Rodentia

Bei dem Vergleich der Kotpartikelverteilungen innerhalb der Nager und Hasenartigen fällt auf, dass Maras (*Caviidae*), Kuba-Baumratten und Viscachas (*Chinchillidae*) ihre Nahrung im Vergleich zu den etwa gleich schweren Agutis (*Dasyproctidae*) und Nutrias (*Myocastoridae*) anscheinend effektiver zerkleinern können (Abb. 36). Ob es

sich dabei um eine Gesetzmäßigkeit handelt, kann aufgrund der unterschiedlichen Fütterungen der untersuchten Tiere nicht mit Bestimmtheit gesagt werden, und sollte anhand einer kontrollierten Studie überprüft werden. Ein Vergleich der Backenzahnstrukturen (Abb. 68) lässt jedoch eine solche Gesetzmäßigkeit vermuten, da sich die Zähne von Maras und Viscachas morphologisch sehr ähneln, sich aber deutlich von denen der Agutis und Nutrias unterscheiden, während sich letztere wiederum sehr ähnlich sind.

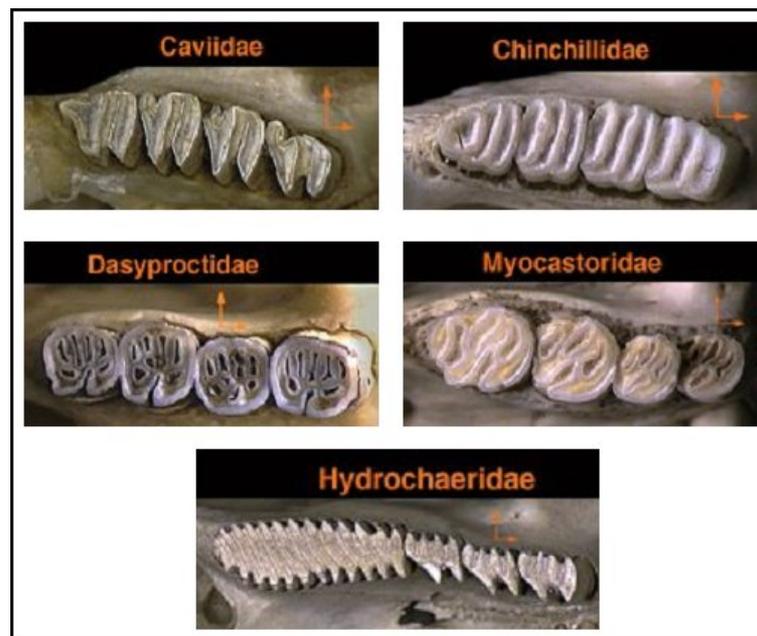


Abb. 68: Morphologie der Backenzähne verschiedener Nagergruppen (erstellt nach einer Abbildung aus *The Animal Diversity Web* - <http://animaldiversity.org>)

Weiterhin fällt auf, dass Wasserschweine (*Hydrochaeridae*) – die größten Caecumfermentierer der Welt (BARRETO und HERRERA 1998) – besonders fein kauen und somit eine gewisse Sonderstellung hinsichtlich der Fähigkeit zur Nahrungszerkleinerung innerhalb der Nager einnehmen. OJASTI (1973)⁵ gibt an, dass sie Partikelgrößen zwischen 0,001– 0,3 mm erreichen, was sich mit dem in der vorliegenden Studie ermittelten Mittelwert ($0,39 \pm 0,06$ mm) ungefähr deckt. GOULD (1975) bemerkte, dass Wasserschweine einen enorm verlängerten dritten Molaren besitzen, was sich in der Abb. 68 erkennen lässt. Er vermutete hierbei eine Anpassung, um eine ausreichende Kauoberfläche für den größten Nager zu erhalten. Anscheinend gehen quer zur Körperachse gerichtete Schmelzkanten, wie sie auch

⁵ zitiert nach BARRETO und HERRERA (1998), Quelle nicht zugänglich

beim Wasserschein zu finden sind, mit einer besonders feinen Partikelzerkleinerung einher.

4.2.4.4 Carnivora

Der große Panda setzt sich hinsichtlich der durchschnittlichen Kotpartikelgröße deutlich von den anderen Säugergruppen ab, während der kleine Panda nicht besonders hervorsticht (s.h. Abb. 28, 56). Der große Panda erreicht Partikelgrößen, die denen von Megaherbivoren vergleichbar sind, bzw. sogar darüber liegen. Die Pandabären sind besonders interessant, da sie innerhalb der Herbivoren eine besondere Stellung einnehmen, denn taxonomisch zählen sie zu den Raubtieren (*Carnivora*). Wie für Fleischfresser typisch haben auch die Pandabären schmelzhöckerige Zähne, inklusive Reißzahn (vgl. Abb. 69) - ein Gebiss also, welches eigentlich nicht originär an pflanzliche Nahrung adaptiert ist.

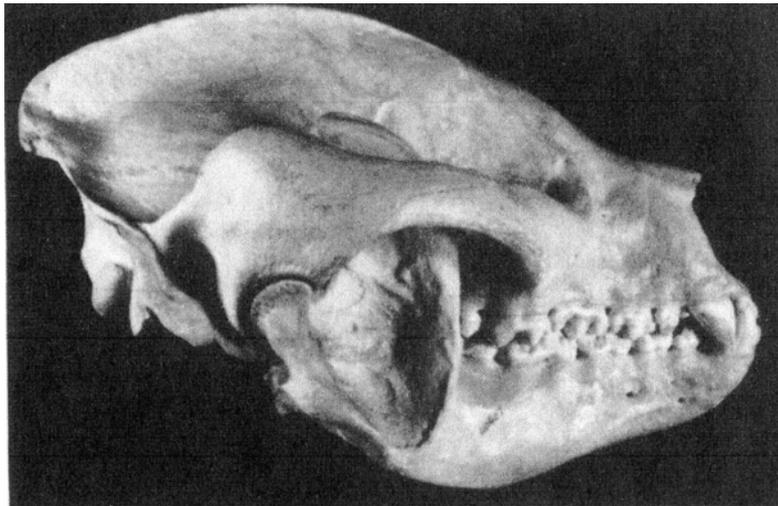


Abb. 69: Schädel eines großen Pandabären (aus CHORN und HOFFMANN 1978)

Verglichen mit ihren carnivoren Verwandten zeigt das Gebiss der Pandas dennoch zahlreiche Anpassung an die pflanzliche Ernährung. ROBERTS und GITTLEMAN (1984) beschreiben die Bezahnung des kleinen Pandabären als äußerst robust, mit breiter als längeren P4, M1 und M2, und zusätzlichen Spitzen auf den Backenzähnen. Die oberen Premolaren zeichnen sich durch mehrere Spitzen und der P3 durch gut entwickelte Höcker aus. Das Gebiss des großen Pandas zeigt einen großen P4 mit prominenten Höckern, einen quadratischen M1 und einen verlängerten M2, die beide mit zahlreichen Höckern ausgestattet sind (CHORN und

HOFFMANN 1978). Eine weitere Anpassung an die pflanzliche Kost sind Veränderungen des Schädelskeletts, die mit einer Vergrößerung der Kaumusculatur einhergehen (DAVIS 1964).

Daneben besitzen Pandas ebenfalls ein typisches carnivores Kiefergelenk, welches keine Bewegung des Unterkiefers nach vorne oder hinten erlaubt. Auch seitliche Bewegungen können aufgrund der sich verzahnenden Eckzähne nicht ausgeführt werden (SANSON 2006), was im Einklang zu direkten Beobachtungen steht (ANDREW und SANSON⁶). Daraus folgt, dass die Molaren des Ober- und Unterkiefers nur durch eine einfache und direkte Kompression zusammengebracht werden können. ANDREW und SANSON⁶ beschreiben, dass Bambusblätter, welche zwischen zwei die Backenzahnstruktur imitierende Kompressionsplatten gebracht werden, sehr resistent sind gegenüber Zerquetschung, so wie es bereits von VINCENT (1982) für Gräser demonstriert werden konnte. Es zeigte sich allerdings, dass der Schaden an den Bambusblättern größer ist, wenn mehrere hiervon aufeinander liegen. Dies wiederum steht im Einklang zu Verhaltensbeobachtungen, denn Pandas stopfen sich zunächst eine größere Anzahl Bambusblätter (20 bis 30 Stück) ins Maul, bevor sie diese kauen (ANDREW und SANSON⁶). Des weiteren haben Pandas eine besonders eigentümliche Art, ihre Nahrung zu präparieren. Sie rollen die Blätterbündel zigarrenförmig auf, wodurch bereits im Vorfeld eine gewisse Schädigung durch Zerreißen stattfindet. Dadurch wird zwar eine höhere Anzahl der Pflanzenzellen zerstört, verglichen mit dem Ausmass, in dem Pferde und Kühe ihre Nahrung zerkleinern, ist dies jedoch sehr ineffizient (SANSON 2006), und erklärt einerseits die offensichtlich ineffektive Verdauung (weniger als 20% der TS, DIERENFELD et. al. 1982, s.h. unten) und andererseits die großen Kotpartikel.

Untersuchungen von DIERENFELD et al. (1982) haben gezeigt, dass der große Panda seine Hauptnahrung Bambus nur sehr unvollständig und ohne nennenswerte Fermentation verdaut. Die Nahrungspassage ist dabei sehr schnell (weniger als 12 Std.), was sich mit Beobachtungen von SHELDON (1937) deckt, nach dem Pandas äußerst häufig Kot absetzen, welcher unverdaut aussieht. KOBAYASHI et al. (2004) zeigten außerdem in vitro, dass roher Bambus kaum fermentierbar ist. Die Nahrungsspezialisierung ist vermutlich auch der Grund für die verglichen mit anderen Herbivoren ungewöhnliche Darmflora, welche sich aus vornehmlich Streptokokken,

⁶ zitiert nach SANSON (2006), unpublizierte Daten

(inklusive Enterokokkus) und Enterobacteriaceae zusammensetzt und keine obligat anaeroben Bakterien enthält (HIRAYAMA et al. 1989).

SHELDON (1937) schätzte, dass große Pandas zwischen zehn und zwölf Stunden täglich mit der Nahrungsaufnahme verbringen. Bei seiner Forschungsreise beobachtete er außerdem, dass der Kot von Pandas teilweise nur aus Blattanteilen und teilweise nur aus Stängelanteilen bestand. Das gleiche konnte auch in der vorliegenden Studie für das Berliner Weibchen sowie für die beiden Wiener Tiere beobachtet werden. Diese Anteile wurden separat voneinander gesiebt. Auf der Abb. 70 lässt sich sehr schön der Unterschied zwischen den beiden Kotqualitäten erkennen.



Abb. 70: Auf den verschiedenen Sieben retinierte Partikel von Kotproben großer Pandas aus dem Wiener Zoo. Linkes Bild: Blattanteile, rechtes Bild: Stängelanteile

Nach DIERENFELD et al. (1982) hat sich der große Panda - ohne ausgeprägte Anpassungen des Verdauungstraktes - auf eine faserreiche Nahrung spezialisiert, in dem er seine Nahrung selektiert (vorzugsweise werden die Blätter gefressen), effektiv kaut, große Futtermengen aufnimmt (6% der KM an TS), vorzugsweise Zellinhaltsstoffe und nicht Zellwände verdaut und die unverdauten Reste schnell wieder ausscheidet. Weiter beschreiben die Autoren, dass die für Herbivore typischen Zahnstrukturen (große, flache Backenzähne mit komplexer Kronenstruktur) sowie die starke Beißkraft eine effektive Zerkleinerung durch das Kauen ermöglichen. Sie geben an, dass die Blätter im Gegensatz zu den Bambushalmen fein zerkaut werden. Leider werden keine quantitativen Angaben gemacht. Nach den

in der vorliegenden Arbeit ermittelten durchschnittlichen Kotpartikelgröße ist die Aussage, dass große Pandas ihre Nahrung fein zerkleinern, nicht nachvollziehbar. Es kann aber bestätigt werden, dass Blätter vergleichsweise feiner gekaut werden als Halme. Die durchschnittliche Kotpartikelgröße (geometrischer Mittelwert bei 9 Sieben: MW9) bei dem gleichen Individuum aus dem Zoo Berlin für „Blätter“ lag bei 5,64 mm und der MW9 für „Halme“ bei 8,48 mm. Das gleiche zeigte sich auch bei den Proben aus dem Wiener Zoo. Der MW9 für „Blätter“ betrug 5,18 mm und für „Halme“ 9,57 mm.

Hinsichtlich der Verdauungsphysiologie fanden WEI et al. (1999) ähnliche Aspekte beim kleinen Panda wie DIERENFELD et al. (1982) beim großen Panda, nämlich ebenfalls eine hohe Futteraufnahme, Selektion der nährstoffreicheren Pflanzenteile, eine sehr schnelle Nahrungspassage (2-4 Std.), Verdauung von vornehmlich Hemizellulose sowie eine untergeordnete Rolle der Fermentation. Allerdings zeigten kleine Pandas vergleichsweise höhere Verdauungskoeffizienten für die TS. Die Autoren erklärten dies einerseits mit der Tatsache, dass die kleinen Panda keine Halme fraßen und andererseits damit, dass sie auch besser kauen. Ein Vergleich des Kots beider Pandabären zeigte, dass beim kleinen Panda 75% des Kotes das 1 mm Sieb passierte, während es beim großen Panda nur 7,5% waren. Dies kann durch die eigenen Untersuchungsergebnisse bestätigt werden, da die durchschnittliche Kotpartikelgröße der großen Pandas ungefähr achtmal so groß ist wie die von kleinen Pandas ($p=0,002$).

Schlussendlich kann man einerseits feststellen, dass die Bezahnung des großen Panda trotz vermeintlicher "Anpassungen" der von "normalen Herbivoren" unterlegen ist. Andererseits könnte die Diskrepanz der Partikelgrößen zum kleinen Panda trotz ähnlicher Zahnmorphologie ein Hinweis dafür sein, dass eine spezialisierte Zahnmorphologie um so wichtiger wird, je größer ein Herbivorer ist.

4.2.4.5 Proboscidae

Weder für afrikanische noch asiatische Elefanten ergaben sich Hinweise auf selektive Partikelretention im Darm (Abb. 42). Aufgrund der geringen Probenanzahl kann jedoch keine Aussage getroffen werden, ob es sich dabei um einen

Gesetzmäßigkeit handelt. Dies sollte anhand einer größeren Probenanzahl überprüft werden.

4.2.4.6 Sirenia

Die Nagelmanatis liegen mit einer durchschnittlichen Kotpartikelgröße von $6,13 \pm 3,57$ mm (MW6) deutlich über der von LANYON und SANSON (2006) bei Gabelschwanzseekühen ermittelten Kotpartikelgröße von 0,083 mm. Obwohl sich die Kauapparate von Rundschwanzseekühen, zu denen die Nagelmanatis zählen, und Gabelschwanzseekühen deutlich voneinander unterscheiden (s.h. S. 50), ist die Zerkleinerungsleistung miteinander vergleichbar (MARSH et al. 1999). Ein Versuch von LANYON und SANSON (2006) hat gezeigt, dass Seegräser – die natürliche Nahrung von Seekühen – im Vergleich zu herkömmlichen terrestrischen Grassorten mechanisch leichter zerstörbar sind. Es erscheint daher plausibel, dass der Unterschied der jeweils ermittelten Kotpartikelgrößen weniger durch die Unterschiede hinsichtlich der Kauapparate als vielmehr durch die Unterschiede hinsichtlich der physikalischen Eigenschaften des Futters bedingt ist. Tatsächlich bekamen die Tiere der vorliegenden Studie ausschließlich terrestrische Futterpflanzen, während die Tiere aus der Studie von LANYON und SANSON (2006), da es sich um gestrandete Tiere handelte, ausschließlich aquatische Pflanzen gefressen hatten.

4.2.4.7 Perissodactyla

Equidae

Die Equiden kauen interessanterweise deutlich feiner als Tapire und Nashörner (Abb. 28, 56). Teilweise erreichen sie sogar Partikelgrößen wie die Wiederkäuer. Möglicherweise sind Equiden durch eine zu Wiederkäuern ähnliche Zahnstruktur (beide haben selenodonte Zähne) und eine besonders ausgeprägte Kaumuskulatur in der Lage, ihre Nahrung so fein zu zerkleinern. TURNBULL (1970) bemerkte, dass Equiden stärkere Kaumuskeln (*M. masseter*) besitzen als Wiederkäuer, und ein quantitativer Vergleich von BECHT (1953) zeigte, dass - obwohl europäische Bisons größere Grasäser sind als Pferde - die Kaumuskulatur vom Pferd dreimal soviel wiegt wie die von Bisons (2304 g zu 734 g).

JANIS (1976) sieht den Erfolg der Equiden der Wiederkäuerradiation „standzuhalten“ darin, dass sie eine Verdauungsstrategie entwickelten, die ihnen ermöglicht, eine Futternische zu nutzen (sehr faserreiche Nahrung), welche Wiederkäuer vergleichbarer KM nicht nutzen können (Wiederkäuer fressen Nahrung mit mittlerem Rohfasergehalt). Der „Preis“ dafür sei eine geringere Speziesvielfalt und eine geringere Selektivität der Nahrung. Die Tatsache, dass die Equiden innerhalb der Perissodactyla die feinsten Kotpartikel aufweisen, lässt vermuten, dass die Zerkleinerungsfähigkeit ebenfalls ein wichtiges Kriterium ist, in einem vergleichbaren Körpermassenbereich mit einer relativ hohen Speziesvielfalt (verglichen mit anderen Perissodactyla) bzw. Individuenanzahl zu bestehen. Die evolutionäre Anpassung der molaren Zahnstruktur der Equiden an die sehr rohfaserreiche Nahrung umfasst einerseits eine Erhöhung der Komplexität der Schmelzfältelung auf der Okklusionsfläche und andererseits die Molarisierung der Prämolaren (JANIS 1976). Die rezenten Nashörner haben die Größe der einzelnen Molaren zwar relativ zur Schädelgröße disproportional erhöht, das Schmelzmuster aber ist viel weniger komplex als das der Pferde und die Prämolaren sind auch nur teilweise molarisiert (JANIS 1976). Bei Tapiren ist das Ausmaß der Molarisierung der Prämolaren ebenfalls deutlich weniger ausgeprägt als bei Pferden (RADINSKY 1969). Des Weiteren zeigten Pferde aus dem Eozän bereits Anpassungen für eine ausgeprägtere Transversalbewegung im Kiefergelenk als Tapire (BUTLER 1972), was erklären könnte, warum sich auf der einen Seite bis heute nur zwei Tapirspezies durchsetzten, und diese auf der anderen Seite gröbere Kotpartikel ausscheiden als Equiden.

Ein weiterer Vorteil der Equiden gegenüber den anderen Perissodactyla, bzw. großen Nicht-Wiederkäuern im Allgemeinen, ist möglicherweise ihre Sonderstellung hinsichtlich selektiver Partikelretention. Es scheint, als wären Equiden die einzigen großen Pflanzenfresser, die über einen selektiven Retentionsmechanismus feiner Partikel im Blinddarm verfügen (BJÖRNHAG et al. 1984), welcher ihnen vermutlich erlaubt, eine besonders hohe Futteraufnahme ohne einen Verlust von Verdaulichkeit aufgrund zu kurzer MRT einzugehen.

Innerhalb der Equiden (Pferde sowie Esel) ergibt sich kein Hinweis auf einen Zusammenhang der Kotpartikelgröße mit der KM (Abb. 38 und Abb 39). Bei den Pferden fällt ein Tier mit einer vergleichsweise sehr hohen durchschnittlichen

Partikelgröße auf. Es handelt sich bei diesem Tier um einen ca. 16 Jahre alten Warmblut-Wallach. Bei Wiederkäuern (GILL et al. 1966) und Koalas (LANYON und SANSON 1986b) konnte gezeigt werden, dass ein hohes Alter, bzw. ein fortgeschrittene Zahnabnutzung mit einer größeren Kotpartikelgröße einhergehen kann. Nachdem der Wallach der vorliegenden Studie keine bekannten Zahnprobleme hatte, lässt sich die relativ hohe durchschnittliche Kotpartikelgröße dieses Tieres möglicherweise auf das Alter zurückführen.

Ein Vergleich der Partikelgröße von Przewalskipferden aus Zootierhaltung und freier Wildbahn zeigt - ähnlich wie bei den grasfressenden Wiederkäuern - einen signifikanten Unterschied (Tab. 6). Tiere aus Zootierhaltung haben feinere Kotpartikel als Tiere aus freier Wildbahn, was sich durch das unterschiedliche Futter, mit einem höheren Anteil an feinen Nahrungspartikeln (Pellets) in Menschenobhut, erklären lässt (vgl. hierzu S. 184/185).

Tapiridae

Bei Flachlandtapiren ergibt sich ein signifikanter Unterschied zwischen der durchschnittlichen Kotpartikelgröße von Tieren aus Zootierhaltung und Tieren aus freier Wildbahn (Tab.6). Dies weist darauf hin, dass die Bezahnung nicht an das im Zoo angebotene Futter angepasst ist, was durch den numerisch höheren Wert bei ausschließlicher Heufütterung noch verdeutlicht wird. Ein solcher Unterschied zwischen Zootierhaltung und freier Wildbahn wurde ebenfalls bei laubäsenden Wiederkäuern (Giraffe) gefunden (s.h. hierzu S. 183ff).

Die Tapire der vorliegenden Studie haben deutlich größere Kotpartikel als Wiederkäuer. Dies steht im Gegensatz zu einer Studie von OKAMOTO (1997a), der beim Tapir vergleichbar feine Partikel wie für die untersuchten Wiederkäuer fand. Allerdings ist dies darauf zurückzuführen, dass die Ration aus einem hohen Anteil nicht strukturiertem Futter bestand (OKAMOTO 1997b).

Rhinocerotidae

Innerhalb der Nashörner kauen die Panzernashörner am feinsten. Ein Vergleich von Breitmaul- zu Spitzmaulnashörnern zeigt keinen deutlichen Unterschied (Abb. 71).

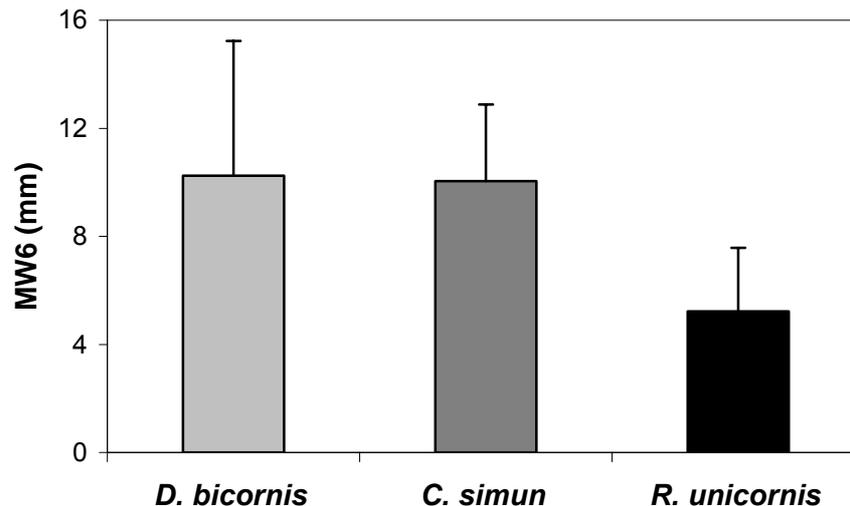


Abb. 71: Geometrischer Mittelwert bei 6 Sieben der Kotpartikelgröße (MW6) von Spitzmaulnashörnern (*D. bicornis*) ($n=8$), Breitmaulnashörnern (*C. simun*) ($n=12$) und Panzernashörnern (*R. unicornis*) ($n=6$), dargestellt als Durchschnittswert pro Spezies

Dies ist verwunderlich, da man aufgrund ihres unterschiedlichen Äsungsverhalten (OWEN-SMITH 1988), sowie der unterschiedlichen Backenzahnstruktur (POPOWICS und FORTÉLIUS 1997, PALMQVIST et al. 2003) – ähnlich wie bei Wiederkäuern (CLAUSS et al. 2002) – erwarten würde, dass die Laubäser (Spitzmaulnashörner) zumindest bei Zoofütterung gröbere Partikel ausscheiden als die Grasäser (Breitmaulnashorn, Panzernashorn). Da jedoch bei den Nashörnern die laubäsende Spezies deutlich kleiner ist als die beiden Grasäser, könnte hier der Fütterungseffekt durch einen theoretischen Effekt der Körpergröße nivelliert werden. Möglicherweise sind Panzernashörner aufgrund ihrer gut entwickelten Zahnleisten (LAURIE et al. 1983) in der Lage, ihre Nahrung feiner zu zerkleinern als die beiden anderen Nashornarten. Dies könnte erklären, warum Panzernashörner verglichen mit den in etwa gleichgewichtigen Breitmaulnashörnern bei vergleichbarem Futter vergleichsweise feinere Partikel ausscheiden.

Die Tatsache, dass die leichteren Spitzmaulnashörner als Laubäser vergleichbare Partikelgrößen erzielen wie die Breitmaulnashörner als Grasäser, könnte damit zusammenhängen, dass alle Tiere der vorliegenden Studie das gleiche Futter erhielten, nämlich Grasheu. Wie auch bei Giraffen und Tapiren (Laubäser) gezeigt werden konnte, führt die Aufnahme von nicht adäquatem Futter anscheinend zu größeren Kotpartikeln. Es wäre demnach denkbar, dass Spitzmaulnashörner bei

Aufnahme von Laub bzw. ihrer natürlichen Äsung feinere Kotpartikel erzielen würden.

Innerhalb der verschiedenen Nashornspezies ergibt sich, wie bei den Equiden auch, kein Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen der Kotpartikelgröße und der KM (Abb. 40).

4.2.4.8 Artiodactyla

Hippopotamidae

Die Flusspferde fallen durch ihre enorm hohe durchschnittliche Kotpartikelgröße auf, die über allen anderen Säugergruppen liegt und sich prinzipiell im Bereich der Reptilien einordnet (Abb. 28, 56). Es fällt auf, dass Flusspferde in ihrer Gesamtphysiologie – grob kauen, lange Retentionszeiten (CLAUSS et al. 2004b), geringe Futteraufnahme und geringer Grundumsatz (SCHWARM et al. 2006) – insgesamt ein wenig in die Richtung der Reptilien tendieren, welche die fehlende Fähigkeit zur Nahrungszerkleinerung ebenfalls durch lange Retentionszeiten kompensieren.

GOULD (1975) gibt an, dass Flusspferde vergleichsweise große Backenzähne besitzen, wobei er offen lässt, ob es sich dabei um eine Anpassung an die hohe KM oder um eine Spezialisierung an die Besonderheiten der Lebensweise handelt. Zahlreiche Freilandstudien haben gezeigt, dass Flusspferde reine Grasäser sind (z.B. FIELD 1968, OLIVIER und LAURIE 1974, SCOTCHER et al. 1978), mit einer Vorliebe für kurzes Gras (FIELD 1968).

Flusspferde haben bunodonte Backenzähne, die Zahnhöcker sind abgerundet und unterliegen mit zunehmenden Alter dem Abnutzungsprozess. Die Schneidekanten zeigen eine kleeblattförmige Struktur (Abb. 72). Nach HEINRICH (pers. Mitt. aus SCHWARM 2004, S.12) sind „diese Zähne zum Zerquetschen und Zerreiben von Pflanzen vorzüglich geeignet“, was sich durch die Ergebnisse der vorliegenden Studie nicht bestätigen lässt. Vielmehr unterstreichen die Ergebnisse, dass die Zähne von Flusspferden nicht effektiv zum Zerkleinern der Nahrung genutzt werden können. Möglicherweise ist dies ein Grund dafür, dass Flusspferde in freier Natur vorzugsweise kurzes Gras fressen (FIELD 1968).



Abb. 72: Molare von *Hippopotamus amphibius* (Zähne der linken Gebisshälfte, Foto: Roland Frey)

Ein Vergleich der Kotpartikelgrößen von Tieren aus freier Wildbahn und Zootierhaltung zeigte keinen signifikanten Unterschied (Tab. 6).

Tayassuidae

Halsbandpekaris aus Menschenobhut zeigen signifikant feinere Kotpartikel als Tiere aus freier Wildbahn (Daten aus SCHWARM et al. 2005) (Tab. 6, Abb. 73). Dies erklärt sich durch Unterschiede hinsichtlich der Nahrung, denn während die Tiere im Zoo Gemüse, Obst und Pellets erhielten, kann man davon ausgehen, dass Tiere in freier Wildbahn strukturierteres Futter aufgenommen haben. Eine vergleichende Nährstoffanalyse vom Kot ergab einen fast dreimal so hohen Ligninanteil in freier Wildbahn. Interessanterweise zeigte sich dieser Unterschied nicht bei dem Vergleich der Partikelgrößen derselben Daten anhand des MOFs (SCHWARM et al. 2005). Jedoch verdeutlicht dies theoretische Überlegungen hinsichtlich der Darstellungsweisen von Partikelgrößen (s.h. hierzu 4.1.6.1).

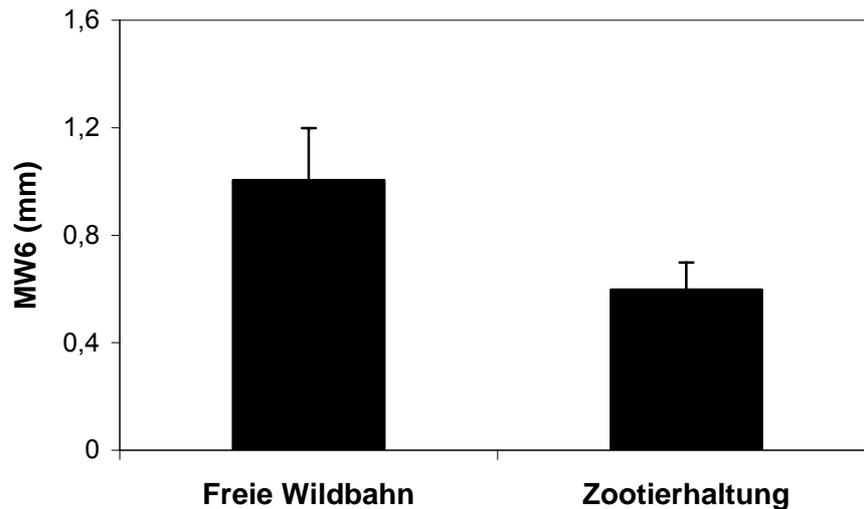


Abb. 73: Geometrischer Mittelwert bei 6 Sieben der Kotpartikelgröße (MW6) von Halsbandpekaris aus freier Wildbahn (n=5) und Zootierhaltung (n=6) (Daten aus SCHWARM et al. 2005)

Ruminantia

Die Wiederkäuer stellen eine Gruppe mit relativ hoher Körpermasse dar, welche relativ feine Partikel produzieren. Sie liegen damit in einem Bereich, der von Nicht-Wiederkäuern nicht abgedeckt wird. Dies deckt sich mit Ergebnissen von OKAMOTO (1997a), der bei Wiederkäuern - Giraffe, Kamel, Lama, Rind und Schaf - feinere Kotpartikel als bei Nicht-Wiederkäuern – Flusspferd und Pferd - fand.

Der Anstieg der Kotpartikelgröße mit der KM ist bei den Wiederkäuern deutlich schwächer als bei den Nicht-Wiederkäuern generell. Möglicherweise hängt dies damit zusammen, dass bei Wiederkäuern die Kotpartikelgröße indirekt durch einen selektiven Retentionsmechanismus für Partikel im Pansen gesteuert wird, der bei Dickdarmfermentieren, bzw. Nicht-Wiederkäuern nicht existiert. Die Partikelgröße würde demnach nicht allein durch Eigenschaften des Kauapparates bestimmt werden, was auch der Grund dafür sein könnte, dass sich innerhalb der Giraffen ein Anstieg der Kotpartikelgröße mit dem Gewicht andeutet (Abb. 41), welcher bei Dickdarmfermentieren (Elefanten, Equiden und Nashörner) nicht gefunden werden konnte (Abb. 37, 38, 39, 40).

Jedoch fanden BAE et al. (1983) bei der Untersuchung der Kotpartikelgrößen verschiedener Rinderrassen unterschiedlicher Gewichtsklassen keinen signifikanten Unterschied. Sie vermuteten, dass sich der Schwellenwert, mit dem die Partikel den Pansen verlassen, nicht bei verschiedenen Körpergewichtsklassen unterscheidet.

Ein Vergleich der Kotpartikelverteilungen der unterschiedlichen Äsungstypen (Laubäser, Mischäser und Grasäser) zeigt, dass Laubäser anscheinend größere Kotpartikel ausscheiden als Grasäser. Die unterschiedliche Steigung der allometrischen Regressionslinie wurde bereits bei CLAUSS et al. (2002) beschrieben. Die Daten dieser Studie, die in die vorliegende Arbeit mit einbezogen wurden, sind zusammen mit den eigenen Daten in Abb. 32 dargestellt.

Eine Erklärung hierfür könnte einerseits in der unterschiedlichen Zahnmorphologie (s.h. hierzu S. 47-48) zwischen Laub- und Grasäsern zu finden sein. Andererseits spekulierten CLAUSS et al. (2002), dass das Vorkommen von größeren Kotpartikeln bei Laubäsern durch die fehlende Schichtung im Pansen (CLAUSS et al. 2001) sowie die schnellere Passage und die geringere selektive Partikelretention (CLAUSS und LECHNER-DOLL 2001) bedingt ist. Weiterhin spekulierten die Autoren, dass es sich aber auch um die Konsequenz eines systematischen Unterschiedes in der Kau- bzw. Wiederkaufrequenz und –effizienz handeln könnte.

Am spannendsten ist allerdings die Überlegung, ob Laubäser tatsächlich größere Partikel ausscheiden, oder ob es sich hierbei nicht vielleicht lediglich um eine methodisch herbeigeführte Gesetzmäßigkeit handelt aufgrund der in Menschenobhut angebotenen, eher einheitlichen Fütterung. Dies wird besonders anhand eines Vergleichs von Zootieren und Tieren aus freier Wildbahn deutlich (Abb. 74).

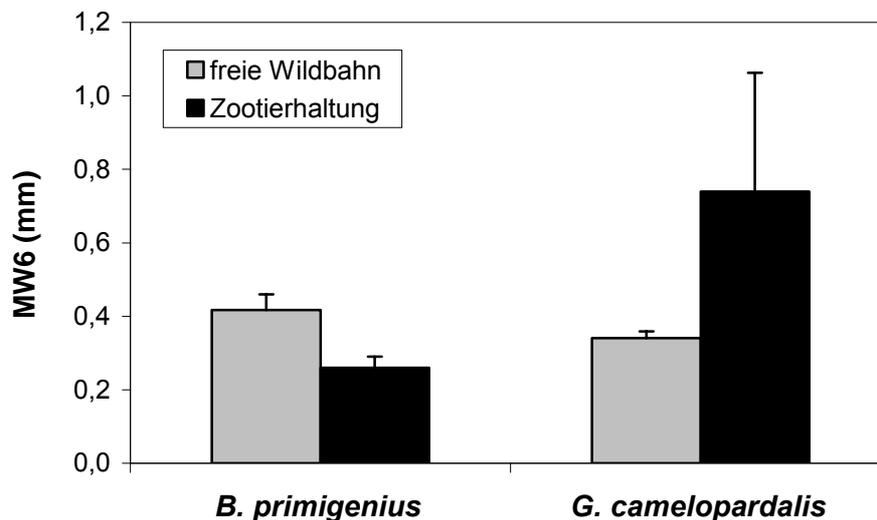


Abb. 74: Geometrischer Mittelwert bei 6 Sieben der Kotpartikelgröße (MW6) von Auerochsen (*B. primigenius*) und Giraffen (*G. camelopardalis*) aus freier Wildbahn ($n=6$, bzw. $n=10$) und Zootierhaltung ($n=4$, bzw. $n=14$)

Giraffen (Laubäser) aus freier Wildbahn scheiden deutlich feinere Kotpartikel aus als Giraffen aus Zootierhaltung, obwohl das Zoofutter zu einem gewissen Anteil auch

Pellets enthält, was die Partikelgröße im Kot senken sollte (SCHAUB 2004, vgl. 4.1.3). Auerochsen hingegen scheiden erwartungsgemäß feinere Partikel in Zootierhaltung aus. Der zwischen den beiden Arten in Zootierhaltung deutliche Unterschied in der Kotpartikelgröße lässt sich bei Tieren aus freier Wildbahn nicht aufzeigen. Dies lässt vermuten, dass die Zähne von Giraffen, oder von Herbivoren im Allgemeinen, optimal an die Ernährungsweise angepasst sind, und nicht adäquates Futter daher weniger effizient zerkleinert werden kann. Es stellt sich die Frage, ob man bei einem Vergleich zahlreicher Wildwiederkäuer-Spezies aus freier Wildbahn einen ähnlichen Unterschied zwischen den Äsungstypen wie in Abb. 32 darstellen könnte. Diese Hypothese sollte in einer weiterführenden Untersuchung geklärt werden. Allerdings sei auf Einzelbeobachtungen vor allem beim Elch verwiesen, bei dem – in freier Wildbahn - im Vergleich zum Hausrind sehr grosse Kotpartikel beschrieben wurden (NYGREN und HOFMANN 1990, NYGREN et al. 2001).

4.2.5 Schlussbetrachtung

Die vorliegende Studie hat gezeigt, dass die Kotpartikelgröße – wie für Säuger bereits vermutet – sowohl bei Säugern als auch bei Reptilien und Vögeln mit steigender KM zunimmt. Die Vögel erreichen Partikelgrößen, die zu denen nichtwiederkauender Säuger vergleichbar sind, woraus folgt, dass die Zerkleinerungsleistung des Muskelmagens zu der von Säugerzähnen vergleichbar ist. Reptilien hingegen liegen deutlich über den Säugern und Vögeln, was ihre fehlende mechanische Nahrungszerkleinerungsfähigkeit widerspiegelt. Die Kotpartikelgröße wird bei ihnen maßgeblich durch die Nahrungspartikelgröße bzw. Abissgröße bestimmt. Die Tatsache, dass sich die Partikelgröße bei einigen untersuchten Reptilien zwischen dem Magen und den distalen Darmabschnitten stark unterscheidet spricht für eine Partikelzerkleinerung im Zuge der chemischen Verdauung. Es wäre denkbar, dass Säurehydrolyse – wie sie bei herbivoren Fischen zu finden ist (LOBEL 1981) – bei Reptilien eine wichtige Rolle hinsichtlich der Partikelzerkleinerung im Darm spielen könnte.

Für alle Säuger-Gruppen ergibt sich eine positive Allometrie zur Körpermasse mit dem Exponent 0,34 (MW6) bzw. 0,31 (WAm_{ax}). Unter der in der Literatur gegebenen Voraussetzung, dass die Zahngröße zwischen Spezies isometrisch mit der

Körpermasse skaliert, unterstreicht dieses Ergebnis einen funktionellen Zusammenhang zwischen der Zahngröße und der erreichten Ingesta-Partikel-Länge. Wiederkäuer, aber auch Equiden zerkleinern ihre Nahrung für ihre Körpergröße besonders fein, und nehmen daher eine Sonderstellungen ein.

Im innerartlichen Vergleich ergibt sich meist kein Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen der Körpermasse und der Kotpartikelgröße .

Tiere in Zoos haben manchmal gleich große oder größere Kotpartikel als Tiere aus freier Wildbahn, aber meist keine kleineren (Giraffen, Wombat, Tapir), obgleich sie meistens einen bestimmten Anteil Pelletfutter erhalten, was die Partikelgröße senken sollte. Dies ist ein Zeichen dafür, dass die Zähne vieler Tiere an ihre natürliche Nahrung besser angepasst sind als an die Nahrung im Zoo. Ein Studie von CLAUSS et al. (im Druck) zeigte diesbezüglich, dass die Nahrung im Zoo zu einer anderen Zahnabnutzung führt als die in freier Wildbahn.

Im Hinblick auf die fortwährende paläobiologische Diskussion über die Competition zweier Dinosaurier-Gruppen – den Sauropoden und den Ornithopoden – unterstützt die vorliegende Arbeit die Theorie, dass eine Partikelzerkleinerung mittels Muskelmagen nicht weniger effektiv ist als die durch Kauzähne. Des weiteren ergeben sich durch den Zusammenhang der KM zur Kotpartikelgröße im zwischenartlichen Vergleich bei den grossen Huftieren Hinweise, dass die Kaeffektivität ein Haupteinflussfaktor der kompetitiven Evolution gewesen sein könnte.

Anhand der Kotpartikelgröße – als Mass für die Kaeffizienz – kann generell gezeigt werden, dass man einerseits logische, allometrische Zusammenhänge finden kann, dass man sich aber aufgrund evolutionsbiologischer Überlegungen fragen muss, ob es sich bei dieser beobachteten Regelmäßigkeit (hier: allometrischem Zusammenhang) nicht eher um eine erdzeitgeschichtliche Momentaufnahme als um ein generelles Prinzip handelt.

4.2.6 Ausblick

Der Parameter Partikelgröße sollte in zukünftigen Überlegungen zu Zusammenhängen zwischen Verdaulichkeit, Körpermasse und MRT miteinbezogen werden. Inwieweit dieser Faktor eingeht, lässt sich allerdings anhand der vorliegenden Arbeit nicht definieren. Hierzu wären kontrollierte Versuche (in vivo und in vitro) nötig.

Für genaue Aussagen zur Verdaulichkeit und/oder Fermentationsdynamik der Partikel ist ein Ermitteln der Partikeloberfläche sicherlich aussagekräftiger. Beispielsweise hat ein Partikel mit einer Länge von 4 mm und einer Breite von 0,25 mm die gleiche Fläche, nämlich 1 mm^2 , wie ein Partikel mit einer Länge und Breite von jeweils 1 mm.

Da die Siebgröße nicht gleich der Partikelgröße entspricht, gilt: Je viereckiger die Partikel, desto besser beschreiben die Siebergebnisse die Partikel. Flächenhafte Partikel und Partikel, die nicht gekaut werden, müssen vermutlich prinzipiell anders behandelt werden. Möglicherweise wäre das von LOGAN und SANSON (2000) entwickelte Hochleistungs-Bild-Analyse-Verfahren hierfür gut geeignet. Es handelt sich dabei um ein optisches Verfahren zur Messung der Partikelverteilung von Digestaprobieren, bei dem ein manuelles Austeilen der Partikel nicht mehr nötig ist, und mit dem auch die feinsten Partikel erfasst werden können. Den Autoren nach eignet sich dieses Verfahren zwar besonders gut für die Messung von kleinen Partikeln, die Prinzipien dieser Methode könnten theoretisch aber auch für die Analyse von größeren Partikeln genutzt werden.

Die Trends dieser Studie sollten anhand von Kot von Tieren einiger Spezies, die standardisiert gefüttert werden, überprüft werden, und sollten um Analysen von Kotproben aus freier Wildbahn ergänzt werden. Insbesondere sollte untersucht werden, ob sich die Tatsache, dass laubäsende Wiederkäuer größere Partikel aufweisen als grasäsende Wiederkäuer (in Zootierhaltung), bei Tieren aus freier Wildbahn reproduzieren lässt.

Es sollte auch ermittelt werden, welche Nahrung sich in welche Partikelform zerkauen lässt. CLAUSS et al. (2003a) stellten die wenigen verfügbaren Hinweise

dafür zusammen, dass z.B. dicotyledones Material, insbesondere Baumlaub, eher zu polygonalen Partikeln zerkleinert wird, während Gras eher zu länglichen Partikeln zerkleinert wird. Eine entsprechende Analyse von Kot aus freier Wildbahn hinsichtlich dieser Parameter (Fläche) wäre notwendig, um dann im Zusammenhang mit Daten zur Gestaltung der Zahnoberfläche Rückschlüsse über morphologische Adaptationen der Zähne zu ermöglichen.

5 Zusammenfassung

Julia Fritz: Allometrie der Kotpartikelgröße von pflanzenfressenden Säugern, Reptilien und Vögeln

Neben verschiedenen Faktoren - wie Eigenschaften der Nahrung und Retentionszeit im Magen-Darm-Trakt - ist die Größe der Nahrungspartikel im Verdauungstrakt (zu messen im Kot) ein entscheidender, die Verdauung herbivorer Tiere beeinflussender Parameter.

