

**Entwicklung und erste Erprobung eines Alleinfütterungskonzeptes
als zentraler Bestandteil weiterer Standardisierungsschritte bei der
Laborhaltung von Weißbüschelaffen (*Callithrix jacchus*)**

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Fakultät für Agrarwissenschaften
der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von

Anna Katarina Dora Mitura

geboren in Bremen

Göttingen, im November, 2011

D 7

1. Referent: Prof. Dr. F. Liebert

2. Korreferent: Prof. Dr. E. Fuchs

Tag der mündlichen Prüfung: 9. November 2011

Meinen Eltern

INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis	I
Anhangsverzeichnis	II
Abbreviations/ Abkürzungen	III
1. Einleitung	1
2 Literaturrecherche	4
3. Problemstellung	5
4. Zielstellung	6
5. Material und Methoden	7
5.1 Versuch 1	7
5.2 Versuch 2	8
5.3 Versuch 3	8
5.4 Versuch 4	9
6. Ergebnisse und Diskussion	12
6.1 Untersuchte Parameter	12
6.1.1 Wachstumsparameter (Lebendmasse)/	12
Akzeptanz (tatsächliche Futteraufnahme/Futtermenge)	12
6.1.2 Verdaulichkeit	15
6.1.3 Blutparameter	16
6.1.4 Fütterungskonzepte	17
6.2 Einflussgrößen	18
6.2.1 Haltungs-/Managementbedingungen	18
6.2.2 Herstellung/Lagerung des Futters	19
6.2.3 Art/ Häufigkeit der Fütterung	20
6.2.4 Rationsbedingter Faktor: Dosierung der maßgeblichen Inhaltsstoffe (Proteinträger, Aroma, Gummi arabicum)	21
6.2.5 Tierbedingte Faktoren	25
6.2.6 Einfluss der Rationszusammensetzung	27
6.2.7 Medizinische Untersuchungen (KM, Blutproben, MRT)	28
7. Ausblick und weitere Forschungsansätze	30
Zusammenfassung	33
Summary	35
Literaturverzeichnis	37
Anhang 1-Publikationen	40

Publikation I	40
<i>Zur bedarfsgerechten Ernährung von Weissbüschelaffen (Callithrix jacchus) - Für eine langfristige Nutzung als Versuchstiere</i>	
Publikation II.....	90
<i>Improving the energy and nutrient supply for common marmoset monkeys fed under long-term laboratory conditions</i>	
Publikation III.....	105
<i>Influence of an Acacia gum supplement to a newly developed diet for common marmoset monkeys (Callithrix jacchus) housed under laboratory conditions in consideration of different feeding concepts</i>	
Anhang 2- Tabellen	115

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Systematik der Primaten mit besonderem Augenmerk auf die Familie der Krallenaffen (Callithricidae)

Anhangsverzeichnis

Anhang 1- Publikationen

Publikation I

Zur bedarfsgerechten Ernährung von Weissbüschelaffen (Callithrix Jacchus) - Für eine langfristige Nutzung als Versuchstiere

Publikation II

Improving the energy and nutrient supply for common marmoset monkeys fed under long-term laboratory conditions

Publikation III

Influence of an Acacia gum addition to a new developed diet for common marmoset monkeys (Callithrix jacchus) held under laboratory conditions in consideration of different feeding concepts

Anhang 2-Tabellen

Tabelle 1: Futteraufnahme (Wochenmittel), Futtergabe (Wochenmittel), Diät und Körpermasse der Tiere (Versuch 1)

Tabelle 2: Futteraufnahme (Wochenmittel), Futtergabe (Wochenmittel), Diät und Körpermasse der Tiere (Versuch 2)

Tabelle 3: Futteraufnahme (Wochenmittel), Futtergabe (Wochenmittel), Diät und Körpermasse der Tiere (Versuch 3)

Tabelle 4: Errechnete Verdaulichkeit der Rohnährstoffe der Diäten (Versuch 3)

Tabelle 5: Aminosäuregehalte des Standards (kommerzielle Diät)(Versuch 1-4)

Tabelle 6: Analyseergebnis des Standards (Versuch 1-4)

Tabelle 7: Verwendeter Prämix (Deutsche Vilomix GmbH)

Tabelle 8: Ergebnisse der Blutanalytik der Futtergruppen (Mittelwert, SD)

Tabelle 9: Einzeltierdaten der Blutanalytik

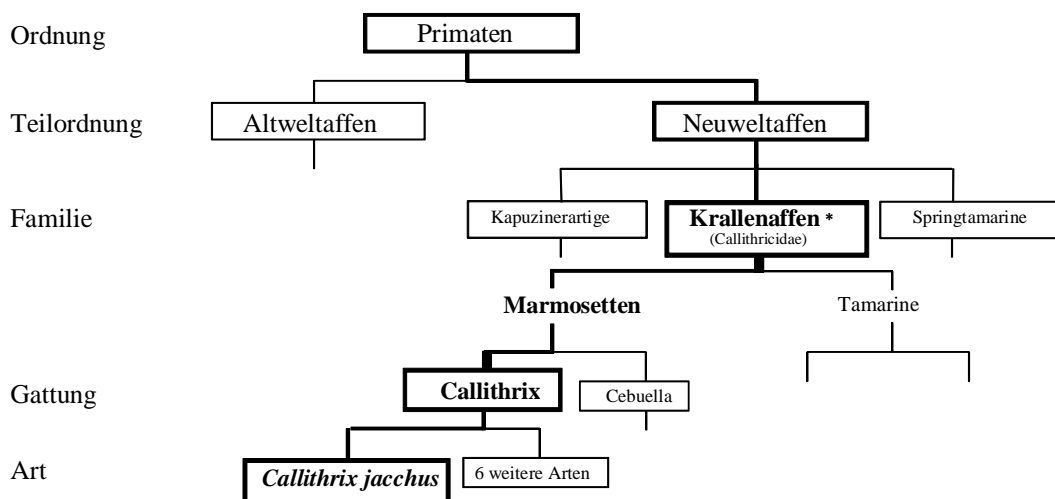
Abbreviations/ Abkürzungen

AS	Aminosäure
BW	body weight/Körpermasse
bzw.	beziehungsweise
C	kommerzielle Diät
CA	Citro-Apfel
CA	Kirsch-Mandel
CVC	Kokos-Vanille-Karamel
D	Verdaulichkeit
d	Tag
dL	Deziliter
EDTA	Äthylendiamintetraessigsäure
et al.	et alii
fL	Femtoliter (μm^3)
GA	Gummi arabicum
H	Honig
i.d.	In der
i.d.R.	In der Regel
IU	Internationale Einheit
KM	Körpermasse
m	männlich
ME	metabolizable energy/umsetzbare Energie
MJ	Megajoule
mmol	Millimol
MRT	Magnet-Resonanz-Tomographie
n	Anzahl
N	Stickstoff
NF	aromafrei
Nr.	Nummer
ppm	parts per million
tägl.	täglich
TS	Trockensubstanz
U	Unit (Einheit)
V	Vanille
VQ	Verdauungsquotient
w	weiblich
XA	Rohasche
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein
z.B.	zum Beispiel

1. Einleitung

Innerhalb der Ordnung der Primaten (Primates) werden unter anderem die zwei Teilordnungen Altweltaffen (*Catarrhini*) und Neuweltaffen (*Platyrrhini*) unterschieden. Diese beiden Teilordnungen werden auch zu den sogenannten eigentlichen Affen (Anthropoidea) zusammengefasst. Der Mensch (*Homo sapiens*) zählt zur Gruppe der Altweltaffen. Nicht zu den Anthropoidea gehören die sogenannten Halbaffen (*Prosimiae*, z. B. Lemuren, Loris und Galagos).

Zur Teilordnung der Neuweltaffen (*Platyrrhini*) gehören die Familien der Kapuzinerartigen (*Cebidae*), der Springtamarine (*Callimiconidae*) und der Krallenaffen (*Callithricidae*). Die Familie der Krallenaffen umfasst insgesamt 20 Arten und mindestens 39 Unterarten. Die in den süd- und mittelamerikanischen Wäldern beheimateten Weißbüschelaffen (*Callithrix jacchus*) zählen zu den Büschelaffen (*Callithrix spp.*; s. Abb. 1).



* Die Familie der Krallenaffen umfasst insgesamt 20 Arten und mindestens 39 Unterarten

Abbildung 1: Systematik der Primaten mit besonderem Augenmerk auf die Familie der Krallenaffen und die Art *Callithrix jacchus* (modifiziert nach Mitura et al. 2010)

Eine große Artenvielfalt zeigen die tagaktiven Krallenaffen. Sie sind die kleinsten echten Affen (*Anthropoidea*) und sind eine der formenreichsten Familien in der Ordnung der Primaten. Bei Wolters und Immelmann (1988) sind weitere Informationen zur Systematik und Biologie der Weißbüschelaffen zu finden.

Als gemeinsames Merkmal sind bei Marmosetten die Schneidezähne im Unterkiefer ähnlich lang ausgebildet wie die Eckzähne. Dies ist offenbar eine Anpassung an ein besonderes Verhalten, das Benagen von Baumrinden, um an Baumsäfte - einem wesentlichen Nahrungsbestandteil der Tiere - zu gelangen. Der ursprüngliche

Lebensraum war der äußerste Nordosten Brasiliens. Durch den Menschen sind die Tiere heute auch im Süden des ostbrasilianischen Regenwaldes eingeführt und in verschiedenartigsten Waldtypen und selbst in Plantagen anzutreffen (Wolters and Immelmann, 1988).

Ausgewachsene Weißbüschelaffen wiegen etwa 350 - 400 g. Die Geschlechtsreife wird mit 14 - 18 Monaten erreicht. Nach einer Tragzeit von 140 - 145 Tagen kommen i. d. R. Zwillinge zur Welt. Die Lebenserwartung der Tiere beträgt in Laborhaltung (z. B. bei Verwendung als Versuchstiere) bis zu 20 Jahre.

Seit den 20er und 30er Jahren des 20. Jahrhunderts werden Weißbüschelaffen zu Versuchszwecken gehalten und gezüchtet. Ihre Haltung galt zu Beginn als schwierig. Mit verbesserten Kenntnissen ihrer Physiologie und Ansprüche an die Hygiene konnten in den folgenden Jahren die ursprünglichen Probleme gelöst werden. Heute sind Weißbüschelaffen neben Rhesus- und Javaneraffen (*Macaca mulatta* bzw. *Macaca fuscicularis*) die am häufigsten genutzten nicht-humanen Primaten in der biomedizinischen Forschung. Gegenüber den Makaken (*Macaca spp.*), die zu den Altweltaffen gehören, haben Weißbüschelaffen eine Reihe von Vorteilen, wie z. B. eine hohe Reproduktionsrate (i. d. R. Mehrlingsgeburten, 2 Würfe pro Jahr). Auch die Geschlechtsreife tritt bei Weißbüschelaffen deutlich früher ein als bei Makaken (1,2 - 2 versus 3 - 3,5 Jahre) (Nievergelt and Martin, 1999). Die geringere Körpermasse (KM) der Weißbüschelaffen bringt nicht nur Vorteile in der Haltung, sondern ist auch für pharmakologische Untersuchungen zunehmend wichtig, da die benötigte Menge einer z.B. eines Medikamentes mit sinkender KM abnimmt. Des Weiteren tritt bei den Tieren kein Geschlechtsdimorphismus in Bezug auf KM, Fett- und fettfreier Masse sowie elektrischer Leitfähigkeit des Körpers auf, wodurch die Vergleichbarkeit von männlichen und weiblichen Tieren erhöht wird (Power et al., 2001).

Sollen Versuchstiere langfristig genutzt werden, so muss nicht nur ein optimales Umfeld (angemessene Käfiggröße/Ausstattung, Raumtemperatur, Luftfeuchte, Luftwechsel und Beleuchtung) geschaffen werden, sondern auch eine bedarfsangepasste Ernährung der Tiere gewährleistet sein. In diesem Zusammenhang ist überraschend, dass bisher keine systematische und ernährungsphysiologisch fundierte Erarbeitung von Versorgungsempfehlungen für diese Tiere erfolgte. Belastbare Kenntnisse zum Bedarf der Tiere bilden die Grundlage geeigneter Versorgungsempfehlungen für eine bedarfsgerechte Fütterung und damit einen wichtigen Aspekt einer tiergerechten Haltung. Weiterhin sind sie für den Aussagewert von biomedizinischen Studien an dieser Spezies von hoher und nicht zu unterschätzender Relevanz.

In der vorliegenden Arbeit wurde nicht nur der aktuelle Kenntnisstand zu verfügbaren Versorgungsempfehlungen für Weißbüschelaffen zusammengefasst, sondern auch die Entwicklung eines neuen Alleinfutters für diese Tiere in einzelnen Versuchen dargestellt. Auf Grundlage früherer Arbeiten erfolgte die Diätgestaltung, welche durch eigene Erfahrungen und Ergebnisse modifiziert wurde. Die

Entwicklung eines Alleinfutters für Krallenaffen unter langfristiger Laborhaltung stand im Vordergrund, um die Tiergesundheit unter dem Hauptaspekt der Langlebigkeit zu verbessern und damit letztlich auch die Bedingungen für biomedizinische Studien weiter zu standardisieren.

2 Literaturrecherche

Bereits zu Beginn der Versuchsplanungen wurde deutlich, wie groß die bestehenden Defizite bei der Kenntnis von fundierten Bedarfswerten für Weißbüschelaffen sind. Eine umfangreiche Literaturrecherche war die Basis für die folgenden Untersuchungen. Die Recherche bezog sich dabei nicht ausschließlich auf das Wissen zum Nährstoffbedarf der Tiere, sondern auch auf die Kenntnis zur Nährstoffaufnahme und Verdauung. Darüber hinaus wurden Aspekte der tierseitigen sensorischen Anforderungen einbezogen, die für weitere Versuche von Interesse sein könnten.

Die Literaturrecherche ergab, dass für die Zukunft, besonders für die langfristige Haltung der Tiere unter Laborbedingungen, noch Forschungsbedarf besteht. Untersuchungsergebnisse für die Protein- bzw. Energieversorgung liegen teilweise vor, Bedarfsangaben zu Aminosäuren, Vitaminen, Mengen- und Spurenelementen sind jedoch unzureichend. Ein Vergleich der Daten aus der Literatur mit derzeit handelsüblichen Diäten für Marmosetten zeigte große Diskrepanzen.

Die Ergebnisse der aktuellen Literaturrecherche sind in **Publikation I** dargestellt und zusammengefasst.

3. Problemstellung

Obwohl Weißbüschelaffen bereits seit langer Zeit als Labortier genutzt werden und die Haltungsbedingungen mit der Zeit optimiert wurden, gibt es noch immer Mängel in der Ernährung der Tiere. Untersuchungen zur Ernährung unter natürlichen Bedingungen sind rar und nur teilweise auf Laborbedingungen übertragbar (Harrison and Tardif, 1994; Wolters and Immelmann, 1988).

Es ist üblich, dass Weißbüschelaffen in Laborhaltung mit einer großen Vielfalt an unterschiedlichen Futtermitteln versorgt werden. Dazu gehören neben einer kommerziellen Diät auch Obst, Gemüse, Insekten, Milchprodukte und *Gummi arabicum*-Pulver in verschiedener Zusammensetzung. Diese Rationsgestaltung hat verschiedene Nachteile.

Zum einen ist die Qualitätskontrolle der Einzelkomponenten sehr aufwändig und kann eine Belastung mit verschiedenen Keimen nicht ausschließen. Zum anderen ist eine Standardisierung solcher Rationen in Bezug auf Energie- und Nährstoffversorgung nahezu unmöglich. Für die biomedizinische Forschung muss ein Einfluss der Ernährung auf die Ergebnisse ausgeschlossen werden können. Dies ist durch die Standardisierung des Futters möglich, jedoch nur mit einem Alleinfutter konsequent umsetzbar. Bei Fütterung mit den bisher erhältlichen kommerziellen Diäten ergaben sich jedoch verschiedene Probleme.

Einerseits wurde das Alleinfutter nicht von allen Tieren gut akzeptiert. Dies resultierte in einer verminderten Futteraufnahme. Andererseits haben viele Tiere, die die Diäten in ausreichender Menge aufgenommen haben, deutliches Übergewicht entwickelt.

Die **Problemstellung** für die durchgeführten Versuche ergab sich zum einen aus der unzureichenden Standardisierung und zum anderen aus der Überversorgung der Tiere.

4. Zielstellung

In der Fütterungspraxis unter Laborbedingungen hat sich in den letzten Jahren gezeigt, dass die Versorgung mit kommerziell erhältlichen Alleinfuttern zu einigen Problemen führte. Nicht nur, dass das Futter nicht von allen Tieren akzeptiert wurde, viel entscheidender war die Problematik der Überversorgung der Tiere, die häufig zu Übergewicht und damit z.B. zu Schweregeburten führte (eigene Beobachtungen).

Ziel der vorliegenden Arbeit war, ein neues Alleinfutter für die Langzeithaltung von Weißbüschelaffen unter Laborbedingungen zu entwickeln, das die angesprochenen Nachteile vorhandener Alleinfutter systematisch ausschaltet.

In aufeinander aufbauenden Versuchen, die in Kapitel 5 genauer beschrieben werden, wurde die Entwicklung des Alleinfütterungskonzeptes schrittweise vorangetrieben.

Als Zielstellung für die Versuche standen vor allem die gleichmäßige und stabile Futteraufnahme und der Erhalt der Tiergesundheit im Fokus. Dabei stellte sich die Frage, ob sich durch den Zusatz von Aromen oder *Gummi arabicum* die Futteraufnahme und die tierindividuelle KM stabilisieren lassen würden.

Weiterhin stand die Auswirkung der entwickelten Diät auf die Körperzusammensetzung und Blutparameter im Vordergrund. Eine vergleichende Langzeitstudie zwischen kommerzieller und neu entwickelter Diät sollte zudem klären, ob durch die neue Diät ein positiver Effekt auf die Tiergesundheit erzielt werden kann.

Zusammenfassend wurden folgende Kriterien in die engere Wahl genommen:

- stabile Futteraufnahme
- langfristige Akzeptanz
- gleichmäßiger, gemäßigter KM-Verlust bis zum „Normalgewicht“
- Verminderung von Durchfallgeschehen
- Veränderung von Blutparametern

5. Material und Methoden

5.1 Versuch 1

Ausgehend von der Literaturrecherche, der Zusammenstellung und Bewertung der recherchierten Daten erfolgte die Planung für Versuch 1. Ziel dieses Versuches war es, die Diät zu ermitteln, bei der ein stabiles und hohes Niveau der Futteraufnahme über den gesamten Versuchszeitraum realisiert und bei der keine extremen Schwankungen der KM der Tiere beobachtet werden konnten.

Im Laufe der Datensammlung zeigte sich, dass Informationen zur Rationsgestaltung für Weißbüschelaffen unter dem Aspekt der Hauptkomponenten nur sehr begrenzt vorlagen. In Versuch 1 sollten weiterhin grundlegende Fragen der Diätzusammenstellung im Mittelpunkt stehen, mit einem Schwerpunkt zur Akzeptanz verschiedener Proteinträger. Aufgrund der lückenhaften Datenlage zur Ernährung von Weißbüschelaffen, flossen auch Daten anderer Spezies, wie auch selbst generierte Daten und Erfahrungen aus dem Deutschen Primatenzentrum, in die Planung ein. Die Auswahl der Proteinträger erfolgte aufgrund verschiedener Aspekte:

- Proteinqualität
- Möglichkeiten der Verarbeitung und Lagerung
- Mögliche Akzeptanz durch die Tiere

Hochwertige Proteinträger aus der fleischverarbeitenden Industrie konnten aufgrund mangelnder Zulassungsfähigkeit nicht einbezogen werden. Nach dem deutschen Futtermittelrecht ist die Verfütterung von Proteinen, die aus Säugetieren gewonnen wurden, sowohl für Wiederkäuer als auch für Nichtwiederkäuer verboten (Verordnung (EG) Nr. 999/2001, Anhang IV, Artikel 7). Eine Zulassung von tierischen Proteinisolaten erfolgte bis zum jetzigen Zeitpunkt nicht.

Die Proteinquellen Volleipulver, Fischmehl und Kartoffelprotein erfüllten die oben genannten Anforderungen und wurden daher für einen Versuch ausgewählt.

Es wurden je zwei Rationen mit dem entsprechenden Proteinträger, aber unterschiedlicher Zusammenstellung der anderen maßgeblichen Komponenten in einem Zeitraum von 12 Wochen (3 Phasen, je 3 Wochen) getestet und mit einer kommerziellen Diät verglichen. Dafür standen 12 Käfige (24 Tiere) zur Verfügung.

Ermittelt wurden die Parameter Futtermenge, tatsächlicher Futterverzehr (Futteraufnahme) und individuelle KM. Während die Futteraufnahme nur die tatsächlich vom Tier aufgenommene Menge beschreibt, wurde die Futtermenge ermittelt, um die Futterverluste während der Fütterung zu ermitteln und damit auch eine Bewertung der Wirtschaftlichkeit des neuen Fütterungskonzeptes zu ermöglichen.

Die Ergebnisse des Versuches sind in **Publikation II** dargestellt.

5.2 Versuch 2

Ziel des Versuches war es, die Diät zu ermitteln, bei der ein stabiles und hohes Niveau der Futteraufnahme über den gesamten Versuchszeitraum realisiert und bei der keine extremen Schwankungen der KM der Tiere beobachtet werden konnten.

Die Datenauswertung von Versuch 1 ließ eine Diät mit Kartoffelprotein als Proteinträger hinsichtlich Höhe und Stabilität der Futteraufnahme als besonders aussichtsreich erscheinen. Diese Mischung lag jedoch hinsichtlich Verzehrshöhe nicht auf dem Niveau der kommerziellen Diät, so dass weitere Anpassungen zur Steigerung der Futteraufnahme notwendig erschienen. Nachdem bereits bei Nutztieren, z.B. Ferkeln, Versuche durchgeführt wurden, die den Effekt von Aromazusätzen auf die Futteraufnahme untersuchten, wurde dieser methodische Ansatz auch für die Entwicklung einer Diät für Weißbüschelaffen in Betracht gezogen (Kornegay et al., 1979).

Vor Beginn von Versuch 2 wurden in einem kurzen Vorversuch mehrere, industriell hergestellte, Aromastoffe verglichen. Dafür wurden die verschiedenen Aromazusätze in eine Basisdiät eingemischt und den Tieren vergleichend vorgelegt. Es erfolgte eine Bewertung der Reaktion der Tiere (++ sehr positiv, + positiv, 0 neutral, - negativ, -- sehr negativ). Es wurden die sechs Aromen ausgewählt, die bei den Tieren die stärkste positive Reaktion hervorriefen.

In Versuch 2 wurden erneut 24 Tiere in 12 Käfigen ausgewählt und über einen Zeitraum von drei mal drei Wochen mit den verschiedenen Diäten versorgt. Aufgrund einiger nicht primär fütterungsbedingter Tierauffälle konnten nicht alle Tiere aus Versuch 1 für diesen Versuch herangezogen werden. Acht Tiere wurden neu in diesen Versuch integriert. Eine vergleichende Erfassung der Daten der kommerziellen Diät stellte den Vergleich zu bisherigen Ergebnissen her.

Ermittelt wurden die Parameter Körpermasse, Futtergabe und tatsächliche Futteraufnahme.

Die Ergebnisse wurden in **Publikation II** zusammenfassend dargestellt.

Status: submitted, in revision

5.3 Versuch 3

Nachdem durch den Zusatz von Aromakomponenten in Versuch 2 keine befriedigenden Ergebnisse erzielt werden konnten und auch Aspekte der Tiergesundheit und des Hygienestatus nicht zufriedenstellend waren, wurden weiterführende Untersuchungen unerlässlich. Das Ziel, die Akzeptanz der neuen Diät mindestens auf das Niveau der kommerziellen Diät zu steigern, wurde nicht erreicht.

Nachdem in der Literaturrecherche bereits die besondere Anpassung der Weißbüschelaffen an die Aufnahme von Baumsäften herausgestellt werden konnte und auch in der praktischen Fütterung im Laborbetrieb *Gummi arabicum* von den Tieren gern aufgenommen wurde, sollte dieser Aspekt näher beleuchtet werden. So konnte beobachtet werden, dass die Tiere schon kleinste Mengen *Gummi arabicum* in wässriger Lösung wahrnehmen und diese dann mit Vorliebe aufleckten.

Es bestand also die Möglichkeit, dass dies auch in fester Form, als Pellet, der Fall sein könnte und die Zugabe von *Gummi arabicum* zu einer Steigerung der Futteraufnahme führen könnte. Weiterhin stellte sich die Frage, ob durch eine bessere Anpassung der Diät an die natürliche Lebensweise und Ernährung der Weißbüschelaffen Einfluss auf die Darmgesundheit und damit die Verminderung von Durchfallgeschehen zu nehmen ist.

Da keine früheren Untersuchungen zur Aufnahme von *Gummi arabicum* in einer pelletierten Diät vorlagen, sollte zunächst beobachtet werden, in welchem Umfang eine Zugabe von *Gummi arabicum* einen Einfluss auf die Futteraufnahme und die Körpermasseentwicklung der Tiere hat und ob ein positiver Effekt auf die Darmgesundheit festzustellen ist.

Verglichen wurden drei Diäten mit unterschiedlichem Anteil *Gummi arabicum* mit einer Diät ohne Zusatz von *Gummi arabicum* und der bereits bekannten kommerziellen Diät über einen Zeitraum von zwei mal drei Wochen.

Erfasste Parameter waren Futtergabe, tatsächliche Futteraufnahme und individuelle Körpermasseentwicklung, (Blutparameter wurden erfasst, jedoch bis zum jetzigen Zeitpunkt nicht ausgewertet).

Die Ergebnisse dieses Versuches waren zufriedenstellend und bildeten damit eine Basis für weitere Untersuchungen.

Die Daten sind dargestellt in **Publikation III**.

5.4 Versuch 4

In Versuch 4 sollte eine weitere Untersuchung der aus Versuch 3 ausgewählten Diät in einer Langzeitbetrachtung erfolgen. Ziel des Versuches war zu ermitteln, wie sich eine langfristige Fütterung der neuen Ration auf die Parameter Futteraufnahme und individuelle KM auswirkt. Weiterhin sollte der Einfluss der Diät auf die Parameter Blutzuckerwert und Körperzusammensetzung erfasst werden. Eine Auswertung dieser letzten beiden Parameter war bis zum jetzigen Zeitpunkt nicht möglich.

Die Körperzusammensetzung wurde mittels Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) ermittelt.

Vor Beginn der Futterumstellung wurden sowohl das individuelle Tiergewicht als auch die Körperzusammensetzung mittels Magnet-Resonanz-Topographie bestimmt, um Vergleichsdaten zu schaffen. Nachdem ein Teil der Tiere auf die neue Diät umgestellt wurde, konnten über einen Zeitraum von 12 Wochen die Parameter Futteraufnahme und individuelle KM erhoben werden. Nachfolgend erfolgte für alle Tiere (kommerzielle und neue Diät) eine erneute Messung der Körperzusammensetzung mittels MRT.

Nach der Messung wurde eine weiterführende Fütterung mit der entsprechenden Diät unter Praxisbedingungen vorgenommen, bei die wöchentliche individuelle KM als Kontrollparameter diente. Die Fütterung dauert bis dato an.

Die Auswertung der MR-Daten lag bis zum Abschluss dieser Arbeit noch nicht vor. Eine erste Auswertung der Blutanalytik ist in Abschnitt 6.1.3 zusammengestellt.

6. Ergebnisse und Diskussion

6.1 Untersuchte Parameter

Im Folgenden sollen die untersuchten Parameter der durchgeführten Versuche dargestellt und diskutiert werden.

6.1.1 Wachstumsparameter (Lebendmasse)/

Akzeptanz (tatsächliche Futteraufnahme/Futtermenge)

Um der Frage nachzugehen, wie ein optimales Alleinfutter für Weißbüschelaffen in Laborhaltung beschaffen sein muss, wurden verschiedene Versuche durchgeführt. Dabei waren die Parameter für Wachstum (wöchentliche individuelle Entwicklung der KM) und Akzeptanz (Futteraufnahme/Futtermenge) die entscheidenden Bewertungskriterien. Hierfür wurden im ersten Versuch verschiedene Proteinträger dem Futter zugefügt, im nachfolgenden Versuch war eine Steigerung der Futteraufnahme über die Beimengung von verschiedenen Aromen das Ziel (**Publikation II**). Versuch 3 befasste sich mit dem Einfluss einer *Gummi arabicum*-Zulage auf die Akzeptanzmerkmale und die KM-Entwicklung (**Publikation III**).

Einige Untersuchungen haben sich mit der Erhebung des Rohproteinbedarfes von Weißbüschelaffen befasst und dabei auch unterschiedliche Proteinträger betrachtet. Flurer et al. (1985) konnten zeigen, dass die Rationen mit den Proteinträgern Kasein und Lactalbumin geringfügig besser akzeptiert wurden als Alleinfutter mit einer Basis aus Sojaproteinkonzentrat oder Sojaextraktionsschrot. Lediglich bei der Diät mit Sojaextraktionsschrot konnten negative Lebensmasseentwicklungen der Tiere beobachtet werden. Kasein, Lactalbumin und Sojaproteinkonzentrat erschienen den Autoren empfehlenswert für eine Fütterung bei Weißbüschelaffen. Bei Flurer und Zucker (1985) wurden Diäten auf Weizenproteinkonzentrat- und Kasein-Basis verglichen. Die Ergebnisse zeigten, dass die verwendeten Proteinträger keinen signifikanten Einfluss auf die KM und die erfassten Blutparameter hatten. Es konnte von einer ausreichenden Rohproteinversorgung ausgegangen werden.

Die Auswertung von Versuch 1 hat gezeigt, dass die untersuchten Tiere auf eine Eiweißzulage mit einer deutlich verminderten Futteraufnahme und starkem Lebensmasseverlust reagierten, was dazu führte, dass dieser Proteinträger nicht weiterführend in Akzeptanzversuchen untersucht wurde (**Publikation II**). Die beiden Proteinträger Fischmehl und Kartoffelprotein wurden von den Tieren grundsätzlich akzeptiert. Eine Untersuchung verschiedener Blutparameter wurde in diesem Versuch nicht durchgeführt. Insgesamt ist es schwierig die dargestellten Arbeiten mit den vorliegenden Untersuchungen zu vergleichen, da keine Übereinstimmung in den getesteten Proteinträgern vorlag. Zudem konnte ein erheblicher Einfluss der Rationsgestaltung nicht ausgeschlossen werden. Die oben genannten Untersuchungen von Flurer und Zucker (1985) und Flurer et al. (1985) haben mit

einer Zulage von Obst in der Ration gearbeitet, was für die vorliegenden Untersuchungen nicht der Fall war. Der Einfluss der Haltungs- und Managementbedingungen, sowie der unterschiedlichen Rationsgestaltung konnte nicht kalkuliert werden, so dass die Vergleichbarkeit der Daten nur begrenzt vorlag. Einen erheblichen Einfluss kann zudem die Erfassung der Messparameter „Futteraufnahme“ und „Futtergabe“ haben. Flurer und Zucker (1985) beschrieben die Methodik der Futterverzehrserfassung nicht im Detail. Eine exakte Erfassung dieses Parameters erfordert neben der genauen Einwaage der Ration und der Trennung der Käfige eine exakte Erfassung der nicht verzehrten Futtermengen. Erst durch den Vergleich der Trockenmassegehalte der eingewogenen und rückgewogenen Futtermengen ist eine hinreichend genaue Erfassung der Futteraufnahme möglich. Ob diese Grundsätze bei der oben genannten Arbeit von Flurer und Zucker (1985) und Flurer et al. (1985) angewendet wurden, geht aus der Arbeit nicht hervor. Es ist jedoch grundsätzlich davon auszugehen, dass zum Beispiel eine Erfassung der Futtermenge in Frischsubstanz einen erheblichen Fehler in der Messung der Futteraufnahme mit sich bringt, sodass eine genaue Darstellung der Erhebung der Futteraufnahme in zukünftigen Arbeiten erfolgen sollte.

Der Zusatz von Aromen wie er im Versuch 2 durchgeführt wurde (**Publikation II**) hatte zum Ziel, die bis dahin unbeständige Futteraufnahme der Tiere zu steigern und vor allem zu stabilisieren. Daten zur Präferenz verschiedener Aromen bei Weißbüschelaffen, die mit den vorliegenden Erhebungen vergleichbar sind, sind rar. Zwar haben Caldwell et al. (2009) die Akzeptanz 12 verschiedener künstlicher Aromen bei Weißbüschelaffen untersucht, jedoch unterschied sich das Vorgehen erheblich von den vorliegenden Untersuchungen. In der oben genannten Untersuchung wurde lediglich die Akzeptanz verschieden aromatisierter Süßigkeiten bei den Versuchstieren ermittelt. Eine Beimengung in ein Alleinfutter erfolgte nicht. Caldwell et al. (2009) gingen davon aus, dass Weißbüschelaffen verschiedene Aromen unterscheiden können. Diese Feststellung deckte sich mit den vorliegenden Beobachtungen. Eine darüber hinausgehende Vergleichbarkeit der Ergebnisse ist nicht gegeben.

Die vorliegenden Untersuchungen zeigten eine individuelle Präferenz der Tiere. Ein signifikanter Einfluss auf die Futteraufnahme zwischen den verschiedenen Untersuchungen konnte nicht festgestellt werden. Es wurde jedoch ersichtlich, dass bei Fütterung der nicht aromatisierten Basisdiät die Futteraufnahme geringer war als bei den aromatisierten Rationen (**Publikation II**). Der Effekt auf die Futteraufnahme, die Futtergabe und die individuelle KM der Tiere zwischen den verschiedenen aromatisierten Rationen war nicht signifikant. Aus diesem Grund wurde der Versuch, die Futteraufnahme durch Aromabeimengung zu steigern, nicht weiter geführt.

Weißbüschelaffen sind in ihrem natürlichen Habitat an die Aufnahme von Baumsäften adaptiert (bis zu 70% ihrer täglichen Futteraufnahmedauer) (Caton et al.,

1996; Harrison and Tardif, 1994; Power, 1996b). Durch subjektive Beobachtung hat sich gezeigt, dass die Versuchstiere *Gummi arabicum* (GA) sowohl als Pulver als auch in wässriger Lösung sehr gerne aufnehmen. Da in vorangegangenen Untersuchungen keine stabile Futteraufnahme und gleichmäßige Abnahme der KM der Tiere erreicht werden konnte, sollte die Beimengung von *Gummi arabicum* zum getesteten Alleinfutter untersucht werden. Die Ergebnisse (**Publikation III**) haben eine Steigerung der Futteraufnahme gegenüber der Diät ohne *Gummi arabicum* gezeigt. Des Weiteren konnte die erzielte Konstanz der KM erreicht werden. Die Ergebnisse zeigten zudem, dass eine Anhebung des *Gummi arabicum*-Anteils in der Ration von 5% auf 7,5% zu keiner weiteren signifikanten Steigerung der Futteraufnahme führte.

6.1.2 Verdaulichkeit

Weißbüschelaffen weisen einige Besonderheiten des Verdauungstraktes auf. So ist ihr Caecum stärker entwickelt als zum Beispiel bei Tamarinen (Coimbra-Filho, 1976; Ferrari and Martins, 1992). Die Vergrößerung des Caecums lässt vermuten, dass die Voraussetzungen für eine Fermentation von Baumsäften, die reich sind an β -glycosidisch gebundenen Nicht-Stärke-Polysacchariden, günstig sind.

Wie Untersuchungen von McWhorter und Karasov (2007) gezeigt haben, können Weißbüschelaffen leichtverdauliche Inhaltsstoffe von Früchten und Insekten effizient im Dünndarm verdauen. Insgesamt kann von einem hohen Anpassungsvermögen an veränderte Nahrungszusammensetzung ausgegangen werden. Weißbüschelaffen können Baumsäfte besser verdauen als Tamarine (Power and Myers, 2009).

Flurer et al. (1985) haben mit ihren Untersuchungen zur Verdaulichkeit verschiedener Proteinträger Basisdaten geliefert. Es konnte gezeigt werden, dass bei Fütterung mit lactalbuminhaltiger Diät die höchste Proteinverdaulichkeit (83,5%), verglichen mit Kasein (82,6%), Sojaprotein (77,7%) und Sojaextraktionsschrot, (69,8%) erreicht wurde.

Obwohl im Fokus von Versuch 1 die Proteinquelle stand, wurden keine Verdaulichkeitsuntersuchungen durchgeführt (**Publikation II**). Der schlechte Allgemeinzustand und die geringe Gesamtfuttermittelaufnahme führten zu geringer Probengröße der gesammelten Kotproben. Eine aussagekräftige Analyse war unter diesen Bedingungen nicht möglich. Da diese Problematik auch im folgenden Versuch 2 nicht gelöst werden konnte, liegen auch hierzu keine weiterführenden Verdaulichkeitsmessungen vor.

Die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe wurde in Versuch 3 (**Publikation III**) ermittelt. Dabei handelte es sich jedoch nicht wie bei Flurer et al. (1985) um eine vergleichende Messung verschiedener Proteinträger, sondern um eine grundsätzliche Bewertung der unterschiedlichen getesteten Diäten im Vergleich zum kommerziellen Alleinfutter (**Publikation III**).

Aufgrund der Größe der Tiere lagen teilweise nur geringe Probenmengen vor. Für zukünftige Versuche sollte daher die Sammelperiode der Kotproben verlängert werden, um gesicherte Analysewerte gewährleisten zu können.

6.1.3 Blutparameter

Um einen umfassenden Überblick über den Einfluss der Futterumstellung auf physiologische Parameter zu erlangen, wurden den Tieren Blutproben entnommen. Die Abnahme erfolgte aus der *Vena femoralis* mit Hilfe einer 0,45mm dicken Kanüle. Die Analyse der Biochemie aus Heparinplasma und des Blutbildes aus EDTA-Vollblut wurde im Zentrallabor der Universitätsmedizin Göttingen in der Abteilung Klinische Biochemie nach Standardmethoden durchgeführt. Nachfolgend werden einige erfasste Parameter exemplarisch erläutert, die vollständigen Ergebnisse sind im Anhang 2 (Tabelle 8 und 9) dargestellt.

Es wurden drei Futtergruppen unterschieden. 12 Tiere erhielten die neu entwickelte Diät mit 5% GA, 6 Tiere die Standard- Diät und 4 Tiere erhielten zusätzlich zur neu entwickelten Diät einen präbiotischen Brei.

Tiere, die mit der Standarddiät versorgt wurden, wiesen, im Vergleich zu den anderen Diäten, leicht erhöhte Harnstoff- und Harnsäuregehalte auf. Dies könnte auf den höheren Proteingehalt der Standard-Diät zurückzuführen sein.

Bei der neu entwickelten Diät waren der Eisengehalt im Blutplasma, das Hämoglobin im Vollblut und die Erythrozytenzahl im Mittel etwas höher als bei den anderen Gruppen. Der Hämatokrit-Gehalt wurde nicht beeinflusst.

Der alkalische Phosphatase-Wert lag bei den Tieren, die mit der neuen Diät und dem präbiotischen Brei versorgt wurden, im Mittel niedriger. Ursache war, dass zwei Tiere der Gruppe „Standard“ und drei Tiere der Gruppe „5% GA“ Werte >115 U/l aufwiesen. Werte ab ca. 150 U/L sprechen für eine erhöhte Aktivität der knochenspezifischen alkalischen Phosphatase im Zusammenhang mit einem Vitamin D-Mangel. All die oben beschriebenen Effekte waren nicht signifikant, sondern zeigen lediglich Tendenzen auf.

Wurden alle untersuchten physiologischen Parameter betrachtet, wurde ersichtlich, dass die Ergebnisse der 5% GA-Diät mit der Standard-Diät vergleichbar waren. Auch hier konnten keine signifikanten Effekte ermittelt werden.

Dem Hinweis auf eine Vitamin D₃-Unterversorgung sollte in weiteren Untersuchungen nachgegangen werden.

6.1.4 Fütterungskonzepte

Frühere Arbeiten haben zwar bereits neue Diäten bei Weißbüschelaffen getestet, jedoch erfolgte keine Untersuchung des Einflusses des Fütterungskonzeptes auf die Futtermittelaufnahme, oder die Tiergesundheit. In diesen Untersuchungen war zum Beispiel der Proteingehalt der Ration von Interesse, so dass verschiedene Rationen miteinander verglichen wurden (Flurer and Zucker, 1985; Flurer et al., 1983; Flurer et al., 1985).

Bei den vorliegenden Untersuchungen lag der Schwerpunkt in der Steigerung der Futtermittelaufnahme auf ein gleichmäßig hohes Niveau einerseits und der Konstanz der KM der Tiere andererseits. Da sich die Tiere in früheren Untersuchungen und in der Routine des Labors als sehr neugierig und interessiert gezeigt haben, wurde angenommen, dass ein Wechsel verschieden konzipierter Diäten zu einer Steigerung der Akzeptanz führen würde. Dafür wurden in Versuch 3 (**Publikation III**) die verschiedenen Rationen nicht nur einzeln betrachtet, sondern auch ein Wechsel der Rationen innerhalb der dreiwöchigen Versuchsphasen untersucht. Erwartet wurde, dass das Interesse bei einem Wechsel der Ration alle drei Tage gesteigert sein würde im Vergleich zu einem Rationswechsel alle sieben Tage bzw. einer durchgängigen Fütterung von 3 Wochen. Somit sollte ein positiver Einfluss auf die Tagesfuttermittelaufnahme und die Konstanz der Futtermittelaufnahme über bewirkt werden.

