



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

**Untersuchungen zur physiologischen Nahrungsspezialisierung
bei *Petaurus breviceps***

Verfasser

Dimitri GÜL

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2012

Studienkennzahl lt. Studienblatt: A 439

Studienrichtung lt. Studienblatt: Diplomstudium Zoologie (Stzw) UniStG

Betreuer: Ao. Univ. Prof. Dr. Helmut KRATOCHVIL

Inhaltverzeichnis

1. Zusammenfassung.....	3
2. Einleitung.....	4
2.1. Allgemeines über die Kurzkopfgleitbeutler.....	4
2.1.1. Vorkommen.....	4
2.1.2. Biologie	5
2.1.3. Lebensweise, Ökologie.....	8
2.1.4. Verhalten	10
2.1.5. Fortpflanzung	12
2.1.6. Ernährung	13
2.1.7. Stoffwechsel	16
2.1.8. Systematik	17
2.2. Zum Geschmackssinn	21
2.2.1. Geschmacksknospen.....	22
2.2.2. Geschmacksarten	26
2.2.2.1. Sauer	26
2.2.2.2. Salzig	26
2.2.2.3. Süß.....	27
2.2.2.4. Bitter	27
2.2.2.5. Umami	28
2.2.3. Zungenanatomie der Kurzkopfgleitbeutler	28
2.2.4. Geschmackssinn der Kurzkopfgleitbeutler.....	33
2.3. Fragestellung.....	36

3. Material und Methode	37
3.1. Versuchsort und Versuchsbedingungen	37
3.2. Versuchstiere.....	38
3.3. Material.....	41
3.4. Methode	44
3.5. Auswertung der Daten	46
4. Ergebnisse.....	47
4.1. Präferenz für Zuckersorten.....	47
4.1.1. Glukose-Saccharose (Versuch 1)	47
4.1.2. Fruktose-Saccharose (Versuch 2)	52
4.1.3. Fruktose-Glukose (Versuch 3)	55
4.2. Geschmacksschwellen für Zuckersorten.....	59
4.2.1. Geschmacksschwelle für Saccharose	59
4.2.2. Geschmacksschwelle für Glukose	61
4.2.3. Geschmacksschwelle für Fruktose	63
4.3. Erkennung der künstlichen Süßersatzstoffe	64
5. Diskussion	65
5.1. Präferenz von Zuckersorten	65
5.2. Geschmacksschwellen für Zuckersorten.....	71
5.3 Erkennung der künstlichen Süßersatzstoffen	72
6. Literaturverzeichnis	76
7. Anhang.....	91
8. Danksagung.....	92
9. Lebenslauf	93

1. Zusammenfassung

Kohlenhydrate spielen bei der Energielieferung für viele Lebewesen eine wichtige Rolle. Obwohl sie im Vergleich weniger Energie als Fette liefern, sind sie der Hauptbestandteil der Nahrung vieler Tiere, da sie schneller in die Blutbahn gelangen als die Fette und in vielen Nahrungsmitteln enthalten sind. Außerdem ist die Verdauung von Kohlenhydraten einfacher. Noch einfacher ist der Nahrungsabbau, wenn sich die Tiere von Mono- bzw. Disacchariden ernähren. Sie brauchen somit weniger Energie, um die langen Polymeren wie Stärke oder Zellulose zu verdauen. Aber es kommen einfache Zuckermoleküle in der Natur im geringeren Ausmaß vor, so dass nur wenige Arten sich darauf spezialisieren konnten. Eine ist der Sugar Glider (*Petaurus breviceps*), der sich vor allem von Baumsäften, Pollen, Blütennektar und süßen Früchten ernährt. Diese Lebensweise gibt ihr sogar den Namen. Im Tiergarten Schönbrunn wurden Versuche mit diesen Tieren gemacht, ob sie die Zuckersorten Glukose, Saccharose und Fructose voneinander unterscheiden können. Außerdem wurden die Schwellenwerte der Zuckerlösungen ermittelt, um herauszufinden, wie sensibel ihr Geschmacksinn ist. Weiters wurde getestet, ob sie in der Lage sind, die künstlichen Zuckerersatzstoffe vom normalen Zucker zu unterscheiden.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass *Petaurus breviceps* signifikant mehr Saccharose und Fructose als Glukose, die von Menschen auch als weniger süß empfunden wird, aufnimmt. Was die künstlichen Süßstoffe betrifft, sind sie imstande, die Zuckerersatzstoffe von anderen Zuckerlösungen zu unterscheiden. Dabei wurden die Lösungen der künstlichen Süßstoffe ignoriert. Schließlich wurde der Schwellenwert für alle Zuckersorten ermittelt. Der Wert lag für Saccharose bei 0,25 %, für Glukose bei 0,2 % und für Fructose auch bei 0,2 %. Es steht fest, dass die Spezialisierung von *Petaurus breviceps* auf Zuckernahrung zu Entwicklung eines verfeinerten Geschmackssinnes in der Geschmackskategorie „Süß“ geführt hat.

2. Einleitung

2.1. Allgemeines über die Kurzkopfgleitbeutler

2.1.1. Vorkommen

Die Kurzkopfgleitbeutler, *Petaurus breviceps* (Englisch: sugar glider, Waterhouse, 1839) kommen entlang der ostaustralischen Küste hauptsächlich in Victoria, Neusüdwaales, Queensland, in östlichen Teilen von Northern Territories, auf Tasmanien sowie in Neuguinea und auf einigen benachbarten Inseln vor. Sie sind hier vor allem in den tropischen und gemäßigten Breiten zu finden, aber besiedeln auch die kühleren Regionen bis zu 2400 m Höhen. In diesen Regionen sind sie die häufigsten Säugetiere, können aber nur selten beobachtet werden, da sie nachtaktiv sind und eher die Wälder als Lebensräume bewohnen. Diese sozialen Tiere leben in größeren Familienverbänden von bis zu zwölf Individuen in Baumwipfeln, z.B. in kleinen Baumhöhlen, ähnlich den Eichhörnchen. Die Familienverbände werden von einem dominanten Männchen geführt, das die meisten territorialen Markierungen macht. Aber zur Verteidigung des Territoriums beteiligen sich alle Individuen der Gruppe (Wikipedia). Die Kurzkopfgleitbeutler sind nocturnal (=nachtaktiv) und daher verbringen sie tagsüber ihre Zeit meistens in ihren Nestern. Außerdem sind sie arboreal, leben daher auf den Bäumen und kommen sehr selten zum Boden.

Die Kurzkopfgleitbeutler bevorzugen fragmentierte Wälder anstelle einheitlicher Lebensräume. Jackson (2000) hat die Populationsdichte in Queensland für beide Lebensräume ermittelt und mit einer anderen *Petaurus*-Art (*P. gracilis*) verglichen. Die Populationsdichte in den fragmentierten Wäldern betrug 0,46 Individuen/ha, während die von geschlossenen Wäldern 0,27 Individuen/ha ausmachte. Die Dichte von *P. gracilis* war im Verhältnis geringer und sie bevorzugen die gegensätzlichen Bedingungen wie Kurzkopfgleitbeutler. Ihre Vorkommensdichte war 0,16 bzw. 0,24 Ind./ha. Aber der wichtigste Faktor für das Vorkommen der auf Bäumen lebenden Beuteltiere ist die Verfügbarkeit von

Nahrung (z.B. Qualität der Blätter, Nahrungsmitteln). Wenn die Nahrung kein begrenzender Faktor ist, dann bestimmt die Waldstruktur die Qualität des Lebensraumes für die Kurzkopfgleitbeutler (Pausas et al., 1995). Das Revier der Kurzgleitbeutler erreicht die Größe je nach Nahrungsangebot und Jahreszeit zwischen 0,5 und 3,3 ha (Gaßner & Gollmann, 2001).

Trotz der Zerstörung ihrer Lebensräume und dem Raubdruck durch viele natürliche Feinde wie Eulen, Eidechsen, Schlangen, verwilderte Hauskatzen, Hunde, Füchse sowie Kookaburras (die in Australien vorkommende Kingfisher-Art), sind die Bestände der Kurzkopfgleitbeutler eher stabil und - im Gegensatz zu vielen anderen Beuteltierarten sind sie nicht stark gefährdet.

Die größten negativen Auswirkungen auf die Populationen von Kurzkopfgleitbeutlern sind wie in den meisten Fällen anthropogen. Nicht nur deswegen, weil sie ein Bestandteil der Jagdbeute der Ureinwohner in Australien und auf Neuguinea sind, sondern vor allem deswegen, weil sie gerne als Exoten in andere Länder geschmuggelt werden.

2.1.2. Biologie

Was Größe und Gewicht betrifft, können die Kurzkopfgleitbeutler mit einem Streifenhörnchen verglichen werden. Ihre Kopf-Rumpflänge misst zwischen 12 und 21 cm und der Schwanz beträgt circa 15 bis 20 cm. Die Tiere haben vor allem hinsichtlich ihrer Körpergröße einen Sexualdimorphismus (Jackson, 2000). Die Weibchen wiegen 70 -135 g, die Männchen 70-160 g. Ihre mittlere Körpermasse beträgt 114-119 g (Quin, 1995). Die Körpergröße hängt auch entsprechend der Bergmann'schen Regel von den Breitengraden ab, d.h. sie sind in südlichen Teilen der Südhemisphäre größer, wo es kälter ist und in nördlichen Breiten nahe dem Äquator kleiner (Quin et al, 1996).

Was man auf ersten Blick nicht erkennt, ist es die Flughaut (*Pleuropatagium*) an den Körperseiten zwischen Hand- und Fußgelenken (Westheide & Rieger, 2004), die für die Namensgebung der Gattung *Petaurus* verantwortlich ist. Es wird auf die Fähigkeit zum Gleitfliegen Bezug genommen und bedeutet „Seiltänzer“. Der Artname *breviceps* bedeutet „kurzköpfig“ (Gaßner & Gollmann, 2001). Somit passt die deutsche Bezeichnung Kurzkopfgleitbeutler zu ihrem wissenschaftlichen Namen. Wenn das Tier gleitet, nimmt seine Flughaut eine viereckige Form an. Im Gegensatz zu den Knorpelstrukturen in der Flughaut der Flughörnchen verfügen die Kurzkopfgleitbeutler über gut entwickelte Tibiocarpalis-Muskeln im seitlichen Bereich der Flughaut. Die Flughaut besteht aus Humerodorsalis- und Tibioabdominalis-Muskel-Komplex. Man nimmt an, dass die dicken Tibiocarpalis-Bündeln und dem Humerodorsalis- und Tibioabdominalis-Muskel-Komplex als Flughaut-Kontroller beim Gleitverhalten dienen. Es befindet sich zwischen der Flughaut und den Muskeln eine dünne membranöse Struktur, die beim Gleiten eine entscheidende Bedeutung zum Flugverhalten tragen soll. Zusätzlich zur direkten Kontrolle der Muskel, spielt die Bewegung von Rumpf und Gliedmaßen eine wichtige Rolle (Endo et al, 1998).

Das Fell hat die Farbe braun oder grau bis bläulich am Rücken, während die Unterseite weiß bis gräulich ist. Was die Fellfarbe betrifft, gibt es zwischen den Unterarten einige Unterschiede. Der Grund, warum man sie mit Streifenhörnchen vergleicht, verdankt es einem braunschwarzen Streifen, der von der Schnauze über den Rücken bis zur Schwanzbasis verläuft. Außerdem gibt es noch zwei weitere Streifen, die von der Schnauze über die Augen zu den Ohren verlaufen und dem Tier eine „panzerknackerähnliche Gesichtsmaske“ verleihen (Puschmann, 2008). Der Schwanz ist an der Spitze dunkler und ist mit längeren Haaren als Fellhaare besetzt. Zwar kann er nicht als Greifwerkzeug benutzt werden aber er dient wohl als „Balancierorgan“ beim Gleiten. Es gibt mittlerweile in den USA auch weiße Zuchtformen, über deren gesundheitliche Widerstandsfähigkeit wenig bekannt ist.

Die Vorderextremitäten besitzen fünf mit Krallen versehene Finger, wobei der vierte verlängert ist, mit dem das Tier nach Insekten unter der Baumrinde sucht. Bei den Hinterextremitäten sind die ersten Zehen opponierbar und krallenlos. Die zweiten und dritten Zehen sind verwachsen und bilden die sogenannte „Putzkralle“ (Puschmann, 2008). Dieses Merkmal ist bei vielen Beuteltierarten zu sehen, die zu der Ordnung Diprotodontia gehören, wie es bei der Gattung *Petaurus* der Fall ist.

Die Kurzkopfgleitbeutler haben große, dunkle Augen - ein Hinweis darauf, dass sie nachtaktiv sind. Aber sie können im Allgemeinen die Farben nicht wahrnehmen. Deswegen schaltet man im Gehege der Tiere ein rotes oder blaues Licht an, damit die Zoobesucher die Aktivität der Tiere beobachten können. Histologische Untersuchungen an der Retina zeigen, dass die Retina von Kurzkopfgleitbeutlern halb so dick ist wie die der Maus (WT C57BL/ 6 Maus). Aber die Anzahl der Stäbchen ist bei beiden Arten fast die gleiche. Jedoch befinden sich in der Retina von Kurzkopfgleitbeutlern Einzel- und Doppelzapfen und Zapfen mit Öltröpfchen, aber die Zapfenpigmente konnten bisher nicht identifiziert werden (Esdaille et al., 2004). Die farbigen Öltröpfchen kommen innerhalb der Amniota nur bei Sauropsiden vor. Viele Beuteltiere sind farbenblind und man hat nicht nachweisen können, dass sie Farben sehen können (Westheide & Rieger, 2004).

Die Männchen haben auf dem Stirn und auf der Brust Sekretdrüsen, während die Weibchen eine im Beutel haben, die ein bräunliches Sekret absondert und erst dann aktiv wird, wenn im Beutel ein Junge getragen wird. Zusätzlich haben beide Geschlechter eine Drüse am Afterbereich, die sogenannten Parakloakaldrüsen. Diese und andere Drüsen bzw. ihre Sekrete sind wichtig bei der sozialen Organisation dieser Tiere, vor allem für die Männchen (Westheide & Rieger, 2004). Die Entwicklung der Drüsen und auch der Hoden ist saisonal und sie erreichen ihre maximale Aktivität während der Brutzeit im Juni bis September. Während dieser Zeit steigt auch die Testosteronkonzentration im Plasma. Eine

Kastration führt zur Verkleinerung der Parakloakaldrüsen, während Androgensersatz bei der Wiederherstellung der ursprünglichen Größe der Drüse wirksam ist (Bradley & Stoddart, 1993).

Der Besitz unterschiedlicher Hautdrüsen ist für die „Kommunikation, Territorial- und Sozialverhalten und für die Aufzucht der Jungen sehr komplex und vielfältig“. Insgesamt haben die Kurzkopfgleitbeutler vier Drüsen (Frontal-, Sternal-, Anal- und Beuteldrüsen). Jede Drüse hat unterschiedlichen Duftstoff. Diese nachtaktiven Tiere orientieren sich mit Hilfe von „Duftsignalen (Kombinationen verschiedener Duftstoffe)“ (Kaestner, 1995).

Die Düfte dieser Drüsen und Markierung dienen der sozialen Kommunikation innerhalb der Kurzkopfgleitbeutler-Kolonie und zwischen anderen Kolonien. Aber nicht nur ihr Geruchssinn, der ihnen hilft, die anderen Feinde aufzuspüren, ist gut ausgeprägt. Wie die meisten kleinen Beuteltiere, verlassen sie sich auch auf ihren gut entwickelten Gehörsinn (McKay, 1989).