In der derzeitigen Literatur existieren lediglich vier vergleichende Studien zur Kotpartikelgröße, die sich dazu auf wenige ausgewählte Säugerspezies, bzw. in einem Fall nur auf eine taxonomische Gruppe beschränken. Vergleichende Daten zu herbivoren Reptilien und Vögeln fehlen gänzlich. Die vorliegende Arbeit ist somit der erstmalige Versuch, die Kotpartikelgröße über eine sehr große Speziesbandbreite in allen drei Klassen zu quantifizieren und auf einen allometrischen Zusammenhang zur Körpermasse zu überprüfen. Einflussfaktoren auf die Partikelgröße, wie die Körpermasse, der Bezahnungstyp, die phylogenetische Zugehörigkeit und der Verdauungstyps werden im Zusammenhang diskutiert.

In der vorliegenden Arbeit werden insgesamt über 1100 Kotproben herbivorer Säuger (205 Spezies), Reptilien (12 Spezies) und Vögel (14 Spezies) mittels eines standardisierten Nasssieb-Verfahren analysiert. Dabei werden neun Siebe mit einer Maschenweite von 0,063 mm bis 16 mm verwendet. Die Darstellung der Kotpartikelgrößen erfolgt mit zwei unterschiedlichen Partikelgrößen-Maßen (in mm Partikellänge), dem durch Kurvenanpassung ermitteltem geometrischen Mittelwert (MW) und dem errechneten „Weighted Average“ (WA).

Folgende Ergebnisse werden erzielt:

Es wird bestätigt, dass die Kotpartikelgröße ein zuverlässiger Parameter als Maß für die Zerkleinerung der Nahrung durch den Kauvorgang ist. Allerdings ist diese Aussage auf die Aufnahme von terrestrischen Futterpflanzen zu beschränken.

Abb. 75 gibt einen Überblick über die gemessenen durchschnittlichen Kotpartikelgrößen aller untersuchten Tierarten. Es wird ersichtlich, dass die Kotpartikelgröße innerhalb der drei Klassen mit steigender Körpermasse zunimmt.

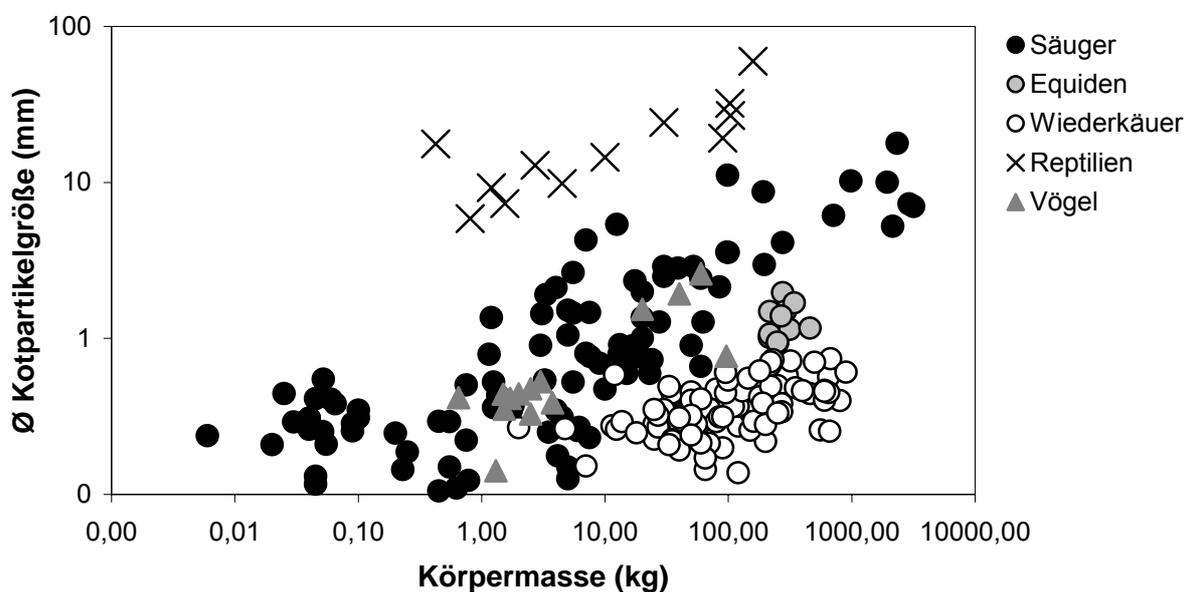


Abb. 75: Durchschnittliche Kotpartikelgrößen (mm, logarithmiert) in Relation zur Körpermasse (kg, logarithmiert) aller untersuchten Tierarten

Für alle **Säugetier**-Gruppen ergibt sich eine positive Allometrie zur Körpermasse mit dem Exponent 0,34 (MW) bzw. 0,31 (WA). Unter der in der Literatur gegebenen Voraussetzung, dass die Zahngröße zwischen Spezies isometrisch mit der Körpermasse skaliert, unterstreicht dieses Ergebnis einen funktionellen Zusammenhang zwischen Zahngröße und der erreichten Ingesta-Partikel-Länge. Wiederkäuer, aber auch Equiden zerkleinern für ihre Körpergröße ihre Nahrung besonders fein, daher nehmen sie beide innerhalb der Säugetiere Sonderstellungen ein. An Grasäsung angepasste Spezies (Przewalski-Pferd, Auerochse) wiesen in freier Wildbahn und in Menschenobhut vergleichbare Partikelgrößen im Kot auf; hingegen hatten an Laubäsung angepasste Spezies (Tapir, Giraffe) in freier Wildbahn kleinere Kotpartikel als in Menschenobhut.

Reptilien liegen hinsichtlich ihrer durchschnittlichen Kotpartikelgröße deutlich über den Säugetieren und Vögeln.

Die Zerkleinerungsleistung des Muskelmagens von **Vögeln** ist der von Säugetierzähnen vergleichbar, da die Partikelgröße in ihrem Kot sich nicht von der nicht-wiederkäuender Säugetiere unterscheidet; der vor dem Muskelmagen befindliche Nahrungsbrei ähnelt hingegen in der Partikelgröße dem Kot von Reptilien.

Im Hinblick auf die fortwährende paläobiologische Diskussion über die Konkurrenz zweier Dinosaurier-Gruppen – den Sauropoden und den Ornithopoden – unterstützt die vorliegende Arbeit die Theorie, dass eine Partikelzerkleinerung mittels Muskelmagen nicht weniger effektiv ist als die durch Kauzähne.

Die zwischen und innerhalb der Säugergruppen bestehenden Differenzen in der Zerkleinerungseffektivität können zum Teil in Beziehung zum evolutionsbiologischen Erfolg verschiedener Spezies gesetzt werden.

6 Summary

Julia Fritz: Allometry of the faecal particle size of herbivore mammals, reptiles and birds

Among different factors – such as food characteristics and ingesta retention time -, ingesta particle size (measurable in the faeces) is an important parameter that influences digestion in herbivores.

In the literature, there are only four comparative studies on the faecal particle size in herbivores. These studies either concentrate on only a few different species, or are restricted to one taxonomic order. Comparative data on reptiles and birds are totally lacking. Thus the present study represents the first attempt to quantify the faecal particle size across broad range of herbivore species within all three taxonomic classes, and to investigate whether there is an allometric relationship to body mass. Relevant factors influencing ingesta particle size, such as body mass, type of dentition, phylogenetic affiliation and digestive strategy, are discussed in context.

In total, more than 1100 faecal samples from herbivorous mammals (205 species), reptiles (12 species) and birds (14 species) are analysed with a standardized wet-sieving procedure using nine sieves ranging from 0,063 mm to 16 mm mesh size. For the description of faecal particle size two different particle dimensions (in mm particle length) are used, the mean particle size (“Mittelwert”: MW) obtained by curve fitting, and the weighted average (WA) obtained by calculation.

The following results are obtained:

It is confirmed that faecal particle size is a reliable measure for the extent to which food is processed by mastication. However, this only applies to terrestrial forage plants.

Figure 76 demonstrates the faecal particle size distribution for all examined species. It is evident that faecal particle size increases with increasing body mass in all three classes.

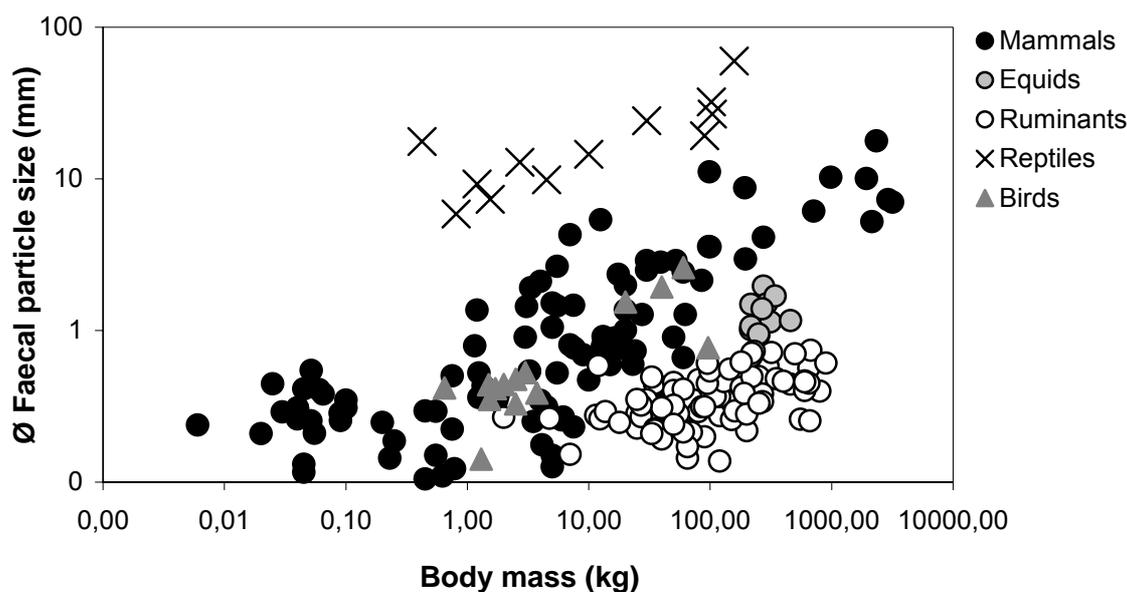


Abb. 76: Mean faecal particle size (mm, logarithmic) in relation to body mass (kg, logarithmic) of all species analysed

For all **mammal** groups faecal particle size scales positively to body mass to the power of 0.34 (MW) or 0.31 (WA), respectively. Given the literature assumption that tooth size scales isometrically to body mass, these results underline the fact that there is a functional relationship between tooth size and the achieved ingesta particle length. Considering their body mass range, ruminants - and also equids - achieve particularly small faecal particles and therefore are peculiar among the mammals. Species adapted to grazing (Przewalski horse, aurochs) showed comparable faecal particle sizes in the wild and in captivity, whereas species adapted to browsing (tapir, giraffe) had smaller faecal particles in the wild compared to captivity.

Reptiles have distinctively higher mean faecal particle sizes than mammals and birds.

Ingesta comminution in the gizzard of herbivorous **birds** is comparable to that achieved by chewing in non-ruminant mammals, as faecal particle size does not differ between these two groups. Before it enters the gizzard, however, bird ingesta have a similar particle size as reptile faeces.

With respect to the ongoing paleobiological discussion on the competition of two dinosaur groups – the sauropods and ornithomimids – the present study supports the theory that comminution by gizzard is not less effective than comminution by mastication.

The differences in the comminution efficiency between and within mammal groups can partly be related to the evolutionary success of certain species.

7 Literaturverzeichnis

- Acosta A, Boudon A, Peyraud J-L (2007) Species and variety of herbage affects release of cell contents during ingestive mastication in dairy cows fed indoors. *Anim Feed Sci Technol* 132: 28-48
- Allen MS, Robertson JB, Van Soest PJ (1984) A comparison of particle size methodologies and statistical treatments. In: Kennedy PM (Hrsg.) *Techniques in particle size analysis of feed and digesta in ruminants*. Can Soc Anim Sci, Edmonton, Canada, S. 39-56
- Alonso JC (1985) Grit in the gizzard of Spanish sparrows (*Passer hispaniolensis*). *Vogelwarte* 33: 135-143
- Annisson EF, Hill KJ, Kenworthy R (1968) Volatile fatty acids in the digestive tract of the fowl. *Br J Nutr* 22: 207-216
- Archer D, Sanson G (2002) Form and function of the selenodont molar in Southern African ruminants in relation to their feeding habits. *J Zool (Lond)* 257: 13-26
- Atkinson IAE, Greenwoods RM (1989) Relationships between moas and plants. *NZ J Ecol* 12[suppl]: 67-96
- Bae DH, Welch JG, Smith AM (1981) Efficiency of mastication in relation to hay intake by cattle. *J Anim Sci* 52: 1371-1375
- Bae DH, Welch JG, Gilman BE (1983) Mastication and rumination in relation to body size of cattle. *J Dairy Sci* 66: 2137-2141
- Bailey AT, Erdman RA, Smith LW, Sharma BK (1990) Particle size reduction during initial mastication of forages by dairy cattle. *J Anim Sci* 68: 2084-2094
- Baker G, Jones LHP, Wardrop ID (1959) Cause of wear in sheep's teeth. *Nature* 4:1583-1584
- Bakker R (1986) *The dinosaur heresies*. Longman Scientific & Technical, Harlow, UK
- Barboza PS (1993) Digestive strategies of the wombats: Feed intake, fiber digestion, and digesta passage in two grazing marsupials with hindgut fermentation. *Physiol Zool* 66: 983-999
- Barboza PS (1995) Digesta passage and functional anatomy of the digestive tract in the desert tortoise (*Xerobates agassizii*). *J Comp Physiol B* 165: 193-202
- Barreto GR, Herrera EA (1998) Foraging patterns of capybaras in a seasonally flooded savanna of Venezuela. *J Trop Ecol* 14: 87-98
- Bartonek JC (1969) Build-up of grit in three pochard species in Manitoba. *Wilson Bull* 81: 96-97
- Bauchop T, Martucci RW (1968) Ruminant-like digestion of the langur monkey. *Science* 161: 698-700
- Becht G (1953) Comparative biological-anatomical researches on mastication in some mammals. *Proc K Ned Akad Wet C* 56: 508-528
- Best LB, Gionfriddo JP (1991) Charakterization of grit use by cornfield birds. *Wilson Bull* 103: 68-82
- Bezzobs T, Sanson G (1997) The effects of plant and tooth structure on intake and digestibility in two small mammalian herbivores. *Physiol Zool* 70: 338-351
- Bjorndal KA (1979) Cellulose digestion and volatile fatty acid production in the green turtle, *Chelonia mydas*. *Comp Biochem Physiol* 63A: 127-133

- Bjorndal KA (1980) Nutrition and grazing behavior of the green turtle, *Chelonia mydas*. Mar Biol 56: 147-154
- Bjorndal KA (1985) Nutritional ecology of sea turtles. Copeia 1985: 736-751
- Bjorndal KA (1987) Digestive efficiency in a temperate herbivorous reptile, *Gopherus polyphemus*. Copeia 1987: 714-720
- Bjorndal KA (1989) Flexibility of digestive responses in two generalist herbivores, the tortoises *Geochelone carbonaria* and *Geochelone denticulata*. Oecologia 78: 317-321
- Bjorndal KA, Bolten AB (1990) Digestive processing in a herbivorous freshwater turtle: consequences of small-intestine fermentation. Physiol Zool 65: 1028-1039
- Bjorndal KA, Bolten AB (1992) Body size and digestive efficiency in a herbivorous freshwater turtle: advantages of small bite size. Physiol Zool 63: 1232-1247
- Bjorndal KA, Bolten AB (1993) Digestive efficiencies in herbivorous and omnivorous freshwater turtles on plant diets: do herbivorous have a nutritional advantage? Physiol Zool 66: 384-395
- Bjorndal KA, Bolten AB, Moore JE (1990) Digestive fermentation in herbivores: effect of food particle size. Physiol Zool 63: 710-721
- Björnhag G (1972) Separation and delay of contents in the rabbit colon. Swed J Agric Res 2: 125-136
- Björnhag G (1987) Comparative aspects of digestion in the hindgut of mammals. The colonic separation mechanism (CSM) (a Review). Dtsch Tierärztl Wschr 94: 33-36
- Björnhag G (1981) The retrograde transport of fluid in the proximal colon of rabbits. Swed J Agric Res 11: 63-69
- Björnhag G, Sperber I (1977) Transport of various food components through the digestive tract of turkeys, geese and guinea fowl. Swed J Agric Res 7: 57-66
- Björnhag G, Sperber I, Holtenuis K (1984) A separation mechanism in the large intestine of equines. Can J Anim Sci 64 [Suppl]: 89-90
- Bouchard SS, Bjorndahl KA (2005) Microbial fermentation in juvenile and adult pond slider turtle, *Trachemys scripta*. J Herpetol 39: 321-324
- Bowman JGD, Firkins JL (1993) Effects of forage species and particle size on bacterial cellulolytic activity and colonization in situ. J Anim Sci 71: 1623-1633
- Bowman JGD, Firkins JL (1995) In situ particle size reduction as affected by forage species and grinding mesh size. J Anim Sci 73: 439-446
- Boyer TH, Boyer DM (2006) Turtles, Tortoises, and Terrapins. In: Mader DR (Hrsg.) Reptile Medicine and Surgery. Saunders Elsevier, St. Louis, Missouri, 2. Auflage, S. 78-100
- Breves G (2000) Nahrungsaufnahme, und Speichelsekretion. In: Engelhardt W von, Breves G (Hrsg.) Physiologie der Haustiere. Enke im Hippokrates Verlag GmbH, Stuttgart, S. 303-308
- Breves G, Diener M (2000) Funktionen des Dickdarmes. In: Engelhardt W von, Breves G (Hrsg.) Physiologie der Haustiere. Enke im Hippokrates Verlag GmbH, Stuttgart, S. 394-402
- Brightsmith DJ, Muñoz-Najar RA (2004) Avian geophagy and soil characteristics in Southeastern Peru. Biotropica 36: 534-543
- Brouk M, Belyea R (1993) Chewing activity and digestive responses of cows fed alfalfa forages. J Dairy Sci 76: 175-182

- Buchsbaum R, Wilson J, Valiela I (1986) Digestibility of plant constituents by Canada geese and Atlantic brant. *Ecology* 67: 386-393
- Bugaut M, Bentéjac M (1993) Biological effects of short-chain fatty acids in nonruminant mammals. *Annu Rev Nutr* 13: 217-241
- Burn DM (1986) The digestive strategy and efficiency of the West Indian manatee, *Trichechus manatus*. *Comp Biochem Physiol* 85A: 139-142
- Butler PM (1972) Some functional aspects of molar evolution. *Evolution* 26: 474-483
- Calvo JO (1994) Jaw mechanics in sauropod dinosaurs. *GAIA* 10: 183-193
- Carmalt JL, Townsend HGG, Janzen Edn, Cymbaluk NF (2004) Effect of dental floating on weight gain, body conditioning score, feed digestibility, and fecal particle size in pregnant mares. *J Am Vet Med Assoc* 225: 1889-1893
- Case TJ (1979) Optimal body size and an animal's diet. *Acta Biotheor* 28: 54-69
- Castell J (2005) Untersuchungen zur Fütterung und Verdauungsphysiologie am Spitzmaulnashorn (*Diceros bicornis*). Diss med vet, Tierärztliche Fakultät der LMU München
- Caswell H, Reed F, Stephenson SN, Werner PA (1973) Photosynthetic pathways and selective herbivory: a hypothesis. *Am Nat* 107: 465-480
- Cerdeno E (1998) Diversity and evolutionary trends of the Family Rhinocerotidae (*Perissodactyla*). *Palaeogeogr, Palaeoclimatol, Palaeoecol* 141: 13-34
- Cerling TE, Harris JM, Leakey MG (1999) Browsing and grazing in elephants: the isotopic record of modern and fossil proboscideans. *Oecologia* 120: 364-374
- Chai K, Kennedy PM, Milligan LP (1984) Reduction in particle size during rumination in cattle. *Can J Anim Sci [Suppl]* 64: 339-340
- Cherney JH, Cherney DJR, Mertens DR (1988) Fiber composition and digestion kinetics in grass stem internodes as influenced by particle size. *J Dairy Sci* 71: 2112-2122
- Cho P, Brown R, Anderson M (1984) Comparative gross anatomy of ratites. *Zoo Biol* 3: 133-144
- Chorn J, Hoffmann RS (1978) *Ailuropoda melanoleuca*. *Mamm Species* 110: 1-6
- Christian KA, Tracy CR, Porter WP (1984) Diet, digestion and food preferences in Galapagos land iguanas. *Herpetologica* 40: 205-212
- Christiansen P (1996) The evidence for implications of gastroliths in sauropods. *GAIA* 12: 1-7
- Clauss M (2004) Potential interplay of posture, digestive anatomy, ingesta density and gravity in mammalian herbivores, or why sloths do not rest hanging upside down. *Mammal Review* 34: 241-245
- Clauss M (2006) Vergleichende Verdauungsphysiologie und Ernährung laub- und grasfressender Huftiere. Habilitationsschrift, LMU München
- Clauss M, Hummel J (2005) The digestive performance of mammalian herbivores: why big may not be that much better. *Mammal Review* 35: 174-187
- Clauss M, Lechner-Doll M (2001) Differences in selective reticulo-ruminal particle retention as a key factor in ruminant diversification. *Oecologia* 129: 321-327
- Clauss M, Lechner-Doll M, Behrend A, Lason K, Streich WJ (2001) Particle retention in the forestomach of a browsing ruminant, the roe deer (*Capreolus capreolus*). *Acta Theriol* 46: 103-107

- Clauss M, Lechner-Doll M, Streich WJ (2002) Faecal particle size distribution in captive wild ruminants: an approach to the browser/grazer-dichotomy from the other end. *Oecologia* 131: 343-349
- Clauss M, Lechner-Doll M, Streich WJ (2003a) Ruminant diversification as an adaptation to the physicommechanical characteristics of forage. A reevaluation of an old debate and a new hypothesis. *Oikos* 102: 253-262
- Clauss M, Kienzle E, Wiesner H (2003b) The botanical, structural and chemical composition of different pelleted feeds used in a captive browsing ruminant, the moose (*Alces alces*). In: Fidgett A, Clauss M, Gansloßer U, Hatt J-M, Nijboer J (Hrsg.) *Zoo Animal Nutrition*, Bd. 2, Filander Verlag, Fürth
- Clauss M, Schwarm A, Ortmann S, Thierer D, Hildebrandt T, Hohmann G, Flach EJ, Kühne R, Hofer H (2004a) Comparative analysis of physical and chemical characteristics of faeces from free-ranging and captive common hippopotamus (*Hippopotamus amphibius*). *Adv Ethol* 38: 26
- Clauss M, Schwarm A, Ortmann S, Alber D, Flach EJ, Kühne R, Hummel J, Streich WJ, Hofer H (2004b) Intake, ingesta retention, particle size distribution and digestibility in the hippopotamidae. *Comp Biochem Physiol* 139A: 449-459
- Clauss M, Lechner-Doll M, Streich WJ (2004c) Differences in the range of faecal dry matter content between feeding types of captive wild ruminants. *Acta Theoriol* 49: 259-267
- Clauss M, Polster C, Kienzle E, Wiesner H, Baumgartner K, von Houwald F, Ortmann S, Streich WJ, Dierenfeld ES (2005) Studies on digestive physiology and feed digestibilities in captive Indian rhinoceros (*Rhinoceros unicornis*). *J Anim Physiol Anim Nutr* 89: 229-237
- Clauss M, Franz-Odenaal TA, Brasch J, Castell JC, Kaiser T (im Druck) Tooth wear in captive giraffes (*Giraffa camelopardalis*): mesowear analysis classifies free-ranging specimens as browsers but captive ones as grazers. *J Zoo Wildl Med*
- Clemens ET, Stevens CE, Southworth M (1975) Sites of organic acid production in the gastrointestinal tract of geese. *J Nutr* 105: 1341-1350
- Clench MH (1999) The avian cecum: update and motility review. *J Exp Zool* 283: 441-447
- Clench MH, Mathias JR (1995) The avian cecum: a review. *Wilson Bull* 107: 93-121
- Coe MJ, Dilcher DL, Farlow JO, Jarzen DM, Russel DA (1987) Dinosaurs and land plants. In: Friis EM, Chaloner WG, Crane R (Hrsg.) *The origins of angiosperms and their biological consequences*. Cambridge University Press, New York, S. 225-258.
- Collinder E, Björnhag G, Cardona M, Norin E, Rehbinder C, Midtvedt T (2003) Gastrointestinal host-microbial interactions in mammals and fish: comparative studies in man, mice, rats, pigs, horses, cows, elk, reindeer, salmon and cod. *Microb Ecol Health Dis* 15: 66-78
- Colyer F (1931) *Abnormal conditions of the teeth of animals in their relationships to similar conditions in man*. The Dental Board of the United Kingdom, London
- Cooper WE Jr, Vitt LJ (2002) Distribution, extent, and evolution of plant consumption by lizards. *J Zool (Lond)* 257: 487-517
- Cope DR, Loonen MJJE, Rowcliffe JM, Pettifor RA (2005) Larger barnacle geese (*Branta leucopsis*) are more efficient feeders: a possible mechanism for observed body size-fitness relationships. *J Zool (Lond)* 265: 37-42
- Coppens Y, Maglio VJ, Madden CT, Beden M (1978) Proboscidea. In: Maglio VJ, Cooke HBS (Hrsg.) *Evolution of African mammals*. Harvard University Press, Cambridge, S. 336-367
- Creighton GK (1980) Static allometry of mammalian teeth and the correlation of tooth size and body size in contemporary mammals. *J Zool (Lond)* 191: 435-443

- Cromton AW, Parker P (1978) Evolution of the mammalian masticatory apparatus. *Am Sci* 66: 192-201
- Davis DD (1964) The giant panda: a morphological study of evolutionary mechanisms. *Fieldiana* 3: 1-339
- De Souza LL, Ferrari SF, Da Costa ML, Kern DC (2002) Geophagy as a correlate of folivory in red-handed howler monkeys (*Alouatta belzebul*) from Eastern Brazilian Amazonia. *J Chem Ecol* 28: 1613-1621
- DeGolier TF, Mahoney SA, Duke GE (1999) Relationships of avian cecal lengths to food habits, taxonomic position, and intestinal lengths. *Condor* 101: 622-634
- Dehority BA (1993) Laboratory manual for classification and morphology of rumen ciliate protozoa. CRC Press, Florida
- Dehority BA, Johnson RR (1961) Effect of particle size upon the in vitro cellulose digestibility of forages by rumen bacteria. *J Dairy Sci* 44: 2242-2249
- Dellow DW (1982) Studies on the nutrition of macropodine marsupials III. The flow of digesta through the stomach of intestine of macropodines and sheep. *Aust J Zool* 30: 751-765
- Demment MW (1982) The scaling of ruminoreticulum size with body weight in East African ungulates. *Afr J Ecol* 20: 43-47
- Demment MW, Van Soest PJ (1985) A nutritional explanation for body-size patterns of ruminant and nonruminant herbivores. *Am Nat* 125: 641-672
- Denbow DM (2000) Gastrointestinal anatomy and physiology. In: Whittow GC (Hrsg.) *Sturkie's avian physiology*. Academic Press, San Diego, Californien, 5. Auflage, S. 299-322
- Dennert C (1997) Untersuchungen zur Fütterung von Schuppenechsen und Schildkröten. Diss med vet, TiHo Hannover
- Diaz-Figueroa O, Mitchell MA (2006) Gastrointestinal anatomy and physiology. In: Mader DR (Hrsg.) *Reptile Medicine and Surgery*. Saunders Elsevier, St. Louis, Missouri, 2. Auflage, S. 145-163
- Dierenfeld ES, Hintz HF, Robertson JB, Van Soest PJ, Oftedal OT (1982) Utilization of bamboo by the giant panda. *J Nutr* 112: 636-641
- Dixon PM (2000) Removal of equine dental overgrowths. *Equine Vet Educ* 12: 68-81
- Dixon RM, Milligan LP (1985) Removal of digesta components from the rumen of steers determined by sieving techniques and fluid, particulate and microbial markers. *Br J Nutr* 53: 347-362
- Dixon PM, Tremaine WH, Pickles K, Kuhns L, Hawe C, McCann J, McGorum BC, Railton DI, Brammer S (2000) Equine dental disease Part 3: a long-term study of 400 cases: disorders of wear, traumatic damage and idiopathic fractures, tumours and miscellaneous disorders of the cheek teeth. *Equine Vet J* 32: 9-18
- Domning DP (1982) Evolution of manatees: a speculative history. *J Paleont* 56: 599-619
- Domning DP, Hayek L-AC (1984) Horizontal tooth replacement in the Amazonian manatee (*Trichechus inunguis*). *Mammalia* 48: 105-127
- Domingue BMF, Dellow DW, Barry TN (1991) The efficiency of chewing during eating and rumination in goats and sheep. *Br J Nutr* 65: 355-363
- Dougall HW, Drysdale VM, Glover PE (1964) The chemical composition of Kenya browse and pasture herbage. *E Afr Wildl J* 2:86-121
- Drobney RD (1984) Effect of diet on visceral morphology of breeding wood ducks. *Auk* 101: 93-98

- Druzinsky RE (1993) The time allometry of mammalian chewing moments: chewing frequency scales with body mass in mammals. *J Theor Biol* 160: 427-440
- Dunbar RIM, Bose U (1991) Adaptation to grass-eating in gelada baboons. *Primates* 32: 1-7
- Durant D, Fritz H, Blais S, Duncan P (2003) The functional response in three species of herbivorous Anatidae: effects of sward height, body mass and bill size. *J Anim Ecol* 72: 220-231
- Edmund AG (1969) Dentition. In: Gans S, Bellairs Ad'A, Parsons TS (Hrsg.) *Biology of the Reptilia*. Band 1 Morphology A. Academic Press Inc., London, S.117-200
- Ehle FR (1984a) Influence of particle size on determination of fibrous feed components. *J Dairy Sci* 67: 1482-1488
- Ehle FR (1984b) Measurement of mean particle size of forages by wet and dry sieving techniques. In: Kennedy PM (Hrsg.) *Techniques in particle size analysis of feed and digesta in ruminants*. Can Soc Anim Sci, Edmonton, Canada, S. 18-22
- Ehrlein HJ, Kaske M (2000) Motorik des Magen-Darm-Kanals. In: Engelhardt W von, Breves G (Hrsg.) *Physiologie der Haustiere*. Enke im Hippokrates Verlag GmbH, Stuttgart, S. 317-344
- Emanuele SM, Staples CR (1988) Effect of forage particle size reduction on in situ digestion kinetics. *J Dairy Sci* 71: 1947-1954
- Engelhardt W von (2000) Vergleichende Aspekte der Vormagen- und Dickdarmverdauung. In: Engelhardt W von, Breves G (Hrsg.) *Physiologie der Haustiere*. Enke im Hippokrates Verlag GmbH, Stuttgart, S. 402-405
- Engelhardt W von (2005) Besonderheiten der Verdauung bei Vögeln. In: Engelhardt W von, Breves G (Hrsg.) *Physiologie der Haustiere*. Enke im Hippokrates Verlag GmbH, Stuttgart, 2. Auflage, S. 419-422
- Engelhardt W von, Haarmeyer P, Kaske M, Lechner-Doll M (2006) Chewing activities and oesophageal motility during feed intake, rumination and eructation in camels. *J Comp Physiol B* 176: 117-124
- Enqvist KE, Chu JI, Williams CA, Nichols DK, Montali RJ (2003) Dental disease and serous atrophy of fat syndrome in captive giraffes. *Proc AAZV* S. 262
- Evans AR, Sanson GD (2003) The tooth of perfection: functional and spatial constraints on mammalian tooth shape. *Biol J Linn Soc Lond* 78: 173-191
- Evans EW, Burnett J, Bines JA (1974) A study on the effect of exposure in the reticulo-rumen of the cow on the strength of cotton, grass, hay and straw. *Br J Nutr* 31: 273-284
- Every D, Tunnicliffe GA, Every RG (1998) Tooth-sharpening behaviour (thegosis) and other causes of wear on sheep teeth in relation to mastication and grazing mechanisms. *J Royal Soc NZ* 28: 169-184
- Ewing PV, Wright LH (1918) A study on the physical changes in feed residues which take place in cattle during digestion. *J Agric Res* 13: 639-646
- Farlow JO (1987) Speculations about the diet and digestive physiology of herbivorous dinosaurs. *Paleobiology* 13: 60-72
- Field C (1968) The food habits of some wild ungulates in Uganda. PhD Diss, Cambridge
- Fievez V, Mbanzamihigo L, Piattoni F, Demeyer D (2001) Evidence for reductive acetogenesis and its nutritional significance in ostrich hindgut as estimated from in vitro incubations. *J Anim Physiol Anim Nutr* 85: 271-280

- Fisher DS, Burns JC, Pond KR (1988) Estimation of mean and median particle size of ruminant digesta. *J Dairy Sci* 71: 518-524
- Foley WJ, Cork SJ (1992) Use of fibrous diets by small herbivores: how far can the rules be 'bend'? *Trends Ecol Evol* 7: 159-162
- Foley WJ, Bouskila A, Shkolnik A, Choshniak I (1992) Microbial digestion in the herbivorous lizard *Uromastix aegypticus* (Agamidae). *J Zool (Lond)* 226: 387-398
- Foley WJ, Engelhardt W von, Charles-Dominique P (1995) The passage of digesta, particle size, and *in vitro* fermentation rate in the three-toed sloth *Bradypus tridactylus* (Edentata: Bradypodidae). *J Zool (Lond)* 236: 681-696
- Fortelius M (1985) Ungulate cheek teeth: developmental, functional, and evolutionary interrelations. *Acta Zool Fenn* 180: 1-76
- Fortelius M (1986) Isometric scaling of mammalian cheek teeth is also true metabolic scaling. In: Russell DE, Santoro J-P, Sigogneau-Russell D (Hrsg.) *Teeth revisited: Proceedings of the VIIth International Symposium on Dental Morphology*. Mém Mus Natn Hist Nat, Paris, série C 53: 459-462
- Fortelius M (1987) A note on the scaling of dental wear. *Evol Theory* 8: 73-75
- Freudenberger DO (1992) Gut capacity, functional allocation of gut volume and size distribution of digesta particles in two macropodid marsupials (*Macropus robustus robustus* and *M. r. erubescens*) and the ferral goat (*Capra hircus*). *Aust J Zool* 40: 551-561
- Freudenberger DO, Hume ID (1992) Ingestive and digestive responses to dietary fibre and nitrogen by two macropodid marsupials (*Macropus robustus robustus* and *M. r. erubescens*) and a ruminant (*Capra hircus*). *Aust J Zool* 40: 181-194
- Frye FI (1991) Lithophagy and geophagy. In: Frye FL (Hrsg.) *Reptile care*, Band 1, T.F.H. Publications Inc., Neptune City, New Jersey, S. 60
- Frye FI (1995) *Iguana Iguana*. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, S. 45-47
- Fritz JC (1937) The effect of feeding grit on digestibility in the domestic fowl. *Poult Sci* 16: 75-79
- Fujikara T, Oura R, Sekine J (1989) Comparative morphological studies on digestion physiology of herbivores. I. Digestibility and particle distribution of digesta and faeces of domestic and feral animals. *J Fac Agric Tottori Univ* 25: 87-93
- Garrott RA, Eberhardt LL, Otton JK, White PJ, Chaffee MA (2002) A geochemical trophic cascade in Yellowstone's geothermal environments. *Ecosystems* 5: 659-666
- Gasaway WC (1976) Cellulose digestion and metabolism by captive rock ptarmigan. *Comp Biochem Physiol* 54A:179-182
- Gasaway WC, Holleman DF, White RG (1975) Flow of digesta in the intestine and cecum of the rock ptarmigan. *Condor* 77: 467-474
- Gentry AW (1978) Bovidae. In: Maglio VJ, Cooke HBS (Hrsg.) *Evolution of African mammals*. Harvard University Press, Cambridge, S. 540-572
- Gill J, Campling RC, Westgarth DR (1966) A study of chewing during eating in the cow. *Br J Nutr* 20: 13-23
- Gingerich PD, Smith BH, Rosenberg K (1982) Allometric scaling in the dentition of primates and prediction of body weight from tooth size in fossils. *Amer J Phys Anthropol* 58: 81-100
- Gionfriddo JP, Best LB (1995) Grit use by house sparrows: effects of diet and grit size. *Condor* 97: 57-67

- Gionfriddo JP, Best LB (1996) Grit-use patterns in North American birds: the influence of diet, body size, and gender. *Wilson Bull* 108: 685-696
- Gorniak GC, Rosenthal HI, Gans C (1982) Mastication in the tuatara, *Sphenodon punctatus* (Reptilia: Rhynchocephalia): structure and activity of the motor system. *J Morph* 171: 321-353
- Gould SJ (1975) On the scaling of tooth size in mammals. *Amer Zool* 15: 351-362
- Grajal A, Strahl SD, Parra R, Dominguez MG, Neher A (1989) Foregut fermentation in the hoatzin, a neotropical leaf-eating bird. *Science* 245: 1236-1238
- Greer AE (2001) Distribution of maximum snout-vent length among species of scincid lizards. *J Herpetol* 35: 383-395
- Grenet E (1966) Les particules végétales des fèces de mouton. *Ann Zootech* 15: 303-312
- Grenet E (1970) Taille et structure des particules végétales au niveau du feuillet et des fèces chez les bovins. *Ann Biol Anim Bioch Biophys* 10: 643-657
- Grenet E (1984) Wet sieving technique for estimating particle size in herbivore digesta. In: Kennedy PM (Hrsg.) *Techniques in particle size analysis of feed and digesta in ruminants*. Can Soc Anim Sci, Edmonton, Canada, S. 167
- Grenet E (1989) A comparison of the digestion and reduction in particle size of lucerne hay (*Medicago sativa*) and Italian ryegrass hay (*Lolium italicum*) in the ovine digestive tract. *Br J Nutr* 62: 493-507
- Grenet E, Martin-Rosset W, Chenost M (1984) Compared size and structure of plant particles in the horse and the sheep feces. *Can J Anim Sci [Suppl]* 64: 345-346
- Gross JE, Demment MW, Alkon PU, Kotzman M (1995) Feeding and chewing behaviours of *Nubian ibex*: compensation of sex-related differences in body size. *Funct Ecol* 9: 385-393
- Groves CP (1972) *Ceratotherium simun*. *Mamm Species* 8: 1-6
- Grzimek B (1989) *Grzimeks Enzyklopädie der Säugetiere*. Kindler Verlag GmbH, München
- Guard CL (1980) The reptilian digestive system: general characteristics. In: Schmidt-Nielsen K, Bolis L, Taylor CR (Hrsg.) *Comparative Physiology: Primitive Mammals*. Cambridge University Press, Cambridge, S. 43-51
- Hadjigeorgiou IE, Gordon IJ, Milne (2003) Intake, digestion and selection of roughage with different staple lengths by sheep and goats. *Small Rumin Res* 47: 117-132
- Harbers LH, McNally LK, Smith WH (1981) Digestibility of three grass hays by the horse and scanning electron microscopy of undigested leaf remnants. *J Anim Sci* 53: 1671-1677
- Hatt J-M, Clauss M, Gisler R, Liesegang A, Wanner M (2005) Fiber digestibility in juvenile captive Galapagos tortoises (*Geochelone nigra*) and implications for the development of captive animals. *Zoo Biol* 24: 185-191
- Healy WB, Ludwig TG (1965) Wear of sheep's teeth. I. The role of ingested soil. *NZ J Agric Res* 8: 737-752
- Herd RM (1985) Anatomy and histology of the gut of the emu *Dromaius novaehollandiae*. *Emu* 85: 43-46
- Herd RM, Dawson TJ (1984) Fibre digestion in the emu, *Dromaius novaehollandiae*, a large bird with a simple gut and high rates of passage. *Physiol Zool* 57: 70-84
- Herrel A, De Vree F (1999) Kinematics of intraoral transport and swallowing in the herbivorous lizard *Uromastix acanthinurus*. *J Exp Biol* 202: 1127-1137

- Herrel A, Aerts P, De Vree F (1998) Ecomorphology of the lizard feeding apparatus: a modelling approach. *Neth J Zool* 45: 1-25
- Herrel A, Verstappen M, De Vree F (1999) Modulatory complexity of the feeding repertoire in scincid lizards. *J Comp Physiol A* 184: 501-518
- Herrel A, Vanhooydonck B, Van Damme R (2004) Omnivory in lacertid lizards: adaptive evolution or constraint? *J Evol Biol* 17: 974-984
- Hiiemae KM (1971) The structure and function of jaw muscles in the rat (*Rattus norvegicus*).III. The mechanics of the muscles. *Zool J Linn Soc* 50: 111-134
- Hiiemae KM (1978) Mammalian mastication: a review of the activity of the jaw muscles and the movements they produce in chewing. In: Butler PM, Joysey KA (Hrsg.) *Development, function and evolution of teeth*. Academic Press, London, S. 359-398
- Hiiemae KM, Ardran GM (1968) A cineradiographic study of feeding in *Rattus norvegicus*. *J Zool (Lond)* 154: 139-154
- Hildebrand M, Goslow E (2004) Nahrungsaufnahme. In: Hildebrand M, Goslow E (Hrsg.) *Vergleichende und funktionelle Anatomie der Wirbeltiere*. Springer-Verlag, Berlin, 5. Auflage, S. 625-659
- Hile ME, Hintz HF, Hollis NE (1997) Predicting body weight from body measurements in Asian elephants (*Elephas maximus*). *J Zoo Wildl Med* 28: 424-427
- Hillmann-Smith AKK, Groves CP (1994) *Diceros bicornis*. *Mamm Species* 455: 1-8
- Hintz HF (1969) Effect of coprophagy in digestion and mineral excretion in the guinea-pig. *J Nutr* 99: 375-378
- Hirayama K, Kawamura S, Mitsuoka T, Tashiro K (1989) The faecal flora of the giant panda (*Ailuropoda melanoleuca*). *J Appl Bacteriol* 67: 411-415.
- Hofmann RR (1968) Comparisons of the rumen and omasum structure in East African game ruminants in relation to their feeding habits. In: Crawford MA (Hrsg.) *Comparative nutrition of wild animals*. Symp Zool Soc Lond 21: 179-194
- Hofmann RR (1988) Morphophysiological evolutionary adaptations of the ruminant digestive system. In: Dobson A, Dobson MJ (Hrsg.) *Aspects of digestive physiology in ruminants*. Cornell University Press, Ithaca, S. 1-20
- Hofmann RR (1989) Evolutionary steps of ecophysiological adaptation and diversification of ruminants: a comparative view of their digestive system. *Oecologia* 78: 443-457
- Hofmann RR, Stewart DRM (1972) Grazer or browser: A classification based on stomach-structure and feeding habits of East African ruminants. *Mammalia* 36: 226-240
- Holtenius K, Björnhag G (1985) The colonic separation mechanism in the guinea-pig (*Cavia porcellus*) and the chinchilla (*Chinchilla laniger*). *Comp Biochem Physiol* 82A: 537-542
- Hotton N (1955) A survey of adaptive relationships of dentition to diet in North American iguanidae. *Am Midl Nat* 55: 88-114
- Hsu J-C, Lu T-W, Chiou PWS, Yu B (1996) Effects of different sources of dietary fibre on growth performance and apparent digestibility in geese. *Anim Feed Sci Technol* 60: 93-102
- Hukuhara T, Naitoh T, Kameyama H (1975) Observations on the gastrointestinal movements of the tortoise (*Geoclemys reevesii*) by means of the abdominal window technique. *J Smooth Muscle Res* 11: 39-46