Diese These konnte durch die Auswertung des Versuches nicht bestätigt werden. Es zeigten die Tiere die größte Stabilität in der täglichen Futtermittelaufnahme, gemessen über einen Zeitraum von 3 Wochen, die die Ration über den gesamten Zeitraum erhielten. Für die praktische Fütterung unter Laborbedingungen ist dieses Ergebnis als positiv zu betrachten, da die Organisation der Fütterung durch häufige Wechsel der Diät erschwert würde.

Für zukünftige Untersuchungen sollte der Aspekt des Diätenwechsels jedoch nicht vollends ausgeschlossen werden, da der Einfluss der verglichenen Diäten durchaus sehr hoch sein kann. Es könnte sich ein anderes Bild zeigen, wenn die optimierte Ration mit Hilfe von Aromen, wie im zweiten durchgeführten Versuch (**Publikation II**), variiert wird. In diesem Fall könnte sich ein Wechsel der verschiedenen aromatisierten Diäten als nützlich erweisen, um das ansonsten einheitlich pelletierte Futter für die Tiere auch über lange Zeiträume interessant zu machen und so deren Wohlbefinden zu steigern.

6.2 Einflussgrößen

Im Folgenden sollen mögliche Effekte auf die Wirkung der maßgeblichen Inhaltsstoffe der neu entwickelten Diäten dargestellt und diskutiert werden.

6.2.1 Haltungs-/Managementbedingungen

Alle Versuche wurden unter den standardisierten Haltungs- und Managementbedingungen des Deutschen Primatenzentrums durchgeführt. Dazu gehören neben der Verwendung der vorgeschriebenen Laborkleidung (inklusive Verwendung von Handschuhen und Mundschutz), die tägliche Reinigung der Laufwege mit Desinfektionsmittel, das tägliche Waschen der verwendeten Näpfe mit heißem Wasser und die wöchentliche Reinigung der Tierräume und Käfige mit einem Hochdruckreiniger. Trotz dieser hohen hygienischen Standards zeigte sich, dass Durchfallerkrankungen nicht gänzlich vermieden werden konnten (**Publikation II, III**). Auch Flurer et al. (1983) haben in Ihrer Arbeit Ergebnisse zur Verabreichung einer pelletierten Diät an Marmosetten und Tamarine vorgestellt und dabei darauf hingewiesen, dass Durchfallerkrankungen zwar relativ selten auftraten, jedoch nicht gänzlich verhindert werden konnten. Gore et al. (2001) wiesen darauf hin, dass *Callithrix jacchus* grundsätzlich anfällig für Krankheiten des Intestinaltraktes ist.

Nach den Erfahrungen des ersten Versuches (**Publikation II**), in denen Durchfallerkrankungen und Anzeichen von Schwäche bei den Tieren gehäuft auftraten, wurde deutlich, dass sowohl Hygiene als auch Managementbedingungen überarbeitet werden mussten. Ein großes Problem der Haltungsbedingungen ergab sich zum Beispiel daraus, dass keine Quarantäneeinrichtung zur Verfügung stand, in der erkrankte Tiere separiert werden konnten. Auch wenn erkrankte Tiere erst am Ende der täglichen Routine des Pflegepersonals versorgt und behandelt wurden, konnte eine Verschleppung von Krankheitserregern nicht verhindert werden.

Im Verlauf der Versuche konnten verschiedene Vorgänge optimiert werden und so zum Verhindern von Erkrankungen der Tiere beitragen werden. So wurden die Arbeit in den Versuchsräumen und der Kontakt mit den Tieren durch Mitarbeiter auf ein Minimum reduziert. Es erfolgte nicht nur der Ausschluss von erkrankten Tieren, sondern auch eine Verlegung dieser in andere Räume, wenn möglich. War dies nicht möglich, wurden im Umgang mit diesen Tieren die Hygienebedingungen insofern verstärkt, als dass eine Desinfektion der Hände vor und nach der Arbeit an den betroffenen Tieren und das Tragen eines anderen Laborkittels vorgeschrieben wurden. Die Versuchsräume wurden mit Möglichkeiten zur Desinfektion des Schuhwerkes ausgestattet.

Diese Maßnahmen haben sicher zu einer Verbesserung des Hygienestatus in den Versuchsräumen beigetragen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Tiere sich im Verlauf der Versuche an die tägliche Routine gewöhnt und diese weniger als Stress empfunden haben.

Versuche bei anderen Spezies haben gezeigt, dass die Wirkung von potentiell gesundheitsfördernden Zusatzstoffen in Diäten mit steigender Optimierung der Haltungs- und Managementbedingungen abnimmt (Wald, 2004). Die entwickelte Diät wies einen höheren Gehalt an Rohfaser und Nicht-Stärke-Polysaccharide (Pektin, Inulin) im Vergleich zur Standarddiät auf. Es kann angenommen werden, dass diese zu einer Stabilisierung der Verdauungsvorgänge führten und bei noch zu optimierenden Haltungs- und Managementbedingungen einen höheren Einfluss hatten als bei optimalen Bedingungen. Obwohl das Deutsche Primatenzentrum bereits extrem hohe Standards bei Haltung, Management und Hygiene erfüllt, ist der Stress für die Tiere in einer solchen Versuchsinstitution nicht unerheblich. Daher kann besonders unter Versuchsbedingungen davon ausgegangen werden, dass die geänderte Rationszusammensetzung einen positiven Effekt hatte und zu einer besseren Tiergesundheit führte (**Publikation III**).

6.2.2 Herstellung/Lagerung des Futters

Die oben genannten Arbeiten zeigten bereits, dass Weißbüschelaffen anfällig für intestinale Erkrankungen sind (Gore et al. 2001). Aufgrund dieses Wissens wurden die verwendeten Einzelkomponenten mit besonderer Sorgfalt, die über das normale Maß für Tierfutter hinausgeht, ausgewählt.

Arbeiten, die sich mit den Aspekten der Haltbarkeit, Keimbelastung und Lagerstabilität von Krallenaffendiäten auseinandersetzen, liegen nicht vor. Daher konnte bei der Auswahl der verwendeten Einzelkomponenten und der Zusammensetzung der Ration bei der Neuentwicklung einer Diät auf keine Erfahrungswerte zurückgegriffen werden, die über die Erfahrungen bei der Herstellung von Eigenmischungen in der Abteilung für Tierernährungsphysiologie der Universität Göttingen hinausgehen.

Es wurden ausschließlich einwandfreie Chargen der Einzelfuttermittel ausgewählt und sorgfältig verarbeitet. Der Prämix aus Vitaminen und Spurenelementen wurde nach eigenen Vorgaben zusammengestellt (Deutsche Vilomix Tierernährung GmbH, Neuenkirchen-Vörden) und entsprechend der Herstellervorgaben gelagert und verarbeitet. Die Herstellung und Lagerung des fertig pelletierten Futters erfolgte bei Raumtemperatur. Dies ist für Handelsfuttermittel üblich.

Da nicht ausgeschlossen werden konnte, dass der schlechte Allgemeinzustand einiger Tiere in den Versuchen 1 und 2 (**Publikation II**) auf die Qualität des Futters

zurückzuführen war, wurden die Ansprüche an Hygiene und Lagerung weiter erhöht. Für Versuch 3 (**Publikation III**) wurden die Einzelkomponenten im Anschluss an die Auswahl der Chargen im Tierärztlichen Institut der Fakultät der Agrarwissenschaften der Universität Göttingen umfangreichen mikrobiologischen Untersuchungen unterzogen. Nachdem die Befunde für Pilz- bzw. Bakterienbefall die Grenzwerte nicht überschritten, bzw. im Bereich des bisher verwendeten kommerziellen Futters lagen, wurden die getesteten Chargen für die Herstellung des Futters verwendet. Die Lagerung aller Einzelkomponenten und des Prämix erfolgte vom ersten Tag an bei -18°C . Nach dem Vermahlen, Mischen, Pelletieren und Trocknen wurden das fertige Futter in Säcken verpackt erneut bei -18°C gelagert und verblieb dort bis unmittelbar vor Verfütterung an die Tiere. Aufgrund der hohen Raumtemperatur in den Versuchsräumen ($\sim 26^{\circ}\text{C}$), konnte davon ausgegangen werden, dass die gefrosteten Pellets sehr schnell auftauen und diese Temperatur annehmen würden. Die Tiere zeigten keinerlei negative Reaktion auf das gekühlte Futter. Da sich im Verlauf des Versuches 3 zeigte, dass Anhebung der Verarbeitungsstandards zum einen keine Probleme mit sich brachte und zum anderen der Gesundheitsstatus der Tiere deutlich verbessert wurde, wurde diese Vorgehensweise für den gesamten Versuchsverlauf beibehalten.

Unter Aspekten der praktischen Verwendung des Futters könnte das Einfrieren insofern ein Problem darstellen, als dass nicht jede Versuchseinheit ausreichende Kühl-Kapazitäten vorhalten kann. Mit fortschreitender Optimierung der Ration und Gewöhnung könnte sich das Einfrieren des Futters jedoch als nicht notwendig erweisen. Die bisher verwendete Standarddiät wurde bei Raumtemperatur gelagert und verabreicht. Weitere Untersuchungen müssten zeigen, dass auch die Lagerung bei Raumtemperatur nicht zu erhöhten Keimzahlen führt, so dass keine Gefahr für die Gesundheit der Tiere besteht.

6.2.3 Art/ Häufigkeit der Fütterung

Vor Beginn der Versuche wurde in den Tierkolonien die sogenannten „Cafeteria-Fütterung“ durchgeführt (Layne and Power, 2003). Dabei wurden mehrere verschiedene Futterkomponenten in einem Napf angeboten, so dass die Tiere selbständig eine Auswahl treffen konnten. Die pelletierte Standarddiät und Wasser standen *ad libitum* zur Verfügung. Mit Beginn der Versuche wurden die Tiere auf eine Alleinfütterung der neu entwickelten Diät umgestellt.

Die Darreichungsform als Pellet war für die Versuchstiere also bereits bekannt. Auch die zweimal tägliche Fütterung stellte keine Neuerung dar.

Flurer et al. (1985) und Krombach et al. (1984) boten in ihren Versuchen die zu testende Diät *ad libitum* an. Dies war auch in den vorliegenden Versuchen der Fall (**Publikation II, III**). Das Futter wurde zweimal am Tag (morgens und nachmittags)

in die Näpfe gefüllt um *ad libitum* Fütterung zu gewährleisten. Die Häufigkeit des Nachfüllens des Futters in den Näpfen könnte insofern einen Einfluss haben, als dass die Tiere sehr neugierig sind. Es wäre möglich, dass eine höhere Futteraufnahme dadurch realisiert wird, dass die Tiere das nachgefüllte Futter als neu und interessant empfinden und es dadurch vermehrt aufnehmen. Andererseits führte die Neugierde der Tiere zu einer erhöhten Futtergabe. Die Tiere fraßen nicht das gesamte Futter, sondern nahmen es aus der Futterschale und verstreuten es. Um auch diesen Tieren eine *ad libitum*-Fütterung zukommen zu lassen, erwies es sich als sinnvoll, den zweiten Teil der Ration am Nachmittag anzubieten, damit bis zum Ende des Tages ausreichend Futter vorlag.

Die Anbringung der Futterschalen kann ebenfalls einen Einfluss auf die untersuchten Parameter haben. In den vorliegenden Versuchen wurden die Schalen innerhalb des Käfigs befestigt, um eine problemlose Sammlung des heruntergefallenen Futters in den Metallwannen zu ermöglichen. In der normalen täglichen Routine der Arbeit in der Kolonie sind die Schalen jedoch außen an den Käfigen befestigt, so dass die Tiere durch die Gitter greifen müssen, um die Pellets zu erreichen. Sind die Maße der Pellets so ungünstig, dass die Tiere sie nicht greifen und danach die geschlossene Hand durch die Gitter zurückziehen können, ist davon auszugehen, dass die Futtermittelverluste durch das Fallenlassen der Pellets erheblich steigen. Somit kann ein Einfluss auf die Futteraufnahme nicht ausgeschlossen werden. Für die praktische Fütterung ist es nötig, dass entweder die Futterschalen in den Käfigen angebracht werden, oder dass der Pelletdurchmesser an die Maschengröße des Käfigs angepasst wird.

6.2.4 Rationsbedingter Faktor: Dosierung der maßgeblichen Inhaltsstoffe (Proteinträger, Aroma, Gummi arabicum)

Proteinquelle

Die Einsatzhöhe der Proteinträger stützt sich auf verschiedene Arbeiten zur Stickstoffausscheidung und zum Proteinbedarf. Grundsätzlich haben Tiere mit geringerer KM einen höheren Proteinbedarf im Vergleich zum Energiebedarf. Flurer et al. (1988) gaben an, dass der Proteinbedarf von Neuweltaffen daher höher eingestuft werden kann als der von Altweltaffen, da erstere in der Regel eine geringere KM aufweisen. Bei Weißbüschelaffen wurde zudem beobachtet, dass sie sich im freien Habitat teilweise insektivor ernähren und somit an eine höhere Proteinkonzentration in der Tagesration angepasst sind (Clarke et al., 1977).

Zucker und Flurer (1989) stützten sich auf die oben genannten Angaben und empfahlen daher einen Rohproteingehalt im Futter von über 20% in der TS. Diese Empfehlung gründete sich jedoch nicht auf experimentelle Untersuchungen, sondern auf Annahmen.

Ein maßgeblicher Faktor zur Bestimmung des Erhaltungsbedarfes für Protein ist die Stickstoffbilanz. Flurer et al. (1988) haben bei ihren Untersuchungen die Frage nach einer ausgeglichenen N-Bilanz in den Vordergrund gestellt und dafür XP-Konzentrationen im Futter und verschiedene Proteinquellen untersucht. Die Versuche an adulten Weißbüschelaffen ergaben, dass eine Versorgung von mindestens 264 mg N/kg KM^{0,75} gewährleistet sein muss. Unterschiede in der biologischen Wertigkeit der Proteinquellen könnten begründen, dass bei verschiedenen Proteinquellen unterschiedliche Proteinmengen zum Ausgleich der N-Bilanz nötig waren (Mitchell, 1924; Thomas, 1909).

Insgesamt zeigte die Arbeit von Flurer et al. (1988), dass 6% XP im Futter ausreichen würden, um den Erhaltungsbedarf der Tiere zu decken.

Koprophagie trat bei Weißbüschelaffen auf, wenn diese mit einer Ration mit weniger als 6% XP in der TS versorgt wurden. Ebenfalls trat dieses Symptom bei einer Versorgung mit einer Diät basierend auf Eiweißprotein (6% XP in TS) und einer Diät frei von Arginin und Histidin auf (Flurer and Zucker, 1987; Flurer et al., 1988; Zucker and Flurer, 1989).

Insgesamt zeigte sich, dass die Tiere offenbar einen niedrigeren XP-Bedarf haben als ursprünglich angenommen. Dies mag sich darauf gründen, dass Weißbüschelaffen in freier Wildbahn eine insgesamt eher proteinarme Ration zu sich nehmen (*gummi-frugivore* Spezies) (Power and Myers, 2009). Die bei Nutztieren übliche Betrachtung eines Aminosäuren-Bedarfes, anstelle der hier vorgenommenen Bewertung des XP-Bedarfes, ist bei Primaten bisher nicht verbreitet und wird daher in der Literatur nicht erörtert.

Flurer et al. (1988) empfahlen für die praktische Fütterung, einen XP-Gehalt von mindestens dem doppelten des Erhaltungsbedarfes (6% → 12%) anzubieten, um eine Kompensation von Stress und/oder Futterumstellungen zu ermöglichen. Diese Empfehlung wurde mit Untersuchungen an Braunrückentamarinen unterlegt, die bei einer Proteinversorgung von 12% XP in der TS bei allen Blutparametern Werte aufwiesen, die auf eine ausreichende Versorgung hindeuteten (Flurer and Zucker, 1985)

Diese Untersuchungen haben dazu geführt, dass in den vorliegenden Versuchen ein XP-Gehalt des Futters von mindestens 12% vorausgesetzt wurde. Da ein Rohproteinmangel unter allen Umständen vermieden werden sollte, und der Stress durch den Futtermittelversuch als erheblich eingestuft war, wurde für die vorliegenden Versuche ein Proteingehalt im Futter von ca. 18% angestrebt (**Publikation II, III**).

Die Auswahl der Proteinträger stützte sich auf verschiedene Arbeiten. Die Proteinquellen Milch, Ei, Soja und Getreide sollten nach Gore et al. (2001) ausgeschlossen werden, da bei Diäten mit diesen Komponenten nicht näher definierte allergische Reaktionen auftraten. Andererseits zeigte sich, dass die Futteraufnahme

bei einer Ration basierend auf Milchprotein höher war als bei anderen Proteinquellen (Flurer et al., 1985). Das allergene Potential dieser Diäten wurde jedoch nicht untersucht.

In vorliegenden Untersuchungen konnte ebenfalls gezeigt werden, dass Eiprotein nicht als Proteinquelle für Weißbüschelaffen in Frage kommt, da die Tiere die entsprechende Ration grundsätzlich abgelehnt haben. Dies war möglicherweise auf den bitteren Geschmack des Proteinträgers zurückzuführen. Die Ergebnisse für Rationen mit Fischmehl-Basis waren zu denen mit Kartoffelprotein-Basis vergleichbar (**Publikation II**). Für weitere Untersuchungen wurde daher letzteres als Proteinquelle ausgewählt (**Publikation II, III**).

Der Protein-Bedarf in verschiedenen Leistungs- und Entwicklungsphasen (Wachstum, Trächtigkeit, Laktation) wurde nur unzureichend untersucht. Daten zum Proteingehalt in der Milch bei Weißbüschelaffen wurden von Power et al. (2002) erhoben. Demnach liegt der XP-Gehalt der Milch bei 27g/kg Milch (ca. 19% XP in der TS). Überlegungen zur Versorgung von graviden oder laktierenden Tieren sollten in zukünftige Versuche mit eingehen, wenn auch die Versorgung dieser Tiere mit einem Alleinfutter geplant wird.

Die faktorielle Ableitung des Aminosäuren-Bedarfes wurde bisher in keiner Untersuchung durchgeführt, auch wenn diese Datengrundlage für die Zukunft von großem Interesse wäre, um den individuellen AS-Bedürfnissen der Tiere Rechnung zu tragen. Die Grundlage der AS-Versorgung in den durchgeführten Versuchen (**Publikation II, III**) bildete die Ganzkörperanalyse eines männlichen und eines weiblichen Tieres, die in der Abteilung für Tierernährungsphysiologie durchgeführt wurde (**Publikation I, Tabelle 3**). Die Ganzkörperanalyse eines Tieres lieferte grundlegende Daten zur Körperzusammensetzung bezogen auf die Rohnährstoffe. Die Aminosäurezusammensetzung des Körperproteins ermöglichte die Ermittlung des Verhältnisses der Aminosäuren zueinander. Dabei wurde davon ausgegangen, dass das Verhältnis der Aminosäuren im Körperprotein direkte Rückschlüsse auf die nötige AS-Versorgung im Futter zulässt, die dann den Aufbau des Körperproteins ermöglicht. Das AS-Verhältnis bietet damit bei ausreichender Proteinversorgung die Grundlage einer optimalen Versorgung der Tiere mit Aminosäuren.

Aroma

Flurer et al. (1983) gaben an, dass Weißbüschelaffen grundsätzlich einen süßen und fruchtigen Geschmack der Diät bevorzugen, was vermutlich durch ihre natürliche Nahrungsgrundlage zu erklären ist. Bittere Komponenten würden gemieden.

Die Unterscheidung verschiedener als „süß“ wahrgenommener Geschmacksrichtungen ist beim Weißbüschelaffen anders ausgeprägt als beim Menschen. Den Tieren ist es nicht möglich Aspartam, Cyclamat, Neohesperidin-Dihydrochalcon (NHDHC), Brazzeon, Monnelin und Thaumatin geschmacklich voneinander zu

unterscheiden (Danilova et al., 2002; Wang et al., 2009). Weitere Untersuchungen zur Wahrnehmung der Geschmacksrichtung „süß“ bei nicht-menschlichen Primaten lieferten Glaser et al. (1998a).

Caldwell et al. (2009) haben bereits den Effekt der Beimischung von Aromakomponenten in eine kommerzielle pelletierte Diät und dessen Einfluss auf die Futteraufnahme untersucht. In dieser Arbeit zeigte sich keine signifikante Steigerung der Futteraufnahme durch die Beimischung von Aromen. Auch in den vorliegenden Untersuchungen wurde ersichtlich, dass das Zufügen von Aromen, wie sie in **Publikation II** dargestellt wurde, nicht zu einer Steigerung der Futteraufnahme, auf das Niveau der kommerziellen Diät, führte. Jedoch konnte eine Steigerung der Futteraufnahme verglichen mit der nicht-aromatisierten Basisdiät beobachtet werden. Es konnte daher davon ausgegangen werden, dass die Tiere die Aromen durchaus wahrnahmen, jedoch zwischen den einzelnen Aromen keine deutlichen Präferenzen ausbildeten. Es zeigten sich vermutlich eher tierindividuelle Vorlieben. Von besonderer Bedeutung in Zusammenhang mit der Verwendung von Aromazusätzen ist die Dosierung des Zusatzstoffes. Da für Weißbüschelaffen in dieser Hinsicht keinerlei Erkenntnisse vorlagen, basierte die vorgenommene Dosierung auf den Herstellerempfehlungen (MicroPlus GmbH, Stadtoldendorf). Diese Dosierungsempfehlungen beruhen allerdings ausschließlich auf Erfahrungswerten bei Nutztieren. Die Dosierungsempfehlung lag zwischen 100-200 g/t und unterschied sich je nach Aroma. Es konnte nicht ausgeschlossen werden, dass der Zusatzstoff von Weißbüschelaffen stärker oder weniger stark wahrgenommen wurde und deshalb bei Überdosierung Aversionen hervorrief, oder bei Unterdosierung nicht wahrgenommen wurde. Untersuchungen zur Geschmackswahrnehmung der einzelnen Komponenten wurden nicht über die Erfassung der Futteraufnahme hinaus durchgeführt, so dass hierzu keine Ergebnisse vorgelegt werden können.

Obwohl die Beimischung von Aromakomponenten in vorliegenden Studien als signifikanter Faktor zur Futteraufnahmesteigerung bestätigt werden konnte, wurde diese Überlegung in folgenden Untersuchungen (**Publikation III**) nicht weiterverfolgt. Eine signifikante Steigerung erfolgte im Vergleich zur nicht aromatisierten Diät. Das Futteraufnahme-Niveau der Standard Diät konnte nicht erreicht werden.

Gummi arabicum

Da die Aromazugabe nicht zu der gewünschten Steigerung der Futteraufnahme führte, wurde in folgenden Versuchen die Beimischung von *Gummi arabicum* getestet (**Publikation III**). Aus Untersuchungen in freier Wildbahn ist bekannt, dass Weißbüschelaffen durch eine Spezialisierung des Gebisses an das Benagen von Bäumen und die Aufnahme von Baumsäften adaptiert sind (Caton et al., 1996; Fleagle, 1999). Die Erschließung und Aufnahme der Baumsäfte kann bis zu 70% der

Gesamtdauer der täglichen Futterraufnahme betragen, unterliegt jedoch jahreszeitlichen Schwankungen (Harrison and Tardif, 1994; Power, 1996a). Die aufgenommenen Baumsäfte bestehen aus β -glycosidisch gebundenen Nicht-Stärke-Polysacchariden und können im Magen-Darm-Trakt aufgrund des Fehlens körpereigener Enzyme ausschließlich mikrobiell fermentiert werden (McWhorter and Karasov, 2007; Power and Myers, 2009). Die mögliche Verminderung von Durchfallerkrankungen, wie sie bereits in Abschnitt 6.1.2 beschrieben wurden, durch die mikrobielle Fermentation des *Gummi arabicum*s war ausschlaggebend für Versuch 3. Zudem zeigten die Tiere auch in der herkömmlichen Haltung unter Laborbedingungen eine starke Präferenz für den Verzehr von *Gummi arabicum*, wenn ihnen dieses Substrat angeboten wurde. Weiterhin war eine Stabilisierung der täglichen Futterraufnahme durch gesteigerte Akzeptanz des Futters ein entscheidender Faktor. Sowohl der positive Effekt auf die Darmgesundheit, als auch die Stabilisierung der täglichen Futterraufnahme konnten in Versuch 3 (**Publikation III**) beobachtet werden. Der Versuch hat gezeigt, dass durch die Zugabe von 5% *Gummi arabicum* eine stabile und hohe Futterraufnahme erreicht werden konnte, die mit der kommerziellen Diät vergleichbar war. Während des Versuchszeitraumes konnte zudem ein positiver Effekt auf die Darmgesundheit in Form von vermindertem Durchfallgeschehen, beobachtet werden. Dieser Effekt wurde jedoch nicht weiterführend untersucht. Eine weitere Steigerung des *Gummi arabicum* Anteils im Futter auf 7,5% verstärkte den positiven Effekt nicht. Im folgenden Versuch 4 wurde daher eine Langzeituntersuchung der Diät mit 5% *Gummi arabicum* durchgeführt.

Die Gehalte an verschiedenen Mengen- und Spurenelementen sowie Makronährstoffen in Baumsäften wurden in verschiedenen Arbeiten beschrieben (Coimbra-Filho, 1976; de Paula and Rodrigues, 1995; Gyedu-Akato et al., 2008). Für den durchgeführten Versuch war dieser Aspekt jedoch von nachrangiger Bedeutung, da eine stabile Versorgung mit Mengen- und Spurenelementen über die klassische Rationsgestaltung gewährleistet werden konnte.

6.2.5 Tierbedingte Faktoren

Bezüglich der rationsspezifischen Inhaltsstoffe der Proteinträger und Aromen dürften tierindividuelle Effekte besonders ausgeprägt sein, da in eigenen Beobachtungen festgestellt wurde, dass die Präferenz des Geschmacks bei den Tieren unterschiedlich ausgeprägt ist. Zwar konnte in der Gesamtheit der Proteinträger Eiprotein aufgrund mangelnder Akzeptanz ausgeschlossen werden (**Publikation II**), jedoch gab es einzelne Tiere, die die Diät mit diesem Inhaltsstoff nicht grundsätzlich abgelehnt haben. Auch Flurer et al. (1985) gaben den Aspekt der kleinen Tierzahl und unterschiedlicher Präferenz in ihrer Arbeit zu bedenken.

Bezüglich des Zusatzes von Aromen haben sich bei einem kurzen Vorversuch starke tierindividuelle Präferenzen gezeigt, welche auch in der praktischen Fütterung außerhalb der vorliegenden Versuche beobachtet werden konnten. Diese subjektiven Beobachtungen ließen vermuten, dass einzelne Tiere Aromen empfindlicher wahrnahmen und deutlichere Aversion bzw. Präferenz zeigten als andere Tiere, die kaum einen Unterschied zwischen verschiedenen aromatisierten Rationen erkennen ließen (**Publikation II**). Auch Caldwell et al. (2009) bestätigten diese Beobachtung. Nach Erfahrungswerten in der Fütterung der Tiere in der Versuchseinheit konnte dieser Effekt nicht nur bei aromatisierten Alleinfuttern, sondern auch bei gemischtem Frischfutter belegt werden. Dabei präferierten einige Tiere z.B. deutlich bestimmte Früchte, lehnten Insekten jedoch ab. Tierindividuelle Präferenzen schienen demnach bei Weißbüschelaffen in Laborhaltung einen großen Effekt zu haben. Dies hat zur Folge, dass Präferenztests bei größeren Tiergruppen durchgeführt werden sollten, um signifikante Unterschiede darstellen zu können. Einzeltierpräferenzen lassen kaum Rückschlüsse auf die Akzeptanz eines Futtermittels in der Tiergruppe zu.

Tierindividuelle Unterschiede konnten bei der Verabreichung von *Gummi arabicum* nicht beobachtet werden. In verschiedenen Formen (wässrige Lösung, Pulver) wurde das Material von allen Tieren sehr gut akzeptiert; eine Aversion einzelner Tiere gegen *Gummi arabicum* konnte nicht beobachtet werden. Daher konnte angenommen werden, dass bei der Diät mit Zusatz von *Gummi arabicum* (**Publikation III**) tierindividuelle Unterschiede einen geringeren Effekt hatten als bei vorangegangenen Untersuchungen. Diese Vermutung kann jedoch nicht mit Erkenntnissen aus anderen wissenschaftlichen Arbeiten belegt werden.

Daneben könnten auch tierindividuelle Unterschiede im Aufbau des Verdauungstraktes eine erhebliche Rolle bei der Verdauung und Verwertung des Futters gespielt haben. Caton et al. (1996) haben bereits Länge und Fassungsvermögen von Magen, Dünndarm, Caecum und Colon bei Weißbüschelaffen bestimmt. Bei vorliegenden Untersuchungen konnten diese Ergebnisse nicht vollständig bestätigt werden, was vermuten lässt, dass der Aufbau des Magen-Darm-Traktes in Länge und Aufbau einer gewissen Variabilität unterliegt (Mitura et al, 2010).

Die mikrobielle Besiedelung des Dün- und Dickdarmes scheint ebenso tierindividuellen Schwankungen zu unterliegen. So konnten in einer Untersuchung von Bailey et al. (2002) die untersuchten Weißbüschelaffen in zwei Gruppen gegliedert werden, je nachdem, ob die Gesamtkeimzahl an anaeroben und fakultativ anaeroben Bakterien im Dün- oder im Dickdarm höher lag. In dieser Untersuchung konnten teilweise beträchtliche tierindividuelle Unterschiede im Keimbesatz des Darmtraktes festgestellt werden. Dies kann auch bei anderen Spezies beobachtet werden. Der Einfluss der tierindividuellen Unterschiede steigt jedoch bei kleinen Tierzahlen.

Bei allen vorliegenden Ergebnissen sollte die tierindividuelle Streuung berücksichtigt werden. Da unter den gegebenen Versuchsbedingungen nur relativ geringe Tierzahlen im Vergleich zu Versuchen bei klassischen Nutztieren vorlagen, fallen tierindividuelle Unterschiede hier besonders ins Gewicht. Zudem war die Gruppenzusammensetzung schon vor Beginn der Versuche durch starke Unterschiede im Anfangsgewicht und Alter der Tiere sehr inhomogen, sodass davon ausgegangen werden konnte, dass Unterschiede in den erfassten Parametern deutlich wurden. Da bei den Tieren kein Geschlechtsdimorphismus bekannt ist, wurde vorausgesetzt, dass die Gruppenzusammensetzung aus männlichen und weiblichen Tieren nur einen geringen Einfluss hatte (Power et al., 2001).

6.2.6 Einfluss der Rationszusammensetzung

Der grundlegende Einfluss der Rationszusammensetzung konnte in den vorliegenden Untersuchungen nur für Versuch 1 diskutiert werden (**Publikation II**). In den Versuchen 2-4 blieb die Grundrezeptur der Futtermischung identisch, wobei nur der entsprechend untersuchte Parameter (Aroma, *Gummi arabicum*) im Gehalt entsprechend der Versuchsvorgaben angepasst wurde.

In Versuch 1 wurden verschiedene Proteinquellen im Bezug auf Futteraufnahme und Akzeptanz vergleichend untersucht. Da der Energiegehalt bei allen getesteten Diäten identisch sein sollte, hatte ein Wechsel der Proteinträger eine Anpassung anderer Komponenten zur Folge, um die Gestaltung einer ausgewogenen und bedarfsdeckenden Ration zu ermöglichen. Daher kann bei diesen Diäten ein Effekt der Rationszusammensetzung nicht ausgeschlossen werden. Dieser Effekt konnte bei Untersuchungen mit Hühnern bereits beobachtet werden (Jamroz et al., 2006).

Die Auswahl der Fütterungskomponenten erfolgte auf Grundlage verschiedener Überlegungen. Zum einen konnte auf Erfahrungen aus der bisherigen Fütterung der Tiere und Herstellerangaben kommerzieller Diäten zurückgegriffen werden. Zum anderen wurden Futtermittel aus der klassischen Nutztierernährung mit einbezogen. Gesicherte Empfehlungen aus der Literatur lagen für Weißbüschelaffen nicht vor, weshalb besonders in Versuch 1 verschiedene Rationszusammensetzungen verglichen wurden. Im Vordergrund der Rationsgestaltung lagen neben der Verträglichkeit für das Tier vor allem der Energie- und Nährstoffgehalt der Komponenten. Da die Reduktion der KM auf ein „normales“ Maß die Basis der durchgeführten Versuche bildete, waren der Energiegehalt, aber auch der Anteil z.B. der Rohfaser, entscheidend, um eine bedarfsgerechte, aber energetisch günstige, Ration zusammenzustellen. Da bereits im Vorfeld der durchgeführten Versuche die Anfälligkeit für externe Keime bekannt war, spielte die besonders hohe Qualität der Rohstoffe eine entscheidende Rolle.

Die Zusammensetzung der Diäten aus Versuch 2 ist in **Publikation II** tabellarisch zusammengefasst.

6.2.7 Medizinische Untersuchungen (KM, Blutproben, MRT)

Die Erhebung der Daten zu KM, Blutparameter und Körperzusammensetzung mittels MR-Tomographie kann einen erheblichen Einfluss auf Parameter wie Futteraufnahme oder -verbrauch haben. Der Stress, der durch die verschiedenen Untersuchungen ausgelöst wird, ist nicht nur tierindividuell unterschiedlich, sondern ebenfalls abhängig von der Routine des Personals, der Dauer und der Routine der Untersuchung.

Während die Erfassung der individuellen Körpermasse bei allen durchgeführten Versuchen wöchentlich vorgenommen wurde, bezieht sich der Effekt der Blutentnahme und der Messung der Körperzusammensetzung nur auf den bisher unveröffentlichten Versuch 4.

Obwohl die Erfassung der individuellen KM bei Labortieren wie Weißbüschelaffen zur Routine gehört, darf deren Stresspotential nicht unterschätzt werden. Nach eigenen Beobachtungen reagierten neu in die Tiereinheit integrierte Tiere zum Teil extrem hektisch auf das Einfangen durch das Pflegepersonal; dieses Verhalten hielt oft auch an, nachdem die Tiere in den entsprechenden Käfig zurückgesetzt wurden. Bei integrierten Tieren konnte dieses Verhalten nicht beobachtet werden. Untersuchungen zum Stress, ausgelöst durch tierindividuelle Wägungen und Urinprobennahme bei Weißbüschelaffen bestätigen diese Annahmen (Bassett et al., 2003; McKinley et al., 2003). Einige der tierindividuellen Unterschiede in der Futteraufnahme der verschiedenen Rationen ließen sich möglicherweise durch die verschiedene Stressanfälligkeit und damit verbundene geänderte Futteraufnahme erklären.

Bei der Abnahme von Blut für die Bestimmung von Blutparametern wurde der Stress für das Einzeltier als deutlich höher eingestuft als bei der Erfassung der KM. Durch das Einfangen der Tiere, gefolgt von einer stärkeren und dauerhafteren (etwa 20 min je Tier) Fixierung zur Blutentnahme, wurde die Zeit bis zur Rückkehr zum normalen Futteraufnahmeverhalten als größer eingestuft.

Zudem kann der Stress selbst einen erheblichen Einfluss auf die gemessenen Blutparameter haben. Reinhardt et al. (2000) gaben an, dass dieser Einfluss der Blutentnahme bei vielen medizinischen Untersuchungen bei Labortieren unterschätzt werde. Für die Blutentnahme bei Makaken wurde ein Training für medizinische Untersuchungen empfohlen, um den Stress für die Tiere und den Einfluss auf die untersuchten Parameter zu minimieren (Reinhardt, 2003). Empfehlungen für den

Umgang mit Weißbüschelaffen bei der Erfassung der Körpermasse und Probenentnahme wurden in verschiedenen Arbeiten dargestellt (Bassett et al., 2003; Layne and Power, 2003; McKinley et al., 2003; Schultz-Darken, 2003).

Obwohl vielseitige Untersuchungen an nicht-menschlichen Primaten und speziell Weißbüschelaffen mit Hilfe der Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) durchgeführt wurden, wurden in diesem Zusammenhang keine Erkenntnisse zum Einfluss der Messungen auf andere, in vorliegenden Untersuchungen gemessene, Parameter (KM, tatsächliche Futteraufnahme, Futtergabe) dargestellt (Denys et al., 2004; Pilcher et al., 2001; Taicher et al., 2003). Aufgrund der bereits erläuterten Effekte medizinischer Untersuchungen wie der Blutentnahme auf andere erfasste Parameter kann davon ausgegangen werden, dass bei der Erfassung der Körperzusammensetzung mittels MRT ähnliche Effekte deutlich werden. Zum einen war es für die durchgeführte Messung nötig, die Tiere kurzzeitig zu sedieren, zum anderen durfte auch der vor- und nachgelagerte Transport nicht unterschätzt werden. Eigene Beobachtungen zeigten Anzeichen von Stress nach der Aufwachphase und dem Zurücksetzen der Tiere in den eigenen Käfig. Einige Tiere zeigten sich schreckhaft und zurückgezogen; es fand keine umgehende Nahrungs- und Wasseraufnahme statt. An den beiden auf die Messung folgenden Tagen wurde bei den untersuchten Tieren ein gehäuftes Durchfallgeschehen beobachtet, das auf eine Stressreaktion schließen ließ. Maximal zwei Tage nach der Messung zeigten die Tiere wieder ein subjektiv betrachtetes, normales Verhalten.

Insgesamt ist es schwierig, den Einfluss der Messung der Körperzusammensetzung mittels MRT abzuschätzen. Dennoch kann der Informationsgewinn durch die Messungen enorm sein, auch wenn die oben genannten Effekte Einfluss auf die Ergebnisse der Ermittlung der Futteraufnahme hatten. Die Ermittlung der individuellen Körperzusammensetzung ermöglicht einen deutlich differenzierteren Blick auf die Auswirkungen der Fütterung, als die ausschließliche Erfassung der KM. Aufgrund einer Versuchsdauer von mehreren Monaten schwindet zudem der Effekt einer möglichen geringeren Futteraufnahme an den auf die MRT-Messung folgenden Tagen bezogen auf die gesamte Versuchsdauer.

7. Ausblick und weitere Forschungsansätze

Nachfolgend soll, ausgehend vom Untersuchungsstand, ein Ausblick auf erforderliche zukünftige Forschungsarbeiten bei der Weiterentwicklung eines Alleinfutters für Weißbüschelaffen in Laborhaltung gegeben werden.

1. Aufgrund des hohen zeitlichen und personellen Aufwandes konnten die in Versuch 4 erhobenen MRT-Daten bisher nicht ausgewertet werden. Für die weitere Arbeit an der Entwicklung eines Alleinfutters hat diese Auswertung, die in Zusammenarbeit mit der Abteilung der Diagnostischen Radiologie des Universitätsklinikums Göttingen erfolgt, oberste Priorität. Die MRT-Messung ermöglicht einen differenzierten Blick auf die Entwicklung der Körperzusammensetzung in Zusammenhang mit der Fütterung. Für die weitere Forschung sollten diese Daten die Grundlage bilden. Weitere Untersuchungen sind zudem erforderlich, um einen Abgleich zwischen den mittels MRT-Messung erhobenen Daten und den tatsächlichen Werten zu schaffen. Hierzu muß der Fettgehalt einzelner Organe im Labor ermittelt und mit den MRT-Daten verglichen werden.
2. Als Basis jeder Entwicklung eines neuen Fütterungskonzeptes stehen die bereits bekannten Bedarfswerte für die entsprechende Spezies. Obwohl für Weißbüschelaffen bereits einige grundlegende Fragen der Makronährstoffversorgung geklärt sind, reicht dies für die Anpassung eines Alleinfutters an die Bedürfnisse der Tiere nicht aus. Eine Anpassung an das optimale Aminosäureverhältnis, um einen Mangel zu verhindern, wäre der erste entscheidende Schritt. Auch wenn bereits zahlreiche Untersuchungen z.B. zum Vitamin-D- oder Calcium- Stoffwechsel vorliegen, werden verlässliche Angaben zum tatsächlichen Bedarf der Tiere kaum gegeben, oder weichen extrem voneinander ab. Die Klärung solcher grundlegender Fragen muß in weiteren Untersuchungen Priorität haben, um eine optimale Ernährung der Tiere zu ermöglichen. Zudem sind Bedarfsnormen im Bereich der anderen Vitamine, Mengen- und Spurenelemente unerlässlich.
3. Ein bisher wenig untersuchter Bereich der Fütterung von Weißbüschelaffen ist die Versorgung mit schwer verdaulichen Futterkomponenten. Die vorliegenden Versuche deuten darauf hin, dass sich eine Versorgung mit Nicht-Stärke-Polysacchariden günstig auf die Darmgesundheit auswirken könnte. Da besonders die Tiergesundheit unter Aspekten der Langlebigkeit der Tiere von zentraler Bedeutung ist, wäre es empfehlenswert, diesen möglichen positiven Effekten in zukünftiger Forschungsarbeit weiter nachzugehen. Dabei sollte eine vergleichende Untersuchung von leicht- und schwer verdaulicher Diät, besonders unter Einbeziehung verschiedener Nicht-Stärke-Polysaccharid-Komponenten im Bezug auf die Darmgesundheit in Betracht gezogen werden. Die Auswirkungen auf die Zusammensetzung der Darmflora und das Durchfallgeschehen wären von

- besonderem Interesse. Langzeituntersuchungen von mehreren Monaten wären sinnvoll, um einen möglichen Effekt belegen zu können.
4. Um Informationen über die Wirkungsweise und den Wirkungsort verschiedener verabreichter Nährstoffe zu erhalten, sind zusätzliche Untersuchungen der Verdauungsphysiologie der Weißbüschelaffen nötig. Kenntnisse über die Absorptionseigenschaften, die Verfügbarkeit und die Metabolisierung im Magen-Darm-Trakt sind grundlegend für weitere Untersuchungen und ermöglichen die Bewertung ermittelter Daten unter neuen Gesichtspunkten. Aufgrund bisheriger Erkenntnisse aus der Literatur kann von einem besonderen Faserverdauungsvermögen ausgegangen werden, das bisher jedoch nur unzureichend untersucht wurde. Der Abbau schwer verdaulicher Futterkomponenten und deren Verfügbarkeit sind bisher nicht hinreichend geklärt.
 5. Weitere Untersuchungen in anderen Laborhaltungen mit geänderten Hygienestatus und Haltungsbedingungen sollten folgen, um die erhobenen Daten zu untermauern. Besonders die Gruppenhaltung von Tieren in verschiedenen Altersstufen sollte weiterführend untersucht werden, da diese Form der Haltung im Laborbereich üblich ist.
 6. Weiterentwicklungen und neue Untersuchungen zum Effekt der Diät auf alte, trächtige, laktierende oder wachsende Tiere sind maßgeblich für die Bewertung der neuen Diät unter Praxisbedingungen. Es ist anzunehmen, dass weitere Untersuchungen nötig sind, um die Bedürfnisse dieser Tiere zu ermitteln. Die Überwachung der Entwicklung der Jungtiere sollte hierfür maßgeblich sein. Die Tiergruppen sollten dabei getrennt betrachtet werden, um den Bedarf der Tiere in jeder Phase des Lebens gewährleisten zu können. Dabei wäre die Erfassung der Futteraufnahme von abgesetzten Jungtieren ein wichtiger Schritt, da die Zucht der Weißbüschelaffen einen maßgeblichen Anteil an der Haltung der Tiere hat.
 7. Um eine hohe Prozess- und Produktqualität zu gewährleisten, sollte eine engere Zusammenarbeit mit Futtermittel-Herstellern angestrebt werden. Unter neuen Produktionsbedingungen wäre es möglich die Futterhygiene deutlich zu steigern und die Lagerfähigkeit zu verbessern.