Die Beziehungen zwischen dem relativen Hodengewicht und Paarung bei Beuteltieren ähneln dem von Primaten. Das relative Hodengewicht ist am größten bei den Beuteltieren, die polyandrisch sind, das heißt, es verpaart sich das Weibchen während ihrer fruchtbaren Zeit mit mehreren Männchen. Aber bei der Gattung *Petaurus* haben die Männchen ein kleineres relatives Hodengewicht wie andere Beuteltierarten, da sich die Weibchen in der Regel nur mit einem Männchen verpaaren. Diese Tatsache steht im Einklang mit den Auswirkungen von Spermienkonkurrenz auf die Entwicklung der relativen Hodengröße bei Beuteltieren. Im Gegensatz dazu zeichnen sich die Monotremata durch den Besitz von sehr großen Hoden (sogar größer als die von Beuteltieren, Primaten oder Vogelarten) (Rose et al, 1997).

2.1.3. Lebensweise, Ökologie

Die Landwirtschaft beeinflusst auch die Kurzkopfgleitbeutler negativ, da sie eher strukturierte Lebensräume mit einheimischen Bäumen bevorzugen, welche für sie genug Nahrung, Nestplätze- und Versteckmöglichkeiten bieten. In den landwirtschaftlichen Betrieben treten die arboralen Beuteltiere sowie andere Reptilienarten seltener auf. Spätere Bepflanzungen verbessern zwar die Bedingungen, können aber nicht die negativen Auswirkungen für alle beseitigen. Sie brauchen eher einen Wald mit alten Bäumen, der für sie und andere Tierarten mit ähnlicher Lebensweise der adäquate Lebensraum ist. Die Wiederherstellung solcher Lebensräume kann Jahrzehnte sogar Jahrhunderte andauern (Cunningham et al., 2007).

Unter den Feinden der Kurzkopfgleitbeutler sind Eulen zu nennen, vor allem die Art *Ninox strenua*. Obwohl sie ein Generalist ist, besteht ihre Nahrung zu 99 % aus arboralen Beuteltieren. (Cooke et al., 2006; Kavanagh, 2002). Diese Eulenart jagt die Beute, die am häufigsten zur Verfügung steht. Die Saison spielt dabei eine wichtige Rolle, wann welche Kletterbeutlerart gejagt wird. Das gilt vor allem für die Kurzkopfgleitbeutler, deren Vorkommensdichte saisonal am meisten schwankt. Aber sie machen einen eher kleineren Bestandteil -7 %- der Beute für die Eule aus (Cooke et al., 1997).

Die Kurzkopfgleitbeutler bevorzugen aufgestellte Boxen als Nistplätze, die höher in den Bäumen hängen, während die niedrigeren von wilden Honigbienen belegt wurden (Wood & Wallis, 1998).

Bei der Bestäubung vieler Blüten spielen die Insekten und in einigen Bereichen die Vögel eine wichtige Rolle. Aber einige Säugetiere tragen auch einen entscheidenden Anteil zur Pollenübertragung bei, was auch bei Kurzkopfgleitbeutlern der Fall ist. Sie helfen dabei, die Pollen von der *Banksia spinulosa* zu übertragen, während sie den Nektar von den Blüten holen. Obwohl

diese Blüten auch von Insekten und Vögeln besucht werden, scheint es so zu sein, dass die Bestäubung durch Kurzkopfgleitbeutler und andere nächtliche Säugetiere effektiver als durch tagaktive Besucher ist, obwohl die tagaktiven Arten regelmäßiger die Blüten besuchen. Vielleicht liegt es daran, dass die Säugetiere im Verhältnis größer als andere Tiere sind und dadurch mehr Pollen übertragen. Außerdem haben sie wahrscheinlich mehr Kontakte zu den Narben der Blüten, so dass daraus eine bessere Bestäubung ergibt (Carthew, 1993).

2.1.4. Verhalten

Das Dominanzverhalten gibt es in zahlreichen sozialen Arten und der Rang kann in solchen Gruppen die Qualität des individuellen Lebens stark beeinflussen. Der Rang kann auch die Gesundheit der Einzelnen in der Gruppe beeinflussen, insbesondere in Bezug auf durch Stress bedingte Krankheiten (Sapolsky, 2004). Da auch die Kurzkopfgleitbeutler in Kolonien lebende soziale Tiere sind, ist das Verhalten für die Hierarchie sehr interessant und wurde öfters untersucht (Smith, 1973). Die Rangordnung wird innerhalb der Gruppe nicht durch Kämpfe, sondern durch die Duftmarkierung geregelt, während die Kämpfe zwischen zwei fremden Kolonien stattfinden. Aus diesem Grund haben die Tiere einen gut entwickelten Geruchssinn, der für sie bei der sozialen Organisation sehr wichtig ist.

Sozialdominante, männliche Kurzkopfgleitbeutler sind schwerer als sozial untergeordnete, haben höhere Konzentrationen an Plasmatestosteron und niedrigere Kortisol-Konzentrationen, gewinnen mehr soziale Konfrontationen, überprüfen ihr Gebiet mehr, markieren mehr, sind aktiver und bewegen sich schneller, obwohl sie mehr Zeit für Nistkästchen der Kolonie investieren. Wenn sie in eine fremde stabile Kolonie versetzt werden, ist in den ersten drei Wochen eine Reduktion ihrer Verhaltensweisen und eine gleichzeitige Abnahme der Plasmakonzentration von Testosteron sowie ein Anstieg von Kortisol-Konzentration zu beobachten (Mallick et al., 1994).

Bei dem männlichen Verhalten spielt das Gonadotropin-Releasing Hormon (GnRH) eine wichtige Rolle und ist mit dem Plasmatestosteron korreliert. Hat das Männchen in der Kolonie die niedrigste Position, so hat es eine niedrige Konzentration an basalem Plasmatestosteron als die ranghöheren Männchen. Nachdem man einigen Männchen GnRH injizierte, erhöhten sich deutlich die Werte des Plasmatestosterons bei allen Männchen aber die höchsten Werte wurden ohne Ausnahme bei den sozial dominanten Männchen gemessen. Wenn ein dominantes Männchen in eine fremde Kolonie gegeben wurde, zeichnete sich innerhalb von 24 Stunden ein Rückgang der Konzentration von Plasmatestosteron und das Körpergewicht des Männchens ging deutlich zurück (Bradley & Stoddart, 1997). Außerdem ist bei Kurzkopfgleitbeutlern eine männliche Hierarchie vor allem bei im Zoo gehaltenen Gruppen zu beobachten (Sadlerl & Wardl, 1999).

Da die Tiere nachtaktiv sind, wirkt sich die Lichtverschmutzung negativ auf das Verhalten der Kurzkopfgleitbeutler aus; vor allem wird das Fressverhalten gestört. Es ist allgemein bekannt, dass die Lichtverschmutzung bei Meeresschildkrötenjungen Orientierungsprobleme verursacht und bei Zugvögeln zu Todesfällen führt, während es auf die Fortpflanzung, Kommunikation und Wettbewerb offensichtliche weniger Auswirkungen hat. Wenn die Kurzkopfgleitbeutler mit einem Licht hoher Leuchtkraft (12 Lux) beschienen werden, stellen diese Tiere ihre hohen Aktivitäten fast vollständig ein. Auch bei geringerer Helligkeit (7 Lux) reduzieren sie ihre Futtersuche. Wie die Lichtverschmutzung auf die im freien lebenden Kurzkopfgleitbeutler wirkt, ist ein wichtiges Ziel für Feldforschungen (Barber-Meyer, 2007).

Beim Sozialverhalten der Kurzkopfgleitbeutler spielt die Akustik und das visuelle Wahrnehmungsvermögen eine sehr große Rolle. Wie die meisten nachtaktiven Tiere haben auch die Kurzkopfgleitbeutler ein gutes Gehör sowie einen ausgeprägten Geruchssinn, mit denen sie die Mitglieder ihrer Gruppe erkennen

können. Gaffron (2007) fand bei ihren Beobachtungen am Akustikverhalten der Tiere dreizehn Laute mit mehreren Variationen, die in vier Verhaltenskategorien unterteilt wurden, und zwar in Aggression, Sexualverhalten, Alarm- und Kontaktruf. Diese Laute hatten die Grundfrequenz zwischen 1 und 6 kHz, während die durchschnittliche Signallänge von 0,085 s bis zu 6,361 s variierte. *Petaurus australis*, die nächstverwandte Art von *Petaurus breviceps* hat wahrscheinlich das größte Lautrepertoire unter den Beuteltieren. Die Vokalisation scheint die effektivste Methode zur Verteidigung der Territorien zu sein. Sie leben in Territorien, die bis zu 50 ha groß sein können (Goldingay, 1994).

2.1.5. Fortpflanzung

Die Paarung der Kurzkopfgleitbeutler erfolgt in tropischen Bereichen über das ganze Jahr. Im Südosten von Australien fällt sie hingegen zwischen Juni und September (Bradley & Stoddart, 1993). Ein Weibchen kann sich mit mehreren Männchen paaren. Dabei kommt das Stirndrüsensekret der Männchen ins Spiel, mit dem sie die ausgesuchten Weibchen einreiben, um deren Paarungsbereitschaft zu stimulieren. Nach der Befruchtung reifen die Embryos kurze Zeit (16 Tage) bis zur Geburt und sie wiegen weniger als 2 Gramm, sind nackt und blind. Wie bei den meisten Beuteltierarten sind die Neugeborenen bei der Geburt sehr wenig entwickelt und wachsen erst im Beutel heran. Im Beutel ihrer Mutter verbringen sie ca. 70 Tage, bis sie fast keinen Platz mehr haben. Danach verlassen sie den Beutel und werden noch ein bis zwei Monate im Nest mit Muttermilch versorgt, bis sie selbständig auf Futtersuche gehen können. Aber sie kommen trotzdem zum Nest zurück, da sie in sozialen Gruppen leben und keine Einzelgänger sind. Die Jungen erreichen die Geschlechtsreife mit ca. 15 Monaten (Wikipedia).

Die Testosteronkonzentration der männlichen Kurzkopfgleitbeutler steigt vor allem während der Fortpflanzungszeit, und zwar ist sie wieder bei dem

dominanten Männchen am höchsten, sowohl für die in der Wildbahn lebenden als auch in Gehege gehaltenen. Diese Männchen sind auch schwerer als die anderen und nur sie beteiligen sich fast ausschließlich an den Duftmarkierungen. Innerhalb der ersten zwei Monate während der Fortpflanzungssaison (Juli – September/ Oktober) nimmt das Gewicht der dominanten Männchen mehr als bei den anderen ab, nachdem drei Viertel der Geburten erfolgt sind (Stoddart et. all. 1994). Bei Kurzkopfgleitbeutlern ist die Polygynie sehr ausgeprägt (Quin, 1995), was ökologische und evolutionäre Vorteile mit sich bringt. In der Gruppe kopuliert das dominante Männchen mit anderen Weibchen aber meistens entscheiden die Weibchen, mit welchem Individuum der Gruppe sie sich einlassen.

Trotz der oben angeführten Ergebnisse von Stoddart et al. (1994) zeigen die Kurzkopfgleitbeutler nach den Beobachtungen von Jackson (2000) kein typisches Muster, was die Saisonalität der Geburten betrifft, daher können sie sich zu jeder Jahreszeit verpaaren, außer Februar und April, während *Petaurus gracilis* –eine andere Art derselben Gattung– eine saisonale Geburtenzeit zwischen April und Oktober aufweist. Bei Kurzkopfgleitbeutlern war die durchschnittliche Wurfgröße 1,83 Junge und die Natalitätsrate lag bei 2,14 Jungen und bei *Petaurus gracilis* waren es 1,55 bzw. 2,09. Die Kurzkopfgleitbeutler sind in der Lage, zwei Würfe innerhalb eines Jahres großzuziehen, während *P. gracilis* nur dann dazu imstande ist, wenn der erste Wurf verloren geht.

2.1.6. Ernährung

Die Kurzkopfgleitbeutler bevorzugen Baumsäfte als Nahrung, vor allem von Eukalyptusbäumen und Akazien. Sie beißen die Rinde, um an den Saft dieser Bäume zu kommen. Einer dieser Bäume ist die Eukalyptusart *Corymbia gummifera*. Untersuchungen zeigen, dass die angebissenen und angeritzten

Bäume mehr Saft produzierten als die unverletzten (Howard, 1989). Diese Baumarten sind auch für andere Tierarten eine der wichtigsten Nahrungsquelle. Aus diesem Grund herrscht hier eine hohe Konkurrenz, die zur starken Verteidigung dieser Bäume führt. Der Flugmembran der Kurzkopfgleitbeutler hilft ihnen bei Gefahr schnell zu fliehen oder schnell einen anderen geeigneten Baum zu finden (Wikipedia). Außer den Baumsäften fressen diese Tiere Nektar und Pollen sowie süße saftige Früchte, soweit sie zur Verfügung stehen. Außerdem ist das Fressen von Insekten während der Fortpflanzungszeit sehr wichtig, da sie als Eiweißquelle dienen.

Im Herbst und im Winter sind die Kurzkopfgleitbeutler auf die Säfte und den Nektar der Akazien- und Eukalyptusbäume wie *Acaci. mearnsii* und *Eucalyptus bridgesiana* angewiesen. Im Frühling und im Sommer ernähren sie sich überwiegend von Insekten wie Motten, Käfer, Larven (Smith, 1982). Obwohl der Großteil der Nahrung aus süßen Früchten und Nektar sowie Baumsäften besteht, brauchen vor allem die Weibchen im Frühling und im Sommer während der Schwangerschaft Insekten, um ihren Proteinbedarf zu decken, trotz der Fülle von Nektar und Baumsäften in diesen Jahreszeiten. Bei Proteinmangel werden oft die Fortpflanzungsaktivitäten eingestellt.

Die Nahrung von *Petaurus australis* ist sehr ähnlich der von Sugar Glider aber sie beinhaltet auch den Honigtau einiger Insekten (Smith & Russell, 1982). Diese *Petaurus*-Art hat auch saisonale Variationen bezüglich der Präferenz ihrer Futterquelle (Goldingay, 1986).

Einige Experimente über Kurzkopfgleitbeutler haben es bewiesen (Punzo et al., 2003), dass pränatale Mängel an Protein bei Kurzkopfgleitbeutlern zu schlechterem Lernen führten und die Fähigkeit zum visuellen Unterscheiden dementsprechend nicht so gut war. Das Gewicht der neugeborenen, angemessen ernährten Tiere war signifikant höher (0,47 g $\pm$ 0,05 g) als das der Unterernährten (0,31 g $\pm$ 0,02 g). Den männlichen Tieren wurden verschiedene

Lernaufgaben gestellt. Die Unterernährten machten wesentlich mehr Fehler bei allen Aufgaben. Die Kovarianz-Analysen deuten darauf hin, dass Unterschiede bei der Leistung nicht auf dem Körpergewicht basieren. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass die Weibchen während der Schwangerschaft ausreichend Protein zu sich nehmen.

Der Nektar der Blüten dient im Allgemeinen von vielen Tieren als Nahrung, auch von vor allem kleinen Säugetieren. Diese Tiere fressen auch gerne die Pollen der Blüten, deren Verdaulichkeit aber im Vergleich zum Nektar viel geringerer ist. Van Tets und Whelan (1997) haben die Verdaulichkeit der Pollen von *Banksia spinulosa* bei vier Säugetierarten untersucht, um herauszufinden, wie effizient die Pollennahrung ist. Wie andere kleine, nicht fliegende Säugetiere, verdauen Kurzkopfgleitbeutler die Protoplasten aus den Pollenkörnern. Der prozentuelle Anteil leerer Pollenkörner in Exkrementen der zu untersuchenden Tieren reichten von 37 % bis 66 % - und zwar in den Monaten März bis Oktober, während diese Bäume blühten. Aber die Gewinnung der Protoplasten aus den Pollen ist bei Säugetieren weit verbreitet und ist keine spezielle Anpassung der Kurzkopfgleitbeutler.

Obwohl es während der Hochblüte der *Banksia spinulosa* auf einer Pflanze nicht weniger als zehn offene Blüten gab, waren die Flugstrecken der Kurzkopfflugbeutler zu anderen Pflanzen von 5 - 52 m weit. Diese Strecken wurden spät in der Blütezeit größer, wenn weniger Blütenstände zur Verfügung standen. Aus diesem Grund verbreiten sie größere Mengen von Pollen als die bestäubenden Vögel. Dieser „Wettbewerb“ zwischen Arten ist ein wichtiger Bestandteil der Pflanzen für die Bestäubung und somit für den reproduktiven Erfolg (Chartew, 1994).