- Hume ID (1982) Digestive physiology and nutrition of marsupials. Cambridge University Press, Cambridge
- Hume ID (1984) Principal features of digestion in kangaroos. Proc Nutr Soc Aust 9: 76-81
- Hummel J, Südekum KH, Streich WJ, Clauss M (2006) Forage fermentation patterns and their implications for herbivore ingesta retention times. Funct Ecol 20: 989-1002
- Iason GR, Van Wieren SE (1999) Digestive and ingestive adaptations of mammalian herbivores to low-quality forage. In: Olff H, Brown VK, Drent RH (Hrsg.) Herbivores: Between plants and predators. Blackwell Science, Oxford, S. 337-369
- Illius AW, Gordon IJ (1992) Modelling the nutritional ecology of ungulate herbivores: evolution of body size and competitive interactions. Oecologia 89: 428-434
- Imming I (1996) The rumen and hindgut as source of ruminant methanogenesis. Environ Monit Assess 42: 57-72
- Ingles LG (1961) Reingestion in the mountain beaver. J Mammol 42:
- Iverson JB (1980) Colic modifications in iguanine lizards. J Morph 163: 79-93
- Iverson JB (1982) Adaptions to herbivory in iguanine lizards. In: Burghardt GM, Rand AS (Hrsg.) Iguanas of the world. Noyes Publications, Park Ridge, New Jersey, S. 60-76
- Janis C (1976) The evolutionary strategy of the Equidae and the origins of rumen and cecal digestion. Evol 30: 757-774
- Janis CM (1986) An estimation of tooth volume and hypsodonty indices in ungulate mammals, and the correlation of these factors with dietary preferences. In: Russell DE, Santoro JP, Sigogneau D (Hrsg.) Teeth revisited. Mém Mus Natn Hist Nat C 53: 367-387
- Janis CM, Fortelius M (1988) The means whereby mammals achieve increased functional durability of their dentitions, with special reference to limiting factors. Biol Rev 63:197-230
- Janis CM (1995) Correlations between craniodental morphology and feeding behaviour in ungulates: reciprocal illumination between living and fossil taxa. In: Thomason JJ (Hrsg.) Functional morphology in vertebrate paleontology. Cambridge University Press, Cambridge, S. 76-98
- Jaster EH, Murphy MR (1983) Effects of varying particle size of forage on digestion and chewing behaviour of dairy heifers. J Dairy Sci 66: 802-810
- Jensen BB (1996) Methanogenesis in monogastric animals. Environ Monit Assess 42: 99-112
- Johnson DR (1966) Diet and estimated energy assimilation of three colorado lizards. Am Midl Nat 76: 504-509
- Jolly CJ (1972) The classification and natural history of *Theropithecus* (*Simopithecus*) (ANDREWS, 1916), baboons of the African Plio-Pleistocene. Bull Brit Mus Nat Hist (Geol) 22: 1-123
- Julien KC, Buschang PH, Throckmorton GS, Dechow PC (1996) Normal masticatory performance in young-adults and children. Arch Oral Biol 41: 69-75
- Karasov WH (1990) Digestion in birds: chemical and physiological determinants and ecological implications. Stud Avian Biol 13: 391-415
- Karasov WH, Petrossian E, Rosenberg L, Diamond JM (1986) How do food passage rate and assimilation differ between herbivorous lizards and nonruminant mammals? J Comp Physiol B 156: 599-609
- Kaske M (1987) Die Retention von Partikeln unterschiedlicher Dichte und Größe im Retikulumen von Schafen. Diss med vet, TiHo Hannover

- Kay RF (1975) The functional adaptations of primate molar teeth. *Am J Phys Anthropol* 43: 195-215
- Kay RF, Sheine WS (1979) On the relationship between chitin particle size and digestibility in the primate *Galago senegalensis*. *Am J Phys Anthropol* 50: 301-308
- Kay RNB (1993) Digestion in ruminants at pasture. World Conference on Animal Production Edmonton, Canada S.461-474
- Kenagy GJ, Hoyt DF (1980) Reingestion of feces in rodents and its daily rhythmicity. *Oecologia* 44: 403-409
- Kenagy GJ, Veloso C, Bozinovic F (1999) Daily rhythms of food intake and feces reingestion in the Degu, an herbivorous Chilean rodent: optimizing digestion through coprophagy. *Physiol Biochem Zool* 72: 78-86
- Keys JE, Van Soest PJ, Young EP (1969) Comparative study of the digestibility of forage cellulose and hemicellulose in ruminants and nonruminants. *J Anim Sci* 29: 11-15
- King AS, McLelland J (1984) *Birds – their structure and function*. Baillière Tindall, London, 2. Auflage
- King G (1996) *Reptiles and Herbivory*. Chapman & Hall, London
- King SJ, Arrigo-Nelson SJ, Pochron ST, Semprebon GM, Godfrey LR, Wright PC, Jernvall J (2005) Dental senescence in a long-lived primate links infant survival to rainfall. *PNAS* 102: 16579-16583
- Kleiber M (1947) Body size and metabolic rate. *Physiol Rev* 27: 511-541
- Kleiber M (1961) *The fire of life: an introduction to animal energetics*. John Wiley & Sons, New York, S. 177-179
- Knipfel JE (1984) Particle size reduction in several forage species as related to maturity and voluntary intake. In: Kennedy PM (Hrsg.) *Techniques in particle size analysis of feed and digesta in ruminants*. Can Soc Anim Sci, Edmonton, Canada, S. 171
- Kobayashi F, Take H, Asada C, Nakamura Y (2004) Methane production from steam-exploded bamboo. *J Biosci Bioeng* 97: 426-428.
- Kojola I, Helle T, Huhta E, Niva A (1998) Foraging conditions, tooth wear and herbivore body reserves: a study of female reindeer. *Oecologia* 117: 26-30
- Korzoun LP, Erard C, Gasc J-P, Dzerzhinsky FJ (2003) Les adaptations de l'hoazin (*Opisthocomus hoazin*) à la folivorie. Caractéristiques morphologiques et particularités fonctionnelles des appareils du bec et hyoïdien. *C R Biol* 326: 75-94
- Kramer DC (1973) Geophagy in *Terrepenne ornata ornata* Agassiz. *J Herpet* 7:138-139
- Langer P (1988) *The mammalian herbivore stomach*. Gustav Fischer, Stuttgart
- Langer P, Dellow DW, Hume ID (1980) Stomach structure and function in three species of macropodine marsupials. *Aust J Zool* 28: 1-18
- Lanyon JM, Sanson GD (1986a) Koala (*Phascolarctos cinereus*) dentition and nutrition. I. Morphology and occlusion of cheekteeth. *J Zool (Lond)* 209: 155-168
- Lanyon JM, Sanson GD (1986b) Koala (*Phascolarctos cinereus*) dentition and nutrition. II. Implications of tooth wear in nutrition. *J Zool (Lond)* 209: 168-181
- Lanyon JM, Sanson GD (2005) Degenerate dentition of the Dugong (*Dugong dugon*), or why a grazer does not need teeth: morphology, occlusion and wear of mouthparts. *J Zool (Lond)* 268: 133-152

- Lanyon JM, Sanson GD (2006) Mechanical disruption of seagrass in the digestive tract of the dugong. *J Zool (Lond)* 270: 277-289
- Laplace JP, Lebas F (1977) Le transit digestif chez le lapin VII. – Influence de la finesse du broyage des constituants d'un aliment granulé. *Ann Zootech* 26: 413-420
- Latham MJ, Brooker BE, Pettipher GL, Harris PJ (1978) *Ruminococcus flavefaciens* cell coat adhesion to cotton cellulose and to the cell walls in leaves of perennial ryegrass (*Lolium perenne*). *Appl Environ Microbiol* 35: 156-165
- Laurie WA, Lang EM, Groves CP (1983) *Rhinoceros unicornis*. *Mamm Species* 211: 1-6
- Lechleitner RR (1957) Reingestion in the black-tailed jack rabbit. *J Mammal* 38: 481-485
- Lechner-Doll M (1986) Selektive Retention von Futterpartikeln verschiedener Größe im Magen-Darmkanal von Kameliden im Vergleich mit Rindern und Schafen im Sudan. Diss med vet, TiHo Hannover
- Lechner-Doll M, Engelhardt W von (1989) Particle size and passage from the forestomach in camels compared to cattle and sheep fed a similar diet. *J Anim Physiol Anim Nutr* 61: 120-128
- Lechner-Doll M, Kaske M, Engelhardt W von (1991) Factors affecting the mean retention time of particles in the forestomach of ruminants and camelids. In: Tsuda T, Saaski Y, Kawashima R (Hrsg.) *Physiological aspects of digestion and metabolism in ruminants*. Academic Press, New York, S. 455-482
- Lechner-Doll M, Hume ID, Hofmann RR (1995) Comparison of herbivore forage selection and digestion. In: Journet M, Grenet E, Farce M-H, Thériez M, Demarquilly C (Hrsg.) *Recent developments in the nutrition of herbivores. Proceedings of the IVth International Symposium on the Nutrition of Herbivores*, INRA Editions, Paris, S. 231-248
- Lee DE, Hamman MG, Black JM (2004) Grit-site selection of black brant: particle size or calcium content? *Wilson Bull* 116: 304-313
- Lee JA, Pearce GR (1984) The effectiveness of chewing during eating on particle size reduction of roughages by cattle. *Aust J Agric Res* 35: 609-618
- Lees GL, Howarth RE, Goplen BP (1982) Morphological characteristics of leaves from some legume forages: relation to digestion and mechanical strength. *Can J Bot* 60: 2126-2132
- Lentle RG, Stafford KJ, Potter MA, Springett BP, Haslett S (1999) Ingesta particle size, food handling and ingestion in the tammar wallaby (*Macropus eugenii* Desmarest) *Aust J Zool* 47: 75-85
- Lentle RG, Hume ID, Stafford KJ, Kennedy M, Springett BP, Haslett S (2003) Observations on fresh forage intake, ingesta particle size and nutrient digestibility in four species of macropod. *Aust J Zool* 51: 627-636
- Lobel PS (1981) Trophic biology of herbivorous reef fishes: alimentary pH and digestive capabilities. *J Fish Biol* 19: 365-397
- Loe LE, Bonenfant C, Langvatn R, Myrsetrud A, Veiberg V, Stenseth NC (2006) Increased effect of harsh climate in red deer with a poor set of teeth. *Oecologia* 147: 34-30
- Loehlein W (1999) Untersuchungen zur Verdaulichkeit von Futtermitteln beim Asiatischen Elefanten (*Elephas maximus*) Diss med vet, LMU München
- Logan M (2001) Evidence for the occurrence of rumination-like behaviour, or merycism, in koalas (*Phascolarctos cinereus*, Goldfuss). *J Zool (Lond)* 255: 83-87
- Logan M (2003) Effect of tooth wear on the rumination-like behaviour, or merycism, of free-ranging koalas (*Phascolarctos cinereus*). *J Mammal* 84: 897-902

- Logan M, Sanson GD (2000) A new technique for measuring size distributions of fine ingesta/digesta particles. *Wildl Res* 27: 191-194
- Logan M, Sanson GD (2002) The effect of tooth wear on the feeding behaviour of free-ranging koalas (*Phascolarctos cinereus*, Goldfuss). *J Zool (Lond)* 256: 63-69
- López-Calleja MV, Bozinovic F (2000) Energetics and nutritional ecology of small herbivorous birds. *Rev Chil Hist Nat* 73: 411-420
- López-Calleja MV, Soto-Gamboa M, Rezende EL (2000) The role of gastrolites on feeding behavior and digestive efficiency in the rufous-collared sparrow. *Condor* 102: 465-469
- Lucas PW (2004) Dental functional morphology. Cambridge University Press, Cambridge
- Luppa H (1977) Histology of the digestive tract. In: Gans CG, Parsons TS (Hrsg.) *Biology of the Reptilia*, Band 6, Morphology E. Academic Press, London, S. 225-313
- MacFadden BJ (1985) Patterns of phylogeny and rates of evolution in fossil horses: Hipparions from the Miocene and Pliocene of North America. *Paleobiology* 11: 245-257
- Mackie RI (2002) Mutualistic fermentative digestion in the gastrointestinal tract: diversity and evolution. *Integ and Comp Biol* 42: 319-326
- Maglio V (1972) Evolution of mastication in the *Elephantidae*. *Evol* 26: 638-658
- Maglio V (1973) Origin and evolution of the *Elephantidae*. *Trans Am Phil Soc* 63: 1-149
- Marsh H, Channells PW, Heinsohn GE, Morrissey J (1982) Analysis of stomach contents of dugongs from Queensland. *Aust Wildl Res* 9: 55-67
- Marsh H, Beck CA, Vargo T (1999) Comparison of the capabilities of dugongs and West Indian manatees to masticate seagrasses. *Mar Mammal Sci* 15: 250-255
- Marshall CD, Meada H, Iwata M, Asano S, Rosas F, Reep RL (2003) Orofacial morphology and feeding behaviour of the dugong, Amazonian, West African and Antillean manatees (Mammalia Sirenia): functional morphology of the muscular-vibrissal complex. *J Zool (Lond)* 259: 245-260
- Martin Jurado O, Clauss M, Hatt J-M (2006) Irregular tooth wear in captive wild ruminants: a pilot survey of necropsy reports. *Proc EAZWV*, S. 277-278
- Martz FA, Belyea RL (1986) Role of particle size and forage quality in digestion and passage by cattle and sheep. *J Dairy Sci* 69: 1996-2008
- May TA, Braun CE (1973) Gizzard stones in adult White-tailed Ptarmigan (*Lagopus leucurus*) in Colorado. *Arct Alp Res* 5: 49-57
- McArthur S, McLellan L, Brown S (2004) Gastrointestinal system. In: Girling SJ, Raiti P (Hrsg.) *BSAVA Manual of reptiles*. BSAVA, Waterwells, 2. Auflage, S. 210-230
- McBee RH, McBee VH (1982) The hindgut fermentation in the green iguana, *Iguana iguana*. In: Burghardt GM, Rand AS (Hrsg.) *Iguanas of the World*. Noyes Publications, Park Ridge, New Jersey, S. 77-83
- McLellan J (1989) Anatomy of the avian cecum. *J Exp Zool [Suppl]* 3: 2-9
- McLeod MN, Minson DJ (1969) Sources of variation in the *in vitro* digestibility of tropical grasses. *Grass Forage Sci* 24: 244-249
- McLeod MN, Minson DJ (1988a) Large particle breakdown by cattle eating ryegrass and alfalfa. *J Anim Sci* 66: 992-999

- McLeod MN, Minson DJ (1988b) Breakdown of large particles in forage by simulated digestion and detrition. *J Anim Sci* 66: 1000-1004
- McNaughton SJ, Tarrant JL, MacNaughton MM, Davis RH (1985) Silica as a defense against herbivory and a growth promotor in African grasses. *Ecology* 66: 528-535
- McSweeney CS, Kennedy PM (1992) Influence of dietary particle size on chewing activity and reticulo-ruminal motility in goats and sheep fed wheaten (*Triticum aestivum*) hay. *Small Rumin Res* 9: 107-115
- Mendes A, Nogueira SSdaC, Lavorenti A, Nogueira-Filho SLG (2000) A note on the cecotrophy behaviour in capybara (*Hydrochaeris hydrochaeris*). *Appl Anim Behav Sci* 66: 1661-167
- Mendoza M, Janis CM, Palmqvist P (2002) Characterizing complex craniodental patterns related to feeding behaviour in ungulates: a multivariate approach. *J Zool (Lond)* 258: 223-246
- Meyer K (1955) Coprophagy in the European rabbit, *Oryctolagus cuniculus*, in Australia. *Aust J Zool* 3: 336-345
- Meyer H, Coenen M, Teleb H, Probst D (1986) Beiträge zur Verdauungsphysiologie des Pferdes. 15. Mitteilung. Untersuchungen über Futterzerkleinerung und Freisetzung von Futterinhaltsstoffen im Kopfdarm des Pferdes. *Z Tierphysiol Tierernähr Futtermittelkd* 56: 266-275
- Møller PD (2000) Besonderheiten der Verdauung bei Vögeln. In: Engelhardt W von, Breves G (Hrsg.) *Physiologie der Haustiere*. Enke im Hippokrates Verlag GmbH, Stuttgart, S. 405-409
- Mones A, Ojasti J (1986) *Hydrochoerus hydrochaeris*. *Mamm Spec* 264: 1-7
- Moodie RL (1912) The "stomach stones" of reptiles. *Science* 35: 377-378
- Moore SJ (1998a) The gizzard morphology of an avian herbivore: the domestic goose, *Anser anser*. *Aust J Zool* 46: 345-357
- Moore SJ (1998b) The comparative functional gizzard morphology of several species of birds. *Aust J Zool* 46: 359-368
- Moore SJ (1998c) Use of an artificial gizzard to investigate the effect of grit on the breakdown of grass. *J Zool (Lond)* 246: 119-124
- Moore SJ (1999) Food breakdown in an avian herbivore: who needs teeth? *Aust J Zool* 47: 625-632
- Moore SJ, Lill CA, Sanson GD (1998) Functional morphology of the gizzard of the domestic goose: design of an artificial gizzard. *J Zool (Lond)* 246: 111-117
- Moseley G (1984) The analysis and description of particle size distribution of digesta. In: Kennedy PM (Hrsg.) *Techniques in particle size analysis of feed and digesta in ruminants*. Can Soc Anim Sci, Edmonton, Canada, S. 22-38
- Moseley G, Jones JR (1984) The physical digestion of perennial ryegrass (*Lolium perenne*) and white clover (*Trifolium repens*) in the foregut of sheep. *Br J Nutr* 52: 381-390
- Mtengeti EJ, Wilman D, Moseley G (1995) Physical structure of white clover, rape, spurrey and perennial ryegrass in relation to rate of intake by sheep, chewing activity and particle breakdown. *J Agric Sci* 125: 43-50
- Mtengeti EJ, Wilman D, Moseley G (1996) Differences between twelve forage species in physical breakdown when eaten. *J Agric Sci* 126: 287-293
- Murphy MR, Nicoletti JM (1984) Potential reduction of forage and rumen digesta particle size by microbial action. *J Dairy Sci* 67: 1221-1226

- Murphy MR, Zhu JS (1997) A comparison of methods to analyze particle size as applied to alfalfa haylage, corn silage, and concentrate mix. *J Dairy Sci* 80: 2932-2938
- Myers P (1997) Tooth replacement. Aus: Myers P, Espinosa R, Parr CS, Jones T, Hammond GS, Dewey TA. The Animal Diversity Web (<http://animaldiversity.org>)
http://animaldiversity.ummz.umich.edu/site/topics/mammal_anatomy/tooth_diversity.html
- Myers P (2001) The diversity of cheek teeth. Aus: Myers P, Espinosa R, Parr CS, Jones T, Hammond GS, Dewey TA. The Animal Diversity Web (<http://animaldiversity.org>)
http://animaldiversity.ummz.umich.edu/site/topics/mammal_anatomy/tooth_diversity.html
- Mysterud A, Yoccoz NG, Stenseth NC, Langvatn R (2001) Effects of age, sex and density on body weight of Norwegian red deer: evidence of density-dependent senescence. *Proc Roy Soc Lond B* 268: 991-919
- Nelson ML (1988) Factors affecting the particle size distribution of grazed forage due to ingestive mastication by steers and wethers. *J Anim Sci* 66: 1256-1266
- Nocek JE, Kohn RA (1988) In situ particle size reduction of alfalfa and timothy hay as influenced by form and particle size. *J Dairy Sci* 71: 932-945
- Nørgaard P, Husted S, Ranvig H (2004) Effect of supplementation with whole wheat or whole oat grains on the dimensions of feces particles from lambs. *J Anim Feed Sci* 13: 175-178
- Norman DB, Weishampel DB (1985) Ornithopod feeding mechanism: their bearing on the evolution of herbivory. *Am Nat* 126: 151-164
- Norris E, Norris C, Steen JB (1975) Regulation and grinding ability of grit in the gizzard of Norwegian willow ptarmigan (*Lagopus lagopus*). *Poult Sci* 54: 1839-1843
- Novak RM (2005) Walker's marsupials of the world. Johns Hopkins University Press, Baltimore
- Novoa FF, Veloso C, López-Calleja MV (1996) Seasonal changes in diet, digestive morphology and digestive efficiency in the rufous-collared sparrow (*Zonotrichia capensis*) in Central Chile. *Condor* 98: 873-876
- Nutsch W (2000) Allgemeine Botanik. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 11. Auflage
- Nygren K, Hofmann RR (1990) Seasonal variation of food particle size in moose. *Alces* 26: 44-50
- Nygren KFA, Lechner-Doll M, Hofmann RR (2001) Influence of papillae on post-ruminal regulation of ingesta passage in moose (*Alces alces* L.). *J Zool (Lond)* 254: 375-380
- Obst FJ (1985) Die Welt der Schildkröten. Albert Müller Verlag, Rüslikon-Zürich
- Ojasti J (1973) Estudio biológico del chigüire o capibara. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Caracas
- Okamoto M (1997a) Comparison of particle size in the feces of various herbivores. *J Rakuno Gakuen Univ* 22: 151-153
- Okamoto M (1997b) Comparative digestibility in several artificially fed herbivores. *J Rakuno Gakuen Univ* 22: 155-157
- Olivier R, Laurie W (1974) Habitat utilization by hippopotamus in the Mara River. *E Afr Wildl J* 12: 249-271
- Ostrom JH (1963) Further comments on herbivorous lizards. *Evolution* 17: 368-369
- Owen-Smith N (1988) Megaherbivores: the influence of very large body size on ecology. Cambridge University Press, Cambridge

- Pagliosa GM, Alves GES, Faleiros RR, Saliba EOS, Sampaio IBM, Gomes TLS, Gobesso AAO, Fantini P (2006) Influência das pontas excessivas de esmalte dentário na digestibilidade e nutrientes de dietas de equinos. *Arq Bras Med Vet Zootec* 58: 94-98
- Palamara J, Phakey PP, Rachinger WA, Sandon GD, Orams HJ (1984) On the nature of the opaque and translucent enamel regions of some Macropodinae (*Macropus giganteus*, *Wallabia bicolor* and *Peradorcas concinna*). *Cell Tiss Res* 238: 329-337
- Palmqvist P, Groecke DR, Arribas A, Farina RA (2003) Paleoecological reconstruction of a lower Pleistocene large mammal community using biogeochemical ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$, Sr:Zn) and ecomorphological approaches. *Paleobiology* 29: 205-229
- Paloheimo L, Syrjälä L, Vainio KA (1968) Studies on the feces. *Maataloustieteellinen Aikakauskirja* 40: 237-246
- Parra R (1978) Comparison of foregut and hindgut fermentation in herbivores. In: Montgomery, GG (Hrsg.) *The ecology of arboreal folivores*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C., S. 205-230
- Parker DS (1976) The measurement of production rates of volatile fatty acids in the caecum of the conscious rabbit. *Br J Nutr* 36: 61-70
- Parsons TS, Cameron JE (1977) Internal relief of the digestive tract. In: Gans CG, Parsons TS (Hrsg.) *Biology of the Reptilia*, Band 6, Morphology E. Academic Press, London, S. 159-224
- Pearce GR (1967) Changes in particle size in the reticulorumen of sheep. *Aust J Agric Res* 18: 119-125
- Pearce GR, Moir RJ (1964) Rumination in sheep. 1. The influence of rumination and grinding upon the passage and digestion of food. *Aust J Agric Res* 15: 635-644
- Pendergast BA, Boag DA (1973) Seasonal changes in the internal anatomy of spruce grouse in Alberta. *Auk* 90: 307-317
- Perez-Barberia FJ, Gordon IJ (1998a) Factors affecting food comminution during chewing in ruminants: a review. *Biol J Linn Soc Lond* 63: 233-256
- Perez-Barberia FJ, Gordon IJ (1998b) The influence of molar occlusal surface area on the voluntary intake, digestion, chewing and diet selection of red deer (*Cervus elaphus*). *J Zool (Lond)* 245: 307-316
- Perez-Barberia FJ, Gordon IJ (2001) Relationships between oral morphology and feeding style in the Ungulata: a phylogenetically controlled evaluation. *Proc R Soc Lond B* 268: 1023-1032
- Perrins C (2004) *Vögel der Welt*. BLV Verlagsgesellschaft GmbH, München
- Pilbeam D, Gould SJ (1974) Size and scaling in human evolution. *Science* 168: 892-901
- Piersma T, Koolhaas A, Dekinga A (1993) Interactions between stomach structure and diet choice in shorebirds. *Auk* 110: 552-564
- Polster C (2004) *Untersuchungen zur Fütterung und Verdauungsphysiologie am Indischen Panzernashorn (Rhinoceros unicornis)*. Shaker Verlag, Aachen
- Pond KR, Ellis WC, Akin DE (1984a) Ingestive mastication and fragmentation of forages. *J Anim Sci* 58: 1567-1574
- Pond KR, Tolley EA, Ellis WC, Matis JH (1984b) A method for describing the weight distribution of particles from sieved forage. In: Kennedy PM (Hrsg.) *Techniques in particle size analysis of feed and digesta in ruminants*. Can Soc Anim Sci, Edmonton, Canada, S. 123-133

- Pond KR, Burns JC, Tate LP (1985) Particle size distribution from masticated switchgrass of different maturities. *J Anim Sci* 61 [Suppl]: 350
- Popowics TE, Fortelius M (1997) On the cutting edge: tooth blade sharpness in herbivorous and faunivorous mammals. *Ann Zool Fenn* 34: 73-88
- Poppi DP, Norton BW, Minson DJ, Hendricksen RE (1980) The validity of the critical size theory for particles leaving the rumen. *J Agric Sci (Camb)* 94: 275-280
- Poppi DP, Minson DJ, Ternouth JH (1981) Studies of cattle and sheep eating leaf and stem fractions of grasses. III. The retention time in the rumen of large feed particles. *Aust J Agric Res* 32: 123-137
- Porter KR (1972) *Herpetology*. Saunders, Philadelphia, S. 154-159
- Potter MA, Lentle RG, Minson CJ, Birtles MJ, Thomas D, Hendriks WH (2006) Gastrointestinal tract of the brown kiwi (*Apteryx mantelli*). *J Zool (Lond)* 270: 429-436
- Pough FH (1973) Lizard energetics and diet. *Ecology* 54: 837-844
- Prothero DR, Schoch RM (1989) *The evolution of perissodactyls*. Oxford University Press, New York
- Prothero DR, Sereno PC (1982) Allometry and paleoecology of Medial Miocene dwarf rhinoceroses from the Texas Gulf Coastal Plain. *Paleobiol* 8: 16-30
- Radinsky LB (1969) The early evolution of the Perissodactyla. *Evolution* 23: 308-328
- Ralston SL, Foster DL, Divers T, Hintz HF (2001) Effect of dental correction on feed digestibility in horses. *Equine Vet J* 33: 390-393
- Rand AS, Dugan BA, Monteza H, Vianda D (1990) The diet of a generalized folivore: *Iguana iguana* in Panama. *J Herpetol* 24: 211-214
- Reichard TA, Ullrey DE, Robinson PT (1982) Nutritional implications of dental problems in elephants. *Proceedings of the Second Annual Dr. Scholl Nutrition Conference on the Nutrition of captive Wild Animals*, Chicago, S. 63-67
- Reid SCW, Ulyatt MJ, Monro JA (1977) The physical breakdown of feed during digestion in the rumen. *Proc N Z Soc Anim Prod* 37: 173-175
- Reilly SM, LD McBrayer, White TD (2001) Prey processing in amniotes: biomechanical and behavioral patterns of food reduction. *Comp Biochem Physiol A* 128: 397-415.
- Rendsberger JM (1973) An occlusal model for mastication and dental wear in herbivorous mammals. *J Paleont* 47: 515-528
- Rendsberger JM (1975) Function in the cheek tooth evolution of some hypsodont geomyoid rodents. *J Paleont* 49: 10-22
- Renecker LA, Hudson RJ (1990) Digestive kinetics of moose (*Alces alces*), wapiti (*Cervus elaphus*) and cattle. *Anim Prod* 50: 51-61
- Rhodin AGJ (1974) Pathological lithophagy in *Testudo horsfieldi*. *J Herpetol* 8: 385-386
- Rick CM, Bowman RI (1961) Galapagos Tomatoes and Tortoises. *Evolution* 15: 407-417
- Roberts MS, Gittleman JL (1984) *Ailurus fulgens*. *Mamm Species* 222: 1-8
- Robles AY, Belyea RL, Martz FA, Weiss MF (1980) Effect of particle size upon digestible cell wall and rate of in vitro digestion of Alfalfa and orchardgrass forages. *J Anim Sci* 51: 783-790

- Rosengarten A (2004) Untersuchungen zur kurzfristigen Ernährung von Kaninchen und Meerschweinchen über eine orogastrale Sonde bei Variation der Zusammensetzung (Komponenten, Nährstoffgehalt und Energiedichte) des applizierten Futters. Diss med vet, TiHo Hannover
- Sakaguchi E (2003) Digestive strategies of small hindgut fermenters. *Anim Sci J* 74: 327-337
- Sanson (1978) The evolution and significance of mastication in the Macropodidae. *Aust Mammal* 2: 23-28
- Sanson GD (1980) The morphology and occlusion of the molariform cheek teeth in some Macropodinae (Marsupialia : Macropodidae). *Aust J Zool* 28: 341-365
- Sanson GD (1989) Morphological adaptations of teeth to diets and feeding in the Macropodoidea. In: Grigg G, Jarman P, Hume I (Hrsg.) Kangaroos, wallabies and rat-kangaroos. Surrey Beatty & Sons Pty Limited, New South Wales, Australia, S. 151-168
- Sanson GD (2006) The biomechanics of browsing and grazing. *Am J Bot* 93: 1531-1545
- Sanson GD, Miller WA (1979) Mechanism of molar progression in macropods. *Anat Rec* 193: 674
- Savage JM (2002) Die Systematik der Reptilien und Amphibien. In: Cogger HG, Zweifel RG (Hrsg.) Reptilien und Amphibien. Orbis Verlag, München, S. 19-24
- Schaub D (2004) Der Einfluss von Futterrationen mit unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften auf Futteraufnahme, Verhalten und weitere verdauungsphysiologische Parameter bei Giraffen (*Giraffa camelopardalis*). Diss med vet, Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich
- Schummer A, Habermehl K-H (1995) Verdauungsapparat. In: Habermehl K-H, Vollmerhaus B, Wilkens H (Hrsg.) Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band 2 Eingeweide. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, 7. Auflage, S. 19-213
- Schwarm A (2004) Verdauungskoeffizienten und Retentionszeiten bei Hippopotamidae in Menschenobhut. Diplomarbeit im Fachbereich Biologie, Chemie und Pharmazie, FU Berlin
- Schwarm A, Ortmann S, Kühne R, Caspers B, Kelm D, Clauss M (2005) Comparative analysis of physical and chemical characteristics of faeces from free-ranging and captive collared peccaries (*Tayassu tajacu*). Proc 9th ESVCN Congress, Grugliasco (TO), S. 102
- Schwarm A, Ortmann S, Hofer H, Streich WJ, Flach EJ, Kühne R, Hummel J, Castell JC, Clauss M (2006) Digestion studies in captive Hippopotamidae: a group of large ungulates with an unusually low metabolic rate. *J Anim Physiol Anim Nutr* 90: 300-308
- Scotcher J, Stewart D, Breen C (1978) The diet of the hippopotamus in Ndumu Game Reserve, Natal, as determined by faecal analysis. *S Afr J Wildl Res* 8: 1-11
- Seitz A (1967) Einige Feststellungen zur Lebensdauer der Elefanten in Zoologischen Gärten. *D Zool Garten (NF)* 30: 185
- Semiadi G, Barry TN, Stafford KJ, Muir PD, Reid CSW (1994) Comparison of digestive and chewing efficiency and time spent eating and ruminating in sambar deer (*Cervus unicolor*) and red deer (*Cervus elaphus*). *J Agric Sci* 123: 89-97
- Shaver RD, Nytes AJ, Satter LD, Jorgensen NA (1988) Influence of feed intake, forage physical form, and forage fiber content on particle size of masticated forage, ruminal digesta, and feces of dairy cows. *J Dairy Sci* 71: 1566-1572
- Sheine WS, Kay RF (1982) A model for comparison of masticatory effectiveness in primates. *J Morph* 172: 139-149
- Sheldon WG (1937) Notes on the giant panda. *J Mammal* 18: 13-19

- Shibley LA, Gross JE, Spalinger DE, Hobbs NT, Wunder BA (1994) The scaling of intake rate in mammalian herbivores. *Am Nat* 143: 1055-1082
- Short HL, Blair RM, Segelquist CA (1974) Fiber composition and forage digestibility by small ruminants. *J Wildl Manage* 38: 197-209
- Sibly RM, Calow P (1986) *Physiological ecology of animals: an evolutionary approach*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, S. 121
- Skadhauge E, Warui CN, Kamau JMZ, Maloiy GMO (1984) Function of the lower intestine and osmoregulation in the ostrich: preliminary anatomical and physiological observations. *Q J Exp Physiol* 69: 809-818
- Skoczylas R (1978) Physiology of the digestive tract. In: Gans C, Gans KA (Hrsg.) *Biology of the Reptilia*. Band 8 Physiology B. Academic Press Inc, London, S. 589-719
- Skogland T (1988) Tooth wear by food limitation and its life history consequences in wild reindeer. *Oikos* 51: 238-342
- Skorepa AC (1966) The deliberate consumption of stones by the ornate box turtle, *Terrapene o. ornata Agassiz*. *J Ohio Herp Soc* 5: 108
- Smith LW, Waldo DR, Moore LA (1965) Particle size separation of cell wall constituents. *J Anim Sci* 24:903
- Smith LW, Weinland BT, Waldo DR, Leffel EC (1983) Rate of plant cell wall particle size reduction in the rumen. *J Dairy Sci* 66: 2124-2136
- Smuts DB (1935) The relation between the basal metabolism and the endogenous nitrogen metabolism, with particular reference to the estimation of the maintenance requirement of protein. *J Nutr* 9: 403-433
- Soave O, Brand CD (1991) Coprophagy in animals: a review. *Cornell Vet* 81: 357-364
- Sokol OM (1967) Herbivory in Lizards. *Evolution* 21: 192-194
- Sokol OM (1971) Lithophagy and geophagy in reptiles. *J Herpetol* 5: 69-71
- Solounias, N (1982) Evolutionary patterns of the Bovidae (*Mammalia*). Third N Am Paleontol Conv, Proc 2: 495-499
- Solounias N, Dawson-Saunders B (1988) Dietary adaptations and palaeoecology of the late Miocene ruminants from Pikermi and Samos in Greece. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 65: 149-172
- Solounias N, Semprebon G (2002) Advances in the reconstruction of ungulate ecomorphology with application to early fossil equids. *Am Mus Novit* 3366: 1-49
- Spalinger DE, Robbins CT (1992) The dynamics of particle flow in the rumen of mule deer (*Odocoileus hemionus hemionus*) and elk (*Cervus elaphus nelsoni*). *Physiol Zool* 65: 379-402
- Spalinger DE, Robbins CT, Hanley TA (1986) The assessment of handling time in ruminants: the effect of plant chemical and physical structure on the rate of breakdown of plant particles in the rumen of mule deer and elk. *Can J Zool* 64: 312-321
- Spencer LM (1995) Morphological correlates of dietary resource partitioning in the African Bovidae. *J Mammal* 76: 448-471
- Stevens CE, Hume ID (1995) *Comparative physiology of the vertebrate digestive system*. Cambridge University Press, Cambridge, 2. Auflage
- Stevens CE, Hume ID (1998) Contributions of microbes in vertebrate gastrointestinal tract to production and conservation of nutrients. *Physiol Rev* 78: 393-427

- Sturkie PD (1995) Avian Physiology. Ballière, Tindall & Cassell, London, 2. Auflage, S. 292.
- Swart D, Mackie RI, Hayes JP (1993) Influence of live mass, passage rate and site of digestion on energy metabolism and fiber digestion in the ostrich (*Struthio camelus* var. *domesticus*). S Afr J Anim Sci 23: 119-126
- Taggart RE, Cross AT (1997) The relationship between land plant diversity and productivity and patterns of dinosaur herbivory. In: Wolberg DL, Stump E, Rosenberg G (Hrsg.) Dinofest International: Proceedings of a Symposium held at Arizona State University. National Academy of Natural Sciences, Philadelphia, S. 403-416.
- Takahashi T, Sakaguchi E (1998) Behaviors and nutritional importance of coprophagy in captive adult and young nutrias (*Myocastor coypus*). J Comp Physiol B 168: 281-288
- Takahashi T, Sakaguchi E (2000) Role of the furrow of the proximal colon in the production of soft and hard feces in nutrias, *Myocastor coypus*. J Comp Physiol B 170: 531-535
- Taylor MA (1993) Stomach stones for feeding or buoyancy? The occurrence and function of gastroliths in marine tetrapods. Phil Trans R Soc Lond B 341: 163-175
- Thomas S, Campling RC (1977) Comparisons of some factors affecting digestibility in sheep and cows. Grass Forage Sci 32: 33-41
- Throckmorton GS (1976) Oral food processing in two herbivorous lizards, *Iguana iguana* (Iguanidae) and *Uromastix aegyptius* (Agamidae). J Morphol 148: 363-390
- Titus HW (1955) The scientific feeding of chickens. The Interstate Press, Danville, 3. Auflage
- Troelsen JE, Campbell JB (1968) Voluntary consumption of forage by sheep and its relation to the size and shape of particles in the digestive tract. Anim Prod 10: 289-296
- Trost RE (1981) Dynamics of grit selection and retention in captive mallards. J Wildl Manage 45: 64-73
- Troyer K (1982) Transfer of fermentative microbes between generations in a herbivorous lizard. Science 216: 540-542
- Troyer K (1984a) Diet selection and digestion in *Iguana iguana*: the importance of age and nutrient requirements. Oecologia 61: 201-207
- Troyer K (1984b) Structure and function of the digestive tract of a herbivorous lizard *Iguana iguana*. Physiol Zool 57: 1-8
- Turnbull WD (1970) Mammalian masticatory apparatus. Fieldiana 18:147-356
- Uden P (1978) Comparative studies on rate of passage, particle size, and rate of digestion in ruminants, equines, rabbits, and man. PhD diss, Cornell University, Ithaca, New York
- Uden P (1988) The effect of grinding and pelleting hay on digestibility, fermentation rate, digesta passage and rumen and fecal particle size in cows. Anim Feed Sci Technol 19: 145-157
- Uden P, Van Soest PJ (1982a) The determination of digesta particle size in some herbivores. Anim Feed Sci Technol 7: 35-44
- Uden P, Van Soest PJ (1982b) Comparative digestion of timothy (*Phleum pratense*) fibre by ruminants, equines and rabbits. Br J Nutr 47: 267-272
- Ulyatt MJ, Reid CSW, Carr DH (1982) Effects of chewing during eating on particle size reduction and subsequent fermentation in sheep. Proc N Z Soc Anim Prod 42: 159

- Upchurch P, Barrett PM (2000) The evolution of sauropod feeding mechanisms. In: Sues HD (Hrsg.) Evolution of herbivory in terrestrial vertebrates. Perspectives from the fossil record. Cambridge Univ Press, Cambridge, S. 79-122.
- Vaage AS, Shelford JA, Moseley G (1984) Theoretical basis for the measurement of particle length when sieving elongated particles. In: Kennedy PM (Hrsg.) Techniques in particle size analysis of feed and digesta in ruminants. Can Soc Anim Sci, Edmonton, Canada, S. 76-82
- Van Bruchem J, Bosch MW, Lammers-Wienhoven SCW, Bangma GA (1991) Intake, rumination, reticulo-rumen fluid and particle kinetics, and faecal particle size in heifers and cattle fed on grass hay and wilted grass silage. Livest Prod Sci 27: 297-308
- Van Dame R (1999) Evolution of herbivory in lacertid lizards: effects of insularity and body size. J Herpetol 33: 663-674
- Van der Graaf AJ, Coehoorn P, Stahl J (2006) Sward height and bite size affect the functional response of barnacle geese *Branta leucopsis*. J Ornithol 147: 479-484
- Van Soest PJ (1967) Development of a comprehensive system of feed analysis and its application to forages. J Anim Sci 26: 119-128
- Van Soest PJ (1994) Nutritional ecology of the ruminant. Cornell University Press, Ithaca, 2. Auflage
- Van Valen L (1960) A functional index of hypsodonty. Evolution 14: 531-532
- Verbeek NAM (1993) The use of grit in pipits, especially the american pipit. J Field Ornithol 65: 498-503
- Vincent JFV (1982) The mechanical design of grass. J Mater Sci 17: 856-860
- Vincent JFV (1983) The influence of water-content on the stiffness and fracture properties of grass leaves. Grass Forage Sci 38: 107-114
- Vispo C, Hume ID (1995) The digestive tract and digestive function in the North American porcupine and beaver. Can J Zool 73: 967-974
- Vollmerhaus B, Sinowatz F (1992) Verdauungsapparat. In: Vollmerhaus B, Sinowatz F, Frewein J, Waibl H (Hrsg.) Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band 5 Vögel. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, 2. Auflage, S. 176-223
- Wafa NSY (1988) A study of dental disease in the horse. MVM thesis. National University of Ireland, Dublin
- Waldo DR, Smith LW, Cox EL, Weinland BT, Lucas HL (1971) Logarithmic normal distribution for description of sieved forage materials. J Dairy Sci 54: 1465-1469
- Warner ACI (1981) Rate of passage through the gut of mammals and birds. Nutr Abstr Rev 51B: 789-820
- Wei F, Feng Z, Wang Z, Zhou A, Hu J (1999) Use of nutrients in bamboo by the red panda (*Ailurus fulgens*). J Zool (Lond) 248: 535-541
- Weijjs WA, Dantuma R (1975) Electromyography and mechanics of mastication in the albino rat. J Morph 146: 1-34
- Weishampel DB, Norman DB (1989) Vertebrate herbivory in the Mesozoic; jaws, plants, and evolutionary metrics. In: Farlow JO (Hrsg.) Paleobiology of the dinosaurs. Geological Society of America Special Paper 238, Boulder, S. 87-100
- Welch JG (1982) Rumination, particle size and passage from the rumen. J Anim Sci 54: 885-894

- Williams SH, Kay RF (2001) A comparative test of adaptive explanations for hypsodonty in ungulates and rodents. *J Mammal Evol* 8: 207-229
- Wilman D, Mtengeti EJ, Moseley G (1996) Physical structure of twelve forage species in relation to rate of intake by sheep. *J Agric Sci* 126: 277-285
- Wilman D, Rezvani Moghaddam P (1998) Volume, surface area and cellular composition of chewed particles of plant parts of eight forage species and estimated degradation of cell wall. *J Agric Sci* 131: 69-77
- Wilman D, Yilun JI, Mtengeti EJ, Ahmad N (1999) In vitro digestibility, breakdown when eaten and physical structure of stovers and straws compared with lucerne hay and sweet potatoe haulm. *J Agric Sci* 132: 491-498
- Wilson JR, McLeod MN, Minson DJ (1989a) Particle size reduction of the leaves of a tropical and a temperate grass by cattle. I. Effect of chewing during eating and varying times of digestion. *Grass Forage Sci* 44: 55-63
- Wilson JR, Akin DE, McLeod MN, Minson DJ (1989b) Particle size reduction of the leaves of a tropical and a temperate grass by cattle. II. Relation of anatomical structure to the process of leaf breakdown through chewing and digestion. *Grass Forage Sci* 44: 65-75
- Wing SL, Suess HD, Tiffney BH, Stucky RK, Weishampel DB, Spicer RA, Jablonski D, Badgley CE, Wilson MVK, Kovach WL (1992) Mesozoic and early Cenozoic terrestrial ecosystems. In: Behrensmeyer AK, Damuth JD, DiMichele WA, Potts R, Sues HD, Wing SL (Hrsg.) *Terrestrial ecosystems through time: evolutionary paleoecology of plants and animals*. University of Chicago Press, Chicago, S. 327-416
- Wings O (2004) Identification, distribution, and function of gastroliths in dinosaurs and extant birds with emphasis on ostriches (*Struthio camelus*). Diss rer nat, Universität Bonn
- Wings O, Sander PM (2007) No gastric mill in sauropod dinosaurs: new evidence from analysis of gastrolith mass and function in ostriches. *Proc Roy Soc Lond B* 274: 635-640
- Wolin MJ (1981) Fermentation in the rumen and human large intestine. *Science* 213: 1463-1468
- Wolters HE (1982) *Die Vogelarten der Erde*. Verlag Paul Parey, Hamburg
- Wright W, Illius AW (1995) A comparative study of the fracture properties of five grasses. *Funct Ecol* 9: 269-278
- Yamashita N (1998) Functional dental correlates of food properties in five malagasy lemur species. *Am J Phys Anthropol* 106: 169-188
- Zimmerman LC, Tracy CR (1989) Interactions between the environment and ectothermy and herbivory in reptiles. *Physiol Zool* 62: 374-409
- Zumbrock B (2002) Untersuchungen zu möglichen Einflüssen der Rasse auf die Futteraufnahme und -verdaulichkeit, Größe und Füllung des Magen-Darm-Traktes sowie zur Chymusqualität bei Kaninchen (Deutsche Riesen, Neuseeländer und Zwergkaninchen). Diss med vet, TiHo Hannover