8. Die Möglichkeiten der Veränderung der sensorischen Eigenschaften de Futters bieten viele Möglichkeiten, um das Interesse der Tiere zu steigern und damit möglicherweise die Futterraufnahme zu stabilisieren, oder zu steigern. Der Effekt einer Form- oder Farbveränderung sollte weiterführend untersucht werden. Dabei könnten Vergleichsstudien einen Aufschluss darüber geben, ob das Interesse der Tiere am Futter steigt, wenn verschiedene Pelletformen- oder Farben angeboten werden. Um der natürlichen Präferenz der Tiere für süße Futtermittel entgegen zu kommen, könnte zudem die Beimengung von Süßstoffen zur Diät mit in die Untersuchungen einbezogen werden. Durch die Süßung der Diät mit Süßstoffen könnte eine Steigerung der Futterraunahme erreicht werden, ohne eine Erhöhung des Energiegehaltes zur Folge zu haben. Akzeptanzstudien dieser Art sollten dabei eine möglichst große Tierzahl umfassen, um den Effekt tierindividueller Präferenzen zu mindern. Zur Erhebung gesicherter Daten ist eine Versuchsdauer von mindestens 8 Wochen empfehlenswert.

Zusammenfassung

Weißbüschelaffen (*Callithrix jacchus*) gehören zu den Krallenaffen und sind ursprünglich in den Regenwaldrandgebieten Nordbrasilens beheimatet. Bereits seit etwa 30 Jahren werden die Tiere unter Laborbedingungen, vor allem für die biomedizinische Forschung, gehalten. Neben der geringen KM von 300-500 g ist auch die hohe Reproduktionsrate (zweimal im Jahr Zwillinge) ein großer Vorteil für den Einsatz als Labortier. Obwohl Weißbüschelaffen im Vergleich zu anderen nicht-menschlichen Primaten relativ stressresistent sind, erfordern sie doch eine optimale Haltung. Dazu gehören neben einem an die natürliche Umwelt angepassten Raumklima ein entsprechendes Lichtprogramm und ein hoher Hygienestatus.

Von besonderer Bedeutung für das Wohlbefinden der Tiere ist auch eine optimale Ernährung. Zudem darf der Einfluss der Ernährung auf die Resultate der biomedizinischen Forschung nicht unterschätzt werden. Unter insgesamt standardisierten Versuchsbedingungen muss auch die Ernährung standardisiert werden, um einen Einfluss auf die Ergebnisse der Forschung zu vermeiden. In vielen Laborkolonien wird den Tieren eine Mischung aus kommerziell erhältlichen Pellets, Obst, Gemüse, Insekten und anderen Zusätzen (z.B. *Gummi arabicum*) verabreicht. Diese Rationen lassen sich nicht nur schwer standardisieren, zudem ist besonders die Einhaltung der hygienischen Anforderungen nahezu unmöglich, da die Keimbelastung z.B. von Obst und Gemüse nicht kalkulierbar ist.

Unter den Haltungsbedingungen des Deutschen Primatenzentrums in Göttingen hat sich gezeigt, dass durch die alleinige Fütterung der Tiere mit einer kommerziellen Diät zwar eine Standardisierung erfolgen konnte, die Tiere jedoch häufig Übergewicht entwickelt haben.

Ziel der Untersuchungen war es, ein am Bedarf der Tiere orientiertes Alleinfutter für den Einsatz unter Laborbedingungen zu entwickeln.

Nach umfassender Literaturrecherche zur Validität von Bedarfsangaben für Weißbüschelaffen erfolgte ein erster Versuch, in dem Eckpunkte einer Basisrezeptur eine Alleinfutter entwickelt werden sollten. 24 nicht reproduzierende männliche und weibliche Tiere standen hierfür zur Verfügung (2 Tiere je Käfig → n=12). Jeweils zwei Rezepturen wurden auf Basis Pflanzen-, Fisch- und Eiweißprotein entwickelt. Die 6 Diäten wurden in einem 9-wöchigen Versuch in Hinblick auf ihre Akzeptanz mit einer kommerziellen Diät verglichen. Die Mischungen auf Eiweißprotein-Basis wurden von den Tieren grundsätzlich abgelehnt und daher aus dem weiteren Versuch ausgeschlossen. Nach Auswertung der Ergebnisse zeigte sich, dass die Tiere bei der kommerziellen Diät die höchsten Futteraufnahmen aufwiesen. Unter den getesteten Mischungen zeigte eine Diät auf Pflanzenprotein-Basis die höchsten Futteraufnahmen.

Im nachfolgenden Versuch wurde diese Diät auf Pflanzenproteinbasis als Grundlage herangezogen. Ziel war, eine mit der kommerziellen Diät vergleichbare Futteraufnahme zu erzielen. Der Zusatz von Aromakomponenten zur Verzehrssteigerung ist bei Nutztieren bereits bekannt und sollte auch bei Weißbüschelaffen erprobt werden. Im zweiten Versuch wurden daher eine pflanzliche Basisdiät mit 5 aromatisierten Diäten und dem kommerziellen Produkt verglichen. Der Zusatz von Aromen führte jedoch zu keiner signifikanten Akzeptanzverbesserung.

Um eine Steigerung der Futteraufnahme zu erreichen, wurde daher im dritten Versuch die Beimengung von *Gummi arabicum*-Pulver untersucht. Baumsäfte gehören zum natürlichen Nahrungsspektrum und werden von den Tieren auch in Obhut des Menschen gerne aufgenommen. Im Versuch wurden einer Basismischung 0%, 2,5%, 5% und 7,5% *Gummi arabicum* Pulver beigemischt und diese Diäten mit einem kommerziellen Futter verglichen. Der Vergleich der Ergebnisse zeigte, dass durch einen *Gummi arabicum* Anteil von 5% in der Ration die Futteraufnahme auf das Niveau der kommerziellen Diät angehoben werden konnte. Zudem zeigten Tiere, die mit den Testdiäten gefüttert wurden, eine geringere Durchfallhäufigkeit. Außerdem konnte bei Fütterung der Testmischungen eine Absenkung der Körpermasse (KM) mit anschließender KM-Stabilität beobachtet werden.

Aus den durchgeführten Versuchen kann der Schluss gezogen werden, dass die Entwicklung eines neuen, am Bedarf orientierten Alleinfütterungskonzeptes für Weißbüschelaffen unter Laborbedingungen gute Fortschritte gemacht hat.

Weiterführender Forschungsbedarf besteht zum einen in der Methodik. Neben der KM-Entwicklung müssen zunehmend auch Veränderungen der Körperzusammensetzung als Maßstab für die tierindividuelle Entwicklung herangezogen werden. Da in der praktischen Haltung von Weißbüschelaffen die Nachzucht neuer Tiere eine entscheidende Rolle spielt, müssen weitere Untersuchungen zu Alleinfütterungskonzepten auch Ernährung von reproduzierenden adulten Tieren und Jungtieren einschließen.

Summary

Common marmoset monkeys (*Callithrix jacchus*) belong to the family *Callithrichidae*. They are native to the outskirts of the rainforest in Northern Brazil. The animals have been housed and bred under laboratory conditions for about 30 years and are used mainly for biomedical research. Apart from the low body weight of 300-500 g, their high reproductive rate (they bear twins two times a year) commends their use as laboratory animal. Even though Common marmoset monkeys are relatively stress-resistant compared to other non-human primates, they still require an optimal husbandry. This includes, apart from aligning the room temperature and humidity to their natural habitat, a corresponding light-program and high hygiene-status.

Optimal feeding is of particular importance for the well-being of the common marmoset monkey. The influence of nutrition on the results of biomedical research should also not be underestimated. Under standardized experimental conditions, the feeding has to be standardized too, so as to prevent an influence on the results of the research. In many laboratory colonies the animals are being fed a mixture of commercial pellets, fruits, vegetables, insects and other amending ingredients (e.g. *gummi arabicum*). These diets are difficult to standardize. Especially their compliance with hygienic standards is next to impossible, because e.g. the contamination of fruit with pathogenic germ cannot be controlled or foreseen.

Housing and breeding in the German Primate Center showed that the standardization of the diet is possible with the exclusive feeding of commercial pellets. However, under these conditions, the animals tend to develop overweight.

The aim of our research was the development of a diet suited to the species, based on verified requirements and adapted to laboratory conditions.

Following an extensive literature inquiry regarding the validity of requirement-data for Common marmoset monkeys, the first experiment was conducted. The aim for this experiment was the development of a basal ingredient composition of a complete diet. Therefore, 24 non-reproducing male and female animals were available (2 animals per cage → n=12). Based on the protein sources plant, fish and egg protein, two diets per feed protein were developed. These diets were compared with a commercial diet in a 9-week trial considering their acceptance by the animals. The egg-protein based feeds were generally rejected by the animals and thus excluded from the remaining experiment. The analysis of the data showed that the animals feed intake was highest with the commercial diet. Among the tested diets the plant-protein-based feeds resulted in the highest feed intake.

The second experiment was based on the plant-protein-diet of the first experiment. The aim of this trial was to achieve a feed intake comparable to the commercial diet. Adding aroma-components is known to increase the feed intake in farm animals and was of interest for Common marmoset monkeys also. In the second experiment the plant-based diet was therefore compared to 5 aroma added diets and the commercial diet. The addition of aroma did not yield a significant increase of feed intake.

To achieve an increase of feed intake the addition of *gummi arabicum*-powder was tested in a third trial. Tree saps belong to the native diet of Common marmoset monkeys and are also well accepted in human care. In the experiment a basal mixture with 0% *gummi arabicum* was compared to a mixture with 2.5%, 5% and 7.5% *gummi arabicum*, respectively, all of them were then compared to a commercial diet. The feed intake of the 5%-*gummi arabicum*-diet was comparable to the commercial one and, additionally, diarrhea decreased. Furthermore the body mass decreased slowly and stable and reached a constant level in the end.

It can be concluded that the development of a new standardized complete diet, based on the requirements of Common marmoset monkeys held under laboratory conditions is progressing well.

Further research is e.g. necessary in the methodology. In addition to the animals body mass, the changes of body composition should be the benchmark for the evaluation of the animals individual development. As the breeding of Common marmoset monkeys in captivity is an important factor, further research is necessary to develop new complete diets based on the requirements of juveniles and reproducing adult animals.

Literaturverzeichnis

- Bailey, M.T., and C.L. Coe. 2002. Intestinal microbial patterns of the common marmoset and rhesus macaque. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol* 133:379-88.
- Bassett, L., H.M. Buchanan-Smith, J. McKinley, and T.E. Smith. 2003. Effects of Training on Stress-Related Behavior of the Common Marmoset (*Callithrix jacchus*) in Relation to Coping With Routine Husbandry Procedures. *Journal of Applied Animal Welfare Science* 6:221 - 233.
- Caldwell, C.A., Watson, C.F.E., Morris, K.D. 2009. Exploiting flavour preferences of common marmosets to increase palatability of a dry pellet diet. *Applied Animal Behaviour Science* 116:244-249.
- Caton, J.M., D.M. Hill, I.D. Hume, and G.A. Crook. 1996. The digestive strategy of the common marmoset, *Callithrix jacchus*. *Comp Biochem Physiol A Physiol* 114:1-8.
- Clarke, H.E., M.E. Coates, J.K. Eva, D.J. Ford, C.K. Milner, P.N. O'Donoghue, P.P. Scott, and R.J. Ward. 1977. Dietary standards for laboratory animals: report of the Laboratory Animals Centre Diets Advisory Committee. *Lab Anim* 11:1-28.
- Coimbra-Filho, A.F. 1976. Exudate-eating and tree-gouging in marmosets. *Nature* 262:630.
- Danilova, V., Y. Danilov, T. Roberts, J.M. Tinti, C. Nofre, and G. Hellekant. 2002. Sense of taste in a new world monkey, the common marmoset: recordings from the chorda tympani and glossopharyngeal nerves. *J Neurophysiol* 88:579-94.
- de Paula, R.C.M., and J.F. Rodrigues. 1995. Composition and rheological properties of cashew tree gum, the exudate polysaccharide from *Anacardium occidentale* L. *Carbohydrate Polymers* 26:177-181.
- Denys, K., W. Vanduffel, D. Fize, K. Nelissen, H. Peuskens, D. Van Essen, and G.A. Orban. 2004. The Processing of Visual Shape in the Cerebral Cortex of Human and Nonhuman Primates: A Functional Magnetic Resonance Imaging Study. *The Journal of Neuroscience* 24:2551-2565.
- Ferrari, S.F., and E.S. Martins. 1992. Gummivory and gut morphology in two sympatric callitrichids (*Callithrix emiliae* and *Saguinus fuscicollis weddelli*) from western Brazilian Amazonia. *American Journal of Physical Anthropology* 88:97-103.
- Fleagle, J.G. 1999. *Primate Adaption and Evolution*. second ed. Academic Press, San Diego.
- Flurer, C., and H. Zucker. 1985. Long-term experiments with low dietary protein levels in Callithricidae. *Primates* 26:479-490.
- Flurer, C., R. Scheid, and H. Zucker. 1983. Evaluation of a pelleted diet in a colony of marmosets and tamarins. *Lab Anim Sci* 33:264-7.

- Flurer, C., F. Krombach, and H. Zucker. 1985. Palatability and digestibility of soya- and milk proteins in Callithricidae. *Lab Anim* 19:245-50.
- Flurer, C.I., and H. Zucker. 1987. Difference in serum ascorbate in two species of Callithricidae. *Int J Vitam Nutr Res* 57:297-8.
- Flurer, C.I., G. Krommer, and H. Zucker. 1988. Endogenous N-excretion and minimal protein requirement for maintenance of the common marmoset (*Callithrix jacchus*). *Lab Anim Sci* 38:183-6.
- Glaser, D., J.M. Tinti, and C. Nofre. 1998. Taste preference in nonhuman primates to compounds sweet in man. *Ann N Y Acad Sci* 855:169.
- Gore, M.A., F. Brandes, F.J. Kaup, R. Lenzner, T. Mothes, and A.A. Osman. 2001. Callitrichid nutrition and food sensitivity. *J Med Primatol* 30:179-84.
- Gyedu-Akato, E., I. Oduro, M. Amoah, J.H. Oldham, W.O. Ellis, K. Opoku-Ameyaw, and R. Bin Hakeem. 2008. Physico-chemical properties of cashew tree gum. *African Journal of Food Science* 2:060-064.
- Harrison, M.L., and S.D. Tardif. 1994. Social implications of gummivory in marmosets. *Am J Phys Anthropol* 95:399-408.
- Jamroz, D., T. Wiertelcki, M. Houszka, and C. Kamel. 2006. Influence of diet type on the inclusion of plant origin active substances on morphological and histochemical characteristics of the stomach and jejunum walls in chicken. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)* 90:255-68.
- Kornegay, E.T., S.E. Tinsley, and K.L. Bryant. 1979. Evaluation of Rearing Systems and Feed Flavors for Pigs Weaned at Two to Three Weeks of Age. *Journal of Animal Science* 48:999-1006.
- Krombach, F., C. Flurer, and H. Zucker. 1984. Effects of fibre on digestibility and passage time in callithricidae. *Lab Anim* 18:275-9.
- Layne, D.G., and R.A. Power. 2003. Husbandry, handling, and nutrition for marmosets. *Comp Med* 53:351-9.
- McKinley, J., H.M. Buchanan-Smith, L. Bassett, and K. Morris. 2003. Training Common Marmosets (*Callithrix jacchus*) to Cooperate During Routine Laboratory Procedures: Ease of Training and Time Investment. *Journal of Applied Animal Welfare Science* 6:209 - 220.
- McWhorter, T.J., and W.H. Karasov. 2007. Paracellular nutrient absorption in a gum-feeding new world primate, the common marmoset *Callithrix jacchus*. *Am J Primatol* 69:1399-411.
- Mitchell, H.H. 1924. A method of determining the biological value of protein. *Journal of Biological Chemistry* 58:873-903.
- Mitura, A., Liebert, F., Fuchs, E., Schlumbohm, C. , Häbich, A.-C. 2010. Zur bedarfsgerechten Ernährung von Weißbüschelaffen (*Callithrix jacchus*) für eine langfristige NÜtzung als Versuchstiere. *Übersichten zur Tierernährung* 38:55-90.
- Nievergelt, C.M., and R.D. Martin. 1999. Energy intake during reproduction in captive common marmosets (*Callithrix jacchus*). *Physiol Behav* 65:849-54.

- Pilcher, D.L., E.A.D. Hammock, and W.D. Hopkins. 2001. Cerebral volumetric asymmetries in non-human primates: A magnetic resonance imaging study. *Laterality* 6:165 - 179.
- Power, M., L., and W. Myers, E. 2009. Digestion in the common marmoset (*Callithrix jacchus*), a gummivore-frugivore. *American Journal of Primatology* 71:957-963.
- Power, M.L. 1996a. The other side of callitrichine gummivory-digestibility and nutritional value Plenum Press, New York.
- Power, M.L., O.T. Oftedal, and S.D. Tardif. 2002. Does the milk of Callitrichid monkeys differ from that of larger anthropoids? *Am J Primatol* 56:117-27.
- Power, M.L., Oftedal, O.T. 1996b. Differences among captive callitrichids in the digestive responses to dietary gum. *Am J Primatol* 40:131-144.
- Power, R.A., M.L. Power, D.G. Layne, C.E. Jaquish, O.T. Oftedal, and S.D. Tardif. 2001. Relations among measures of body composition, age, and sex in the common marmoset monkey (*Callithrix jacchus*). *Comp Med* 51:218-23.
- Reinhardt, V. 2003. Working With Rather Than Against Macaques During Blood Collection. *Journal of Applied Animal Welfare Science* 6:189 - 197.
- Reinhardt, V., and A. Reinhardt. 2000. Blood Collection Procedure of Laboratory Primates: A Neglected Variable in Biomedical Research. *Journal of Applied Animal Welfare Science* 3:321 - 333.
- Schultz-Darken, N.J. 2003. Sample collection and restraint techniques used for common marmosets (*Callithrix jacchus*). *Comp Med* 53:360-3.
- Taicher, G., F. Tinsley, A. Reiderman, and M. Heiman. 2003. Quantitative magnetic resonance (QMR) method for bone and whole-body-composition analysis. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 377:990-1002.
- Thomas, K. 1909. Über die biologische Wertigkeit der Stickstoff-Substanzen in verschiedenen Nahrungsmitteln. *Arch. f. Anat. und Physiol., Physiol. Abteilung*:219-302.
- Wald, C. 2004. Phytobiotika in der Tierernährung. *Kraftfutter* 5:136-140.
- Wang, Y., V. Danilova, T. Cragin, T.W. Roberts, A. Kuposov, and G. Hellekant. 2009. The sweet taste quality is linked to a cluster of taste fibers in primates: lactisole diminishes preference and responses to sweet in S fibers (sweet best) chorda tympani fibers of *M. fascicularis* monkey. *BMC Physiol* 9:1.
- Wolters, J., and K. Immelmann. 1988. Krallenaffen. In: *Grzimeks Enzyklopädie, Band 2* Kindler, München.
- Zucker, H., and C.I. Flurer. 1989. The protein requirement of adult marmosets: nitrogen balances and net protein utilization of milk proteins, soy protein, and amino acid mixtures. *Z Ernährungswiss* 28:142-8.

Anhang 1-Publikationen

Publikation I

**ZUR BEDARFSGERECHTEN ERNÄHRUNG VON
WEISSBÜSCHELAFFEN (*CALLITHRIX JACCHUS*)
FÜR EINE LANGFRISTIGE NUTZUNG ALS VERSUCHSTIERE**

KNOWLEDGE ABOUT NUTRIENT REQUIREMENTS OF
COMMON MARMOSETS (*CALLITHRIX JACCHUS*)
HOUSED UNDER LONG-TERM LABORATORY CONDITIONS

von / by

*Anna Mitura, F. Liebert, E. Fuchs,
Christina Schlumbohm und Annett-C. Häbich*

Übersichten Tierernährung. 38 (2010), 55 – 90

Gliederung

- 1 Einleitung
- 2 Ernährung im natürlichen Habitat
- 3 Verdauungs- und Absorptionsprozesse
- 4 Ausgewählte Charakteristika des Stoffwechsels
 - 4.1 Lipoproteine
 - 4.2 Vitamin D
- 5 Kenntnisse zum Bedarf
 - 5.1 Energie
 - 5.2 Protein und Aminosäuren
 - 5.3 Fett und Fettsäuren
 - 5.4 Empfehlungen zur Versorgung mit Energie, Protein und Fett
 - 5.5 Mineralstoffe
 - 5.6 Vitamine
- 6 Anforderungen an die Rationsgestaltung
- 7 Fazit
- 8 Schrifttum

SUMMARY

This paper aims to provide a comprehensive overview about the state of knowledge regarding nutrient requirements and feeding recommendations for common marmosets (*Callithrix jacchus*). Next to dietary recommendations, nutrition under natural conditions, metabolism characteristics and demands of sensory properties is given as review, whenever references were available.

Even though common marmosets are housed and bred as laboratory animals since 1920/1930, there was hardly paid attention to nutrition appropriate to the species based on verified requirements. In this paper, the state of knowledge in the literature is presented under comparative aspects and gaps of knowledge are identified. Data about energy and protein requirements partly are available, but knowledge about requirements of amino acids, vitamins, macro minerals and trace elements is scarce. To characterize practice, also a compilation of labeled nutrient contents of commercial marmoset complete diets is summarized. Obviously, the diets' compositions show important variations and are not generally based on the state of knowledge about nutrient requirements.

Further research on common marmoset nutrition is needed to establish adequate nutritional concepts for individuals used as laboratory animals.

Keywords: Common marmoset, *Callithrix jacchus*, nutrition, requirements, adapted feeding, laboratory animals

ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Übersichtsarbeit ist fokussiert auf den derzeitigen Kenntnisstand zum Energie- und Nährstoffbedarf sowie auf Ernährungsempfehlungen für Weißbüschelaffen (*Callithrix jacchus*). Des Weiteren wird - soweit publizierte Daten es zulassen - ein Überblick zur Ernährung der Tiere im natürlichen Habitat, zu Besonderheiten des Stoffwechsels gegeben und ebenfalls auf die Ansprüche der Tiere an sensorische Eigenschaften des Futters eingegangen.

Obwohl Weißbüschelaffen bereits seit den 20er und 30er Jahren des 20. Jahrhunderts als Versuchstiere genutzt werden, wurde der art- und bedarfsgerechten Ernährung bisher kaum systematische Beachtung geschenkt. Auch wenn beispielsweise für die Versorgung der Tiere mit Energie und Protein Untersuchungsergebnisse zur Verfügung stehen, ist der Kenntnisstand zum Bedarf an (essentiellen) Aminosäuren, Mengen- und Spurenelementen sowie Vitaminen unzureichend. Um die Situation aus praktischer Sicht zu charakterisieren, werden auch Angaben zum Gehalt an wertbestimmenden Inhaltsstoffen in handelsüblichen Alleinfuttermitteln vergleichend dargestellt. Darüber hinaus wird erkennbar, dass Besonderheiten und Unterschiede hinsichtlich der Rationsgestaltung vorliegen, die sich nicht durchgängig am wissenschaftlichen Kenntnisstand orientieren.

In jedem Fall besteht ein Forschungsbedarf und damit die Notwendigkeit für weiterführende Studien zur Ernährung von Weißbüschelaffen. Nur so kann längerfristig eine bedarfsgerechte Versorgung der als Versuchstiere gehaltenen Individuen gesichert werden.

Schlüsselwörter: Weißbüschelaffe, *Callithrix jacchus*, Ernährung, Bedarf, Empfehlung, Versuchstiere

1 EINLEITUNG

Innerhalb der Ordnung der Primaten (Primates) werden u. a. die zwei Teilordnungen Altweltaffen (*Catarrhini*) und Neuweltaffen (*Platyrrhini*) unterschieden. Diese beiden Teilordnungen werden auch zu den sogenannten eigentlichen Affen (Anthropoidea) zusammengefasst. Der Mensch (*Homo sapiens*) zählt zur Gruppe der Altweltaffen. Nicht zu den Anthropoidea gehören die sogenannten Halbaffen (*Prosimiae*, z. B. Lemuren, Loris und Galagos).

Zur Teilordnung der Neuweltaffen (*Platyrrhini*) gehören die Familien der Kapuzinerartigen (*Cebidae*), der Springtamarine (*Callimiconidae*) und der Krallenaffen (*Callithricidae*). Die Familie der Krallenaffen umfasst insgesamt 20 Arten und mindestens 39 Unterarten. Die in den süd- und mittelamerikanischen Wäldern beheimateten Weißbüschelaffen (*Callithrix jacchus jacchus*) zählen zu den Büschelaffen (*Callithrix spp.*; s. Abb. 1).

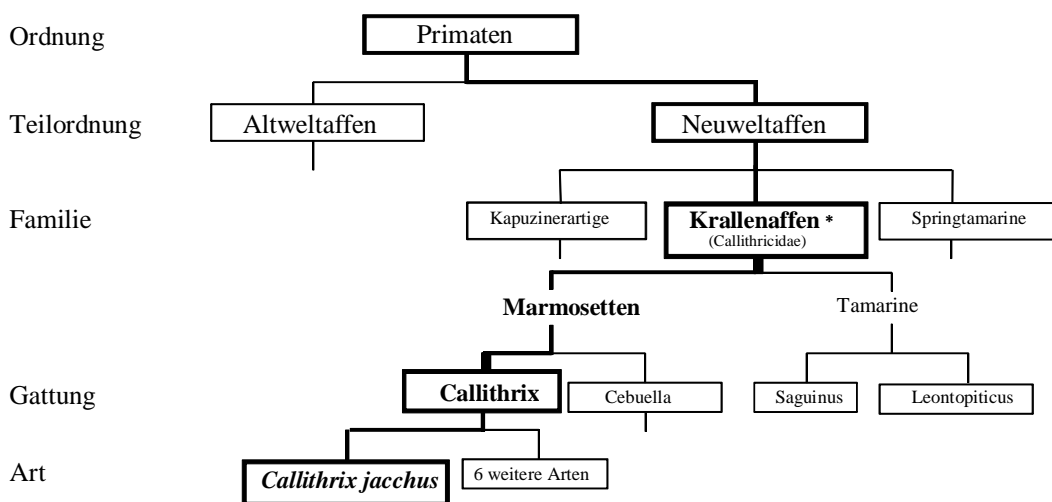


Abbildung 1: Systematik der Primaten mit besonderem Augenmerk auf die Familie der Krallenaffen (*Callithricidae*)

Figure 1: Systematic classification of primates with special focus on the family of the *Callithricidae*

Die tagaktiven Krallenaffen sind die kleinsten echten Affen (*Anthropoidea*). Sie zeigen eine große Artenvielfalt und sind eine der formenreichsten Familien in der Ordnung der Primaten. Bei WOLTERS und IMMELMANN (1988) sind weitere Informationen zur Systematik und Biologie der Weißbüschelaffen zu finden.

Weißbüschelaffen, die der Gattung der Büschelaffen (*Callithrix spp.*) angehören, werden zusammen mit den Kapuzinerartigen (Gattung *Cebuella*) zu den

Marmosetten¹ zusammengefasst. Als gemeinsames Merkmal sind bei Marmosetten die Schneidezähne im Unterkiefer ähnlich lang ausgebildet wie die Eckzähne (s. Abb. 2); dies ist offenbar eine Anpassung an ein besonderes Verhalten, nämlich das Benagen von Baumrinden, um an Baumsäfte - einem wesentlichen Nahrungsbestandteil dieser Tiere - zu gelangen. Der ursprüngliche Lebensraum war der äußerste Nordosten Brasiliens. Durch den Menschen sind die Tiere heute auch im Süden des ostbrasilianischen Regenwaldes eingeführt und in verschiedenartigsten Waldtypen und selbst in Plantagen anzutreffen (Wolters and Immelmann, 1988).

Der deutsche Name Weißbüschelaffe ist auf die auffällig abstehenden weißen Ohrbüschel zurückzuführen. Ausgewachsene Tiere wiegen etwa 350 - 400 g. Die Geschlechtsreife wird mit 14 - 18 Monaten erreicht. Nach einer Tragzeit von 140 - 145 Tagen kommen i. d. R. Zwillinge zur Welt. Die Lebenserwartung der Tiere beträgt in Gefangenschaft (z. B. bei Verwendung als Versuchstiere) bis zu 20 Jahre.

Seit den 20er und 30er Jahren des 20. Jahrhunderts werden Weißbüschelaffen zu Versuchszwecken gehalten und gezüchtet. Ihre Haltung galt zu Beginn als schwierig. Mit verbesserten Kenntnissen ihrer Physiologie und Ansprüche an die Hygiene konnten in den folgenden Jahren die ursprünglichen Probleme gelöst werden. Heute sind Weißbüschelaffen neben Rhesus- und Javaneraffen (*Macaca mulatta* bzw. *Macaca fuscicularis*) die am häufigsten genutzten nicht-humanen Primaten in der biomedizinischen Forschung. Gegenüber den Makaken (*Macaca spp.*), die zu den Altweltaffen gehören, haben Weißbüschelaffen eine Reihe von Vorteilen, wie z. B. eine hohe Reproduktionsrate (i. d. R. Mehrlingsgeburten, 2 Würfe pro Jahr). Auch die Geschlechtsreife tritt bei Weißbüschelaffen deutlich früher ein als bei Makaken (1,2 - 2 versus 3 - 3,5 Jahre). Die geringere Körpermasse (KM) der Weißbüschelaffen bringt nicht nur Vorteile in der Haltung, sondern ist auch für pharmakologische Untersuchungen zunehmend wichtig. Des Weiteren tritt bei den Tieren kein Geschlechtsdimorphismus in Körpermasse, Fett- und fettfreier Masse sowie elektrischer Leitfähigkeit des Körpers auf, was die Vergleichbarkeit von männlichen und weiblichen Tieren erhöht (POWER et al. 2001). Bakteriell bedingte Zoonosen wie beispielsweise die Tuberkulose treten bei Neuweltaffen deutlich seltener auf als bei Altweltaffen (BRACK et al. 1995). Auch die bei Makaken i. d. R. asymptomatisch verlaufende Infektion mit Herpes-B-Virus (die beim Menschen tödlich verlaufen kann) tritt bei Krallenaffen nicht auf.

Sollen Versuchstiere langfristig genutzt werden, so muss nicht nur ein optimales Umfeld (angemessene Käfiggröße/Ausstattung, Raumtemperatur, Luftfeuchte, Luftwechsel und Beleuchtung) geschaffen werden, sondern auch eine bedarfsangepasste Ernährung der Tiere gewährleistet sein. In diesem Zusammenhang

¹ Der Name Marmosetten leitet sich vermutlich von ‚marmouset‘ ab, was im französischen ursprünglich soviel wie Zwerg oder Knirps heißt und damit die Tiere treffend beschreibt (WOLTERS u. IMMELMANN 1988). Andererseits ist ‚marmouset‘ auch ein Spottname, der soviel wie ‚alter Kauz‘ bedeutet und für eine Gruppe von Beratern des französischen Königs Karl V steht.

ist überraschend, dass bisher nur in geringem Umfang eine systematische und ernährungsphysiologisch fundierte Erarbeitung von Versorgungsempfehlungen für diese Tiere erfolgte. Belastbare Kenntnisse zum Bedarf der Tiere bilden jedoch nicht nur die Grundlage geeigneter Versorgungsempfehlungen für eine bedarfsgerechte Fütterung und damit einen wichtigen Aspekt einer tiergerechten Haltung, sie sind zudem auch für den Aussagewert von biomedizinischen Studien an dieser Spezies von hoher und nicht zu unterschätzender Relevanz.

Hier soll die vorliegende Übersichtsarbeit ansetzen, den aktuellen Kenntnisstand zusammenfassen und, soweit möglich, begründete Schlussfolgerungen zur Entwicklung von Versorgungsempfehlungen ableiten. Des Weiteren sollen auf dieser Grundlage Ansätze für weitere Forschungsarbeiten benannt werden.

2 ERNÄHRUNG IM NATÜRLICHEN HABITAT

Weißbüschelaffen bewohnen die xerophytischen Wälder und halbtrockenen Waldgebiete in Nordost- und Zentralbrasilien. Diese Lebensräume sind rauer als die Regenwälder Amazoniens, wo die meisten anderen Mitglieder der Familie der Krallenaffen leben (Caton et al., 1996). Die Nahrungsgrundlage im natürlichen Habitat der Tiere besteht nach Beobachtungen im Freien aus Baumsäften (Exsudaten), Früchten und Insekten. Genauere Angaben zu den Anteilen dieser einzelnen Bestandteile an der „Gesamtration“ liegen jedoch nicht vor. Andere Primaten nutzen Baumsäfte nur in sehr geringem Umfang.

Weißbüschelaffen sind durch ein besonderes Gebiss² gut an die Aufnahme von Baumexsudaten adaptiert. Die unteren Schneidezähne sind nämlich etwa gleich lang ausgeprägt wie die Eckzähne (s. Abb. 2). Mit dieser Anpassung des Gebisses ist es den Tieren gut möglich, die Rinde von Bäumen bis zu 2 - 3 cm tief anzunagen, um an den Pflanzensaft zu gelangen. Dieser wird dann von den Tieren abgeleckt. Die Morphologie der übrigen Zähne weist keine Besonderheiten auf. Ein Zerbeißen und -kauen von Früchten und Insekten ist problemlos möglich (NRC, 2003).

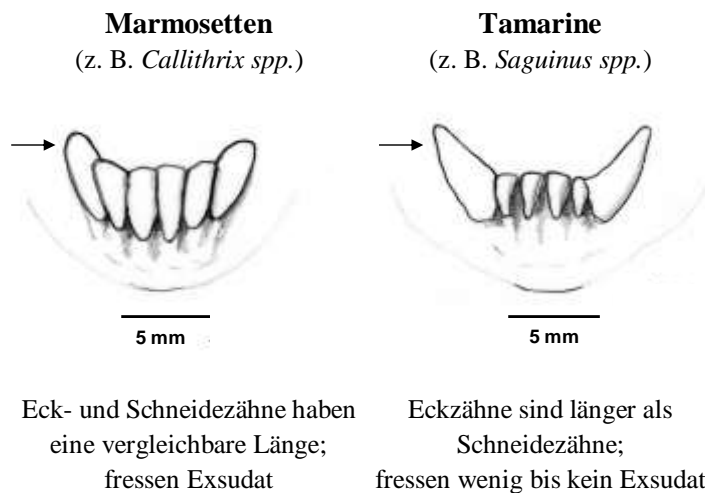


Abbildung 2: Vergleichende Darstellung des Gebisses von Marmosetten und Tamarinen (modifiziert nach FLEAGLE (1999))

Figure 2: Dentition of marmosets and tamarins (modified from FLEAGLE 1999)

Wie bei den morphologischen Unterschieden der Eckzähne deutlich wird, sind beispielsweise Braunrückentamarine (*Saguinus fuscicollis*) im Gegensatz zu Büschelaffen (*Callithrix* spp.) nicht an die Aufnahme größerer Mengen von Exsudat angepasst. Zudem sind bei Weißbüschelaffen die relativ großen Schneidezähne nur mit einer dünnen Schicht Dentin abgedeckt, welche sich durch das Benagen von Bäumen und Ästen abnutzt, wodurch die Zähne eine Meißel-ähnliche Form (ähnlich der Zahnform bei Nagetieren) annehmen (FLEAGLE 1999).

² Zahnformel von Krallenaffen: Oberkiefer 2 1 3 2; Unterkiefer 2 1 3 2 (BRACK et al. 1995)

Der Verzehr von Baumsäften stellt eine Besonderheit in der Ernährung von Büschelaffen (*Callithrix spp.*) dar und hat einen erheblichen Einfluss auf die Reviergröße der Tiere. Familienverbände nutzen Gebiete zwischen 2,5 und 6,5 ha. Die zentrale Region hat eine Größe von 1 - 1,5 ha mit Exsudat liefernden Baumbeständen. Untersuchungen haben ergeben, dass dieses zentrale Areal aus 54 bis 151 Exsudat produzierenden Bäumen bestehen kann. Damit ist davon auszugehen, dass ein Familienverband (bis zu 15 Tiere) mindestens 54 solcher Bäume pro Hektar zum Leben benötigt (Caton et al., 1996). Weißbüschelaffen verbringen etwa 30 % ihrer gesamten täglichen Aktivitäten mit dem Nagen an Bäumen, um den Exsudatfluss zu ermöglichen. Nach (Harrison and Tardif, 1994) entfallen auf die Erschließung und Aufnahme der Baumsäfte - bezogen auf die Gesamtdauer der Nahrungsaufnahme - etwa 70 %. In anderen Untersuchungen wird der zeitliche Aufwand für die Exsudataufnahme weiter differenziert. Danach ergeben sich jahreszeitliche Schwankungen zwischen 20 - 70 % der gesamten Zeit für Nahrungsaufnahme zur Aufnahme von Exsudat. Im Jahresmittel resultierte ein Wert von etwa 30 % an der Gesamtdauer der Futteraufnahme. Die Tagesration von Weißbüschelaffen im natürlichen Habitat scheint also saisonalen Schwankungen zu unterliegen (Power, 1996b). Im Gegensatz zu fakultativen Exsudatfressern, wie den Tamarinen, legen Weißbüschelaffen (obligate Exsudatfresser) zur Nahrungsaufnahme nur relativ kurze Wege zurück, da die Exsudat spendenden Bäume zentral im Revier liegen (Harrison and Tardif, 1994). In den Morgenstunden erreicht die Exsudataufnahme ein Maximum, im Laufe des Tages verlagert sich die Futteraufnahme mehr auf das Jagen von Insekten. Zusätzlich werden auch Früchte verzehrt, diese machen jedoch nicht den Hauptteil der Nahrung aus. Weißbüschelaffen sind strikt tagaktiv; die Futteraufnahme findet ausschließlich zwischen Sonnenauf- und -untergang statt (Caton et al., 1996).

Die aufgenommenen Exsudate bestehen in erster Linie aus Wasser und Kohlenhydraten. Die Kohlenhydratfraktion der Baumsäfte besteht überwiegend aus mehrfach verzweigten β -glykosidisch gebundenen Nicht-Stärke-Polysacchariden (NSP), die im Magen-Darm-Trakt aufgrund des Fehlens körpereigener Enzyme deshalb ausschließlich mikrobiell fermentiert werden (McWhorter and Karasov, 2007). Baumsäfte weisen zudem relativ hohe Gehalte an einigen Mineralstoffen, insbesondere Calcium, auf. Neben Calcium sind auch verschiedene andere Mineralstoffe, wie z. B. Kalium, sowie Spuren von Magnesium und Natrium, aber auch Aluminium und Silicium (Coimbra-Filho, 1976) enthalten. Zugleich sind nur geringe Mengen an Protein, Fett und Vitaminen enthalten. In der folgenden Tabelle 1 ist die Zusammensetzung eines Exsudats (hier: Gummi arabicum) angeführt. Informationen zur chemischen Zusammensetzung anderer Baumexsudate (z. B. vom Kaschubaum/*Anacardium occidentale*) finden sich bei DE PAULA und RODRIGUES (1995) sowie GYEDU- AKOTO (2008).