2.1.7. Stoffwechsel

Wenn die Nahrung begrenzt und die ökologischen Bedingungen schlechter werden, nimmt bei vielen Tieren die Aktivität ab und viele Arten gehen in den Winterschlaf, um Energie zu sparen. Während einige Tiere nur Winterruhe haben, verfallen andere in die sogenannte Erstarrungsphase, die als Torpor bezeichnet wird. Die Kurzkopfgleitbeutler haben auch Torpor Phasen, wenn es kälter wird. Sie können ihre Körpertemperatur im Vergleich der nicht in Torpor fallenden Individuen durchschnittlich auf 1,2 °C über eine Dauer von drei Tagen reduzieren. Sie nutzen den Torpor als Notfall-Maßnahme und nicht als „Routinestrategie“ zur Energiesparung (Christian & Geiser, 2007).

Geiser (1994) beschreibt zwei Arten von Torpor bei Beuteltieren. Eine davon ist kurzfristig und erfolgt täglich für mehrere Stunden, wenn die Körpertemperatur von etwa 35 °C auf Werte bis zu 28 °C abfällt. Dabei sinkt die Stoffwechselrate um etwa 10 – 60 % der basalen metabolischen Rate. Die zweite Art von Torpor ist tiefer und langanhaltender (Winterschlaf). Die Körpertemperatur sinkt bis zu 1-5 °C, die Stoffwechselrate um etwa 2-6% der basalen metabolischen Rate und es dauert circa 5-23 Tage. Der tägliche Torpor ist bei den Opossums (Didelphidae), fleischfressenden Beuteltieren (Dasyuridae) und Gleitbeutlern (Petauridae) sowie bei dem Ameisenbeutler (Myrmecobiidae) und dem Beutelmull (Notoryctidae) beobachtet worden. Langandauernder Torpor tritt hingegen beim Bilchbeutler (Burramyidae), beim Zwerggleitbeutler (Acrobatidae) und beim *Dromiciops australis* (Microbiotheriidae) auf.

Geiser et al., (2007) fanden auch heraus, dass die in der freien Wildbahn und in der Zoos lebende Kurzkopfgleitbeutler je nach Außentemperatur unterschiedliche Torpor-Aktivitäten zeigen. Es trat bei den Tieren, die in Tiergarten leben, wesentlich weniger als die in der freien Wildbahn (8,4 % nach der Nahrungsaufnahme; 1,1 % bei allen Beobachtungen in Gefangenschaft; 25,9% in freier Wildbahn). Die Dauer war für die in Gefangenschaft relativ kürzer (6,9 h)

als im Freien (13,1 h). Auch die Körpertemperatur während des Torpors war bei den Tieren in Gefangenschaft höher (25,3 °C) als im Freien (19,6 °C). Sie kompensieren saisonale Veränderungen des Klimas in der freien Wildbahn dadurch, dass sie Verhaltens- und physiologische Anpassungen ähnlich dem Torpor entwickeln (Quin et al., 2010).

Zum Unterschied zum Kurzkopfgleitbeutler ist das Insekten fressende Mausopossum (*Thylamys elegans*), das sich auch von Früchten ernährt, nicht in der Lage, aus den Früchten genügend Energie zu gewinnen, um seinen täglichen Energiebedarf abzudecken, obwohl es den Zucker wie Saccharose verdauen kann. Es würde mit einer Ernährung allein aus Früchten nicht überleben und ist aus diesem Grund auf die Aufnahme von Insekten angewiesen, die ihm die benötigte Energie liefern (Sabat, 1995). Im Gegensatz dazu braucht der Kurzkopfgleitbeutler nicht unbedingt die Energie aus den Insekten, die er frisst.

2.1.8. Systematik

Die moderne Systematik teilt die Klasse Mammalia (Säugetiere) in drei Unterklassen ein:

- Monotremata (Kloakentiere)
- Marsupialia / Methateria (Beuteltiere) und
- Eutheria (echte Säugetiere)

Die Beuteltiere haben rezente 80 Gattungen mit circa 230 Arten (Westheide & Rieger, 2004). Die einzelnen Gruppen vor allem der Unterklasse Marsupialia sind in folgender Weise anzuordnen (Kaestner, 1995; Westheide & Rieger, 2004):

Klasse: Mammalia

1- Unterklasse: Monotremata

Ordnung: Ornithorhynchidae

Ordnung: Tachyglossidae

2- Unterklasse: Marsupialia/ Methateria (Beuteltiere)

Überordnung: Ameridelphia

Ordnung: Didelphimorphia (Beutelratten)

Familie: Didelphidae (11 gen., 70 ssp.)

Ordnung: Caenolestidea (Mäusepossums)

Familie: Caenolestidae (3 gen., 7 ssp.)

Überordnung: Australidelphia

Ordnung: Microbiotheria (Chiloe- Beutelratte)

Familie: Microbiotheriidae (1 gen., 1 sp)

Ordnung: Notoryctemorphia (Beutelmulle)

Familie: Notoryctidae (1 gen., 1 sp)

Ordnung: Dasyuromorphia (Raubbeutelartige)

Familie: Dasyuridae (15 gen., 50 ssp)

Familie: Thylacinidae (1 gen., 1 sp)

Familie: Myrmecobiidae (1 gen., 1 sp)

Ordnung: Paramylemophora (Nasenbeutler)

Familie: Paramelidae (8 gen., 22 ssp.)

Ordnung: Diprotodontia

Unterordnung: Vombatiformes

Familie: Phascolartidae (Koala) (1 gen., 1 sp)

Familie: Vombatidae (Vombat) (2 gen., 3 ssp.)

Unterordnung: Phalangeriformes

Familie: Burramyidae (1 gen., 7 ssp)

Familie: Potoroidae

Familie: Pseudocheiridae (17 ssp)

Familie: Acrobatidae (5 ssp)

Familie: Tarsipedidae (1 gen., 1 sp)

Familie: Macropodidae (17 gen., 56 ssp.)

Familie: Phalangeridae (3 gen., 16 ssp.)

Familie: Petauridae (Hörnchenbeutler) (5 gen., 22 sp.)

Gattung: Dactylopsila (Streifenbeutler)

Gattung: Petaurus (Gleithörnchenbeutler)

Petaurus abidi

Petaurus norfolcensis

Petaurus australis

Petaurus gracilis

Petaurus biacensis

Petaurus breviceps (7 Unterarten, s. unten)

3- Unterklasse: Eutheria

Abb. 1 zeigt das Vorkommen der sieben Unterarten des *Petaurus breviceps*, die bis jetzt beschrieben worden sind, von denen drei in Australien und die restlichen vier auf Neuguinea und deren benachbarten Inseln leben. (Es ist zu beachten, dass die Auflistung von Vorkommen der Unterarten vom Süden bis Norden erfolgte) (aus Wikipedia):

- *Petaurus breviceps breviceps* (Watherhouse, 1839)
- *Petaurus breviceps longicaudatus* (Longman, 1924)
- *Petaurus breviceps ariel* (Gould, 1842)
- *Petaurus breviceps flavidus* (Tate & Archold, 1935)
- *Petaurus breviceps papuanus* (Thomas, 1888)
- *Petaurus breviceps tafa* (Tate & Archold, 1935)
- *Petaurus breviceps biacensis* (Ulmer, 1940)

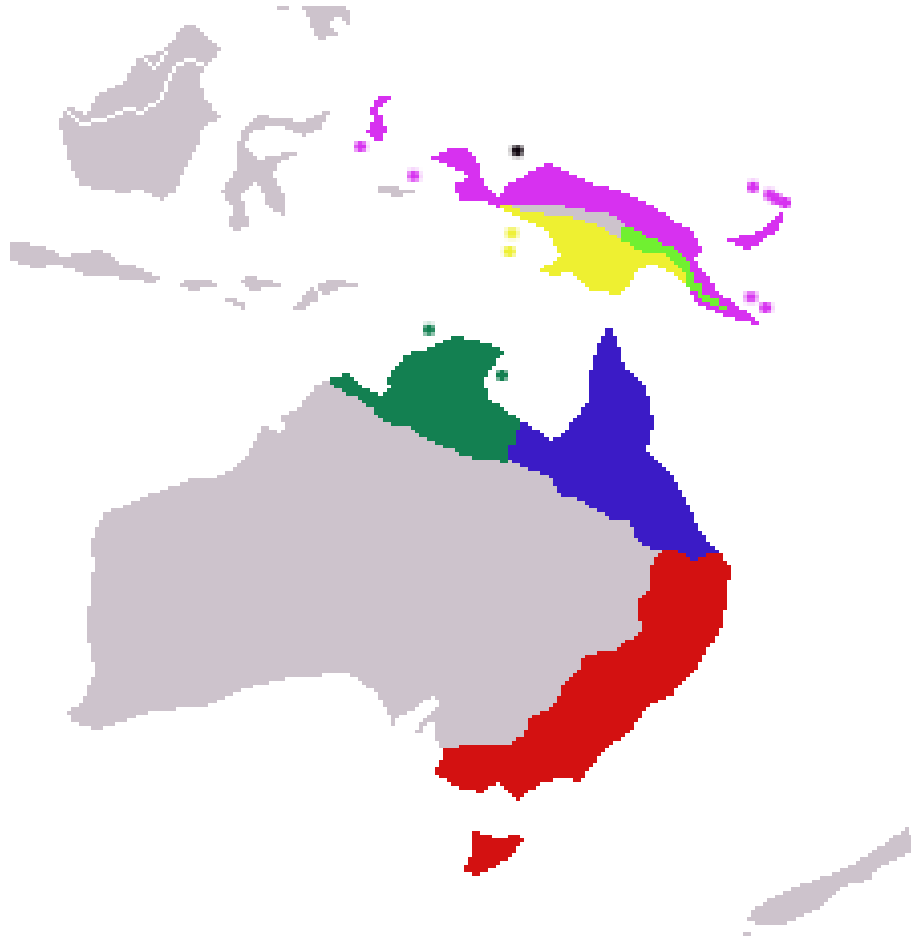


Abb. 1: Vorkommen der Unterarten der Kurzkopfgleitbeutler. **Rot:** *P. b. breviceps*, **blau:** *P. b. longicaudatus*, **dunkelgrün:** *P. b. ariel*, **gelb:** *P. b. flavidus*, **violett:** *P. b. papuanus*, **hellgrün:** *P. b. tafa*, **schwarz:** *P. b. biacensis* (aus Wikipedia)

Die Unterarten unterscheiden sich in ihrer Körpergröße (die nördlichen Unterarten sind kleiner; Quin et al, 1996) und Felllänge bzw. -färbung und -muster (die südlichen haben längeres Fell).

Die Systematik der Beuteltiere ist noch nicht abgeschlossen und lässt viele Fragen offen. Aber es steht mittlerweile fest, dass die amerikanischen Beuteltiere Ameridelphia eine paraphyletische Gruppe bilden und die anderen Beuteltierarten der Überordnung Australidelphia (alle anderen Arten) sich aus ihnen entwickelt haben und höchstwahrscheinlich monophyletisch sind.

Phylogenetische Analysen an Mitochondrien und nuklearen Genomen unterstützen die Hypothese, dass die Australidelphia vermutlich eine monophyletische Gruppe ist aber einige familiäre Beziehungen zwischen Diprotodontia vor allem bei Koalas, Wombats, Kängurus und Opossums Zweifel entstehen lassen. Anhand dieser Ergebnisse kann man die Diprotodontia in zwei Unterordnungen – Vombatiformes und Phalangeriformes – einteilen. (Munemasa et al., 2006).

Währenddessen teilen Kavanagah et al. (2004) die Diprotodontia in drei Unterordnungen ein, nämlich in Vombatiformes, Macropodiformes und Phalangeriformes. Nach ihren Analysen der mitochondrialen 12S rRNA, Valin tRNA und 16S rRNA Gensequenzen stehen die Vombatiformes und Macropodoformes nahe zu einander jedoch nicht die Phalangeriformes.

Außerdem wurden die Gehörknöchelchen der Phalangiformes mit dem Rasterelektronenmikroskop untersucht, um morphologische Unterschiede festzustellen. Großteile der Transformationen wurden zwischen den Arten, Gattungen und Unterfamilien festgestellt, während bei einigen Charakteristika der noch höheren Taxa gefunden wurden. Man kann zum Ergebnis kommen, dass die Gehörknöchelchen als Merkmal für monophyletische Gruppierung bei Beuteltieren herangezogen werden können (Schmelze et al., 2005).

2.2. Zum Geschmacksinn

Erkennung und Unterscheidung der essbaren und für den Organismus wichtigen Lebensmittel ist von entscheidender Bedeutung für das Überleben der Lebewesen.

Der Geschmacksinn gehört zu den Nahsinnen (chemischer Kontaktsinn) und er wird vor allem zur Prüfung der Nahrung verwendet, auf deren Qualität Hinweise

vermittelt werden (Müller & Frings, 2004). Es werden die festen und flüssigen Substanzen wahrgenommen, die in die Mundhöhle gelangen. Die Variabilität hängt von der Interaktion der Moleküle mit den Sinnesrezeptoren ab. Der Geschmacksinn spielt gemeinsam mit dem Geruchsinne beim ‚Aufspüren von Nahrung, bei der Partnersuche und beim Erkennen von Feinden‘ eine wichtige Rolle. „Die chemischen Sinne sind vor allem als Alarmgeber nützlich, mit deren Hilfe die anderen Sinne ihre Tätigkeit stärker konzentrieren können“ (Schmidt-Nielsen, 1999). Für viele Tiere, vor allem für nachtaktive Säugetiere, dienen die chemischen Sinne „zum Suchen und zur Prüfung der Nahrung, [...] zur Orientierung“ und sie stehen auch „im Dienste eines ausgeklügelten chemischen Kommunikationssystems“ etwa zum Pflegen sozialer Aktivitäten (Müller & Frings, 2004).

2.2.1. Geschmacksknospen

Der Kontakt zwischen Molekülen und Rezeptoren erfolgt über Geschmackrezeptorzellen meistens im Mund, vor allem „auf der Zunge, in einigen Bereichen des weichen Gaumens, Kehlkopf (Larynx), Kehldeckel (Epiglottis) und in der Speiseröhre“ (Moyes & Schulte, 2008). Diese Geschmackrezeptorzellen kommen in Gruppen vor, die als Geschmacksknospen bezeichnet werden (Abb. 2). Die Geschmackszellen sind sekundäre Sinneszellen, die ihr Signal über eine Synapse auf die Geschmacksnerven weiterleiten. Bei allen Wirbeltieren sind drei Nerven für die Innervation zuständig: N. facialis (VII), N. glossopharyngeus (IX) und N. vagus (X) (Burdach, 1988). Die Geschmacksknospen samt der Geschmackszellen sind intraepithelial, das heißt, sie gehen aus dem lokalen Epithel hervor, während die anderen Rezeptorzellen wie das gesamte Nervensystem aus dem neurogenen Ektoderm entstehen (Eckert et al., 2000).

Die Geschmacksknospen, die einer Zwiebel ähneln, bestehen je aus 50-100 Zellen. Es hat an ihrer apikalen Spitze eine zentral gelegene Öffnung (Porus gustatorius), in die die zahlreichen Mikrovilli ragen, in deren Membran die für Reizaufnahme zuständigen Geschmackrezeptoren lokalisiert sind (Hensel, 1966). Die Zellen, die Mikrovilli besitzen, werden als Rezeptorvilli bezeichnet. Diese erreichen das apikale Knospenende, während die sogenannten Basalzellen an der Basis der Knospe liegen (Abb.2). Die Rezeptorzellen sind nur für Reizaufnahme und nicht für Weiterleitung der Signale verantwortlich (Burdach, 1988). Die nicht spezialisierten, mehrschichtigen Trägerepithelzellen werden als Rand- oder Marginalzellen bezeichnet (Eckert et al., 2000).