8 Tabellenanhang

Tab. A: Speziesmittelwerte der Körpermasse, des Kot-TS-Gehalts, des Anteils nicht auf den Sieben retinierter TS, der durchschnittlichen Kotpartikelgrößen

Verwendete Siebgrößen bei 6 Sieben: 0,125 mm, 0,25 mm, 0,5mm, 1 mm, 2 mm, 4 mm

bei 9 Sieben: 0,063 mm, 0,125 mm, 0,25 mm, 0,5mm, 1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm, 16 mm

* **K**=Kot, **FW**=Freie Wildbahn, **M**=Mageninhalt, **C**=Caecuminhalt, **H**=reine Heufütterung, **HP**=Fütterung von Heu und Pellets, **LH**=Luzerneheu, **GH**=Grasheu, **CK**=Blinddarmkot, **CA**=Caecumanfang, **CR**=Caecumrecessus, **CS**=Caecumsulcus, **CL**=Colon, **R**=Rektum, **CSP**=Caecumsepten, **ZF**=zerkleinertes Futter, **UZF**=unzerkleinertes Futter

Klasse MAMMALIA	*	KM (kg)	TS (%)	Anteil nicht retinierte TS (%)		WA (mm)	WAmox (mm)	MOF		Geometrischer Mittelwert (mm)		Geometrischer Median (mm)	
				6 Siebe	9 Siebe			6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe
U.K. Beutelsäuger (<i>Metatheria</i>)													
O. Beutelrattenartige (<i>Didelphimorphia</i>)													
F. Beutelratten (<i>Didelphidae</i>)													
<i>Monodelphis domestica</i>	K	0,1	82,6467	50,2385	41,2849	0,3001	0,3001	1,9763	2,6823	0,3096	0,3311	0,3459	0,2977
O. Diprotodontia													
F. Beutelbären (<i>Phascolarctidae</i>)													
<i>Phascolarctus cinereus</i>	K	6,19	59,8435	47,3538	39,4229	0,297	0,297	1,9176	2,6665	0,2684	0,2934	0,3092	0,2735
F. Plumpbeutler (<i>Vombatidae</i>)													
<i>Vombatus ursinus</i>	K	40	34,9776	56,8391	51,1024	0,415	0,415	2,299	3,0341	0,4195	0,4316	0,4186	0,3679
	FW	40	54,2496	49,7114	38,0472	0,2769	0,2769	1,7408	2,4089	0,2005	0,2218	0,2632	0,2215
F. Rattenkängurus (<i>Potoroidae</i>)													
<i>Bettongia penicillata</i>	K	1,25	60,4623	70,8516	61,3076	0,4773	0,4773	2,2226	2,7749	0,5253	0,4918	0,4211	0,3837
F. Eigentliche Kängurus (<i>Macropodidae</i>)													
<i>Wallabia bicolor</i>	K	15	25,1589	58,1858	49,6557	0,5489	0,5489	2,575	3,1402	0,5967	0,6456	0,525	0,4032
<i>Macropus agiles</i>	K	15	23,6052	36,0285	29,1062	0,6212	0,6212	2,6721	3,4172	0,7302	0,6299	0,5338	0,4912
<i>Macropus parma</i>	K	6	43,2248	44,0587	35,097	0,3517	0,3517	1,9208	2,6574	0,257	0,2825	0,3018	0,2647
<i>Macropus rufogriseus rufogriseus</i>	K	16,5	29,7577	46,9552	40,2158	0,7116	0,7116	2,8899	3,5709	0,8935	0,8306	0,6495	0,5306
<i>Macropus rufus</i>	K	62,5	38,9705	27,4718	19,1872	1,0418	1,045	3,1119	3,8071	1,2745	1,441	0,6892	0,5925
<i>Macropus fuliginosus</i>	K	50	61,0242	52,8866	49,0301	0,813	0,813	3,0669	3,8348	0,9027	0,888	0,7427	0,6699

Fortsetzung Tab. A: Speziesmittelwerte der Körpermasse, des Kot-TS-Gehalts, des Anteils nicht auf den Sieben retinierter TS, der durchschnittlichen Kotpartikelgrößen

*	KM (kg)	TS (%)	Anteil nicht retinierte TS (%)		WA (mm)	WAm _{max} (mm)	MOF		Geometrischer Mittelwert (mm)		Geometrischer Median (mm)	
			6 Siebe	9 Siebe			6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe
<i>Macropus giganteus</i>	K 60	36,3041	51,0133	42,5357	0,5825	0,5825	2,4573	3,118	0,6619	0,5724	0,4755	0,4405
	FW 60	72,5627	42,5701	32,2868	0,3723	0,3723	2,1301	2,804	0,3519	0,3551	0,3674	0,3102
<i>Dendrolagus matschiei</i>	K 13	34,5671	47,7864	40,4535	0,6022	0,6022	2,5776	3,2774	0,7902	0,8813	0,5073	0,4018
U.K. Höhere Säugetiere (Eutheria)												
O. Primaten (Primates)												
U.O. Halbaffen (Prosimiae)												
F. Eigentliche Lemuren (Lemuridae)												
<i>Hapalemur griseus alaotrensis</i>	K 1,2	18,4716	62,0084	54,297	1,1106	1,1106	3,3134	3,7543	1,3616	1,6085	0,8809	0,6501
<i>Varecia variegata rubra</i>	K 4	17,7996	65,8704	58,3145	2,0471	2,3553	3,5881	4,0873	2,1139	2,387	1,0977	0,7739
<i>Lemur catta</i>	K 3,33	20,775	31,1693	28,3126	1,7253	1,8171	3,9242	4,8165	1,9137	2,2457	1,5658	1,4306
U.O. Affen (quide)												
T.O. Neuweltaffen (Platyrrhini)												
F. Kapuzinerartige (Cebidae)												
<i>Pithecia pithecia</i>	K 1,8	39,6508	83,2398	71,2314	0,3569	0,3569	2,1657	1,9744	0,3734	0,3805	0,3802	0,2898
<i>Alouatta palliata</i>	K 7	24,3928	62,7833	54,2631	2,8473	3,3424	3,7489	4,231	4,2799	3,1898	1,2182	0,669
<i>Lagothrix lagotricha</i>	K 7,5	27,1254	63,3254	59,0875	1,6087	1,9249	3,3668	4,1147	1,4689	2,3334	0,9341	0,7942
T.O. Altweltaffen (Catarrhini)												
F. Meerkatzenverwandte (Cercopithecidae)												
<i>Mandrillus sphinx</i>	K 27,5	22,3453	64,9452	60,0779	0,8693	0,8693	2,9723	3,6183	1,2757	1,2487	0,7007	0,5278
<i>Theropithecus gelada</i>	K 17,5	22,11	31,7818	26,9187	1,6881	1,7298	3,6265	4,4535	2,3431	2,2213	1,1493	1,019
<i>Macaca sylvanus</i>	K 24	33,4798	68,7082	62,5326	0,6349	0,6349	2,5647	3,142	0,7321	0,6875	0,4502	0,345
<i>Cercopithecus pygerythrus</i>	K 5,5	23,0049	68,4032	62,2051	0,4918	0,4918	2,2769	2,9035	0,5246	0,527	0,3656	0,2883
<i>Presbytis entellus</i>	K 20	21,8079	66,1127	60,2922	0,7285	0,7285	2,7316	3,3446	0,7557	0,8483	0,5458	0,4398
<i>Presbytis obscurus</i>	K 7	24,1059	68,5214	64,337	0,6072	0,6072	2,7605	3,4366	0,8022	0,7064	0,5791	0,4888
<i>Presbytis (Trachypithecus) cristata</i>	K 13,17	28,1957	74,8392	69,5353	0,7432	0,7832	2,622	3,1932	0,9121	0,7619	0,4729	0,3774
<i>Pygathrix (Pygathrix) nemaes</i>	K 9	23,3825	77,6515	73,3345	0,5461	0,5461	2,2835	2,9115	0,692	0,598	0,3471	0,2913
F. Kleine Menschenaffen (Hylobatidae)												
<i>Hylobates syndactylus</i>	K 12,5	19,9539	49,6563	44,1023	3,4019	4,1106	3,8251	4,7244	5,3762	4,786	1,7808	1,5676

Fortsetzung Tab. A: Speziesmittelwerte der Körpermasse, des Kot-TS-Gehalts, des Anteils nicht auf den Sieben retinierter TS, der durchschnittlichen Kotpartikelgrößen

	*	KM (kg)	TS (%)	Anteil nicht retinierte TS (%)		WA (mm)	WAm _{ax} (mm)	MOF		Geometrischer Mittelwert (mm)		Geometrischer Median (mm)	
				6 Siebe	9 Siebe			6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe
	K	5,5	23,1807	54,1194	50,5768	2,0175	2,0601	3,5904	4,4544	2,6485	2,5445	1,084	0,9618
	K	5,5	24,4698	76,7997	71,8434	1,0878	1,0878	2,9524	3,4661	1,4543	1,1224	0,609	0,4363
		F. Große Menschenaffen (Pongidae)											
	K	97,56	26,8562	54,8059	49,9639	2,7886	2,9559	3,9865	4,7624	3,5757	3,8956	1,7643	1,3424
	K	60	29,0427	59,9193	54,5546	1,8154	1,7385	3,6295	4,2884	2,4292	2,1422	1,3182	1,0658
	K	52,22	30,4957	64,8693	55,5825	1,7341	1,7661	3,4021	3,7577	2,887	1,9417	1,3082	0,5551
	K	39,12	24,3315	58,3625	53,8183	2,4236	2,5277	3,517	4,3358	2,8217	3,2068	1,1274	0,7911
		O. Nebengelenktiere (Xenartha)											
	K	10	54,0624	73,4825	64,6238	0,4414	0,4414	2,1544	2,5953	0,4726	0,419	0,3419	0,2387
		O. Nagetiere (Rodentia)											
		F. Hörnchen (Sciuridae)											
	K	5	50,7146	78,9664	73,9903	0,8137	0,8137	2,5555	3,0706	1,0513	0,95	0,3878	0,2634
	K	5	51,8062	69,8153	62,2767	0,2242	0,2242	1,559	2,2474	0,1501	0,1972	0,2283	0,1973
	K	0,45	71,3454	65,1151	55,1484	0,312	0,312	1,9727	2,5343	0,2941	0,2706	0,3233	0,2494
	K	0,55	59,642	58,9504	51,5375	0,3221	0,3221	1,9681	2,6671	0,2928	0,3195	0,3202	0,2708
	K	0,75	62,9963	59,2679	51,9139	0,5711	0,5711	2,4826	3,118	0,5029	0,568	0,4745	0,388
	K	1,15	82,0546	2,6178	-	1,4766	1,4766	4,1218	5,0139	0,7907	0,6726	0,4904	0,4679
		F. Biber (Castoridae)											
	FW	30	14,3904	11,1918	15,9474	2,6105	2,7872	3,5792	4,5616	2,887	3,1209	1,0351	0,9111
	K	30	19,2429	19,83	35,0579	1,906	1,906	4,1255	5,044	2,4945	2,5172	1,7947	1,7128
		F. Springhasen (Pedetidae)											
	K	3,5	94,8575	68,8012	55,1052	0,265	0,265	1,701	2,1821	0,2508	0,2109	0,2337	0,1812
		F. Springmäuse (Dipodidae)											
	K	0,055	93,6082	52,6813	39,7465	0,2611	0,2611	1,7502	2,3745	0,2095	0,2467	0,2671	0,212
		F. Echte Mäuse (Muridae)											
	K	0,02	92,3996	48,5022	29,8007	0,2491	0,2491	1,7332	2,2714	0,2085	0,2307	0,2677	0,197
	K	0,006	89,0362	47,1674	35,2582	0,2593	0,2593	1,7556	2,4331	0,238	0,2127	0,2877	0,2305
	K	0,04	85,1736	44,9926	34,3294	0,31	0,31	2,0307	2,701	0,308	0,3178	0,341	0,287
	K	0,045	90,4859	53,8088	45,8433	0,3758	0,3758	2,2498	2,8994	0,4119	0,3963	0,4094	0,3426

Fortsetzung Tab. A: Speziesmittelwerte der Körpermasse, des Kot-TS-Gehalts, des Anteils nicht auf den Sieben retinierter TS, der durchschnittlichen Kotpartikelgrößen

	*	KM (kg)	TS (%)	Anteil nicht retinierte TS (%)		WA (mm)	WAm _{max} (mm)	MOF		Geometrischer Mittelwert (mm)		Geometrischer Median (mm)	
				6 Siebe	9 Siebe			6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe
<i>Mastomys natalensis</i>	K	0,065	82,5238	47,7126	41,8711	0,364	0,364	2,2129	2,9905	0,382	0,4173	0,395	0,3551
<i>Arvicanthis niloticus</i>	K	0,1	84,3968	54,4195	48,6994	0,3431	0,3431	2,1086	2,8735	3,4698	0,369	2,5263	0,3219
F. Wühler (Cricetidae)													
U.F. Hamster (Cricetinae)													
<i>Cricetulus griseus</i>	K	0,04	87,4847	43,3713	33,8652	0,3017	0,3017	2,0226	2,7319	0,3046	0,3235	0,3406	0,2947
<i>Phodopus sungorus</i>	K	0,04	89,8616	55,3062	42,1922	0,3127	0,3127	1,989	2,4935	0,3074	0,287	0,3235	0,2398
<i>Phodopus roborovskii</i>	K	0,03	91,1708	53,8209	46,589	0,2948	0,2948	1,9779	2,6942	0,2911	0,2988	0,3298	0,2956
U.F. Madagaskar-Ratten (Nesomyinae)													
<i>Hypogeomys antimena</i>	K	1,35	67,9923	64,4627	58,9782	0,4499	0,4499	2,2831	2,9732	0,4323	0,5083	0,4129	0,3349
U.F. Wühlmäuse (Arvicolinae)													
<i>Microtus fortis</i>	K	0,045	89,854	96,058	93,3518	0,2112	0,2112	1,4973	1,8878	0,131	0,1485	0,2148	0,1436
<i>Microtus brandti</i>	K	0,045	75,7045	68,3711	43,4789	0,1971	0,1971	1,4279	1,7991	0,1164	0,136	0,2053	0,1353
U.F. Rennmäuse (Gerbillinae)													
<i>Meriones unguiculatus</i>	M	0,0459	32,2687	30,1913	33,3907	0,2856	0,2856	1,8905	2,5087	0,2777	0,267	0,3061	0,2585
	C	0,043	24,3249	31,6719	41,8806	0,2583	0,2583	1,7847	2,3684	0,2296	0,2447	0,283	0,2377
	K	0,0514	-	-	-	0,2651	0,2651	1,805	2,4392	0,253	0,2485	0,295	0,243
<i>Meriones meridianus</i>	M	0,049	47,0071	34,7666	45,1892	0,2894	0,2894	1,9448	2,6658	0,2783	0,3113	0,3219	0,2836
	C	0,0485	22,497	39,91	61,8083	0,2621	0,2621	1,8008	2,2703	0,2437	0,2165	0,2954	0,2103
	K	0,0902	-	-	-	0,2694	0,2694	1,8382	2,4261	0,2554	0,2526	0,3022	0,2387
<i>Gerbillus perpallidus</i>	K	0,04	89,9134	53,4059	43,2307	0,2951	0,2951	1,8973	2,5573	0,2615	0,2926	0,302	0,2455
<i>Skeetamys calurus</i>	K	0,06	92,1207	62,4115	50,0832	0,387	0,387	2,266	2,7063	0,4073	0,4063	0,4069	0,2716
U.F. Hamsterratten (Cricetomyinae)													
<i>Cricetomys emini</i>	K	1,25	88,2928	54,6167	44,831	0,3693	0,3693	2,1432	2,7631	0,3611	0,4132	0,3664	0,2783
F. Bilche oder Schläfer (Glirinae)													
<i>Graphiurus murinus</i>	K	0,025	88,1278	47,3287	39,9992	0,3963	0,3963	2,3241	3,0402	0,4441	0,436	0,4327	0,3795
F. Gundis (Ctenodactylidae)													
<i>Ctenodactyles gundi</i>	K	0,25	76,2162	52,0668	44,1655	0,2388	0,2388	1,6764	2,4391	0,1871	0,2347	0,2543	0,2289
F. Stachelschweine (Hystricidae)													
<i>Hystrix cristata</i>	K	20	74,279	54,045	44,6786	1,5979	1,6584	3,1405	3,6942	1,9895	1,9081	0,7207	0,5007

Fortsetzung Tab. A: Speziesmittelwerte der Körpermasse, des Kot-TS-Gehalts, des Anteils nicht auf den Sieben retinierter TS, der durchschnittlichen Kotpartikelgrößen

	*	KM (kg)	TS (%)	Anteil nicht retinierte TS (%)		WA (mm)	WAmx (mm)	MOF		Geometrischer Mittelwert (mm)		Geometrischer Median (mm)	
				6 Siebe	9 Siebe			6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe
	K	20	40,877	47,4628	41,9953	1,2388	1,2508	3,5095	4,207	1,3612	1,5601	1,0643	0,9133
<i>Hystrix africaeaustralis</i>	K	20	37,826	57,5071	51,8419	0,8804	0,8804	2,8841	3,5584	1,005	1,1098	0,6161	0,4848
<i>Hystrix indica</i>	K	1,75	45,7589	67,8772	57,7862	0,369	0,369	1,9153	2,4615	0,3483	0,3034	0,2724	0,2369
F. Felsenratten (Petromuridae)													
<i>Petromus typicus</i>	K	0,2	90,6749	52,6493	41,6165	0,2852	0,2852	1,8665	2,5138	0,2471	0,2809	0,2941	0,2369
F. Sandgräber (Bathyergidae)													
<i>Heterocephalus glaber</i>	K	0,052	85,2284	65,3362	59,7304	0,4866	0,4866	2,4454	3,1031	0,5468	0,5311	0,4598	0,3922
F. Hasenmäuse (Chinchillidae)													
<i>Lagostomus maximus</i>	M	3,5637	17,1287	46,4123	36,2528	0,3164	0,3164	1,8278	2,5161	0,2379	0,3335	0,2886	0,249
	C	3,5637	14,4138	38,3647	29,9698	0,2593	0,2593	1,7933	2,5636	0,225	0,2628	0,2835	0,2628
	K	3,5637	28,8411	31,4408	20,067	0,2683	0,2683	1,78	2,5315	0,2221	0,2785	0,2801	0,2547
	H	4,13	83,939	38,8112	25,2048	0,1932	0,1932	1,4713	2,2016	0,1375	0,1755	0,2204	0,1968
	HP	4,13	84,9391	42,8833	30,2681	0,2196	0,2196	1,6155	2,3212	0,1767	0,2031	0,248	0,2174
<i>Chinchilla chinchilla</i>	K	0,55	67,7975	67,5815	45,6119	0,221	0,221	1,5462	1,9238	0,1502	0,1541	0,2281	0,1525
F. Meerschweinchen (Caviidae)													
U.F. Eigentliche Meerschweinchen (Caviinae)													
<i>Cavia aperea f. porcellus</i>	K	0,783	44,0048	74,9427	53,3274	0,1815	0,1815	1,3483	1,7057	0,1228	0,1717	0,1855	0,1301
<i>Cavia aperea</i>	K	0,625	69,8864	67,1213	40,274	0,1732	0,1732	1,3278	1,7295	0,1099	0,1088	0,1875	0,1349
<i>Galea musteloides</i>	K	0,45	89,356	62,8927	31,8788	0,1738	0,1738	1,3448	1,7326	0,1051	0,1038	0,1978	0,1342
<i>Kerodon rupestris</i>	K	0,75	60,1255	64,4034	50,1373	0,1979	0,1979	1,4571	2,0402	0,2233	0,1603	0,2106	0,1704
U.F. Maras (Dolichotinae)													
<i>Dolichotis patagonum</i>	K	7,5	57,9649	39,3976	28,6676	0,2767	0,2767	1,8047	2,5358	0,2308	0,2734	0,2844	0,2478
F. Riesennager (Hydrochaeridae)													
<i>Hydrochaerus hydrochaeris</i>	H	40	23,5665	27,7009	18,3019	0,3788	0,3788	2,0899	2,8597	0,3868	0,4006	0,3518	0,3171
	HP	40	22,5681	20,9028	10,9509	0,2853	0,2853	1,9018	2,6895	0,2701	0,3146	0,3114	0,2859
F. Agutis (Dasyproctidae)													
<i>Dasyprocta</i>	K	3,25	64,4782	69,2049	65,5237	0,4854	0,4854	2,225	2,9874	0,5402	0,511	0,3168	0,3239
<i>Dasyprocta leporina</i>	K	3,25	47,7599	59,1203	51,642	0,4692	0,4692	2,3611	3,0669	0,5383	0,5436	0,4807	0,4383
<i>Dasyprocta azarae</i>	K	3	61,4319	69,3116	60,1859	0,6929	0,6929	2,6548	3,0463	0,9024	0,6975	0,5065	0,3342

Fortsetzung Tab. A: Speziesmittelwerte der Körpermasse, des Kot-TS-Gehalts, des Anteils nicht auf den Sieben retinierter TS, der durchschnittlichen Kotpartikelgrößen

*	KM (kg)	TS (%)	Anteil nicht retinierte TS (%)		WA (mm)	WAmx (mm)	MOF		Geometrischer Mittelwert (mm)		Geometrischer Median (mm)		
			6 Siebe	9 Siebe			6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe	
F. Trugratten (Octodontidae)													
<i>Octodon degus</i>	K	0,23	63,792	62,6223	49,5668	0,1978	0,1978	1,4872	2,1095	0,1441	0,1681	0,2235	0,1839
<i>Spalacopus cyanus</i>	K	0,09	88,8163	53,4704	40,2201	0,2394	0,2394	1,6771	2,3054	0,2852	0,2348	0,2481	0,2035
F. Baum- und Ferkelratten (Capromyidae)													
<i>Capromys pilorides</i>	K	5	86,4373	72,3499	50,9946	0,1838	0,1838	1,3603	1,7656	0,126	0,1178	0,1845	0,1362
F. Biberratten (Myocastoridae)													
<i>Myocastor coypus</i>	K	7,6	20,453	59,9401	53,8597	0,6568	0,6568	2,5931	3,2496	0,765	0,7622	0,4575	0,3844
O. Raubtiere (Carnivora)													
F. Katzenbären (Ailuridae)													
<i>Ailurus fulgens</i>	K	5	24,7985	25,1769	20,9981	0,834	0,8359	2,9422	3,8026	1,0317	1,0842	0,6494	0,6172
F. Bambusbären (Ailuropodidae)													
<i>Ailuropoda melanoleuca</i>	K	98,75	32,8098	12,7955	13,3235	5,7842	6,97	4,9846	6,4708	11,115	8,267	6,6701	7,0709
O. Hasentiere (Lagomorpha)													
F. Hasenartige (Leporidae)													
<i>Oryctolagus cuniculus f. domestica</i>	M	4	16,4842	44,4152	40,6896	0,3883	0,3883	2,3187	3,1743	0,4294	0,4605	0,4301	0,4108
	C	4	18,7598	74,4106	71,8853	0,3254	0,3254	2,0258	2,844	0,3128	0,344	0,3388	0,3121
	CK	4	23,485	69,6142	66,7739	0,3818	0,3818	2,2714	3,0755	0,4278	0,4459	0,4182	0,3805
	K	4	19,4474	64,4442	61,1839	0,3369	0,3369	2,1155	2,9381	0,3464	0,3785	0,3661	0,3382
<i>Lepus europaeus</i>	FW	4,5	37,6363	37,1076	30,4002	0,3139	0,3139	2,0202	2,8281	0,3134	0,3456	0,3429	0,3141
O. Rüsseltiere (Proboscidae)													
F. Elefanten (Elephantidae)													
<i>Loxodonta africana</i>	K	2733	21,5595	20,8204	17,7656	4,3008	5,4815	4,3346	5,4878	7,1172	6,1769	2,6182	2,4158
<i>Elephas maximus</i>	K	3184	22,4809	20,776	18,9474	4,6102	6,0229	4,3362	5,5628	7,8225	7,0855	3,035	2,7112
O. Seekühe (quide)													
F. Rundschnauz-Seekühe (Trichechidae)													
<i>Trichechus manatus</i>	K	696	22,0785	40,9838	33,1249	4,2338	4,6405	4,2405	5,0704	6,1346	3,7115	2,5238	1,6995
O. Schliefer (Hyracoidea)													
F. Schliefer i.e.S. (Procaviidae)													
<i>Procavia capensis</i>	K	3,075	28,4395	61,998	55,2514	1,3171	1,1811	2,8516	3,4829	1,4364	1,1772	0,5843	0,4667

Fortsetzung Tab. A: Speziesmittelwerte der Körpermasse, des Kot-TS-Gehalts, des Anteils nicht auf den Sieben retinierter TS, der durchschnittlichen Kotpartikelgrößen

*	KM (kg)	TS (%)	Anteil nicht retinierte TS (%)		WA (mm)	WAmx (mm)	MOF		Geometrischer Mittelwert (mm)		Geometrischer Median (mm)		
			6 Siebe	9 Siebe			6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe	
O. Unpaarhufer (<i>Perissodactyla</i>)													
F. Pferde (<i>Equide</i>)													
<i>Equus quagga boehmi</i>	K	275	21,4642	36,5108	30,1228	1,7382	1,7382	3,3176	4,1179	1,9624	2,1531	0,9251	0,7564
<i>Equus quagga chapmani</i>	K	290	22,3598	30,3095	23,3962	1,0603	1,0687	2,9282	3,7117	1,4985	1,4411	0,6422	0,5996
<i>Equus quagga antiquorum</i>	K	217	20,8555	33,5625	27,0908	0,9791	0,9791	2,9681	3,7166	1,4914	1,3783	0,6171	0,5761
<i>Equus quagga burchelli</i>	K	215	20,8828	32,1663	26,5707	0,8508	0,8508	2,9731	3,7506	1,0146	1,309	0,6301	0,5657
<i>Equus zebra hartmannae</i>	K	314	24,7839	30,2573	24,6156	0,913	0,913	3,0014	3,7896	1,1418	1,3346	0,6914	0,6064
<i>Equus grevyi</i>	K	342	24,8583	29,3807	24,8373	1,2662	1,278	3,144	4,0137	1,6918	1,6517	0,7563	0,709
<i>Equus africanus somalicus</i>	K	269	25,8652	30,7326	26,5918	1,0308	1,0321	3,0636	3,9136	1,3898	1,4787	0,7056	0,6707
<i>Equus africanus f. asinus</i>	K	216	25,781	31,8015	23,9955	0,8517	0,8562	2,813	3,5386	1,0646	1,0958	0,5556	0,5542
Hausesel	K	275	23,1892	29,9392	20,4118	0,5278	0,5278	2,4032	3,1205	0,5459	0,4763	0,4459	0,386
Zwergesel	K	106	28,2487	37,1007	27,9828	0,9294	0,9368	2,7895	3,4563	1,0719	1,1755	0,4668	0,4448
Poitou-Esel	K	380	29,083	22,2909	15,4369	0,7629	0,7697	2,8997	3,6764	0,8076	0,7891	0,6696	1,0726
Riesenesel (Martina-Franca-Esel)	K	307	22,2954	27,3811	22,5919	0,9675	0,9696	3,0964	3,9086	1,4838	1,4783	0,7389	0,6758
<i>Equus hemionus onager</i>	K	250	28,6903	25,0663	18,5581	0,8814	0,8814	3,0664	3,8347	0,9268	0,9004	0,7517	0,6715
<i>Equus hemionus kulan</i>	K	250	24,8827	31,1826	23,1928	0,7874	0,7874	2,7935	3,5193	0,9464	0,7787	0,5839	0,523
<i>Equus hemionus kiang</i>	K	245	22,1442	26,9529	19,5034	0,5497	0,5497	2,4942	3,2604	0,6449	0,5162	0,4559	0,4233
<i>Equus przewalskii</i>	K	292	20,5713	26,5565	18,7331	0,4932	0,4932	2,4932	3,2539	0,5305	0,5327	0,4862	0,4332
<i>Equus przewalskii</i>	FW	284	23,2085	34,7366	27,5508	0,6781	0,6781	2,696	3,4346	0,7867	0,6291	0,5373	0,4889
<i>Equus przewalskii f. caballus</i>	K	460	21,7831	32,329	25,8265	0,9618	0,9661	3,0491	3,798	1,1642	1,2236	0,7503	0,6848
Pony	K	266	21,628	29,5138	23,9026	1,2631	1,2631	3,4328	4,2011	1,707	1,6141	1,0763	0,9443
Shetlandpony	K	160	24,0873	39,6566	31,1617	0,8388	0,8495	2,843	3,5161	0,8752	0,8341	0,6346	0,5305
Fjordpferd – Weide	K	420	19,5023	30,2903	25,433	0,7847	0,7847	2,9822	3,7907	0,9371	0,8901	0,727	0,6642
Haflinger	K	450	21,2565	31,2406	25,4321	0,7917	0,7917	2,9216	3,6951	1,0249	1,0706	0,6331	0,5781
Tarpan	K	283	26,3722	36,3834	27,119	0,843	0,843	2,9198	3,5348	1,0398	1,5546	0,6324	0,8123
Warmblut	K	548	22,2807	33,0351	26,6851	1,123	1,1273	3,2544	4,0014	1,5325	1,3529	0,8927	0,788
Noriker	K	725	21,1996	25,9969	20,4728	0,6603	0,6603	2,597	3,4303	0,7086	0,8397	0,4929	0,4526
Süddeutsches Kaltblut	K	706	17,9683	32,0364	26,6181	1,172	1,188	3,1522	3,9559	1,2313	1,6018	0,7514	0,6693
Shirehorse	K	950	23,4034	26,5876	18,3619	0,8425	0,8425	2,9636	3,6732	0,8423	0,7987	0,6872	0,5938

Fortsetzung Tab. A: Speziesmittelwerte der Körpermasse, des Kot-TS-Gehalts, des Anteils nicht auf den Sieben retinierter TS, der durchschnittlichen Kotpartikelgrößen

*	KM (kg)	TS (%)	Anteil nicht retinierte TS (%)		WA (mm)	WAmox (mm)	MOF		Geometrischer Mittelwert (mm)		Geometrischer Median (mm)		
			6 Siebe	9 Siebe			6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe	
F. Tapire (Tapiridae)													
<i>Acrocodia indica</i>	K	275	17,8547	35,1725	30,8206	2,87	2,8815	3,9356	4,8983	4,1099	3,5547	1,6524	1,4406
	H	277,5	17,6083	25,4081	22,3481	2,6931	2,7896	4,2126	5,22	2,9478	3,4165	2,0156	1,9391
<i>Tapirus terrestris</i>	K	195,5	21,1675	33,5193	29,5719	2,15	2,1986	3,7911	4,7039	2,968	2,8868	1,2886	1,3487
	H	182,5	19,1603	30,5932	26,9485	2,4453	2,5288	4,0183	4,9591	3,9402	3,1503	1,7269	1,5423
	FW	200	36,478	47,7603	43,5088	1,1077	1,1077	3,1326	3,9239	1,3966	1,5508	0,7247	0,6531
	M	200	20,465	27,7614	25,004	2,3026	2,3411	4,0615	5,0238	2,7599	3,1095	1,913	1,6246
F. Nashörner (Rhinocerotidae)													
<i>Ceratotherium simun</i>	K	1939	18,9584	32,8384	29,2865	5,8863	8,8433	4,5688	5,9287	10,0477	9,7825	3,5139	3,7397
<i>Diceros bicornis</i>	K	985	19,7416	27,2415	24,3195	5,3727	7,8648	4,6006	5,9367	10,2459	9,2763	3,807	3,7447
<i>Rhinocerus unicornis</i>	K	2150	19,1322	25,4932	21,9564	2,7881	3,0945	4,1832	5,1725	5,227	4,1609	1,948	1,8052
O. Paarhufer (Artiodactyla)													
U.O. Nichtwiederkäuer (Nonruminentia)													
F. Schweine (Suidae)													
<i>Babyrousa babyrussa</i>	K	100	24,2746	42,736	38,102	2,4672	2,535	3,6977	4,6073	3,555	3,0822	1,3948	1,3382
<i>Phacochoerus aethiopicus</i>	K	85	29,2035	27,8276	21,4489	1,7369	1,7726	3,368	4,2015	2,1359	2,1817	0,8489	0,7589
F. Pekaris (Tayassuidae)													
<i>Tayassu tajacu</i>	K	23	29,7574	47,6791	32,0545	0,5207	0,5207	2,3203	3,0399	0,5969	0,567	0,3758	0,3335
<i>Tayassu tajacu</i>	FW	23	-	21,5877	62,4705	0,8014	0,8014	2,8027	3,3299	1,005	0,9173	0,5349	0,3915
F. Flußpferde (Hippopotamidae)													
<i>Hippopotamus amphibius</i>	K	2333	13,6604	16,5693	13,2997	7,1667	11,0593	4,7283	6,2843	17,807	13,7578	10,2787	11,0783
	H	2333	-	-	-	2,889	2,889	5,0198	-	18,0109	-	22,9554	-
	FW	2250	-	25,7806	-	2,7699	2,7699	4,8479	-	19,1733	-	21,0469	-
<i>Choeropsis liberiensis</i>	K	193	14,7427	48,6554	33,2431	5,026	6,4628	4,307	5,5848	8,7174	7,1625	2,6623	2,4218
	H	190	-	60,84	-	2,6775	2,6775	4,7367	-	15,3643	-	29,8495	-
	LH	190	13,7646	59,09	-	2,793	2,793	4,8891	-	14,2219	-	39,7196	-
	GH	190	-	62,59	-	2,5619	2,5619	4,5843	-	13,8578	-	7,5929	-

Fortsetzung Tab. A: Speziesmittelwerte der Körpermasse, des Kot-TS-Gehalts, des Anteils nicht auf den Sieben retinierter TS, der durchschnittlichen Kotpartikelgrößen

*	KM (kg)	TS (%)	Anteil nicht retinierte TS (%)		WA (mm)	WAm _{ax} (mm)	MOF		Geometrischer Mittelwert (mm)		Geometrischer Median (mm)		
			6 Siebe	9 Siebe			6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe	
U.O. Schwielensohler (Tylopoda)													
F. Kamele (Camelidae)													
<i>Camelus dromedarius</i>	K	460	31,7572	53,6773	41,7123	0,414	0,4151	2,136	2,7002	0,4436	0,3388	0,3281	0,273
<i>Camelus ferus</i>	K	650	29,197	45,3526	34,7179	0,4945	0,4945	2,3342	2,9656	0,5656	0,4404	0,3911	0,3441
<i>Lama vicugna</i>	K	51	41,3362	58,8072	43,3609	0,3912	0,3912	1,8676	2,3891	0,3996	0,2783	0,3083	0,2527
<i>Lama guanicoe</i>	K	90	42,9607	52,2807	35,4763	0,2496	0,2496	1,6761	2,2334	0,199	0,1974	0,2555	0,1991
<i>Lama guanicoe f. pacos</i>	K	65	48,5102	57,8858	39,6126	0,2089	0,2089	1,4556	2,0238	0,1441	0,1446	0,2066	0,1657
<i>Lama guanicoe f. glama</i>	K	120	51,4855	54,029	35,5982	0,2262	0,2262	1,5138	2,0757	0,1378	0,1549	0,2194	0,1723
U.O. Wiederkäuer (Ruminantia)													
F. Hirschferkel (Tragulidae)													
<i>Tragulus javanicus</i>	K	2	48,033	64,2598	57,0305	0,318	0,318	1,8943	2,4616	0,2681	0,2416	0,292	0,23
F. Hirsche (Cervidae)													
U.F. Muntjakhirsche (Muntiacinae)													
<i>Muntiacus reevesi</i>	K	11,4	42,1721	59,8062	49,179	0,2951	0,2951	1,7777	2,412	0,2754	0,2573	0,2612	0,2229
<i>Muntiacus muntjak</i>	K	25	42,7	52,13	-	0,2975	0,2975	1,9425	-	0,283	-	0,3203	-
<i>Elaphodus cephalophus</i>	K	35	28,6	74,94	-	0,4558	0,4558	2,2233	-	0,4472	-	0,3623	-
U.F. Echthirsche (Cervinae)													
<i>Axis axis</i>	K	85	51,7	49,94	-	0,394	0,394	2,12	-	0,3924	-	0,3413	-
<i>Dama dama</i>	K	60	40,6	52,71	-	0,3102	0,3102	1,9833	-	0,2892	-	0,3259	-
<i>Elaphurus davidianus</i>	K	120	32	50,84	-	0,3348	0,3348	1,95	-	0,274	-	0,3248	-
<i>Cervus unicolor</i>	K	200	39,6	44,32	-	0,3401	0,3401	2,2067	-	0,3904	-	0,3891	-
<i>Cervus timorensis</i>	K	150	30,1	39,29	-	0,4133	0,4133	2	-	0,3379	-	0,3167	-
<i>Cervus duvauceli</i>	K	200	39,8	51,3	-	0,2335	0,2335	1,7875	-	0,2185	-	0,2765	-
<i>Cervus eldi</i>	K	120	33,8	50,84	-	0,5666	0,5666	2,0167	-	0,3671	-	0,3194	-
<i>Cervus nippon</i>	K	70	32,7	50,41	-	0,4037	0,4037	2,0833	-	0,3554	-	0,3376	-
<i>Cervus elaphus</i>	K	170	25,3	52,69	-	0,3563	0,3563	2,245	-	0,4713	-	0,3767	-
<i>Cervus elaphus bactrianus</i>	K	110	35,6	49,6	-	0,2264	0,2264	1,9933	-	0,366	-	0,3193	-
<i>Cervus elaphus canadiensis</i>	K	300	26,1	55,88	-	0,3895	0,3895	2,3567	-	0,5798	-	0,408	-
<i>Cervus albirostris (Prezwalskium)</i>	K	130	33,2	45,69	-	0,3682	0,3682	2,1686	-	0,4613	-	0,3497	-

Fortsetzung Tab. A: Speziesmittelwerte der Körpermasse, des Kot-TS-Gehalts, des Anteils nicht auf den Sieben retinierter TS, der durchschnittlichen Kotpartikelgrößen

*	KM (kg)	TS (%)	Anteil nicht retinierte TS (%)		WA (mm)	WAm _{ax} (mm)	MOF		Geometrischer Mittelwert (mm)		Geometrischer Median (mm)		
			6 Siebe	9 Siebe			6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe	
U.F. Trughirsche (Odocoileinae)													
<i>Capreolus capreolus</i>	K	25	28,4	57,81	-	0,2899	0,2899	1,83	-	0,2265	-	0,2836	-
<i>Odocoileus virginianus</i>	K	70	35,3	64,86	-	0,2933	0,2933	1,7933	-	0,2128	-	0,2712	-
<i>Odocoileus hemionus</i>	K	80	33,5	64,97	-	0,3822	0,3822	2,0267	-	0,2922	-	0,3252	-
<i>Ozotoceros beoarticus</i>	K	35	42,1	63,17	-	0,465	0,465	2,33	-	0,4471	-	0,4254	-
<i>Blastoceros dichotomus</i>	K	80	38,6	50,33	-	0,474	0,474	2,395	-	0,4733	-	0,4483	-
<i>Pudu pudu</i>	K	12	33	56,08	-	0,4953	0,4953	2,335	-	0,5857	-	0,395	-
<i>Alces alces</i>	K	320	25,5	44,56	-	0,6005	0,6005	2,7667	-	0,716	-	0,6158	-
<i>Rangifer tarandus</i>	K	180	37,1	62,97	-	0,3145	0,3145	1,8367	-	0,2936	-	0,2581	-
F. Giraffen (Giraffidae)													
<i>Giraffa camelopardalis</i>	FW	672	39,196	44,9243	40,387	0,6993	0,6995	2,77	3,4422	0,7398	0,6849	0,6065	0,4872
<i>Giraffa camelopardalis</i>	K	900	44,0255	43,2305	31,6188	0,344	0,344	2,1103	2,7501	0,3411	0,339	0,3612	0,2972
<i>Okapia johnstoni</i>	K	219	33,9933	37,6595	26,9556	0,5962	0,5965	2,4337	2,7488	0,6737	0,4959	0,497	0,3538
F. Gabelhorntiere (Anlitocapridae)													
<i>Antilocapra americana</i>	K	40	33,6	54,23	-	0,2916	0,2916	1,98	-	0,2866	-	0,3293	-
F. Hornträger (Bovidae)													
U.F. Ducker (Cephalophinae)													
<i>Cephalopus monticola</i>	K	7	43,1	57,42	-	0,2159	0,2159	1,54	-	0,1521	-	0,2308	-
<i>Cephalopus natalensis</i>	K	12,4	44,6469	57,4844	42,1052	0,2798	0,2798	1,9023	2,5892	0,2617	0,275	0,3087	0,2602
U.F. Böckchen (Neotraginae)													
<i>Madoqua kirki</i>	K	4,75	46,844	47,4599	55,2327	0,2844	0,2844	1,9076	2,6338	0,264	0,2818	0,3121	0,263
<i>Oreotragus oreotragus</i>	K	13,75	43,8352	53,1347	41,7493	0,3341	0,3341	2,0057	2,359	0,2924	0,2227	0,3278	0,2226
U.F. Waldböcke (Tragelaphinae)													
<i>Tragelaphus spekei</i>	K	95	35,5	49,08	-	0,4188	0,4188	2,3125	-	0,4471	-	0,4332	-
<i>Tragelaphus angasi</i>	K	100	35,2	61,45	-	0,5228	0,5228	2,3333	-	0,5392	-	0,3846	-
<i>Tragelaphus imberbis</i>	K	95	49,5	47,27	-	0,583	0,583	2,5867	-	0,6063	-	0,4918	-
<i>Tragelaphus strepsiceros</i>	K	230	31,2	52,22	-	0,6591	0,6591	2,69	-	0,7294	-	0,5546	-
<i>Tragelaphus euryceros</i>	K	250	30,6	48,88	-	0,5525	0,5525	2,4767	-	0,4984	-	0,4636	-
<i>Tragelaphus oryx</i>	K	500	28,6	49,43	-	0,6273	0,6273	2,5167	-	0,7036	-	0,4451	-

Fortsetzung Tab. A: Speziesmittelwerte der Körpermasse, des Kot-TS-Gehalts, des Anteils nicht auf den Sieben retinierter TS, der durchschnittlichen Kotpartikelgröße