Tabelle 1: Zusammensetzung (Angaben in % der Trockensubstanz/TS) von Gummi arabicum* -Pulver (eigene Untersuchungen)

Table 1: Composition (data given as % of dry matter) of gum arabic-powder (own analyses)

Nährstoffe	Gehalt (%)	Mineralstoffe	Gehalt (%)
TS (in uS)	90,3	Calcium	0,71
Rohasche	3,7	Phosphor	0,0047
Rohfett	0,44	Ca : P	151 : 1
Rohprotein	2,06		
Rohfaser	0,35		
NfE**	93,4		

* Gewinnung erfolgt aus dem Exsudat von Verek-Akazien (*Acacia senegal*) und Seyal-Akazien (*Acacia seyal*)

** davon etwa 8,3 % Stärke

Die Zusammensetzung des Exsudats ist nicht nur von der Art und dem Standort eines Baums, sondern auch von dessen Alter abhängig: der Saft älterer Bäume enthält generell höhere Anteile an Protein, Mineralstoffen und Phenolen als der junger Bäume (Gyedu-Akato et al., 2008).

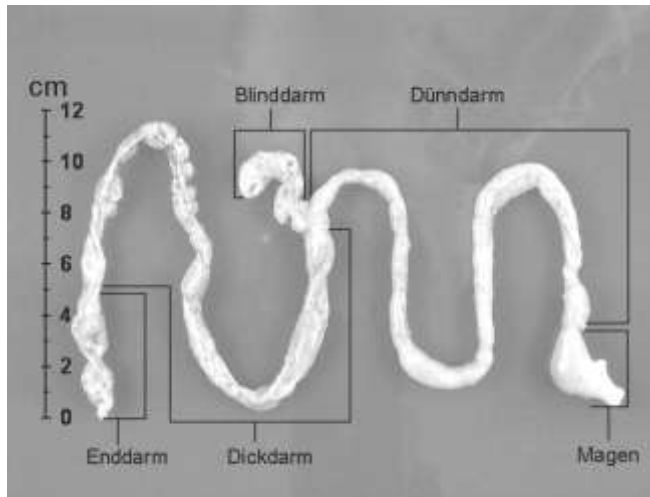
Insgesamt ist festzuhalten, dass neben qualitativen Informationen vor allem quantitative Daten zur TS-Aufnahme im natürlichen Habitat lückenhaft sind. Aus diesem Grund müssen grundlegende Studien zur Bestimmung der täglichen TS-Aufnahme der Tiere - beispielsweise bei deren Nutzung als Versuchstiere - durchgeführt werden.

3 VERDAUUNGS- UND ABSORPTIONSPROZESSE

Weißbüschelaffen sind nicht nur durch die Ausprägung der Krallen (Klettern, Festhalten an Bäumen) und ihre Dentalstruktur an die Aufnahme großer Mengen von Baumsaft adaptiert. In Anpassung an diese besondere Nahrung weisen sowohl die Morphologie des Magen-Darm-Traktes der Büschelaffen als auch die dortigen Absorptionsprozesse Besonderheiten auf.

In einer Untersuchung von CATON et al. (1996) wurden sowohl die Länge als auch das Fassungsvermögen von Magen, Dünndarm, Caecum und Colon bei Weißbüschelaffen bestimmt. Das größte Fassungsvermögen wies der Magen auf; der längste Darmabschnitt war der Dünndarm. Obgleich das Caecum nur etwa 25 % an der Gesamtlänge des Dickdarms ausmachte, betrug sein Fassungsvermögen immerhin 35 % des gesamten Dickdarms (Caecum + Colon).

Die von CATON et al. (1996) bestimmten Längen der einzelnen Darmabschnitte (Mittelwerte: Dünndarm 49,0 cm, Caecum 5,7 cm, Colon 17,3 cm; KM der Tiere: 343 g, n = 4) unterschieden sich etwas von den von MITRUA et al. (2010) bestimmten Längen der einzelnen Darmabschnitte (vgl. Abb. 3). Worauf dieser Unterschied zurückzuführen ist, bleibt ungeklärt.



Absolute Längen der einzelnen Darmabschnitte/
absolute length of single compartments
of the gut:

Dünndarm/small intestine = ca. 29 cm

Blinddarm/caecum = ca. 5 cm

Dickdarm/large intestine = ca. 27 cm

Enddarm/rectum = ca. 5 cm

Abbildung 3: Morphologie des Gastrointestinaltraktes von Weißbüschelaffen (*Callithrix jacchus*; eigene Ergebnisse)

Figure 3: Morphology of the gastrointestinal tract of common marmosets (*Callithrix jacchus*; own results)

In der folgenden Tabelle 2 werden die Längen von Caecum und Colon von Weißbüschelaffen mit den entsprechenden Darmabschnitten von Menschen und Schweinen verglichen.

Tabelle 2: Relative Länge einzelner Dickdarmabschnitte vergleichend bei Weißbüschelaffen (*Callithrix jacchus*), Menschen und Schweinen

Table 2: Relative length of large intestine compartments of common marmosets (*Callithrix jacchus*), men and pigs

Spezies	rel. Länge Caecum (Colon = 1)	rel. Länge Caecum (Dünndarm = 1)	rel. Länge Colon (Dünndarm = 1)
Weißbüschelaffen ¹	0,25	0,18	0,71
Menschen ²	0,05	0,02	0,30
Schweinen ³	0,09	0,02	0,26

¹ PRIMATOLOGIA (1958) ² PSCHYREMBEL (1993) ³ NICKEL et al. (1979)

Im Hinblick auf die Morphologie des Gastrointestinaltraktes unterscheiden sich die Gattungen der Krallenaffen voneinander. So besitzen Marmosetten wie Weißbüschelaffen (*Callithrix jacchus*) und Braune Seidenäffchen (*Callithrix emilia*) ein stärker ausgeprägtes Caecum als die zu den Tamarinen zählenden Goldenen Löwenäffchen (*Leontopithecus rosalia*), Rothandtamarine (*Saguinus midas*) und Braunrückentamarine (*Saguinus fuscicollis*; COIMBRA-FILHO et al. 1980, FERRARI u. MARTINS 1992).

Durch die Vergrößerung des Caecums dürften die Voraussetzungen für eine gute bakterielle Fermentation der aufgenommenen Pflanzensäfte, welche reich an β -glykosidisch gebundenen NSPs sind, günstiger sein.

Die Passagerate könnte durch einen hohen Anteil an Strukturkohlenhydraten aus dem Bereich der NSP bei der auf Exsudaten basierenden Ernährung verlangsamt sein. Dies wäre gegebenenfalls analog zu anderen Monogastriden mit einer Veränderung der Chymusviskosität zu begründen, wobei diesbezügliche Untersuchungen zu Weißbüschelaffen nicht vorliegen. Leicht verdauliche Inhaltsstoffe von Früchten und Insekten werden offenbar schnell und effizient im Dünndarm verdaut. Diese Art der Verdauung erlaubt zum Einen eine höhere Flexibilität gegenüber Veränderungen in der Nahrungszusammensetzung, zum Anderen könnten die morphologischen Besonderheiten in Form eines kürzeren Dünndarms zu einer Veränderung der Energie- oder Nährstoffassimilation führen, wenn vorwiegend hochverdauliche Nahrungsbestandteile aufgenommen werden (McWhorter and Karasov, 2007). Letztgenannte Untersuchung hat auch gezeigt, dass passive parazelluläre Nährstoffabsorption und intestinale Permeabilität stärker ausgeprägt sind als bei Menschen und anderen Säugetieren (Fledermäuse und ihnen verwandte Arten ausgenommen). Andere Säugetierspezies und auch der Mensch weisen eine erhöhte parazelluläre Absorption nur bei einer Epithelschädigung im Dickdarm auf (Welcker et al., 2004). Diese Besonderheit könnte Weißbüschelaffen trotz des verhältnismäßig kurzen Dünndarmes in Verbindung mit einer verstärkten postilealen Fermentation von Pflanzensäften eine effiziente Verdauung auch bei wechselnder Zusammensetzung der Tagesration ermöglichen. Insgesamt sind die zu den Marmosetten zählenden Weißbüschelaffen und Zwergseidenäffchen (*Cebuella pygmea*) besser in der Lage, Baumsäfte zu verdauen als die Tamarine (POWER u. MYERS 2009). Eine besondere anatomische oder morphologische Anpassung an die Aufnahme von Früchten oder Insekten liegt bei Krallenaffen nicht vor (Coimbra-Filho, 1976).

Die Mikroflora im Darm der gummi-folivoren Weißbüschelaffen unterscheidet sich deutlich von der omnivorer Rhesusaffen³. So zeigte eine Untersuchung von BAILEY und COE (2002), dass im Dickdarm der meisten untersuchten Tiere erwartungsgemäß eine hohe Gesamtkeimzahl an Bakterien (gram-negative aerobe und fakultativ anaerobe) im Vergleich zum Dünndarm auftraten; dies könnte sich auf

³ Rhesusaffen (*Macaca mulatta*) ernähren sich bevorzugt von pflanzlichen Materialien wie Früchten, Blüten, Blättern, Samen, Baumsäften, Kräutern, Rinden und Pilzen. Zudem werden Futtermittel tierischen Ursprungs wie Insekten, Eier, Krabben und Fische aufgenommen.

die Spezialisierung der Weißbüschelaffen auf eher schwer verdauliche Nahrung und die damit gesteigerte Dickdarmfermentation gründen. Damit unterscheiden sie sich von den Rhesusaffen, die mehrheitlich leicht verdauliche Kost zu sich nehmen und daher keine gesteigerte Dickdarmfermentation aufweisen.

4 AUSGEWÄHLTE CHARAKTERISTIKA DES STOFFWECHSELS

Anstelle einer umfassenden Charakterisierung des Stoffwechsels von Weißbüschelaffen sollen in diesem Abschnitt nur zwei wesentliche Besonderheiten herausgestellt werden.

Zum Einen stellt die Ähnlichkeit des Lipoprotein-Stoffwechsels von Weißbüschelaffen und Menschen die Basis für eine besondere Eignung als Modelltier, z. B. für die Arterioskleroseforschung, dar. Zum Anderen sind die Besonderheiten im Vitamin D-Stoffwechsel von Weißbüschelaffen für die bedarfsgerechte Ernährung unter Laborbedingungen von großer Bedeutung.

4.1 LIPOPROTEINE

Nicht zur Überfamilie der Menschenartigen (Hominoidea; i. e. S. Menschenaffen/*Hominidae* und Gibbons/*Hylobatidae*) zählende Primaten eignen sich besonders wegen ihrer evolutionären Nähe zum Menschen als Modelltiere für Untersuchungen zum Lipoprotein-Stoffwechsel und zur Arteriosklerose. Sowohl die experimentell induzierte Arteriosklerose als auch die natürlich auftretende Form bei nicht-humanen Primaten unterscheiden sich durch die Verbreitung der Läsionen vom Auftreten z. B. bei Labornagern. Von Letzteren wurde beschrieben, dass das VLDL-Cholesterin mit dem HDL-Cholesterin auch bei steigenden Plasmalipiden positiv korreliert (SCHONFELD et al. 1974) und sich somit *nicht* wie beim Menschen und bei nicht-humanen Primaten verhält. Daher ist die Nutzung höherer Säugetiere wie den Primaten für die Forschung unerlässlich.

Besonders die Lipoproteine und Apolipoproteine von Weißbüschelaffen sind denen des Menschen sehr ähnlich, was sie für diese Forschung interessant macht. Die Lipoprotein-Klassen VLDL (very low density lipoproteins), LDL (low density lipoproteins), IDL (intermediate density lipoproteins) und HDL (high density lipoproteins) konnten bei Weißbüschelaffen ebenso wie beim Menschen festgestellt werden. Weiterhin konnten verschiedene Apolipoproteine charakterisiert werden; sie sind äquivalent zum menschlichen apo A-I, apo A-II, apo A-IV, apo C-III sowie apo E. Daher kann davon ausgegangen werden, dass der Weißbüschelaffe ein geeignetes Modell für Untersuchungen zum Metabolismus der Lipoproteine und zur Diät-induzierten Arteriosklerose des Menschen darstellt (Charnock et al., 1992; Crook et al., 1990). Studien zur Charakterisierung von adipösen Phänotypen bei Weißbüschelaffen haben zudem gezeigt, dass diese als Modelltiere für Studien zur Fettleibigkeit bei Menschen sehr gut geeignet sind (TRADIF et al. 2009).

4.2 VITAMIN D

Der Vitamin D₃-Metabolismus einiger Neuweltaffen (insbesondere der Weißbüschelaffen), unterscheidet sich in einigen Punkten von dem der Altweltaffen (inkl. des Menschen). Weißbüschelaffen tolerieren nämlich eine hohe orale Zufuhr an Vitamin D₃. So wurden selbst bei einer Dosierung von 10.000 I. E. Vitamin D/kg in kommerziellen Alleinfuttern für Krallenaffen (vgl. Tab. 9) keine Gesundheitsprobleme (i. e. S. Hypercalcaemie/Verkalkungen) beobachtet. Es sei jedoch an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass für ein Alleinfutter, welches zur Ernährung von nicht-humanen Primaten eingesetzt werden soll, ein Gehalt von 2.500 I. E. Vitamin D/kg Futter-TS empfohlen wird; wobei ein höherer Bedarf an Vitamin D bei Krallenaffen (unter besonderen Bedingungen) nicht völlig ausgeschlossen werden kann (NRC 2003).

Der Vitamin D-Rezeptor (VDR), seine Fähigkeit, Heterodimere mit dem Retinoid-Rezeptor (RXR) zu bilden, und der Stoffwechselweg des Vitamin D₃ im Körper unterscheiden sich beim Weißbüschelaffen nicht von dem bei Altweltaffen. Dagegen besitzen Weißbüschelaffen in ihren Zellen zwei Proteingruppen, die den Vitamin D-Stoffwechsel maßgeblich beeinflussen. Eines dieser Proteine ist das intrazelluläre Vitamin D-Bindungsprotein (IVDBP), das zur „heat shock protein“-Familie gehört und sowohl 25(OH)D₃ als auch Calcitriol mit niedriger Affinität, jedoch hoher Kapazität bindet (Gacad et al., 1997). Die Anwesenheit des IVDBP erhöhte die intrazelluläre Konzentration der Vitamin D₃-Metaboliten und bewirkte bei Zugabe zu humanen Nierentubuluszellen eine Erhöhung der Hydroxylierungsrate von 25(OH)D₃ zu Calcitriol um 70 % (Wu et al., 2002). Somit hat das IVDBP eher einen entgegengesetzten Effekt zur hohen Toleranzschwelle gegenüber Vitamin D. Das „vitamin D response element – binding protein (VDRE-BP)“ gehört zu einer weiteren Gruppe von Proteinen und ist die eigentliche Erklärung für die niedrige Toxizität von Vitamin D₃. VDRE-BP konkurriert mit dem VDR-RXR Heterodimer um die Bindung am Response-Element im Promotor und blockiert damit alle spezifischen Wirkungen dieses Steroidhormons. Entsprechend wurde berichtet, dass eine Zugabe von VDRE-BP zu Zellen von Altweltaffen auch dort die Wirkung von Calcitriol blockierte (Chen et al., 2000). In wieweit sich das IVDBP und das VDRE-BP in ihrer Wirkung auf den Gesamtstoffwechsel von Vitamin D₃ aufheben und mit welcher Rate Calcitriol über die 1,25(OH)D₃-24-Hydroxylase deaktiviert wird, ist unbekannt. Folglich kann für Weißbüschelaffen aus den Stoffwechselbesonderheiten beim Vitamin D₃, insbesondere weil keine Synthese-, Umsatz- oder Abbauraten bekannt sind, nicht ohne Weiteres auf den Bedarf bzw. die erforderliche Zufuhr über die Nahrung geschlossen werden.

5 KENNTNISSE ZUM BEDARF

Weißbüschelaffen können ein Lebensalter von über 10 Jahren erreichen, in Ausnahmefällen sogar ein Alter von mehr als 20 Jahren. In vielen Beständen werden die Tiere jedoch nicht so alt; verfrühte Abgänge könnten nicht zuletzt mit einer unangemessenen Ernährung im Zusammenhang stehen.

Zum Einen ist die Darmgesundheit der Tiere infolge *chronischer Enteritiden*, einhergehend mit Gewichtsverlust, nicht selten beeinträchtigt (KASPAREIT et al. 2006). Zum Anderen treten nicht kompensierbare Nephropathien auf, die teilweise durch eine Ablagerung von IgA-Immunkomplexen im Nierengewebe charakterisiert sind. Es wird vermutet, dass die Ursache dieser überhöhten Immunkomplex-Bildung ebenfalls durch chronische Entzündungsvorgänge im Darm bedingt ist (SCHROEDER et al. 1999).

Des Weiteren tritt - vermutlich infolge einer überhöhten Aufnahme an Energie - *Fettleibigkeit* bei den Tieren auf. Adipöse Individuen erreichen eine Körpermasse (KM) von über 500 g (angemessen ist eine KM zwischen 350 g und 400 g). Die Zucht mit übergewichtigen Weibchen ist problematisch, da diese Tiere einerseits übergroße Jungtiere gebären, und andererseits die Wurfgröße mit z. T. vier statt zwei Nachkommen deutlich über der Norm liegt. Beides begünstigt Geburtsprobleme (→ hohe Kaiserschnitttrate) und erhöhte Jungtierversluste. Insofern ist eine bedarfsangepasste Energie- und Nährstoffversorgung, insbesondere in der Reproduktionsphase dringend erforderlich.

Basis für eine bedarfsangepasste Ernährung sind einerseits ernährungsphysiologisch fundierte Studien, die in ihrer Gesamtschau und Wichtung die Voraussetzung für generalisierbare Versorgungsempfehlungen liefern. Andererseits sind Kenntnisse zur Verdauung und Verwertung der Futterinhaltsstoffe notwendig, um ihr Potenzial zur Bedarfsdeckung zuverlässig beschreiben zu können. Die aus der Literatur zugängliche Datengrundlage zur Ernährung von Weißbüschelaffen ist als eher dürftig zu bezeichnen. In den folgenden Abschnitten wird deshalb sowohl auf harte wissenschaftliche Daten wie auch empirische Empfehlungen zurückgegriffen.

5.1 FUTTERAUFNAHMEMENGEN UND TS-VERDAULICHKEIT

Eine Körpermasse von etwa 350 - 400 g wird bei adulten Krallenaffen (sowohl weiblichen als auch männlichen Tieren) als erstrebenswert angesehen. In Untersuchungen von KING (1978) nahmen Weißbüschelaffen (n = 6; Energiedichte der Ration unbekannt) bei Angebot einer Mischung aus Pellets, Obst/Gemüse, Brot und tierischen Produkten (u. a. Eier, Insekten) etwa 5,2 % ihrer KM an Trockensubstanz (TS) auf, wobei die Tiere eine deutliche Vorliebe für Futtermittel pflanzlichen Ursprungs zeigten. In Untersuchungen von WIRTH und BUSELMAIER (1982) erreichten adulte Weißbüschelaffen (Ø KM: 300 g) bei Angebot von Pellets (bzw. Pellets + Brei) eine TS-Aufnahme, die etwa 3,1 % (bzw. 4,1 %) ihrer Körpermasse entsprach. NIEVERGELT und MARTIN (1999)

bestimmten die TS-Aufnahme von tragenden und laktierenden Tieren bei Angebot eines pelletierten Alleinfutters. Tragende Tiere nahmen im frühen Stadium der Trächtigkeit etwa 7 - 8 % ihrer KM an Trockensubstanz auf. Im späten Stadium der Trächtigkeit stieg die TS-Aufnahme um etwa 20 % an. Zu Beginn der Laktation realisierten dieselben Tiere (\emptyset KM: 375 g; Wurfgröße: 3 Jungtiere) eine TS-Aufnahme von etwas mehr als 30 g. Die TS-Aufnahme erreichte im weiteren Verlauf der Laktation (bis zum Ende der 6. Laktationswoche) Werte von bis zu 50 g, was etwa 13 % der KM der Tiere entsprach (NIEVERGELT u. MARTIN 1999). Männliche Tiere nahmen pro Tag etwa 6 % ihrer Körpermasse an Trockensubstanz auf (NIEVERGELT u. MARTIN 1999). Die obengenannten Werte zur TS-Aufnahme erscheinen im Vergleich zum Energiebedarf und auch zu Werten anderer, etwa gleichgroßer Säugetiere leicht höher als erwartet, was aber evtl. bei geringer Energiedichte des Futters verständlich wäre.

Bei Angebot von synthetischen Mischfuttern („Diäten“, die verschiedene hochwertige Rp-Quellen (Casein, Lactalbumin, Sojaproteinkonzentrat 71 % Rp) enthielten, wurden im Mittel TS-Verdaulichkeiten von $85,8 \pm 2,1$ % (caseinhaltig), $83,9 \pm 2,7$ % (lactalbuminhaltig) und $81,7 \pm 3,5$ % (sojaproteinkonzentrat-haltig) von Krallenaffen (*Callithrix jacchus* und *Saguinus fuscicollis*) erzielt (FLURER et al. 1985).

5.1 ENERGIE

Energie kann grundsätzlich aus allen organischen Makronährstoffen (v. a. Fett und Kohlenhydraten) gewonnen werden. Sie sichert die Erhaltung grundlegender Stoffwechselfvorgänge (inkl. der Thermoregulation) und ermöglicht zusätzliche - ebenfalls energieabhängige Leistungen - wie (Muskel)Arbeit, Wachstum und Gewebeansatz sowie Frucht- und Milchbildung (NRC, 2003).

- Grundumsatz und Erhaltungsbedarf

Für Krallenaffen wurde der *Grundumsatz*, d. h. die Wärmebildung im Hungerzustand mit ca. $350 \text{ kJ/kg KM}^{0,75}$ bestimmt. Die bisher beobachtete Höhe der Energieaufnahme im *Erhaltungsstoffwechsel* variierte zwischen 573 kJ und 1.067 kJ Bruttoenergie (GE)/1 kg $\text{KM}^{0,75}$ und war damit etwa doppelt so hoch wie der Grundumsatz (King, 1978).

Weibliche Tiere in der prä-, peri- und postovulatorischen Phase zeigten eine tägliche Energieaufnahme von durchschnittlich $362 \text{ kJ ME/kg KM}^{0,75}$, wobei innerhalb dieser Zeitspanne von 8 Tagen keine signifikanten Unterschiede beobachtet werden konnten. Demgegenüber nahmen die männlichen Tiere der Gruppe in dieser Zeit täglich rund $400 \text{ kJ ME/kg KM}^{0,75}$ auf. Da in diesem Abschnitt des Zyklus keine besonders hohen Leistungen (wie Milchbildung oder Muskelansatz) von den Tieren erbracht wurden, kann davon ausgegangen werden, dass der Energiebedarf von weiblichen und männlichen Weißbüschelaffen etwa in der Größenordnung von 360 - $400 \text{ kJ ME/kg KM}^{0,75}$ variieren dürfte (vgl. Tab. 4).

Für Tiere in Einzelhaltung kann eine geringere Energieaufnahme unterstellt werden als für Tiere in Paar- oder Gruppenhaltung (Nievergelt and Martin, 1999).

- Leistungsbedarf für die Reproduktionsphase⁴

NIEVERGELT und MARTIN (1999) ermittelten die Aufnahme an umsetzbarer Energie (ME) durch weibliche Weißbüschelaffen während der Reproduktion. In den ersten beiden Dritteln der Trächtigkeit nahmen die Tiere im Schnitt tendenziell weniger Energie als im letzten Drittel der Trächtigkeit auf (290 kJ versus 325 kJ ME/kg KM^{0,75}). Ein signifikanter Unterschied zu den ermittelten Daten für die Energieaufnahme derselben Tiere während des Östrus (s. o.) konnte jedoch nicht ermittelt werden.

Erst mit Beginn der Laktation stieg die Energieaufnahme der Muttertiere signifikant an: so nahmen die Tiere während der 1. bis 6. Laktationswoche (LW) signifikant mehr Energie als während der Trächtigkeit auf. In den ersten zwei Wochen der Laktation steigerten die Weibchen - bei einer Anzahl von 3 Jungtieren pro Wurf - ihre Energieaufnahme um etwa 50 %, in der 5. und 6. Laktationswoche sogar um bis zu 100 % (bezogen auf die „Erhaltung“; vgl. Tab. 4). Trotz dieser forcierten Energieaufnahme verloren die Tiere an Körpersubstanz. Vermutlich ist eine Steigerung der TS- und damit Energieaufnahme - vergleichbar wie bei anderen Spezies - über ein bestimmtes Maß hinaus nicht möglich, sodass es bei einer hohen Milchleistung (\hat{u} der Jungtiere/Wurf von 2 auf 3) zum Abbau körpereigenen Gewebes kommt.

Ob das Tragen des Nachwuchses einen Einfluß auf den Energiebedarf der Tiere hat, bleibt offen, da bei männlichen Tieren, die den Nachwuchs vergleichbar lange wie die weiblichen Tiere trugen, keine Steigerung der Energieaufnahme beobachtet werden konnte (NIEVERGELT u. MARTIN 1999).

Eine Energierestriktion auf beispielsweise 75 % der zu erwarteten Energie-/ Futteraufnahme in der Mitte der Trächtigkeit (Tag 66) ist nicht empfehlenswert; (Tardif et al., 2004) beobachteten unter diesen Bedingungen Aborte bei allen von ihnen verwendeten Versuchstieren. Auch eine Energierestriktion zu einem späten Zeitpunkt der Trächtigkeit (Tag 99) führte in 43 % zu einer veränderten Trächtigkeitsdauer, in drei Fällen kam es zu einer verfrühten Geburt. Demgegenüber blieb die Wurfgröße von der Restriktion unbeeinflusst ((Tardif et al., 2004).

⁴ Eckdaten der Reproduktion von Weißbüschelaffen (*Callithrix jacchus*):

Geschlechtsreife: 1,2 - 2 Jahre; Zyklusdauer: 21 - 25 d; Trächtigkeitsdauer: 144 - 155 d (BRACK et al. 1995); Geburtsgewicht: ca. 35 g (1 Jungtier) - ca. 28 g (3 Jungtiere; TARDIF et al. 2004) bzw. 22 - 28 g (nach BRACK et al 1995); im Schnitt beträgt das Geburtsgewicht dementsprechend etwa 6 - 8 % der KM „normalgewichtiger“ Mütter; Aufnahme von anderen Futtermitteln neben der Milch bei den Jungtieren ab der 5. - 6. Lebenswoche; Absetzalter: trotz einer Säugezeit von nur 3 bis 4 Monaten (vgl. TARDIF et al. 2004) sollten die Jungtiere erst im Alter von ca. 8 Monaten von den Eltern getrennt werden (soziale Entwicklung); wie es auch in einer neuen EU-Richtlinie zum Schutz der für Versuche und andere wissenschaftliche Zwecke verwendeten Wirbeltiere (26. 05. 2010 Anhang III) gefordert wird.

5.2 PROTEIN UND AMINOSÄUREN

Wie bei anderen monogastrischen Spezies dient die Proteinversorgung der Krallenaffen (*Callithricidae*) primär der quantitativ und qualitativ bedarfsdeckenden Bereitstellung von proteinogenen Aminosäuren zur Deckung des Bedarfes der Körpergewebe und zum Ausgleich von (endogenen) Verlusten. Zugleich bestehen differenzierte Synthese-möglichkeiten für einzelne Aminosäuren im Stoffwechsel, woraus der jeweilige Grad der Entbehrlichkeit bzw. Essenzialität dieser resultiert. Es liegen keine Hinweise dafür vor, dass im Hinblick auf die Zuordnung proteinogener Aminosäuren hinsichtlich der Synthesemöglichkeit im Stoffwechsel grundlegende Unterschiede zwischen den verschiedenen Primatenarten bestehen. Eine solche auf die Proteinbausteine bezogene Sichtweise, im Gegensatz zu einer rein quantitativen Empfehlung, wäre also grundsätzlich auch für Weißbüschelaffen erstrebenswert. Hierfür besteht aber keine ausreichende Datengrundlage. Es wurde deshalb, entsprechend dem Kenntnisstand, nachfolgend der Schwerpunkt auf eine mehr oder weniger komplexe Betrachtung der Proteine und Aussagen zu einigen ausgewählten Proteinträgern gelegt.

- Proteinbedarf – abgeleitet aus empirischen Daten

Allgemein wird - bezogen auf eine Energieeinheit im Futter - der Proteinbedarf von Neuweltaffen (syn. Breitnasenaffen; Platyrrhini) höher eingestuft als der von Altweltaffen (syn. Schmalnasenaffen; Catarrhini; (Flurer et al., 1988). Diese Annahme stützt sich grundsätzlich darauf, dass Neuweltaffen (z. B. Saki-, Klammerschwanz- und Krallenaffen) eine im Vergleich zu Altweltaffen (z. B. Meerkatzen und Menschenaffen), eine geringere Körpermasse aufweisen und - ganz allgemein - Tiere mit geringer Körpermasse einen höheren Proteinbedarf im Vergleich zum Energiebedarf besitzen (Clarke et al., 1977). Eine weitere Rolle für einen höheren Proteinbedarf könnte die Ernährungsweise der Neuweltaffen, welche sich im natürlichen Habitat phasenweise insektivor⁵ ernähren - und damit an eine höhere Proteinkonzentration in der Tagesration adaptiert sind - spielen (Clarke et al., 1977).

Aufgrund dieser Annahme wird für Marmosetten (zu den Neuweltaffen gehörend) ein Futter mit einem Rp-Gehalt von deutlich über 20 % in der TS empfohlen (Zucker and Flurer, 1989). Diese allgemeine Empfehlung gründet sich jedoch auf Annahmen und ist experimentell nicht verifiziert.

- N-Bilanz im Erhaltungsstoffwechsel

Grundlegende Kenntnisse zum Proteinbedarf wurden durch N-Bilanzversuche mit gestaffelten Rp-Konzentrationen im Futter und verschiedenen Proteinquellen erarbeitet. Dabei stand zunächst die Frage nach einer ausgeglichenen N-Bilanz (± 0) im Mittelpunkt. Die Untersuchungen an adulten Weißbüschelaffen (*Callithrix jacchus*) von (Flurer et al., 1988) führten zu dem Ergebnis, dass pro Tag mindestens 264 mg N/kg $KM^{0,75}$ (etwa 1,65 g Rp/kg $KM^{0,75}$) zuzuführen sind, um diesen

⁵ Rp-Gehalte von Insekten (% in der TS; DENNERT 1997): Mehlkäferlarven / *Tenebrio molitor*, 45,8; Heimchen / *Acheta domestica*, 68,5; Schmeißfliegenmaden / *Calliphoridae spp.*, 60,9; Mittelmeerfeldgrillen / *Gryllus bimaculatus*, 65,5 – 68,8

Ausgleich zu erreichen. Allerdings waren unterschiedliche Proteinqualitäten mit unterschiedlicher Proteinmenge zum Erreichen einer ausgeglichenen N-Bilanz verbunden, was vermutlich mit der biologischen Wertigkeit der verwendeten Proteinquellen in Zusammenhang stand. Nichtsdestotrotz würde bei einem derart geringen Proteinbedarf der Tiere ein Rp-/Energieverhältnis von etwa 4,5 g Rp / 1 MJ ME im Futter ausreichen, den Erhaltungsbedarf zu decken; dies wiederum entspräche bei einem Energiegehalt von 13,5 MJ ME/kg Futter gerade einmal 6 % (!) Rp im Futter. Der tägliche N-Verlust bei längerer proteinfreier Ernährung betrug $131 \pm 16 \text{ mg/kg KM}^{0,75}$, dies dürfte in etwa den endogenen N-Verlusten entsprechen (ZUCKER u. FLURER 1989).

Um zu untersuchen, ob Neuweltaffen tatsächlich einen niedrigeren Proteinbedarf haben als bisher angenommen, wurden zuerst Versuche mit Braunrückentamarinen (*Saguinus fuscicollis*) über mehrere Monate durchgeführt. Dabei wurden Rationen mit 1 %, 3 % und 6 % Rp i. d. TS von hoher biologischer Qualität (Proteinbasis: Sojaproteinkonzentrat, Casein und Globulin) vergleichend getestet (Zucker and Flurer, 1989). Dabei zeigte sich, dass weniger als 3 % Protein in der Ration zu einer negativen N-Bilanz führten. Rationen mit einem Rp-Gehalt von 6 % ermöglichten eine positive N-Bilanz. Diese Ergebnisse wurden durch Versuche mit anderen Rationen (Proteinquelle: Sojaproteinkonzentrat) gestützt. Auch hier führten Gehalte von 6 % Protein und mehr zu einer positiven N-Bilanz.

Koprophagie trat bei Weißbüschelaffen nach Verabreichung von Rationen mit einem Rp-Gehalt kleiner 6 % bzw. nach Verwendung einer auf Eiweißprotein basierenden AS-Mischung zur Herstellung eines Futters mit 6 % Rp und nach Angebot eines Futters, welches weder Histidin noch Arginin enthielt, auf (FLURER et. al. 1987a, (Zucker and Flurer, 1989). Da unter Ausschluss einer sensorischen Beeinträchtigung die Deletion von Arginin und Histidin aus der Proteinmischung - ähnlich dem Eiweißprotein - zu verminderter Akzeptanz und/oder Koprophagie führte, wurde dies als Hinweis auf die Essentialität dieser beiden Aminosäuren bei adulten Weißbüschelaffen gewertet (Zucker and Flurer, 1989). Zum Bedarf an weiteren essentiellen Aminosäuren finden sich in der Literatur keine Hinweise. Es ist jedoch grundsätzlich davon auszugehen, dass der Mangel an anderen essentiellen Aminosäuren ähnliche Symptome bewirkt wie ein Histidinmangel.

Der insgesamt also doch niedriger als angenommene Rp-Bedarf mag sich darauf stützen, dass Weißbüschelaffen (gelten als *gummi-frugivore* Spezies; vgl. POWER et al. 2009) in freier Wildbahn eine eher proteinarme Nahrung zu sich nehmen. Früchte und Baumexsudate machen einen Großteil der Nahrung aus, weisen aber generell geringere Rp-Gehalte als Insekten (s. S. 68 unten) auf.

Für die Haltung als Labortiere im Erhaltungsstoffwechsel wird der Einsatz einer Diät mit mindestens dem Doppelten des ermittelten Rp-Mindestbedarfs (6 % \Rightarrow 12 %) empfohlen, um die Kompensation von Stress oder Futterumstellungen zu ermöglichen (Flurer et al., 1988). Diese Schlussfolgerung wurde mittels weiterer Untersuchungen mit gestaffelten Rp-Gehalten bei anderen Krallenaffenarten bestätigt (Flurer and Zucker, 1985). Dabei zeigte sich, dass für Braunrückentamarine (*Saguinus fuscicollis*) bei einem Rp-Gehalt im Futter von 12 % alle Blutparameter

konstant blieben. Auch eine Reduktion des Rp-Gehalts im Futter auf 6 % über einen Zeitraum von 3 Monaten wurde von den Tieren toleriert.

- Verträglichkeit und Verdaulichkeit verschiedener Proteinquellen

Hinsichtlich der Auswahl geeigneter Proteinträger liegen ebenfalls Erfahrungsberichte vor. GORE et al. (2001) empfahlen den Ausschluss einiger Proteinquellen (Milch, Ei, Soja und Getreide), da sie zu nicht näher definierten „allergischen Reaktionen“ führen könnten. Diese Empfehlung stützte sich jedoch nicht auf gezielte immunologische Untersuchungen. Andere Arbeiten zeigten, dass die Futteraufnahme bei Angebot einer auf Milchprotein basierenden Ration etwas höher war als bei Gabe eines auf anderen Proteinquellen basierenden Futters. Das allergene Potenzial der Komponenten wurde in dieser Arbeit jedoch nicht untersucht (FLURER et al. 1985).

Für verschiedene einen hohen Milchprotein-Anteil beinhaltende Rationen mit einem Gesamt-Rp-Gehalt von 18,3 % zeigte sich die höchsten *Rp-Verdaulichkeit* bei Krallenaffen (*Callithrix jacchus*, *Saguinus fuscicollis*) nach Einsatz des lactalbuminhaltigen Futters (scheinbare Verdaulichkeit des Rohproteins / sVQ_{Rp} 83,5 %); für die caseinhaltige Mischung wurde eine nur geringfügig niedrigere sVQ_{Rp} (82,6 %) ermittelt. Im Vergleich dazu waren die sVQ_{Rp} der fertigen Futter bei Verwendung von Sojaproteinkonzentrat (SPK; 71 % Rp i. d. TS) und Sojaextraktionsschrot (SES; 50 % Rp i. d. TS) generell niedriger (SPK: sVQ_{Rp} 77,7 %; SES: sVQ_{Rp} 69,8 %). Bis auf Sojaextraktionsschrot (niedrige sVQ_{Rp}) erschienen alle Proteinquellen als empfehlenswert, da sie weder eine Ablehnung hervorriefen, noch die Kotkonsistenz der Tiere negativ beeinflussten (Flurer et al., 1985).

- Faktorielle Ableitung des Rp-Bedarfs für Wachstum und Reproduktion

Der Bedarf in verschiedenen Entwicklungs- und Leistungsphasen (Wachstum, Trächtigkeit, Laktation) ist unzureichend erforscht. So ist zwar bekannt, dass der Rp-Gehalt in der Milch bei *Callithrix jacchus* etwa 27 g/kg Milch (bzw. um 19 % Rp in der TS) variiert (POWELL et al. 2002) und auch Daten zum Wachstum der Jungtiere sind veröffentlicht (TARDIF et al. 2001), doch fehlen bislang u. a. quantitative Angaben zur Milchleistung oder der Verwertung des Proteins. Grundlegende weiterführende Arbeiten in diesem Bereich sind daher nötig.

- Faktorielle Ableitung des Aminosäuren(AS)-Bedarfs der Tiere

Insgesamt zeigt der relativ geringe Kenntnisstand zum AS-Bedarf der Tiere, dass keine ausreichende Datengrundlage für die faktorielle Ableitung des AS-Bedarfs existiert und somit auch nur eingeschränkt diesbezüglich Versorgungsempfehlungen gegeben werden können.

Sicher ist aber, dass Nahrungsproteine, die ein AS-Muster aufweisen, das weitgehend dem des Körperproteins (in der Laktation auch des Milchproteins) entspricht, von Vorteil sind (KAMPHUES et al. 2009). Aus diesem Grund könnten erste Hinweise für ein anzustrebendes (optimales) AS-Muster im Futter, aus der Zusammensetzung des Ganzkörperproteins der Tiere gewonnen werden (s. Tab. 3).

Tabelle 3: Aminosäurenmuster (Angaben in g/100 g Rp bzw. relativ zu Lysin) des Körperproteins von Weißbüschelaffen (*Callithrix jacchus*; n = 2 [1 ♂, 1 ♀]; eigene Ergebnisse)

Table 3: Amino acid composition of whole body protein (data given in g/100 g CP) in common marmosets (*Callithrix jacchus*; n = 2 [1 ♂, 1 ♀]; own results)

Aminosäure	absolut (g/100 g Rp)	relativ (Lys = 100)	Aminosäure	absolut (g/100 g Rp)	relativ (Lys = 100)
Lys	6,20	100	Cys ¹	1,72	28
Arg	6,06	98	Asp	7,89	127
Met ¹	1,87	30	Ser	3,94	63
Thr	3,85	62	Glu	14,0	226
Val	4,04	65	Pro	6,23	100
Ile	3,13	50	Gly	9,28	150
Leu	6,99	113	Ala	6,23	100
Phe	3,49	56	Tyr	3,03	49
His	2,70	43			
Trp	n. b.	n. b.			

n. b. = nicht bestimmt

¹ Bestimmung nach oxidativem Aufschluss

- Erkrankungen, die mit einem Rp-Mangel in Verbindung stehen könnten

Als eine Ursache für das bei Krallenaffen vorkommende *wasting marmoset syndrome* (WMS) - eine spontan auftretende, oft tödlich verlaufende Erkrankung, deren Genese bislang nur unzureichend geklärt ist - wurde ein Proteinmangel bei Vorliegen von weniger als 6 % Rp in der Futter-TS diskutiert (Flurer and Zucker, 1985).

5.3 FETTE UND FETTSÄUREN

Im Vergleich zu anderen Makronährstoffen weisen Fette die höchste Energiedichte auf. Zusätzlich zum energetischen Wert ist die Fettsäuren(FS)-Zusammensetzung von Bedeutung für den ernährungsphysiologischen Wert des Fettes als Bestandteil eines Futters für Weißbüschelaffen. Studien zum Effekt von Fettsupplementen im

Futter auf die Herzfunktion von Weißbüschelaffen haben gezeigt, dass eine Steigerung der Zufuhr mehrfach ungesättigter Fettsäuren im Futter die mechanische Leistung des Herzens erhöhte, ohne dabei die Herzfrequenz oder den Blutdruck zu steigern (Charnock and Poletti, 1994; Charnock et al., 1989; Charnock et al., 1992).

Ein Bedarf an Fett oder besser gesagt an essentiellen Fettsäuren wie der Linolsäure (C18:2, n-6) konnte bei fast allen Spezies mit Hilfe des Angebots einer fett-/essentiellen FS-freien Ration über einen längeren Zeitraum nachgewiesen werden.