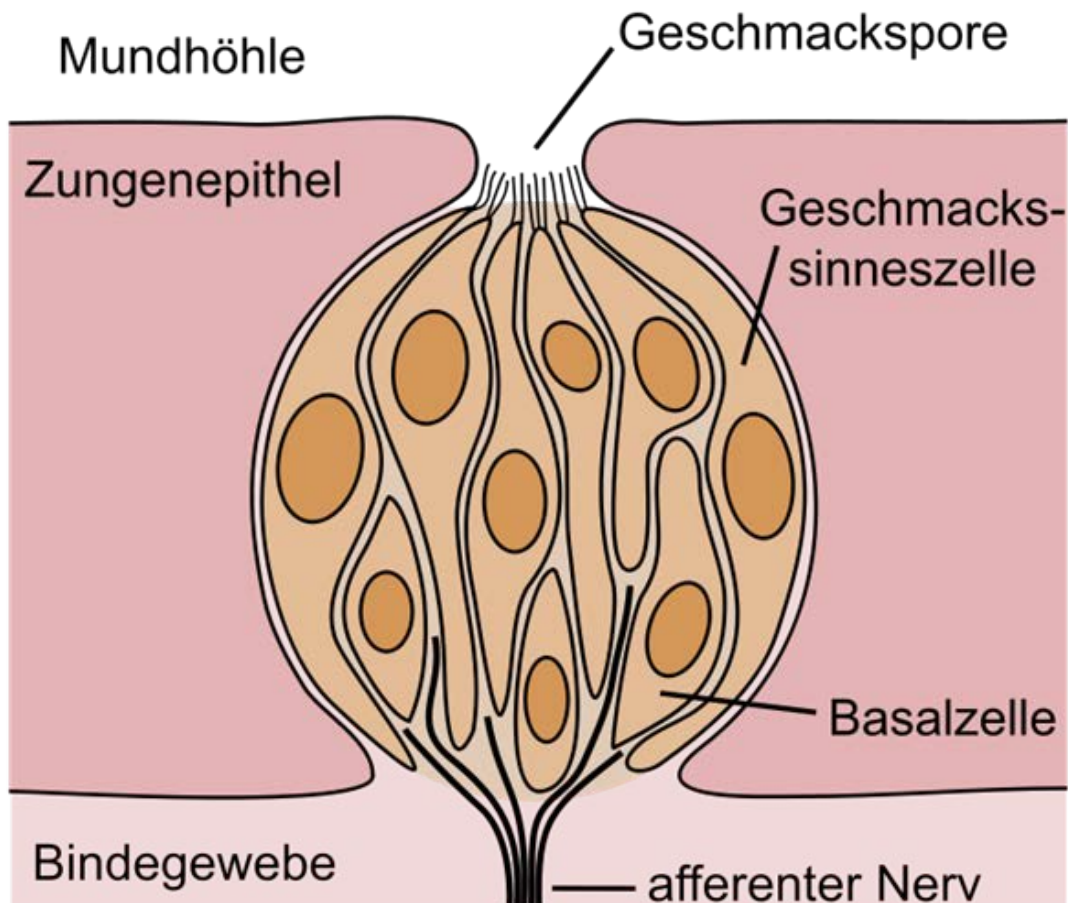


Abb. 2: Schematische Darstellung einer Geschmacksknospe (Quelle: Wikipedia)

Auf der Zunge sind die Geschmacksknospen in den Wänden der sogenannten Papillen eingebettet. Morphologisch sind drei Papillentypen zu unterscheiden, die einen Geschmack erkennen können (Abb. 3); Pilz- (Papillae fungiformes), Blätter- (Papillae foliatae) und Wallpapillen (Papillae vallatae) (Smith, 2000).

Die Pilzpapillen befinden sich beim Menschen vor allem im vorderen Zungenbereich, während die Blätterpapillen (an der Seite) und Wallpapillen (eher zentral gelegen) im hinteren Drittel der Zunge verteilt sind. Wallpapillen besitzen rund um 100, Blätterpapillen circa 50 und die Pilzpapillen nur 3-4 Geschmacksknospen. Ein Mensch besitzt circa 2000 - 4000 (bei Kleinkindern etwa 8000; Eckert et al., 2000) Geschmacksknospen. Auf der restlichen Zunge befinden sich die sogenannten Fadenpapillen (Papillae filiformes), die taktile Funktionen haben und keinen Geschmack erkennen (Schmidt et al., 2005).

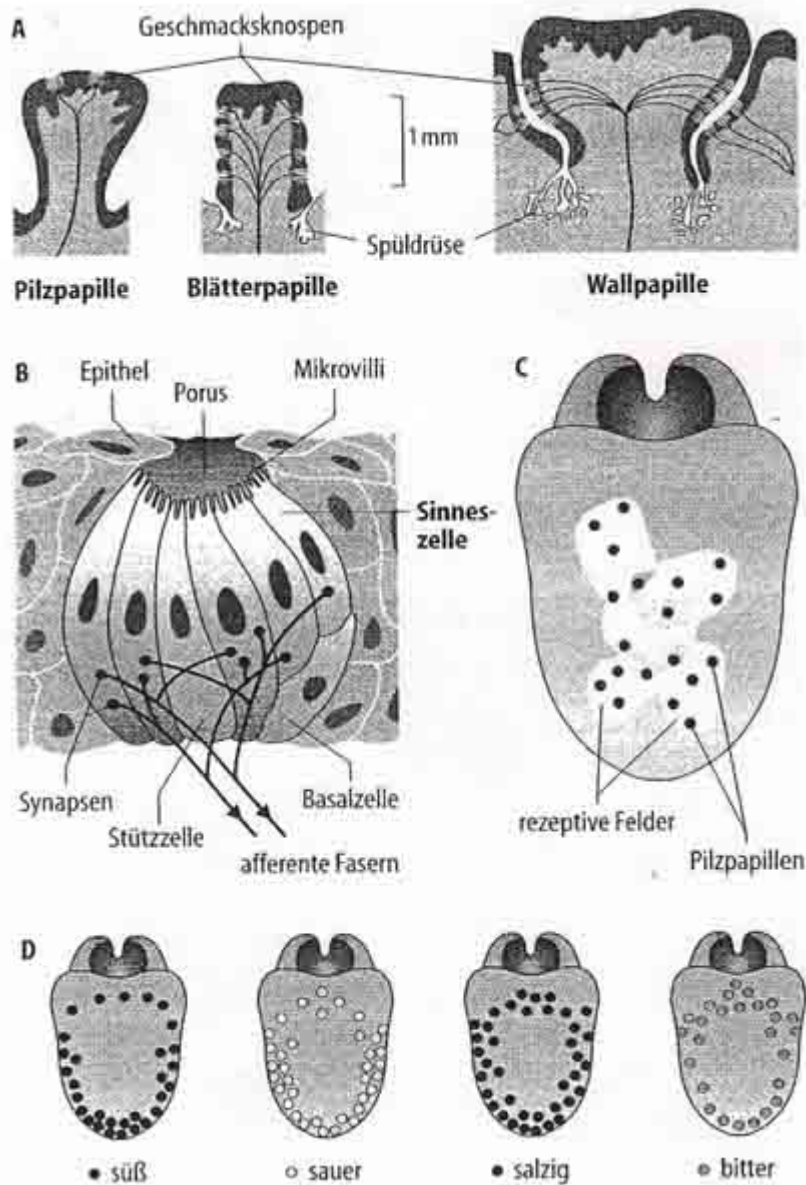


Abb. 3: **A** Die 3 Typen der Geschmackspapillen. **B** Aufbau und Innervation einer Geschmacksknospe. Jede Sinneszelle wird meist von mehreren afferenten Hirnnervenfasern innerviert. **C** Rezeptive Felder auf der Zunge. Die einzelnen afferenten Hirnnervenfasern haben ausgedehnte, einander überlappende Innervationsgebiete, die mehrere Pilzpapillen umfassen. **D** Bevorzugte Lokalisation der vier Geschmacksqualitäten auf der Zunge des Menschen. (Quelle: Google)

2.2.2. Geschmacksarten

Nach jetzigem wissenschaftlichen Stand gibt es fünf Grundgeschmacksrichtungen: süß, sauer, bitter, salzig und umami, über die in den letzten Jahrzehnten sehr viel geforscht wurde (Roper, 2007). Die Geschmacksrichtungen süß, salzig und umami, zeigen den Lebewesen die wichtigen Nahrungsquellen an, während bitterer und sauer Geschmack sie vor giftigen Nahrungsmitteln schützen (Moyes & Schulte, 2008).

2.2.2.1. Sauer

Bei dem sauren Geschmack geht es im Allgemeinen um die Wahrnehmung der Säuren. Dabei spielen hauptsächlich die K^+ -Kanäle eine wichtige Rolle. Die Depolarisation erfolgt, wenn ihre K^+ -Leitfähigkeit abnimmt, nachdem die Kanäle durch Protonen blockiert werden. Dann werden über spannungsabhängige Na^+ - und K^+ -Kanäle Aktionspotentiale ausgelöst, die „über den Ca^{+2} -Einstrom durch spannungsabhängige Ca^+ -kanäle zur Transmitterfreisetzung und zur Erregung des Nervenfasern“ führt (Eckert et al., 2000).

2.2.2.2. Salzig

Die Ionen, vor allem das Na^+ -Ion ist zuständig für salzigen Geschmack. Außerdem tragen Anionen von Natriumsalzen dazu bei. Die „Geschmackszellen, die vorwiegend auf salzige Substanzen reagieren, besitzen in ihrer apikalen Membran Ionenkanäle, die vorwiegend für Na^+ “ durchlässig sind. Na^+ -Einstrom in die Zelle bewirkt eine Depolarisation (Eckert et al., 2000). Die restlichen Schritte erfolgen so, wie es bei der Wahrnehmung des sauren Geschmacks beschrieben wurde.

2.2.2.3. Süß

Der süße Geschmack wird durch ein breites Spektrum an Stoffen ausgelöst, aber die typischen Stimuli dafür sind die niedermolekularen Kohlenhydrate wie Mono- und Disaccharide wie Saccharose, Fruktose oder Glukose. Außerdem schmecken manche Aminosäuren, einige Alkohole, bestimmte Peptide und Proteine auch süß (Müller & Frings, 2004). Zusätzlich gibt es künstliche Verbindungen und Süßstoffe, die auch von Menschen und vielen anderen Tieren als süß empfunden werden.

Die Depolarisation, die zu einem Aktionspotential führt, entsteht dann, wenn in der Zelle ein K^+ -Kanal Typ blockiert wird. Diese Blockade entsteht nach der Aktivierung der Adenylatzyklase durch das G-Protein Alpha-Gustducin, das wiederum die süße Stoffkomponente an die Zellmembran bindet (Eckert et al., 2000). Süßstoffe werden über die heterodimeren G-Protein gekoppelten Rezeptoren T1R2 und T1R3 und über eine Kaskade mit den Geschmack-spezifischen G-Protein Alpha-Gustducin erkannt (Sutherland et al., 2008).

Diese Süßrezeptoren haben einen extrazellulären N-Terminus, der mehrere Liganden-Bindungsstellen für die unterschiedlichen süß schmeckenden Substanzen besitzt. Das könnte für die Fähigkeit der Rezeptoren als Erklärung dienen, dass sie auf eine große Bandbreite an süß schmeckenden Verbindungen reagieren (Cui et al., 2006).

2.2.2.4. Bitter

Bitter schmeckende Stoffe sind vor allem die anorganischen Kalzium-, Ammonium-, Magnesiumsalze und die organischen Substanzen wie Alkaloide, Amide, Amine, Coffein, Harnstoff, Chinin, Phenole und einige Aminosäuren. Da Bitterkeit eher ein ablehnendes Verhalten auslöst, nimmt man an, dass es beim

Schutz der Lebewesen vor gefährlichen Nahrungsmitteln eine wichtige Rolle spielt und somit als „Warnindikator“ für die Lebewesen darstellt. (Burdach, 1988).

Wie bei dem süßen Geschmack sind auch die G-Protein Rezeptorkanäle für den Bittergeschmack zuständig. Die Wege zur Depolarisation sind aber anders als die vom süßen Geschmack. Rezeptorproteine „stimulieren über G-Proteine eine Phospholipase“ und diese führt dazu, dass in der Zelle die Konzentration von Inositoltriphosphat ansteigt. Dieses führt zur „Freisetzung der Ca^{+2} -Ione aus endoplasmatischem Retikulum“, welches schließlich ein Aktionspotential bewirkt (Eckert et al., 2000). Die Bitterrezeptoren wurden als T2R (auch Tas2R) bezeichnet.

2.2.2.5. Umami

Diese Geschmackrichtung ist der Salz von Natriumglutamat oder Mononatriumglutamat (engl. Monosodium Glutamat - MSG) und wird als „umami“ (auf Japanischen heißt das „köstlich, nach Fleisch schmeckend; Müller & Frings, 2004) bezeichnet. Man gewann es aus getrocknetem Seetang und es wird als Geschmacksverstärker in der Nahrungsindustrie verwendet.

Die Empfindungen süß, bitter und umami werden durch die Wechselwirkung von Molekülen mit der geschmacklichen G-Protein-gekoppelte Rezeptoren T1Rs und T2Rs definiert. Beide Rezeptor- Familien konvergieren auf einen gemeinsamen Signalweg im Geschmack Rezeptorzellen. (Sugita, 2006).

2.2.3. Zungenanatomie der Kurzkopfgleitbeutler

Die tägliche Einnahme von Lebensmittel aus der äußeren Umgebung ist eine der treibenden Kräfte der Evolution (Go, 2006), welche auch auf den

Geschmacksinn, Zungenanatomie und ihre Genkodierungen wirken könnte. Die Säugetier-Zunge hat für spezielle Funktionen verschiedene Strukturen entwickelt. Die Struktur der Papillen gibt Information über Fressgewohnheiten und Taxonomie des Tieres und zeigt uns, was für eine Nahrungsart das Tier hat (Okada & Schraufnagel, 2005). Die Existenz der verhornten, mechanischen Fadenpapillen auf der fast gesamten Zunge und in einem Dreieck angeordnete Wallpapillen an der Zungenbasis sind charakteristisch für die meisten Beuteltiere (Krause & Cutts, 1982). Je nach Ernährung ist die Struktur der Fadenpapillen ein trennendes Merkmal zwischen den Arten unter Beuteltieren.

Die meisten Studien, die im Allgemeinen die Zungenanatomie betreffen, basieren auf die Untersuchungen der Zungen von Menschen, Kaninchen, Ratten und Mäusen (Eckert et al., 2000). Aus diesem Grund sind Forschungsarbeiten über Beuteltier-Zunge selten zu finden. In dieser Unterklasse dient der Koala als ein beliebtes Forschungsobjekt.

Obwohl bis jetzt über die Anatomie der Zunge des Kurzkopfgleitbeutlers keine Studien vorliegen, gibt es einige ähnliche Arbeiten über verwandte Arten unter den Beuteltieren. Einer dieser Arten ist Zwergbeutler (*Acrobates pygmeus*, feathertail glider) der Familie Acrobatidae, der sich wie Kurzkopfgleitbeutler vor allem vom Blütennektar ernährt. Wenn man die Struktur seiner Zunge unter dem Licht- und Rasterelektronenmikroskop untersucht, sind drei unterschiedliche Geschmackspapillen zu beschreiben: die mechanischen Fadenpapillen sowie geschmacksensorische Pilz- und Wallpapillen (Jackowiak & Godynicki, 2007).

Die Autoren beschreiben die Struktur der Fadenpapillen, die beim Sammeln der Pollen eine wichtige Rolle spielen, folgendermaßen: „The arrangement, shape, and size of filiform papillae and the direction of their keratinized processes change depending on the part of the tongue, so that the surface of the apex and the body of the tongue resembles a brush adapted to effective holding of semiliquid food and collection of pollen.”