	*	KM (kg)	TS (%)	Anteil nicht retinierte TS (%)		WA (mm)	WAm _{ax} (mm)	MOF		Geometrischer Mittelwert (mm)		Geometrischer Median (mm)	
				6 Siebe	9 Siebe			6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe
<i>Boselaphus tragocamelus</i>	K	220	23,1	54,57	-	0,6303	0,6303	2,475	-	0,7075	-	0,4202	-
U.F. Rinder (Bovinae)													
<i>Bubalis depressicornis</i>	K	150	23,7	47,1	-	0,2733	0,2733	1,895	-	0,2581	-	0,3079	-
<i>Bubalus arnee</i>	K	900	16,2	45,44	-	0,5871	0,5871	2,5133	-	0,6085	-	0,478	-
<i>Syncerus caffer</i>	K	600	21,3	45,96	-	0,4571	0,4571	2,2367	-	0,4652	-	0,3669	-
<i>Syncerus caffer nanus</i>	K	350	18,3	40,13	-	0,4848	0,4848	2,3933	-	0,482	-	0,4457	-
<i>Bos (Bos) primigenius</i>	K	555	17,6598	50,2094	29,8186	0,3113	0,3113	1,8701	2,3264	0,2595	0,2139	0,3009	0,2068
<i>Bos (Bos) primigenius</i>	FW	783	13,625	67,61	53,0478	0,4142	0,4142	2,098	2,4365	0,4168	0,3455	0,3189	0,2072
<i>Bos (Bos) primigenius f. taurus</i>	K	662	18,1603	61,1711	51,1854	0,3139	0,3139	1,8985	2,503	0,2539	0,2554	0,2998	0,2402
Hausrind	GH	1123	17,0518	69,3822	60,8442	0,2815	0,2815	1,7832	2,3876	0,2139	0,2217	0,2732	0,2185
Hausrind	LH	1123	18,6316	49,7795	40,4147	0,3917	0,3917	2,2146	2,8672	0,383	0,3758	0,387	0,3215
Dahomey-Zwergrind	K	200	19,2688	52,9599	41,5267	0,3462	0,3462	2,0138	2,6183	0,2939	0,2891	0,3265	0,262
<i>Bos primigenius indicus</i>	K	220	19,3	45,74	-	0,4395	0,4395	2,1767	-	0,3972	-	0,3612	-
<i>Bos gaurus</i>	K	800	17,8	58	-	0,4012	0,4012	2,2533	-	0,3989	-	0,4048	-
<i>Bos javanicus</i>	K	600	16	47,69	-	0,3955	0,3955	2,2867	-	0,4023	-	0,4114	-
<i>Bos grunniens</i>	K	400	21,3	46,72	-	0,437	0,437	2,22	-	0,4623	-	0,3437	-
<i>Bison bison</i>	K	650	17,8	58,2	-	0,4255	0,4255	2,1233	-	0,4499	-	0,3255	-
<i>Bison bonasus</i>	K	600	18,2	50,74	-	0,4715	0,4715	2,2767	-	0,459	-	0,3769	-
U.F. Kuhantilopen (Alcelaphinae)													
<i>Alcelaphus buselaphus</i>	K	180	48	59,48	-	0,4202	0,4202	2,1667	-	0,4226	-	0,3449	-
<i>Damaliscus dorcas phillipsi</i>	K	65	46,8	55,53	-	0,2493	0,2493	1,64	-	0,1712	-	0,2427	-
<i>Connochaetus gnou</i>	K	160	29,6	37,4	-	0,3514	0,3514	2,01	-	0,2942	-	0,3247	-
U.F. Pferdeböcke (Hippotraginae)													
<i>Hippotragus equinus</i>	K	270	27,8	42,53	-	0,4118	0,4118	2,22	-	0,3811	-	0,3853	-
<i>Hippotragus niger</i>	K	220	28,3	54	-	0,4529	0,4529	2,24	-	0,4944	-	0,3838	-
<i>Oryx gazella</i>	K	200	44,3	40,19	-	0,2937	0,2937	1,95	-	0,2802	-	0,3214	-
<i>Oryx beisa</i>	K	145	62,2	41,9	-	0,4943	0,4943	2,2067	-	0,5549	-	0,3291	-
<i>Oryx dammah</i>	K	180	40,5	35,72	-	0,5466	0,5466	2,47	-	0,6202	-	0,4513	-
<i>Addax nasomaculatus</i>	K	85	53,6	42,77	-	0,3807	0,3807	1,97	-	0,3139	-	0,2949	-

Fortsetzung Tab. A: Speziesmittelwerte der Körpermasse, des Kot-TS-Gehalts, des Anteils nicht auf den Sieben retinierter TS, der durchschnittlichen Kotpartikelgrößen

*	KM (kg)	TS (%)	Anteil nicht retinierte TS (%)		WA (mm)	WAmx (mm)	MOF		Geometrischer Mittelwert (mm)		Geometrischer Median (mm)		
			6 Siebe	9 Siebe			6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe	
U.F. Ried- und Wasserböcke (Reduncinae)													
<i>Kobus ellispiprymnus</i>	K	190	24,8	53,17	-	0,395	0,395	2,1967	-	0,3848	-	0,3858	-
<i>Kobus leche</i>	K	90	27,8	39,86	-	0,3676	0,3676	2,0525	-	0,3145	-	0,3382	-
<i>Redunca redunca</i>	K	50	41,5	55,21	-	0,3193	0,3193	1,88	-	0,2945	-	0,28	-
U.F. Schwarzfersenantilopen (Aepycerotinae)													
<i>Aepyceros melampus</i>	K	55	31,3	58,26	-	0,2958	0,2958	1,96	-	0,2818	-	0,3232	-
U.F. Springantilopen (Antilopinae)													
<i>Gazella dama</i>	K	50	34,4	31,88	-	0,4239	0,4239	2,245	-	0,4539	-	0,3784	-
<i>Gazella dama mhorr</i>	K	40	35,1	50,45	-	0,2579	0,2579	1,77	-	0,218	-	0,2763	-
<i>Gazella dorcas</i>	K	18	44,5	51,59	-	0,2643	0,2643	1,8533	-	0,2481	-	0,2994	-
<i>Gazella subgutturosa</i>	K	27	45	56,05	-	0,2869	0,2869	1,9333	-	0,2705	-	0,3157	-
<i>Antilope cervicapra</i>	K	33	40,1	65,33	-	0,4427	0,4427	2,2033	-	0,492	-	0,3405	-
<i>Litocranius walleri</i>	K	37	32,2	57,14	-	0,2575	0,2575	1,765	-	0,2104	-	0,2721	-
<i>Antidorcas marsupialis</i>	K	30	33,6	47,89	-	0,3505	0,3505	2,0883	-	0,3498	-	0,3504	-
U.F. Saigaartige (Saiginae)													
<i>Saiga tartarica</i>	K	35	33,6	52,56	-	0,2763	0,2763	1,7967	-	0,2244	-	0,2794	-
U.F. Gamsenartige (Rupicaprinae)													
<i>Rupicapra rupicapra</i>	K	50	30,7	58,15	-	0,3717	0,3717	2,2867	-	0,4014	-	0,4235	-
<i>Oreamnos americanus</i>	K	60	36,7	57,79	-	0,2846	0,2846	1,7333	-	0,2137	-	0,2218	-
<i>Nemorhaedus goral</i>	K	35	25,9	57,52	-	0,2825	0,2825	1,8033	-	0,2205	-	0,2775	-
<i>Budorcas taxicolor</i>	K	270	25,2	46,06	-	0,4353	0,4353	2,1433	-	0,339	-	0,351	-
U.F. Ziegenartige (Caprinae)													
<i>Capra ibex</i>	K	60	33,8	50,64	-	0,3828	0,3828	2,29	-	0,409	-	0,4168	-
<i>Capra falconeri</i>	K	50	35,9	50,89	-	0,3163	0,3163	2,0533	-	0,3216	-	0,3504	-
<i>Capra hircus</i>	K	40	36,5	50,46	-	0,2507	0,2507	1,6967	-	0,1929	-	0,257	-
<i>Capra aegagrus</i>	K	33	45,1	57,06	-	0,2562	0,2562	1,6433	-	0,2086	-	0,2322	-
<i>Ovis ammon musimon</i>	K	40	28,9	57,51	-	0,3479	0,3479	2,02	-	0,3095	-	0,3328	-
<i>Pseudois nayaur</i>	K	27	36,1	59,35	-	0,3277	0,3277	1,81	-	0,3217	-	0,2751	-
<i>Ovis ammon cycloceros</i>	K	50	53,8	40,1	-	0,3157	0,3157	1,9633	-	0,2402	-	0,2724	-

Fortsetzung Tab. A: Speziesmittelwerte der Körpermasse, des Kot-TS-Gehalts, des Anteils nicht auf den Sieben retinierter TS, der durchschnittlichen Kotpartikelgrößen

	*	KM (kg)	TS (%)	Anteil nicht retinierte TS (%)		WA (mm)	WAm _{ax} (mm)	MOF		Geometrischer Mittelwert (mm)		Geometrischer Median (mm)	
				6 Siebe	9 Siebe			6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe
<i>Ovis ammon aries</i>	K	25	30,9	38,73	-	0,3368	0,3368	1,8433	-	0,3504	-	0,2547	-
<i>Ovibos moschatus</i>	K	252	28,1716	57,8541	47,5588	0,3538	0,3538	1,9708	2,561	0,3318	0,2633	0,312	0,2466
Klasse REPTILIA													
O. Squamaten (Squamata)													
U.O. Echsen (Sauria)													
F. Leguane (Iguanidae)													
<i>Iguana iguana</i>	M	3,11	6,7349	0,5597	-	14,9347	30,5341	5,831	8,6506	-	45,6986	-	-
<i>Iguana iguana</i>	CA	3,11	20,4152	54,3922	50,7849	2,2118	2,2118	4,4362	5,111	3,973	3,2665	2,7539	2,3258
<i>Iguana iguana</i>	CR	3,11	20,165	78,5345	72,9246	0,5313	0,5313	2,394	2,8979	0,521	0,5635	0,449	0,2945
<i>Iguana iguana</i>	CS	3,11	17,0909	59,9966	54,9712	0,9814	0,9814	3,2273	3,8672	1,236	1,4539	0,9074	0,6539
<i>Iguana iguana</i>	CL	3,11	22,6617	59,2649	56,3718	3,0902	3,0902	4,5286	5,4014	4,2799	4,3801	3,4317	2,5854
<i>Iguana iguana</i>	R	3,11	27,8323	68,2862	65,7265	3,1361	3,1361	3,8372	4,8667	3,992	3,813	1,3024	6,5192
<i>Iguana iguana</i>	C	2,44	51,3948	72,2697	70,1134	2,7686	2,7686	3,9386	4,9095	-	5,4968	-	3,8821
<i>Iguana iguana</i>	CSP	2,44	42,5132	46,1096	88,1244	5,262	5,262	5,2463	6,4698	4,7938	11,0328	5,1681	3,6512
<i>Iguana iguana</i>	CL	2,44	37,2443	55,657	52,7762	3,7339	3,7339	4,2233	5,2852	6,0783	7,2233	11,0495	14,5252
<i>Iguana iguana</i>	K	2,71	48,5095	52,826	49,0865	4,2748	5,3906	4,0329	5,1396	12,8871	8,0247	9,7051	9,324
<i>Cyclura cornuta</i>	K	4,5	75,8171	53,6004	51,8797	3,9344	7,1619	3,691	4,9287	9,8369	10,6143	7,124	1,1059
F. Agamiden (Agamidae)													
<i>Uromastix acanthinurus</i>	C	0,056	-	8,4569	-	0,4257	0,4257	2,3358	3,1397	0,4595	0,491	0,4405	0,4044
<i>Uromastix acanthinurus</i>	CL	0,056	-	8,5412	-	0,6244	0,6244	2,635	3,414	0,7082	0,8221	0,5646	0,5016
<i>Uromastix acanthinurus</i>	K	0,167	68,5788	17,5786	39,0037	0,6042	0,6042	2,5661	3,3454	0,6827	0,7741	0,5204	0,4649
F. Skinke (Scincidae)													
<i>Corucia zebrata</i>	C	0,3999	21,9494	47,8688	43,2646	4,0524	6,1542	3,4665	4,3847	0	8,3296	0	1,1183
<i>Corucia zebrata</i>	K	0,4229	26,3828	50,35	45,2945	6,0241	8,4637	4,1793	5,4095	17,6634	10,1275	5,1374	2,0675
O. Schildkröten (Testudinata)													
F. Landschildkröten (Testudinidae)													
<i>Dipsochelys dussumieri</i>	K	102,5	22,7624	31,7488	28,0293	10,3426	17,9911	5,0848	6,9993	32,1936	23,7118	27,4422	-
<i>Testudo gigantea</i>	K	158	18,7098	33,9419	30,2415	12,7512	20,2862	5,3543	7,5596	59,7392	26,2472	51,6343	-

Fortsetzung Tab. A: Speziesmittelwerte der Körpermasse, des Kot-TS-Gehalts, des Anteils nicht auf den Sieben retinierter TS, der durchschnittlichen Kotpartikelgrößen

*	KM (kg)	TS (%)	Anteil nicht retinierte TS (%)		WA (mm)	WAm _{ax} (mm)	MOF		Geometrischer Mittelwert (mm)		Geometrischer Median (mm)		
			6 Siebe	9 Siebe			6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe	
<i>Geochelone nigra</i>	K	104,286	23,8624	40,148	36,5399	8,8409	12,9069	4,5913	6,3423	26,8015	16,1699	16,8004	6,6618
<i>Testudo radiata</i>	K	10	43,3797	52,455	49,0214	5,378	7,7214	4,2401	5,4974	14,5101	8,1872	2,795	2,3992
<i>Testudo pardalis</i>	K	30	39,9683	34,3413	37,3099	7,4933	12,5966	4,2727	5,7862	24,1773	19,1605	16,1145	4,7857
<i>Testudo sulcata</i>	K	90	23,2024	52,2558	44,9684	6,6214	8,7761	3,7949	5,0676	19,209	9,9207	23,0028	2,0347
<i>Testudo horsfieldii</i>	K	1,2	19,0223	57,8078	48,4357	6,3511	7,4125	3,8771	4,766	9,2507	7,1143	1,5719	0,6245
<i>Testudo hermanni</i>	K	0,808	21,0792	33,188	51,8944	3,6287	4,7587	3,9537	4,8588	5,8686	5,1028	2,3597	1,8947
	ZF	0,8615	12,1722	33,6884	29,5302	2,0718	2,8868	3,4585	4,2632	2,74	3,064	1,1213	0,9684
	UZF	0,8645	21,4663	25,8687	45,7671	4,1108	5,6205	4,2641	5,2081	6,7078	6,0183	2,6727	2,0947
	FW	0,778	21,8629	37,7282	36,6803	2,0977	2,279	3,6585	4,4652	3,121	3,3309	1,8286	1,0153
<i>Testudo graeca</i>	K	1,5446	20,9622	56,1301	53,4464	4,0152	5,218	3,7586	4,5905	7,3299	6,7554	4,5545	2,0702
	ZF	1,462	11,3613	39,1279	32,1383	3,0672	4,1256	3,7816	4,6306	4,4919	4,7623	1,5289	1,1647
	UZF	1,4588	21,7413	51,4252	50,2614	4,3395	5,8041	3,7563	4,682	9,1605	7,9601	5,8237	2,5369
	FW	0,6916	28,988	42,5801	36,13	1,765	1,9568	3,6747	4,3714	2,2749	2,5	1,2262	1,0221
Klasse AVES													
O. Flachbrustvögel (Struthioniformes)													
U.O. Strausse (Struthiones)													
F. Strauße (Struthionidae)													
<i>Struthio camelus</i>	M	100	20,0177	24,1472	22,9799	9,5356	17,8396	5,3957	7,3892	-	20,8631	-	25,1604
	C	100	10,7254	64,1913	57,0133	0,6795	0,6795	2,7573	3,2896	-	0,7667	-	0,4309
	K	96	29,9414	64,9628	55,8233	0,6374	0,6374	2,5391	3,0409	0,7699	0,7143	0,5072	0,3586
U.O. Nandus (Rheae)													
F. Nandus (Rheidae)													
<i>Rhea americana</i>	K	20	36,7543	43,2506	37,0461	1,1901	1,3285	2,6446	3,4841	1,5384	1,3985	0,6121	0,5864
U.O. Kasuarvögel (Casuarii)													
F. Kasuare (Casuariidae)													
<i>Casuarus casuarius</i>	K	60	22,8128	29,028	25,0019	1,8727	1,9611	3,2833	4,2337	2,593	2,4856	1,0034	0,9803

Fortsetzung Tab. A: Speziesmittelwerte der Körpermasse, des Kot-TS-Gehalts, des Anteils nicht auf den Sieben retinierter TS, der durchschnittlichen Kotpartikelgrößen

*	KM (kg)	TS (%)	Anteil nicht retinierte TS (%)		WA (mm)	WAm _{max} (mm)	MOF		Geometrischer Mittelwert (mm)		Geometrischer Median (mm)		
			6 Siebe	9 Siebe			6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe	6 Siebe	9 Siebe	
F. Emus (<i>Dromaiidae</i>)													
<i>Dromaius novaehollandiae</i>	K	40	28,8589	42,8057	36,1885	1,3383	1,3386	3,2332	3,903	1,9305	2,0387	1,2292	0,9927
O. Entenvögel (<i>Anseriformes</i>)													
F. Entenartige (<i>Anatidae</i>)													
U.F. Pfeifgänse (<i>Dendrocygninae</i>)													
<i>Dendrocygna viduata</i>	K	0,65	21,8733	53,0877	44,4272	0,3892	0,3892	2,258	2,9061	0,4178	0,3967	0,4086	0,3365
U.F. Gänse (<i>Anserinae</i>)													
<i>Philacte canagica</i>	K	2,5	24,5044	57,7538	53,3092	0,4364	0,4364	2,417	3,202	0,4758	0,4976	0,4741	0,4333
<i>Chen caerulescens</i>	K	3	22,6806	57,9039	53,4225	0,4943	0,4943	2,5187	3,2745	0,5285	0,5792	0,4956	0,4441
<i>Eulabeia indica</i>	K	2,5	16,9724	44,6377	39,8896	0,3117	0,3117	2,0809	2,9165	0,328	0,3417	0,3584	0,3516
<i>Rufibrenta ruficollis</i>	K	1,5	15,4555	48,3742	42,6496	0,3916	0,3916	2,2296	3,0084	0,4385	0,4524	0,4279	0,3534
<i>Branta leucopsis</i>	K	1,525	20,2677	50,9422	42,36	0,3659	0,3659	1,9885	2,7038	0,3516	0,4201	0,3229	0,2754
<i>Branta sandvicensis</i>	K	2	21,9831	56,9933	53,5358	0,396	0,396	2,3428	3,1684	0,4412	0,4348	0,4365	0,4318
O. Wehrvögel (<i>Anhimiformes</i>)													
F. Wehrvögel (<i>Anhimidae</i>)													
<i>Chauna torquata</i>	K	3,75	32,1487	66,3053	60,0783	0,3937	0,3937	2,2175	2,8803	0,3861	0,4042	0,3958	0,3372
O. Hühnervögel (<i>Galliformes</i>)													
F. Hühner (<i>Fasanenartige</i>) (<i>Phasianidae</i>)													
<i>Catreus wallichii</i>	K	1,3	29,5459	68,7289	48,5497	0,199	0,199	1,4791	1,899	0,1417	0,1499	0,2241	0,1536
<i>Tragopan satyra</i>	K	1,7	36,9433	55,1858	47,4188	0,5209	0,5209	2,3031	2,9588	0,4129	0,575	0,405	0,3159
Schmetterlingsraupe	K	0,02	22,0233	44,9221	42,9371	0,3539	0,3539	2,3539	3,272	0,3696	0,4219	0,4595	0,4523

Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

* **K**=Kot, **FW**=Freie Wildbahn, **W**=Weide, **CK**=Blinddarmkot, **H**=reine Heufütterung, **G**=reine Grasfütterung, **HP**=Fütterung von Heu und Pellets, **LH**=Luzerneheu, **GH**=Grasheu, **HMF**=Heu und Mischfutter, **LHMF**=Luzerneheu und Mischfutter, **UZF**=unzerkleinertes Futter, **ZF**=zerkleinertes Futter, **M**=Mageninhalt, **C**=Caecuminhalt, **CZ**=Caecum zentral, **CP**=Caecum peripher, **CA**=Caecumanfang, **CR**=Caecumrecessus, **CS**=Caecumsulcus, **CSP**=Caecumsepten, **CL**=Colon, **CLZ**=Colon zentral, **CLP**=Colon peripher, **CLprox**=Colon proximale, **CLdist**=Colon distale, **R**=Rektum

Klasse MAMMALIA

U.K. Beutelsäuger (Metatheria)

O. Beutelrattenartige (Didelphimorphia)

F. Beutelratten (Didelphidae)

Monodelphis domestica

*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS								
				0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm
K	0,1	96,0004	0,6639	0,0756	0,2164	0,1403	0,0392	0,0028	0	0	0	0
K	0,1	69,2931	0,3757	0,0245	0,0288	0,0447	0,064	0,0108	0	0	0	0
O. Diprotodontia												
F. Beutelbären (Phascolarctidae)												
<i>Phascolarctus cinereus</i>												
K	4,7	83,5366	1,2856	0,0755	0,2282	0,2604	0,1457	0,0751	0,0065	0	0	0
K	5,24	44,0514	0,5458	0,0508	0,1286	0,1136	0,0591	0,0302	0,0009	0	0	0
K	7	86,7106	0,7248	0,0692	0,1527	0,1461	0,0718	0,0104	0	0	0	0
K	7	39,1587	0,4859	0,034	0,0855	0,0631	0,0294	0,008	0	0	0	0
K	7	45,7604	0,5195	0,0412	0,1163	0,1133	0,0457	0,0142	0,0004	0	0	0
F. Plumpbeutler (Vombatidae)												
<i>Vombatus ursinus</i>												
K	40	44,5184	3,064	0,1123	0,2527	0,4094	0,4555	0,098	0,003	0,0065	0	0
K	40	32,6833	0,5847	0,0424	0,072	0,0967	0,0904	0,0354	0,0123	0,0001	0,0014	0
K	40	27,731	0,5657	0,0356	0,0641	0,074	0,0555	0,0112	0,0028	0	0,0004	0
FW	40	31,9938	1,7209	0,2289	0,3025	0,2871	0,0676	0,0205	0,0054	0,0149	0	0
FW	40	69,5189	2,0499	0,2966	0,5729	0,4091	0,1457	0,0134	0	0	0	0
FW	40	61,2362	1,9219	0,1388	0,5199	0,336	0,1469	0,0419	0,0027	0,0027	0	0
F. Rattenkängurus (Potoroidae)												
<i>Bettongia penicillata</i>												
K	1,5	90,3282	0,6091	0,095	0,0855	0,0329	0,0127	0,005	0,0009	0	0	0
K	1	30,5963	0,1804	0,0063	0,014	0,013	0,0161	0,0095	0,012	0	0	0
F. Eigentliche Kängurus (Macropodidae)												
<i>Wallabia bicolor</i>												
K	15	24,0924	1,4541	0,1105	0,1361	0,1982	0,1575	0,1147	0,0117	0,0025	0,0019	0
K	15	26,2254	1,2536	0,1186	0,1175	0,1323	0,102	0,1301	0,0246	0,0027	0,0024	0

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

	*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS								
					0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm
<i>Macropus agiles</i>	K	15	23,2374	0,937	0,0729	0,1813	0,1496	0,1255	0,1126	0,0381	0,0084	0,0046	0
	K	15	23,9731	1,4016	0,085	0,1466	0,1976	0,291	0,1436	0,0843	0,001	0,0016	0
<i>Macropus parma</i>	K	6	33,7582	1,5915	0,1689	0,2988	0,3729	0,1774	0,0741	0,0297	0,0044	0,0057	0
	K	6	52,6914	1,1052	0,0808	0,3031	0,1851	0,0508	0,0194	0,0062	0,0032	0	0
<i>Macropus rufogriseus rufogriseus</i>	K	17,5	29,3406	1,7484	0,1517	0,2508	0,2263	0,2381	0,1632	0,1091	0,0236	0,0077	0
	K	16	31,4905	1,8999	0,1044	0,1485	0,2	0,2215	0,2188	0,1478	0	0	0
	K	16	28,442	1,3116	0,0793	0,1003	0,1653	0,1944	0,135	0,0813	0	0	0
<i>Macropus rufus</i>	K	40	34,8821	1,0898	0,1093	0,1645	0,225	0,1726	0,1237	0,1491	0,0367	0,0064	0
	K	85	43,0589	0,8625	0,0564	0,1103	0,1091	0,1191	0,047	0,1032	0,0614	0,0043	0,0018
<i>Macropus fuliginosus</i>	K	50	61,0242	2,4634	0,095	0,1451	0,2816	0,3367	0,1823	0,1776	0,0373	0	0
<i>Macropus giganteus</i>	FW	60	86,5382	1,897	0,1553	0,3301	0,4602	0,2984	0,0775	0,0166	0,0117	0	0
	FW	60	86,4783	1,8317	0,1791	0,3258	0,3649	0,2391	0,1802	0,0457	0,0011	0	0
	FW	60	36,042	1,9802	0,179	0,3565	0,4037	0,3513	0,0641	0,0369	0,0013	0	0
	FW	60	84,8808	0,9198	0,1159	0,2186	0,2308	0,0862	0,0074	0	0	0	0
	FW	60	57,9571	0,6193	0,0695	0,096	0,0835	0,0421	0,0104	0,0006	0,0001	0	0
	FW	60	83,4801	0,5932	0,0645	0,0851	0,1205	0,1044	0,0327	0,0106	0,0059	0	0
	K	85	30,7478	0,9753	0,1256	0,1998	0,0857	0,0553	0,0356	0,0023	0,0027	0	0
	K	60	33,5104	1,474	0,0851	0,1484	0,1718	0,1641	0,1677	0,1832	0,0143	0,0094	0
	K	35	44,6542	0,525	0,0356	0,0745	0,0785	0,0642	0,028	0,0127	0,0024	0	0
<i>Dendrolagus matschiei</i>	K	13	35,124	0,8705	0,1096	0,1692	0,1813	0,1897	0,0757	0,0623	0,0211	0,0073	0
	K	13	36,3236	0,8183	0,0493	0,0991	0,0802	0,0304	0,1211	0	0	0	0
	K	13	32,2538	0,6118	0,0207	0,0476	0,0692	0,0563	0,0247	0,0088	0,0078	0	0
U.K. Höhere Säugetiere (Eutheria)													
O. Primaten (Primates)													
U.O. Halbaffen (Prosimiae)													
F. Eigentliche Lemuren (Lemuridae)													
<i>Haplemur griseus alaotrensis</i>	K	1,2	18,4716	0,21	0,0162	0,0124	0,0191	0,0128	0,0091	0,0194	0,007	0	0
<i>Varecia variegata rubra</i>	K	4	20,2149	1,1365	0,0747	0,0768	0,0483	0,083	0,0538	0,0581	0,0242	0,0082	0
	K	4	25,7115	0,8805	0,0219	0,0234	0,0375	0,0332	0,0282	0,0317	0,0144	0,0166	0,029
	K	4	11,728	0,2478	0,0283	0,0141	0,0191	0,0135	0,0111	0,0309	0,0124	0,0029	0,0044
	K	4	13,544	0,4413	0,043	0,0264	0,0361	0,0206	0,0148	0,0437	0,0237	0	0

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

	*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS								
					0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm
<i>Lemur catta</i>	K	3	20,0821	0,6397	0,0163	0,0285	0,065	0,1264	0,1347	0,094	0,0439	0,0354	0,018
	K	3,5	26,9083	1,3801	0,0413	0,0619	0,1234	0,1971	0,2083	0,1645	0,0184	0,0046	0,005
	K	3,5	15,3347	1,1918	0,0361	0,0391	0,0504	0,0793	0,1961	0,2065	0,1826	0,0135	0
U.O. Affen (Simiæ)													
T.O. Neuweltaffen (Platyrrhini)													
F. Kapuzinerartige (Cebidae)													
<i>Pithecia pithecia</i>	K	1,6	39,4875	0,3761	0,0208	0,0277	0,0307	0,0187	0,0103	0	0	0	0
	K	2	39,8141	1,1554	1,0366	0,0359	0,0349	0,0365	0,0115	0	0	0	0
<i>Alouatta palliata</i>	K	7	24,3928	0,8356	0,0712	0,0546	0,0493	0,0345	0,0475	0,0314	0,0467	0,025	0,022
<i>Lagothrix lagotricha</i>	K	10,5	19,7126	0,3659	0,0151	0,0139	0,0209	0,0331	0,0342	0,0077	0,0034	0,0046	0,0117
	K	4,5	34,5382	1,06	0,0461	0,0416	0,0464	0,1207	0,1628	0,0172	0,0137	0	0
T.O. Altweltaffen (Catarrhini)													
F. Meerkatzenverwandte (Cercopithecidae)													
<i>Mandrillus sphinx</i>	K	27	20,0795	1,2231	0,0611	0,0948	0,0677	0,0718	0,0871	0,0853	0,0195	0,0067	0
	K	28	24,6112	1,4264	0,0676	0,1188	0,1025	0,1224	0,09	0,0522	0,0072	0,0021	0
<i>Theropithecus gelada</i>	K	17,5	22,11	2,4382	0,1242	0,2005	0,0963	0,5653	0,6243	0,4048	0,1997	0,0612	0,0221
	K	17,5	22,11	1,4881	0,0844	0,1435	0,1627	0,2638	0,3359	0,1458	0,0674	0,0176	0,0064
	K	17,5	22,11	3,6161	0,1597	0,1928	0,3128	0,3993	0,3034	0,3023	0,1799	0,0926	0,0493
	K	17,5	22,11	2,8539	0,1515	0,2539	0,2945	0,3245	0,4449	0,2391	0,3405	0,0411	0,0149
	K	17,5	22,11	2,0789	0,0766	0,1122	0,1393	0,1263	0,2048	0,2244	0,1027	0,0899	0,0594
	K	17,5	22,11	2,3982	0,12	0,2136	0,2821	0,5892	0,3258	0,2287	0,0565	0,0283	0,0328
<i>Macaca sylvanus</i>	K	24	33,4798	1,0866	0,0671	0,093	0,0944	0,0675	0,0523	0,0183	0,0145	0	0
<i>Cercopithecus pygerythrus</i>	K	5,5	23,0049	1,1052	0,0685	0,1289	0,0885	0,0642	0,049	0,011	0,0076	0	0
<i>Presbytis (Semnopithecus) entellus</i>	K	21	18,449	0,5322	0,0255	0,0295	0,0474	0,052	0,0322	0,0065	0,0131	0,0013	0
	K	19	25,1669	1,1753	0,0805	0,11	0,096	0,0833	0,0757	0,0214	0,0032	0,005	0
<i>Presbytis obscurus</i>	K	7	24,1059	1,061	0,0444	0,0592	0,0876	0,095	0,0584	0,0338	0	0	0
<i>Presbytis (Trachypithecus) cristata</i>	K	15,5	23,1362	0,6647	0,0245	0,0362	0,0345	0,0377	0,0304	0,0103	0,0044	0,0014	0,0027
	K	12	32,3312	0,9627	0,0714	0,0931	0,0662	0,0372	0,0447	0,0189	0,0089	0,0029	0
	K	12	29,1197	0,9274	0,0446	0,0576	0,0594	0,0406	0,0454	0,0138	0,0014	0	0
<i>Pygathrix (Pygathrix) nemaesus</i>	K	8	22,3267	1,1899	0,0516	0,1082	0,0872	0,0252	0,0614	0,0113	0,0055	0	0
	K	8	19,86	0,6695	0,0235	0,0573	0,0525	0,0185	0,0139	0,0067	0,0015	0	0

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

	*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS								
					0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm
<i>Pygathrix (Pygathrix) nemaeus</i>	K	8	25,9961	0,9144	0,052	0,0531	0,0527	0,0163	0,0163	0,0087	0,0107	0	0
	K	11	21,7901	0,9661	0,0326	0,0613	0,0662	0,0371	0,0219	0,0178	0,0019	0,0062	0
	K	10	26,9395	1,2808	0,0599	0,114	0,116	0,0493	0,0301	0,0057	0,0041	0	0
F. Kleine Menschenaffen (Hylobatidae)													
<i>Hylobates syndactylus</i>	K	13,5	15,0794	0,8164	0,0283	0,0415	0,0596	0,0835	0,039	0,1027	0,0781	0,1171	0,0205
	K	13,5	19,0618	0,796	0,0238	0,0416	0,0509	0,0472	0,0396	0,021	0,0253	0,0281	0,1319
	K	13	27,7826	1,684	0,1298	0,1278	0,0672	0,0602	0,1001	0,0358	0,0335	0,0303	0,0368
	K	10	17,8919	0,8918	0,0718	0,0766	0,0843	0,1125	0,1271	0,0655	0,0422	0,0032	0
<i>Hylobates lar</i>	K	5,5	16,6069	0,9884	0,0414	0,0372	0,0574	0,0946	0,1065	0,0887	0,06	0,022	0,0094
	K	5,5	29,7546	0,6318	0,0183	0,0617	0,0589	0,0409	0,0252	0,0311	0,0155	0,036	0,0063
<i>Hylobates lar moloch</i>	K	5	29,3514	1,3412	0,0536	0,0654	0,0681	0,0479	0,0278	0,0149	0,0092	0,0147	0
	K	6	19,5883	1,2627	0,0747	0,0768	0,0483	0,083	0,0538	0,0581	0,0242	0,0082	0
F. Große Menschenaffen (Pongidae)													
<i>Gorilla gorilla</i>	K	138	21,2283	1,9746	0,0643	0,069	0,0427	0,0508	0,066	0,0999	0,0488	0,0768	0,0116
	K	200	27,4433	1,3441	0,0678	0,0641	0,0578	0,0691	0,1133	0,1059	0,081	0,062	0,1993
	K	60	26,4457	1,554	0,1054	0,0984	0,0848	0,1008	0,1186	0,3009	0,1268	0,0366	0,0338
	K	82,5	30,1241	1,226	0,051	0,1067	0,1152	0,1262	0,1709	0,1774	0,0706	0,0401	0,002
	K	82,5	25,5818	1,3849	0,0446	0,0561	0,0704	0,0792	0,1544	0,219	0,1172	0,0341	0,0536
	K	115	21,9896	1,9312	0,0651	0,0898	0,0791	0,0775	0,074	0,0902	0,0996	0,0464	0
	K	90	34,796	1,9455	0,1877	0,1765	0,1195	0,1161	0,1236	0,1396	0,0909	0,0853	0,0885
	K	12,5	27,2405	2,1169	0,0689	0,12	0,0691	0,0565	0,0463	0,0885	0,118	0,0158	0
<i>Pongo pygmaeus</i>	K	110	32,05	2,4216	0,2064	0,3398	0,1728	0,1601	0,2285	0,089	0,0839	0	0
	K	4,5	29,0112	0,8483	0,0354	0,0331	0,0348	0,0573	0,1089	0,1065	0,0401	0,0028	0,0114
	K	59	33,191	1,2798	0,0623	0,0438	0,0363	0,0426	0,0782	0,096	0,0726	0,0148	0,0565
	K	66,5	30,4416	1,1926	0,0446	0,0522	0,0336	0,0757	0,1363	0,1046	0,0761	0,0234	0
	K	60	20,5198	1,3805	0,0762	0,0886	0,0965	0,091	0,0907	0,0651	0,0147	0,0085	0
<i>Pan troglodytes</i>	K	9	42,0469	0,9732	0,0773	0,1304	0,0976	0,0299	0,0455	0,0548	0,0142	0,0218	0
	K	79,5	24,6035	1,874	0,2332	0,2246	0,145	0,0653	0,0913	0,1002	0,0256	0	0
	K	63	23,0737	1,5729	0,169	0,088	0,0505	0,065	0,0838	0,1142	0,1967	0	0
	K	54	37,2809	2,0128	0,1784	0,1423	0,0632	0,0556	0,0804	0,176	0,0474	0,0232	0,0272
	K	55,6	25,4737	1,1724	0,0755	0,0836	0,0458	0,0231	0,0313	0,0657	0,0657	0,0438	0,0133
<i>Pan paniscus</i>	K	50,9	24,9253	1,8357	0,1023	0,1297	0,1528	0,115	0,0821	0,0387	0,1077	0,0631	0,0069

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

	*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS								
					0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm
<i>Pan paniscus</i>	K	43,6	24,7385	2,3802	0,1149	0,1882	0,1364	0,0958	0,1292	0,1113	0,1171	0,0558	0,0552
	K	42	19,1183	1,4163	0,0625	0,0753	0,0743	0,0522	0,1186	0,0504	0,1135	0,0874	0,0248
	K	29	21,537	1,7158	0,0572	0,1396	0,1433	0,1187	0,0899	0,0886	0,0551	0,0805	0,0398
	K	30,1	31,3386	1,9017	0,087	0,1653	0,2614	0,1855	0,1145	0,0314	0,0432	0,0044	0,0838
O. Nebengelenktiere (Xenartha)													
<i>Choloepus didactylus</i>	K	9	74,6988	3,5203	0,6296	0,9538	0,3671	0,1911	0,1233	0,0496	0	0	0
	K	11	35,6042	1,7873	0,1181	0,1196	0,0837	0,062	0,0717	0,0425	0	0	0
	K	9	59,6486	1,0587	0,0716	0,1563	0,0608	0,0476	0,0074	0,0342	0	0	0
	K	9	53,6919	2,1373	0,0915	0,1925	0,1501	0,0923	0,0187	0,018	0	0	0
	K	12	46,6687	3,2363	0,2834	0,1499	0,0711	0,0772	0,0768	0,0294	0	0	0
O. Nagetiere (Rodentia)													
F. Hörnchen (Sciuridae)													
<i>Marmota marmota</i>	K	5	50,7146	1,9231	0,0957	0,1609	0,0921	0,0346	0,0263	0,064	0,0246	0,002	0
<i>Marmota bobac</i>	K	5	51,8062	1,9884	0,1499	0,3499	0,1859	0,0471	0,0138	0,0035	0	0	0
<i>Sciurus carolinensis</i>	K	0,45	71,3454	0,2729	0,0272	0,0378	0,0295	0,0206	0,0073	0	0	0	0
<i>Sciurus variegatoides olgiby</i>	K	0,55	59,642	0,5274	0,0391	0,0912	0,0593	0,0504	0,0129	0,0027	0	0	0
<i>Xerus inauris</i>	K	0,75	62,9963	0,3155	0,0232	0,0288	0,0357	0,0451	0,0133	0,0033	0	0,0023	0
<i>Cynomys ludovicianus</i>	K	1,15	82,0546	1,6159	0,0423	0,1115	0,1738	0,1851	0,0561	1,0354	0,0117	0	0
F. Biber (Castoridae)													
<i>Castor fiber</i>	FW	30	12,68	0,8212	0,0489	0,0955	0,1613	0,1833	0,1511	0,0796	0,0326	0,013	0,0559
	FW	30	15,428	0,8354	0,059	0,0692	0,1044	0,1254	0,097	0,0888	0,0342	0,0284	0,0958
	FW	30	15,0633	0,9412	0,0434	0,1009	0,1606	0,1884	0,1731	0,0879	0,0704	0,0772	0,0393
<i>Castor canadensis</i>	K	30	19,3469	0,5258	0,0198	0,0432	0,0421	0,0322	0,0648	0,0655	0,0739	0	0
	K	30	19,1389	0,789	0,0066	0,0265	0,0502	0,0876	0,2007	0,2914	0,0596	0,0543	0,0121
F. Springhasen (Pedetidae)													
<i>Pedetes capensis</i>	K	3,5	94,8575	0,625	0,0856	0,109	0,0474	0,0282	0,0087	0,0017	0	0	0
F. Springmäuse (Dipodidae)													
<i>Jaculus jaculus</i>	K	0,055	93,6082	0,1608	0,0208	0,0378	0,023	0,0118	0,0035	0	0	0	0
F. Echte Mäuse (Muridae)													
<i>Mus musculus</i>	K	0,02	92,3996	0,1128	0,0211	0,0278	0,0194	0,0095	0,0014	0	0	0	0
<i>Micromys minutus</i>	K	0,006	90,4658	0,0675	0,008	0,0156	0,0135	0,0073	0,0025	0	0	0	0

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

	*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS								
					0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm
<i>Micromys minutus</i>	K	0,006	87,6066	0,0619	0,0074	0,0161	0,0103	0,0025	0,0008	0	0	0	0
<i>Lemniscomys barbarus</i>	K	0,04	85,1736	0,0947	0,0101	0,0162	0,0209	0,0122	0,0028	0	0	0	0
<i>Acomys russatus</i>	K	0,045	90,4141	0,1718	0,0114	0,0145	0,0177	0,0132	0,0045	0	0	0	0
	K	0,045	90,5577	0,0979	0,0091	0,0159	0,0177	0,0195	0,0089	0	0	0	0
<i>Mastomys natalensis</i>	K	0,065	82,5238	0,4879	0,0285	0,0701	0,0848	0,0774	0,0214	0,0014	0	0	0
<i>Arvicanthis niloticus</i>	K	0,1	84,3968	0,2203	0,0126	0,033	0,0335	0,0239	0,01	0	0	0	0
F. Wühler (Cricetidae)													
U.F. Hamster (Cricetinae)													
<i>Cricetulus griseus</i>	K	0,04	87,4847	0,1715	0,0163	0,0288	0,0408	0,024	0,0035	0	0	0	0
<i>Phodopus sungorus</i>	K	0,04	90,7171	0,0992	0,0179	0,0105	0,007	0,0029	0,0029	0	0	0	0
	K	0,04	86,2693	0,1932	0,0184	0,0332	0,0394	0,026	0,0045	0	0	0	0
	K	0,04	92,5983	0,1172	0,0138	0,0226	0,0243	0,016	0,0042	0	0	0	0
<i>Phodopus roborovskii</i>	K	0,03	91,5459	0,185	0,012	0,0224	0,0208	0,0106	0,002	0	0	0	0
	K	0,03	90,7957	0,1479	0,0118	0,0243	0,0377	0,0269	0,0031	0	0	0	0
U.F. Madagaskar-Ratten (Nesomyinae)													
<i>Hypogeomys antimena</i>	K	1,3	88,0514	0,2912	0,016	0,041	0,0361	0,0254	0,0102	0,0013	0	0	0
	K	1,4	47,9332	0,2941	0,0161	0,0259	0,024	0,0238	0,0153	0,0021	0,0028	0	0
U.F. Wühlmäuse (Arvicolinae)													
<i>Microtus fortis</i>	K	0,045	89,854	0,9386	0,0254	0,0239	0,0087	0,0035	0,0009	0	0	0	0
<i>Microtus brandti</i>	K	0,045	75,7045	0,3354	0,0835	0,0713	0,0268	0,0054	0,0026	0	0	0	0
U.F. Rennmäuse (Gerbillinae)													
<i>Meriones unguiculatus</i>	M	0,0407	22,036	0,0992	0,0115	0,0321	0,0272	0,0111	0,0073	0	0	0	0
	M	0,0405	-	0,2781	0,1943	0,035	0,0372	0,0087	0,0029	0	0	0	0
	M	0,0402	18,4435	0,0511	0,0074	0,0138	0,0176	0,0113	0,001	0	0	0	0
	M	0,0337	38,2673	0,2231	0,0207	0,0492	0,0458	0,0176	0	0	0	0	0
	M	0,0552	-	0,0758	0,014	0,0252	0,0179	0,0116	0,0071	0	0	0	0
	M	0,0537	-	0,0444	0,0062	0,0107	0,0125	0,0112	0,0038	0	0	0	0
	M	0,0686	-	0,1749	0,0182	0,0532	0,061	0,0286	0,0139	0	0	0	0
	M	0,0508	50,328	0,6151	0,0448	0,0859	0,1243	0,0414	0,0121	0	0	0	0
	M	0,0296	-	0,0321	0,0052	0,0158	0,0097	0,0013	0,0001	0	0	0	0
	C	0,0405	17,0483	0,0308	0,0043	0,0043	0,0046	0,0033	0	0	0	0	0

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage	g TS								
			(gTS)	0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm
<i>Meriones unguiculatus</i>												
C	0,0407	-	0,0487	0,0059	0,0161	0,017	0,0064	0,0033	0	0	0	0
C	0,0537	31,6014	0,104	0,0148	0,0255	0,014	0,0108	0	0	0	0	0
C	0,0552	-	0,0306	0,0078	0,0095	0,0082	0,0051	0	0	0	0	0
C	0,0402	-	0,0279	0,0057	0,0085	0,0077	0,0042	0,0018	0	0	0	0
C	0,0337	-	0,0142	0,0033	0,005	0,0035	0,0024	0	0	0	0	0
C	0,0296	-	0,0169	0,006	0,0078	0,0019	0,0012	0	0	0	0	0
C	0,0508	-	0,039	0,0096	0,0125	0,0109	0,0056	0,0004	0	0	0	0
CL	0,0337	-	0,0182	0,0042	0,0061	0,0043	0,0036	0	0	0	0	0
CL	0,0686	-	0,0754	0,0148	0,0236	0,0202	0,0131	0,0037	0	0	0	0
CL	0,0598	-	0,1016	0,016	0,0328	0,0369	0,0153	0,0006	0	0	0	0
CL	0,0552	-	0,0225	0,0042	0,0069	0,0076	0,0026	0,0012	0	0	0	0
CL	0,0454	-	0,0225	0,0041	0,0066	0,0055	0,0039	0,0024	0	0	0	0
CL	0,0545	-	0,0455	0,0079	0,0117	0,0134	0,0084	0,0041	0	0	0	0
CL	0,0537	-	0,0321	0,0063	0,0101	0,0085	0,0072	0	0	0	0	0
CL	0,0493	-	0,0568	0,0075	0,0206	0,0229	0,0058	0	0	0	0	0
CL	0,0508	-	0,0335	0,0067	0,0102	0,0113	0,0053	0	0	0	0	0
CL	0,0296	-	0,0307	0,0097	0,0145	0,0037	0,0028	0	0	0	0	0
CL	0,065	-	0,0159	0,0051	0,008	0,0025	0,0003	0	0	0	0	0
<i>Meriones meridianus</i>												
M	0,0407	-	0,0655	0,0148	0,0261	0,0189	0,0047	0,001	0	0	0	0
M	0,057	-	0,0299	0,0059	0,0088	0,0081	0,0045	0,0026	0	0	0	0
M	0,0638	51,4505	0,615	0,0333	0,0617	0,1075	0,0434	0,0054	0	0	0	0
M	0,0702	51,9804	0,896	0,0293	0,0757	0,2361	0,1381	0,0274	0	0	0	0
M	0,0344	-	0,072	0,011	0,0232	0,0232	0,0114	0,0032	0	0	0	0
M	0,0437	-	0,1135	0,0175	0,039	0,0436	0,0124	0,001	0	0	0	0
M	0,0399	37,7857	0,4744	0,0318	0,0584	0,0955	0,0714	0,0136	0	0	0	0
M	0,0421	46,8116	0,532	0,0477	0,1084	0,123	0,0616	0,0039	0	0	0	0
C	0,0451	-	0,0239	0,0059	0,009	0,0058	0,0032	0	0	0	0	0
C	0,0407	-	0,026	0,0096	0,0089	0,0042	0,0033	0	0	0	0	0
C	0,0638	-	0,0241	0,0077	0,0067	0,0047	0,0029	0,0021	0	0	0	0
C	0,057	24,6584	0,0315	0,0023	0,0041	0,0037	0,0051	0	0	0	0	0
C	0,0344	-	0,0141	0,0055	0,0029	0,0021	0,0034	0,0002	0	0	0	0
C	0,0421	-	0,019	0,0052	0,0074	0,0036	0,0028	0	0	0	0	0