Für Neuweltaffen wird angenommen, dass ein Rfe-Gehalt von 3 - 6 % im Futter angemessen ist (Clarke et al., 1977). Diese Angaben stützen sich jedoch auf Untersuchungen mit Rhesusaffen (*Macaca mulatta*; zu den Altweltaffen gehörend). Hierbei zeigte sich, dass bei einem Rfe-Gehalt im Futter von unter 3 % Mangelerscheinungen in Form von trockener, schuppiger Haut und Haarverlust auftraten. Diese Symptome konnten bei Tieren, die mit der zweiten, höheren Dosierung von Fett im Futter (8 % Rfe) versorgt wurden, nicht beobachtet werden (FITCH et al. 1961).

Kapuzineraffen (*Cebus spp.*; wie die Krallenaffen zu den Neuweltaffen gehörend), die eine fettfreie Ration über eine längere Zeit erhielten zeigten ebenfalls histologische Veränderungen der Haut und des Haarkleids (PORTMAN et al. 1961). Die Kontrollgruppe, welche im selben Versuchszeitraum eine Ration mit 8 % Mais(keim)öl⁶ erhielt, zeigte demgegenüber keine vergleichbaren Ausfallserscheinungen. Damit kann auch für Neuweltaffen von einem Bedarf an Linolsäure zur Aufrechterhaltung der Organfunktionen ausgegangen werden. Wenn man von einem Gehalt an Linolsäure von wenigstens 50 % in Maiskeimöl ausgeht, so würde dies im Umkehrschluss bedeuten, dass ein Linolsäure-Gehalt von 4 % im Futter das Auftreten von Mangelerscheinungen verhindern kann.

Untersuchungen zum Bedarf von Weißbüschelaffen an einzelnen Fettsäuren liegen demgegenüber nicht vor. Aufgrund dieses Defizits wären weitere Untersuchungen sowohl zum optimalen FS-Muster als auch zur adäquaten Rfe-Menge im Futter der Tiere nötig. Dies gilt umso mehr, da im Bereich des Fettstoffwechsels von einer besonderen Eignung der Weißbüschelaffen als valides Model z. B. für die Arterioskleroseforschung ausgegangen wird (vgl. Kap. 4.1).

Generell wird aber empfohlen, Gehalte (bezogen auf die Futter-TS) von 0,5 % an n-3-FS (wie z. B. α -Linolensäure) bzw. 2 % an n-6-FS (z. B. Linolsäure) in der Ration von entwöhnten nicht-humanen Primaten anzustreben (NRC 2003).

⁶ Maiskeimöl ist reich an mehrfach ungesättigten FS; etwa 98 % des Anteils an mehrfach ungesättigten FS bestehen aus Linolsäure (C18:2, n-6), demgegenüber ist der Anteil an α -Linolensäure (C18:3, n-3) sehr gering, der an γ -Linolensäure (C18:3, n-6) unbedeutend.

5.4 EMPFEHLUNGEN ZUR VERSORGUNG MIT ENERGIE, PROTEIN UND FETT

Die dargestellten Ergebnisse zeigen, dass in der Literatur einige Angaben zur notwendigen Versorgung der Weißbüschelaffen (*Callithrix jacchus*) mit Energie in verschiedenen Lebensphasen vorliegen. Dagegen sind die Annahmen zum Bedarf an Protein bzw. Aminosäuren lückenhaft (Rp) bzw. unbekannt (AS) und erfordern besonders für die Haltung als Versuchstier weitere Untersuchungen. Zum FS-Bedarf kann für die Tiere bisher keine Aussage getroffen werden. Eine zusammenfassende Übersicht zu Versorgungsempfehlungen ist der Tabelle 4 auf der folgenden Seite zu entnehmen.

5.5 MINERALSTOFFE

In den folgenden beiden Abschnitten soll insbesondere auf die Versorgung der Tiere mit den Mengenelementen Calcium und Phosphor sowie mit den Spurenelementen Eisen, Jod und Zink eingegangen werden.

Tabelle 4: Bedarf an Energie, Protein und Fett von Weißbüschelaffen (*Callithrix jacchus*) sowie Empfehlungen für anzustrebende Rp- und Rfe-Gehalte im Futter (gemäß NRC 2003)

Table 4: Energy and nutrient requirements of common marmosets (*Callithrix jacchus*) and recommendations for protein and fat levels in diets (according to NRC 2003)

	Bedarf von Weißbüschelaffen (nach unterschiedlichen Quellen)	Empfehlung NRC (2003)
Energie	Grundumsatz ¹⁾ : 350 kJ/kg KM ^{0,75} Gesamtumsatz in 24 h, 24 °C/50 % rLF ²⁾ : 320 ± 23,6 kJ/kg KM ^{0,75}	k. A.
	Erhaltungsbedarf ³⁾ : Ø 677 kJ GE /kg KM ^{0,75} (573 - 1.067 kJ GE /kg KM ^{0,75})	k. A.
	Erhaltungsbedarf ⁴⁾ : - Weibchen ≈ 362 kJ ME /kg KM ^{0,75} - Männchen: ≈ 400 kJ ME /kg KM ^{0,75}	k. A.
	Leistungsbedarf (inkl. Erhaltung) ⁵⁾ : - Trächtigkeit: Ø 302 kJ ME /kg KM ^{0,75} NT: ≈ 290 kJ ME /kg KM ^{0,75} HT: ≈ 325 kJ ME /kg KM ^{0,75} - Laktation: 1. + 2. LW: ≈ 544 kJ ME /kg KM ^{0,75} 3. + 4. LW: ≈ 685 kJ ME /kg KM ^{0,75} 5. + 6. LW: ≈ 729 kJ ME /kg KM ^{0,75}	k. A.
Protein/ Aminosäuren	Erhaltung: (endogener N-Verlust ^{6),7)} Ø 131 mg N/kg KM ^{0,75} Rp-Bedarf ^{6),8)} Ø 1,65 g Rp /kg KM ^{0,75} Rp-Gehalt im Futter ⁶⁾ mind. 6 % Rp (12 % Rp empfohlen)	7 %* bzw. 15 - 22**
	Laktation: Rp-Gehalt im Futter ⁹⁾ 16 / 27,5 % (Lactalbumin als Rp-Quelle)	k. A.
	Wachstum: k.A.	12 - 18 %*
Fett/ Fettsäuren	Erhaltung: Rfe-Gehalt im Futter ¹⁰⁾ 3 - 6 % Rfe in TS ess. n-3-FS im Futter k.A. ess. n-6-FS im Futter k.A.	k. A. 0,5 %*** 2 %***

k. A.: keine Angaben verfügbar NT = niedertragend HT = hochtragend LW = Laktationswoche rLF = rel. Luftfeuchte

¹⁾ Grundumsatz ≙ Hungerumsatz ≙ Wärmebildung im Hungerzustand; KING (1978); ²⁾ PETRY et al. (1986) ³⁾ KING

(1978);

⁴⁾ i. e. S. Energieaufnahme im „periöstrischen“ Abschnitt (vgl. NIEVERGELT u. MARTIN 1999); ⁵⁾ NIEVERGELT u. MARTIN (1999); ⁶⁾ ZUCKER u. FLURER (1989); ⁷⁾ bei Angebot einer N-freien Diät; ⁸⁾ für eine ausgeglichene N-Bilanz bei Angebot hochwertiger Proteinquellen; ⁹⁾ TARDIF et al. (1998) u. POWER et al. (2002) wiesen keinen Unterschied der Milchezusammensetzung bei Angebot zweier Mischfuttermittel mit unterschiedlichen Rp-Gehalten nach;

¹⁰⁾ CLARKE et al. (1977);

* bei Angebot von halb- bzw. synthetischen Mischfuttermitteln ($\approx 16,7$ MJ ME/kg Futter-TS) für Versuchstiere; i. d. R. bestehend aus folgenden definierten Komponenten: Aminosäuren, Stärke/Zucker, pflanzl. Öle, Cellulose, vitam. Mineralstoffmischung;

** Angaben gelten ganz allg. für nicht-humane Primaten nach dem Absetzen, welche eine Mischung aus verschiedenen Einzelfuttermitteln erhalten, die möglicherweise keine so hohe Proteinqualität wie synthetische Mischfuttermittel aufweisen. Reproduktive, insb. laktierende Tiere profitieren in der Regel von Rationen mit Rp-Gehalten im oberen Bereich;

*** allg. Angaben für entwöhnte nicht-humane Primaten; n-6-FS: 4 % bei Kapuzineraffen (Neuweltaffen) sicher ausreichend (vgl. PORTMAN et al. 1961)

5.5.1 MENGENELEMENTE

- Calcium und Phosphor

Obgleich es bislang keine Studien⁷ zum wahren/tatsächlichen *Ca-/P-Bedarf* von Weißbüschelaffen gibt, scheinen ein Ca-Gehalt von 0,8 % und ein P-Gehalt von 0,6 % (bezogen auf uS) in pelletierten Mischfuttermitteln für die Versorgung von Weiß- sowie Schwarzbüschelaffen (*Callithrix penicillata*) - sowohl im Erhaltungsstoffwechsel als auch in der Reproduktionsphase - über längere Zeit ausreichend zu sein (WIRTH u. BUSELMAIER 1982).

Kurzzeitige, moderate Defizite an Calcium ($< 0,5$ % Ca i. d. TS) werden durch Ca-Speicher im Skelett ausgeglichen und führen so bei ausgewachsenen Tieren nur zu schwachen Mangelsymptomen. Bei wachsenden Tieren können sich Anzeichen einer Hypocalcaemie oder erhöhten Aktivität der knochenspezifischen alkalischen Phosphatase im Plasma entwickeln (NRC 2003). Länger andauernder Mangel an Calcium im Futter kann zu verlangsamtem Wachstum und Rachitis bei Jungtieren bzw. zu Osteomalazie und -porose bei ausgewachsenen Tieren führen (NRC, 2003).

Durch die hohe Reproduktionsrate der Weißbüschelaffen unterliegen besonders trächtige und laktierende Weibchen der Gefahr einer Ca-Unterversorgung (Power et al., 1999). Ihre ausreichende Versorgung ist daher von besonderem Interesse. Sollten deshalb zukünftig Untersuchungen mit dem Ziel der faktoriellen Ableitung des Bedarfs an Calcium und Phosphor bzw. Mengenelementen allgemein, z. B. während der Laktation durchgeführt werden, so sind deren Gehalte in der Milch von besonderem Interesse. TURTON et al. (1978) geben folgende Gehalte in der Milch (mg/100 ml) von Weißbüschelaffen (*Callithrix jacchus*) an: 92,2 Ca, 22,8 P (Ca : P-Relation: etwa 4 : 1), 21,4 Na, 54,3 K, 5 Mg, 52,2 Cl.

Im Zusammenhang mit der Ca-Versorgung der Tiere erscheinen Baumexsudate für Krallenaffen nicht nur als ein Substitut zur Nahrung aus Früchten und Insekten, sondern bieten auch eine relativ Ca-reiche Ergänzung. Da nur einige Baumexsudate bisher untersucht wurden, kann nur vermutet werden, dass ihr relativ hoher Ca-

⁷ POWER et al. (1999) haben Wahlversuche zur Aufnahme von Ca-Lösungen bei Angebot unterschiedlich konzentrierter Lösungen an Weißbüschelaffen durchgeführt; diese lassen allerdings keine Rückschlüsse auf den Bedarf der Tiere zu.

Gehalt von 0,7 - 1,7 % (vgl. Tab. 1; GYEDU-AKOTO 2008) einen besonderen Wert als Ca-Quelle im natürlichen Habitat für die Tiere ausmacht. Einige Studien belegen Ca : P-Relationen von Exsudaten von 31 : 1 bis 142 : 1. Diese Angabe spricht dafür, dass die Exsudate in der Nahrung von Krallenaffen das sonst eher enge Ca : P-Verhältnis erheblich erweitern können (Garber, 1984).

Zum *Phosphor*-Bedarf der Tiere liegen - wie bereits erwähnt - keine spezifischen Kenntnisse vor. Auch fehlen bislang Untersuchungen zur Bedeutung der Phytinsäure bzw. ihrer Salze sowie zur hydrolytischen Freisetzung der Bausteine der Phytinsäure bei Weißbüschelaffen. Sicher ist jedoch, dass ein P-Mangel anfänglich zu einem Abfall des Gehaltes an anorganischem Phosphor im Plasma und einem Anstieg der Aktivität der alkalischen Phosphatase führt, und bei länger andauerndem P-Mangel Abnormalitäten der Knochen- und Zahnstruktur, Wachstumsverzögerung bei Jungtieren sowie eine Appetit senkende Wirkung zu erwarten sind (NRC, 2003).

Weiterführende Informationen zur klinischen Relevanz einer angemessenen Ca-/P-Versorgung können Arbeiten von HATT und SAINSBURY (1998) bzw. ANGELIEWA (2004) entnommen werden.

- *Natrium, Magnesium, Kalium, Schwefel und Chlor*

Empfehlungen für die Versorgung von Weißbüschelaffen mit den Mengenelementen Natrium, Magnesium, Kalium, Schwefel und Chlor liegen ebenfalls nicht vor. In Rationen für nicht-humane Primaten werden derzeit Gehalte von 0,08 % Mg, 0,4 % K, 0,2 % Na und 0,2 % Cl als angemessen erachtet (NRC 2003). Diese Empfehlungen stützen sich allerdings auf Erfahrungswerte⁸ und sind somit eher als Richtwerte zu verstehen; sie müssen also nicht unbedingt den „wahren“ Bedarf der Tiere widerspiegeln.

5.5.2 SPURENELEMENTE

- *Eisen*

Einige Untersuchungen an nicht-humanen Primaten haben gezeigt, dass hohe Konzentrationen an *Eisen* im Futter (500 mg Fe/kg) zu Häm siderose und damit zu Leber- und Nierenschäden führen können (NRC, 2003). Es gibt zudem Interaktionen zwischen Eisen und anderen Mineralstoffen. So wird die Fe-Absorption z. B. von der Konzentration von zweiwertigen Ionen wie Calcium, Kupfer, Mangan und Zink in der Nahrung beeinflusst. Die Konzentrationen von Kupfer und Zink in den Geweben könnten zudem die zelluläre Fe-Aufnahme beeinflussen. Mobilität und Umfang von Fe-Einlagerungen werden hingegen von den Cr-, Cu- und Zn-Konzentrationen in den Geweben beeinflusst. Auch bei Weißbüschelaffen wurde dieses Phänomen unter Laborbedingungen beobachtet. Es scheint auf eine zu hohe Fe-Konzentration im Futter zurückzuführen zu sein.

Bei einer niedrigeren Fe-Konzentration im Futter (100 mg/kg) betragen die Fe-Gehalte in der Leber der Tiere nur ca. 10 % der Gehalte, wie sie bei einer Fe-reichen

⁸ Der Einsatz von Rationen, welche die angeführten Konzentrationen an Mineralstoffen erhielten, war bei nicht-humanen Primaten im Erhaltungsstoffwechsel, dem Wachstum und der reproduktiven Phase erfolgreich.

Fütterung (500 mg/kg) erreicht wurden. MILLER et al. (1997) konnten zeigen, dass eine Verminderung der Fe-Konzentration in der Nahrung eine Hämosiderose verhindern kann. Zur Diagnostik einer Hämosiderose wurde eine Studie bei verschiedenen Krallenaffenspezies⁹ durchgeführt (Smith et al., 2008). Rückschlüsse auf die Höhe des Fe-Bedarfes von Weißbüschelaffen lässt diese Arbeit jedoch auch nicht zu.

Derzeit wird empfohlen die Gehalte an Eisen in Rationen von nicht-humanen Primaten auf 100 mg/kg TS zu begrenzen (NRC 2003).

- Jod

Für die Regulation von Wachstum und Stoffwechselrate spielt *Jod* (J) eine zentrale Rolle. Bei Weißbüschelaffen wurde eine J-Mangelstudie durchgeführt. Dabei wurden natürliche Komponenten mit niedrigem J-Gehalt ausgewählt (Mano et al., 1985). Obgleich aus dieser Studie keine Bedarfswerte für Jod bei Weißbüschelaffen ableitbar sind, legten die Ergebnisse der Untersuchung jedoch die Vermutung nahe, dass eine Versorgung mit 0,03 mg J/kg Futter unzureichend ist, während 0,65 mg J/kg Futter genügte, Mangelerscheinungen zu verhindern (NRC, 2003). Die Muttertiere, die einer „J-Mangelernährung“ unterlagen, wiesen eine schlechtere Fellqualität auf, waren jedoch bezüglich Körpermasse und Skelettentwicklung von den Kontrolltieren nicht signifikant unterschiedlich (Mano et al., 1987). Alle Jungtiere von Müttern mit einer „J-Mangelernährung“ wiesen eine niedrigere Geburtsumasse auf. Wurden die Jungtiere jedoch mit ausreichend Jod versorgt, entwickelten sie sich annähernd normal.

- Zink

Studien zum Zinkbedarf wurden für einige nicht-humane Primaten wie Rhesusaffen (*Macaca mulatta*; Altweltaffen) und Tamarine (*Saguinus spp.*; Neuweltaffen) durchgeführt. Es zeigten sich bei gütigen Rhesusaffenweibchen normale Zn-Plasmawerte (ca. 120 µg Zn/100 ml) bei Angebot einer Diät mit 12 mg Zn/kg luftgetrocknetes Futter nach einer Versuchsdauer von 10 Wochen. Bei einem Gehalt von 8 mg Zn/kg Futter konnte ein Abfall der Zn-Plasmagehalte beobachtet werden. Bei trächtigen Weibchen waren bei einem Gehalt im Futter von 4 mg Zn/kg demgegenüber deutliche Mangelerscheinungen zu beobachten (Golub et al., 1984; Mari et al., 1982). Vergleichbare Untersuchungen zum Zn-Stoffwechsel von Weißbüschelaffen stehen noch aus. Derzeit sollte in Diäten von nicht-humanen Primaten ein Zn-Gehalt von 100 mg/kg Futter angestrebt werden (NRC2003).

- weitere Spurenelemente

⁹ Schnurrbarttamarine (*Saguinus mystax*), Springtamarine (*Callimico goeldii*), Silberäffchen (*Callithrix argentata*), Weißkopf-Büschelaffen (*Callithrix geoffroyi*), Weißbüschelaffen (*Callithrix jacchus*), Kuhl-Büschelaffen (*Callithrix kuhlii*), Rotsteißlöwenäffchen (*Leontopithecus chrysopygus*), Goldene Löwenäffchen (*Leontopithecus rosalia*), Braunrückentamarine (*Saguinus fuscicollis*), Geoffroy-Perückenaffen (*Saguinus geoffroyi*), Rothandtamarine (*Saguinus midas*), Lisztaffen (*Saguinus oedipus*)

Ergebnisse zum Bedarf von Weißbüschelaffen an den Spurenelementen *Kupfer, Mangan, Selen, Chrom, Kobalt, Fluor* und *Molybdän* liegen bisher nicht vor. Es sei erwähnt, dass die derzeitigen Empfehlungen für Rationen, die bei nicht-humanen Primaten eingesetzt werden, folgende Gehalte (mg/kg TS) aufweisen sollten: 20 Cu, 20 Mn, 0,3 Se (NRC 2003).

5.6 VITAMINE

Da - analog zu anderen Betrachtungen - auch die Kenntnisse zum Vitaminbedarf von Weißbüschelaffen sehr lückenhaft sind, wird im Folgenden nur auf diejenigen Vitamine eingegangen, für die Informationen aus Publikationen zur Verfügung stehen.

5.6.1 FETTLÖSLICHE VITAMINE

- *Vitamin A*

Für Weißbüschelaffen liegen trotz der großen Stoffwechselbedeutung des *Vitamin A* keine Bedarfswerte vor. Unter Berücksichtigung der hohen Reproduktionsleistung der Tiere sind diese Kenntnislücken verwunderlich. Vitamin A-Hypovitaminosen können bei Krallenaffen unter Laborbedingungen auftreten, da synthetische Retinylester nur unzureichend nutzbar sind (BRACK et al. 1995). Zur Rolle des β -Carotins liegen in diesem Zusammenhang keine Informationen vor.

Nach Angebot einer kommerziellen Diät, welche die 4-fache Konzentration des vom NRC (2003) empfohlenen Gehaltes (vgl. Tab. 5) an Vitamin A (zugesetzt als Retinylacetat) aufwies wurden bei Weißbüschelaffen Vitamin A-Gehalte (Summe aus Retinol, Retinylestern und deren Metaboliten) von $1,41 \pm 0,72 \mu\text{mol/L}$ gefunden (PENNISTON et al. 2003). Zusätzlich wurden die Serum-Retinol-Spiegel ($0,92 \pm 0,43 \mu\text{mol/L}$) bestimmt. Im Vergleich zu publizierten Daten bei anderen Primaten werteten PENNISTON et al. (2003) die gefundenen Gehalte als „normal“. Sie gingen davon aus, dass das überschüssig aufgenommene Vitamin A in der Leber der Tiere eingelagert wird und deshalb keine hohen Gehalte an Vitamin A im Serum nachgewiesen wurden. FLURER u. SCHWEIGERT (1990) konnten nach Gabe von 85 Retinol-Äquivalenten ($\rightarrow 0,297 \mu\text{mol Retinol}$) je kg KG^{0,75} an Weißbüschelaffen bei gesunden Tieren einen Blutserumspiegel von $0,566 \pm 0,227 \mu\text{mol Retinol/L}$ messen.

- *Vitamin D*

Der Metabolismus von *Vitamin D* bei Weißbüschelaffen zeigt Unterschiede zu anderen nicht-humanen Primaten. Auf diese Besonderheiten wurde in Kapitel 4.2 eingegangen. Da viele nicht-humane Primaten unter Laborbedingungen wenig oder keiner UV-Strahlung ausgesetzt sind, ist eine Versorgung mit Vitamin D über das Futter notwendig. Obwohl Studien zu Folgen einer Mangelernährung und Aufnahme von Ca-Lösungen bei Weißbüschelaffen durchgeführt wurden (Booth HendersonTardif et al., 1998; Power et al., 1999), lassen diese Studien die

Festlegung eines Mindestbedarfes nicht zu. Um eine Mangelversorgung auszuschließen, wird empfohlen, die Tiere einer UVB-Strahlung auszusetzen (Yamaguchi et al., 1986).

Es ist allgemein anerkannt, dass die Konzentration von 25(OH)D₃ im Blutplasma die Versorgungslage mit Vitamin D₃ widerspiegelt. Bei Weißbüschelaffen mit Osteomalazie bzw. Rachitis wurden 25(OH)D₃-Konzentrationen von 12,4 - 16,5 ng/ml (Shinki et al., 1983) bzw. von 15 ± 1,5 ng/ml (Yamaguchi et al., 1986) gemessen. Diese Konzentrationen würden auch beim Menschen als unzureichend gelten. Realistische Werte für 25(OH)D₃ im Blutplasma können eigentlich nur bei wildlebenden Tieren oder hilfsweise bei nicht-supplementierten in Außengehegen gehaltenen Weißbüschelaffen festgestellt werden, da bei diesen Tieren die endogene Synthese unter natürlicher Sonneneinstrahlung die entscheidende Quelle für die Bereitstellung ist. Die einzigen publizierten Wildtierdaten stammen von Tamarinen und zwar von Lisztaffen (*Saguinus oedipus*). Bei ihnen wurden mittlere 25(OH)D₃-Spiegel von 78,5 ng/ml (Maximum: 120 ng/ml) festgestellt (Power, 1997). Ältere Untersuchungen (8.000 I.E. Vitamin D₃/kg Futter, zusätzlich UV-Bestrahlung) gaben bei in einer zoologischen Einrichtung gehaltenen Vertretern aus der Gruppe der Krallenaffen (Callithricidae) Gehalte von 134 ± 23,8 ng 25(OH)D₃/ml an (ADAMS et al. 1985, zitiert nach CRISSEY et al. 1999). Eigene Messungen (unveröffentlicht) bei vier in Außenvolieren gehaltenen Weißbüschelaffen ergaben Spiegel von 54, 104, 120 und 122 ng 25(OH)D₃/ml. Es kann davon ausgegangen werden, dass für die Laborhaltung von Weißbüschelaffen ähnliche Zielwerte anzustreben sind. Eine starke Überversorgung mit Vitamin D₃ führt bei Weißbüschelaffen trotz Vitamin D-Resistenz - wie auch bei anderen Säugetieren - zu Calcinose-Erscheinungen (d. h. Weichgewebeverkalkungen) an typischen Stellen wie in der Aortenwand und an den Herzklappen.

Es ist nicht bekannt, ob Konzentrationen von bis zu 600 ng/ml (bei einer Versorgung mit ca. 110 I. E. Vitamin D₃/100 g KM u. Tag), wie sie von YAMAGUCHI et al. (1986) berichtet wurden, negative Auswirkungen haben können. Noch schwieriger erscheint die Beurteilung der Spiegel des aktiven Hormons Calcitriol. Die mittlere 1,25(OH)₂D₃-Konzentration bei Weißbüschelaffen war bei einer täglichen Versorgung mit ca. 300 I. E. Vitamin D₃ je Tier, mit im Mittel 420 pg 1,25(OH)₂D₃/ml (196 - 642 pg 1,25(OH)₂D₃/ml) ca. 10-fach höher als beim Menschen (Shinki et al., 1983). Physiologische Spiegel können aus diesem Versuch jedoch nicht abgeleitet werden, da nicht klar ist, ob die erreichte Vitamin D₃-Versorgung dem Bedarf gerecht wird. Von GACAD und ADAMS (1992) wurde spekuliert, dass die hohen 1,25(OH)₂D₃-Konzentrationen eine evolutionäre Anpassung an die Aufnahme bestimmter Hypercalcaemie induzierender Pflanzen wie *Solanum glaucophyllum*¹⁰, die eine hohe Konzentration von glycosidisch gebundenem 1,25(OH)₂D₃ enthalten, darstellt. In einer bereits zitierten Studie (8.000 I.E. Vitamin D₃/kg Futter, zusätzlich UV-Bestrahlung) wurden bei Krallenaffen

¹⁰ Die Art kommt in Bolivien, dem südlichen Brasilien, Paraguay, dem nördlichen Argentinien und Uruguay vor; eine deutsche Bezeichnung gibt es bislang nicht.

(Callithricidae; Haltung im Zoo) Serumspiegel von 810 ± 119 pg $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3/\text{ml}$ ermittelt (ADAMS et al. 1985, zitiert nach CRISSEY et al. 1999).

- *Vitamin E*

Unter *Vitamin E* werden alle Verbindungen mit einer α -Tocopherol-Wirkung zusammengefasst. Dazu gehören u. a. Tocopherole, Tocotrienole und Tocomoneole.

Mit dem Bedarf von Weißbüschelaffen an Vitamin E haben sich mehrere Studien auseinandergesetzt. Die älteste Arbeit gibt eine Spannweite von 4 - 48 mg Vitamin E/kg Futter-TS an (McIntosh et al., 1987). Neuere Studien empfehlen, einen Gehalt von 95 mg Vitamin E/kg Futter nicht zu unterschreiten (Ghebremeskel et al., 1990; Ghebremeskel et al., 1991). CHARNOCK et al. (1992) empfehlen einen Mindestgehalt von 130 mg Vitamin E/kg Futter nicht zu unterschreiten. Insgesamt sollten diese Ergebnisse jedoch mit Vorsicht betrachtet werden, da die Verfügbarkeit der einzelnen verwendeten Substanzen mit α -Tocopherol-Wirkung nicht hinreichend bekannt ist. Zudem wird nicht in allen Studien die verwendete Vitamin E-Quelle zweifelsfrei ausgewiesen. Weiterhin haben Studien an anderen Spezies gezeigt, dass der Bedarf für eine optimale Immunfunktion höher anzusetzen ist als der minimale Bedarf zur Verhinderung von klinischen Mangelerscheinungen (NRC, 2003).

Nach Angebot einer Ration aus Pellets (ca. 75 % der täglich realisierten Energieaufnahme; 100 mg α -DL-Tocopherolacetat/kg) und Bananen (marginaler Vitamin E-Gehalt) an Weißbüschelaffen konnte im Serum der Tiere im Mittel ein α -Tocopherol-Gehalt von $10,3 \pm 5,3$ mg/L gemessen werden (FLURER u. SCHWEIGERT 1990).

Als Grund eines veränderten roten Blutbildes (hämolytische Heinz-Körperchen-Anämie) und einer Degeneration der Skelettmuskulatur bei Weißbüschelaffen wurde eine Unterversorgung der Tiere mit Vitamin E (und/oder Selen bzw. Protein) vermutet (Chalmers et al., 1983). JUAN-SALLES et al. (2003) berichten ebenfalls von Veränderungen der Skelettmuskulatur und des Fettgewebes sowie von einer Anämie bei Weißbüschelaffen (n=4), die eine nur unzureichend mit Vitaminen angereicherte Futtermischung erhalten hatten. Ein Weißbüschelaffe konnte durch Gaben von Vitamin E und Selen geheilt werden; bei den anderen waren die Veränderungen so weit fortgeschritten, dass die Tiere starben.

Ein direkter Zusammenhang zwischen einem Vitamin E-Mangel und dem *wasting marmoset syndrom* (vgl. Kap. 5.2) konnte allerdings – obgleich mitunter vermutet – nicht beobachtet werden (Gutteridge et al., 1986).

- *Vitamin K*

Der *Vitamin K*-Bedarf der Tiere ist bislang unbekannt.

5.6.2 WASSERLÖSLICHE VITAMINE

- *Vitamin C*

Während viele Säugetiere *Vitamin C* selbst synthetisieren, sind die meisten Primaten einschließlich des Menschen dazu nicht in der Lage. Primaten, also auch Weißbüschelaffen, fehlt die Gulonolakton-Oxidase zur Synthese von Ascorbinsäure (NRC, 2003). Der Futterzusatz erfolgt in der Regel als Ascorbinsäure oder L-ascorbyl-2-polyphosphat, letzteres ist weniger anfällig für eine Oxidation und trotzdem für Primaten biologisch verfügbar.

Bei Fütterung einer Vitamin C-freien Ration überlebten Weißbüschelaffen 92 - 167 Tage und zeigten in diesem Zeitraum einen kontinuierlichen Gewichtsverlust (Dreizen et al., 1969). Wurde Vitamin C in der Ration von Weißbüschelaffen reduziert, zeigten sich in den ersten 10 Wochen keine klinischen Mangelsymptome. Danach folgte jedoch eine abrupte Verschlechterung des Gesundheitszustandes. Viele Tiere starben trotz einer therapeutischen Behandlung mit Ascorbinsäure innerhalb weniger Tage (Flurer et al., 1987b).

Um bei Marmosetten einen Spiegel an Vitamin C im Blutserum oberhalb der Nierenschwelle zu erreichen, müssen ihnen 20 mg Vitamin C/kg KM und Tag (≈ 15 mg Vitamin C/kg $KM^{0,75}$) zugeführt werden (FLURER et al. 1987b, FLURER u. ZUCKER 1987, 1989), dies konnten FLURER et al. (1987b) bei Angebot einer Mischung mit 500 mg Ascorbinsäure/kg Futter erreichen.

Innerhalb der Neuweltaffen gibt es offensichtlich deutliche Unterschiede im Vitamin C-Metabolismus. Bei Braunrückentamarinen (*Saguinus fuscicollis*) stieg die Konzentration der Ascorbinsäure im Serum nach Angebot einer Mischung, welche 2.000 mg Ascorbinsäure/kg Futter (vor der Pelletierung) enthielt, nur auf ca. ein Fünftel der Konzentration, die bei Weißbüschelaffen zu beobachten war (Flurer and Zucker, 1987). Durch Stress wird der Umsatz der Ascorbinsäure bei Tamarinen und Weißbüschelaffen erhöht (Flurer et al., 1990).

Für nicht-humane Primaten wird derzeit ein Gehalt an Vitamin C im Futter von 200 mg/kg empfohlen; der Zusatz sollte unter Verwendung von thermisch- und lagerstabilen Vitamin C-Verbindungen erfolgen (NRC, 2003).

- *Folsäure und andere wasserlösliche Vitamine*

Ein Defizit an *Folsäure* führte bei Weißbüschelaffen zu Mangelerscheinungen, wie sie auch in anderen Spezies beobachtet werden können (KM-Verlust, Haarverlust, Durchfall, megaloblastische Anämie, Leukopenie und Granulozytopenie); außerdem zeigte etwa die Hälfte der untersuchten Tiere Läsionen der Mundschleimhaut. Ein Folsäuredefizit konnte durch die zusätzliche tägliche Gabe von 0,1 mg Folsäure pro Tier zum Versuchsfutter verhindert werden (Dreizen and Levy, 1969).

Untersuchungen zum Bedarf an den wasserlöslichen Vitaminen *Thiamin* (B₁), *Riboflavin* (B₂), *Niacin*, *Pantothensäure*, *Pyridoxin* (B₆), *Biotin* und *Cobalamin* (B₁₂) liegen für Weißbüschelaffen nicht vor.

5.3 EMPFEHLUNGEN FÜR DIE VITAMINVERSORGUNG

In der folgenden Tabelle 5 werden der Bedarf an bzw. die Empfehlungen für die Versorgung von Weißbüschelaffen (*Callithrix jacchus*) mit fett- und wasserlöslichen Vitaminen – soweit bekannt – wiedergegeben.

Tabelle 5: Bedarf an fett- und wasserlöslichen Vitaminen von Weißbüschelaffen (*Callithrix jacchus*) sowie Empfehlungen für anzustrebende Gehalte in Rationen (gemäß NRC 2003)

Table 5: Vitamin requirements of common marmosets (*Callithrix jacchus*) and recommendations for the level of fat and water soluble vitamins in diets (according to NRC 2003)

	Bedarf von Weißbüschelaffen (nach unterschiedlichen Quellen)	Empfehlung^{*,**} NRC (2003)
Fettlösliche Vitamine		
Vitamin A (I. E./kg TS)	k. A.	8.000 [*]
Vitamin D (I. E./kg TS)	k. A.	2.400 ^{**}
Vitamin E (mg/kg TS)	4 - 48 ¹ min. 95 ² min. 130 ³	95 – 130 ^{**}
Vitamin K (mg/kg TS)	k. A.	0,5 (K ₁) [*]
Wasserlösliche Vitamine[†]		
Vitamin C (mg/kg KM) (mg/kg TS)	20 ⁴ 500 ⁴	k. A. 200 ^{*,***}
Folsäure (µg/Tier/d) (mg/kg TS)	100 ⁵ k. A.	k. A. 4,0 [*]

k. A. = keine Angaben mind. = mindestens

¹ McINTOSH et al. (1987); ² GHEBREMESKEL et al. (1990, 1991); ³ CHARNOCK et al. (1992); ⁴ FLURER et al. (1987b): Gehalt ausreichend um einen Blutserum-Vitamin C-Spiegel bei den Tieren zu erzeugen, der oberhalb der Nierenschwelle ist; ⁵ DREIZEN u. LEVY (1969): Dosierung verhindert Mangelerscheinungen

* allg. Empfehlungen für Rationen, die für nicht-humane Primaten bestimmt sind;

** Empfehlungen für (halb-)synthetische Mischfutter, die bei *Callithricidae* eingesetzt werden sollen;

*** thermisch- und lagerstabile Verbindungen wie Ascorbyl-2-Polyphosphat können eingesetzt werden

† allg. Empfehlungen für Gehalte (mg/kg TS) an wasserlöslichen Vitaminen in Futtern für nicht-humane Primaten: Thiamin 3,0; Riboflavin 4,0; Pantothenensäure 12,0; verfügbares Niacin 25,0; Vitamin B₆ 4,0; Biotin 0,2; Cholin 750 (nach NRC 2003)

6 ANFORDERUNGEN AN DIE RATIONSGESTALTUNG

In den folgenden Tabellen 6 bis 9 ist die deklarierte Zusammensetzung einiger handelsüblicher Alleinfuttermittel für Weißbüschelaffen (bzw. Büschelaffen/*Callithrix spp.*), zufällig ausgewählt aus dem Angebot verschiedener Länder (D = Deutschland, GB = Großbritannien, J = Japan, CH = Schweiz und den USA), vergleichend dargestellt. Die Zusammenstellung erhebt keinen Anspruch auf Erfassung der gesamten Bandbreite, kann aber einen Eindruck von der praktischen

Umsetzung der z. T. noch sehr begrenzt verfügbaren Versorgungsempfehlungen vermitteln.

- Energie- und Nährstoffgehalte

In Tabelle 6 fallen insbesondere die großen Schwankungen im Bereich des Rp-Gehalts der einzelnen Futtermittel auf. So wiesen die Alleinfuttermittel D2 und J Rp-Gehalte von über 26 % auf. Wie aus dem Kapitel 5.2 ersichtlich ist, basieren diese hohen Rp-Gehalte nicht auf Literaturangaben zu Versorgungsempfehlungen. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass häufig subadulte nicht reproduktive, adulte reproduktive und juvenile, d. h. wachsende Tiere in einer Gruppe gehalten werden und das angebotene Futter den Bedarf aller Alters- und Leistungsgruppen decken muss.

Tabelle 6: Energie- und Nährstoffgehalte (MJ/kg bzw. % im Futter) von kommerziellen Alleinfuttermitteln für Marmosetten (z. B. *Callithrix spp.*) lt. Herstellerangaben

Table 6: Energy and crude nutrient contents (MJ/kg and % of feed as fed, respectively) of complete diets for marmosets (e.g. *Callithrix spp.*) as labeled by the manufacturer

	Hersteller							Empfehlung [*] /Bedarf ^{**} NRC (2003)
	D1	D2	GB1	GB2	J	CH	USA	
Ra	6,5	6,8	10	8	6,3	6,5	5,6	k. A.
Rp	23	26,1	24	23,8	26,7	23,5	20	15 - 22 (allg.) [*] /7 (Erh.) ^{**} 12 - 18 (Wachst.) ^{**}
Rfe	7	7	7	4,8	8,1	7	9	0,5 % n-3-FS [*] , 2 % n-6-FS [*]
Rfa	3,5	2,5	3,4	6,1	2,4	3	5,5	10 % NDF ^{**} , 5 % ADF ^{**}
NfE¹	48	51,1	44,7	46,4	49,4	52	51,1	k. A.
ME²	13,2	15,6	14,1	11,2	15,8	14,5	14,6	***

k. A. = keine Angaben Erh. = Erhaltung Wachst. = Wachstum FS = Fettsäure NDF = neutrale Detergens-Faser ADF = saure Detergens-Faser

^{*} für nicht-humane Primaten bzw. ^{**} Bedarf von Krallenaffen (*Callithricidae*) bei Angebot (halb-)synthetischer Mischfutter; ^{***} Erhaltungsbedarf_{*Callithrix jacchus*} etwa 300 - 400 kJ ME/kg KM^{0,75}/Tag; vgl. Tab. 4;

¹ bei Einsatz von aufgeschlossener Stärke ermittelten WIRTH und BUSSELMANN (1982) eine sVQ dieser von etwa 95 %;

² Für die Berechnung der ME bei Weißbüschel-/Krallenaffen allg. existiert keine Schätzformel; einige Hersteller verwenden modifizierte Atwater-Faktoren zur Schätzung der „ME“; lt. POWER (1991) kann bei Krallenaffen von einer sVQ der Bruttoenergie (GE) von 71 - 86 % bei Angebot spezieller, für Versuchstiere konzipierter Mischfutter ausgegangen werden.

Alle Futtermittel wiesen moderate Rfe-Gehalte auf. Die Rfa-Gehalte waren bei den einzelnen Futtern sehr unterschiedlich.

Darüber hinaus zeigen sich zwischen den Alleinfuttern Unterschiede im Energiegehalt. Obgleich derzeit keine allgemeingültige Schätzformel für die Berechnung der Energie auf Stufe der umsetzbaren Energie (ME) eines Futtermittels für Krallenaffen vorliegt, gaben alle Hersteller einen Energiegehalt ihrer Futtermittel auf dieser Energie-Stufe an. Teilweise wurde eine Energiewertschätzung auf der Grundlage von Atwater-Faktoren, wie sie in der Humanernährung teils üblich ist, vorgenommen. Dennoch könnte das Angebot hoch-konzentrierter, d. h. Rp-/Rfe-reicherer und Rfa-ärmerer Mischungen (z. B. D2, J) bei *ad libitum*-Fütterung eher zu einer Überversorgung der Tiere führen als das Angebot Rfa-reicher Futter.

- AS-Gehalte

Der Vergleich der deklarierten AS-Gehalte (s. Tab. 7) zeigt, dass zum Teil erhebliche Unterschiede im AS-Gehalt und -muster der einzelnen Futtermittel vorliegen.

Die deklarierten Lys-Gehalte variieren bemerkenswert, der Arg-Anteil in der Mischung aus den USA ist im Vergleich deutlich geringer eingestuft. Da jedoch zu keiner der aufgeführten Aminosäuren fundierte Versorgungsempfehlungen vorliegen, kann eine umfassende Diskussion und Wertung nicht vorgenommen werden. Wohl kann aber aus Untersuchungen von ZUCKER und FLURER (1989) bezüglich des Mindestgehaltes an Rohprotein im Futter bei Verwendung hochwertiger Eiweißquellen wie Soja abgeleitet werden, dass die in den Futtermitteln enthaltenen AS-Gehalte für eine Deckung des Bedarfs der Tiere ausreichen sollten (vgl. Werte der letzten Spalte mit den Angaben der Hersteller).