Die Pilzpapillen beim *A. pygmeus* haben eine einzige Geschmacksknospe und sind zwischen den Fadenpapillen nur auf der vorderen Hälfte der Zunge gleichmäßig verstreut. Auf der glatten Basis der Zunge sind drei ovale Wallpapillen in Form eines Dreiecks angeordnet, wie es bei den anderen Beuteltieren der Fall ist. Die hintere Papille ist am größten und steht senkrecht zu den kleineren vorderen.

Es ist anzunehmen, dass die Fadenpapillen auf der Zunge der Kurzkopfgleitbeutler auch zur selben oder ähnlichen Aufgabe wie beim *A. pygmeus* dienen. Die spezielle Anordnung dieser und die anderen Geschmackspapillen deuten darauf hin, dass die Zungenstruktur dieser Nektarfressenden Tiere zu ihrem Fressverhalten angepasst ist (Jackowiak & Godynicki, 2007).

Eine andere Art, deren Zunge elektronenmikroskopisch untersucht wurde, ist *Didelphis marsupialis*, die im Vergleich zu *Acrobates pygmeus* in entfernter Verwandtschaft zu Kurzkopfgleitbeutler steht. Diese Opossumart besitzt vier Arten Papillen: Fadenpapillen, Pilzpapillen, Wallpapillen und die konischen Papillen (Okada & Schraufnagel, 2005).

Diese Autoren beschreiben die Struktur der Fadenpapillen dieser omnivoren Opossum Art folgendermaßen: [...] the filiform papillae have a spearhead-like main process and spiny accessory processes around the apical part of the main process. The shape and number of both processes depend on their position on the tongue. On the apex, the main processes have shovel-like capillary networks and the accessory processes have small conical networks. On the lingual radix, the processes have small capillary loops. In the patch region, conical papillae have Capillaries arranged as a full sail curving posteriorly."

Die Pilzpapillen sind zwischen Fadenpapillen zerstreut. An der Zungenspitze sind sie drei oder viermal größer als die auf der restlichen Zunge und bilden hier ein fächerförmiges Netzwerk. Wie alle anderen Beuteltiere hat diese Opossum Art auch drei in einem Dreieck angeordnete Wallpapillen. Was die Zunge von *Didelphis marsupialis* betrifft, kann man sagen, dass sie die Merkmale der Fleischfresser beibehielt aber die Merkmale anderer Pflanzen fressenden Beuteltiere entwickelte (Okada & Schraufnagel, 2005).

Was die Zungenanatomie betrifft, liegt es auch eine Arbeit über den Honigbeutler *Tarsipes rostratus* der Familie Tarsipedidae (Rüsselbeutler) vor, der sich ausschließlich von Nektar und Pollen ernährt (Richardson et al., 1986). Entsprechend seiner Ernährung hat der Honigbeutler an der Spitze seiner Zunge lange Fadenpapillen und an dem Großteil der Zungenoberfläche die kürzeren. Diese Fadenpapillen sammeln Nektar und Pollen, die an einigen Reihen von verhornten Kämmen im Gaumenbereich abgestreift werden, wenn der Honigbeutler seine lange Zunge in sein Maul zurückführt.

Wie die Zungenanatomie hat dieser Nahrungsspezialist auch besondere Merkmale in seinem Verdauungstrakt bezüglich Verdauung des Nektars und der Darmpassage der Pollen. Der Magen des Honigbeutlers kann während der Zeiten des Überschusses in einem großen Divertikel Nektar speichern. Die Pollen werden nicht im Magen, sondern im Dünndarm während der Darmpassage verdaut. Der Honigbeutler kann eine große Menge Pollen verdauen und erhält wahrscheinlich somit die notwendigen Nährstoffe, die ihm im Nektar fehlen.

Ein anderes Tier, das Merkmale sowohl von Pflanzenfresser als auch von Fleischfresser auf der Zunge zeigt, ist der Koala (*Phascolarctos cinereus*). Er besitzt Fadenpapillen, die typisch für Pflanzenfresser sind. Aber die Form der Bindegewebe-Kerne dieser Papillen hat die Eigenschaften der Papillen von einem Fleischfresser; sie bestehen aus einem Hauptteil und mehreren kleineren

Teilen an der Basis. Die Bindegewebe-Kerne der Pilzpapillen haben eine dicke kuppelähnliche Struktur mit mehreren Geschmacksknospen auf der Oberseite (Kobayashi et al., 2003).

Der Koala hat auch in einem Dreieck angeordnete drei Wallpapillen. Anstatt Blätterpapillen, besitzt er fingerähnliche konische Papillen, die eigentlich auf der Zunge bei Fleischfressern wie Hunden und Katzen vorkommen. Auch wenn der Koala Besonderheiten von Fleisch fressenden Tieren wie Hunde und Katzen entwickelte, bewahrte er auf der Zunge Merkmale der Pflanzenfresser (Kobayashi et al., 2003).

Der Koala ist nicht nur auf Eukalyptusblätter spezialisiert, er ist auch bei der Wahl der Blätter selektiv. Moore & Foley (2000) haben herausgefunden, dass es eine engere Beziehung zwischen chemischer Zusammensetzung des Blattes und die Futterpräferenz der Koala existiert, als man bis jetzt annahm.

Dieses Ergebnis wurde auch durch die Arbeit von Phillips & Callaghan (2000) unterstützt. Sie untersuchten die Präferenz der Koalas für eine Art von Eukalyptusbaum, der in unterschiedlichen Böden wuchs und fanden dabei heraus, dass die Koalas Eukalyptusblätter aus Schiefer-Böden mehr bevorzugten als Blätter von Bäumen aus sandigen Böden. Es ist anzunehmen, dass diese Unterscheidung zum Teil auf die Eigenschaften der Zunge zurückzuführen ist.

In einer der jüngsten Studien fand man heraus, dass es bei der Bevorzugung bestimmter Blätter nicht nur auf die chemischen Inhaltstoffen der Blätter, sondern auch wahrscheinlich auf eine Kombination von inneren Faktoren wie Blattentwicklung, reproduktiver Zustand, chemischem Fingerabdruck des Blattes und die Feuchtigkeit ankommt (Higgins et al., 2011). Man nimmt an, dass die Koalas durch ihre selektive Auswahl an Blättersorten ihre Aufnahme von Bestandteilen für Proteine maximieren (Martin, 1985).

2.2.4. Geschmacksinn der Kurzkopfgleitbeutler

Lieder liegen auch in diesem Bereich sehr wenige Arbeiten über Kurzkopfgleitbeutler. Die meisten Forschungen über Fressverhalten des Kurzkopfgleitbeutler haben eher einen ökologischen Charakter und dienen meistens zu bestäubungsbiologischen Arbeiten oder sie beschreiben, wovon sich die Tiere im Allgemeinen ernähren sowie geben Information über die saisonale Verhaltensweise der Nahrungssuche. Die überwiegenden Arbeiten bezüglich des Geschmacksinnes stammen von Versuchen an der Zunge der Menschen, der Ratten und der Mäuse. Ganz spezifische Arbeiten über Geschmacksinn wurden auch selten bei den Beuteltieren untersucht. Diese könnten als Vergleich für Kurzkopfgleitbeutler dienen.

Ähnliche Versuche wie meine wurden von Landwehr et al. (1990) bei dem *Tarsipes rostratus* (Honigbeutler, Tarsipedidae) und beim *Cercartetus concinnus* (Burramyidae) durchgeführt. Dabei kam heraus, dass der Honigbeutler Saccharose zu Fruktose und diese beiden zu Glukose bevorzugt (Saccharose > Fruktose > Glukose) aber er schien nicht in der Lage zu sein, konsequent zwischen Mischungen dieser drei Zuckerlösungen zu unterscheiden. Es sah bei *Cercartetus concinnus* etwas anders aus; der hatte eine Präferenz für Fruktose gegenüber Saccharose und gegenüber Glukose (Fruktose > Saccharose > Glukose). Diese Empfindlichkeitsabstufung (Fruktose > Saccharose > Glukose) haben auch die menschlichen Süßrezeptorzellen sowie die von der Stubenfliege (Eckert et al., 2000).

Ein anderer Versuch wurde mit dem Virginia Opossum *Didelphis virginiana* durchgeführt. Dem Tier wurde zwei Lösungen mit der „Zwei-Flaschen-Test-Methode“ zum Präferieren angeboten; eine 5 %ige Zuckerlösung und normales Wasser. Es gab keinen Zweifel, dass die Tiere die gesüßte Lösung bevorzugten (James, 1980), aber über eine Präferenz zwischen mehreren Zuckersorten wurde dabei nicht untersucht.

Über die Geschmacksschwelle der Kurzkopfgleitbeutler lagen bis jetzt keine Arbeiten vor. Wie bei anderen geschmacksspezifischen Versuchen sind auch in diesem Bereich meistens Arbeiten über Menschen und Labortiere sowie Primaten zu finden.

Der Schwellenwert für Saccharose beim Menschen liegt circa bei 0,8% (Wojcik, 1976), welches es 30 mM ausmacht. Während Eckert et al. (2000) und Burdach, (1988) die Geschmacksschwelle von Saccharose als $1 \cdot 10^{-2}$ M [10 mM] und von Glukose als $8 \cdot 10^{-2}$ M [80 mM] auflisten, gibt Hensel (1966) den gleichen Wert für Saccharose, aber für Glukose den Wert als 0,17 M [170 mM] an.

Folgende Schwellenwerte bei einigen Tierarten verschaffen einen Überblick und zeigen ihre Präferenz für eine bestimmte Zuckersorte (siehe auch Tab. 1):

Schimpanse (*Pan troglodytes*): 50 mM für Fruktose (Remis, 2006);

Pongo pygmaeus: 40-50 mM für Fruktose, (Simmen & Charlot, 2003);

Pan troglodytes: 40-50 mM für Fruktose, (Simmen & Charlot, 2003);

Gorilla gorilla: 70-80 mM für Fruktose (Simmen & Charlot, 2003);

Totenkopffaffe (*Saimiri sciureus*): 10 mM für Saccharose, 40 mM für Fruktose, 90 mM für Glukose, 100 mM für Laktose (Laska, 1996);

Klammeraffe (*Ateles geoffroyi*): 3 mM für Saccharose, 10 mM für Laktose, 15 mM für Fruktose, 20 mM für Glukose. Die Ergebnisse zeigten, dass die Klammeraffen die niedrigsten Zucker-Konzentrationen im Vergleich zu anderen nicht-menschlichen Primaten haben (Laska et al., 1996);

Kalb (4-16 Wochen alt): 10 mM für Glycin, 20 mM für Saccharose, über 40 mM für Fruktose und für Laktose, 4 mM für Natrium-Saccharin; für Galaktose mäßig, für Acesulfam-K und Maltose uneinheitlich; Aspartam und Xylit nicht bei jeder Konzentration präferiert (Hellekant et al., 1994);

Kaninchen (*Oryctolagus cuniculus*): 30 mM für Maltose, 50 mM für Saccharose, 75 mM für Glukose, 150 mM für Fruktose, 175 mM für Laktose. Wenn die

Lösungen zum Präferieren gemeinsam angeboten wurden, dann sah die Reihenfolge wie folgt: Maltose = Polycose > Saccharose > Glukose > Fructose = Lactose (Laska, 2002);

Nymphensittich (*Nymphicus hollandicus*): 160 mM für Glukose, 400 mM für Fructose (Matson et al., 2001);

Japanische Elritze (*Pseudorasbora parva*): Die Reihenfolge der Größenordnung des Ansprechens der Zuckersorten mit 1 M Lösung war folgendes: Mannose = Maltose = Fructose > Saccharose > Galaktose > Glukose (Kaku et al., 1980).

Tamarin (*Saguinus midas*): Die Versuche mit 0,3 M Zuckerlösungen ergaben folgende Anordnung: Fructose > Glukose > Laktose > Arabinose > Sacharose = Galaktose > Raffinose (Glaser & Hellekant, 1977).

Weitere Ergebnisse wurden bei Nektar fressenden Fledermäusen *Cynopterus brachyotis*, *Pteropus rodricensis*, *P. pumilus*, *P. vampyrus*, und *P. hypomelanus* erzielt. Diese Fledermäuse wurden in Käfighaltung geboren und vor den Experimenten erhielten sie zwischen 1. bis 6. Jahre eine Diät mit einer Zusammensetzung von Zuckersorten im Verhältnis Saccharose = Glukose > Fructose. Man testete die Hypothese, dass die Tiere zwischen Saccharose und Glukose nicht unterscheiden und diese beiden Zuckersorten gegenüber der Fructose präferieren würden. Aber die Tiere bevorzugten die Lösungen in der Reihe Saccharose > Fructose > Glukose. Man hat außerdem die Geschmacksschwellen für einzelne Zuckersorten ermittelt: 0,15 % für Saccharose, >0,5 % für Fructose und 0,5 % für Glukose. Die Schwellenwerte würden für eine Bevorzugung der Saccharose zu Glukose und Fructose erklären aber nicht die Präferenz für Fructose vor Glukose (Herrera et al., 2000).

Tab. 1: Überblick für Geschmacksschwellen in mM bei einigen Tieren nach der Literaturangabe der oben erwähnten Beispiele. S: Saccharose; F: Fruktose; G: Glukose; L: Laktose; Gly: Glycin; M: Maltose. Prozentangaben bei Fledermäusen deuten auf Gewichtsprozent der Lösung hin. Keine Zahlenangabe zeigt es, dass bei dieser Tierart diese Untersuchung nicht durchgeführt wurde.

Tierart	Zuckersorte	S	F	G	L	Gly	M
Schimpanse		-	40-50	-	-	-	-
<i>Pongo pygmaeus</i>		-	40-50	-	-	-	-
<i>Gorilla gorilla</i> :		-	70-80	-	-	-	-
Totenkopffaffe		10	40	90	100	-	-
Klammeraffe		3	15	20	10	-	-
Kalb		20	40	-	40	10	-
Kaninchen		50	150	75	175	-	30
Nymphensittich		-	400	160	-	-	-
Fledermäuse		0,15%	0,5%	0,5%	-	-	-

2.3. Fragestellung

Kurzkopfgleitbeutler ernähren sich hauptsächlich von süßen und saftigen Früchten. Deswegen werden die Tiere im Tiergarten auch mit solchen Früchten gefüttert, was ich bei Material und Methode ausführlicher erklären werde. Während eines Projektpraktikums konnte ich mich eingehend mit diesen Tieren befassen. Nach den Ergebnissen aus diesem Projektpraktikum waren meine Fragestellungen folgendermaßen:

- 1- Können die Kurzkopfgleitbeutler die Zuckersorten Saccharose, Glukose und Fruktose von Geschmack her erkennen und haben sie eine Präferenz für eine bestimmte Zuckersorte?
- 2- Welche Geschmacksschwelle haben die Kurzkopfgleitbeutler für die oben genannten Zuckersorten?
- 3- Sind diese Tiere imstande, künstliche Süßersatzstoffe von Zucker zu unterscheiden?

3. Material und Methode

3.1. Versuchsort und Versuchsbedingungen

Die Versuche wurden im Regenwaldhaus des Tiergartens Schönbrunn in einem Zeitraum von 8.4.2007 bis 22.7.2007 durchgeführt. Die Temperatur betrug zwischen 18 und 24 °C, an heißeren Sommertagen war es im geschlossenen Regenwaldhaus auch heißer. Die relative Feuchtigkeit war zwischen 50 und 65 %, die durch künstlichen Regen hergestellt wurde.

Da die Tiere in ihrem Habitat nachtaktiv sind, wurde die Hell-Dunkel-Periode umgestellt, vor allem aber deswegen, damit die Zoobesucher die Tiere auch sehen können. Wenn es am Tag hell wäre, würden die Tiere in ihre Schlafplätze und in die Löcher des Terrariums zurückziehen. Außerhalb des Terrariums gibt es zusätzlich einen Raum, wo das Tageslicht nicht eindringt und nur künstlich beleuchtet wird.