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS									
				0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm	
<i>Meriones meridianus</i>													
C	0,0437	-	0,0234	0,0074	0,0087	0,0048	0,0025	0	0	0	0	0	0
C	0,0399	20,3356	0,0576	0,0051	0,006	0,0039	0,0012	0	0	0	0	0	0
C	0,0702	-	0,0273	0,0076	0,0084	0,0065	0,0048	0	0	0	0	0	0
CL	0,0344	-	0,0092	0,0025	0,0021	0,003	0,0016	0	0	0	0	0	0
CL	0,0451	-	0,064	0,0066	0,014	0,0185	0,019	0,0059	0	0	0	0	0
CL	0,0664	-	0,0137	0,0046	0,0037	0,0022	0,0032	0	0	0	0	0	0
CL	0,0927	-	0,0898	0,008	0,0093	0,0692	0,0033	0	0	0	0	0	0
CL	0,0702	-	0,0178	0,0051	0,0061	0,003	0,0036	0	0	0	0	0	0
CL	0,0421	-	0,0046	0,0007	0,0021	0,0018	0	0	0	0	0	0	0
CL	0,0453	-	0,0113	0,0025	0,0036	0,0041	0,0011	0	0	0	0	0	0
CL	0,0437	-	0,0092	0,0031	0,0036	0,0016	0,0009	0	0	0	0	0	0
CL	0,0407	-	0,0222	0,0082	0,0073	0,0034	0,0033	0	0	0	0	0	0
CL	0,0749	-	0,0635	0,0151	0,0245	0,0131	0,0052	0,0056	0	0	0	0	0
CL	0,0589	-	0,2454	0,064	0,0913	0,0678	0,0208	0,0015	0	0	0	0	0
CL	0,498	-	0,0317	0,0061	0,0112	0,009	0,0043	0,0011	0	0	0	0	0
CL	0,06	-	0,077	0,0097	0,0193	0,0213	0,0154	0,0113	0	0	0	0	0
<i>Gerbillus perpallidus</i>													
K	0,04	88,1437	0,1323	0,0136	0,0265	0,0194	0,0119	0,005	0	0	0	0	0
K	0,04	91,6832	0,0993	0,01	0,0194	0,0154	0,0078	0,0028	0	0	0	0	0
<i>Skeetamys calurus</i>													
K	0,06	92,1207	0,133	0,0164	0,0128	0,0188	0,0107	0,0077	0	0	0	0	0
U.F. Hamsterratten (<i>Cricetomyinae</i>)													
<i>Cricetomys emini</i>													
K	1,25	88,2928	0,3076	0,0301	0,0478	0,0467	0,0224	0,0227	0	0	0	0	0
F. Bilche oder Schläfer (<i>Glirinae</i>)													
<i>Graphiurus murinus</i>													
K	0,025	88,1278	0,2373	0,0174	0,0311	0,0394	0,0374	0,0171	0	0	0	0	0
F. Gundis (<i>Ctenodactylidae</i>)													
<i>Ctenodactyles gundi</i>													
K	0,25	76,2162	0,3455	0,0273	0,0816	0,0614	0,0172	0,0054	0	0	0	0	0
F. Stachelschweine (<i>Hystricidae</i>)													
<i>Hystrix cristata</i>													
K	20	74,279	1,9229	0,1714	0,1081	0,1181	0,1508	0,2196	0,198	0,0636	0,0112	0	0
K	20	74,279	1,5169	0,1235	0,143	0,1292	0,1345	0,1307	0,0314	0,0255	0,0951	0,0069	0
K	20	74,279	1,3526	0,1159	0,1267	0,1293	0,1323	0,1237	0,1206	0,0384	0,0042	0	0
K	20	74,279	1,196	0,1141	0,1811	0,126	0,0894	0,0574	0,0353	0,0461	0,0083	0,075	0
K	20	74,279	2,3209	0,2708	0,2555	0,2095	0,1681	0,0839	0,0629	0,0282	0,0338	0,0172	0
<i>Hystrix africaeaustralis</i>													
K	20	40,877	1,0151	0,0555	0,0459	0,0898	0,1158	0,152	0,0881	0,0282	0,0103	0,0032	0

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS									
				0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm	
<i>Hystrix indica</i>	K	20	31,5096	1,2783	0,0795	0,1237	0,1051	0,1249	0,1452	0,0618	0,0189	0,0071	0
	K	20	44,1425	1,5065	0,077	0,155	0,1491	0,1033	0,0853	0,0456	0,04	0,0106	0
<i>Atherurus africanus</i>	K	1,75	45,7589	1,5191	0,1533	0,2446	0,1194	0,0547	0,0619	0,0048	0	0,0026	0
F. Felsenratten (Petromuridae)													
<i>Petromus typicus</i>	K	0,2	90,6749	0,2484	0,0274	0,0495	0,0418	0,0188	0,0075	0	0	0	0
F. Sandgräber (Bathyergidae)													
<i>Heterocephalus glaber</i>	K	0,052	85,7851	0,2954	0,0171	0,0276	0,027	0,0229	0,0052	0,0118	0	0	0
	K	0,052	84,6716	0,3208	0,0174	0,0274	0,0328	0,0372	0,0224	0	0	0	0
F. Hasenmäuse (Chinchillidae)													
<i>Lagostomus maximus</i>	M	0,572	17,2107	0,196	0,0118	0,0162	0,0086	0,0049	0,0008	0	0	0	0
	M	4	20,0939	0,6936	0,0726	0,1781	0,11	0,0621	0,0053	0	0	0	0
	M	4,33	15,0399	0,5618	0,0518	0,106	0,1444	0,0799	0,0186	0,0054	0,0383	0	0
	M	4,33	15,5423	0,678	0,0873	0,171	0,1376	0,0337	0,0025	0	0	0	0
	M	4,53	16,499	0,5985	0,0738	0,2003	0,1099	0,0256	0,003	0	0	0	0
	M	3,62	18,3861	0,7894	0,0793	0,1961	0,24	0,1513	0,0234	0	0	0	0
	C	0,572	21,507	0,2915	0,03	0,0469	0,0447	0,0085	0,0024	0	0	0	0
	C	4	14,8821	0,3843	0,0225	0,0861	0,1493	0,05	0,0049	0	0	0	0
	C	4,33	10,8533	0,2988	0,0178	0,0677	0,1145	0,0519	0,0174	0,0037	0	0	0
	C	3,62	13,4237	0,5082	0,045	0,1519	0,1695	0,0395	0,0056	0	0	0	0
	C	4,33	12,6143	0,5695	0,0554	0,1471	0,0994	0,0343	0,0112	0	0	0	0
	C	4,53	13,2026	0,4483	0,0434	0,1149	0,0803	0,0256	0,0047	0	0	0	0
	CL	4	29,2532	0,5778	0,0593	0,1657	0,1632	0,0764	0,0309	0	0	0	0
	CL	4,33	18,74	0,478	0,0315	0,0772	0,1606	0,0968	0,0275	0,0169	0	0	0
	CL	0,572	37,6958	0,34	0,0401	0,1084	0,0531	0,0055	0,0053	0	0	0	0
	R	4,33	37,1998	0,3439	0,0421	0,1024	0,07	0,0259	0,0043	0	0	0	0
	CL	3,62	16,0505	0,6453	0,0883	0,2394	0,2205	0,0444	0,0042	0	0	0	0
	R	4,53	34,1075	0,1829	0,025	0,0637	0,0444	0,0131	0,0035	0	0	0	0
	H	5	86,1788	0,9657	0,1102	0,3652	0,1862	0,0417	0,0016	0,0002	0	0	0
	H	3,65	82,4655	1,0355	0,1687	0,3908	0,1865	0,0324	0,0011	0	0	0	0
	H	4,9	83,4595	0,9858	0,1642	0,2814	0,2059	0,0338	0,0009	0	0	0	0
	H	3,9	82,9609	0,9843	0,1125	0,3979	0,2223	0,0384	0,0021	0	0	0	0
	H	3,2	84,6302	0,9776	0,1197	0,3763	0,2172	0,0413	0,0034	0	0	0	0

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

	*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS								
					0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm
<i>Lagostomus maximus</i>	HP	5	84,6192	1,1017	0,1241	0,2413	0,2313	0,1041	0,0137	0	0	0	0
	HP	3,65	88,8626	1,2642	0,183	0,3174	0,2913	0,0508	0,0055	0	0	0	0
	HP	4,9	81,3293	1,4978	0,1984	0,4339	0,2855	0,0707	0,0042	0	0	0	0
	HP	3,9	83,9206	1,1472	0,1215	0,4023	0,3112	0,0657	0,0133	0	0	0	0
	HP	3,2	85,9639	1,2454	0,1681	0,4113	0,2601	0,0394	0,0025	0	0	0	0
<i>Chinchilla chinchilla</i>	K	0,6	60,7893	0,3256	0,084	0,0525	0,0231	0,0058	0,0039	0	0	0	0
	K	0,5	71,4468	0,3416	0,0843	0,0644	0,0175	0,0062	0	0	0	0	0
	K	0,55	71,1562	0,1354	0,0209	0,0297	0,0201	0,0083	0,0032	0	0	0	0
F. Meerschweinchen (Caviidae)													
U.F. Eigentliche Meerschweinchen (Caviinae)													
<i>Cavia aperea f. porcellus</i>	K	0,8	33,5486	0,2609	0,0663	0,0395	0,0101	0,003	0,0013	0	0	0	0
	K	0,8	44,5219	0,2313	0,0437	0,0592	0,0227	0,0063	0	0	0	0	0
	K	0,7	46,1014	0,1647	0,0357	0,0193	0,005	0,0005	0,001	0	0	0	0
	K	0,7	53,8018	0,3428	0,068	0,0608	0,0073	0,0048	0,0014	0	0	0	0
	K	0,9	50,9613	0,3405	0,0768	0,0448	0,0136	0,0027	0	0	0	0	0
	K	0,8	35,0939	0,9475	0,202	0,228	0,1027	0,0126	0,0003	0	0	0	0
<i>Cavia aperea</i>	K	0,625	74,1201	0,2967	0,0813	0,0586	0,011	0,003	0	0	0	0	0
	K	0,625	62,0858	0,5567	0,1706	0,1327	0,0436	0,0085	0,0011	0	0	0	0
	K	0,625	73,4534	0,6192	0,1393	0,1657	0,0712	0,0156	0	0	0	0	0
<i>Galea musteloides</i>	K	0,45	89,356	0,4759	0,1476	0,1237	0,0449	0,008	0	0	0	0	0
<i>Kerodon rupestris</i>	K	0,75	60,1255	0,5832	0,0832	0,1314	0,0612	0,0113	0,0037	0	0	0	0
U.F. Maras (Dolichotinae)													
<i>Dolichotis patagonum</i>	K	7,5	63,9449	0,571	0,0707	0,1465	0,1387	0,0799	0,0083	0	0	0	0
	K	7,5	76,0658	0,7149	0,0855	0,204	0,1438	0,0415	0,0029	0	0	0,0028	0
	K	7,5	72,0025	0,6474	0,0667	0,1777	0,13	0,0521	0,0074	0	0	0	0
	K	7	34,1114	0,65	0,067	0,1754	0,1711	0,0702	0,0156	0	0	0	0
	K	8	43,7001	0,2839	0,0247	0,061	0,0613	0,0332	0,0108	0,0004	0,0012	0	0
F. Riesennager (Hydrochaeridae)													
<i>Hydrochaerus hydrochaeris</i>	H	40	22,2965	1,4212	0,0729	0,2794	0,4489	0,3247	0,0213	0,0142	0	0,0021	0
	H	40	24,2477	2,1593	0,128	0,4866	0,5557	0,4733	0,0777	0,0351	0,0071	0,0116	0
	H	40	24,1554	1,7013	0,2916	0,4001	0,4508	0,1772	0,0244	0,0209	0,0075	0,0059	0
	HP	40	18,5235	1,6635	0,1624	0,403	0,7034	0,1975	0,024	0,0134	0,0012	0	0

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

	*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS								
					0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm
<i>Hydrochaerus hydrochaeris</i>	HP	40	26,6126	2,1497	0,218	0,595	0,7337	0,2889	0,0271	0,02	0	0,0011	0
F. Agutis (<i>Dasyproctidae</i>)													
<i>Dasyprocta</i>	K	3,25	64,4782	1,3093	0,0482	0,1554	0,1177	0,0507	0,0483	0,0256	0,0055	0	0
<i>Dasyprocta leporina</i>	K	3,25	52,1714	0,7324	0,0898	0,1621	0,0637	0,0452	0,0191	0	0	0	0
	K	3,25	43,3484	0,6567	0,0177	0,0297	0,0693	0,075	0,0787	0,0241	0	0	0
<i>Dasyprocta azarae</i>	K	3	61,4319	0,7824	0,0714	0,0777	0,044	0,0365	0,0582	0,0128	0,0109	0	0
F. Trugratten (<i>Octodontidae</i>)													
<i>Octodon degus</i>	K	0,23	66,1621	0,527	0,0516	0,1047	0,0622	0,0128	0,0025	0	0	0	0
<i>Octodon degus</i>	K	0,23	61,4219	0,3873	0,0632	0,0951	0,0511	0,0091	0,0003	0	0	0	0
<i>Spalacopus cyanus</i>	K	0,09	88,8163	0,1577	0,0209	0,0374	0,0242	0,0099	0,0019	0	0	0	0
F. Baum- und Ferkelratten (<i>Capromyidae</i>)													
<i>Capromys pilorides</i>	K	5,5	88,8413	1,0228	0,2438	0,2383	0,0677	0,0207	0,0025	0	0	0	0
	K	5	88,0669	0,4559	0,0882	0,0749	0,0216	0,0031	0	0	0	0	0
	K	4,5	82,4038	0,7992	0,1669	0,1611	0,0438	0,019	0,0072	0	0	0	0
F. Biberratten (<i>Myocastoridae</i>)													
<i>Myocastor coypus</i>	K	6	58,0809	1,3485	0,0759	0,1295	0,1226	0,0523	0,0562	0,0639	0,0082	0	0
	K	8	9,626	0,2196	0,0104	0,0224	0,0205	0,0164	0,01	0,007	0	0	0
	K	8	11,6553	0,4993	0,0394	0,0558	0,0491	0,0342	0,0228	0,0141	0,0286	0	0
	K	8	8,677	0,285	0,0146	0,0318	0,0361	0,0337	0,017	0,0115	0	0	0
	K	8	14,2257	0,5495	0,0386	0,0538	0,0834	0,0811	0,027	0,0056	0,0032	0,0033	0
O. Raubtiere (<i>Carnivora</i>)													
F. Katzenbären (<i>Ailuridae</i>)													
<i>Ailurus fulgens</i>	K	5	28,1563	1,1458	0,0307	0,0804	0,1566	0,1941	0,1105	0,0808	0,0152	0,0115	0,0031
	K	5	23,5254	0,5691	0,0422	0,1	0,1378	0,1049	0,0571	0,013	0,0032	0,0016	0
	K	5	32,9386	0,5947	0,0229	0,0683	0,1185	0,1315	0,0879	0,0371	0,0096	0	0
	K	5	26,5741	4,1254	0,149	0,473	0,6596	0,7923	0,5061	0,3117	0,2157	0,0839	0
	K	5	12,7982	0,4707	0,0157	0,0476	0,0966	0,1284	0,0902	0,038	0,0405	0,0007	0
F. Bambusbären (<i>Ailuropodidae</i>)													
<i>Ailuropoda melanoleuca</i>	K	90	43,2182	3,7151	0,0538	0,0567	0,0842	0,099	0,2101	0,3372	1,354	0,3833	0,7467
	K	100	29,7356	1,7335	0,0166	0,0488	0,1047	0,1611	0,3008	0,4889	0,2123	0,1357	0,0536
	K	110	24,7551	1,7204	0,025	0,0663	0,1274	0,1562	0,2132	0,2458	0,1892	0,2223	0,1349

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

	*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS								
					0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm
<i>Ailuropoda melanoleuca</i>	K	90	31,3956	1,3957	0,0156	0,046	0,1145	0,1392	0,2046	0,4521	0,2159	0,1325	0,0753
	K	110	33,3543	3,5217	0,0211	0,0512	0,1036	0,1835	0,1994	0,3478	0,2475	0,2958	1,8196
	K	110	33,3543	1,7415	0,0117	0,0276	0,0541	0,0965	0,0948	0,16	0,1508	0,1628	0,6965
	K	90	32,683	1,8022	0,0171	0,0353	0,0909	0,1353	0,1397	0,2399	0,3212	0,3135	0,3009
	K	90	33,9826	2,8583	0,0544	0,0933	0,1157	0,1739	0,2082	0,5243	0,7734	0,2754	0,1927
O. Hasentiere (Lagomorpha)													
F. Hasenartige (Leporidae)													
<i>Oryctolagus cuniculus f. domestica</i>	M	4	17,136	0,9373	0,0328	0,1178	0,1713	0,1824	0,0381	0	0	0	0
	M	4	15,7409	0,6627	0,0184	0,0615	0,1119	0,1331	0,0388	0,002	0	0	0
	M	4	16,3371	0,6677	0,0312	0,1166	0,1232	0,1091	0,0262	0	0	0	0
	M	4	15,0673	0,8413	0,0316	0,0828	0,1863	0,2078	0,036	0,0017	0	0	0
	M	4	18,1398	0,887	0,0348	0,1204	0,133	0,1719	0,0406	0,007	0,0043	0	0
	C	4	19,8832	0,7288	0,0159	0,0611	0,0533	0,0412	0,0078	0,0026	0	0	0
	C	4	20,0297	0,7729	0,0173	0,0662	0,0703	0,0697	0,0129	0,001	0	0	0
	C	4	19,2298	0,4805	0,0132	0,0368	0,0421	0,0288	0,0084	0,0013	0	0	0
	C	4	16,7825	0,5765	0,0172	0,0679	0,0497	0,022	0,0097	0,0001	0	0	0
	C	4	17,8739	0,5937	0,0147	0,0603	0,0437	0,0416	0,0093	0,0015	0	0	0
	CK	4	23,485	0,3467	0,0098	0,0299	0,0292	0,0353	0,0114	0,0001	0	0	0
	K	4	21,1092	0,7153	0,0356	0,1025	0,1369	0,1027	0,0247	0,0029	0	0	0
	K	4	18,4376	0,5223	0,0166	0,0541	0,064	0,0627	0,0121	0,0013	0	0	0
	K	4	17,0145	0,363	0,012	0,0492	0,0498	0,0267	0,0089	0,0001	0	0	0
	K	4	21,4273	0,4749	0,0125	0,0383	0,0424	0,0295	0,007	0,0005	0	0	0
	K	4	19,2483	0,5299	0,0117	0,0386	0,0463	0,0484	0,0099	0	0	0	0
<i>Lepus europaeus</i>	FW	4,5	33,1889	0,1443	0,0109	0,0324	0,0448	0,0139	0,0038	0	0	0	0
	FW	4,5	29,4355	0,1958	0,0164	0,0402	0,0436	0,0342	0,0037	0,0012	0	0	0
	FW	4,5	39,4989	0,1785	0,0116	0,0391	0,0395	0,0229	0,0013	0,0012	0	0	0
	FW	4,5	48,8408	0,265	0,0116	0,0382	0,0415	0,0478	0,0218	0	0	0	0
	FW	4,5	37,2172	0,1144	0,0077	0,0293	0,0326	0,017	0,0027	0	0	0	0
O. Rüsseltiere (Proboscidae)													
F. Elefanten (Elephantidae)													
<i>Loxodonta africana</i>	M	3140	-	0,8991	0,0529	0,0625	0,1547	0,2047	0,1147	0,1725	0,0512	0,0136	0,0723
	C	3140	-	0,6007	0,0551	0,0546	0,0983	0,1178	0,0775	0,1192	0,0424	0,0358	0

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS										
				0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm		
<i>Loxodonta africana</i>														
R	3140	-	0,5954	0,0217	0,0423	0,0918	0,1122	0,0853	0,1638	0,0407	0,0376	0		
K	4000	15,979	1,4518	0,0707	0,1185	0,0967	0,111	0,1238	0,1469	0,136	0,127	0,2133		
K	3900	23,3199	1,7302	0,0818	0,111	0,2055	0,2792	0,2101	0,3404	0,15	0,1528	0,0219		
K	4300	27,4261	3,1049	0,0811	0,1882	0,1914	0,2441	0,2405	0,3671	0,2968	0,1749	0,0416		
K	3500	23,5794	1,6342	0,0844	0,1476	0,1181	0,1116	0,1527	0,1958	0,1733	0,2281	0,1126		
K	3000	20,337	1,4557	0,0889	0,1409	0,1021	0,167	0,1618	0,1571	0,04	0,2001	0,116		
K	2250	21,0174	1,1562	0,0455	0,0536	0,0759	0,1168	0,0523	0,1608	0,1037	0,1752	0,1669		
K	900	19,4328	1,1633	0,0564	0,0653	0,0939	0,0938	0,1084	0,1336	0,1186	0,137	0,1114		
K	3300	20,6666	0,8805	0,0393	0,0648	0,0637	0,1184	0,0411	0,118	0,0538	0,0974	0,1386		
K	3300	21,0823	2,6811	0,0758	0,1391	0,2222	0,2898	0,2074	0,3841	0,4774	0,4134	0,4573		
K	2250	19,694	1,1509	0,0552	0,0792	0,0661	0,1096	0,1528	0,1692	0,0622	0,0695	0,1557		
K	500	23,1558	1,5147	0,0736	0,1388	0,1592	0,172	0,1904	0,1693	0,0723	0,1104	0,1928		
K	3500	23,0238	1,138	0,0526	0,0717	0,0877	0,0959	0,1331	0,1629	0,0912	0,1575	0,1644		
<i>Elephas maximus</i>														
M	4227	23,0807	3,8273	0,3401	0,2871	0,3082	0,3623	0,2408	0,2471	0,2003	0,2547	0,2438		
CP	4227	13,8044	1,2426	0,0541	0,1116	0,1499	0,1768	0,2013	0,1584	0,1365	0,0994	0,0077		
CZ	4227	15,824	1,2504	0,0558	0,078	0,147	0,1333	0,1611	0,2001	0,1433	0,0034	0		
CLP	4227	16,91	1,2236	0,0744	0,1197	0,1777	0,1575	0,1237	0,1908	0,1016	0,0349	0,0113		
CLP	4227	15,0327	1,3648	0,0769	0,137	0,1525	0,1886	0,1763	0,1408	0,0971	0,0759	0,0091		
CLZ	4227	14,1925	1,2591	0,1101	0,1285	0,18	0,1479	0,1726	0,1799	0,0901	0,1584	0,005		
CLZ	4227	16,7505	2,3388	0,1408	0,18	0,2598	0,227	0,2056	0,3145	0,1563	0,0751	0		
K	3000	22,0376	1,2554	0,0449	0,1152	0,1099	0,1048	0,2083	0,1744	0,0857	0,1352	0,1797		
K	3624	26,4081	1,765	0,0859	0,2315	0,2209	0,2161	0,1704	0,2864	0,2791	0,2103	0,0644		
K	2067	17,9784	0,8328	0,0366	0,0561	0,0505	0,0819	0,0853	0,1211	0,1356	0,0641	0,0878		
K	3256	23,7398	1,827	0,0796	0,1095	0,1247	0,1408	0,1006	0,1632	0,0807	0,1011	0,7589		
K	2250	21,1242	3,9106	0,1589	0,4117	0,3256	0,2866	0,1785	0,5067	0,1594	0,5667	0,3767		
K	3320,6	22,9724	4,14	0,0654	0,2754	0,2665	0,3518	0,6125	0,7633	0,3514	0,1831	0,567		
K	3000	24,633	4,0796	0,1213	0,2984	0,4087	0,4018	0,1929	0,6565	0,3047	0,2666	0,2428		
K	3500	26,0758	5,5223	0,2056	0,3225	0,6348	0,6951	0,632	0,9672	0,6753	0,2563	0,1287		
K	4000	25,0041	1,7357	0,0608	0,1005	0,0935	0,101	0,1677	0,2678	0,2595	0,0863	0,3184		
K	4227	20,0551	1,7573	0,1085	0,1667	0,2281	0,2068	0,2018	0,2289	0,191	0,1206	0		
K	2800	22,9935	1,3485	0,0369	0,066	0,1075	0,1275	0,0836	0,1047	0,0314	0,0304	0,4518		
K	1349	21,056	1,3737	0,0945	0,1135	0,1203	0,0905	0,1226	0,1979	0,1731	0,0235	0,046		
K	3919	21,0515	3,5829	0,0763	0,2639	0,2522	0,2411	0,2466	0,3972	0,4785	0,2849	0,7116		

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

	*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS								
					0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm
<i>Elephas maximus</i>	K	3725	20,0447	1,2885	0,0684	0,087	0,1327	0,0874	0,1898	0,2009	0,0565	0,1428	0,0547
	K	3676	21,6153	1,6381	0,083	0,1025	0,1818	0,2248	0,104	0,2875	0,1565	0,1653	0,0543
	K	1931	17,8383	0,8585	0,0421	0,0542	0,0987	0,0625	0,0857	0,1287	0,0698	0,0778	0,1148
	K	3500	26,1796	1,8227	0,063	0,1439	0,1582	0,137	0,1467	0,2802	0,083	0,2337	0,0397
	K	4161,5	23,8485	2,1939	0,0245	0,0484	0,0827	0,1465	0,1028	0,1069	0,1618	0,1224	1,3979
O. Seekühe (Sirenia)													
F. Rundschwanz-Seekühe (Trichechidae)													
<i>Trichechus manatus</i>	K	900	31,8797	1,6563	0,0659	0,1209	0,0945	0,1083	0,15	0,3467	0,2878	0,0149	0
	K	900	21,4342	0,7164	0,056	0,051	0,0492	0,0389	0,0481	0,0324	0,0139	0,0838	0,1233
	K	80	15,8326	0,8787	0,0819	0,0743	0,1075	0,0615	0,0817	0,1169	0,044	0,113	0,0262
	K	800	19,1462	0,6178	0,0549	0,0407	0,0364	0,0435	0,0467	0,0454	0,0274	0,049	0,0369
	K	800	22,1001	0,7511	0,0698	0,0348	0,0249	0,018	0,061	0,0387	0,0286	0,0213	0,0872
O. Schliefer (Hyracoidea)													
F. Schliefer i.e.S. (Procaviidae)													
<i>Procavia capensis</i>	K	3	22,6699	1,2956	0,091	0,1741	0,1505	0,1213	0,0737	0,0512	0,0068	0	0
	K	3,15	34,209	0,6368	0,0412	0,0347	0,0409	0,0354	0,0502	0,0113	0,0049	0,0091	0,0136
O. Unpaarhufer (Perissodactyla)													
F. Pferde (Equidae)													
<i>Equus quagga boehmi</i>	K	250	19,2415	3,3339	0,1649	0,3767	0,5377	0,1565	0,313	0,5214	0,1943	0,1451	0
	K	300	21,1235	0,8694	0,0511	0,1291	0,1275	0,1094	0,1557	0,0915	0,0239	0,0088	0,002
	K	250	24,0629	4,0881	0,2162	0,3118	0,4076	0,2863	0,2047	0,4412	0,1375	0,2031	0,1779
	K	300	18,1672	0,684	0,0488	0,0971	0,0843	0,061	0,0894	0,0816	0,0109	0,0282	0
	K	300	22,1274	0,671	0,0659	0,0908	0,1551	0,0993	0,0491	0,0251	0,0239	0,0104	0
<i>Equus quagga chapmani</i>	K	250	20,5705	3,2938	0,1339	0,3234	0,3888	0,377	0,3013	0,2278	0,3895	0,2719	0,0037
	K	300	21,3162	1,1496	0,0799	0,2136	0,1649	0,1875	0,1222	0,0927	0,0065	0,011	0
	K	300	21,8347	1,2577	0,0685	0,207	0,1972	0,2481	0,1382	0,1083	0,0139	0,0085	0,0018
	K	300	25,1763	0,7311	0,0759	0,1308	0,1044	0,1179	0,0762	0,0401	0,002	0,0098	0,0093
	K	300	22,9013	0,9816	0,0758	0,1617	0,1715	0,1621	0,1067	0,0626	0,0102	0,0044	0
<i>Equus quagga antiquorum</i>	K	200	19,7196	3,4508	0,1985	0,5206	0,4321	0,3401	0,1099	0,5256	0,3196	0,0387	0
	K	250	21,5727	1,2697	0,0978	0,2062	0,229	0,1771	0,0695	0,1411	0,031	0,0062	0
	K	200	21,2742	1,7347	0,1034	0,2698	0,295	0,2528	0,073	0,2172	0,0163	0,0089	0
<i>Equus quagga burchelli</i>	K	230	19,7863	1,2261	0,0675	0,1512	0,2421	0,1464	0,112	0,1595	0,0299	0,0011	0

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

	*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS								
					0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm
<i>Equus quagga burchelli</i>	K	200	21,9793	1,8009	0,1024	0,2259	0,3056	0,2649	0,1352	0,2372	0,0283	0,0091	0
<i>Equus zebra hartmannae</i>	K	300	26,4662	1,0345	0,0781	0,1697	0,1856	0,1277	0,139	0,0517	0,0035	0	0
	K	300	23,2407	2,8448	0,2413	0,4292	0,5228	0,4244	0,1826	0,5822	0,0871	0,0161	0
	K	320	27,0243	4,2108	0,205	0,4204	0,5932	0,6238	0,2802	0,4918	0,3788	0,0725	0
	K	350	23,6206	1,4281	0,0533	0,1927	0,2394	0,2442	0,1354	0,1406	0,0058	0,0064	0
	K	300	23,5679	3,4529	0,1235	0,4543	0,5212	0,5712	0,2688	0,4088	0,1473	0,007	0
<i>Equus grevyi</i>	K	350	26,2346	0,939	0,0716	0,0859	0,3091	0,1444	0,0972	0,0397	0	0	0
	K	350	27,5172	4,6081	0,1726	0,6731	0,3935	0,6968	0,6725	0,0723	0,2918	0,5261	0
	K	330	24,1369	2,8377	0,1126	0,262	0,48	0,4306	0,232	0,3768	0,206	0,0539	0,0071
	K	350	22,3872	2,0138	0,0594	0,2887	0,2864	0,3178	0,1667	0,2893	0,0102	0	0
	K	330	24,0156	2,6466	0,1172	0,2949	0,3579	0,4028	0,1691	0,3246	0,1656	0,0692	0,0479
<i>Equus africanus somalicus</i>	K	250	26,4796	4,1187	0,1152	0,5575	0,53	0,5858	0,409	0,6012	0,15	0,0098	0,004
	K	275	28,1386	0,6372	0,0377	0,1052	0,1507	0,174	0,0436	0,0076	0,0214	0,0027	0
	K	300	22,3478	3,4498	0,1619	0,4829	0,4459	0,4255	0,2255	0,4262	0,2412	0,1368	0
	K	250	26,4946	4,5456	0,1435	0,5137	0,4095	0,5818	0,6337	0,3244	0,2221	0,0185	0,0031
<i>Equus africanus f. asinus</i>	K	275	20,115	0,9899	0,0926	0,2188	0,2177	0,1442	0,0909	0,011	0,0022	0,0021	0
Hausesesel	K	275	26,2635	1,4536	0,141	0,2726	0,2708	0,2202	0,167	0,0782	0,0105	0,0088	0
Zwergesel	K	90	26,0855	2,1409	0,2037	0,3264	0,2759	0,2317	0,0939	0,1308	0,013	0,0346	0,0123
	K	90	36,2031	3,1156	0,4334	0,5746	0,5121	0,2622	0,1111	0,1693	0,0802	0,071	0,0111
	K	130	23,7896	3,799	0,1688	0,6514	0,5073	0,666	0,543	0,4015	0,26	0,0058	0,0035
	K	90	31,6436	2,9268	0,2961	0,5593	0,4043	0,2748	0,1714	0,1354	0,0485	0,0162	0
	K	130	23,5218	3,619	0,2752	0,2704	0,7933	0,5696	0,2955	0,3915	0,1998	0,0044	0
Poitou-Esel	K	380	29,083	0,785	0,0538	0,1015	0,1492	0,1533	0,1291	0,0688	0,0024	0,0036	0,0021
Riesenesel (Martina-Franca-Esel)	K	370	20,7627	3,7873	0,1438	0,5118	0,557	0,6379	0,3171	0,6799	0,277	0,012	0,0066
	K	300	21,3561	3,8741	0,2155	0,2688	0,6205	0,5437	0,3208	0,4984	0,2126	0,0222	0,0023
	K	250	24,7672	0,7507	0,0376	0,128	0,165	0,1166	0,0986	0,0457	0,0033	0,0014	0
<i>Equus hemionus onager</i>	K	250	28,8011	1,0436	0,0758	0,1159	0,1745	0,1797	0,1759	0,0883	0,0258	0,014	0
	K	250	28,5796	1,102	0,0634	0,1078	0,2015	0,2272	0,1649	0,1058	0,0175	0,0094	0
<i>Equus hemionus kulan</i>	K	250	23,6857	0,6515	0,0284	0,0856	0,1178	0,0997	0,0919	0,047	0,0086	0,0115	0
	K	250	27,7066	1,0648	0,0875	0,1334	0,1685	0,1319	0,1511	0,118	0,007	0,0055	0
	K	250	25,3302	1,6709	0,1422	0,3166	0,2728	0,2685	0,0976	0,1332	0,0606	0,0364	0
	K	250	24,0003	1,1827	0,1312	0,1491	0,2649	0,1756	0,0614	0,0489	0,0085	0,0014	0
	K	250	23,6906	0,7632	0,0593	0,1332	0,1256	0,1123	0,1309	0,0566	0,0062	0,0076	0

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

	*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage	g TS									
				(gTS)	0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm	
<i>Equus hemionus kiang</i>	K	250	17,4739	1,0333	0,0837	0,2384	0,1478	0,1973	0,0516	0,0429	0	0	0	
	K	240	26,6458	1,3473	0,0692	0,2449	0,3762	0,2815	0,1254	0,1319	0,0091	0,0011	0	
	K	240	21,6453	1,0731	0,0801	0,1978	0,2813	0,2378	0,0998	0,0654	0	0	0	
	K	250	22,7923	1,2024	0,0526	0,1822	0,3058	0,2008	0,0958	0,0892	0,0247	0	0	
	K	240	19,6091	0,9892	0,0634	0,1454	0,2433	0,2224	0,0687	0,061	0,0072	0,011	0	
<i>Equus przewalskii</i>	K	250	24,699	1,0634	0,1405	0,1655	0,1664	0,1342	0,0657	0,02	0,0013	0,0016	0	
	FW	325	22,5144	1,0782	0,1089	0,148	0,2132	0,1316	0,0581	0,0397	0,0241	0,0043	0	
	FW	300	23,2226	2,3563	0,1612	0,2866	0,4649	0,4288	0,2333	0,1193	0,0183	0,0031	0	
	FW	300	22,5094	0,9126	0,0673	0,1319	0,12	0,1286	0,1437	0,0694	0,0123	0,0081	0	
	FW	300	29,807	2,0735	0,1373	0,3558	0,4105	0,3559	0,2112	0,1487	0,0043	0,0021	0	
	FW	300	28,905	1,8253	0,1251	0,2867	0,351	0,3289	0,2004	0,1616	0,0209	0,0035	0	
	FW	350	16,1845	0,8798	0,0657	0,0988	0,1497	0,1353	0,0944	0,037	0,0034	0	0	
	FW	150	24,0174	1,1732	0,0579	0,1603	0,1727	0,22	0,0858	0,0679	0,0182	0,0148	0	
	FW	250	18,5074	0,9684	0,0706	0,1372	0,2026	0,1249	0,0855	0,0381	0,0184	0,0086	0	
	K	240	23,5106	0,9813	0,0681	0,1687	0,1963	0,1605	0,1361	0,0752	0,0025	0	0	
	K	300	17,5709	0,8472	0,0817	0,1422	0,1974	0,1894	0,0764	0,0148	0	0	0	
	K	350	19,6483	0,8932	0,0641	0,1408	0,2056	0,1973	0,1106	0,023	0,0018	0	0	
	<i>Equus przewalskii f. caballus</i>	K	300	21,3209	0,8534	0,0717	0,1458	0,1672	0,1858	0,0636	0,0262	0	0	0
K		270	20,8059	0,9834	0,0684	0,17	0,2293	0,1934	0,0876	0,0442	0	0	0	
K		380	20,7346	3,0675	0,1334	0,2892	0,3442	0,3312	0,5213	0,7085	0,3258	0,0426	0	
Pony		K	240	22,6447	4,4618	0,19	0,2246	0,6596	0,45	0,6363	0,3802	0,6925	0,1479	0,0044
K		280	22,3841	3,5351	0,2216	0,4288	0,7275	0,4407	0,2625	0,3549	0,0619	0,033	0	
Shetlandpony	K	150	22,4084	0,8182	0,0657	0,0668	0,0953	0,112	0,1332	0,0891	0,0213	0,0126	0	
	K	280	19,968	4,4844	0,231	0,2783	0,9719	0,5412	0,4112	0,5603	0,2366	0,0109	0	
	K	200	28,4876	1,0436	0,1113	0,1145	0,1998	0,1923	0,1461	0,0332	0,0084	0,0062	0,004	
	K	150	20,7867	0,8971	0,068	0,076	0,0992	0,1248	0,1082	0,0669	0,0211	0,012	0	
	K	150	24,1821	1,2208	0,0869	0,1115	0,1691	0,1899	0,1343	0,0527	0,0133	0	0	
Fjordpferd	K	150	21,9487	1,0775	0,0702	0,0874	0,1185	0,0851	0,126	0,0602	0,0149	0,0153	0,0109	
	K	150	25,0316	1,9942	0,2113	0,4045	0,5121	0,4056	0,0762	0,0787	0,0044	0,0043	0	
	W	450	20,1988	0,9682	0,0444	0,1525	0,1197	0,1202	0,2132	0,0892	0,0108	0,006	0	
	W	390	19,9898	0,6841	0,028	0,0854	0,1032	0,1387	0,1174	0,0505	0,008	0,0048	0	
	W	420	18,3184	0,806	0,0475	0,0844	0,1075	0,1317	0,0983	0,062	0,0108	0	0	
Haflinger	K	450	16,2791	2,3442	0,1046	0,3254	0,3221	0,4508	0,2858	0,3396	0,0092	0,0001	0	

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

	*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS								
					0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm
Haflinger	K	450	23,504	4,6053	0,253	0,3796	0,713	0,622	0,2498	0,6371	0,0909	0,0054	0
	K	450	20,4962	3,5702	0,2778	0,3663	0,8175	0,6191	0,2007	0,2731	0,0244	0,0072	0
	K	450	26,2937	4,2251	0,2641	0,4962	0,7236	0,5374	0,4043	0,5504	0,0767	0,034	0
	K	450	20,7938	3,3106	0,2114	0,3727	0,6968	0,6341	0,1745	0,3758	0,0551	0,0102	0
	K	450	20,172	3,493	0,1564	0,6208	0,739	0,5193	0,4124	0,3517	0,1	0	0
Tarpan	K	300	26,2813	2,9371	0,5298	0,4736	0,1148	0,1638	0,354	0,3642	0,0292	0,0096	0
	K	300	25,5173	2,757	0,1256	0,3414	0,4231	0,3732	0,2751	0,3778	0,021	0,0137	0
	K	250	27,318	1,8676	0,0971	0,3801	0,3662	0,2389	0,1484	0,2004	0,0252	0,009	0
Warmblut	K	550	22,8455	1,2475	0,0512	0,1055	0,1207	0,1637	0,2174	0,13	0,0697	0	0
	K	500	20,8215	0,9319	0,0664	0,1129	0,1064	0,1264	0,1219	0,0761	0,0128	0,0172	0
	K	600	22,9107	1,1867	0,0737	0,1062	0,1118	0,1405	0,1544	0,1438	0,1168	0,0581	0,009
	K	510	22,4428	0,9323	0,0716	0,1109	0,1604	0,1491	0,1473	0,0734	0,0086	0,0022	0
	K	580	22,3829	1,1236	0,0745	0,1194	0,1747	0,1552	0,1847	0,1054	0,0127	0,0099	0
Noriker	K	750	21,3914	0,8503	0,0529	0,1491	0,1915	0,0975	0,1149	0,0573	0,0024	0,0194	0
	K	700	21,0078	0,9612	0,0464	0,1707	0,2226	0,1492	0,1211	0,0432	0,0013	0	0
Süddeutsches Kaltblut	K	750	19,9258	1,0682	0,0474	0,1719	0,1679	0,1225	0,1866	0,0951	0,0027	0,0044	0,0013
	K	730	16,1552	1,0677	0,0596	0,1383	0,1346	0,1663	0,0755	0,121	0,0209	0,0151	0,0214
	K	650	16,0427	1,052	0,0622	0,1341	0,167	0,098	0,148	0,1152	0,0366	0,0274	0,0035
	K	650	19,9675	1,1352	0,0611	0,1416	0,1747	0,1595	0,1295	0,1379	0,0247	0,017	0,0022
	K	750	17,7503	1,1008	0,0636	0,1117	0,112	0,1376	0,1153	0,1646	0,0537	0,0289	0
Shirehorse	K	950	21,0883	0,7675	0,0576	0,094	0,1284	0,1825	0,1074	0,0536	0,0217	0,0114	0
	K	950	25,7185	1,2842	0,1149	0,1788	0,1738	0,2384	0,1606	0,0849	0,0449	0,0019	0
F. Tapire (Tapiridae)													
<i>Acrocodia indica</i>	K	260	19,8861	1,986	0,0927	0,2076	0,1839	0,172	0,1699	0,2959	0,2089	0,0616	0,0724
	K	270	18,7107	1,9873	0,0919	0,1644	0,1672	0,1452	0,1539	0,2148	0,1163	0,0691	0,1234
	K	305	17,5671	0,8332	0,0335	0,0506	0,0785	0,0993	0,1376	0,147	0,0411	0,032	0,009
	K	275	17,405	1,0983	0,0351	0,0484	0,0683	0,0648	0,1144	0,1357	0,0722	0,1141	0,0842
	K	265	15,7046	1,5522	0,0815	0,155	0,1678	0,1512	0,1044	0,1637	0,0842	0,0632	0,0668
	H	305	17,1653	0,7824	0,028	0,046	0,0903	0,1423	0,0946	0,0868	0,0139	0,0083	0,0488
	H	270	16,6672	1,4292	0,039	0,0574	0,0673	0,1125	0,1934	0,358	0,1804	0,146	0
	H	260	20,8343	1,5917	0,0636	0,112	0,0923	0,1323	0,2603	0,2796	0,2172	0,1011	0,0685