Tabelle 7: AS-Gehalte (Angaben in % im Futter) in kommerziellen Alleinfuttern für Marmosetten (z. B. *Callithrix spp.*) lt. Herstellerangaben

Table 7: Amino acid contents (% in feed) of complete diets for marmosets (e.g. *Callithrix spp.*) as labeled by the manufacturer

Aminosäure	Hersteller						Proteinquelle: Sojaweiß [†] (6 % Rp im Futter)
	D1 (23 % Rp)	D2 (26,1 % Rp)	GB1 (23,9 % Rp)	GB2 (23,8 % Rp)	CH (23,5 % Rp)	USA (20 % Rp)	
Lys [*]	1,3	1,7	1,3	1,4	1,4	1,1	0,38
Met [*]	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,08
Cys	n. d.	n. d.	n. d.	0,4	n. d.	0,3	0,06
Trp [*]	0,3	0,4	n. d.	0,3	0,3	0,2	0,08
Thr [*]	0,8	1,2	n. d.	0,9	0,7	0,8	0,24
Phe [*]	1,1	1,3	n. d.	1,2	n. d.	1,0	0,32
Tyr	0,8	1,0	n. d.	0,9	n. d.	0,7	0,23
His [*]	0,5	0,7	n. d.	0,6	n. d.	0,5	0,17
Ileu [*]	1,0	1,3	n. d.	1,0	n. d.	1,0	0,28
Leu [*]	1,7	2,2	n. d.	2,1	n. d.	2,0	0,47
Val [*]	1,1	1,4	n. d.	1,1	n. d.	1,2	0,31
Arg [*]	1,7	1,6	n. d.	1,7	n. d.	1,0	0,44

n. d. = nicht deklariert

* „essentielle“ Aminosäuren (für Monogastrier gelten diese Aminosäuren im allg. als essentiell, sofern keine Aufnahme von im Magen-Darm-Trakt umgesetzten Proteins durch Koprophagie/Caecophagie erfolgt)

† ZUCKER und FLURER (1989) konnten in ihrer Studie nachweisen, dass bei Einsatz von Sojaprotein ein Rp-Gehalt von 6 % im Futter ausreichend war, den Bedarf der Tiere zu decken; bei Einsatz weniger wertvoller Eiweißquellen empfahlen sie 12 % Rp im Futter. Angaben in dieser Spalte sollen nur dokumentieren, welche AS-Gehalte (% im Futter) sich aus dem Einsatz von 6 % Rp aus Sojaweiß seinerzeit vorgelegen haben dürften (stellt also eher eine Mindestversorgung als eine anzustrebende AS-Versorgung dar).

- Mineralstoffgehalte

Beim Vergleich der deklarierten Gehalte an *Mengenelementen* in den einbezogenen Alleinfuttern (s. Tab. 8) zeigt sich, dass das Alleinfutter GB1 mit 2,65 % Ca einen extrem hohen Ca-Gehalt aufwies, während alle anderen Futter Ca-Gehalte zwischen 0,8 – 1,3 % aufweisen. Obgleich - wie aus Kapitel 5.5 ersichtlich - keine Angaben aus der Literatur zum „wahren“ Bedarf der Tiere vorliegen, ist fraglich, ob die Notwendigkeit besteht, derartige Ca-Mengen mit dem Futter zuzuführen. Bei nicht-eierlegenden Nutz- und Heimtierspezies werden (selbst in der Wachstums- und Laktationsphase) Ca-Gehalt um 1 – max. 1,5 % im Futter als ausreichend angesehen (KAMPHUES et al. 2009).

Aus Tabelle 8 ist ersichtlich, dass nicht für alle *Spurenelemente* auf Herstellerangaben zurückgegriffen werden kann. Obwohl für die Elemente Jod und Eisen Empfehlungen des NRC (2003) vorliegen, rangieren die deklarierten Werte einzelner Alleinfutter teilweise deutlich über diesen. Auch mit einer verminderten Verfügbarkeit der einzelnen Spurenelemente ist dies kaum zu erklären. Ebenso weisen die Zn- und Fe-Gehalte eine hohe Variationsbreite und Unterschiede zwischen den einzelnen Mischungen auf. So sind im Futter aus den USA etwa 3-fach höhere Zn- und 2,5-fach höhere Fe-Gehalte im Vergleich zum Futter D1 deklariert. Da verschiedene Untersuchungen auf eine Disposition von Krallenaffen für eine Häm siderose hinweisen, ist der Einsatz Fe-reicher Mischfutter kritisch zu sehen (vgl. Kap. 5.5.2). Die im Vergleich zu den NRC-Empfehlungen z. T. niedrigen Zn-Gehalte einzelner Mischfutter könnten mit Untersuchungen an Rhesusaffen bzw. Tamarinen in Zusammenhang stehen (vgl. Kap. 5.5.2). Im Hinblick auf die Zn-Gehalte der Futter sei darauf verwiesen, dass im Alleinfutter für das Schwein 50 mg Zn/kg, den Hund 100 mg Zn/kg und die Katze 75 mg Zn/kg als ausreichend erachtet werden (KAMPHUES et al. 2009).

Tabelle 8: Mengen- und Spurenelementgehalte in kommerziellen Alleinfuttern für Marmosetten (z. B. *Callithrix spp.*) lt. Herstellerangaben

Table 8: Contents of macro minerals and trace elements in complete diets for marmosets (e.g. *Callithrix spp.*) as labeled by the manufacturer

	Hersteller							Empfehlung ^{*,**} NRC (2003)
	D1	D2	GB1	GB2	J	CH	USA	
Ca (%)	0,8	1,0	2,65	1,1	1,3	1,0	1,0	0,8 ^{**}
P (%)	0,6	0,7	1,07	1,0	1,0	0,8	0,6	0,6 ^{**}
Ca : P	1,3 : 1	1,4 : 1	2,5 : 1	1,1 : 1	1,3 : 1	1,3 : 1	1,7 : 1	1,3 : 1 ^{**}
Na (%)	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2 ^{**}
Mg (%)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,08 ^{**}
K (%)	1,0	0,9	n. d.	1,1	1,0	0,9	0,6	0,4 ^{**}
Cu (mg/kg)	14	11	n. d.	20	n. d.	11	21	20 ^{**} (12 ^{***})
Zn (mg/kg)	55	70	n. d.	92	n. d.	78	150	100 ^{**}
J (mg/kg)	1,3	2,1	n. d.	2,3	n. d.	0,8	1,9	0,65 ^{*,***}
Fe (mg/kg)	140	154	n. d.	286	n. d.	270	370	100 ^{**}
Se (mg/kg)	0,6 [†]	0,2	n. d.	0,1	n. d.	0,3	0,3	0,3 ^{**}
Co (mg/kg)	0,3	2	n. d.	1,14	n. d.	n. d.	0,7	k. A.
F (mg/kg)	n. d.	n. d.	n. d.	7,2	n. d.	n. d.	14	k. A.

n. d. = nicht deklariert k. A. = keine Angaben

[†] erlaubter Höchstgehalt in Alleinfuttern gemäß dt. Futtermittelverordnung: 0,5 mg Se/kg Futter (88 % TS)

* geschätzter Bedarf bei Angebot von (halb-)synthetischen Mischfuttern an Krallenaffen; ** allg. Empfehlung für Gehalte in Futtermitteln für nicht-humane Primaten; *** vermutlich ausreichend, um Mangelerscheinungen bei den Tieren zu verhindern (vgl. Kap. 5.5.2)

- Vitamingehalte

In der Regel muss in der Rezeptur eines Alleinfutters eine Vitaminmischung enthalten sein, um einen angemessenen, d. h. bedarfsdeckenden Gehalt insbesondere an fettlöslichen Vitaminen (bei Weißbüschelaffen zusätzlich essentiell: Vitamin C) im fertigen Futter zu gewährleisten. Ein exzessiver Zusatz von Vitaminmischungen und damit eine überhöhte Aufnahme von Vitaminen durch die Tiere ist insbesondere im Hinblick auf die Speicherung von Vitamin A in der Leber bei Überangebot desselben bzw. aufgrund der toxischen Potenz für Vitamin D zu vermeiden (KAMPHUES et al. 2009). Letztere Problematik scheint bei Krallenaffen jedoch nur eingeschränkt zu bestehen, da die Tiere Besonderheiten im Vitamin D-Stoffwechsel (hohe Toleranz) aufweisen (vgl. Kap. 5.6.1).

Bei nahezu allen Werten aus Tabelle 9 wird erkennbar, dass die deklarierten Vitamingehalte in den handelsüblichen Mischfuttern deutlich über die Empfehlungen des NRC (2003) hinausgehen. Auch wenn bei einigen Vitaminen Lagerungs- oder Verarbeitungsverluste anzunehmen sind, scheinen die Gehalte im Alleinfutter teils extrem hoch. So übersteigen die Vitamin A-Gehalte der Futter die Empfehlungen bis um das 5-fache (D1). Es gilt zu bedenken, dass für andere Primatenspezies (z. B. Javaneraffen/*Macaca fascicularis*) von einer toxischen Wirkung einer Vitamin A-Übersorgung berichtet wurde (NRC 2003). Die Gehalte an Vitamin D₃ sind in einzelnen Alleinfuttern (GB 1, GB 2), selbst unter der Prämisse einer höheren Vitamin D-Toleranz von Neuweltaffen, als reichlich bemessen zu werten.

Tabelle 9: Vitamingehalte (Angaben je kg Futter) in kommerziellen Alleinfuttern für Krallenaffen (z. B. *Callithrix spp.*) lt. Herstellerangaben

Table 9: Vitamin contents (per kg feed) in complete diets for marmosets (e.g. *Callithrix spp.*) as labeled by the manufacturer

		Hersteller							Empfehlung ^{*,*}
		D1	D2	GB1	GB2	J	CH	USA	NRC (2003)
A	(I. E.)	40.000	18.000	23.780	20.000	n. d.	13.000	20.000	8.000 ^{**}
D₃	(I. E.)	2.000	3.000	10.000	10.000	n. d.	3.000	6.700	2.400 [*]
E	(mg)	200	120	n. d.	123	319	180	108	95 – 130 [*]
K₃	(mg)	10	5	n. d.	5,2	n. d.	9	3,3	(0,5 K ₁ ^{**})
B₁, Thiamin	(mg)	63	14	18,9	19,8	28,7	24	17	3,0 ^{**}
B₂, Riboflavin	(mg)	40	22	n. d.	11,2	49,3	25	9,5	4,0 ^{**}
B₆, Pyridoxin	(mg)	32	17	14	12,7	21,3	30	14	4,0 ^{**}
B₁₂, Cobalamin	(µg)	100	100	70	26	91	1.000	50	30 ^{**}
Biotin	(µg)	220	440	420	430	670	800	320	200 ^{**}
Pantothensäure	(mg)	80	34	n. d.	30,4	105	100	63	12,0 ^{**}
Folsäure	(mg)	5	7	n. d.	6,8	2,6	16	41	4,0 ^{**}
Nicotinsäure	(mg)	130	70	n. d.	73,5	242	120	n. d.	(25 ^{**} ,****)
Cholin	(mg)	1.600	2.440	n. d.	1.802	2.800	2.400	1.800	750 ^{**}
Inosit	(mg)	n. d.	100	n. d.	1.426	4.410	n. d.	n. d.	k. A.
Vitamin C	(mg)	1.773	3.500	400	403	1.090	1.225	500	200 ^{**} (500 ^{****})

n. d. = nicht deklariert k. A. = keine Angaben

* geschätzter Bedarf bei Angebot von (halb-)synthetischen Mischfuttern an Krallenaffen; ** allg. Empfehlung für Gehalte an Vitaminen im Mischfutter für nicht-humane Primaten; *** verfügbares Niacin; **** lt. FLURER et al. (1987b) reicht dieser Gehalt aus um einen Blutserum-Vitamin C-Spiegel bei den Tieren zu erzeugen, der oberhalb der Nierenschwelle ist

Auch wenn bei vielen wasserlöslichen Vitaminen (B₁, B₁₂, C und Folsäure) nicht von einer akuten Toxizität bei einer Überversorgung ausgegangen werden muss, ist ebenfalls nicht zu erklären, warum die Mischungen entgegen bestehender Empfehlungen teils so hohe Gehalte aufweisen.

6.1 BEDEUTUNG FASERREICHER KOMPONENTEN ALS FUTTERINHALTSSTOFFE

Aufgrund der Aufnahme großer Mengen an Baumexsudaten und faserreichen Früchten in freier Wildbahn kann man Weißbüschelaffen als *gummi-frugivore* Spezies bezeichnen (POWER et al. 2009). Diese Begriffsbildung ist in der Primatenforschung üblich. Damit bilden schwer verdauliche Kohlenhydrate eine wichtige Komponente der Nahrung, die vermutlich auch unter Laborbedingungen wesentlich zur Darmgesundheit beitragen kann.

Eine Untersuchung von KROMBACH et al. (1984) an zwei Krallenaffenarten (Weißbüschel-affen/*Callithrix jacchus* und Braunrückentamarine/*Saguinus fuscicollis*) in Laborhaltung ergab, dass durch eine Modifikation der Faserart oder -menge im Futter keine Veränderung von Futteraufnahme und KM-Entwicklung induziert werden konnte. Mit gestaffelten Fasergehalten (2 %, 4 % und 6 % Rfa im Futter) konnte für die Diäten mit verschiedenen Faserquellen jedoch eine Verminderung der Energieverdaulichkeit beobachtet werden (grobes Zellulosepulver: 5,5 %; Mikrozellulose: 5,0 %; Weizenkleie: 11,1 %; Shrimpmehl: 5,2 %). Während reine Zellulose als Faserquelle empfohlen werden kann, sollte Weizenkleie nur in kleinen Mengen verwendet werden. Letztere zeigte in höheren Konzentrationen negative Effekte auf die Energieverdaulichkeit und Passagerate des Futters. Wurde chitinreiches Shrimpmehl als Strukturkomponente eingesetzt, wurden im Vergleich zu pflanzlichen Faserbestandteilen höhere Verdaulichkeiten beobachtet (Krombach et al., 1984).

Entscheidend für die Darmgesundheit der Weißbüschelaffen scheint die Faserverdaulichkeit aber nicht zu sein. Vielmehr kann durch eine Anreicherung der Nahrung mit strukturell wirksamen Bestandteilen eine Verbesserung der Chymuspassage erreicht werden.

6.2 BEDEUTUNG SENSORISCHER EIGENSCHAFTEN DES FUTTERS

Unter diesem Punkt soll abschließend der Frage nachgegangen werden, ob derzeit gesicherte Kenntnisse zu den organoleptischen Ansprüchen von Weißbüschelaffen, wie physikalische Form, Textur sowie Geruchs- und Geschmackseigenschaften von Alleinfuttern vorliegen.

- physikalische Eigenschaften

Beobachtungen in Laborhaltung ergaben, dass Pellets mit 10 mm Durchmesser besser akzeptiert wurden als Pellets mit kleinerem Durchmesser. Dies gründet sich vermutlich darauf, dass die Tiere die größeren Pellets besser greifen können

(WIRTH u. BUSELMAIER 1982). Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen wird in anderen Arbeiten ein Durchmesser von 5 mm als optimal angegeben, da diese kleineren Pellets von Jungtieren besser gegriffen werden konnten (FLURER et al. 1983). Zudem wurde deutlich, dass es insbesondere für alte und sehr junge Tiere problematisch sein kann, wenn die Pellets zu hart sind. Nach einer Reduktion des Verarbeitungsdrucks von 13 - 14 kg/cm² auf 10 - 11 kg/cm² zeigte sich keine Beeinträchtigung der Futteraufnahme (Wirth and Buselmaier, 1982).

- *organoleptische Eigenschaften*

Entscheidend für die praktische Fütterung ist, dass die Tiere grundsätzlich einen süßen und fruchtigen Geschmack bevorzugen. Bittere Nahrungskomponenten, wie z. B. Luzernemehl oder nicht entbitterte Brauhefe, werden gemieden (Flurer et al., 1983).

Die Wahrnehmung der Geschmacksrichtung „süß“ ist allerdings bei Weißbüschelaffen anders ausgeprägt als beim Menschen. Die Tiere konnten weder Aspartam, Cyclamat, Neohesperidin-Dihydrochalcon (NHDHC), Brazzein¹¹, Monellin¹² noch Thaumatin¹³ geschmacklich unterscheiden (Danilova et al., 2002; Wang et al., 2009). Weitere Informationen zur Geschmackswahrnehmung von Weißbüschelaffen finden sich in den Arbeiten von GLASER (1970) sowie GLASER et al. (1998).

Die mögliche Beeinflussung der Futterakzeptanz durch Aromen ist von besonderem Interesse für die weitere Erarbeitung von Alleinfutterkonzepten unter den Bedingungen einer langfristigen Haltung als Versuchstier; ein längerfristiges Angebot von Monodiäten könnte bei den Tieren zu einer verminderten Akzeptanz führen. Neuere Untersuchungen zur Präferenz verschiedener Aromen haben gezeigt, dass Weißbüschelaffen durchaus verschiedene künstliche Aromen wie Banane, Zitrone, Vanille oder Ananas unterscheiden können. Eine signifikante Steigerung der Futteraufnahme von kommerziellen pelletierten Alleinfuttern konnte durch die Beimengung von präferierten Aromen in Untersuchungen von (Caldwell, 2009) jedoch nicht erreicht werden. In ähnlichen Untersuchungen von MITURA et al. (2010 a,b) ebenfalls an Weißbüschelaffen wurden zuerst pelletierte Futtermittel eingesetzt, die unterschiedliche Proteinträger (pflanzliches Protein, Fischmehl, Eipulver) enthielten. Es zeigte sich, dass die Diät mit den pflanzlichen Proteinträgern die höchste Akzeptanz bei den Versuchstieren hatte. Demgegenüber zeigten die Tiere bei Angebot der Eipulver-haltigen Pellets die geringste Futteraufnahme, so dass für weitere Versuche Eipulver als Proteinträger ausgeschlossen wurde. In weiteren Untersuchungen erhielten dieselben Tiere verschieden aromatisierte (Cocos-Vanille-Karamell-, Kirsch-Mandel-, Honig-, Zitrone-Apfel- oder Vanille-Aroma), auf pflanzlichen Proteinen basierende Pellets. Es zeigte sich, dass die Tiere bei Angebot

¹¹ Ein in den Früchten der westafrikanischen Lianenpflanze (*Pentadiplandra brazzeana*) vorkommendes Protein, dass eine im Vergleich zu Saccharose 500- bis 2.000-fache Süßkraft aufweist.

¹² Ein natürlicher Süßstoff (Peptid-Protein-Verbindung), der im Fruchtfleisch des Mondsamengewächses (*Dioscoreophyllum cumminsii*) vorkommt und ca. 1.500– bis 2.500-mal so süß wie Saccharose ist.

¹³ Auch E 957, ist ein in der Natur vorkommender Süßstoff (Protein), der 2.000- bis 3.000-mal so süß wie Saccharose ist. Er wird aus der Katamfe-Pflanze (*Thaumatococcus daniellii*) gewonnen.

der aromatisierten Pellets eine höhere TS-Aufnahme als bei Angebot der nicht-aromatisierten Pellets realisierten.

7 FAZIT

In diesem Beitrag wurden sowohl Informationen zum Bedarf an Energie- und Nährstoffen als auch spärlich vorhandene Versorgungsempfehlungen für Weißbüschelaffen (*Callithrix jacchus*) zusammengetragen.

Bislang sind die Kenntnisse zur Ernährung von Weißbüschelaffen noch lückenhaft, so dass bei Einsatz der derzeit erhältlichen kommerziellen Diäten nur eingeschränkt bzw. bedingt von einer bedarfsgerechten Ernährung der Tiere ausgegangen werden kann. Zum Einen wurden zahlreiche Versuche nicht unter dem Gesichtspunkt einer möglichst langfristigen Haltung und Nutzung als Versuchstiere, sondern nur als Kurzzeittest (wenige Tage bis mehrere Wochen) durchgeführt. Zum Anderen sind viele Untersuchungen entweder Einzelbeobachtungen oder wurden mit so kleinen Tierzahlen durchgeführt, dass sie nur eingeschränkt eine statistische Auswertung der Aussagen erlauben.

Aufgrund der besonderen Bedeutung von Weißbüschelaffen für die biomedizinische Forschung (vgl. Kap. 4) sind jedoch grundlegende Studien zum Nährstoffbedarf dieser Tiere unabdingbar. Auf dieser Basis ist nicht nur die Gesundheit der Tiere durch eine bedarfsgerechte Ernährung zu verbessern. Langlebigkeit und eine gute körperliche Verfassung stellen zugleich die Grundlage dar, um die Aussagekraft von Studien in denen die Weißbüschelaffen als Modell für humanspezifische Fragestellungen dienen, zu gewährleisten. Die Tierernährungsforschung verfügt über verifizierte methodische und analytische Instrumentarien, um diese Grundlagen systematisch zu erarbeiten. Deren Anwendung und die praktische Umsetzung der daraus resultierenden Ergebnisse ist jedoch nicht zuletzt eine Frage der gezielten Förderung derartiger Forschungsarbeiten.

8 SCHRIFTTUM

- ADAMS, J.S., GACAD, M.A., BAKER, A.J., GONZALES, B., RUDE, R.K. (1985): Serum concentrations of 1,25 dihydroxyvitamin D₃ in Platyrrhini and Catarrhini: a phylogenetic appraisal. *Am. J. Primatol.* 9, 219–24
- CRISSEY, S.D., BARR, J.E., SLIFKA, K.A., BOWEN, P.E., STACEWICZ-SAPUNTZAKIS, M., LANGMAN, C., WARD, A., ANGE, K. (1999): Serum Concentrations of Lipids, Vitamins A and E, Vitamin D Metabolites, and Carotenoids in Nine Primate Species at Four Zoos. *Zoo Biology* 18, 551–564
- ANGELIEWA, A. (2004): Optimierung der Diät des Marmoset (*Callithrix jacchus*) unter besonderer Berücksichtigung des Knochenstoffwechsels und dessen Überwachung mittels biochemischer und densitometrischer Methoden. Diss., Freie Univ. Berlin
- BAILEY, M.T., COE, C.L. (2002): Intestinal microbial patterns of the common marmoset a rhesus macaque. *Comp. Biochem. Physiol. Part A.* 133, 379-388
- BRACK, M., GÖLTENBOTH, R., RIETSCHER, W. (1995): Primaten. In (GÖLTENBOTH, R., KLÖS, H.-G.; Hrsg.): *Krankheiten der Zoo- und Wildtiere, Parey Bei Mvs*, Berlin
- CALDWELL, C.A., WATSON, C.F.E., MORRIS, K.D. (2009): Exploiting flavour preferences of common marmosets to increase palatability of a dry pellet diet. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 116, 244-249
- CATON, J.M., HILL, D.M., HUME, I.D., CROOK, G.A. (1996): The digestive strategy of the common marmoset, *Callithrix jacchus*. *Comp. Biochem. Physiol. A: Physiol.* 114, 1-8
- CHALMERS, D.T., MURGATROYD, L.B., WADSWORTH, P.F. (1983): A survey of the pathology of marmosets (*Callithrix jacchus*) derived from a marmoset breeding unit. *Lab. Anim.* 17, 270-279
- CHARNOCK, J.S., POLETTI, V.M. (1994): Dietary lipids and adipose tissue fatty acids in the marmoset monkey (*Callithrix jacchus*). *Comp. Biochem. Physiol. A: Physiol.* 108, 445-449
- CHARNOCK, J.S., ABEYWARDENA, M.W., MCLENNAN, P.L. (1989): Tissue specific differences in the fatty acid composition of the marmoset monkey (*Callithrix jacchus*). *Comp. Biochem. Physiol. A: Physiol.* 92, 299-304
- CHARNOCK, J.S., ABEYWARDENA, M.Y., POLETTI, V.M., MCLENNAN, P.L. (1992): Differences in fatty acid composition of various tissues of the marmoset monkey (*Callithrix jacchus*) after different lipid supplemented diets. *Comp. Biochem. Physiol. A: Physiol.* 101, 387-393
- CHEN, H., HU, B., ALLEGRETTO, E.A., ADAMS, J.S. (2000): The vitamin D response element-binding protein. A novel dominant-negative regulator of vitamin D-directed transactivation. *J. Biol. Chem.* 275, 35557-35564
- CLARKE, H.E., COATES, M.E., EVA, J.K., FORD, D.J., MILNER, C.K., O'DONOGHUE, P.N., SCOTT, P.P., WARD, R.J. (1977): Dietary standards for

- laboratory animals: report of the Laboratory Animals Centre Diets Advisory Committee. *Lab. Anim.* 11, 1-28
- COIMBRA-FILHO, A.F. (1976): Exudate-eating and tree-gouging in marmosets. *Nature* 262, 630
- COIMBRA-FILHO, A.F., da CRUZ ROJA, N., PISSINATTI, A. (1980): Morfofisiologia do ceco e sua correlacao com o tipo od ontologico em Callitrichidae (Platyrrhini, Primates). *Rev. Brasil. Biol.* 40, 177-185; zitiert nach FERRARI, S.F., MARTINS, E.S. (1993): Gummivory and Gut Morphology in two sympatric Callitrichids (*Callithrix emiliae* and *Saguinus fuscicollis weddelli*) from Western Brazilian Amazonia. *Am. J. of physical Anthropology* 88, 97-103
- CRISSEY, S.D., BARR, J.E., SLIFKA, K.A., BOWEN, P.E., STACEWICZ-SAPUNTZAKIS, M., LANGMAN, C., WARD, A., ANGE, K. (1999): Serum Concentrations of Lipids, Vitamins A and E, Vitamin D Metabolites, and Carotenoids in nine Primate Species at four Zoos. *Zoo Biology* 18, 551-564
- CROOK, D., WEISGRABER, K.H., BOYLES, J.K., MAHLEY, R.W. (1990): Isolation and characterization of plasma lipoproteins of common marmoset monkey. Comparison of effects of control and atherogenic diets. *Arteriosclerosis* 10, 633-647
- DANILOVA, V., DANILOV, Y., ROBERTS, T., TINTI, J.M., NOFRE, C., HELLEKANT, G. (2002): Sense of taste in a new world monkey, the common marmoset: recordings from the chorda tympani and glossopharyngeal nerves. *J. Neurophysiol.* 88, 579-594
- DENNERT, C. (1997): Untersuchung zur Fütterung von Schuppenechsen und Schildkröten. Diss. med. vet., Hannover
- DE PAULA, R.C.M., RODRIGUES, J.F. (1995): Composition and rheological properties of cashew tree gum, the exudate polysaccharide from *Anacardium occidentale* L. *Carbohydrate Polymers.* 26, 177-181
- DREIZEN, S., LEVY, B.M. (1969): Histopathology of experimentally induced nutritional deficiency cheilosis in the marmoset (*Callithrix jacchus*). *Arch. Oral Biol.* 14, 577-582
- DREIZEN, S., LEVY, B.M., BERNICK, S. (1969): Studies on the biology of the periodontium of marmosets. *J. Periodontal Res.* 4, 274-280
- FERRARI, S.F., MARTINS, E.S. (1993): Gummivory and Gut Morphology in two sympatric Callitrichids (*Callithrix emiliae* and *Saguinus fuscicollis weddelli*) from Western Brazilian Amazonia. *Am. J. of physical Anthropology* 88, 97-103
- FITCH, C.D., DINNING, J.S., WITTING, L.A., HORWITT, M.K. (1961): Influence of dietary fat on the fatty acid composition of monkey erythrocytes. *J. Nutr.* 75, 409-413
- FLEAGLE, J.G. (1999): Primate Adaption and Evolution. Second ed. Academic Press, San Diego.
- FLURER, C.I., SCHWEIGERT, F.J. (1990): Species differences in a New World monkey family in blood values of the vitamins A, E, and C. *J. Anim. Nutr. Anim. Physiol.* 63, 1-5

- FLURER, C.I., ZUCKER, H. (1985): Long-term experiments with low dietary protein levels in Callithricidae. *Primates* 26, 479-490
- FLURER, C.I., ZUCKER, H. (1987): Difference in serum ascorbate in two species of Callithricidae. *Int. J. Vitam. Nutr. Res.* 57, 297-298
- FLURER, C.I., ZUCKER, H. (1988): Coprophagy in marmosets due to insufficient protein (amino acid) intake. *Lab. Anim.* 22, 330-331
- FLURER, C.I., ZUCKER, H. (1989): Ascorbic acid in a New World monkey family: Species difference and influence of stressors on ascorbic acid metabolism. *Z. Ernährungswiss.* 28, 49-55
- FLURER, C.I., SCHEID, R., ZUCKER, H. (1983): Evaluation of a pelleted diet in a colony of marmosets and tamarins. *Lab. Anim. Sci.* 33, 264-267
- FLURER, C.I., KROMBACH, F., ZUCKER, H. (1985): Palatability and digestibility of soya- and milk proteins in Callithricidae. *Lab. Anim.* 19, 245-250
- FLURER, C.I., SAPPL, A., ADLER, H., ZUCKER, H. (1987a): Determination of the protein requirement of marmosets (*Callithrix jacchus*) by nitrogen balance with regard to the concentration of essential amino acids in the diet. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 57, 23-31
- FLURER, C.I., KERN, M., RAMBECK, W.A., ZUCKER, H. (1987b): Ascorbic acid requirement and assessment of ascorbate status in the common marmoset (*Callithrix jacchus*). *Ann. Nutr. Metab.* 31, 245-252
- FLURER, C.I., KROMMER, G., ZUCKER, H. (1988): Endogenous N-excretion and minimal protein requirement for maintenance of the common marmoset (*Callithrix jacchus*). *Lab. Anim. Sci.* 38, 183-186
- FLURER, C.I., GEYER, G., BERG, D., RAMBECK, W.A. (1990): Studies on the ascorbic acid metabolism of callitrichid monkeys by ¹⁴C isotope excretion technique. *Z. Ernährungswiss.* 29, 192-196
- GACAD, M.A., ADAMS, J.S. (1992): Specificity of steroid binding in New World primate B95-8 cells with a vitamin D-resistant phenotype. *Endocrinology* 131, 2581-2587
- GACAD, M.A., CHEN, H., ARBELLE, J.E., LEBON, T., ADAMS, J.S. (1997): Functional characterization and purification of an intracellular vitamin D-binding protein in vitamin D-resistant new world primate cells. Amino acid sequence homology with proteins in the hsp-70 family. *J. Biol. Chem.* 272, 8433-8440
- GARBER, P.A. (1984): Proposed nutritional importance of plant exudates in the diet of the panamanian tamarin, *Saguinus oedipus geoffroyi*. *Int. J. Primatol.* 5, 1-15
- GHEBREMESKEL, K., WILLIAMS, G., HARBIGE, L., SPADETTA, M., SUMMERS, P. (1990): Plasma vitamins A and E and hydrogen peroxide-induced in vitro erythrocyte hemolysis in common marmosets (*Callithrix jacchus*). *Vet. Rec.* 126, 429-431
- GHEBREMESKEL, K., HARBIGE, L.S., WILLIAMS, G., CRAWFORD, M.A., HAWKEY, C. (1991): The effect of dietary change on in vitro erythrocyte hemolysis, skin lesions and alopecia in common marmosets (*Callithrix jacchus*). *Comp. Biochem. Physiol. A: Physiol.* 100, 891-896

- GLASER, D. (1970): Taste thresholds for common sugars in callithricidae (Platyrrhina). *Folia Primatol. (Basel)* 13(1), 40-7
- GLASER, D., TINTI, J.-M., NOFRE, C. (1998): Taste preference in nonhuman primates to compounds sweet in man. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 855, 169
- GOLUB, M.S., GERSHWIN, M.E., HURLEY, L.S., BALY, D.L., HENDRICKX, A.G. (1984): Studies of marginal zinc deprivation in rhesus monkeys: II. Pregnancy outcome. *Am. J. Clin. Nutr.* 39, 879-887
- GORE, M.A., BRANDES, F., KAUP, F., LENZNER, R., MOTHE, T., OSMAN, A.A. (2001): Callitrichid nutrition and food sensitivity. *J. Med. Primatol.* 30, 179-184
- GUTTERIDGE, J.M., TAFFS, L.F., HAWKEY, C.M., RICE-EVANS, C. (1986): Susceptibility of tamarin (*Saguinus labiatus*) red blood cell membrane lipids to oxidative stress: implications for wasting marmoset syndrome. *Lab. Anim.* 20, 140-147
- GYEDU-AKATO, E., ODURO, I., AMOAH, M., OLDHAM, J.H., ELLIS, W.O., OPOKU-AMEYAW, K., BIN HAKEEM, R. (2008): Physico-chemical properties of cashew tree gum. *Afr. J. Food Sci.* 2, 060-064
- HARRISON, M.L., TARDIF, S.D. (1994): Social implications of gummivory in marmosets. *Am. J. Phys. Anthropol.* 95, 399-408
- HATT, J.M., SAINSBURY, A.W. (1998): Unusual case of metabolic bone disease in a common marmoset (*Callithrix jacchus*). *The Vet. Record*, 143(3), 78-80
- JUAN-SALLES, C., PRATS, N., RESENDES, A., DOMINGO, M., HILTON, D., RUIZ, J.M., GARNER, M.M., VALLS, X., MARCO, A.J. (2003): Anemia, Myopathy, and Pansteatitis in Vitamin E-deficient Captive Marmosets (*Callithrix* spp.). *Vet. Pathol.* 40, 540-547
- KAMPHUES, J., COENEN, M., IBEN, C., KIENZLE, E., PALLAUF, J., SIMON, O., WANNER, M., ZENTEK, J. (2009): *Supplemente zu Vorlesungen und Übungen in der Tierernährung*. 11., überarbeitete Aufl., Verlag M.&H. Schaper GmbH, Hannover
- KASPAREIT, J., FRIDERICHS-GROMOLL, S., BUSE, E., HABERMANN, G. (2006): Background pathology of the common marmoset (*Callithrix jacchus*) in toxicological studies. *Exp. Toxicol. Pathol.* 57, 405-410
- KING, G.J. (1978): Comparative feeding and nutrition in captive, non-human primates. *Br. J. Nutr.* 40, 55-62
- KROMBACH, F., FLURER, C., ZUCKER, H. (1984): Effects of fibre on digestibility and passage time in callithricidae. *Lab. Anim.* 18, 275-279
- MANO, M.T., POTTER, B.J., BELLING, G.B., HETZEL, B.S. (1985): Low-iodine diet for the production of severe I deficiency in marmosets (*Callithrix jacchus jacchus*). *Br. J. Nutr.* 54, 367-372
- MANO, M.T., POTTER, B.J., BELLING, G.B., CHAVADEJ, J., HETZEL, B.S. (1987): Fetal brain development in response to iodine deficiency in a primate model (*Callithrix jacchus jacchus*). *J. Neurol. Sci.* 79, 287-300

- MARI, S.G., GERSHWIN, M.E., LUCILLE, S.H., ANDREW, G.H., DEBORAH, L.B. (1982): Induction of marginal zinc deficiency in female rhesus monkeys. *Am. J. Primatol.* 3, 299-305
- MCINTOSH, G.H., MCMURCHIE, E.J., JAMES, M., LAWSON, C.A., BULMAN, F.H., CHARNOCK, J.S. (1987): Influence of dietary fats on blood coagulation and prostaglandin production in the common marmoset. *Arteriosclerosis* 7, 159-165
- MCWHORTER, T.J., KARASOV, W.H. (2007): Paracellular nutrient absorption in a gum-feeding new world primate, the common marmoset, *Callithrix jacchus*. *Am. J. Primatol.* 69, 1399-1411
- MILLER, G.F., BARNARD, D.E., WOODWARD, R.A., FLYNN, B.M., BULTE, J.W. (1997): Hepatic hemosiderosis in common marmosets, *Callithrix jacchus*: effect of diet on incidence and severity. *Lab. Anim. Sci.* 47, 138-142
- MITURA, A., LIEBERT, F., SCHLUMBOHM, C., FUCHS, E. (2010a): First steps in development of a complete laboratory diet for common marmoset monkeys. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 19, 137
- MITURA, A., LIEBERT, F., SCHLUMBOHM, C., FUCHS, E. (2010b): Changes in pelleted feed acceptance due to flavouring a complete laboratory diet for the common marmoset monkey. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 19, 138
- NICKEL, R., SCHUMMER, A., SEIFERLE, E. (1979): Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band II Eingeweide. Paul Parey, Berlin, Hamburg
- NIEVERGELT, C.M., MARTIN, R.D. (1999): Energy intake during reproduction in captive common marmosets (*Callithrix jacchus*). *Physiol. Behav.* 65, 849-854
- NRC - NUTRITIONAL RESEARCH COUNCIL (2003): Nutrient Requirements of nonhuman Primates. Second revised ed. The National Academics Press, Washington D.C.
- PENNISTON, K.L., THAYER, J.C., TANUMIHARDJO, S.A. (2003): Serum Vitamin A Esters Are High in Captive Rhesus (*Macaca mulatta*) and Marmoset (*Callithrix jacchus*) Monkeys. *J. Nutr.* 133, 4202-4206
- PETRY, H., RIEHL, I., ZUCKER, H. (1986): Energieumsatzmessungen an Weißbüscheläffchen (*Callithrix jacchus*). *J. Anim. Nutr. Anim. Physiol.* 55, 214-224
- PORTMAN, O.W., ANDRUS, S.B., POLLARD, D., BRUNO, D. (1961): Effects of Long-Term Feeding of Fat-Free Diets to Cebus Monkeys. *J. of Nutrition* 74 (4), 429-440
- POWER, M.L. (1991): Digestive Function, Energy Intake and the Response to Dietary Gum in Captive Callitrichids. Ph.D. Thesis, University of Calif., Berkeley, CA; zitiert nach: CRISSEY, S.D., GORE, M., LINTZENICH, B.A., SLIFKA, K. (2003): Callitrichids Nutrition and Dietary Husbandry. Nutrition Advisory Group (NAG) Handbook, Fact Sheet 013, April 2003
- POWER, M.L., OFTEDAL, O.T. (1996): Differences among captive callitrichids in the digestive responses to dietary gum. *Am. J. Primatol.* 40, 131-144
- POWER, M.L., MYERS, E.W. (2009): Digestion in the Common Marmoset (*Callithrix jacchus*) A Gummivore-Frugivore. *Am. J. Primatol.* 71, 957-963

- POWER, M.L., OFTEDAL, O.T., SAVAGE, A., BLUMER, E.S., SOTO, L.H., CHEN, T.C., HOLICK, M.F. (1997): Assessing vitamin D status of callitrichids: baseline data from wild cotton-top tamarins (*Saguinus oedipus*) in Colombia. *Zoo. Biol.* 16, 39-46
- POWER, M.L., TARDIF, S.D., LAYNE, D.G., SCHULKIN, J. (1999): Ingestion of calcium solutions by common marmosets (*Callithrix jacchus*). *Am. J. Primatol.* 47, 255-261
- POWER, R.A., POWER, M.L., LAYNE, D.G., JAQUISH, C.E., OFTEDAL, O.T., TARDIF, S.D. (2001): Relations among Measures of Body Composition, Age, and Sex in the Common Marmoset Monkey (*Callithrix jacchus*). *Comp. Med.* 51, 218-223
- POWER, M.L., OFTEDAL, O.T., TARDIF, S.D. (2002): Does the Milk of Callitrichid Monkeys Differ From That of Larger Anthropoids? *Am. J. of Primatol.* 56, 117-127
- PRIMATOLOGIA (1958): Handbuch der Primatenkunde. HOFER, H., SCHULTZ, A.H., STARCK, D., Basel, New York
- PSCHYREMBEL (1993): Pschyrembel, Medizinisches Wörterbuch. Walter de Gruyter, Berlin
- SCHONFELD, G., FELSKI, C., HOWALD, M.A. (1974): Characterization of the plasma lipoproteins of the genetically obese hyperlipoproteinemic Zucker fatty rat. *J. Lipid Res.* 15, 457-464
- SCHROEDER, C., OSMAN, A.A., ROGGENBUCK, D., MOTHESE, T. (1999): IgA-gliadin antibodies, IgA-containing circulating immune complexes, and IgA glomerular deposits in wasting marmoset syndrome. *Nephrol. Dial. Transplant.* 14, 1875-1880
- SHINKI, T., SHIINA, Y., TAKAHASHI, N., TANIOKA, Y., KOIZUMI, H., SUDA, T. (1983): Extremely high circulating levels of 1 alpha, 25-dihydroxyvitamin D3 in the marmoset, a new world monkey. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 114, 452-457
- SMITH, K.M., MCALOOSE, D., TORREGROSSA, A.M., RAPHAEL, B.L., CALLE, P.P., MOORE, R.P., JAMES, S.B. (2008): Hematologic iron analyte values as an indicator of hepatic hemosiderosis in Callitrichidae. *Am. J. Primatol.* 70, 629-633
- TARDIF, S.D., JAQUISH, C., LAYNE, D., BALES, K., POWER, M.L., POWER, R.A., OFTEDAL, O.T. (1998): Growth variation in common marmoset monkeys (*Callithrix jacchus*) fed a purified diet: relation to care-giving and weaning behaviors. *Lab. Anim. Sci.* 48, 264-269
- TARDIF, S.D., POWER, M., OFTEDAL, O.T., POWER, R.A., LAYNE, D.G. (2001): Lactation, maternal behavior and infant growth in common marmoset monkeys (*Callithrix jacchus*): effects of maternal size and litter size. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 51, 17-25
- TARDIF, S.D., POWER, M.L., LAYNE, D., SMUCNY, D., ZIEGLER, T. (2004): Energy restriction initiated at different gestational ages has varying effects on

- maternal weight gain and pregnancy outcome in common marmoset monkeys (*Callithrix jacchus*). Br. J. Nutr. 92, 841-849
- TARDIF, S.D., POWER, M.L., ROSS, C.N., RUTHERFORD, J.N., LAYNE-COLON, D.G, PAULIK, M.A. (2009): Characterization of obese phenotypes in a small nonhuman primate, the common marmoset (*Callithrix jacchus*). Obesity (Silver Spring) 17, 1499-1505
- TURTON, J.A., FORD, D.J., BLEBY, J., HALLA, B.M., WHITING, R. (1978): Composition of the Milk of the Common Marmoset (*Callithrix jacchus*) and Milk Substitutes used in Hand-rearing Programmes, with special Reference to Fatty Acids. Folia Primatol. 29(1), 64-79
- WANG, Y., DANILOVA, V., CRAGIN, T., ROBERTS, T.W., KOPOSOV, A., HELLEKANT, G. (2009): The sweet taste quality is linked to a cluster of taste fibers in primates: lactisole diminishes preference and responses to sweet in S fibers (sweet best) chorda tympani fibers of *M. fascicularis* monkey. BMC Physiol. 9, 1
- WELCKER, K., MARTIN, A., KOLLE, P., SIEBECK, M., GROSS, M. (2004): Increased intestinal permeability in patients with inflammatory bowel disease. Eur. J. Med. Res. 9, 456-460
- WIRTH, H., BUSELMAIER, W. (1982): Long-term experiments with a newly-developed standardized diet for the New World primates *Callithrix jacchus jacchus* and *Callithrix jacchus penicillata* (marmosets). Lab. Anim. 16, 175-181
- WOLTERS, J., IMMELMANN, K. (1988): Krallenaffen. In: Grzimeks Enzyklopädie, Band 2; Kindler, München.
- WU, S., CHUN, R., GACAD, M.A., REN, S., CHEN, H., ADAMS, J.S. (2002): Regulation of 1,25-dihydroxyvitamin D synthesis by intracellular vitamin D binding protein-1. Endocrinology 143, 4135
- YAMAGUCHI, A., KOHNO, Y., YAMAZAKI, T., TAKAHASHI, N., SHINKI, T., HORIUCHI, N., SUDA, T., KOIZUMI, H., TANIOKA, Y., YOSHIKI, S. (1986): Bone in the marmoset: a resemblance to vitamin D-dependent rickets, type II. Calcif. Tissue Int. 39, 22-27
- ZUCKER, H., FLURER, C.I. (1989): The protein requirement of adult marmosets: nitrogen balances and net protein utilization of milk proteins, soy protein, and amino acid mixtures. Z. Ernährungswiss. 28, 142-148

Publikation II

Improving the energy and nutrient supply for common marmoset monkeys fed under
long-term laboratory conditions

by

Anna Mitura, F. Liebert, E. Fuchs and Christina Schlumbohm

Journal of Medical Primatology, 2011, accepted, in press

1. Abstract

Background Current knowledge about the optimal energy and nutrient supply for common marmoset monkeys (*Callithrix jacchus*) is scarce, and more information is needed for establishing the underlying nutritional concepts for facilitating longevity of this species as laboratory animals for biomedical research.