Um die Tiere an die Dunkelheit langsam zu gewöhnen, werden innerhalb einer halben Stunde (in Winterzeit zwischen 9:00 und 9:30 und in Sommerzeit zwischen 10:00 und 10:30) vier verschiedene Lichtstrahler automatisch ausgeschaltet. Aber damit die Besucher die Tiere sehen können, wird das Terrarium mit einem blauen und einem roten Licht beleuchtet, das für die Tiere angenehmer als gelbes bzw. weißes Licht ist.

Im Sommer 2007 während ich die Versuche durchgeführt habe, wurden im Regenwaldhaus eine Zeitlang Bauarbeiten mit lautem Hämmern und Bohren gemacht, durch das die Tiere gestört wurden. An solchen Tagen habe ich keine Versuche durchgeführt.

3.2. Versuchstiere

Die Kurzkopfgleitbeutler, die im Schönbrunn Tiergarten gehalten werden, wurden im Oktober 2002 aufgrund eines illegalen Importes am Flughafen Amsterdam beschlagnahmt und einige stammen von privaten Besitzern. Seitdem wurden ungefähr 10 Jungtiere geboren. Man schätzt, dass es im Gehege ca. 20 Individuen gibt. Die genaue Anzahl kann nicht genau angegeben werden, da einige Individuen sich in Zwischenräumen der Wand aufhalten. Weil nicht alle Tiere gleichzeitig zum Fressen kommen, kann man sie nicht genau zählen. Die Zahl ergibt sich anhand der (geschätzten) Geburten gemeinsam mit den Tieren, die ursprünglich aus Amsterdam kamen.

In einem Gehege (4,7 x 2 bis 3 x 2,7 m / Länge x Breite x Höhe) (Abb. 4) mit Ficus- und einigen künstlichen Bäumen und trockenem Geäst leben 2 Kolonien. Die Männchen sind in der Überzahl. Als Nistplatz hat man einige Nistkästen auf Baustämme montiert. Aber nicht alle Kästen werden zum Nisten gebraucht; eine Kolonie nistet in einem Nistkasten links im Gehege, die zweite im anderen Teil des Geheges – ganz oben in einem Wandloch. Es kam auch vor, dass die Kolonie ihre Nistplätze änderten. Die leeren Nistkästen wurden nicht von einzelnen Individuen aufgesucht. Aufgrund der zu geringen Ausdehnung des Geheges war das Gleiten der Tiere unmöglich.

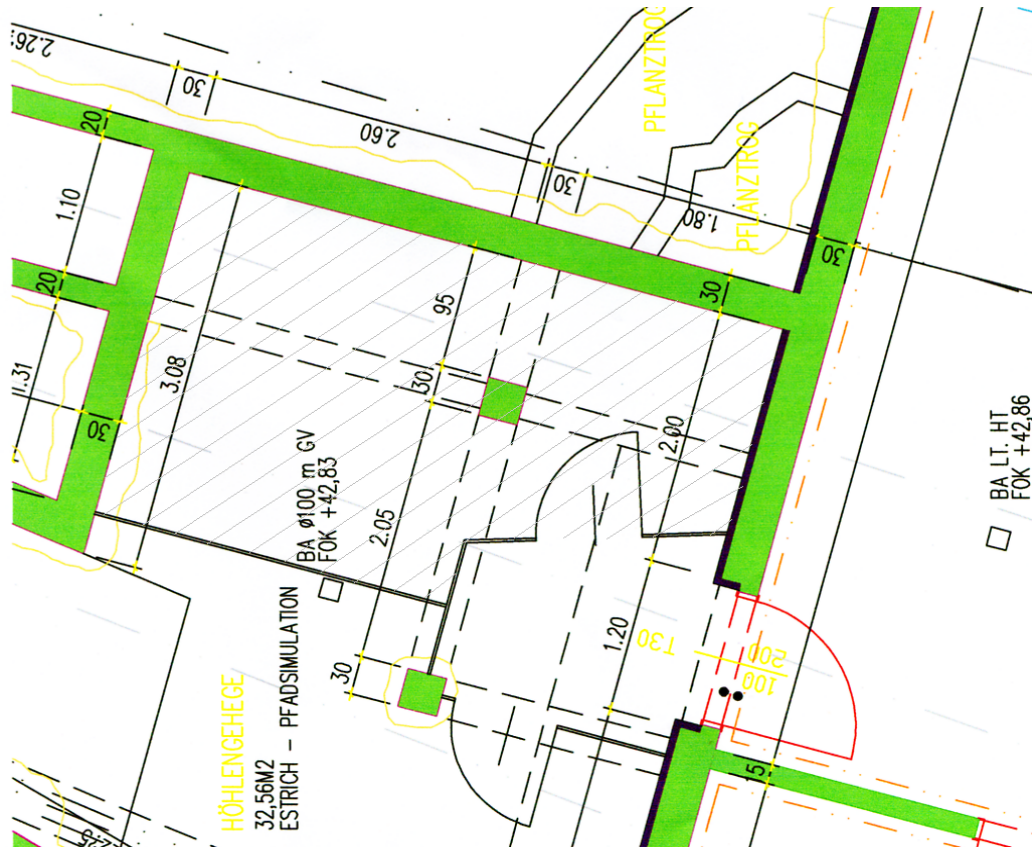


Abb. 4: Grundriss des Geheges der Kurzkopfgleitbeutler (der schraffierte Teil des Planes) (Gaffron,2007).

Die Tiere wurden einmal täglich mit den folgenden ausgewählten Obst- und Gemüsesorten gefüttert: Papaya, Melonen, Weintrauben, Feigen (frische oder getrocknete, die über Nacht im Wasser eingeweicht wurden), Bananen, Apfel, Birnen, Ananas, Kiwi und Gurken. Das Futter wurde vor dem Ausschalten der Lichter vorbereitet. Die Obst- bzw. Gemüsestücke wurden entweder sehr groß geschnitten und als „Steckobst“ im Geäst gesteckt (Abb. 5) oder sehr fein geschnitten und in den Schüsseln gereicht, die mit Metallringen im Geäst befestigt oder in den Töpfen der Ficus-Bäume platziert wurden. Zusätzlich bekamen die Tiere täglich frisches Wasser in Schüsseln, die ebenfalls in den Töpfen bereitgestellt wurden. Manchmal bekamen sie Nektar (Pulvernektar mit Wasser gemischt) –auch in ein Schüssel serviert. Einige Obststücke wurden mit Kalzium bestreut.



Abb. 5: Das sogenannte „Steckobst“ im trockenen Geäst des Terrariums

Gelegentlich wurden sie auch mit Heimchen (Abb. 6), Mehlwürmern oder Fruchtjogurt gefüttert, um ihren Proteinbedarf abzudecken. An den Tagen, an denen ich meine Versuche über Fressverhalten durchgeführt hatte, bekamen die Tiere das Futter erst nach meinen Versuchen, damit Tiere nur das zu untersuchende Futter aussuchen konnten und damit sie auch für die Versuche mehr motiviert waren.



Abb. 6: Heimchen als Futter und zum Anlocken der Tiere und Nistkasten

3.3. Material

Um die Präferenz der Kurzkopfgleitbeutler für eine bestimmte Zuckersorte überprüfen zu können, bereitete ich zu Hause drei Zuckerlösungen vor, die jeweils aus 20 %iger Glukose, Saccharose bzw. Fruktose bestanden und den Tieren angeboten wurden.

Für den Versuch, ob die Tiere die künstlichen Süßstoffe unterscheiden können, verwendete ich ein flüssiges Süßstoffgemisch, das es in Supermärkten zu kaufen gibt. Dieses Gemisch beinhaltete die Süßstoffe Natrium Cyclamat, Saccharin-Natrium und Thaumatin. Laut Verpackung entsprechen 8 Tropfen (= 1 TL) einer

Süßkraft von 100g Haushaltszucker. Um eine 20 %ige Lösung herstellen zu können, tröpfelte ich acht Tropfen von diesem Gemisch in 500 ml Wasser. Zusätzlich wurde ein reiner Süßstoff Saccharin-Natrium (1,2-Benzisothiazol-3(2H)-on-1,1-dioxid, $C_7H_4NNaO_3S \cdot 2H_2O$, auch als E954 bezeichnet wird), der aus der Apotheke besorgt wurde (Marke: Hermesetas), auch zum Testen verwendet. Eine kleine Tablette hatte laut Verpackung 11,2 mg Saccharin-Na, das 5 g Haushaltszucker entspricht. Um etwa gleiche Süßungskraft erreichen zu können, wurde in 100 ml Wasser 4 Tabletten der Saccharin-Na aufgelöst, damit die Süßungskraft ca. 20 % wird, wie ich es bei den anderen Zuckerlösungen festlegte.

Wegen der Gefahr (Gombos et al., 2007) verwendete ich den Süßstoff Aspartam (L-Aspartyl-L-phenylalaninmethylester, $C_{14}H_{18}N_2O_5$) nicht, bei dem an den Verpackungen gewarnt wird, dass es eine Phenylalaninquelle enthält, die dem Organismus schädlich sein kann.

Die angebotenen Zuckerlösungen bei den Versuchen wurden in 10-ml-Vollpipetten aufgefüllt, die auf eine für die Untersuchung gebaute Holzkonstruktion mit Klemmen und Stativen befestigt wurden (Abb.7). Die Maße vom Holzgestell waren 90 cm x 60 cm (H, B) und hatte unten eine 60 cm x 40 cm (L, B) Holzplatte, damit es stabil steht.



Abb. 7: Holzgestell mit vier Pipetten, die an einem Stativ fixiert sind.

Außerdem hatte es auf der oberen Seite auch eine 60 cm x 17 cm große Schutzplatte (Abb. 8), damit die Pipetten durch die Tiere nicht betätigt wurden, was zum Ausrinnen der Zuckerlösung geführt hätte. Die Vollpipetten wurden in ca. 10 cm Abstand zu einander befestigt, der Abstand der Pipettenspitzen zur Bodenplatte des Holzgestells betrug ca. 12 cm, damit die Tiere leicht daran gelangen konnten. Beim Abwiegen der Zuckerlösungen wurde eine Digital-Küchenwaage verwendet. Zum Ablesen des Lösungsverbrauchs im Terrarium war ich auf eine Taschenlampe angewiesen, da die blaue bzw. rote Lichtquelle zum Ablesen des Meniskus nicht ausreichte.



Abb. 8: Holzgestell (seitlich) mit Stellplatte unten zur Stabilisierung und Schutzplatte oben zum Schutz der Saugvorrichtungen der Pipetten

3.4. Methode

Bevor das Licht im Terrarium ausgeschaltet wurde und die Tiere zum Fressen begannen, wurden die bereits zu Hause vorbereiteten 20%igen Zuckerlösungen in die Vollpipetten gefüllt, am Holzgestell befestigt und ins Terrarium gestellt. Dann verließ ich das Terrarium und beobachtete die Tiere vom außen durch eine Glasscheibe.

Ich testete die Bevorzugung der Lösungen von Kurzkopfgleitbeutlern immer paarweise, zuerst Glukose mit Saccharose (Versuch 1), dann Saccharose mit Fructose (Versuch 2) und schließlich Glukose mit Fructose (Versuch 3), und zwar jeweils an 20 Tagen, deren Zeitabstand willkürlich ausgesucht wurde. In

zwei der Pipetten wurde zufallsverteilt eine Sorte der Zuckerlösung gefüllt in die anderen zwei eine andere, damit die Tiere Möglichkeit hatten, wirklich eine der vier Pipetten auszusuchen, in der die bevorzugte Lösung gefüllt war.

Am Anfang füllte ich nur zwei Pipetten jeweils mit einer Sorte Zuckerlösung auf, was zu heftiger Drängerei bei den Pipetten führte. Die beiden Zuckerlösungen wurden innerhalb einigen Minuten leergetrunken. Deswegen musste ich den Tieren mehr Möglichkeit anbieten, dass sie die Lösungen aussuchen und ihre Präferenz dazu zeigen können. Aber um bestimmte Bevorzugungsrichtung zu vermeiden, wurde die Befestigungsreihe der Lösungen täglich geändert; auch aus diesem Grund, da sich die Tiere eher aus der linken Seite zum Gestell näherten.

Nachdem das Licht stufenweise automatisch ausgeschaltet wurde, kamen die Tiere zum Fressen, was innerhalb der ersten Minuten zum Drängen der Tiere führte. Die Tiere merkten sehr schnell, dass in den Pipetten Zuckerlösung vorhanden war und tranken daran. Ich las den Verbrauch in 5-Minuten Intervallen ab und notierte ihn. Außerdem zählte ich die Anzahl der Besuche der Tiere bei den Pipetten, um später ausschließen zu können, dass die Tiere eine Stelle bevorzugt hatten. Als Besuch zählte ich jede Annäherung des Tieres mit der Schnauze an der Spitze der Pipette, auch wenn das Tier von Lösung nicht getrunken hatte. Die Versuche führte ich 30 Minuten lang (Anhang 1). Wenn der Inhalt der Pipetten in dieser Zeit nicht ausgetrunken war, brach ich den Versuch ab und notierte die restliche Menge der Zuckerlösung. Dabei protokollierte ich die Zeit zum Austrinken auch. Wurde die Lösung nicht ausgetrunken, galt es für diese die Zeit bis zum Austrinken als 30 Minuten.

Neben der Zeit bis zum Austrinken, dem Verbrauch in 5-Minuten Intervallen und den Besuchen der Tiere an Lösungen, schrieb ich auch auffällige Verhaltensweisen und Besonderheiten auch auf, wie z. B. Störungen von außen,

intraspezifische Kämpfe etc., die bei den Tieren eine Fluchtreaktion auslösten und sie daher nicht mehr von den Lösungen tranken.

Um testen zu können, ob die Tiere den künstlichen Zucker von den anderen unterscheiden können, verwendete ich zuerst das flüssige Süßstoffgemisch und verdünnte es, wie es beschrieben wird, bis es der gewünschten Süßkraft entsprach. Der reine Süßstoff Saccharin-Natrium war nicht flüssig aber wurde im Wasser aufgelöst, bis die beschriebene Süßkraft erreicht wurde. Das verdünnte Süßstoffgemisch oder den aufgelösten Süßstoff Saccharin-Natrium füllte ich in die Pipetten und zum Vergleich bot ich eine der anderen Zuckerlösungen wie Saccharose und bei einem anderen Versuch nur Leitungswasser zur Präferenz der Tiere. Da die Tiere ihre Präferenz bezüglich Unterscheidung des Süßstoffes aus den anderen Zuckerlösungen und Leitungswasser sofort zeigten, führte ich die Tests jeweils nur an zwei Tagen durch.

Zum Ermitteln der Schwellenwerte der jeweiligen Zuckersorten verwendete ich die gleiche Konstruktion. Eine der vier Pipetten füllte ich mit einer Zuckerlösung an, die in der Konzentration viel geringer war als die für Präferenz für Zuckersorten verwendet wurden und setzte die Konzentration immer wieder niedriger an (begonnen mit 1%iger Lösung), bis sich die Tiere für jeweilige Zuckerlösung nicht mehr interessierten, bzw. diese nicht mehr besuchten. Als Gegenlösung füllte ich die anderen drei Pipetten nur mit Leitungswasser an. Die Reihe der Platzierung wurde ebenfalls geändert oder zufällig ausgewählt. Wie bei anderen Versuchen führte ich die Beobachtungen 30 Minuten lang und notierte dabei auch die Besuche der Tiere an einzelnen Pipetten.

3.5. Auswertung der Daten

Die statistische Datenauswertung wurde mit dem Programm Microsoft Office Excel 2003 und SPSS 11.00 für Windows durchgeführt. Die Daten wurden auf

Normalverteilung mit dem Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest geprüft. Die Parameter wurden als Mittelwerte und Standardabweichungen der Mittelwerte angegeben. Es wurden nichtparametrische statistische Methoden verwendet. Zur Prüfung der Unterschiede zweier unabhängiger Stichproben wurde der Mann-Whitney U-Test angewendet. Signifikante Unterschiede ergaben sich, wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit $p \leq 0,05$ war.