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS										
				0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm		
<i>Acrocodia indica</i>	H	275	15,7665	0,9395	0,0182	0,0314	0,0456	0,0847	0,1135	0,2511	0,0608	0,0676	0,0322	
<i>Tapirus terrestris</i>	MFW	200	20,465	1,9653	0,054	0,125	0,1924	0,2122	0,2099	0,3007	0,2439	0,1096	0,0261	
	FW	200	59,07	4,7847	0,158	0,4024	0,9415	0,4196	0,1345	0,3547	0,3401	0,1133	0	
	FW	200	44,28	4,0738	0,1501	0,2692	0,5091	0,2898	0,1819	0,4261	0,159	0,0468	0	
	FW	200	20,34	1,9933	0,1239	0,2423	0,3039	0,2272	0,1793	0,2868	0,1198	0,0011	0	
	FW	200	23,28	2,1301	0,1448	0,2645	0,3497	0,2629	0,1653	0,2815	0,0988	0,0216	0	
	FW	200	35,42	3,0461	0,0369	0,1105	0,268	0,0991	0,0472	0,0957	0,0377	0,0043	0	
	K	185	27,3291	4,2567	0,1122	0,2191	0,2185	3,2067	0,1198	0,1884	0,1636	0,0284	0	
	K	200	18,0037	1,0416	0,0198	0,0493	0,0678	0,0672	0,088	0,1062	0,0558	0,0582	0,0256	
	K	215	20,1849	1,6048	0,0779	0,0914	0,1225	0,217	0,1383	0,2869	0,2424	0,1984	0,019	
	K	225	18,5851	1,1805	0,0385	0,0816	0,0855	0,1208	0,1077	0,1112	0,0353	0,0176	0,0032	
	K	175	17,8544	1,295	0,0463	0,079	0,1003	0,1466	0,1528	0,1522	0,0681	0,026	0,0448	
	K	195	20,8864	1,9972	0,0777	0,1441	0,1628	0,1996	0,165	0,2963	0,1701	0,2869	0,0306	
	K	180	24,5003	2,036	0,1277	0,1455	0,137	0,1382	0,1895	0,3266	0,1325	0,0706	0	
	K	215	21,7759	1,2804	0,0339	0,1024	0,1563	0,1572	0,1436	0,0922	0,0607	0,0358	0	
	K	180	21,4053	1,1127	0,0742	0,097	0,1648	0,1508	0,1357	0,1004	0,0366	0,0736	0	
	K	185	21,1499	1,693	0,0638	0,1079	0,1473	0,1296	0,1855	0,2395	0,1255	0,181	0,1211	
H	180	18,8001	1,1733	0,0345	0,0847	0,08	0,1548	0,2209	0,2096	0,0709	0,0312	0		
H	185	19,5205	0,8301	0,0361	0,0479	0,0792	0,0554	0,0712	0,114	0,0783	0,0576	0,0459		
F. Nashörner (Rhinocerotidae)														
<i>Ceratotherium simun</i>	K	1300	19,1682	2,0692	0,0784	0,1468	0,1282	0,1426	0,2833	0,2213	0,1017	0,1618	0,3297	
	K	2180	19,9392	2,0579	0,067	0,0915	0,1244	0,0866	0,17	0,2269	0,1196	0,2441	0,3745	
	K	2150	18,8948	1,8098	0,047	0,1156	0,1052	0,1252	0,2151	0,2112	0,1472	0,1714	0,2355	
	K	2320	17,997	1,8879	0,0862	0,0932	0,1615	0,144	0,1415	0,2564	0,1707	0,0704	0,3078	
	K	1750	20,0067	2,0894	0,0807	0,0601	0,1053	0,0852	0,1247	0,1589	0,0763	0,074	0,3471	
	K	1620	20,2212	1,961	0,0719	0,0909	0,0984	0,1218	0,098	0,1426	0,0684	0,0858	0,5971	
	K	1850	18,8794	1,9832	0,0743	0,1081	0,1377	0,1629	0,2007	0,2076	0,1429	0,149	0,3277	
	K	2340	16,5611	1,6095	0,0472	0,0718	0,0832	0,1384	0,1051	0,1244	0,1379	0,1695	0,1577	
	<i>Diceros bicornis</i>	K	990	19,7202	2,2858	0,0726	0,1059	0,1423	0,154	0,198	0,2333	0,2444	0,1676	0,5216
		K	940	18,0242	1,6911	0,0585	0,0837	0,1176	0,151	0,1512	0,3682	0,1979	0,1454	0,1568
K		1250	18,3136	1,7703	0,0492	0,07	0,0952	0,1182	0,1187	0,1379	0,1795	0,1898	0,6929	
K		500	18,9783	2,0813	0,0606	0,1135	0,1476	0,1943	0,251	0,3634	0,1772	0,0787	0,1188	

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS									
				0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm	
<i>Diceros bicornis</i>	K	950	20,0686	2,0833	0,0452	0,0848	0,1099	0,1503	0,2187	0,3324	0,0775	0,1987	0,3592
	K	1000	21,1554	2,607	0,0436	0,1065	0,3774	0,1276	0,2065	0,2395	0,1809	0,1967	0,4633
	K	930	19,809	2,4297	0,0584	0,0708	0,1326	0,1355	0,149	0,2266	0,3995	0,102	0,297
	K	1220	19,9223	2,0575	0,0689	0,0983	0,1387	0,173	0,1236	0,188	0,1258	0,1176	0,339
	K	900	19,3978	2,2846	0,0983	0,1167	0,1357	0,1509	0,1466	0,2365	0,1359	0,1568	0,2717
	K	920	20,425	1,9836	0,0611	0,0813	0,0948	0,1443	0,1524	0,2002	0,1724	0,2556	0,3755
	K	980	22,511	2,0353	0,061	0,0875	0,0998	0,1312	0,1921	0,3701	0,2243	0,0717	0,1393
	K	1240	18,5744	1,7405	0,0481	0,095	0,122	0,1524	0,1779	0,3118	0,1984	0,0989	0,3155
<i>Rhinoceros unicornis</i>	K	2100	18,4262	0,9511	0,0364	0,0397	0,1068	0,1472	0,1649	0,1808	0,1162	0,027	0
	K	2300	17,9737	0,9073	0,0345	0,0563	0,116	0,116	0,0868	0,1573	0,128	0,103	0,0046
	K	1900	20,9489	2,3071	0,0824	0,1283	0,1444	0,1452	0,2282	0,284	0,1964	0,1772	0,064
	K	2100	19,0224	1,2432	0,0522	0,0944	0,0925	0,1053	0,1355	0,163	0,1248	0,1083	0,07
	K	2200	19,0956	1,0193	0,0262	0,0757	0,089	0,1162	0,195	0,2093	0,0733	0,0823	0,0342
	K	2300	19,3263	2,335	0,0759	0,0776	0,1442	0,184	0,2153	0,3728	0,17	0,1732	0,1361
O. Paarhufer (Artiodactyla)													
U.O. Nichtwiederkäuer (Nonruminentia)													
F. Schweine (Suidae)													
<i>Babyrousa babyrussa</i>	K	100	23,5283	2,2578	0,0931	0,184	0,1991	0,1484	0,1548	0,1991	0,1061	0,1262	0,0046
	K	100	22,9749	2,2043	0,062	0,1278	0,1633	0,1451	0,1525	0,2319	0,2054	0,2121	0,1071
	K	100	26,3206	1,5762	0,1098	0,2121	0,2244	0,1823	0,0658	0,1008	0,0816	0,0781	0,0173
<i>Phacochoerus aethiopicus</i>	K	85	23,3242	1,485	0,0837	0,1557	0,2096	0,2505	0,1923	0,1857	0,0563	0,0732	0,0172
	K	85	24,7077	1,9574	0,124	0,212	0,3172	0,3006	0,2326	0,1341	0,0541	0,2121	0,0154
	K	85	23,458	1,3898	0,0869	0,1064	0,1566	0,2495	0,1903	0,1679	0,0489	0,0765	0,0032
	K	85	29,921	1,9624	0,1032	0,2051	0,2775	0,2891	0,2225	0,0656	0,0921	0,0869	0,064
	K	85	44,6065	3,6917	0,3105	0,5872	0,5491	0,3998	0,4107	0,2083	0,2933	0,1151	0,0302
F. Pekaris (Tayassuidae)													
<i>Tayassu tajacu</i>	K	23	28,6063	2,2431	0,1478	0,3994	0,4264	0,2719	0,0865	0,046	0,0424	0	0
	K	23	28,6388	2,5602	0,1451	0,4221	0,4585	0,3571	0,0865	0,0324	0,0191	0	0
	K	23	25,6144	2,725	0,1686	0,3826	0,4504	0,3384	0,1001	0,053	0,0792	0	0
	K	23	29,5914	2,2041	0,2414	0,3543	0,5143	0,3949	0,1224	0,0494	0,0478	0	0
	K	23	36,3363	2,2517	0,2867	0,6206	0,4293	0,177	0,1654	0,0903	0,0559	0	0
	FW	23	-	2,4846	0,1426	0,1843	0,2102	0,1652	0,124	0,0692	0,0376	0	0

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS									
				0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm	
<i>Tayassu tajacu</i>	FW	23	-	2,2059	0,1317	0,172	0,1724	0,1266	0,0858	0,0338	0,0926	0	0
	FW	23	-	1,4404	0,172	0,1604	0,1421	0,0964	0,0771	0,0672	0,0421	0	0
	FW	23	-	1,3251	0,084	0,0778	0,0819	0,0656	0,0716	0,0474	0,0255	0	0
	FW	23	-	1,2726	0,0572	0,0754	0,105	0,0753	0,0445	0,0129	0,0184	0	0
	FW	23	-	1,3793	0,0623	0,0819	0,1065	0,0978	0,0617	0,0225	0,0268	0	0
F. Flußpferde (<i>Hippopotamidae</i>)													
<i>Hippopotamus amphibius</i>	FW	2250	-	1,9587	-	0,1115	0,1389	0,1195	0,1388	0,1221	0,8356	-	-
	FW	2250	-	2,1074	-	0,1039	0,1379	0,1353	0,1409	0,0755	0,952	-	-
	FW	2250	-	2,1196	-	0,099	0,1901	0,1208	0,1816	0,1021	0,8012	-	-
	FW	2250	-	2,1073	-	0,0811	0,0804	0,0578	0,0841	0,0656	1,2837	-	-
	FW	2250	-	2,0875	-	0,0722	0,0858	0,1054	0,1109	0,0604	1,1775	-	-
	FW	2250	-	2,3444	-	0,0981	0,1395	0,1671	0,1455	0,0714	1,237	-	-
	FW	2250	-	2,2435	-	0,1485	0,1309	0,2032	0,123	0,1102	0,8723	-	-
	FW	2250	-	2,2741	-	0,1089	0,0974	0,1182	0,1459	0,0549	1,2461	-	-
	FW	2250	-	2,4794	-	0,1311	0,1589	0,1562	0,2061	0,0742	1,1963	-	-
	FW	2250	-	2,2777	-	0,1997	0,153	0,1197	0,1275	0,1091	0,71	-	-
	HMF	2333	-	-	-	5,6872	10,1896	11,3744	12,9147	5,9242	53,91	-	-
	H	2333	-	-	-	5,919	7,0016	9,4143	12,0951	10,9384	54,6317	-	-
	HMF	2333	-	-	-	5,435	6,4619	10,1821	9,1552	9,5524	59,2133	-	-
	H	2333	-	-	-	4,7816	5,1064	6,5286	12,0045	7,7156	63,8634	-	-
	G	2333	-	-	-	5,9812	5,2019	6,216	9,7371	3,1643	69,6995	-	-
	K	2333	-	-	-	6,4802	5,3845	8,1081	11,1134	6,0002	62,9135	-	-
	G	2333	-	-	-	3,9337	6,5424	6,3147	7,1014	4,4772	71,6304	-	-
	K	2333	-	-	-	6,7883	7,4569	6,3595	21,2007	2,1949	55,9997	-	-
	K	2000	16,1715	1,2251	0,0587	0,0939	0,0757	0,1591	0,0934	0,1578	0,1265	0,0506	0,1807
	K	2500	14,0128	0,749	0,0259	0,039	0,0571	0,1011	0,0942	0,1253	0,0753	0,0865	0,0198
	K	2000	14,5878	0,798	0,0252	0,0504	0,0667	0,0857	0,0475	0,0436	0,024	0,0676	0,2858
	K	2500	12,8474	0,6982	0,0201	0,0354	0,0289	0,0415	0,0504	0,0397	0,0237	0,0424	0,3489
	K	2750	9,8345	1,3336	0,0451	0,0512	0,0872	0,0938	0,0745	0,0863	0,06	0,0702	0,7094
	K	2250	14,5084	0,9024	0,0176	0,0443	0,0471	0,1001	0,0709	0,0798	0,0475	0,0754	0,2579
<i>Choeropsis liberiensis</i>	LHMF	190	-	-	-	10,9955	15,0074	15,4532	7,8752	2,9718	47,6969	-	-
	LH	190	-	-	-	8,5337	6,9851	4,6892	6,8659	3,6279	69,2982	-	-
	LHMF	190	-	-	-	11,1538	16,4103	15,641	9,2308	7,0513	40,5128	-	-

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS									
				0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm	
<i>Choeropsis liberiensis</i>	LHMF	190	-	-	-	9,8633	12,447	11,6643	9,0901	9,4672	47,4682	-	-
	LH	190	-	-	-	7,3877	6,951	6,5507	11,2599	13,2324	54,6182	-	-
	G	190	-	-	-	9,0216	7,3897	8,4905	10,7921	3,6718	60,6343	-	-
	K	190	-	-	-	11,4752	8,5225	10,8962	13,3395	5,8245	49,9421	-	-
	G	190	-	-	-	10,3037	12,7766	16,175	2,1403	2,321	56,2834	-	-
	K	190	-	-	-	6,5481	11,2068	12,0774	15,5414	5,2515	49,3748	-	-
	K	200	18,52	2,2139	0,0572	0,1471	0,1433	0,1286	0,1505	0,1798	0,1521	0,0761	0,198
	K	200	12,5367	0,877	0,0293	0,0587	0,0435	0,0809	0,1076	0,0957	0,0329	0,0901	0,1395
	K	200	14,1143	1,1107	0,034	0,0502	0,0598	0,0738	0,0918	0,0982	0,0556	0,0768	0,0676
	K	180	13,7996	1,1555	0,0569	0,0859	0,0748	0,0909	0,1339	0,0896	0,0413	0,0474	0,2955
U.O. Schwielensohler (Tylopoda)													
F. Kamele (Camelidae)													
<i>Camelus dromedarius</i>	K	450	31,8957	2,0395	0,1867	0,2644	0,2454	0,2018	0,0962	0,0585	0,0069	0	0,0023
	K	450	33,1947	1,8892	0,2213	0,3935	0,277	0,1921	0,0973	0,0401	0,005	0	0
	K	450	34,2402	1,6973	0,2266	0,3935	0,1866	0,1073	0,0587	0,0155	0	0	0
	K	450	25,1193	1,8969	0,2647	0,2725	0,2583	0,1478	0,0756	0,0258	0	0	0
	K	500	34,3363	1,8864	0,2198	0,3644	0,2455	0,1492	0,137	0,0376	0	0	0
<i>Camelus ferus</i>	K	650	30,0432	2,4758	0,2588	0,3448	0,4199	0,3072	0,1503	0,0874	0,0088	0	0
	K	650	28,8933	2,2506	0,228	0,3781	0,3235	0,3193	0,1317	0,0814	0,0147	0,0128	0
	K	650	29,4571	3,01	0,1808	0,491	0,3927	0,3373	0,2597	0,1321	0,0224	0,0067	0
	K	650	24,6122	2,5412	0,3946	0,4581	0,4545	0,3625	0,1427	0,0448	0,0007	0	0
	K	650	32,9791	2,7643	0,3056	0,6179	0,3639	0,2588	0,1572	0,0283	0,0059	0	0
<i>Lama vicugna</i>	K	55	43,5598	0,7068	0,1334	0,2143	0,1155	0,0398	0,0078	0	0	0	0
	K	50	43,0875	1,2329	0,2426	0,256	0,0864	0,0136	0,0015	0	0	0	0
	K	50	39,8487	0,8266	0,0732	0,0936	0,0675	0,0518	0,0271	0,0544	0,0404	0	0
	K	50	48,7758	1,9031	0,2846	0,4382	0,2078	0,0751	0,0169	0,0079	0,0006	0	0
	K	50	31,4093	1,5855	0,2358	0,2793	0,2862	0,1035	0,0227	0,0035	0	0	0
<i>Lama guanicoe</i>	K	90	54,5143	2,109	0,4453	0,7962	0,2771	0,0802	0,0168	0,0038	0	0	0
	K	90	49,5111	2,6189	0,4608	0,6815	0,3222	0,612	0,0486	0,0264	0	0	0
	K	90	35,2109	1,7399	0,2787	0,3313	0,1676	0,0712	0,017	0,0019	0	0	0
	K	90	35,3654	2,0999	0,2838	0,3664	0,2362	0,075	0,0174	0,0045	0	0	0
	K	90	40,2017	1,7016	0,2685	0,4879	0,2574	0,1086	0,0123	0,0051	0	0	0

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

	*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS								
					0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm
<i>Lama guanicoe f. pacos</i>	K	65	30,2331	1,1749	0,1277	0,2482	0,135	0,0376	0,0058	0	0	0	0
	K	65	48,5053	1,8665	0,3123	0,5816	0,1817	0,0936	0,028	0,0276	0	0	0
	K	65	40,9924	2,1178	0,4397	0,5299	0,1903	0,0761	0,0211	0,0031	0	0	0
	K	65	64,2669	2,3011	0,4625	0,7019	0,229	0,0527	0,0032	0,0006	0	0	0
	K	65	58,5536	2,0887	0,4784	0,7166	0,1572	0,0318	0,0076	0	0	0	0
<i>Lama guanicoe f. glama</i>	K	120	44,1623	2,4755	0,4	0,535	0,3435	0,1347	0,0427	0,0252	0,0081	0	0
	K	120	49,1184	2,0049	0,4343	0,5325	0,1746	0,051	0,0092	0,0043	0,0038	0	0
	K	120	43,5336	2,2547	0,3571	0,5379	0,1461	0,0386	0,008	0	0	0	0
	K	120	56,0883	2,4473	0,5297	0,8645	0,3673	0,1234	0,0181	0,0077	0	0	0
	K	120	64,5249	3,468	0,5844	1,3051	0,502	0,1919	0,0224	0,0021	0	0	0
U.O. Wiederkäuer (Ruminantia)													
F. Hirschferkel (Tragulidae)													
<i>Tragulus javanicus</i>	K	2	48,614	0,5594	0,0616	0,1254	0,0859	0,0139	0,0039	0	0	0	0
	K	2	40,1	-	-	36,7055	41,8968	14,5092	3,1947	3,5607	0,1331	-	-
	K	2	47,7083	0,2665	0,0166	0,0253	0,0285	0,0117	0,003	0,0041	0	0	0
	K	2	48,5821	0,349	0,0401	0,0797	0,0535	0,0157	0,0139	0,0073	0	0	0
	K	2	55,1605	0,4086	0,0321	0,0281	0,0271	0,012	0,0078	0	0	0	0
F. Hirsche (Cervidae)													
U.F. Muntjakhirsche (Muntiacinae)													
<i>Muntiacus reevesi</i>	K	9	45,4999	0,7747	0,0791	0,1143	0,0718	0,0218	0,0091	0	0	0	0
	K	16	38,7532	1,7222	0,101	0,2206	0,2408	0,0988	0,0258	0,0051	0	0	0
	K	16	40,1905	0,7467	0,1036	0,1752	0,0992	0,045	0,0341	0,0026	0,0165	0	0
	K	8	46,3039	0,6986	0,0609	0,1158	0,1112	0,0403	0,0065	0	0,001	0	0
	K	8	40,1129	0,5191	0,0751	0,159	0,0701	0,0226	0,0047	0	0	0	0
<i>Muntiacus muntjak</i>	K	25	42,7	-	-	37,7593	28,8672	29,7762	3,2631	0,3341	0	-	-
	K	25	42,7	-	-	51,2831	34,4512	11,3088	2,3154	0,6415	0	-	-
	K	25	42,7	-	-	39,5066	30,2265	24,566	4,88	0,8208	0	-	-
	K	25	42,7	-	-	25,4725	40,7728	29,7701	3,7198	0,1806	0,0843	-	-
<i>Elaphodus cephalophus</i>	K	35	28,6	-	-	36,1407	41,6575	18,1439	2,6726	1,3853	0	-	-
	K	35	28,6	-	-	15,1422	37,5691	33,6607	8,8807	2,9875	1,7598	-	-
	K	35	28,6	-	-	41,9002	30,1838	9,1998	2,4714	13,7809	2,4638	-	-

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

	*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS								
					0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm
U.F. Echthirsche (Cervinae)													
<i>Axis axis</i>	K	85	51,7	-	-	33,2784	28,5389	15,3955	14,5166	8,1764	0,0942	-	-
	K	85	51,7	-	-	43,5393	39,6695	11,6196	4,6479	0,1271	0,3966	-	-
	K	85	51,7	-	-	29,8337	37,2766	17,6248	12,2321	2,9555	0,0774	-	-
<i>Dama dama</i>	K	60	40,6	-	-	43,0979	34,4794	18,7938	2,2784	1,3505	0	-	-
	K	60	40,6	-	-	30,0662	42,2447	19,7874	7,7579	0,0821	0,0616	-	-
	K	60	40,6	-	-	31,9337	38,4498	22,337	7,1358	0,0988	0,0449	-	-
<i>Elaphurus davidianus</i>	K	120	32	-	-	15,6084	51,3868	30,0644	2,2491	0,6835	0,0079	-	-
	K	120	32	-	-	30,7303	49,1986	11,2827	8,7202	0,0682	0	-	-
	K	120	32	-	-	51,8827	32,2993	14,2505	0,9975	0,57	0	-	-
<i>Cervus unicolor</i>	K	200	39,6	-	-	39,4242	29,3537	24,9688	4,5299	1,0831	0,6402	-	-
	K	200	39,6	-	-	25,8454	33,3248	26,2889	11,266	2,7717	0,5032	-	-
	K	200	39,6	-	-	31,1329	26,6962	27,3378	12,1029	2,087	0,643	-	-
<i>Cervus timorensis</i>	K	150	30,1	-	-	33,3563	26,3908	26,5055	11,5196	1,5628	0,6651	-	-
	K	150	30,1	-	-	48,9302	29,9264	13,58	6,4459	1,0016	0,1158	-	-
	K	150	30,1	-	-	42,3583	27,308	24,8492	4,4059	0,9963	0,0823	-	-
<i>Cervus duvauceli</i>	K	200	39,8	-	-	50,0703	36,6685	10,9237	2,2719	0,0375	0,0281	-	-
	K	200	39,8	-	-	49,4671	33,0273	10,6513	3,3342	2,788	0,7321	-	-
	K	200	39,8	-	-	31,8651	41,1832	20,2064	5,6935	0,9432	0,1086	-	-
	K	200	39,8	-	-	47,0604	40,7767	10,7459	1,0333	0,3026	0,0812	-	-
<i>Cervus eldi</i>	K	120	33,8	-	-	22,9727	44,8298	16,4317	5,4051	6,2435	4,1172	-	-
	K	120	33,8	-	-	43,6399	38,1607	12,8211	2,2119	3,1044	0,0621	-	-
	K	120	33,8	-	-	38,9046	43,3974	14,7362	2,1781	0,5468	0,2369	-	-
<i>Cervus nippon</i>	K	70	32,7	-	-	37,7847	29,3397	19,0694	9,6764	3,7104	0,4195	-	-
	K	70	32,7	-	-	41,767	29,7954	18,5723	8,8273	1,0155	0,0226	-	-
	K	70	32,7	-	-	30,3444	33,3713	30,5113	3,7475	1,4414	0,5841	-	-
<i>Cervus elaphus</i>	K	170	25,3	-	-	38,3315	30,4634	20,0795	9,6498	1,1852	0,2906	-	-
	K	170	25,3	-	-	40,5287	20,1183	32,26	4,0344	2,3592	0,6993	-	-
	K	170	25,3	-	-	31,7193	29,0451	17,5513	16,93	4,3355	0,4187	-	-
	K	170	25,3	-	-	30,5579	20,9996	27,4369	12,7206	7,906	0,379	-	-
<i>Cervus elaphus bactrianus</i>	K	110	35,6	-	-	54,2139	32,1476	12,1285	1,2655	0,2393	0,0053	-	-
	K	110	35,6	-	-	33,0749	28,3077	19,8348	10,5635	4,4257	3,7934	-	-
	K	110	35,6	-	-	38,3727	30,7793	22,0176	8,693	0,1374	0	-	-

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

	*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS								
					0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm
<i>Cervus elaphus bactrianus</i>	K	300	26,1	-	-	42,9581	28,1589	18,333	4,9819	4,9388	0,6292	-	-
	K	300	26,1	-	-	25,9063	25,213	18,4911	24,5549	2,791	3,0437	-	-
	K	300	26,1	-	-	22,2725	42,2431	21,2803	5,3894	2,5926	6,2222	-	-
<i>Cervus albirostris (Prezwalskium)</i>	K	130	33,2	-	-	37,4541	27,4264	25,285	7,8814	1,5267	0,4263	-	-
	K	130	33,2	-	-	39,6488	36,1849	9,6283	8,7075	4,8237	1,0067	-	-
	K	130	33,2	-	-	28,381	25,626	27,5988	13,2336	4,039	1,1217	-	-
	K	130	33,2	-	-	45,536	28,627	16,413	8,0825	1,0371	0,3044	-	-
	K	130	33,2	-	-	31,3119	26,8239	15,9346	11,6172	7,2498	7,0626	-	-
	K	130	33,2	-	-	45,8302	24,5258	25,7492	2,4777	1,021	0,3961	-	-
	K	130	33,2	-	-	39,0599	24,8192	24,1116	4,7934	2,2056	5,0103	-	-
U.F. Trughirsche (Odocoileinae)													
<i>Capreolus capreolus</i>	K	25	28,4	-	-	43,2035	43,6219	11,1688	1,8615	0	0,1443	-	-
	K	25	28,4	-	-	32,608	47,9228	13,0564	2,7201	2,6541	1,0386	-	-
	K	25	28,4	-	-	45,6798	36,7853	11,1817	5,8662	0,2118	0,2753	-	-
<i>Odocoileus virginianus</i>	K	70	35,3	-	-	48,2197	36,4304	11,6412	1,9187	1,4616	0,3284	-	-
	K	70	35,3	-	-	45,5023	39,4122	10,4984	3,7825	0,4805	0,3241	-	-
	K	70	35,3	-	-	44,6951	33,7549	13,4375	3,3755	4,5114	0,2256	-	-
<i>Odocoileus hemionus</i>	K	80	33,5	-	-	41,769	38,8882	11,4136	4,4852	1,4991	1,9448	-	-
	K	80	33,5	-	-	41,6444	39,3076	14,2408	3,4382	1,2982	0,0708	-	-
	K	80	33,5	-	-	28,846	33,9531	22,338	8,0464	4,1566	2,6599	-	-
<i>Ozotoceros beoarticus</i>	K	35	42,1	-	-	24,743	29,4747	21,1671	15,9523	7,4172	1,2457	-	-
	K	35	42,1	-	-	32,3079	36,3193	24,1496	3,449	3,7742	0	-	-
<i>Blastocerus dichotomus</i>	K	80	38,6	-	-	23,0253	28,0882	28,007	13,4866	6,1374	1,2556	-	-
	K	80	38,6	-	-	28,8009	29,4946	35,0737	2,9409	3,0452	0,6447	-	-
<i>Pudu pudu</i>	K	12	33	-	-	25,8136	27,8975	17,2298	9,5948	18,4801	0,9843	-	-
	K	12	33	-	-	33,7474	39,7252	23,2202	2,7249	0,5357	0,0466	-	-
<i>Alces alces</i>	K	320	25,5	-	-	21,3404	29,7317	20,6876	26,2817	1,8507	0,1078	-	-
	K	320	25,5	-	-	15,0907	22,2051	21,5126	26,8384	12,8139	1,5395	-	-
	K	320	25,5	-	-	13,7164	30,8277	34,5452	16,3459	4,4118	0,1531	-	-
<i>Rangifer tarandus</i>	K	180	37,1	-	-	57,4249	18,974	13,6364	6,9031	3,0617	0	-	-
	K	180	37,1	-	-	54,0022	24,1807	15,0955	4,4345	2,287	0	-	-
	K	180	37,1	-	-	43,9295	28,3392	18,9865	6,3212	2,4236	0	-	-

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS									
				0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm	
F. Giraffen (Giraffidae)													
<i>Giraffa camelopardalis</i>													
FW	900	42,2818	1,8308	0,253	0,2604	0,3813	0,3016	0,0643	0,0254	0	0	0	
FW	900	45,0143	2,0048	0,2302	0,2704	0,3728	0,3363	0,0669	0,0087	0	0	0	
FW	900	41,6441	2,4406	0,3471	0,3846	0,6333	0,329	0,0779	0,0076	0	0	0	
FW	900	38,5062	1,9221	0,2153	0,3267	0,4203	0,2762	0,0566	0,0034	0	0	0	
FW	900	35,3735	2,2858	0,2809	0,348	0,3923	0,302	0,096	0,0075	0	0	0	
FW	900	44,9076	1,5049	0,1281	0,3317	0,2943	0,2536	0,0642	0,0061	0	0	0	
FW	900	58,7122	2,018	0,236	0,4498	0,444	0,3431	0,1067	0,0064	0	0	0	
FW	900	45,541	1,6459	0,1991	0,3185	0,2973	0,1749	0,0652	0	0	0	0	
FW	900	44,8082	1,68	0,1466	0,3475	0,2909	0,2013	0,0663	0,0102	0	0	0	
FW	900	43,466	1,9911	0,2404	0,3416	0,3859	0,3033	0,067	0,0317	0,0037	0	0	
K	900	43,7	-	-	18,1971	32,1105	33,4418	9,3515	5,3636	1,5354	-	-	
K	900	43,7	-	-	13,8063	25,4345	21,4392	20,4578	12,6919	6,1703	-	-	
K	900	43,7	-	-	14,0493	16,0085	20,7654	23,2476	7,8562	18,0729	-	-	
K	1100	32,2255	2,5218	0,1872	0,2501	0,4522	0,5211	0,2361	0,182	0,0147	0,0007	0	
K	1000	24,9738	4,6258	0,2959	0,3883	0,744	0,929	0,2803	0,1983	0,1032	0,0114	0	
K	600	38,9508	1,7978	0,1115	0,1913	0,2969	0,2986	0,1495	0,0811	0,043	0,0073	0	
K	450	47,6969	1,4393	0,1078	0,2076	0,2779	0,2609	0,0843	0,0247	0,0011	0,001	0	
K	800	22,3127	3,8562	0,1491	0,2986	0,5	0,5392	0,298	0,2653	0,0407	0,0077	0,0024	
K	135	40,6302	4,0552	0,1824	0,4138	0,6601	0,7826	0,2056	0,0639	0,0074	0	0	
K	450	43,1265	1,6654	0,0821	0,1512	0,309	0,2661	0,1137	0,0646	0	0	0	
K	175	57,9763	0,9032	0,0741	0,14	0,1576	0,1322	0,0641	0,0324	0,0092	0	0	
K	250	45,1681	2,1846	0,1745	0,3133	0,4845	0,2641	0,049	0,0176	0	0	0	
K	1000	27,7538	4,7617	0,1703	0,1906	0,4552	0,6292	0,2514	0,1627	0,0239	0,0262	0	
K	750	36,8296	4,5337	0,1618	0,2847	0,4051	0,4215	0,356	0,3576	0,1539	0,04	0	
<i>Okapia johnstoni</i>													
K	230	32,9	-	-	19,4919	22,4878	22,1873	17,3747	9,1654	9,2929	-	-	
K	230	32,9	-	-	15,4652	26,2855	22,7705	22,0076	10,7383	2,7328	-	-	
K	230	32,9	-	-	14,4937	29,264	26,6501	16,6613	9,9944	2,9365	-	-	
K	205	35,5	6,0097	0,538	0,5693	1,038	1,0095	0,3066	0,2374	0,0697	0,0156	0	
K	245	38,7	5,3991	0,4158	0,5162	0,6405	0,7648	0,3656	0,3977	0,0629	0,0333	0	
K	290	35,5	4,7311	0,5515	0,5627	0,8819	0,6389	0,3664	0,3345	0,0674	0,0061	0	
K	225	45,2	6,8596	0,6972	0,8807	1,4257	1,123	0,2259	0,1956	0,0257	0,0045	0	

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

	*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS								
					0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm
<i>Okapia johnstoni</i>	K	305	39	5,9883	0,6787	0,9248	1,4282	1,2372	0,5817	0,2839	0,0586	0,0148	0,0061
	K	230	47,3	5,901	0,6324	0,7345	1,1912	0,7895	0,23	0,0866	0,0114	0	0
F. Gabelhorntiere (Anlitocapridae)													
<i>Antilocapra americana</i>	K	40	33,6	-	-	31,7378	43,6014	22,9845	1,3308	0,1444	0,2012	-	-
	K	40	33,6	-	-	25,8412	48,3926	24,301	1,0895	0,2415	0,1342	-	-
	K	40	33,6	-	-	32,3215	41,5825	23,7139	2,1266	0,1604	0,095	-	-
F. Hornträger (Bovidae)													
U.F. Ducker (Cephalophinae)													
<i>Cephalopus monticola</i>	K	7	43,1	-	-	49,2963	40,9617	7,3399	1,5529	0,1335	0,7158	-	-
	K	7	43,1	-	-	55,0843	37,0633	6,7307	0,9934	0,0446	0,0837	-	-
	K	7	43,1	-	-	62,5395	32,6227	3,7132	0,984	0,1406	0	-	-
<i>Cephalopus natalensis</i>	K	12	41,4	-	-	36,1572	44,0491	18,1519	1,3428	0,1953	0,1038	-	-
	K	12	41,4	-	-	34,8612	42,2151	21,8536	0,9928	0,0773	0	-	-
	K	12	41,4	-	-	34,3727	37,3191	23,2587	4,05	0,9995	0	-	-
	K	12	43,6762	0,4	0,0307	0,0562	0,0809	0,0219	0,0051	0	0	0	0
	K	14	55,3584	1,232	0,126	0,2588	0,2791	0,1309	0,0318	0	0	0	0
U.F. Böckchen (Neotraginae)													
<i>Madoqua kirki</i>	K	4,5	29,2	-	-	29,0532	54,1787	14,7569	1,9742	0,0247	0,0123	-	-
	K	5	64,488	0,5033	0,0331	0,08	0,0652	0,0303	0,0167	0	0	0	0
<i>Oreotragus oreotragus</i>	K	13	52,0408	0,5298	0,0623	0,0989	0,1217	0,0257	0	0	0	0	0
	K	14	41,1	-	-	29,9974	40,2911	20,9878	6,2646	2,4487	0,0104	-	-
	K	14	41,1	-	-	32,9805	36,2848	20,7685	4,0603	5,897	0,0089	-	-
	K	14	41,1	-	-	34,5138	36,6621	19,6902	5,8018	3,1956	0,1364	-	-
U.F. Waldböcke (Tragelaphinae)													
<i>Tragelaphus spekei</i>	K	95	35	-	-	19,78	22,8436	28,7474	24,6275	2,9847	1,0168	-	-
	K	95	35	-	-	28,9918	28,2152	35,9579	4,2105	2,386	0,2386	-	-
	K	95	35	-	-	28,8308	33,5054	31,951	4,9753	0,7375	0	-	-
	K	95	35	-	-	29,3357	37,816	23,5107	6,7313	2,3761	0,2303	-	-
<i>Tragelaphus angasi</i>	K	100	35,2	-	-	23,1607	45,2018	17,9688	11,3374	1,747	0,5844	-	-
	K	100	35,2	-	-	35,0142	27,981	21,4028	10,2749	1,5071	3,8199	-	-
	K	100	35,2	-	-	29,5686	30,1849	20,1313	10,3018	2,5134	7,3001	-	-
<i>Tragelaphus imberbis</i>	K	95	49,5	-	-	21,387	31,7327	31,0158	10,91	4,4648	0,4898	-	-

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

	*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS								
					0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm
<i>Tragelaphus imberbis</i>	K	95	49,5	-	-	19,1583	27,3874	34,9085	13,8666	3,4642	1,2151	-	-
	K	95	49,5	-	-	20,9417	28,8542	30,0819	8,3423	2,8421	8,9377	-	-
<i>Tragelaphus strepsiceros</i>	K	230	31,2	-	-	27,8515	20,0342	25,583	15,0173	9,0223	2,4917	-	-
	K	230	31,2	-	-	23,6845	29,0488	25,8098	12,5976	3,4951	5,3642	-	-
	K	230	31,2	-	-	30,5911	30,4835	25,971	8,2516	2,5107	2,1922	-	-
	K	230	31,2	-	-	14,8202	35,6541	14,5567	28,4284	4,5778	1,9629	-	-
	K	230	31,2	-	-	15,6961	22,297	17,7068	26,783	11,0679	6,4492	-	-
<i>Tragelaphus euryceros</i>	K	250	30,6	-	-	24,1661	27,172	27,9829	11,0072	5,0657	4,6062	-	-
	K	250	30,6	-	-	26,4732	29,5982	34,6956	6,461	1,6193	1,1526	-	-
	K	250	30,6	-	-	24,9504	27,3079	30,6135	8,7453	3,7572	4,6258	-	-
<i>Tragelaphus oryx</i>	K	500	28,6	-	-	25,1486	25,5922	19,924	16,5708	7,8127	4,9517	-	-
	K	500	28,6	-	-	31,8694	20,1535	26,4057	9,7033	2,5313	9,3367	-	-
	K	500	28,6	-	-	28,3601	34,4815	26,1736	6,5836	3,545	0,8561	-	-
<i>Boselaphus tragocamelus</i>	K	220	23,1	-	-	24,9717	24,4474	22,0623	18,1762	4,2048	6,1376	-	-
	K	220	23,1	-	-	23,8981	30,8597	29,2792	8,1702	2,264	5,5288	-	-
	K	220	23,1	-	-	45,6517	29,3296	14,6363	4,2232	0,8736	5,2856	-	-
	K	220	23,1	-	-	26,3994	27,5826	16,9433	18,1176	3,7524	7,2047	-	-
U.F. Rinder (Bovinae)													
<i>Bubalis depressicornis</i>	K	150	23,7	-	-	30,5926	49,9575	18,1812	0,9144	0,1205	0,2339	-	-
	K	150	23,7	-	-	36,972	39,9684	21,5839	1,1823	0,2933	0	-	-
<i>Bubalus arnee</i>	K	900	16,2	-	-	31,9822	23,0578	28,48	13,2	1,9111	1,3689	-	-
	K	900	16,2	-	-	33,5033	23,6099	20,4003	15,3309	3,238	3,9177	-	-
	K	900	16,2	-	-	21,8498	22,9959	27,5125	17,8323	3,7156	6,094	-	-
<i>Syncerus caffer</i>	K	600	21,3	-	-	32,5265	28,9393	21,3088	11,6401	4,3047	1,2807	-	-
	K	600	21,3	-	-	38,2937	21,9366	19,532	14,7804	3,7005	1,7567	-	-
	K	600	21,3	-	-	38,967	27,0569	21,5719	8,0531	3,6631	0,6881	-	-
<i>Syncerus caffer nanus</i>	K	350	18,3	-	-	28,3761	36,9024	17,1088	13,0747	4,101	0,4369	-	-
	K	350	18,3	-	-	30,455	25,4034	22,8705	16,7495	2,9409	1,5807	-	-
	K	350	18,3	-	-	25,9849	26,2162	26,3564	17,1316	3,3997	0,9113	-	-
<i>Bos (Bos) primigenius</i>	K	900	18,0943	1,2378	0,2721	0,2645	0,1678	0,092	0,0293	0,0091	0,0014	0	0
	K	700	16,3243	0,8627	0,1761	0,1854	0,1608	0,0691	0,028	0,007	0	0	0
	K	300	16,2198	1,0189	0,1989	0,2405	0,1449	0,0684	0,0209	0,0096	0,0015	0,0014	0

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

	*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS								
					0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm
<i>Bos (Bos) primigenius</i>	FW	800	14,1959	0,98	0,1924	0,1473	0,0892	0,0779	0,0494	0,0098	0,0074	0	0
	K	320	20,0009	1,1757	0,231	0,287	0,1647	0,1403	0,0328	0,0051	0	0	0
	FW	800	13,5657	0,7911	0,1046	0,1035	0,0922	0,0592	0,026	0,0039	0,0023	0,0013	0
	FW	700	11,6953	0,9835	0,1114	0,1806	0,0941	0,0898	0,0271	0,0093	0,002	0	0
	FW	800	14,7574	0,9896	0,13	0,1031	0,071	0,0499	0,0242	0,0067	0,005	0	0
	FW	800	14,8657	0,85	0,1278	0,0814	0,0541	0,0275	0,0136	0,0071	0	0	0
	FW	800	12,6699	0,8036	0,1207	0,0984	0,063	0,048	0,0204	0,0083	0,0033	0,001	0
<i>Bos (Bos) prigeminius f. taurus</i> Hausrind	GH	1090	17,8833	0,8254	0,0466	0,1191	0,1025	0,0183	0,0032	0,0001	0	0	0
	GH	1180	16,5665	0,945	0,0922	0,0858	0,1022	0,0345	0,0159	0,001	0,0015	0	0
	GH	1100	16,7057	0,899	0,0918	0,1665	0,1065	0,0342	0,0158	0,007	0,0017	0	0
	LH	1180	17,8722	1,2408	0,1257	0,1858	0,1882	0,1393	0,0577	0,0178	0,0012	0	0
	LH	1090	18,854	1,3937	0,1084	0,1816	0,2462	0,1902	0,063	0,0165	0	0	0
Dahomey-Zwergrind	LH	1100	19,1687	1,0593	0,1079	0,1809	0,1809	0,1418	0,0439	0,0146	0	0	0
	K	100	18,9165	3,3977	0,4276	0,4337	0,6665	0,2275	0,1427	0,0633	0,0033	0	0
	K	200	20,4108	3,3987	0,3846	0,7784	0,5076	0,2899	0,0483	0,0257	0,0088	0	0
<i>Bos primigenus indicus</i>	K	300	18,4791	3,1139	0,3238	0,5391	0,4641	0,3751	0,0631	0,0219	0,0027	0	0
	K	220	19,3	-	-	32,8201	33,181	20,271	7,6578	2,6221	3,448	-	-
	K	220	19,3	-	-	45,8629	28,1367	17,2873	5,6771	1,9826	1,0535	-	-
<i>Bos gaurus</i>	K	220	19,3	-	-	30,8676	25,953	23,7625	15,9273	2,3717	1,1179	-	-
	K	800	17,8	-	-	17,8397	42,0441	30,7782	7,5261	1,5215	0,2904	-	-
	K	800	17,8	-	-	32,9364	46,3296	16,4779	3,0262	0,6443	0,5857	-	-
<i>Bos javanicus</i>	K	800	17,8	-	-	24,6662	27,0713	29,732	13,1143	4,8007	0,6155	-	-
	K	600	16	-	-	25,4876	47,2991	22,4446	3,7476	1,0211	0	-	-
	K	600	16	-	-	19,9857	32,3669	31,5114	12,9634	3,0894	0,0832	-	-
<i>Bos grunniens</i>	K	600	16	-	-	19,8305	44,2575	24,0551	9,0832	2,475	0,2987	-	-
	K	400	21,3	-	-	37,7908	28,1767	17,9755	15,3483	0,5799	0,1289	-	-
	K	400	21,3	-	-	35,972	29,2293	18,6501	12,4671	3,014	0,6675	-	-
<i>Bison bison</i>	K	400	21,3	-	-	34,8799	22,5568	24,9228	10,8334	4,7549	2,0523	-	-
	K	650	17,8	-	-	28,0796	33,8757	18,4268	11,7592	6,5224	1,3364	-	-
	K	650	17,8	-	-	42,2745	33,6642	16,6055	4,5857	1,7264	1,1437	-	-
<i>Bison bonasus</i>	K	650	17,8	-	-	46,8215	20,4944	20,4623	7,4593	3,018	1,7444	-	-
	K	600	18,2	-	-	25,5168	33,1926	21,0343	13,5956	4,6529	2,0079	-	-
	K	600	18,2	-	-	31,7893	43,0606	18,6824	4,2546	1,3381	0,8749	-	-