Methods Two feeding experiments were conducted to yield fundamental data about feed acceptance, real feed intake, and feed preferences under laboratory conditions. Newly developed feeding concepts for marmoset monkeys were also examined in preliminary investigations to compare the outcomes with those of a commercial pelletized mixed feed.

Results The first experiments showed preferences for main protein sources in the diets studied, specifically that plant proteins are more accepted than fish meal or egg protein as the main protein source. Several aroma supplements did not modify the acceptance and feed intake markedly.

Conclusion The newly developed feeding concept yielded promising preliminary data for long-term studies of energy and nutrient supply under laboratory conditions. However, studies of the fundamental requirements are still needed.

2. Introduction

The common marmoset monkey (*Callithrix jacchus*) is a nonendangered New World monkey species from Brazil that originally inhabited the xerophytic woods in the northeast of the country [1]. Natural conditions provide nutrient sources such as tree exudates, fruits, and insects with variable seasonal availability.

Since the 1920s, common marmosets have been used as laboratory animals in biological and preclinical studies. Improved knowledge of their physiology and hygienic needs led to more successful breeding and housing practices. Together with macaques, *Callithrix jacchus* is currently the nonhuman primate used most commonly in biomedical research. Common marmosets do not exhibit sexual dimorphism, which allows comparisons between females and males [2]. For long-term housing under laboratory conditions, requirement-based nutritional concepts play a major role in maintaining the well-being of these animals; other important factors are cage size and interior, room temperature, humidity, air exchange, and illumination. Surprisingly, the nutritional requirements of marmoset monkeys have not been investigated systematically, and no standards for the laboratory diet of these animals have been developed. Providing well-balanced nutrition based on species-specific physiology is an important aspect of animal welfare and adds to the reliability of biomedical studies.

In general, all organic macronutrients can be used as a metabolic energy source for basic metabolic processes, including thermoregulation. Physical activity, tissue growth, and reproduction are also energy-demanding processes [3]. The observed daily energy intake of common marmosets ranges from 573 to 1067 kJ/BW_{kg}^{0.75} and

exceeds the basal metabolic rate by a factor of two [4]. Further data about the energy intake and influence of energy restriction are summarized in [5] and [6]. In combination with measured feed intake levels, about 18 MJ/kg of diet is expected to be adequate (in terms of gross energy) for nonreproducing and nonlactating female and adult male common marmoset monkeys. The required energy content of diets for growing animals is assumed to be higher.

Like other monogastric animals, Callitrichidae need proteinogenic amino acids to meet the demands of body tissues for maintenance and tissue growth. The dispensability of an amino acid depends on the potential for its metabolic synthesis. Such an amino acid-based view, which is common to several animal species, should also be applicable to common marmosets. However, the current database provides information based on crude protein only. Protein deficiency (< 6% crude protein of the dry mass (DM) of the diet) is considered one of the causes of “wasting marmoset syndrome” in Callitrichidae [7]. However, the physiologically based protein or amino acid requirements of common marmoset monkeys are currently unknown. Basal data about protein feeding and requirements are given in [8-11] and [12]. No database is available for deriving an optimal dietary amino acid ratio or for specifying the requirements of common marmoset monkeys for sodium, magnesium, potassium, sulfur, and chlorine. In addition, requirement standards for the trace elements copper, manganese, zinc, selenium, cobalt, fluorine, and molybdenum in common marmosets are not available in the literature. Databases for iodine [13] and iron [11, 14, 15] requirements, and recommendations to meet the vitamin requirements of common marmosets [3, 11, 12, 16-20] are also scarce in the literature.

A continuous feed intake is necessary to meet nutritional requirements and to keep the animals in good health for years, especially under laboratory conditions. High feed acceptance is needed, especially with a pelleted complete diet. Experiments under laboratory conditions demonstrated that pellets with a diameter of 10 mm are better accepted than are smaller particles [21].

Based on the obvious lack of physiology-based nutritional standards for marmosets, our studies aimed to generate feed intake data in the first step and to learn more about feed preference. The results provide a basis for further experiments to optimize the long-term feeding of common marmoset monkeys through a complete diet under laboratory conditions.

3. Experiments

A complete mixed diet is necessary to ensure the optimal body condition and health of common marmosets in extended biological studies, to improve the standardization of experiments, and to meet the nutritional requirements completely. Referring to the needed standardization of biological studies, the current practice of variable feeding with mixed diets containing fruits, vegetables, insects, or other components is questionable. The aforementioned studies yielded important metabolic data but did

not focus on applied laboratory feeding conditions. In particular, although real individual feed intake data are scarce, they are fundamentally important for the assessment of the daily energy and nutrient supply in relation to the requirements. Our first investigations included two consecutive experiments. Experiment 1 aimed to generate basic data on a complete mixed diet based on the current knowledge about requirements and to collect data on interindividual differences in quantitative feed intake and acceptance of diets with varying protein sources. Experiment 2 examined whether the addition of flavors modulates feed acceptance.

3.1 Animals

The studies involved 24 nonreproducing common marmoset monkeys (*Callithrix jacchus*) comprising 11 males and 13 females (resulting in 11 male–female pairs and 1 female–female pair) of varying ages (2–11 years) and body weights (300–500 g). To exclude the influence of gestation, lactation, and caregiving, the animals were not breeding. Pregnancies were prevented by intramuscular injections of a Prostaglandin $F_{2\alpha}$ analogue (2.5 mg cloprostenol per animal; Estrumate®, Essex-Tierarznei, Munich, Germany) every 24 days. The animals were obtained from the breeding colony at the German Primate Center (Göttingen, Germany). The animal experiments were approved by the Lower Saxony Federal State Office for Consumer Protection and Food Safety (LAVES) in accordance with German legislation on animal rights and welfare and the European Communities Council Directive of November 24, 1986 (86/EEC). The study was also performed according to the *Principles of Laboratory Animal Care* (NIH Publication no. 85-23, revised 1985).

The marmoset monkeys were housed in wire mesh cages (cage size, 70 × 50 × 125 cm) with a sleeping box and wooden sitting boards. A removable tray placed under each cage allowed the collection of food remains and feces samples. Animals living in pairs are accustomed to each other, and individual housing was avoided to allow normal social behavior. The floor under the cages was covered with paper sheets. Urine, feces, and leftover feed were removed daily by replacing the paper sheets.

The experimental rooms and the cages were cleaned at weekly intervals and disinfected using water and Biguacid (Antiseptica, Pulheim/Brauweiler, Germany). The room temperature was maintained at 26 ± 1.5 °C, and the relative humidity was kept between 60% and 80%. These parameters were under daily control. Artificial light was set to provide a cycle of 12 h light and 12 h dark, with lights on at 7:30 a.m. The air in the room was changed about eight times per hour and filtered adequately. All materials were changed regularly, cleaned, and sterilized.

Statistical analysis of both experiments was performed using the Welch paired two-sample *t* test in R, Version 2.6.1; significance was set at $P \leq 0.05$.

3.2 Characteristics of the diets

For comparison, experimental diets and a commercial diet were fed simultaneously. The commercial diet (Table 1) applied is described by the manufacturer's declaration

as follows. The formulation contains cereals, cereal by-products, oil-bearing seed products, sugar, milk products, plant fat and oil, mineral supplements, dried fruits, vitamins, and trace elements (decreasing order), and is pressed into pellets with a diameter of 4 mm.

Table 1. Characterization of the commercial diet (manufacturer's data)

Main nutrients		Vitamins		per kg
Gross energy	18.5 MJ/kg	A		18,000 IU
Crude protein	26.1%	D3		3000 IU
Crude fat	7%	E		120 mg
Crude fiber	2.5%	K		5 mg
Crude ashes	6.8%	C		3500 mg
Starch	23.4%	Thiamin		14 mg
Sugar	20.4%	Riboflavin		22 mg
		Pyridoxine		17 mg
		Cobalamin		100 µg
		Nicotinic acid		70 mg
		Pantothenic acid		34 mg
Trace Elements	mg/kg	Folic acid		7 mg
Iron	154	Biotin		440 µg
Manganese	44	Minerals		%
Zinc	70	Calcium		1.0
Copper	11	Phosphorus		0.7
Iodine	2.1	Sodium		0.2
Selenium	0.2	Magnesium		0.18
Cobalt	2	Potassium		0.92

All ingredients of the experimental diets under study were milled (hammermill; sieve diameter, 2 mm) and mixed in a Lödige FM 130 D charge blender (Lödige Industries, Warburg, Germany) with manual loading. Aroma components were offered as powder by a commercial manufacturer (Micro-plus Konzentrate GmbH,

Stadtoldendorf, Germany). The flavor powder was mixed with the other components as recommended by the manufacturer. Experimental diets were pelletized after thorough mixing (Cissonius PP 200 rigid granular fodder machine, Cissonius GmbH, Zehdenick, Germany), using a flat matrix with a diameter of 6 mm at 7.5 kW of power and a temperature < 60 °C. Finally, pellets were cooled and dried in a fresh air dehumidifier at room temperature overnight and stored at room temperature until feeding.

Table 2. Customized premix for the experimental diets

Vitamins	per kg premix	Macrominerals	% of feed/DM
D3	350 000 IU	Calcium	1
A	1000 000 IU	Phosphorus	0.5
E	12 000 mg	Magnesium	0.5
C	50 000 mg	Potassium	0.4
K ₃	500 mg	Sodium	0.2
Thiamin	110 mg	Chlorine	0.4
Riboflavin	560 mg		
Niacin	5.560 mg		
Pantothenic acid	1.670 mg	Trace elements	mg/kg premix
Pyridoxine	280 mg	Manganese	7000
Biotin	10 mg	Iron	12 000
Folic acid	700 mg	Iodine	65
B ₁₂	10 000 µg	Copper	1500
Choline chloride	244 000 mg	Zinc	1500

DM, dry mass

The premix (Table 2) was manufactured by Deutsche Vilomix Tierernährung GmbH (Neuenkirchen-Vörden, Germany) according to our instructions.

Table 3 provides an overview of the ingredients of the experimental diets under study.

Table 3. Composition of diets under study(%)

Diet	1	2	3	4	5	6
Cereal meal	29	35	29	30.2	15	17
By-products ¹	41	35	41	33	45	15
Plant protein mixture ²	20.5	19.5	16.5	10	21.5	19.7
Potato starch				5		
Fish meal			5	9.8		
Egg protein					10	6
Plant oil	5	6	5	5	5	5
Premix	1	1	1	1	1	1
Sodium chloride	0.63			5		
Calcium carbonate	0.52	0.6	0.43	0.4	0.42	0.52
Dicalcium phosphate	1.4	1.34	0.73	1	1.45	1.4
DL-Methionine	0.08	0.08	0.1	0.15	0.15	0.1
L-Lysine·HCl		0.039				

¹ Rich in carbohydrates, from fruits and sugar beet

² From soybean and potato proteins

Experiment 1 used 24 nonreproducing cage-housed (in pairs) common marmoset monkeys (see above for details). The individual cage was the experimental unit. The six diets under study were distributed randomly to the cages. The main protein source of the mixed diets is used to describe them as plant protein-, fish protein-, or egg protein-based diets (Table 4). Plant protein and egg protein were selected because of their association with the natural feeding situation. Fish protein from fish meal is an established protein-rich ingredient used in monogastric farm animal nutrition with high protein digestibility and valuable amino acid composition.

Table 4. Experimental design (Experiment 1)

Diet No.	1, 2	3, 4	5, 6	7
Characteristic	Plant protein based	Fish meal protein based	Egg protein based	Commercial
<i>n</i>	10	7	3	10

Two raw material sources of dietary fiber were also examined in Experiment 1 to study their influence on feed acceptance and body condition. Before starting the experiment, animals were adapted to the commercial diet. After a 5-day adaptation period, three different diets were examined per cage during the experimental period of 9 weeks. Under conditions of twice-daily feeding, the daily feed supply per cage was set at 80 g, which corresponded to an almost *ad libitum* feeding. Daily feed intake was corrected for feed losses during feeding. Drinking water was offered *ad libitum*. Individual body weight was measured weekly. The feed was removed from the cages in the morning before the light was switched on. It is assumed that common marmosets have no overnight feed uptake, and the experimental animals were considered to be fasted for 12 hours before being weighed. The results of the nutrient analyses of the tested and commercial diets are summarized in Table 5.

Table 5. Results of nutrient analyses (%) of experimental diets (Experiment 1)

%	Diet	1	2	3	4	5	6	7
Crude protein		21.8	19.1	22.5	19.8	26.0	22.2	27.6
Crude fat		7.8	9.2	8.6	8.7	10.2	10.6	6.6
Crude fiber		6.8	5.8	7.1	5.4	7.1	5.7	2.4
Crude ash		5.7	5.1	5.2	5.0	6.0	5.1	6.2
Gross energy		20.09*	20.48*	20.38*	20.35*	20.05*	21.07*	18.5**
	(kJ/g DM)							

DM, dry mass * laboratory analysis, ** manufacturer's data

Experiment 2 investigated the same animals used in Experiment 1. The plant protein-based diet 2 of Experiment 1 was used as the unflavored basal diet I in Experiment 2. Several mixtures of individual flavors were added to this basal diet, yielding diets II–VI (Table 6). Apart from the addition of aroma, there were no further modifications of the feed mixtures. The five flavors under study were selected based on observations in a preexperimental test period using 25 different flavors. The aroma components providing the best effects on feed acceptance were selected for further investigations in Experiment 2. The 9-week trial compared six diets (one unflavored and five flavored) with a commercial diet. The diet was changed every third week for each experimental unit, giving three diets that were examined per cage during the experimental period. Feed intake assessment was conducted according to the details provided for Experiment 1.

Table 6. Experimental design (Experiment 2)

Diet	I	II	III	IV	V	VI	VII
Flavor	Unflavored	Coconut- vanilla- caramel	Cherry- almond	Honey	Lemon- apple	Vanilla	Commercial diet
	<i>NF</i>	<i>CVC</i>	<i>CA</i>	<i>H</i>	<i>LA</i>	<i>V</i>	<i>C</i>
<i>n</i>	3	3	5	5	4	4	3

3.3 Results

Experiment 1

Figure 1 summarizes the course of daily DM intake corresponding to 3-week experimental periods. The acceptance of egg protein-based diets was low because of their slightly bitter taste. Consequently, these diets were excluded from further evaluation just before the end of the experimental period.

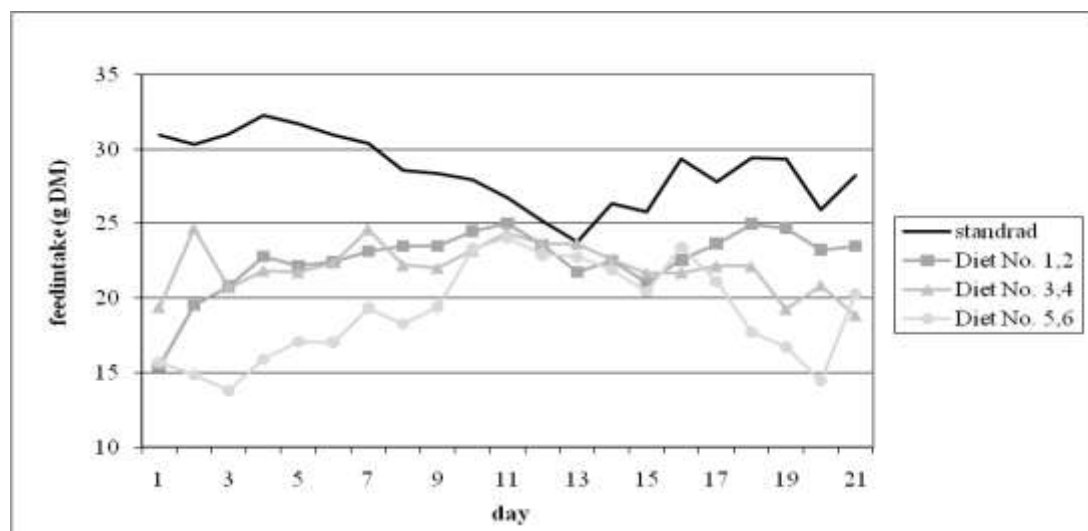


Fig. 1. Course of average daily feed intake per cage for different protein-based diets (Experiment 1)

The results (g, mean \pm SD) show that the commercial diet yielded higher daily DM intake (28.6 ± 2.3^c) compared with diets based on plant protein (21.3 ± 2.4^{ab}), fish meal protein (22.1 ± 1.6^b), or egg protein (19.7 ± 4.4^a) (values followed by different superscript letters differ significantly at $P \geq 0.05$). In Figure 1, two diets based on the same protein source are combined because these did not differ significantly and because of the small sample size of the single feeding groups.

Table 7 shows the body mass data of the animals in Experiment 1. The mean body mass of the male (m) and female (f) animals fed one of the diets under study differed between phase 1 (weeks 1–3), phase 2 (weeks 4–6) and phase 3 (weeks 7–9).

Table 7. Average body mass (male/female) in Experiment 1

average body mass						
Diet	Phase 1		Phase 2		Phase 3	
	M	F	M	F	M	F
1	316	414	314	436	358	461
2	378	468	423	296	324	399
3	334	476	361	466		
4	410	351	391	330		
5	411	388				
6	449	404				
7			351	383	420	373

The age of the animals and initial body mass had no significant influence on feed intake (Table 7). However, the importance of body mass data should not be overestimated because its effect on general health status (e.g., diarrhea) might be greater than that of feed intake.

In conclusion, Experiment 1 showed that the mixed plant protein-based diets were the most promising for further studies of the long-term feeding of common marmosets under laboratory conditions. The feed intake observed for plant-based diets did not differ significantly from that observed for fish meal-based diets. However, for later experiments, plant proteins were preferred for diet formulation because of the more complicated handling procedures needed for animal protein sources under conditions of feed manufacturing according to EC regulations.

Experiment 2

The results of Experiment 2 indicate that, in general, the admixture of flavor improved acceptance compared with unflavored diets. Feed intake decreased immediately after the change of diet, but it increased after 1–5 days to a relatively steady level for each of the diets (Fig. 2).

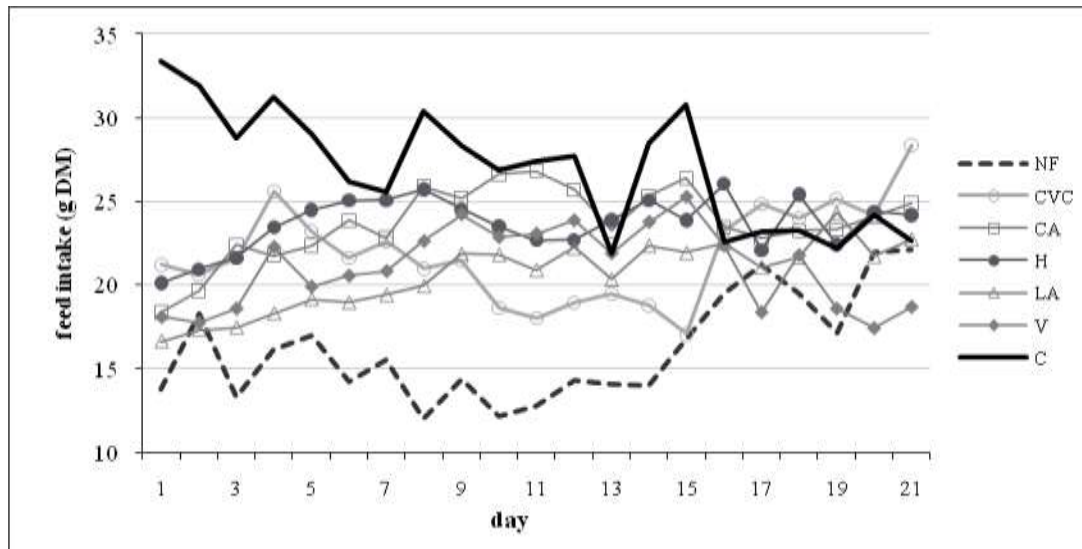


Fig. 2 Average daily feed intake per cage for commercial and experimental diets (Experiment 2). NF: unflavored; CVC: coconut–vanilla–caramel; CA: cherry–almond; H: honey; L: lemon–apple; V: vanilla; C: commercial.

Table 8 shows the body mass data of the animals in Experiment 2. The age of the animals and initial individual body mass had no significant influence on feed intake pattern.

Table 8. Average body mass (male/female) in Experiment 2

Diet	average body mass					
	Phase 1		Phase 2		Phase 3	
	M	F	M	F	M	F
Unflavored	353	454	343	448		
Vanilla	440	348	339	388	443	452
Honey	385	409	430	434		
Coconut-vanilla-caramel			305	435		
Cherry-Almond	413	396	436	444	335	408
Lemon-apple	331	471	375	299	381	354
Commercial					360	378

Table 9 summarizes the average feed intake data observed for the diets in Experiment 2.

Table 9. Observed feed intakes (mean \pm SD) after the addition of different flavors (values followed by different superscript letters differ significantly at $P \leq 0.05$)

Diet	Flavor	Daily DM intake per cage
I	Unflavored	16.2 \pm 3.2 ^a
II	Coconut–vanilla–caramel	21.9 \pm 2.9 ^{bd}
III	Cherry–almond	23.7 \pm 2.2 ^{be}
IV	Honey	23.7 \pm 1.6 ^{ce}
V	Lemon–apple	20.6 \pm 2.0 ^d
VI	Vanilla	21.1 \pm 2.4 ^d
VII	Commercial	27.0 \pm 3.5 ^f

The results demonstrate the presence of significant flavor effects. However, the DM intake was lower for these feeds than for the commercial feed. Age and initial body mass did not significantly influence the feed intake.

4. Conclusions

Commercial mixed feeds for common marmosets are mostly well accepted by the animals, but these feeds tend to impair body conditions by oversupplying energy and macro- and micronutrients under long-term laboratory conditions. Optimization of nutrition standards is an important precondition for standardizing biomedical studies using laboratory animals. Because of the scarcity of robust data pertaining to physiological requirements, there are few validated long-term feeding concepts. Consequently, animal laboratory units use different feeding strategies by applying individual feeding concepts that depend on the health status and observed body condition of the animals. However, the optimization of mixed complete diets requires their long-term acceptance and improving their ability to meet the animals' physiological needs. The development of standardized mixed complete diets for marmoset monkeys is the only way to improve the general health status of these animals because it avoids both overfeeding and undernourishing of the animals housed in experimental units.

The results of these experiments yielded important basic data about feed acceptance, quantitative feed intake, and corresponding development of body mass that are essential for further improving marmoset feeding concepts. Among the laboratory feeds examined, a plant protein-based diet was advantageous for ensuring a stable feed intake. This observation provides a platform for further development of the feeding concept. The observed superior feed intake of the commercial diet probably reflects the high sugar content, which produces a dominating sweet taste; this could

explain the oversupply of energy and nutrients associated with this feed. The long-term adaptation of the animals to the commercial feed before starting the current experiments could be another factor that influenced these results. Our study also showed that common marmosets can distinguish between different artificial flavors and that flavoring of the mixed feed can significantly increase feed intake.

In conclusion, the addition of flavors does not seem to be essential for a standard feed mixture but may modulate feed acceptance. The reported protein source preference and the associated feed intake provide the basis for further development of a complete mixed diet in ongoing long-term studies with marmoset monkeys. Good acceptance of the plant protein-based diet and continuous feed intake were observed in animals that were well adapted to the mixed feed over a longer period. No deleterious health effects were observed, indicating that the supplied macro- and micronutrients were within the physiological ranges. Maintaining the highest hygienic standards in feed manufacturing and storage, and the good health of the animals are fundamental preconditions in all experiments. An adaptation period of at least 1 week is indispensable for the acclimatization and adjustment of the intestinal flora and for the prevention of diarrhea.

The formulation of optimized complete diets that provide energy and nutrients at levels approximating physiological needs over long periods and that have high and continuous acceptance by common marmoset monkeys is the focus of ongoing experiments.

5. Acknowledgments

We thank J. Krenzek for laboratory and experimental assistance and the caretaking staff (especially T. Meyer-Burhenne and S. Leineweber) for assistance in the daily work performed at the German Primate Center. We thank the technical team at the Department of Animal Sciences, Division Animal Nutrition Physiology of the Georg-August University, Göttingen, for their support in processing and analyzing the samples.

6. References

- 1 Caton JM, Hill DM, Hume ID, Crook GA: The digestive strategy of the common marmoset, *Callithrix jacchus*. *Comp Biochem Physiol A Physiol* 1996; 114:1-8.
- 2 Power RA, Power ML, Layne DG, Jaquish CE, Oftedal OT, Tardif SD: Relations among measures of body composition, age, and sex in the common marmoset monkey (*Callithrix jacchus*). *Comp Med* 2001; 51:218-223.
- 3 NRC: National Research Council, Nutrient Requirements of nonhuman Primates. Washington D.C.: The National Academics Press, 2003.
- 4 King GJ: Comparative feeding and nutrition in captive, non-human primates. *Br J Nutr* 1978; 40:55-62.
- 5 Nievergelt CM, Martin RD: Energy intake during reproduction in captive common marmosets (*Callithrix jacchus*). *Physiol Behav* 1999; 65:849-854.
- 6 Tardif S, Power M, Layne D, Smucny D, Ziegler T: Energy restriction initiated at different gestational ages has varying effects on maternal weight gain and pregnancy outcome in common marmoset monkeys (*Callithrix jacchus*). *Br J Nutr* 2004; 92:841-849.
- 7 Flurer C, Zucker H: Long-term experiments with low dietary protein levels in *Callithricidae*. *Primates* 1985; 26:479-490.
- 8 Flurer CI, Sappl A, Adler H, Zucker H: Determination of the protein requirement of marmosets (*Callithrix jacchus*) by nitrogen balance with regard to the concentration of essential amino acids in the diet. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 1987; 57:23-31.
- 9 Zucker H, Flurer CI: The protein requirement of adult marmosets: nitrogen balances and net protein utilization of milk proteins, soy protein, and amino acid mixtures. *Z Ernahrungswiss* 1989; 28:142-148.
- 10 Glaser D, Tinti JM, Nofre C: Taste preference in nonhuman primates to compounds sweet in man. *Ann N Y Acad Sci* 1998; 855:169.
- 11 Dreizen S, Levy BM, Bernick S: Studies on the biology of the periodontium of marmosets. *J Periodontal Res* 1969; 4:274-280.
- 12 Gutteridge JM, Taffs LF, Hawkey CM, Rice-Evans C: Susceptibility of tamarin (*Saguinus labiatus*) red blood cell membrane lipids to oxidative stress: implications for wasting marmoset syndrome. *Lab Anim* 1986; 20:140-147.

- 13 Mano MT, Potter BJ, Belling GB, Hetzel BS: Low-iodine diet for the production of severe I deficiency in marmosets (*Callithrix jacchus jacchus*). *Br J Nutr* 1985; 54:367-372.
- 14 Miller GF, Barnard DE, Woodward RA, Flynn BM, Bulte JW: Hepatic hemosiderosis in common marmosets, *Callithrix jacchus*: effect of diet on incidence and severity. *Lab Anim Sci* 1997; 47:138-142.
- 15 Smith KM, McAloose D, Torregrossa AM, Raphael BL, Calle PP, Moore RP, James SB: Hematologic iron analyte values as an indicator of hepatic hemosiderosis in *Callitrichidae*. *Am J Primatol* 2008; 70:629-633.
- 16 Power ML, Tardif SD, Layne DG, Schulkin J: Ingestion of calcium solutions by common marmosets (*Callithrix jacchus*). *Am J Primatol* 1999; 47:255-261.
- 17 Tardif S, Jaquish C, Layne D, Bales K, Power M, Power R, Oftedal O: Growth variation in common marmoset monkeys (*Callithrix jacchus*) fed a purified diet: relation to care-giving and weaning behaviors. *Lab Anim Sci* 1998; 48:264-269.
- 18 Yamaguchi A, Kohno Y, Yamazaki T, Takahashi N, Shinki T, Horiuchi N, Suda T, Koizumi H, Tanioka Y, Yoshiki S: Bone in the marmoset: a resemblance to vitamin D-dependent rickets, type II. *Calcif Tissue Int* 1986; 39:22-27.
- 19 Chalmers DT, Murgatroyd LB, Wadsworth PF: A survey of the pathology of marmosets (*Callithrix jacchus*) derived from a marmoset breeding unit. *Lab Anim* 1983; 17:270-279.
- 20 Göltenboth R, Klös H-G: *Krankheiten der Zoo- und Wildtiere: Parey Bei Mvs*, 1995.
- 21 Wirth H, Buselmaier W: Long-term experiments with a newly-developed standardized diet for the New World primates *Callithrix jacchus jacchus* and *Callithrix jacchus penicillata* (marmosets). *Lab Anim* 1982; 16:175-181.

Publikation III

Influence of an Acacia gum supplement to a newly developed diet for common marmoset monkeys (*Callithrix jacchus*) housed under laboratory conditions in consideration of different feeding concepts

A. Mitura, F. Liebert, E. Fuchs and C. Schlumbohm

Prepared for submission

Abstract

Common marmoset monkeys have been used as laboratory animals for years. Characteristics of dental structure were discussed before but the digestion specifics are not entirely known yet. Recommendations for common marmoset monkeys regarding their supply of main nutrients are just partly available and not satisfying.

The aim of this study was to determine the influence of a graded addition of *gummi arabicum* powder (0%, 2.5%, 5%, 7.5 %) to a newly developed diet on feed-intake and digestibility. Furthermore, the comparative feed-intake of the tested diets was examined based on three different feeding concepts (3 days, 1 week, 3 weeks) and related to a six weeks standard diet.

The addition of 5% *gummi arabicum* to the diet resulted in highest and most stable feed-intake while the addition of 7.5% *gummi arabicum* brought no further improvement.

According to the feeding concepts the continuous feeding over a 3 weeks period showed the best results related to feed-intake.

In conclusion, further research is needed to establish long-term nutritional concepts for the longevity of common marmoset monkeys as laboratory animals.

Introduction

The common marmoset (*Callithrix jacchus*) is a New World monkey belonging to the big family of Callithrichids from South- and Central America. Small body size (about 350g in the wild) and strict day-activity is typical. The animals can be characterized as *gummivore*. Depending on the season, searching and consuming tree exsudates accounts for between 20% and 70% of their daily feed-intake (Harrison and Tardif, 1994).

Even though common marmoset monkeys are housed and bred as laboratory animals since 1920/1930, there have hardly been any attempts to develop an appropriate nutrition for the species, based on verified requirements. Especially considering their longevity and the importance of laboratory standardization a complete diet is necessary.

Literature

The animals dental structure is specially adapted in that their canines and incisors are of equal length so as to enable them to nibble holes in tree bark and lick the sap. As the incisors are covered by just a thin layer of dentin, the teeth get a rodent-like chisel form from gnawing at trees (Fleagle, 1999). Next to this specialization and the presence of claw-like nails on all extremities, the common marmoset is adapted to the digestion of tree exsudates through the combination of a relatively low developed small intestine and a, compared with other primates, highly developed large intestine, (Harrison and Tardif, 1994). Unlike *omnivorus* rhesus macaques, the microflora in

the gut of common marmosets is specialized to ferment hard-to-digest nutritional components like tree exsudates (Bailey and Coe, 2002).

Specifics of digestion

Common marmoset monkeys have a special dental structure that enables them to gnaw at tree bark very efficiently. The lower incisors are as long as the lower canines and have a chisel-like form, comparable to rodents (Fleagle, 1999). The gastrointestinal-tract also shows some specialization in form of a relatively short small intestine and a very distinctive large intestine. Therefore, the common marmoset has the ability to digest tree exsudates more efficiently than other non-human primates (Harrison and Tardif, 1994). The passage-rate through the gastrointestinal-tract might be slower due to the large fraction of non-starch-polysaccharides in the exsudat-based diet. Fruits and insects are efficiently digested in the small intestine. This leads to a higher flexibility to changes in the diet (McWhorter and Karasov, 2007). A special adaption to the digestion of fruits and insects is not assumed in *Callithrichidae* (Coimbra-Filho, 1976). The microflora in the gut of common marmosets is substantially different to the one of omnivorous rhesus macaques. Experiments of Bailey et al. (2002) showed a high complete bacterial count in the large intestine compared with the small intestine. A specialization to indigestive feed and an associated increased fermentation in the large intestine might be the reason. This could not be observed in rhesus macaques which are primarily feeding on eupeptic feed.

Energy requirements of common marmoset monkeys of different age, sex and life stage are offered by King et al. (1978), Nievergelt and Martin (1999) and Tardif et al. (2004). Different authors present data about protein digestion and requirements (Clarke et al., 1977; Flurer and Zucker, 1985; Flurer et al., 1987a; Gore et al., 2001; Zucker and Flurer, 1989). A collection of data about vitamin, macro- and trace elements can be seen in NRC (2003). These papers provide the basic data for the composition of a complete diet. They nevertheless failed to offer concepts for longevity under practical laboratory conditions.

Experiment

The following experiment was conducted to find a complete diet, well accepted by the animals and easy to standardize under practical conditions. As the animals are fond of pure *gummi arabicum*, we expected to enhance long term feed acceptance and, regarding gut-specialization, to establish a stable digestion and fermentation to avoid diarrhea.

Next to the influence of added *gummi arabicum* on the feed-intake, the experiment also investigated whether a change in the feeding concept of the tested diets could affect the feed-intake. Due to the change in the feeding concept, this leading to an increased interest by the animals in the feed, we expected a correlation between change of feed and feed-intake.

Methods

Subjects

The animals in this study were 28 full-grown (14 male, 14 female), pair-housed, common marmoset monkeys of the German Primate Centre, Göttingen, Germany. Their overall initial body mass ranged from 288 g to 566 g.

Husbandry

The marmoset monkeys were housed in wire mesh cages (cage size 70x50x125cm). In each cage a sleeping box and wooden sitting boards were installed. Under each cage an extricable tray allowed the collection of food remains and feces samples. Animals living in pairs were accustomed to each other; individual housing was avoided to allow ‘normal’ social behavior. The floor under the cages was covered by paper sheets. Urine, feces and leftovers were removed daily by exchanging of the paper sheets.

The study room and the cages were cleaned in weekly intervals and disinfected with water and *Biguacid* (Antiseptica, Polheim/Brauweiler, Austria). The room temperature was maintained at $26^{\circ}\text{C} \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ while the relative humidity was kept between 60% and 80%. These parameters were controlled daily. Artificial light was set to provide a cycle of 12 hours light and 12 hours darkness starting from 7:30am. Air exchange rate was set approximately 8 times per hour and filtered adequately. All materials were changed, cleaned and sterilized regularly.

Diet

5 different diets were offered. Apart from a standard diet, which was known by the animals and had been used in the facility for several years as additional food, there were four experimental diets pelleted with 10 mm diameter and approximately 1-2 cm length): a plant based control diet and three basal diets added with different percentage of *gummi arabicum* powder (GA) (0%, 2.5%, 5% and 7.5%).

The offered diets are listed in Table 1. There is a big difference in crude protein and crude fiber content between the tested and the standard diets notable. Tested diets are very similar and distinguished primarily in the *gummi arabicum* (GA) content.

Table 1: main nutrients in standard and tested diets (in % of dry mass)

%/diet	0% GA	2.5% GA	5% GA	7.5% GA	standard
crude protein	21.18	21.08	20.93	20.6	30.3
crude fat	9.3	9.3	8.9	8.8	7.3
crude fiber	7.5	7.7	7.1	6.9	2.5
crude ashes	5	5.1	5	5.2	6.8

All ingredients of tested diets were mixed in a Lödige FM 130 D blender with manual loading. Following accurate mixing, pellets were pressed in a Cissonius

PP200 Rigid Granular Fodder Machine. Using a power of 7.5 KW the mixture was pressed through a 6 mm template at 60°C. The pellets were cooled and dried in a fresh air dehumidifier at room temperature over night and subsequently /frozen at -20°C.

All experimental diets included titaniumdioxide (TiO₂) as external marker for later analyses of feces samples.

Each couple of animals was offered 70 g of feed every day, which, as we discovered suffices for *ad libitum*-feeding.

Experimental Design

The experimental period lasted 6 weeks with a change in the feeding concept after 3 weeks. There were 3 feeding concepts tested and compared with a continuous feeding of the commercial diet for the complete experimental period. The feeding concepts are illustrated in figure 1.. The three tested feeding concepts were changed for each cage after 3 weeks. Hence, an examination of 2 different feeding concepts per cage was realized.

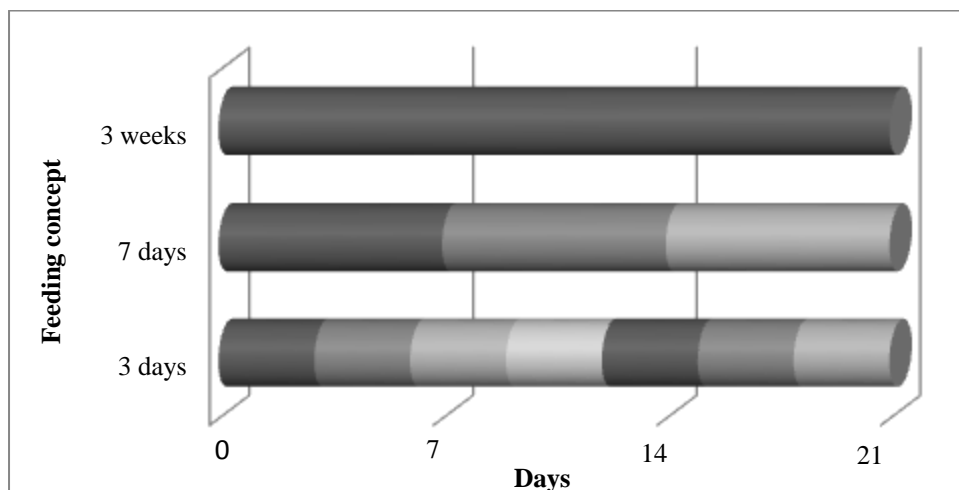


Fig. 1: Survey of different feeding concepts

To measure the real feed-intake and feed-lost, the remains in the feeding dish and the fell-down-feed in the tray were separately collected in the morning. Accordingly half of the daily ration was offered to the animals. The rest was filled in the afternoon as the animals were used to be fed twice a day Water was offered *ad libitum*.

The weekly routine included a cleaning day and the measurement of the individual body weight of each animal (empty-stomached).

Daily feces collection was conducted in the third and the fifth week of the experiment. Clean (i.e. without urine or feed adherence) feces was collected four times a day from the tray and promptly frozen at -18°C.

Laboratory Analyses

All analysis for estimation of nutritional value of the commercial and experimental diets, including Weender-Analysis, according to VDLUFA standards amino acid-, starch-, sugar-, TiO₂- and energy- estimation were completed in the Laboratory of the Animal Nutrition Physiology of the University of Göttingen.