4. Ergebnisse

4.1. Präferenz für Zuckersorten

Die den Tieren zum Unterscheiden gegebenen Zuckerlösungen wurden paarweise in drei Versuchsreihen getestet und jede Lösung wurde in zwei Pipetten aufgefüllt. Die Platzierung erfolgte willkürlich. Die Gewöhnung der Tiere an das Holzgestell erfolgte sehr rasch, da den Tieren Zuckerlösungen mit hoher Konzentration geboten wurde, welche von Tieren als Nahrungsquelle sofort akzeptiert wurden.

4.1.1. Glukose- Saccharose (Versuch 1)

Die Konsumation der Zuckerlösungen begann gleich nach dem Ausschalten der Lichter. Die hungrigen Kurzkopfgleitbeutler stürmten auf die Pipetten mit Lösungen und tranken davon. Deswegen war der Besuch der Pipetten in den ersten Minuten stärker. Vor allem wurden die Pipetten mit Saccharose mehr besucht. Proportional damit stieg auch die Menge an konsumierter Zuckerlösung an. Aus diesem Grund wurden die Pipetten, die mit Saccharose gefüllt waren, signifikant schneller leer getrunken als die mit Glukose (Abb. 9). (Mann-Whitney-U-Test: Z: -6,851; p:0,000; n:40)

Für Glukose lagen der Mittelwert der Zeit bis zum Austrinken der Lösungen in den Pipetten bei 16,6 s und die Standartabweichung bei 5,04 s. Für Saccharose waren der Mittelwert bei 8,18 s und die Standartabweichung bei 3,15 s.

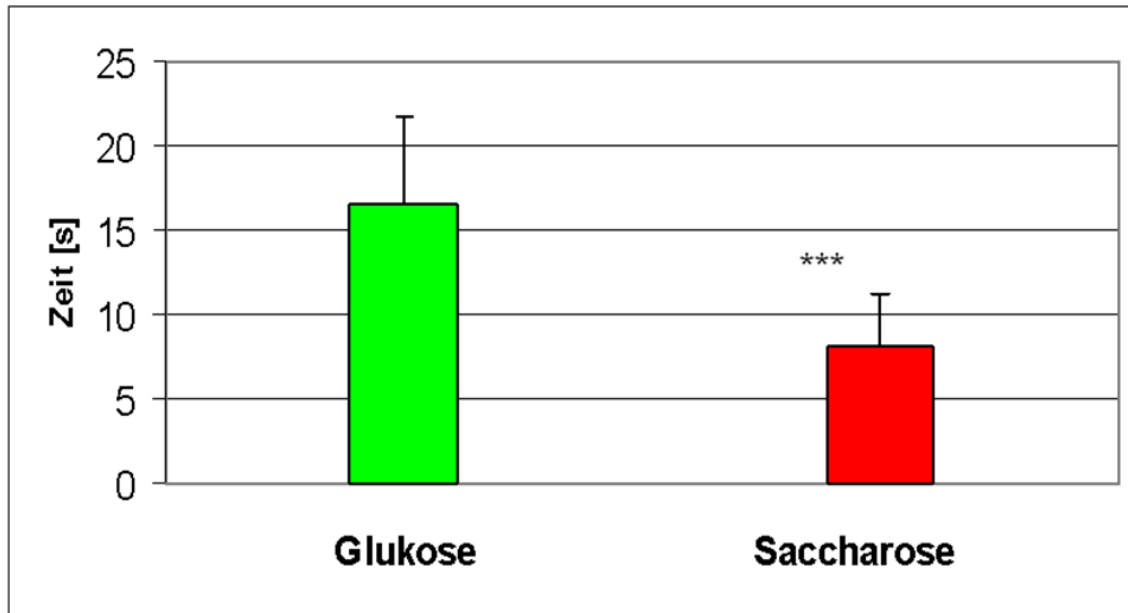


Abb. 9: Zeit bis zum Austrinken der Lösungen Glukose und Saccharose.

Die hohe Anzahl der Besuche an den mit Saccharose gefüllten Pipetten war proportional zur Menge der Zuckerlösung, die konsumiert wurde. Dabei wurde die größte Menge innerhalb der ersten fünf Minuten getrunken. Die mit Glukose gefüllten Pipetten wurden zwar auch innerhalb der ersten fünf Minuten besucht, aber die Tiere hielten sich nicht lange bei den Pipetten auf. Es wurde sogar bei zehn der vierzig Pipetten an insgesamt zwanzig Beobachtungstagen die Saccharose-Lösung innerhalb der ersten fünf Minuten leer getrunken. Außerdem wurde die Hälfte der gesamten vierzig Pipetten an zwanzig Versuchstagen, die mit Saccharose aufgefüllt waren, innerhalb der zweiten fünf Minuten leer getrunken. Die restlichen zehn Pipetten wurden zwischen der zehnten und zwanzigsten Minuten leer getrunken; es gab keine einzige Pipette, für die die Tiere mehr als zwanzig Minuten brauchten.

Bei Glukose wurde keine einzige Pipette innerhalb der ersten fünf Minuten leer getrunken und nur drei aus insgesamt vierzig Pipetten wurden zwischen der fünften und zehnten Minute leer getrunken. Die meisten Pipetten (28) wurden erst zwischen der zehnten und zwanzigsten Minute leer getrunken, während für die sieben Pipetten die Tiere mehr als zwanzig Minuten brauchten, um diese leer zu trinken. Bei zwei Pipetten wurden die Beobachtungen abgebrochen, da die festgelegte halbe Stunde überschritten war.

Wie es in Abb. 10 zu sehen ist, wurden innerhalb der ersten 15 Minuten mehr Saccharose-Lösung getrunken, während die Glukose im Vergleich zu Saccharose weniger konsumiert wurde. Es blieb fast immer Glukose-Lösung bis gegen Ende der festgelegten Zeit übrig.

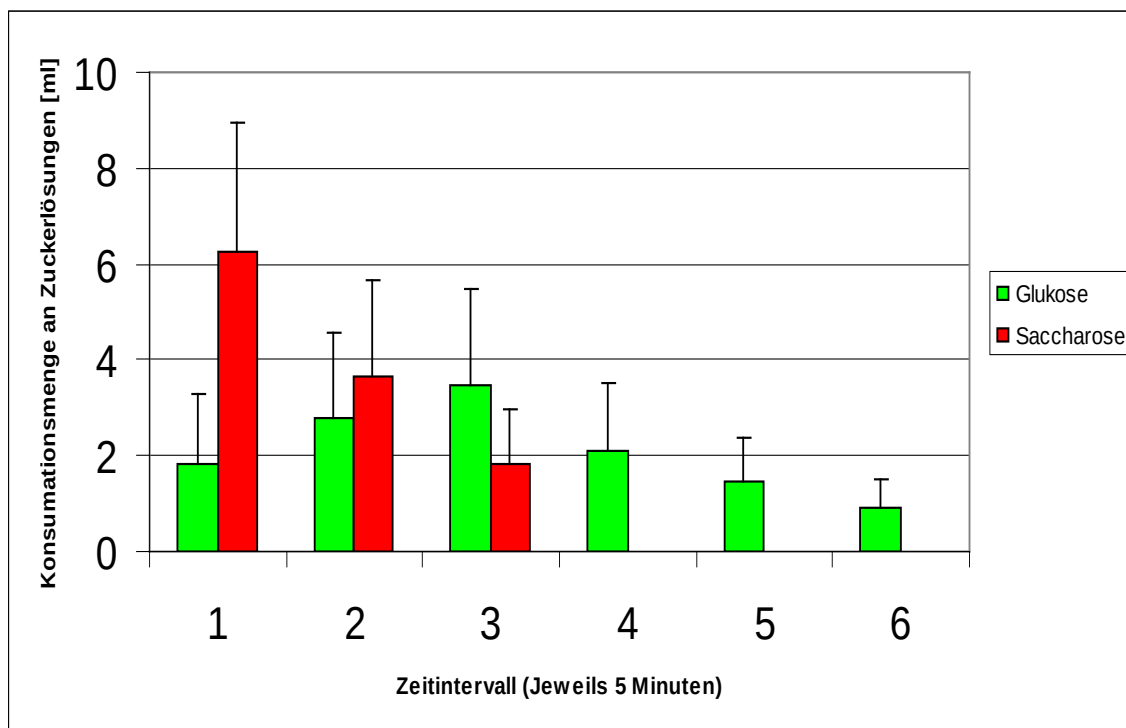


Abb. 10: Konsumtionsmenge an Zuckerlösungen Glukose- Saccharose

Die Kurzkopfgleitbeutler zeigten ihre Präferenz für eine bestimmte Zuckerlösung schon innerhalb der ersten Minuten, indem diese von den Tieren öfter besucht

wurde und die Verweildauer an diesen länger war. Außerdem besuchten gleichzeitig mehrere Individuen die Zuckerlösung, sodass an der jeweiligen Pipette oft eine Drängerei zu beobachten war. Abb. 11 zeigt, wie sich die Tiere beim Trinken verhielten und grob gesehen, von welchen Pipetten sie tranken. Dabei konnte man sich anhand des Meniskus der Flüssigkeiten in den Pipetten orientieren, um festzustellen, welche Lösung mehr bevorzugt wurde. Die Kurzkopfgleitbeutler verhielten sich ihrer Natur entsprechend so, dass sie den Bodenkontakt weitgehend vermieden und sich eher kopfüber an die Pipetten klammerten. Es kam sehr häufig vor, dass ein Tier sich zur Pipette seines Artgenossen hinüberstreckte, um von dessen Zuckerlösung zu trinken, während es sich an einer der Pipetten festklammerte.



Abb. 11: Die Sugar Glider beim Trinken an den Zuckerlösungen. Von links betrachtet war in der 1. und 3. Pipette Glukose-Lösung, während in der 2. und 4. Pipette Saccharose-Lösung war. Die Aufnahme wurde kurz nach dem Ausschalten der Lichter innerhalb der ersten fünf Minuten gemacht. (Man beachte die Bevorzugung der Tiere für Saccharose, die auch am Flüssigkeits-Meniskus der Pipetten und der Drängerei an diesen zu erkennen war.)

Es kam oft vor, dass die gesamte Saccharose-Lösung innerhalb der ersten fünf bzw. zehn Minuten ausgetrunken wurde. Abb. 12 zeigt das Verhältnis der Saccharose- zur Glukose-Lösung in den Pipetten, was die konsumierte Menge betrifft. Während in kurzer Zeit die Saccharose-Lösung ausgetrunken war, blieb eine beträchtliche Menge an Glukose-Lösung in den Pipetten übrig. Nachdem die Saccharose-Lösung leer getrunken war, suchten die Tiere „als zweite Wahl“ vermehrt die Pipetten auf, in denen noch Glukose-Lösung vorhanden war.



Abb. 12: Die Sugar Glider beim Trinken an den Zuckerlösungen am selben Tag nach fünf Minuten wie bei Abb. 11. Von links betrachtet ist bei der zweiten Pipette einen Andrang zu sehen, der kurz darauf beendet war, nachdem sie die Saccharose-Lösung ausgetrunken hatten. In der vierten Pipette blieb auch eine sehr kleine Menge an Saccharose-Lösung (unter 1 ml) im Vergleich zur Lösung in der ersten und dritten Pipette. Diese restliche Saccharose-Lösung war auch in sehr kurzer Zeit ausgetrunken.

4.1.2. Fruktose- Saccharose (Versuch 2)

Was den Vergleich der Zuckerlösungen Fruktose und Saccharose betrifft, konnte durch das Fressverhalten der Tiere keine bestimmte Präferenz bewiesen werden (Mann-Whitney U-Test: Z: -0,058; p: 0,954; n:40). Die Tiere konsumierten beide Arten von Zuckerlösungen in gleichem Maße und sie tranken sie durchschnittlich fast in gleicher Zeit aus (Abb. 13). Aber im Vergleich zu Beobachtungen mit Glukose-Saccharose-Experimenten (Versuch 1) benötigten sie insgesamt längere Zeit zum Austrinken der Fruktose oder Saccharose-Lösung. Für Fruktose lagen der Mittelwert der Zeit bis zum Austrinken der Lösungen in den Pipetten bei 11,43 s und die Standardabweichung bei 4,06. Für Saccharose lagen der Mittelwert bei 11,48 s und die Standardabweichung bei 3,98. Beim Versuch 1 mit Glukose-Saccharose waren die Zeiten bis zum Austrinken 16,6 s für Glukose und 8,18 s für Saccharose. Bei den Beobachtungen mit Fruktose-Saccharose lagen die Zeiten dazwischen.

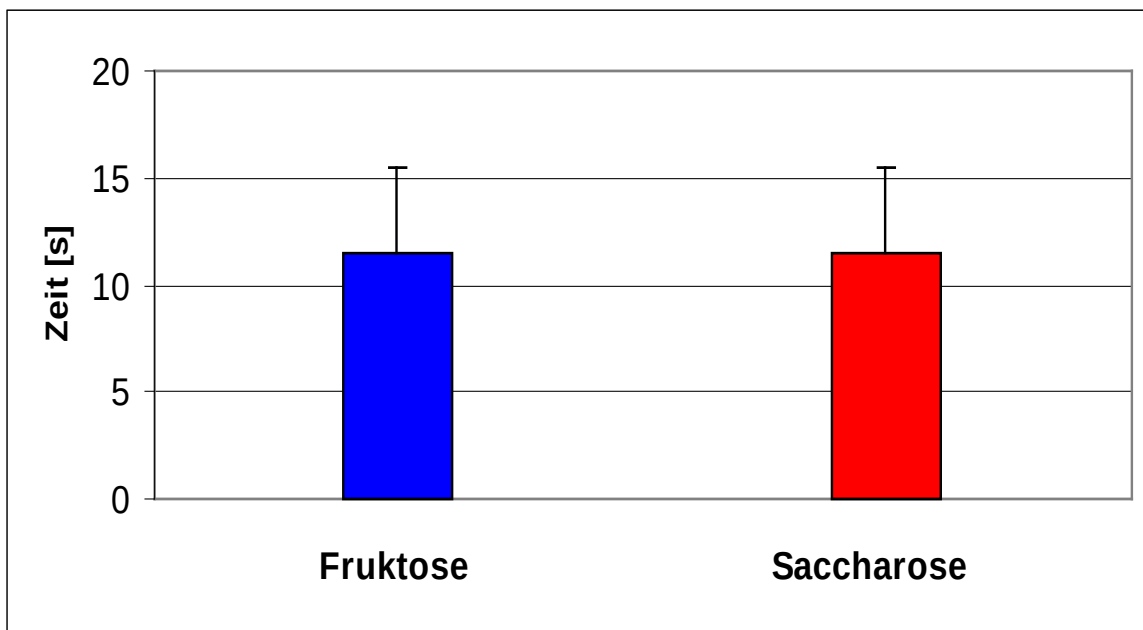


Abb. 13: Zeit bis zum Austrinken der Lösungen Fruktose- Saccharose

Was die Menge an getrunkenen Zuckerlösungen betrifft, sieht diese für die Zuckerarten Fruktose und Saccharose fast gleich aus (Abb. 14). Wie bei der Bevorzugung der Saccharose im Versuch 1, besuchten die Tiere auch in diesem Versuch innerhalb der ersten fünf Minuten die Pipetten mit Zuckerlösungen öfter und konsumierten auch mehr Menge an Zuckerlösungen innerhalb dieser Zeit. Aber diese Ergebnisse gelten sowohl für Fruktose als auch für Saccharose, während beim Versuch 1 die Ergebnisse für Glukose anders aussahen, bei denen die Lösungen eher zwischen der zehnten bis zwanzigsten Minute besucht und konsumiert wurden.

Bei Versuch 2 kam es kein einziges Mal vor, dass irgendeine Pipette innerhalb der ersten fünf Minuten leer getrunken wurde, sowohl bei der Fruktose- als auch Saccharose-Lösung. Achtzehn von insgesamt vierzig Pipetten mit Fruktose-Lösung wurden innerhalb der fünften und zehnten Minute und zwanzig Pipetten innerhalb der zehnten und zwanzigsten Minute leer getrunken. Für die restlichen zwei Pipetten brauchten die Tiere mehr als zwanzig Minuten. Aber bei diesen Versuchen brauchten die Tiere nicht mehr als dreißig Minuten, so dass das Versuchsexperiment nicht abgebrochen werden musste.