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

	*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS								
					0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm
<i>Bison bonasus</i>	K	600	18,2	-	-	33,9605	29,5031	15,4275	12,7512	5,7545	2,6032	-	-
<i>Alcelaphus buselaphus</i>	K	180	48	-	-	32,5553	42,4895	14,3868	9,7091	0,726	0,1333	-	-
	K	180	48	-	-	38,1822	29,3748	16,7094	12,6503	2,3691	0,7142	-	-
	K	180	48	-	-	34,4911	26,5847	22,7183	7,358	6,645	2,2028	-	-
U.F. Kuhantilopen (Alcelaphinae)													
<i>Damaliscus dorcas phillipsi</i>	K	65	46,5	-	-	53,646	34,3008	9,0746	2,0514	0,6763	0,2508	-	-
	K	65	46,5	-	-	49,3695	34,0947	10,0833	4,4159	1,8796	0,157	-	-
	K	65	46,5	-	-	58,6643	31,4493	8,6834	0,6826	0,1384	0,3819	-	-
<i>Connochaetus gnou</i>	K	160	29,6	-	-	34,0303	32,0643	21,7998	9,1457	1,9932	0,9667	-	-
	K	160	29,6	-	-	39,4615	37,8399	16,2649	5,451	0,7623	0,2203	-	-
	K	160	29,6	-	-	41,6224	32,125	19,2463	4,1119	1,8364	1,0579	-	-
U.F. Pferdeböcke (Hippotraginae)													
<i>Hippotragus equinus</i>	K	270	27,8	-	-	27,4086	33,0715	30,6219	5,4228	2,9951	0,4801	-	-
	K	270	27,8	-	-	30,6547	29,4378	28,1857	10,5602	1,0661	0,0955	-	-
	K	270	27,8	-	-	33,6401	33,6106	20,4551	7,3503	2,5627	2,3812	-	-
<i>Hippotragus niger</i>	K	220	28,3	-	-	33,7613	30,57	27,1569	7,945	0,4929	0,0739	-	-
	K	220	28,3	-	-	29,3716	43,0701	16,4014	7,921	2,5265	0,7095	-	-
	K	220	28,3	-	-	23,3639	41,2819	15,48	10,3631	3,3134	6,1979	-	-
<i>Oryx gazella</i>	K	200	44,3	-	-	34,3051	40,1758	22,3988	2,5856	0,3296	0,2051	-	-
	K	200	44,3	-	-	33,5835	40,253	23,8966	1,8841	0,244	0,1389	-	-
<i>Oryx beisa</i>	K	145	62,2	-	-	45,6449	25,5463	12,6454	5,7258	9,7521	0,6854	-	-
	K	145	62,2	-	-	38,3914	31,5607	18,7742	8,1702	2,7773	0,3262	-	-
	K	145	62,2	-	-	39,1761	20,8912	14,1182	9,6343	13,3681	2,8121	-	-
<i>Oryx dammah</i>	K	180	40,5	-	-	32,014	30,4164	25,469	9,2936	2,2332	0,5738	-	-
	K	180	40,5	-	-	26,0341	28,062	22,7425	21,9504	0,7393	0,4717	-	-
	K	180	40,5	-	-	29,4888	22,997	14,8597	11,5141	18,1545	2,986	-	-
<i>Addax nasomaculatus</i>	K	85	53,6	-	-	35,8903	28,8523	20,8866	9,2037	1,5176	3,6495	-	-
	K	85	53,6	-	-	48,6819	36,4018	11,6377	2,2314	0,828	0,2192	-	-
	K	85	53,6	-	-	46,4206	26,47	17,7006	4,8966	2,3755	2,1367	-	-
U.F. Ried- und Wasserböcke (Reduncinae)													
<i>Kobus ellispiprymnus</i>	K	190	24,8	-	-	39,6151	31,0412	19,2061	7,3978	2,7399	0	-	-
	K	190	24,8	-	-	29,6041	38,7882	24,015	6,4711	1,1217	0	-	-

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

	*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS								
					0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm
<i>Kobus ellispiprymnus</i>	K	190	24,8	-	-	26,5594	26,6408	26,8848	15,0877	4,3121	0,5153	-	-
<i>Kobus leche</i>	K	90	27,8	-	-	36,5775	29,3481	25,0794	8,2037	0,4576	0,3337	-	-
	K	90	27,8	-	-	45,8406	36,5418	15,2917	2,029	0,1732	0,1237	-	-
	K	90	27,8	-	-	33,377	35,7554	16,264	7,816	3,2124	3,5752	-	-
	K	90	27,8	-	-	31,8594	34,8609	19,7804	12,6257	0,8687	0,0049	-	-
<i>Redunca redunca</i>	K	50	41,5	-	-	52,4071	35,1787	10,732	0,9724	0,346	0,3639	-	-
	K	50	41,5	-	-	37,5702	47,1047	9,4817	4,3513	1,4922	0	-	-
	K	50	41,5	-	-	38,0489	32,6712	10,7276	12,179	6,2756	0,0977	-	-
U.F. Schwarzfersenantilopen (Aepycerotinae)													
<i>Aepyceros melampus</i>	K	55	31,3	-	-	32,7657	40,9996	23,7874	2,1524	0,1253	0,1695	-	-
	K	55	31,3	-	-	37,4791	38,6815	20,5791	3,1826	0,0419	0,0359	-	-
	K	55	31,3	-	-	29,7615	43,2738	23,1449	3,1954	0,2126	0,4119	-	-
U.F. Springantilopen (Antilopinae)													
<i>Gazella dama</i>	K	50	34,4	-	-	30,116	31,7703	29,6657	6,774	1,6739	0	-	-
	K	50	34,4	-	-	32,4383	29,3578	21,3071	9,5867	6,3757	0,9343	-	-
<i>Gazella dama mhor</i>	K	40	35,1	-	-	41,8097	40,3999	15,0209	2,4686	0,2595	0,0413	-	-
	K	40	35,1	-	-	42,4771	41,5511	13,4811	0,9785	1,5123	0	-	-
	K	40	35,1	-	-	45,457	35,8952	17,2435	1,2508	0,0944	0,059	-	-
<i>Gazella dorcas</i>	K	18	44,5	-	-	39,1461	39,8953	18,8238	1,9399	0,195	0	-	-
	K	18	44,5	-	-	36,0856	43,6885	19,0171	1,156	0,0066	0,0462	-	-
	K	18	44,5	-	-	35,1777	43,685	20,3146	0,7233	0,0994	0	-	-
<i>Gazella subgutturosa</i>	K	27	45	-	-	35,3705	41,1454	21,2765	2,1683	0,0219	0,0175	-	-
	K	27	45	-	-	39,4452	37,1939	20,2705	2,4163	0,6236	0,0504	-	-
	K	27	45	-	-	26,9082	48,6448	21,0842	2,7211	0,5729	0,069	-	-
<i>Antilope cervicapra</i>	K	33	40,1	-	-	35,0723	25,9405	21,1831	14,7219	1,6751	1,4071	-	-
	K	33	40,1	-	-	34,3353	27,9853	20,756	11,5729	3,547	1,8036	-	-
	K	33	40,1	-	-	43,7371	25,7634	13,1317	14,3555	2,3945	0,6178	-	-
<i>Litocranius walleri</i>	K	37	32,2	-	-	42,2595	41,7934	9,3053	6,5032	0,1054	0,0333	-	-
	K	37	32,2	-	-	43,1016	44,3607	10,6077	1,6059	0,2111	0,1131	-	-
<i>Antidorcas marsupialis</i>	K	30	33,6	-	-	43,6226	34,5359	13,9552	6,0354	1,5491	0,3018	-	-
	K	30	33,6	-	-	25,4186	38,6021	31,9684	3,6206	0,1581	0,2322	-	-
	K	30	33,6	-	-	48,5958	26,3858	13,3267	9,4259	2,1851	0,0807	-	-

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

	*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS								
					0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm
<i>Antidorcas marsupialis</i>	K	30	33,6	-	-	30,4725	40,2025	27,0093	1,7757	0,3167	0,2233	-	-
	K	30	33,6	-	-	18,5418	31,1567	32,7774	16,3438	0,821	0,3592	-	-
	K	30	33,6	-	-	38,3828	29,6326	19,7645	11,6435	0,4254	0,1512	-	-
U.F. Saigaartige (Saiginae)													
<i>Saiga tartarica</i>	K	35	33,6	-	-	41,07	34,4891	18,4393	4,634	0,7643	0,6034	-	-
	K	35	33,6	-	-	44,0163	40,7627	12,3823	2,674	0,1647	0	-	-
	K	35	33,6	-	-	47,8238	34,4685	14,8933	2,0768	0,3139	0,4237	-	-
U.F. Gemsenartige (Rupicaprinae)													
<i>Rupicapra rupicapra</i>	K	50	30,7	-	-	24,9242	47,6122	25,6792	1,6814	0,0858	0,0172	-	-
	K	50	30,7	-	-	14,3561	41,5019	36,4244	5,8005	1,9171	0	-	-
	K	50	30,7	-	-	16,9071	35,4001	36,1249	10,6781	0,7679	0,122	-	-
<i>Oreamnos americanus</i>	K	60	36,7	-	-	46,7586	40,5584	9,9769	2,0639	0,6423	0	-	-
	K	60	36,7	-	-	50,8943	23,7309	21,7123	2,2094	0,9206	0,5326	-	-
	K	60	36,7	-	-	60,4626	21,8658	9,609	2,8084	4,9697	0,2845	-	-
<i>Nemorhaedus goral</i>	K	35	25,9	-	-	41,0049	49,8963	7,0583	1,6592	0,3813	0	-	-
	K	35	25,9	-	-	45,6222	38,3707	8,9408	4,7134	1,9903	0,3626	-	-
	K	35	25,9	-	-	43,0036	32,9314	16,378	6,7573	0,4994	0,4303	-	-
<i>Budorcas taxicolor</i>	K	270	25,2	-	-	28,0943	25,399	23,988	16,3196	3,303	2,8961	-	-
	K	270	25,2	-	-	46,2368	25,9747	17,486	7,7697	1,5374	0,9954	-	-
	K	270	25,2	-	-	44,0483	28,1491	19,6679	4,145	2,0486	1,9411	-	-
U.F. Ziegenartige (Caprinae)													
<i>Capra ibex</i>	K	60	33,8	-	-	22,8103	40,6777	30,7375	4,8185	0,5596	0,3964	-	-
	K	60	33,8	-	-	20,136	33,7907	39,1584	6,6022	0,2419	0,0709	-	-
	K	60	33,8	-	-	22,4044	36,7217	28,022	10,894	1,8493	0,1086	-	-
<i>Capra falconeri</i>	K	50	35,9	-	-	28,2182	39,3076	29,3167	2,8152	0,3329	0,0095	-	-
	K	50	35,9	-	-	35,0848	39,1011	22,57	2,9091	0,2084	0,1267	-	-
	K	50	35,9	-	-	29,2896	32,5921	33,9787	3,0656	1,0437	0,0303	-	-
<i>Capra hircus</i>	K	40	36,5	-	-	56,6833	29,4573	11,8951	1,4304	0,5338	0	-	-
	K	40	36,5	-	-	42,7636	34,9043	15,7699	6,0229	0,5329	0,0064	-	-
	K	40	36,5	-	-	53,8558	32,5543	11,2213	2,0381	0,299	0,0315	-	-
<i>Capra aegagrus</i>	K	33	45,1	-	-	60,5723	27,9733	8,3397	2,5238	0,5909	0	-	-
	K	33	45,1	-	-	49,3288	30,3711	12,0452	1,9498	6,305	0	-	-

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

	*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS								
					0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm
<i>Capra aegagrus</i>	K	33	45,1	-	-	55,1486	38,2522	5,9698	0,6293	0	0	-	-
<i>Ovis ammon musimon</i>	K	40	28,9	-	-	32,994	30,9991	27,3487	7,6732	0,8277	0,1573	-	-
	K	40	28,9	-	-	47,9022	23,8012	23,0375	4,5824	0,6477	0,029	-	-
	K	40	28,9	-	-	38,504	31,3398	18,5103	9,121	0,86	1,6648	-	-
<i>Pseudois nayaur</i>	K	27	36,1	-	-	69,815	20,0422	7,9114	1,6228	0,5274	0,0811	-	-
	K	27	36,1	-	-	26,9609	48,3998	12,5787	5,3843	4,5055	2,1708	-	-
<i>Ovis ammon cycloceros</i>	K	50	53,8	-	-	58,2826	28,1388	8,7445	3,6584	0,9238	0,2519	-	-
	K	50	53,8	-	-	27,4316	15,5552	52,57	3,3802	0,7366	0,3265	-	-
	K	50	53,8	-	-	34,9245	45,0206	14,8373	4,1111	0,9208	0,1858	-	-
<i>Ovis ammon aries</i>	K	25	30,9	-	-	48,3229	26,3127	14,632	4,504	2,6728	3,5558	-	-
	K	25	30,9	-	-	54,4599	27,4735	11,3617	5,7776	0,6071	0,3202	-	-
	K	25	30,9	-	-	52,0285	18,0767	25,9554	2,7624	1,0316	0,1454	-	-
<i>Ovibos moschatus</i>	K	350	23,735	3,7811	0,2982	0,8078	0,5594	0,2997	0,046	0,0581	0,009	0,0022	0
	K	250	26,5232	4,7109	0,5637	0,653	0,6843	0,339	0,0701	0,027	0,008	0,0038	0
	K	220	30,2	-	-	28,1216	31,4992	15,1136	19,6657	2,8317	2,7683	-	-
	K	220	30,2	-	-	44,4118	42,2865	11,6361	1,3339	0,3316	0	-	-
	K	220	30,2	-	-	49,9622	24,8443	20,0699	4,0116	0,7278	0,3843	-	-
Klasse REPTILIA													
O. Squamaten (Squamata)													
U.O. Echsen (Sauria)													
F. Leguane (Iguanidae)													
<i>Iguana iguana</i>	M	3,11	6,7349	0,1428	0,0008	0,0012	0,0015	0,0018	0,0033	0	0	0,0039	0,1303
	CA	3,11	20,4152	0,5378	0,0194	0,0185	0,0263	0,0195	0,0547	0,018	0,1083	0	0
	CR	3,11	20,165	0,369	0,0207	0,0278	0,0188	0,0118	0,0168	0,0024	0,0016	0	0
	CS	3,11	17,0909	0,2925	0,0147	0,0204	0,0239	0,015	0,0316	0,0186	0,0075	0	0
	CL	3,11	22,6617	0,8953	0,0259	0,0271	0,0478	0,0291	0,0291	0,0644	0,0996	0,0676	0
	R	3,11	27,8323	1,7815	0,0456	0,0949	0,0854	0,0432	0,1317	0,0129	0,0039	0,193	0
	K	2,5	88,3386	2,416	0,154	0,2317	0,2307	0,162	0,063	0,0341	0,1654	0,0966	0,1265
	K	2,5	63,1244	0,9253	0,0321	0,0541	0,0412	0,0566	0,0331	0,0312	0,0759	0,1293	0,1584
	K	2,5	83,6739	0,6904	0,0145	0,0267	0,0329	0,041	0,0161	0,0192	0,0246	0,0888	0,31
	K	3,3	30,9698	0,8079	0,0233	0,0404	0,0371	0,0488	0,0246	0,0252	0,0503	0,1091	0,2342

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

	*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS								
					0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm
<i>Iguana iguana</i>	K	2,9	19,6479	0,7491	0,0189	0,0336	0,035	0,0449	0,0203	0,0222	0,0374	0,0989	0,2721
	CL	2,93	47,6612	1,7326	0,0531	0,0953	0,0438	0,0369	0,1162	0,0005	0,0149	0,0554	0
	CL	1,947	26,8275	2,807	0,0757	0,121	0,0949	0,0555	0,1467	0,0985	0,1883	1,1964	0
	CSP	2,93	70,2759	0,8079	0,0135	0,0278	0,0165	0,0125	0,0998	0,0051	0	0	0
	C	1,947	32,5138	0,8859	0,0234	0,0315	0,0277	0,0191	0,0438	0,013	0,0058	0,1731	0
	CSP	1,947	13,424	0,9555	0,0307	0,0304	0,0202	0,0153	0,0203	0,0038	0,006	0,8288	0
	CSP	2,93	71,6024	1,1116	0,0098	0,0139	0,006	0,0019	0,0161	0,0101	0,0583	0,0159	0
	<i>Cyclura cornuta</i>	K	5	88,3804	2,2277	0,0499	0,3569	0,124	0,0197	0,0163	0,0395	0	0
K		2,5	82,0367	1,3612	0,0199	0,0595	0,1672	0,1821	0,1481	0,1282	0,0157	0	0
K		5	95,2188	1,7577	0,016	0,0127	0,0216	0,0925	0,0389	0,0049	0,0278	0,0071	0,5079
K		5	53,239	1,1042	0,0141	0,0134	0,0472	0,4905	0,0744	0,0247	0,006	0,0093	0,2071
K		5	60,2106	0,5453	0,0148	0,0169	0,0179	0,0242	0,0272	0,0212	0,0834	0,0051	0
F. Skinke (Scincidae) <i>Corucia zebrata</i>	K	0,28	23,5425	0,827	0,0435	0,0667	0,0502	0,0669	0,0764	0,0111	0,0059	0,0489	0,175
	K	0,35	18,2465	0,3322	0,0148	0,0425	0,0495	0,0199	0,0056	0,0011	0	0,0002	0,0465
	C	0,515	33,5559	0,5239	0,0316	0,0368	0,0213	0,0188	0,0653	0,0118	0,0031	0,0587	0,0433
	CLprox	0,515	42,5043	1,6046	0,0453	0,0589	0,045	0,0533	0,1163	0,0209	0,0162	0,0463	0,5302
	CLdist	0,515	42,6883	1,0408	0,051	0,0689	0,0557	0,048	0,0323	0,0045	0,0077	0,0139	0,2187
	C	0,6	27,8657	0,7721	0,0344	0,0379	0,0535	0,0389	0,0139	0,003	0,0007	0,0143	0,1007
	CLprox	0,6	25,0021	1,8914	0,1103	0,118	0,0808	0,062	0,1085	0,0197	0,0081	0,1624	0,062
	CLdist	0,6	27,7349	0,9121	0,0395	0,0494	0,0337	0,0333	0,0681	0,0097	0,0051	0,0727	0,2734
	C	0,451	24,155	0,5429	0,0328	0,0449	0,0397	0,0397	0,0395	0,0036	0,002	0,0246	0,0639
	CL	0,451	27,087	1,0295	0,0676	0,0648	0,0658	0,0554	0,1021	0,0302	0,0138	0,0947	0,1047
	C	0,492	18,648	0,7756	0,0202	0,0235	0,0758	0,0421	0,0262	0,0061	0,008	0,0142	0,0584
	CL	0,492	22,84	0,8014	0,0545	0,0418	0,0734	0,0597	0,0548	0,0104	0,0826	0,0211	0,0052
	C	0,454	19,7971	0,3167	0,0182	0,0182	0,0159	0,012	0,0047	0,0071	0,002	0,029	0,0158
	CL	0,454	19,3901	0,4937	0,0172	0,0256	0,0236	0,0245	0,0158	0,0062	0,0085	0,0138	0,0482
	C	0,458	23,443	0,1869	0,0151	0,0138	0,0127	0,013	0,0074	0,0013	0,0015	0,0075	0
	CI	0,458	20,9241	0,8375	0,0448	0,0443	0,0552	0,0447	0,0627	0,01	0,0574	0,0176	0,2125
	C	0,454	19,4716	0,3604	0,0215	0,0311	0,0154	0,0165	0,0917	0,0493	0,0783	0	0
	CL	0,454	25,9213	1,1269	0,0451	0,0618	0,0338	0,0447	0,0453	0,0138	0,1763	0,0438	0,1177
	C	0,175	30,608	0,2666	0,0067	0,012	0,0183	0,0281	0,0075	0,0118	0,0185	0,0195	0,0533
	CL	0,175	37,9356	0,5099	0,0156	0,0157	0,0233	0,0403	0,0207	0,0203	0,0562	0,1031	0,0735

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

	*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS								
					0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm
<i>Corucia zebrata</i>	K	0,175	35,4529	0,2664	0,0144	0,0143	0,0154	0,0174	0,0116	0,0094	0,0013	0,04	0,0142
O. Schildkröten (Testudinata)													
F. Landschildkröten (Testudinidae)													
<i>Dipsochelys dussumieri</i>	K	10	29,9762	1,3562	0,0484	0,0486	0,0637	0,0666	0,0647	0,0871	0,0775	0,0767	0,3659
	K	100	22,8831	0,97	0,0215	0,0346	0,0248	0,0291	0,0146	0,0292	0,0442	0,0045	0,4162
	K	100	16,1815	0,7846	0,0278	0,0239	0,0284	0,027	0,0238	0,0216	0,0027	0,0026	0,5337
	K	200	21,0044	0,7171	0,0191	0,0185	0,0163	0,0141	0,0143	0,0574	0,0312	0,0108	0,4378
	K	200	20,5028	0,9029	0,0268	0,0272	0,0239	0,0259	0,0331	0,0112	0,0085	0,0056	0,4967
	K	5	26,0265	1,5236	0,1121	0,0912	0,1039	0,0892	0,1061	0,1142	0,0505	0,0438	0,1156
<i>Testudo gigantea</i>	K	200	22,4056	0,8903	0,0447	0,05	0,029	0,0381	0,0407	0,0332	0,0257	0,0333	0,3688
	K	140	21,9702	1,1411	0,0419	0,0398	0,0287	0,0183	0,0139	0,0075	0,0109	0,0037	0,6197
	K	150	15,1605	1,2112	0,0415	0,0619	0,0291	0,0318	0,0197	0,0199	0,0148	0,0042	0,6309
	K	120	19,6565	1,8893	0,0523	0,0322	0,03	0,0157	0,0071	0,0141	0,009	0,0174	0,8398
	K	180	14,3564	1,1618	0,042	0,0572	0,0338	0,0235	0,0338	0,0163	0,0061	0,0037	0,7267
<i>Geochelone nigra</i>	K	100	33,5129	1,3562	0,0326	0,1162	0,1796	0,0635	0,0216	0,0355	0,0382	0,068	0,2862
	K	100	33,8198	2,0165	0,0478	0,1033	0,1278	0,082	0,0396	0,0153	0,0157	0,0766	0,4764
	K	100	16,6131	1,6454	0,0751	0,1486	0,1386	0,0704	0,0735	0,0328	0,0257	0,0374	0,562
	K	100	20,9636	1,3032	0,0361	0,0595	0,0696	0,0273	0,0279	0,0257	0,0191	0,0771	0,4202
	K	100	22,2798	0,656	0,0325	0,055	0,0558	0,0256	0,021	0,0133	0,0018	0,0329	0,1813
	K	150	17,1912	0,9484	0,0257	0,0313	0,0265	0,0328	0,0193	0,0056	0,0115	0,0165	0,5006
	K	80	22,6562	2,0438	0,1121	0,1131	0,1279	0,1311	0,2427	0,1844	0,0445	0,1129	0,3532
<i>Testudo radiata</i>	K	10	52,7566	3,0663	0,1246	0,2273	0,2925	0,1106	0,0525	0,0887	0,1053	0,0459	0,3601
	K	10	54,3471	3,9412	0,0395	0,1523	0,2147	0,1515	0,2428	0,2353	0,1803	0,14	0,5197
	K	10	23,0353	0,8635	0,0452	0,0605	0,0387	0,0339	0,0471	0,0722	0,0645	0,0861	0,065
<i>Testudo pardalis</i>	K	30	20,7019	1,2383	0,054	0,0851	0,1453	0,0601	0,0407	0,0716	0,086	0,024	0,2524
	K	30	23,5575	1,4136	0,0559	0,0731	0,0518	0,0422	0,0457	0,0725	0,0534	0,0358	0,3979
	K	30	45,7967	1,132	0,0149	0,0231	0,012	0,0215	0,0262	0,071	0,0439	0,0403	0,8791
	K	30	69,8171	1,4047	0,222	0,3711	0,1199	0,0373	0,0122	0,0157	0,0551	0,0522	0,004
<i>Testudo sulcata</i>	K	90	24,12	0,8119	0,0937	0,1295	0,0987	0,063	0,0204	0,0041	0,017	0,0038	0,0071
	K	90	15,5857	1,4782	0,0523	0,0925	0,0624	0,0315	0,0333	0,0331	0,0115	0,0064	0,4485
	K	90	29,9015	1,6306	0,1106	0,1747	0,071	0,0343	0,0439	0,0501	0,0236	0,0254	0,4291
<i>Testudo horsfieldii</i>	K	1,2	19,0223	0,8461	0,0793	0,0752	0,0571	0,0399	0,0109	0,012	0,0292	0,0064	0,1263

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS									
				0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm	
<i>Testudo hermanni</i>	UZF	0,625	-	0,2051	0,0289	0,0327	0,0202	0,0171	0,0176	0,012	0,0343	0,0364	0,0059
	UZF	0,518	39,3759	1,3031	0,049	0,0692	0,0376	0,0491	0,0652	0,1197	0,0624	0,0248	0,0392
	UZF	0,778	13,1415	0,3975	0,0276	0,0375	0,0258	0,0159	0,0401	0,0694	0,026	0,0116	0,03
	UZF	0,956	-	0,0965	0,0099	0,0177	0,0091	0,0051	0,0052	0,0091	0,01	0,0113	0,0191
	UZF	0,942	-	0,0731	0,0042	0,0056	0,0059	0,0064	0,005	0,0247	0,014	0,0027	0,0046
	UZF	0,95	-	0,2942	0,0138	0,0286	0,0259	0,0142	0,0396	0,0774	0,0492	0,015	0,0305
	UZF	0,804	-	0,1907	0,0227	0,0168	0,0154	0,0168	0,0175	0,0409	0,0238	0,0014	0,0354
	UZF	1,006	16,7758	0,6893	0,0192	0,0293	0,0187	0,0333	0,0291	0,0548	0,0357	0,0078	0,1235
	UZF	1,736	-	0,1222	0,0064	0,008	0,0073	0,0062	0,0093	0,0198	0,026	0,0214	0,0178
	K	0,1	18,4022	0,5586	0,024	0,0349	0,0359	0,044	0,0456	0,038	0,0276	0,0104	0,0099
	K	1,104	26,4649	0,6969	0,0527	0,0658	0,0353	0,0296	0,0048	0,0066	0	0	0
	K	0,063	16,8221	0,2119	0,0171	0,0201	0,0129	0,0314	0,0079	0,0027	0	0	0
	K	1,4	-	0,1133	0,0066	0,0132	0,0055	0,0072	0,0066	0,0221	0,0086	0,0076	0,0359
	<i>Testudo graeca</i>	FW	0,75	38,8283	0,705	0,0383	0,043	0,0777	0,0762	0,0742	0,0878	0,0277	0,0024
FW		0,75	25,5058	0,8532	0,0697	0,0665	0,1187	0,1145	0,0945	0,1413	0,0339	0,0107	0,0056
FW		0,86	34,2898	0,9386	0,0694	0,0735	0,0934	0,0954	0,0728	0,255	0,0672	0,0105	0,0097
FW		0,048	20,1327	0,2999	0,0221	0,0117	0,0368	0,0265	0,0158	0,0087	0,0345	0,003	0
FW		1,05	26,1835	1,1738	0,0456	0,0716	0,0702	0,0676	0,0858	0,0892	0,0446	0,0697	0,0344
ZF		0,792	9,1675	0,1968	0,0179	0,0147	0,0183	0,0206	0,0114	0,0224	0,0103	0,008	0,0161
ZF		1,062	11,2385	0,7125	0,0435	0,0396	0,0828	0,1092	0,1032	0,0732	0,0149	0,0112	0,017
ZF		0,96	13,8878	0,5705	0,0407	0,0304	0,0377	0,0537	0,04	0,0416	0,0141	0,0208	0,0532
ZF		0,388	10,3877	0,3538	0,0239	0,0174	0,0402	0,0439	0,0366	0,0394	0,0129	0,0065	0,0153
ZF		0,916	10,9481	0,2156	0,0129	0,0286	0,0268	0,0392	0,0257	0,0151	0,0117	0,0173	0,0044
ZF		2,818	10,8011	0,4753	0,0238	0,0176	0,0232	0,0349	0,0256	0,0296	0,0236	0,0276	0,0867
ZF		1,406	10,7652	0,3668	0,0312	0,023	0,0268	0,0388	0,0219	0,02	0,0091	0,0074	0,0308
ZF		1,626	10,9453	0,1697	0,0133	0,0128	0,0192	0,024	0,0169	0,0271	0,0044	0,0045	0,0059
ZF		3,19	14,1109	0,2006	0,013	0,0044	0,0267	0,0296	0,0313	0,0179	0,0116	0	0
UZF		0,792	22,2715	1,0078	0,1488	0,1023	0,0651	0,0791	0,0924	0,0339	0,0315	0,0175	0,0103
UZF		1,062	32,9278	2,5783	0,0755	0,0959	2,0782	0,0533	0,084	0,0914	0,0466	0,0207	0,0327
UZF		0,94	29,1976	1,192	0,0177	0,0134	0,0148	0,0119	0,0108	0,0121	0,0136	0,0102	0,1408
UZF		0,438	35,9098	1,2462	0,0816	0,0967	0,0529	0,0249	0,0427	0,0896	0,0683	0,0624	0,0202
UZF		1,383	11,3387	0,4221	0,0282	0,0183	0,0119	0,0137	0,0151	0,006	0,0052	0,0181	0,0933
UZF		0,88	14,3809	0,1575	0,0114	0,0114	0,0122	0,0242	0,0239	0,0031	0,0063	0,003	0,0036

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS									
				0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm	
<i>Testudo graeca</i>													
UZF	2,818	17,7656	0,7113	0,0372	0,0621	0,0319	0,0298	0,0344	0,0684	0,0121	0,0498	0,0208	
UZF	1,626	13,0134	0,6102	0,052	0,091	0,0353	0,0221	0,0231	0,0084	0,0114	0,0182	0,0716	
UZF	3,19	18,8666	0,5122	0,0376	0,059	0,0424	0,0261	0,0205	0,0262	0,0467	0,0059	0,0454	
K	2,45	25,0099	1,5424	0,1125	0,1088	0,0627	0,0371	0,0381	0,1074	0,0997	0,06	0	
K	2,45	10,7285	0,6119	0,0513	0,0238	0,0322	0,0188	0,0364	0,0028	0,0194	0,0401	0,0575	
K	1,051	23,3215	0,3328	0,0264	0,0229	0,0236	0,02	0,0146	0,013	0,0011	0,0039	0,0049	
K	1	17,7773	0,9425	0,0376	0,0407	0,0405	0,0531	0,0305	0,0501	0,0138	0,0358	0,026	
Klasse AVES													
O. Flachbrustvögel (Struthioniformes)													
U.O. Strausse (Struthiones)													
F. Strauße (Struthionidae)													
<i>Struthio camelus</i>													
M	100	23,1746	0,8646	0,0185	0,0291	0,0442	0,0598	0,0465	0,1039	0,1629	0,0405	0,1835	
M	100	21,3563	0,6317	0,0038	0,0059	0,0088	0,0166	0,0287	0,0649	0,0497	0,0845	0,2243	
M	100	15,5222	0,7899	0,006	0,0068	0,0065	0,0086	0,013	0,0513	0,0243	0,0429	0,4271	
C	100	12,3825	0,8871	0,0608	0,0883	0,0752	0,058	0,0386	0,0281	0,0066	0	0	
C	100	8,9254	0,5281	0,0413	0,049	0,0508	0,0598	0,0333	0,0286	0,0022	0	0	
C	100	10,8684	0,4979	0,0335	0,0275	0,0332	0,0317	0,033	0,0221	0,0031	0	0	
CL	100	29,2292	1,8084	0,1174	0,1078	0,1289	0,095	0,1217	0,0503	0,0148	0	0	
CL	100	32,2829	1,8856	0,1463	0,1391	0,1624	0,1868	0,0944	0,0748	0,0024	0	0	
CL	100	18,8409	1,2674	0,0742	0,055	0,0667	0,0559	0,0667	0,0564	0,0069	0,0127	0	
K	100	37,6195	1,5836	0,2114	0,364	0,1986	0,1068	0,0364	0,023	0,0055	0	0	
K	80	31,7344	1,6907	0,207	0,2563	0,223	0,1217	0,0413	0,0301	0,0018	0	0	
U.O. Nandus (Rheae)													
F. Nandus (Rheidae)													
<i>Rhea americana</i>													
K	20	40,9758	1,9464	0,0454	0,0923	0,1282	0,096	0,1294	0,3458	0,1129	0,0014	0,0051	
K	20	35,3694	1,4894	0,0734	0,2536	0,2329	0,1922	0,0704	0,0631	0,0102	0,0221	0,0467	
K	20	32,7999	2,3192	0,1513	0,4409	0,3825	0,2267	0,0761	0,0362	0,0214	0,0137	0,0635	
K	20	38,9926	1,5251	0,0857	0,2681	0,313	0,2174	0,0825	0,0351	0,0164	0,0166	0,0452	
K	20	35,6336	1,5277	0,1775	0,3931	0,3554	0,11	0,0145	0,0059	0	0	0	

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

	*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS								
					0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm
U.O. Kasuarvögel (Casuarii)													
F. Kasuare (Casuariidae)													
<i>Casuarus casuarius</i>	K	60	9,6499	1,1372	0,0521	0,1172	0,0952	0,0948	0,1544	0,1219	0,0746	0,1442	0,0227
	K	60	35,9757	2,1262	0,0738	0,3281	0,5327	0,3346	0,0772	0,0795	0,0725	0,0335	0,0174
F. Emus (Dromaiidae)													
<i>Dromaius novaehollandiae</i>	K	40	43,1723	2,0931	0,1459	0,442	0,1158	0,0656	0,0616	0,0397	0,0029	0,0019	0
	K	40	29,0869	1,5057	0,0537	0,1513	0,2944	0,3614	0,1571	0,1989	0,0717	0,0087	0
	K	40	25,8764	2,7036	0,1232	0,1472	0,1776	0,1556	0,1683	0,3867	0,7064	0,0058	0,0005
	K	40	17,3001	0,865	0,0984	0,102	0,0501	0,0503	0,0461	0,0808	0,0375	0,037	0
	K	9	52,3725	2,2453	0,0499	0,1098	0,2827	0,1863	0,0904	0,0579	0,0344	0,0033	0
	K	9	52,3725	2,2453	0,0499	0,1098	0,2827	0,5653	0,4643	0,0579	0,0344	0,0033	0
O. Entenvögel (Anseriformes)													
F. Entenartige (Anatidae)													
U.F. Pfeifgänse (Dendrocygninae)													
<i>Dendrocygna viduata</i>	K	0,65	21,8733	0,1859	0,0161	0,0251	0,028	0,0206	0,0135	0	0	0	0
U.F. Gänse (Anserinae)													
<i>Philacte canagica</i>	K	2,5	30,6311	0,81	0,0196	0,0472	0,0816	0,1105	0,0164	0	0	0	0
	K	2,5	23,9558	0,4484	0,0338	0,0643	0,0763	0,0561	0,0278	0,0016	0	0	0
<i>Philacte canagica</i>	K	2,5	18,9263	0,5745	0,0194	0,043	0,0871	0,0598	0,0543	0,0114	0,0015	0	0
<i>Chen caerulescens</i>	K	3	35,1259	0,6763	0,0303	0,0645	0,0703	0,0587	0,0194	0,0083	0,001	0	0
	K	3	15,8739	0,4765	0,0243	0,0418	0,065	0,0787	0,0307	0,0065	0,0008	0	0
	K	3	17,042	0,4373	0,0169	0,0323	0,0467	0,0806	0,0333	0,0075	0,0031	0	0
<i>Eulabeia indica</i>	K	2,5	16,9724	0,6635	0,0315	0,0997	0,1493	0,1072	0,0111	0	0	0	0
<i>Rufibrenta ruficollis</i>	K	1,5	11,6037	0,4684	0,0323	0,0841	0,1109	0,066	0,026	0,0006	0,0003	0,0005	0
	K	1,5	19,3072	0,6917	0,0315	0,0781	0,0822	0,0932	0,0277	0,0054	0,0017	0	0
<i>Branta leucopsis</i>	K	1,6	16,8297	0,8033	0,0427	0,1006	0,1418	0,0882	0,0411	0,0384	0,0153	0	0
	K	1,5	18,9291	0,7799	0,073	0,1486	0,1176	0,045	0,0202	0,0019	0	0	0
	K	1,5	21,6863	0,7441	0,062	0,1398	0,1374	0,0563	0,0124	0	0,0008	0	0
	K	1,5	23,6258	0,8666	0,0981	0,2406	0,1512	0,0558	0,0122	0,007	0,0007	0	0
<i>Branta sandvicensis</i>	K	2	21,9831	0,5929	0,0205	0,0565	0,0847	0,0853	0,0269	0,0016	0	0	0

Fortsetzung Tab. B: Körpermasse der einzelnen Tiere; TS-Gehalt, Siebeinwaage und auf den jeweiligen Sieben retinierte TS-Menge der einzelnen Proben (kursiv gedruckte Daten: Anteil pro Sieb (%) an auf allen Sieben insgesamt retinierter TS)

*	KM (kg)	TS (%)	Einwaage (gTS)	g TS									
				0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm	
O. Wehrvögel (Anhimiformes)													
F. Wehrvögel (Anhimidae)													
<i>Chauna torquata</i>	K	3,5	20,5615	0,6177	0,0316	0,0363	0,0848	0,0515	0,0312	0,0125	0	0	0
	K	4	43,7359	1,3478	0,0989	0,1659	0,1681	0,0848	0,0138	0,0037	0	0	0
O. Hühnervögel (Galliformes)													
F. Hühner (Fasanenartige) (Phasianidae)													
<i>Catreus wallichii</i>	K	1,3	29,5459	1,172	0,2365	0,2058	0,1504	0,0084	0	0,0011	0,0008	0	0
<i>Tragopan satyra</i>	K	2,1	34,2104	0,6093	0,0527	0,0977	0,1086	0,0934	0,0392	0,0109	0,0049	0,004	0
	K	1,3	39,6763	0,7277	0,0501	0,0688	0,0819	0,0403	0,0266	0,0027	0	0,0035	0
Schmetterlingsraupe	K	20	22,0233	0,2467	0,0049	0,0106	0,0697	0,0525	0,0031	0	0	0	0

9 Danksagung

Zuallererst bedanke ich mich herzlich bei Frau Prof. Dr. Ellen Kienzle für die Überlassung des Themas, die effektive und freundliche Betreuung der Arbeit, und die Möglichkeit, an Ihrem Institut in der Ernährungsberatung tätig sein zu dürfen.

Gleichermaßen danke ich Dr. Marcus Clauss und Dr. Jürgen Hummel für die fachliche Beratung und die logistische Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit. Die stets freundliche und konstruktive Hilfe hat maßgeblich zur Freude an der Arbeit beigetragen.

Ohne die Mitarbeit und Unterstützung der Direktoren, Kuratoren, Tierärzte und Tierpfleger der folgenden zahlreichen zoologischen Einrichtungen, wäre diese Arbeit in diesem Umfang gar nicht erst möglich gewesen.

Danke (!) dem Münchener Tierpark Hellabrunn (insbesondere Prof. Dr. Henning Wiesner und Frau Mila Pelant), dem Tiergarten Nürnberg (insbesondere Dr. Bernhard Neurohr und Dr. Katrin Baumgartner), dem Zoo Berlin (insbesondere Dr. Andreas Ochs und Herrn Mario Grüßer), dem Tierpark Berlin-Friedrichsfelde (insbesondere Herrn Dr. Strauß, Herrn Groß und Herrn Kastürke), dem Vogelpark Walsrode (insbesondere Herrn Bernd Marcordes), dem Zoo Duisburg (insbesondere Herrn Achim Winkler), dem Zoologischen Garten Leipzig (insbesondere Prof. Dr. Klaus Eulenberger), dem Haupt- und Landgestüt Schwaiganger (insbesondere Herrn Dr. Remler), dem Zoo Dvur Kralove (insbesondere Frau Kristina Tomasova und Herrn Ludek Culik), dem Tiergarten Schönbrunn Wien (insbesondere Herrn Zenker), dem Zoo Aquarium de Madrid (insbesondere Frau Maria Delclaux Real de Asua), den Zoologischen Gärten Köln, Wuppertal, Zürich und Basel, und schlussendlich der AI Wabra Wildlife Preservation.

Vielmals bedanken möchte ich mich auch bei Herrn Wolfgang Wegehaupt von der Testudo-Farm für seine Bemühung hinsichtlich der Schildkrötenproben sowie Dr. Ingo Stürmer und Rainer Windler für die Proben der Rennmäuse. Gedankt sei auch allen „Privatpersonen“ für die Bereitstellung zahlreicher Proben: John Corder, Angela Diercks, Birgit Seidlich, Miriam Phillip, Natalie Zorn, Gerhard und Petra Schwarz, Christine Schneemeier, Stefanie Lang und Geraldine Kopsch.

Für die Hilfe zur Findung einer geeigneten Methodik zur Berechnung des Medians und Mittelwerts sowie für die statistische Auswertung möchte ich mich vielmals bei Dr. Jürgen Streich bedanken.

Angela Schwarm und Patrick Steuer sei für das Sieben „in letzter Minute“ der Warzenschwein-, Babirusa-, Wasserschwein- und Dschelada-Proben gedankt.

Für die Bereitstellung von Rohdaten von Kotpartikelanalysen von Wiederkäuern, Nashörnern, Flusspferden und Pekaris danke ich Dr. Marcus Clauss, Dr. Johanna Castell und Angela Schwarm.

Ich danke dem ganzen Team vom OWF – insbesondere Frau Stadler, Gabi, Nadja, Adrian, und Uli –, dem ganzen Team von Oberschleißheim – v.a. Natalie, Petra, Uli, Britta, Sylvie, Michi, Werner, Elke, Stefan – sowie meinen Mitdoktoranden für die stetige Hilfsbereitschaft und die freundliche Atmosphäre. Danke für die schöne Zeit am Institut.

Bei Birgit Schauer möchte ich mich für die Hilfe bei der Literaturbeschaffung bedanken, bei Manuela Glaser für die effektive Einführung in die Wordformatierung, Volker Schuh und Sandra Skutza sowie der Familie Clauss bin ich für die Wohngelegenheiten dankbar.

Diese Arbeit wurde unterstützt mit einem Stipendium der Karl-Heinz-Kurtze-Stiftung sowie einer Anstellung als wissenschaftliche Hilfskraft im Rahmen der DFG-Forschergruppe 533 "Biology of the Sauropod Dinosaurs: The Evolution of Gigantism" im Teilprojekt CL 182/3. Vielen Dank dafür!

Von Herzen bedanke ich mich bei meinen Freunden für ihr Verständnis, ihre Aufmunterung und ihre Beratung in allen Lebenslagen. Danke, dass ihr immer für mich da seid.

Zuallerletzt danke ich Daniel Takriti. Worte können nur schwer ausdrücken, wie sehr ich ihm für seine Unterstützung, seine Geduld und sein großes Vertrauen in mich dankbar bin.

10 Lebenslauf

Name	Julia Fritz
Geburtsdatum	25.11.1976
Geburtsort	Bremen

Schulbildung

1983-1987	Grundschule an der Freiligrathstraße, Bremen
1987-1991	Schulzentrum an der Julius-Brecht-Allee, Bremen
1991-1993	Collège und Lycée Ste. Anne, Quimper/Frankreich
1993-1994	Lycée Chateaubriand, Rennes/Frankreich
1994-1996	Stiftung Louisenlund, Güby-Rendsburg; Abitur

Studium und Promotion

1997-2003	Studium der Tiermedizin an der LMU München
2000-2001	Auslandssemester an der ENVT Toulouse/Frankreich
02.09.03	Appropation als Tierärztin
März 2004	Beginn der Arbeit an der vorliegenden Dissertation am Lehrstuhl für Tierernährung der LMU

Praktika

2001	Kleintierklinik der ENVT Toulouse/Frankreich
2002	Fleischzentrum und Städtisches Veterinäramt, Hof
2002	Institut für Zoo- und Wildtierforschung, Berlin
2002	Zoo „Wildlife Safari“, Winston-Oregon/USA

Berufliche Tätigkeit

2004-2006	Wissenschaftliche Hilfskraft am Lehrstuhl für Tierernährung der LMU
-----------	---