To measure the feed-intake and feed-lost on a dry matter basis all collected samples were dried at 103°C overnight and weighed after drying.

Statistics

Statistical analyses of the Data utilized oneway ANOVA test in PASW-Statistics, Version 18.0 (P=0.05 or higher) with separated analysis of phase 1 and phase 2. The dataset for phase 1 demanded a Games-Howell post-hoc test, phase 2 demanded a Tukey-HSD post-hoc test.

Results

Table 2 summarizes the mean feed-intake per cage in the first three weeks (phase 1) and the second three weeks (phase 2).

It is notably that animals increased feed-intake of the 0%, 2.5% and 7.5% GA- diet within this time span. The feed-intake of animals fed the standard diet decreased between the first and second phase. It is notable that the 5% GA-diet feed-intake remained stable.

Table 2: mean feed-intake per cage (g DM/day \pm standard deviation) in the first and second phase of the experiment

diet	mean feed-intake per cage (g DM/day)	
	phase 1	phase 2
0.0% GA	19.0 \pm 5.7 ^a	22.5 \pm 4.4 ^c
2.5% GA	18.5 \pm 3.7 ^a	24.3 \pm 3.7 ^b
5.0% GA	24.7 \pm 5.6 ^b	24.7 \pm 4.0 ^{ab}
7.5% GA	20.7 \pm 5.3 ^a	27.5 \pm 5.3 ^a
standard	24.5 \pm 3.5 ^b	22.8 \pm 3.1 ^{bc}

In figure 2 the different feeding concepts are compared. The aim was to find out whether the animals reaction differed noticeably if the offered feed was changed in different time spans. Each graph shows the mean feed-intake in g dry mass (DM) for each day of the 3 weeks test-period and also the analogous minimum and maximum for the day.

The decrease of feed-intake following the standard-diets can be seen. However, this diet varied least over the time. Within the tested diets the three-weeks-feeding concept showed least variability. The three-days feeding concept had the highest feed-intake values but also the highest variability.

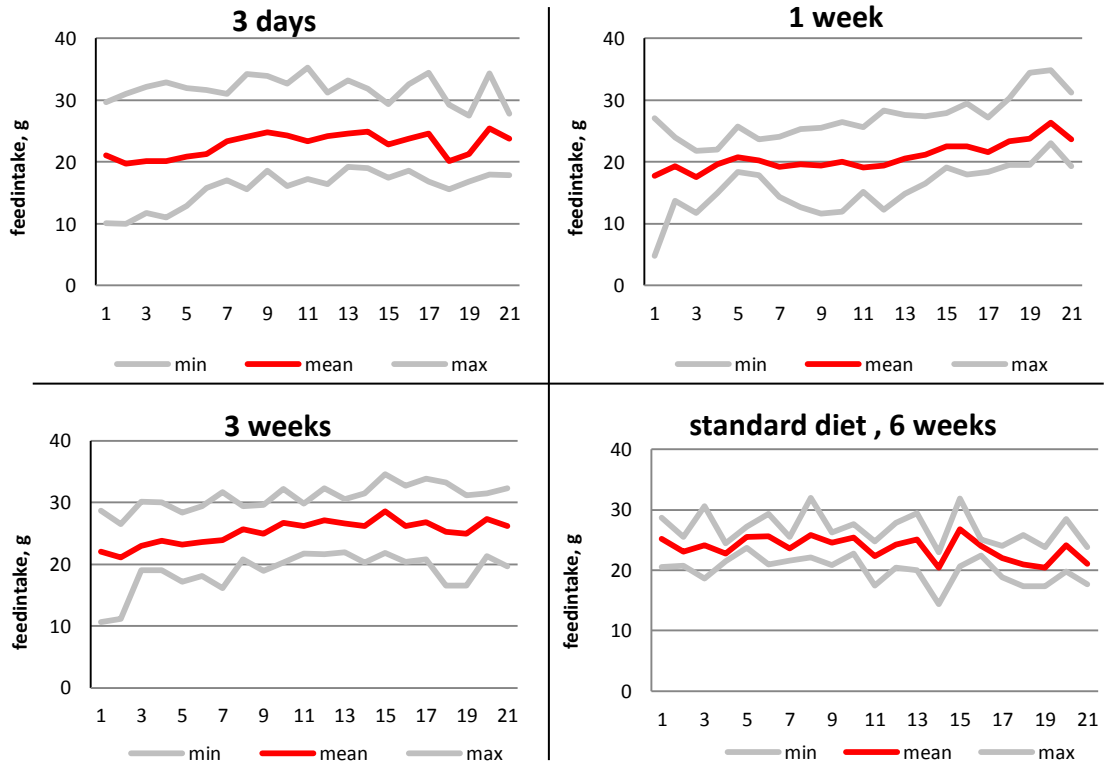


Fig. 2: Mean, minimum and maximum feed-intake within different feeding concepts

Table 3 illustrates the above named data about the different feeding concepts related to the calculated mean feed-intake in % of the animals body mass.

Table 3: Mean feed-intake in % of body mass within the tested feeding concepts

feeding concept		mean feed-intake in % of body mass
3 days	total	2.67
	phase 1	2.39
	phase 2	2.90
1 week	total	2.85
	phase 1	2.69
	phase 2	3.01
3 weeks	total	3.20
	phase 1	2.98
	phase 2	3.48
Standard diet/ 6 weeks	total	3.26
	phase 1	3.39
	phase 2	3.12

The digestibility of different main nutrients can be seen in table 4. Feces samples were taken for a period of seven days in the middle of the three weeks feeding concept and pooled after freeze drying. The below stated formula was used to

calculate the rate of digestibility (DR). Calculated was the digestibility of the main nutrients crude protein (XP), crude fat (XL) and crude fiber (XF).

$$DR = 100\% - \left[\frac{(I_D * N_F)}{(N_D * I_F)} \right] * 100\%$$

I_D = indicator concentration in the diet (%)

I_F = indicator concentration in the feces (%)

N_D = nutrient concentration in the diet (%)

N_F = nutrient concentration in the feces (%)

Table 4: Digestibility (%) of crude protein (DR XP), crude fat (DR XL) and crude fiber (DR XF) of the tested diets

diet / DR (%)	Cages (n)	DR XP	DR XL	DR XF
0.0% GA	2	65.29	69.10	24.04
2.5% GA	2	62.77	67.32	36.09
5.0% GA	2	68.89	75.74	16.25
7.5% GA	1	61.87	81.42	*
standard	4	81.57	77.08	*

*analysis could not be accomplished because of (an) undersized sample(s)

The XF-analysis shows a decreasing correctness with decreasing sample size. Therefore the DR XF results in table 4 should be handled with care.

Discussion

The standardization of experimental conditions is essential for the value of the results. This is especially true for experiments with animals, as these are exceedingly complex and time consuming. Animals have to be in optimal physical condition and good health to fulfill high animal-welfare-standards. To assure best results of biomedical studies and optimal statistical analyses of the experiments, standardized conditions like care, keeping and feeding are crucial preconditions. Industrial feeds tend to impair physical condition by oversupplying micro- and macronutrients. As knowledge about requirements is scarce, many experimental units make use of different feeding concepts to compensate this uncertainty. Common marmoset monkeys do, in addition to these factors, have high demands on sensory characteristics of the feed. Thus, the standardization and the fulfillment of these demands have to be our intention.

As mentioned before, there were some experiments carried out that offered feed-intake data. The problem of these experiments however was that they were in most

cases not conducted under practical laboratory conditions or did not offer complete daily feed-intake data on a dry matter basis. This data is however the fundament of the development of a complete diet.

Characteristic of the tested diets was the addition of *gummi arabicum* powder. This is a new approach in the development of a standardized diet. The background was to more closely emulate the natural feed of common marmoset monkeys and to address concerns of their specialized digestion. The different rates of *gummi arabicum* powder in the diet were chosen to establish which rate would be substantial enough to lead to an increased feed-intake. The economic considerations however should not be underestimated against the background of the ideal production of a standardized diet.

The diet with 5% GA showed the best results in phase one and the second best results in phase 2 (phase 1: 24.7 ± 5.6 ; phase 2: 24.7 ± 4.0). The feed-intake was very stable over the whole period and comparable to the standard diet. Even if the 7.5% GA-diet showed the highest increase from phase 1 to phase 2 and the highest value in phase 2 (phase 1: 20.7 ± 5.3 ; phase 2: 27.5 ± 5.3) the stability of feed-intake was preferred.

The chosen 5%-GA diet showed no significant differences to the standard diet in both phases and therefore met the required comparability of tested and standard diet.

Also for the evaluation of the feeding concepts the stability of feed-intake was the most important factor. Secondly economic considerations were incorporated.

At the beginning of the experiment we expected the more often feed change in the 3 days- and 1 weeks feeding concept lead to a higher and more stable feed-intake, but the data ultimately showed, that this was not the case. The animals accepted the three-weeks feeding concept well according to the feed-intake data

Apart from the feeding concept, an adaption period of two weeks was necessary for acclimatization, adjustment of the intestinal flora and prevention of diarrhea. During this time the feed-intake decreased but normalized afterwards. A mixture of new diet and known food can be reasonable for sensitive animals to alleviate the feed change.

The long term feeding of one diet has different benefits. First, one diet can be standardized and analyzed efficiently in matters of laboratory work and pharmacological studies. Second, caretakers work is easier without a complicated feeding concept and mistakes in feeding are easier to avoid. Third, it is more economic to produce a single diet.

Highest hygienic standards in feed production and storage as well as a good health standard of the animals were fundamental for the success of this experiment and will continue to be so in future experiments.

Developing an optimal complete diet that is well accepted by common marmoset monkeys and results in steady feed-intake over a long time will be the aim of future experiments.

References

- 1 Harrison ML, Tardif SD: Social implications of gummivory in marmosets. *Am J Phys Anthropol* 1994; 95:399-408.
- 2 Fleagle JG: *Primate Adaption and Evolution*. San Diego: Academic Press, 1999.
- 3 Bailey MT, Coe CL: Intestinal microbial patterns of the common marmoset and rhesus macaque. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol* 2002; 133:379-388.
- 4 McWhorter TJ, Karasov WH: Paracellular nutrient absorption in a gum-feeding new world primate, the common marmoset *Callithrix jacchus*. *Am J Primatol* 2007; 69:1399-1411.
- 5 Coimbra-Filho AF: Exudate-eating and tree-gouging in marmosets. *Nature* 1976; 262:630.
- 6 King GJ: Comparative feeding and nutrition in captive, non-human primates. *Br J Nutr* 1978; 40:55-62.
- 7 Nievergelt CM, Martin RD: Energy intake during reproduction in captive common marmosets (*Callithrix jacchus*). *Physiol Behav* 1999; 65:849-854.
- 8 Tardif S, Power M, Layne D, Smucny D, Ziegler T: Energy restriction initiated at different gestational ages has varying effects on maternal weight gain and pregnancy outcome in common marmoset monkeys (*Callithrix jacchus*). *Br J Nutr* 2004; 92:841-849.
- 9 Zucker H, Flurer CI: The protein requirement of adult marmosets: nitrogen balances and net protein utilization of milk proteins, soy protein, and amino acid mixtures. *Z Ernahrungswiss* 1989; 28:142-148.
- 10 Flurer C, Zucker H: Long-term experiments with low dietary protein levels in *Callithricidae*. *Primates* 1985; 26:479-490.
- 11 Flurer CI, Sappl A, Adler H, Zucker H: Determination of the protein requirement of marmosets (*Callithrix jacchus*) by nitrogen balance with regard to the concentration of essential amino acids in the diet. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 1987; 57:23-31.
- 12 Clarke HE, Coates ME, Eva JK, Ford DJ, Milner CK, O'Donoghue PN, Scott PP, Ward RJ: Dietary standards for laboratory animals: report of the Laboratory Animals Centre Diets Advisory Committee. *Lab Anim* 1977; 11:1-28.
- 13 Gore MA, Brandes F, Kaup FJ, Lenzner R, Mothes T, Osman AA: *Callitrichid nutrition and food sensitivity*. *J Med Primatol* 2001; 30:179-184.
- 14 NRC: National Research Council, *Nutrient Requirements of nonhuman Primates*. Washington D.C.: The National Academics Press, 2003.

Anhang 2- Tabellen

Tabelle 1: Futteraufnahme (Wochenmittel), Futtergabe (Wochenmittel), Diät und Körpermasse der Tiere (Versuch 1)

Tiere	Startgewicht	Phase	Diät	Woche	Futteraufnahme	Futtergabe	KM w	KM m
					(g je Käfig) Wochenmittel	(g je Käfig) Wochenmittel	(w a) (g)	(w b) (g)
w m	486 298	1	1	1	17,93	54,78	285	453
				2	25,70	47,00	298	450
				3	24,17	42,49	289	444
		2	4	4	28,37	48,24	286	436
				5	24,07	47,70	296	439
				6	25,09	48,43	295	441
		3	7	7	36,14	57,44	287	455
				8	30,50	54,34	302	455
				9	32,18	61,38	301	457
w m	447 394	1	1	1	6,29	66,41	384	341
				2	13,72	58,98	382	342
				3	17,33	48,44	376	341
		2	4	4	25,29	39,51	361	334
				5	20,27	51,18	382	354
				6	21,93	51,93	364	347
		3	2	7	19,13	38,81	365	347
				8	22,14	47,36	356	342
				9	21,20	40,06	360	341

Tiere	Startgewicht	Phase	Diät	Woche	Futtermittel	Futtermittel	KM w	KM m
					Futtermittel	Futtermittel	(w a) (g)	(w b) (g)
w m	484 399	1	2	1	19,13	52,44	467	399
				2	26,07	46,33	467	370
				3	25,07	44,02	469	367
		2	3	4	28,81	44,23	467	364
				5	29,52	43,53	462	360
				6	28,64	41,40	469	359
		3	1	7	24,99	34,66	464	357
				8	27,35	33,86	462	358
				9	25,65	31,94	457	359
w (a) w (b)	506 387	1	3	1	9,91	62,37	474	345
				2	17,41	54,71	466	337
				3	17,72	48,71	466	334
		2	1	4	17,57	54,88	444	306
				5	18,96	53,48	424	298
				6	15,57	47,83	401	297
		3	2	7	24,30	47,51	407	315
				8	23,93	41,41	405	308
				9	22,93	44,98	397	304
Tiere	Startgewicht	Phase	Diät	Woche	Futtermittel	Futtermittel	KM w	KM m
					Futtermittel	Futtermittel	(w a) (g)	(w b) (g)

w m	505 350	1	3	1	21,43	49,97	488	332
				2	27,22	46,47	488	330
				3	24,04	44,36	474	330
		2	1	4	28,37	44,08	459	329
				5	28,42	44,03	451	332
				6	26,70	39,22	437	327
		3	2	7	28,70	52,67	429	323
				8	25,79	44,57	448	322
				9	28,60	56,05	432	317
w m	323 509	1	5	1	15,60	56,53	303	452
				2	18,89	53,69	299	450
				3	17,10	49,22	292	438
		2	7	4	34,85	38,00	291	403
				5	29,56	43,28	316	455
				6	28,05	38,40	314	439
		3	7	7	29,57	46,22	326	438
				8	28,12	38,49	334	449
				9	23,58	40,97	333	441

Tiere	Startgewicht	Phase	Diät	Woche	Futteraufnahme	Futtergabe	KM w	KM m
					(g je Käfig) Wochenmittel	(g je Käfig) Wochenmittel	(w a) (g)	(w b) (g)
w m	520 408	1	5	1	18,80	53,71	483	380
				2	22,27	51,13	467	378
				3	16,07	50,54	460	370
		2	7	4	34,83	38,04	446	314
				5	23,73	49,11	487	359
				6	31,52	31,00	463	332
		3	7	7	29,62	44,91	476	348
				8	27,00	39,47	480	346
				9	29,76	36,89	474	352
w m	437 503	1	6	1	15,28	51,98	412	464
				2	26,85	47,48	402	455
				3	21,73	40,84	399	429
		2	7	4	33,12	41,91	385	412
				5	25,54	47,61	436	465
				6	27,38	39,15	431	443
		3	7	7	30,30	52,41	445	450
				8	31,01	46,51	452	459
				9	31,80	46,66	462	464

Tiere	Startgewicht	Phase	Diät	Woche	Futteraufnahme	Futtergabe	KM w	KM m
					(g je Käfig) Wochenmittel	(g je Käfig) Wochenmittel	(w a) (g)	(w b) (g)
w m	407 418	1	4	1	24,95	51,77	400	378
				2	20,12	56,16	394	370
				3	11,43	54,99	371	365
		2	7	4	26,59	45,89	311	349
				5	21,47	52,50	377	375
				6	22,79	43,03	350	367
		3	7	7	25,38	32,89	374	376
				8	21,31	24,01	383	373
				9	23,84	28,86	376	366
w m	327 467	1	4	1	19,73	51,50	319	459
				2	20,28	50,99	315	447
				3	21,10	32,82	309	443
		2	2	4	22,67	48,91	306	427
				5	22,69	50,00	294	427
				6	26,81	45,29	290	415
		3	7	7	30,59	45,64	299	440
				8	28,82	45,63	306	448
				9	28,49	46,90	308	447

Tabelle 2: Futteraufnahme (Wochenmittel), Futtergabe(Wochenmittel), Diät und Körpermasse der Tiere (Versuch 2)

(NF=Aromafrei, V=Vanille, CVC=Kokos-Vanille-Karamel, CA= Citro-Apple, H=Honig, CA= Kirsch-Mandel, C= kommerzielle Diät)

Tiere	Startgewicht	Phase	Diät	Woche	Futteraufnahme	Futtergabe	KM w	KM m	
					(g je Käfig)	(g je Käfig)			
					Wochenmittel	Wochenmittel	(w a) (g)	(w b) (g)	
w m	570 362	1	NF	1	12,61	40,99	570	362	
				2	7,69	41,08	489	347	
				3			399	326	
		2			4			344	326
					5				
					6				
		3			7				
					8				
					9				
w m	452 391	1	NF	1	10,02	29,54	452	391	
				2	17,92	41,15	410	350	
				3	20,39	36,43	405	347	
		2	V		4	19,09	37,85	396	343
					5	19,00	32,97	385	337
					6	19,71	33,64	385	337
		3	H		7	17,54	29,94	380	338
					8	18,69	31,98	373	327
					9	19,61	37,11	367	317

Tiere	Startgewicht	Phase	Diät	Woche	Futtermaufnahme (g je Käfig) Wochenmittel	Futtermgabe (g je Käfig) Wochenmittel	KM w (w a) (g)	KM m (w b) (g)
w m	522 360	1	CVC	1				
				2				
				3				
		2	NF	4	23,80	32,02	522	360
				5	14,56	32,84	412	335
				6	31,55	50,83	412	335
		3	C	7	31,71	48,73	426	346
				8	31,72	59,97	421	355
				9	34,15	59,49	417	376
w (a) w (b)	496 329	1	LA	1	12,69	31,16	496	329
				2	20,10	41,77	462	309
				3	19,28	40,58	459	306
		2	CVC	4	22,73	46,05	446	277
				5	20,94	45,99	436	279
				6	29,02	37,52	436	279
		3	C	7	28,35	37,66	459	315
				8	28,27	38,79	473	312
				9	20,56	30,19	474	317

Tiere	Startgewicht	Phase	Diät	Woche	Futteraufnahme	Futtergabe	KM w (w a) (g)	KM m (w b) (g)
					(g je Käfig)	(g je Käfig)		
					Wochenmittel	Wochenmittel		
w m	482 369	1	LA	1	18,34	50,08	482	369
				2	23,20	60,17	462	341
				3	24,80	48,70	465	337
		2	CVC	4	25,09	49,59	447	340
				5	21,61	48,78	423	328
				6	24,47	57,25	423	328
		3	CA	7	25,57	61,94	413	332
				8	30,15	62,67	406	327
				9	28,11	61,94	405	347
w m	334 437	1	CA	1	12,49	22,86	334	437
				2	18,13	27,58	312	403
				3	20,23	25,62	309	399
		2	LA	4	18,06	21,93	309	397
				5	15,74	23,17	294	365
				6	32,37	51,33	294	365
		3	C	7	28,32	54,39	317	387
				8	21,87	49,94	325	386
				9	17,66	37,98	330	359

Tiere	Startgewicht	Phase	Diät	Woche	Futteraufnahme	Futtergabe	KM w (w a) (g)	KM m (w b) (g)	
					(g je Käfig) Wochenmittel	(g je Käfig) Wochenmittel			
w m	515 422	1	CA	1	24,88	58,56	515	422	
				2	22,00	52,10	489	409	
				3	63,04	63,04	422	408	
		2			4			338	394
					5				
					6				
		3			7				
					8				
					9				
w m	512 485	1	H	1	26,52	38,37	512	485	
				2	30,31	38,94	500	476	
				3	29,41	37,60	496	474	
		2	CA		4	29,74	37,84	490	471
					5	28,01	32,46	479	466
					6	26,36	31,48	479	466
		3	V		7	26,68	34,12	464	449
					8	26,13	32,75	470	456
					9	12,88	19,13	424	426

Tiere	Startgewicht	Phase	Diät	Woche	Futteraufnahme	Futtergabe	KM w	KM m
					(g je Käfig)	(g je Käfig)	(w a) (g)	(w b) (g)
					Wochenmittel	Wochenmittel		
w m	476 478	1	H	1	12,51	39,80	476	478
				2	29,87	51,36	418	432
				3	24,72	43,19	444	422
		2	CA	4	22,13	37,91	430	416
				5	21,77	32,58	393	401
				6	22,35	42,65	393	401
		3	LA	7	23,60	43,69	378	394
				8	26,37	58,20	374	402
				9	23,45	48,98	365	382
w m	404 497	1	V	1	12,23	28,68	404	497
				2	20,61	34,17	375	430
				3	20,87	43,87	376	425
		2	H	4	22,50	46,42	373	400
				5	20,38	46,49	364	375
				6	19,95	38,62	364	375
		3	LA	7	13,04	50,74	345	386
				8			310	345
				9				

Tiere	Startgewicht	Phase	Diät	Woche	Futteraufnahme	Futtergabe	KM w	KM m
					(g je Käfig)	(g je Käfig)	(w a) (g)	(w b) (g)
					Wochenmittel	Wochenmittel		
w	322	1	V	1	20,87	47,70	322	447
m	447			2	26,96	43,75	310	419
				3	27,96	50,15	304	425
		2	H	4	28,94	55,56	298	414
				5	28,40	50,85	294	404
				6	24,69	50,35	294	404
		3	C	7	24,93	41,32	269	386
				8			247	425
				9				

Tabelle 3: Futteraufnahme (Wochenmittel), Futtergabe(Wochenmittel), Diät und Körpermasse der Tiere (Versuch 3)

Tiere	Startgewicht	Phase	Fütterungskonzept	Diät	Woche	Futteraufnahme	Futtergabe	KM w (g)	KM m (g)			
						(g je Käfig) Wochenmittel	(g je Käfig) Wochenmittel					
w	499	1	3 Wochen	5% GA	1	25,63	39,86	480	380			
m	385				2	27,90	34,28	485	385			
					3	28,46	34,86	485	375			
					4	23,42	33,67	475	380			
					2	3 Tage	2,5% GA, basis, 7,5% GA, 5% GA, 2,5% GA, basis, 7,5% GA	5	24,60	42,23	456	373
								6	20,92	33,91	449	371
w	552	1	3 Wochen	5% GA	1	29,08	55,20	530	475			
m	502				2	29,85	53,45	530	460			
					3	32,52	58,70	540	450			
					4	30,70	51,86	540	440			
					2	3 Tage	2,5% GA, basis, 7,5% GA, 5% GA, 2,5% GA, basis, 7,5% GA	5	33,13	59,43	548	448
								6	27,73	54,81	545	438
w	566	1	3 Wochen	7,5% GA	1	17,34	40,81	535	420			
m	480				2	27,36	39,33	560	420			
					3	28,93	46,04	555	395			
					4	27,65	45,48	545	385			
					2	3 Tage	2,5% GA, basis, 7,5% GA, 5% GA, 2,5% GA, basis, 7,5% GA	5	28,09	48,26	551	377
								6	25,95	44,50	552	381

Tiere	Startgewicht	Phase	Fütterungskonzept	Diät	Woche	Futteraufnahme	Futtergabe	KM w (g)	KM m (g)
						(g je Käfig)	(g je Käfig)		
						Wochenmittel	Wochenmittel		
w	298	1	1 Woche	2,5 % GA	1	18,35	28,61	290	340
m	350			7,5% GA	2	16,85	29,44	295	325
				5 % GA	3	20,92	30,43	290	330
				basis	4	19,41	23,65	280	320
		2	3 Wochen		5	21,38	36,77	279	327
					6	19,74	34,50	278	323
w	348	1	1 Woche	2,5 % GA	1	17,19	29,56	325	360
m	368			7,5% GA	2	17,75	28,49	305	360
				5 % GA	3	21,79	32,54	295	360
				2,5 % GA	4	23,37	32,40	300	350
		2	3 Wochen		5	23,78	30,91	294	362
					6	22,29	35,31	286	352
w	288	1	3 Wochen	standard	1	24,28	48,09	295	375
m	371				2	22,70	49,58	295	380
					3	21,22	41,23	290	380
				standard	4	21,88	41,40	295	380
		2	3 Wochen		5	21,23	34,43	284	377
					6	20,34	32,21	290	374

Tiere	Startgewicht	Phase	Fütterungskonzept	Diät	Woche	Futteraufnahme	Futtergabe	KM w (g)	KM m (g)
						(g je Käfig)	(g je Käfig)		
						Wochenmittel	Wochenmittel		
w	453	1	1 Woche	2,5 % GA	1	20,21	59,04	420	370
m	410	2	3 Wochen	7,5% GA	2	14,23	61,39	390	350
				5 % GA	3	27,29	61,57	400	345
				2,5% GA	4	23,91	61,23	380	325
					5	26,08	61,52	381	311
					6	28,08	61,61	413	326
w	343	1	3 Tage	basis, 5% GA,	1	13,40	27,29	320	450
m	492	2	1 Woche	7,5% GA, 2,5% GA,	2	18,04	38,71	310	440
				basis, 5% GA, 7,5% GA	3	18,51	35,95	310	420
				basis	4	17,54	46,48	300	400
					5	20,68	37,54	300	393
					6	21,16	39,08	295	378
w	539	1	3 Tage	basis, 5% GA,	1	14,90	36,95	465	455
m	482	2	1 Woche	7,5% GA, 2,5% GA,	2	24,61	51,80	465	465
				basis, 5% GA, 7,5% GA	3	27,44	58,62	460	460
				basis	4	22,41	51,46	435	440
					5	26,33	43,38	434	434
					6	27,79	45,64	448	444

Tiere	Startgewicht	Phase	Fütterungskonzept	Diät	Woche	Futterraufnahme (g je Käfig)		Futtergabe	
						Wochenmittel	Wochenmittel	KM w (g)	KM m (g)
w	392	1	3 Tage	basis, 5% GA,	1	18,61	25,54	370	390
m	402	2	1 Woche	7,5% GA, 2,5% GA,	2	21,19	24,29	370	385
				basis, 5% GA, 7,5% GA	3	22,27	31,72	370	380
				basis	4	18,74	22,91	345	360
				2,5% GA	5	18,79	24,24	337	361
				5% GA	6	22,27	39,00	331	366
w	373	1	3 Tage	basis, 5% GA,	1	18,04	26,75	361	301
m	316	2	1 Woche	7,5% GA, 2,5% GA,	2	20,65	23,83	355	300
				basis, 5% GA, 7,5% GA	3	19,12	21,76	355	295
				basis	4	23,61	29,96	360	275
				2,5% GA	5	23,22	30,80	364	287
				5% GA	6	22,42	33,24	353	279
w	364	1	1 Woche	2,5 % GA	1	15,45	39,50	340	465
m	503	2	2 Wochen	7,5% GA	2	21,28	28,63	325	450
				5 % GA	3	23,31	28,11	335	440
				basis	4	21,71	27,50	315	440
					5	27,10	31,38	313	428
					6	25,22	31,60	315	427

Tiere	Startgewicht	Phase	Fütterungskonzept	Diät	Woche	Futtermaufnahme	Futtermgabe	KM	KM
						(g je Käfig)	(g je Käfig)	w (g)	m (g)
						Wochenmittel	Wochenmittel		
w	477	1	3 Wochen	standard	1	27,15	45,16	495	295
m	288				2	26,95	41,40	490	300
					3	25,27	38,11	485	305
					4	23,89	33,60	490	315
					5	25,06	34,53	481	315
					6	24,59	31,72	487	320

Tabelle 4: Errechnete Verdaulichkeit der Rohnährstoffe der Diäten (Versuch 3)

Diät / Verdaulichkeit (D) (%)	D XP	D XL	D XF
Basis (0%)	65,29	69,10	24,04
2,50%	62,77	67,32	36,09
5%	68,89	75,74	16,25
7,50%	61,87	81,42	-3,85
standard	81,57	77,08	-9,54

Tabelle 5: Aminosäuregehalte des Standards (kommerzielle Diät)(Versuch 1-4)

Aminosäuren	Mittelwert mg AS / g in TS
Cys ox	5,074
Asp	26,556
Met ox	7,243
Thr	11,848
Ser	13,748
Glu	55,487
Pro	19,583
Gly	10,452
Ala	11,562
Val	12,787
Ileu	12,106
Leu	22,284
Tyr	10,803
Phe	12,942
His	8,110
Lys	17,461
Arg	16,381

Tabelle 6: Analyseergebnis des Standards (Versuch 1-4)

Analyse	%
TS	91,0136
Asche	6,7916
	% der TS
XL	7,3341
N	4,8421
XP	30,2633
XF	2,5956
Stärke	26,9230
Zucker	16,3086

Tabelle 7: verwendeter Prämix (Deutsche Vilomix GmbH)

Vitamine	Pro kg Prämix
D3	875 000 IU
A	1 000 000 IU
E	12 000 mg
C	50 000 mg
K3	500 mg
Thiamin	110 mg
Riboflavin	560 mg
Niacin	6 500 mg
Pantothensäure	2 000 mg
Pyridoxin	280 mg
Biotin	15 mg
Folsäure	1 000 mg
B12	10 000 µg
Cholinchlorid	244 000 mg
Spurenelemente	mg/kg Prämix
Mangan	7 000
Eisen	12 000
Jod	65
Kupfer	2 000
Zink	2 000

Tabelle 8: Ergebnisse der Blutanalytik der Futtergruppen (Mittelwert, SD)

		5% GA		5 % GA+ Brei		Standard	
		Mittelwert	SD	Mittelwert	SD	Mittelwert	SD
Alkalische Phosphatase	U/L	90,416667	30,720021	52	24,562845	96,5	39,373849
Gesamt Harnstoff	mg/dL	20,466667	3,4973583	24,8	9,8937691	25,916667	4,4741107
Gesamt Calcium	mmol/L	2,4825	0,175454	2,475	0,1330413	2,5183333	0,2364248
Creatinin	mg/dL	0,3391667	0,0739113	0,385	0,1206924	0,325	0,1040673
C-Reaktives Protein	mg/L	3,975	1,5781997	2	0	5,15	0,9814955
Eisen (im Plasma)	µg/dl	38,191667	15,231215	33,1	8,814004	37,266667	29,382285
Harnsäure	mmol/L	1,23	0,7850999	1,3125	0,788136	2,1316667	1,5572593
Gesamt Protein	g/dL	6,065	0,7966896	6,355	0,3181981	6,5125	0,7458943
Anzahl Geamt Leukozyten	x1000/L	3352,7273	1230,2934	4947,5	1572,5007	6225	3075,7422
Anzahl Neutrophile	x1000/L	1469,75	1111,9156	2327,5	604,8898	2458,5	1375,2256
Anzahl Lymphozyten	x1000/L	1377	773,99847	2445	1862,1224	3418,3333	2902,9875
Anzahl Monozyten	x1000/L	101,66667	92,576586	95,75	46,878389	276,33333	385,71838
Anzahl Eosinophile Leukozyten	x1000/L	24,5	13,494106	37,5	27,440845	21,166667	8,1342896
Anzahl Basophile Leukozyten	x1000/L	28,416667	17,753147	37	9,2014492	56,5	36,335933
Anzahl Rote Blutkörperchen	*1000000	6,7825	0,599168	6,01	0,9018869	6,3366667	0,8478836
Hämoglobin	g/dl	15,05	1,3433337	13,45	2,4826062	14,416667	0,9724539
Hämatokrit	%	49,308333	2,4659346	42,475	8,4960285	47,633333	3,1462147
mittleres Erythrozytenvolumen	fL	73,083333	5,7811344	70,225	3,892193	76,116667	5,3315726
Blutplättchen	*1000/µL	690,7	240,81161	520,5	137,96739	640,83333	189,80349
mittl. Blutplättchen volumen	fL	10,24	1,1442513	9,915	1,8273934	9,99	1,2889143

Tabelle 9: Einzeltierdaten der Blutanalytik

Geschlecht	Gewicht	Futter	Tier	Alkalische	Gesamt	Gesamt	Creatinin	C-Reaktives	Eisen	Harnsäure	Gesamt
				Phosphatase	Harnstoff	Calcium		Protein	(im Plasma)		Protein
				U/L	mg/dL	mmol/L	mg/dL	mg/L	µg/dl	mmol/L	g/dL
m	395	5 % GA	Andi	59	19,4	2,42	0,4		28,7	1,51	
w	439	5 % GA	Orina	30	17,5	2,29	0,32		35,6	1,34	
w	300	5 % GA	Eleyne	138	20,4	2,48	0,39		58,8	0,92	
m	400	5 % GA	Polio	95	20,7	2,41	0,29		31,9	1,15	
w	299	5 % GA	Huta	91	16,7	2,51	0,36	5,6	59,3	2,97	7,16
m	286	5 % GA	Ulrich	116	21,2	2,39	0,24	4,9	15	0,43	6
m	345	5 % GA	Felisto	71	28,4	2,4	0,38	1,7	25	0,58	6,32
m	352	5 % GA	Jungbolt	136	20,3	2,32	0,49	3,2	37,8	2,46	5,65
w	331	5 % GA	Ariisa	94	19,1	2,57	0,35	3,8	51,8	0,98	5,14
w	316	5 % GA	Chitane	83	18,1	2,75	0,26	6,5	56,1	0,93	6,75
w	308	5 % GA	Chitone	97	26,1	2,37	0,35	2,9	20,1	1,17	4,89
m	332	5 % GA	Inflagranti	75	17,7	2,88	0,24	3,2	38,2	0,32	6,61
w	473	5 % GA+ Brei	Arielle	24	15,5	2,59	0,3		22,8	0,62	
m	320	5 % GA+ Brei	Elias	41	34,6	2,37	0,55		37,1	2,38	
m	344	5 % GA+ Brei	Junimond	63	17,1	2,35	0,4	2	29,5	1,42	6,58
w	328	5 % GA+ Brei	Ariana	80	32	2,59	0,29	2	43	0,83	6,13
w	486	Standard	Philomene	153	21,4	2,32	0,3		25,9	2,88	
w	534	Standard	Dahlia	59	19,7	2,71	0,26		18,4	1,09	
m	416	Standard	Anakin	73	27,4	2,82	0,33	4,6	31	2,38	7,04
m	326	Standard	Zeno	66	28	2,58	0,27	4,9	28,2	0,74	7,16
w	461	Standard	Alkmene	91	27,4	2,49	0,53	6,6	96,6	4,78	6,3
m	385	Standard	Ambos	137	31,6	2,19	0,26	4,5	23,5	0,92	5,55

Tier	Anzahl Geamt Leukozyten x1000/L	Anzahl Neutrophile x1000/L	Anzahl Lymphozyten x1000/L	Anzahl Monozyten x1000/L	Anzahl Eosinophile Leukozyten x1000/L	Anzahl Basophile Leukozyten x1000/L	Anzahl Rote Blutkörperchen *1000000
Andi	2670	970	1550	48	56	46	6,34
Orina	3510	655	277	12	12	59	6,15
Eleyne	2030	657	1250	91	20	17	6,47
Polio		1140	370	43	33	16	5,82
Huta	1550	305	1180	30	20	19	6,93
Ulrich	5270	3970	1100	177	17	7	6,85
Felisto	1680	640	977	28	13	25	7,71
Jungbolt	3550	1690	1740	81	36	5	6,43
Arissa	3840	2090	1580	109	29	39	7,29
Chitane	4350	1190	2980	145	17	17	7,3
Chitone	4670	3200	1050	349	33	44	6,48
Inflagranti	3760	1130	2470	107	8	47	7,62
Arielle	7140	1810	5200	84	17	28	5,86
Elias	4000	2040	1840	54	17	41	4,8
Junimond	3640	2270	1110	163	41	48	6,81
Ariana	5010	3190	1630	82	75	31	6,57
Philomene	4370	2090	1880	336	35	27	5,56
Dahlia	12100	1860	9110	1030	23	112	6,42
Anakin	4350	631	3610	24	17	66	7,72
Zeno	3860	2360	1390	69	12	31	5,42
Alkmene	6010	3060	2780	60	24	82	6,77
Ambos	6660	4750	1740	139	16	21	6,13

Tier	Hämoglobin	Hämatokrit	mittleres Erythrozytenvolumen	Blutplättchen *1000/ μ L	mittl. Blutplättchen volumen
	g/dl	%	fL		fL
Andi	13,4	46,4	73,3	800	10
Orina	12,8	47,9	77,9	428	12,2
Eleyne	15,7	48,4	74,8	489	11,2
Polio	13,2	50,4	86,6		
Huta	15,6	47,9	69,1	359	11,1
Ulrich	15,1	48,7	71,1	651	10,1
Felisto	16,8	52,3	67,8	666	9,52
Jungbolt	15	51,2	79,6		
Arisa	15,7	50	68,6	1124	7,95
Chitane	15,7	49,1	67,2	703	10,5
Chitone	14,6	45,3	70	1007	9,63
Inflagranti	17	54,1	71	680	10,2
Arielle	12,9	40,4	68,8	371	11,1
Elias	10,2	31,4	65,4	459	11,6
Junimond	15,8	50,3	73,9	692	7,57
Ariana	14,9	47,8	72,8	560	9,39
Philomene	13,7	43,4	78	380	11,8
Dahlia	13,6	49	78,5	661	
Anakin	15,6	51,5	66,7	826	8,86
Zeno	13,4	44,4	81,9	602	9,2
Alkmene	15,4	49,7	73,5	877	9,19
Ambos	14,8	47,8	78,1	499	10,9

Lebenslauf

Anna Mitura

geboren am 18.12.1982 in Bremen

- | | |
|-------------|---|
| 1989 - 1993 | Grundschule, Dersau |
| 1993 - 2002 | Internatsgymnasium Schloss Plön, Plön
Abschluss: Abitur |
| 2003 - 2006 | Studium der Agrarwissenschaften,
Fachrichtung Nutztierwissenschaften an der
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Abschluss: Bachelor of Science |
| 2006 - 2008 | Studium der Agrarwissenschaften,
Fachrichtung Nutztierwissenschaften an der
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Abschluss: Master of Science |
| seit 2008 | Promotionsstudium an der
Georg-August-Universität Göttingen
Department für Nutztierwissenschaften,
Abteilung für Tierernährungsphysiologie |

Danksagung

Ganz besonders möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Liebert bedanken für die Überlassung des Themas und die Möglichkeit, in der Abteilung für Tierernährungsphysiologie der Georg-August-Universität in Göttingen zu promovieren. Besonders dankbar bin ich für die vielen konstruktiven Gespräche und die Unterstützung bei der Umsetzung meiner Arbeit.

Herrn Prof. Dr. Fuchs danke ich für die Übernahme des Zweitgutachtens und die Möglichkeit am Deutschen Primatenzentrum zu arbeiten.

Frau PD. Christina Schlumbohm danke ich für die Unterstützung bei der Versuchsdurchführung und der Betreuung der Tiere.

Besonders bedanken möchte ich mich bei Julia, Sandra, Olaf und Tamara dafür, dass sie mir alles zum Umgang mit Weißbüschellaffen beigebracht haben. Ohne ihre Mithilfe wären meine Versuche nicht möglich gewesen.

Walter, Thomas, Nicole und Mario danke ich für die Hilfe bei der Futterherstellung.

Frau Ursula Buchhorn danke ich für ihre Hilfsbereitschaft besonders beim Formatieren meiner Artikel.

Conny, Marianne R., Kerstin und Klaus möchte ich ganz besonders für viele nette Unterhaltungen und so manche Aufmunterung danken.

Allen Mitarbeitern der Abteilung für Tierernährungsphysiologie, besonders der „Kaffeerunde“ danke ich für ihre Hilfe und Unterstützung bei Analysen und der täglichen Arbeit und vor allem dafür, dass sie mich so nett aufgenommen haben.

Den Mitarbeitern der Arbeitsgruppe Klinische Neurobiologie des Deutschen Primatenzentrums und den Mitarbeitern der Encepharm GmbH danke ich für die Hilfe bei der Durchführung meiner Versuche.

Anja möchte ich nicht nur das Korrekturlesen meiner Arbeit und der Artikel danken, sondern vor allem fürs Mutmachen und Unterstützen und für die Ablenkung von der Arbeit.

Mein ganz besonderer und größter Dank gilt meiner Familie für Ihre Unterstützung und den Glauben an mich. Danke, dass ihr mich immer wieder aufgebaut und mir Mut gemacht habt und vor allem dafür dass ihr mir das Studium ermöglicht habt.