Diese Ergebnisse sehen auch bei der Saccharose sehr ähnlich aus. Siebzehn von insgesamt vierzig Pipetten wurden innerhalb der ersten fünf bis zehn Minuten; einundzwanzig Pipetten innerhalb der zehnten und zwanzigsten und zwei Pipetten innerhalb der zwanzigsten und dreißigsten Minute leer getrunken. Für Saccharose wurde ebenfalls kein Experiment abgebrochen.

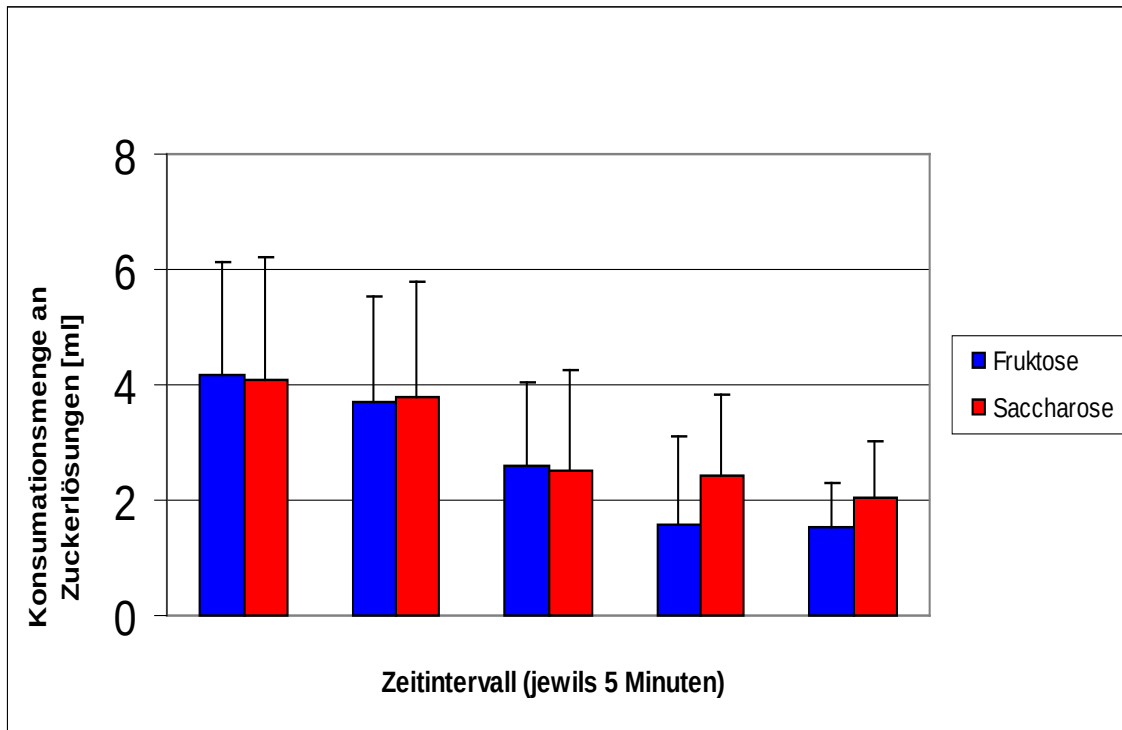


Abb.14: Konsumationsmenge an Zuckerlösungen Fruktose- Saccharose

Die gleiche Präferenz für Fruktose und Saccharose kann man auch gut in Abb. 15 sehen, bei der die Besuche der Kurzkopfgleitbeutler, die an den Pipetten tranken, oft gleich verteilt waren. Auch der Flüssigkeits-Meniskus stand oft für beide Arten der Zuckerlösungen in gleicher Höhe. Da die Verteilung der Tiere an den Pipetten gleichmäßig war, kam es nicht oft zu einer Drängerei. Aus diesem Grund brauchten die Tiere längere Zeit, bis sie alle Pipetten leer tranken, als für die Saccharose aus dem Versuch 1. Also die Tiere tranken die Pipetten fast gleichzeitig aus und suchten nicht nach einer „zweiten Wahl“, einer anderen Lösung.



Abb. 15: Sugar Glider beim Trinken der Zuckerlösungen Saccharose und Fructose, fünf Minuten nach dem Beginn der Beobachtungen. Von links betrachtet war in der 1. und 2. Pipette Fructose und in der 3. und 4. Saccharose. Auf dem Bild ist zu sehen, dass sich bei allen vier Pipetten der Flüssigkeits-Meniskus ca. auf dem gleichen Niveau befand und der Besuch an einzelnen Pipetten auch gleichmäßig verteilt war.

4.1.3. Fruktose- Glukose (Versuch 3)

Bei dem Versuch über die Präferenz zwischen Fruktose und Glukose waren die Ergebnisse wie bei dem Versuch 1. Die Kurzkopfgleitbeutler bevorzugten signifikant Fruktose vor Glukose. Das gilt sowohl für die Zeit (Mann-Whitney U-Test: $Z: -6,015$; $p: 0,000$; $n: 40$), die benötigt wurde, um die Zuckerlösungen auszutrinken (Abb. 16), als auch für die Menge an Lösungen, die konsumiert wurden (Abb. 17).

Für Fruktose lagen der Mittelwert der Zeit bis zum Austrinken der Lösungen in den Pipetten bei 9,65 s und die Standardabweichung bei 3,23s. Für Glukose waren der Mittelwert 18,05 s und die Standartabweichung 6,31s.

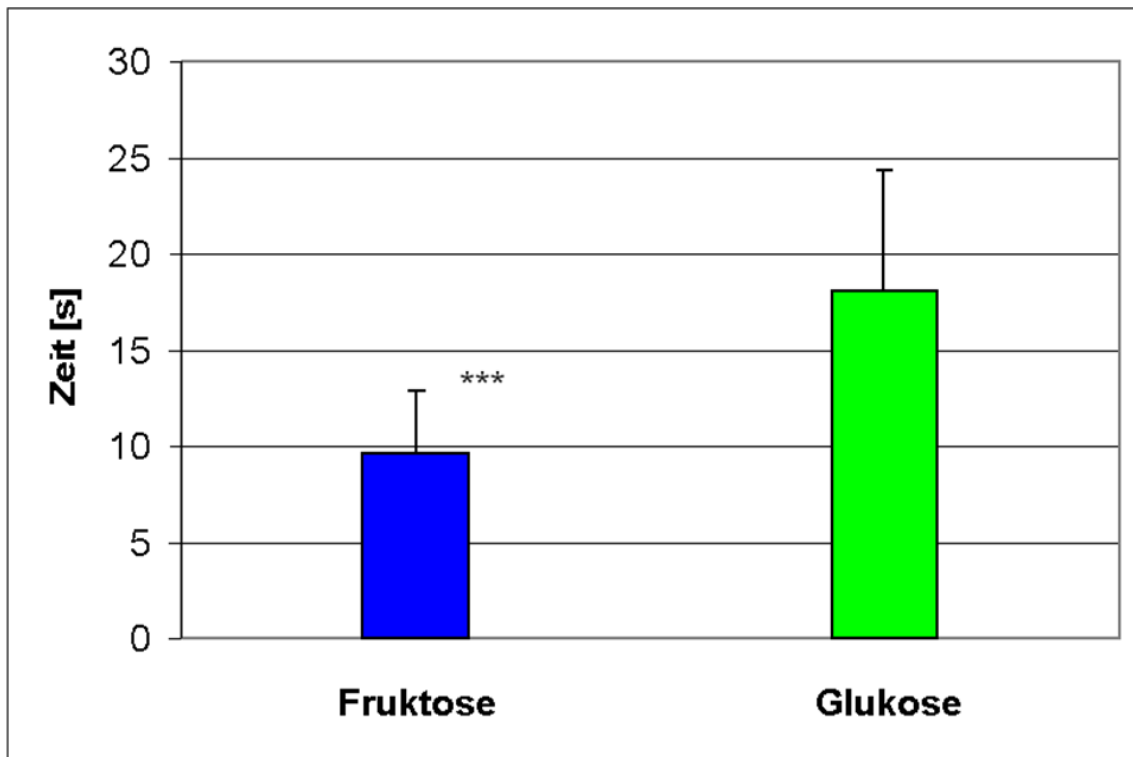


Abb. 16: Zeit bis zum Austrinken der Lösungen Fruktose- Glukose

Die Menge an konsumierten Zuckerlösungen entsprach etwa Ergebnissen vom Versuch 1. Beim Versuch 3 wurden drei aus vierzig Pipetten an insgesamt zwanzig Beobachtungstagen innerhalb der ersten fünf Minuten, zwanzig innerhalb der fünften und zehnten Minute und die restlichen siebzehn innerhalb der zehnten und zwanzigsten Minute leer getrunken. Es kam nicht vor, dass die Tiere für das Austrinken der Pipetten länger als zwanzig Minuten brauchten und es wurde auch kein einziges Mal der Versuch abgebrochen, weil die festgelegte Zeit überschritten worden wäre.

Im Gegensatz zu den Versuchen mit Fruktose ergab sich für Glukose ein ähnliches Bild bezüglich der Zeit zum Austrinken der Glukose-Lösung beim

Versuch 1. Bei diesem Versuch brauchten die Tiere auch länger, um die Pipetten leer zu trinken (Abb. 17). Es kam kein einziges Mal vor, dass eine mit Glukose gefüllte Pipette innerhalb der ersten fünf Minuten leer getrunken wurde. Auch innerhalb der fünften und zehnten Minute wurden nur vier Pipetten leer getrunken. Die meisten Pipetten wurden innerhalb der zehnten und zwanzigsten (22 aus 40) und innerhalb der zwanzigsten und dreißigsten Minute leer getrunken (10 aus 40). Beim Versuch 3 mussten drei der Beobachtungsversuche abgebrochen werden, da die festgelegte Zeit überschritten wurde.

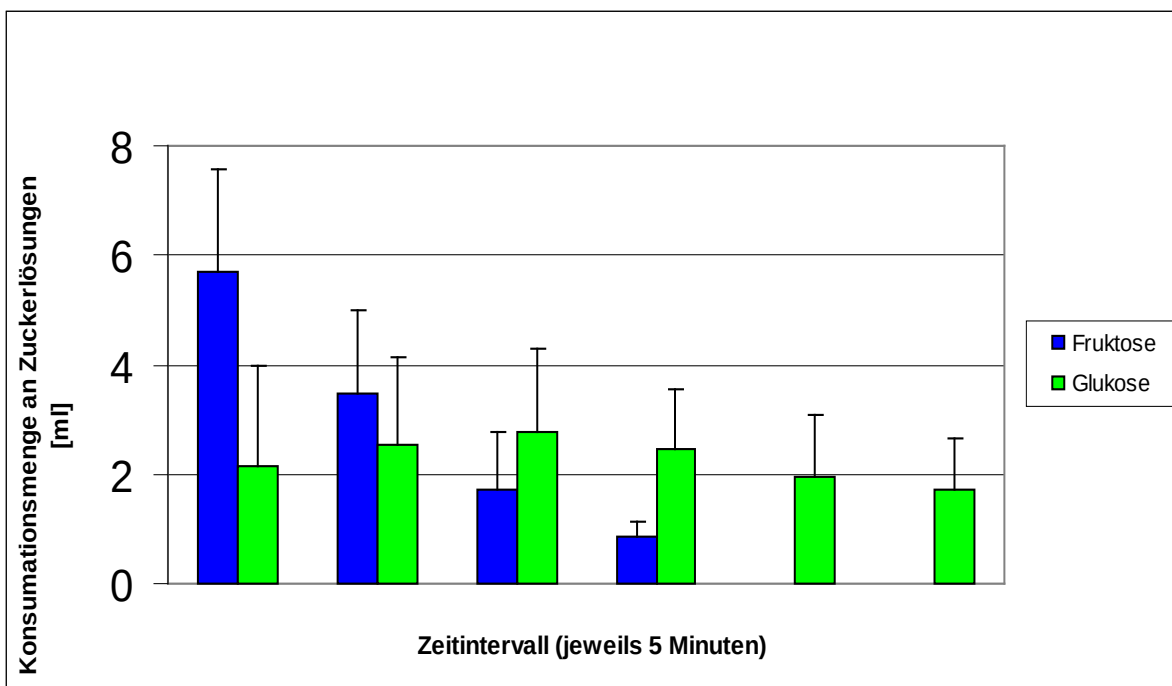


Abb. 17: Konsumationsmenge an Zuckerlösungen Fructose- Glukose

Die Präferenz der Fructose-Lösung der Kurzkopfgleitbeutler kann man auch anhand ihrer Besuche an den jeweiligen Pipetten erkennen, wie es in Abb. 18 zu sehen ist. Die Tiere suchten vermehrt die Pipetten mit Fructose auf und tranken länger an diesen Lösungen. Das führte dazu, dass schon innerhalb der ersten Minuten die Pipetten mit Fructose ein tiefes Meniskus-Niveau erreichten. Wie beim Versuch 1 die Tiere bei der Saccharose-Lösung eine Drängelei verursachten, so kam es auch beim Versuch 3 für die Fructose-Lösungen zu

solchen Szenen. Erst nach dem Austrinken der Fruktose-Lösungen suchten die Tiere die Glukose-Lösungen auf, um die „zweite Wahl“ an Zuckerlösung in Anspruch zu nehmen.



Abb. 18: Die Sugar Glider beim Trinken an den Zuckerlösungen. Von Links betrachtet war in der 1. und 3. Pipette Glukose-Lösung, während in der 2. und 4. Pipette Fruktose-Lösung war. Die Aufnahme wurde kurz nach dem Ausschalten der Lichter gemacht. (Man beachte die Bevorzugung der Tiere für Saccharose, die auch am Flüssigkeits- Meniskus in den Pipetten zu erkennen ist.)

Wenn man alle Versuche bezüglich der Dauer zum Austrinken miteinander vergleicht, erkennt man, dass die Tiere beim Versuch 1 und beim Versuch 3 für Glukose die meiste Zeit brauchten, um die Pipetten mit Zuckerlösungen leer zu trinken. Sie brauchten die kürzeste Zeit für die Lösungen Saccharose bzw. Fruktose.

Was die Menge an konsumierten Lösungen innerhalb der dreißig Minuten betrifft, sieht man, dass die Tiere die Saccharose- und Fruktose-Lösungen innerhalb der ersten fünf Minuten verstärkt besuchten und davon größere Mengen tranken, während sie die Glukose weniger konsumierten. Die Präferenz für Saccharose bzw. für Fruktose wurde in den Versuchen 1 und 3 deutlich beobachtet, in denen Glukose als „Gegenlösung“ angeboten wurde. Bei diesen Versuchen ist die Präferenz für Saccharose bzw. Fruktose hoch, während sie für Glukose niedrig war. Auch blieb oft keine Zuckerlösung in den Pipetten bei den Versuchen 1 und 3 gegen Ende der Beobachtungszeiten übrig.

4.2. Geschmacksschwellen für Zuckersorten

4.2.1. Geschmacksschwelle für Saccharose

Um die Geschmacksschwellen bei den Kurzkopfgleitbeutlern zu ermitteln, bot ich den Tieren in absteigender Konzentration eine der Zuckerlösungen (zuerst die Saccharose) in einer der vier Pipetten an, bis sie sich für eine bestimmte Konzentration nicht mehr interessierten bzw. sie den Zucker in der Lösung nicht mehr wahrnahmen. In die anderen drei Pipetten füllte ich nur Leitungswasser ein. Ich begann mit 1 %, das von den Tieren sofort „entdeckt“ wurde und sie tranken von der Lösung, bis sie den Pipetteninhalt zum größten Teil leerten. Bei diesem Versuch besuchten die Tiere zwar alle Pipetten innerhalb der ersten Minuten öfters, aber sie verweilten an den Pipetten sehr kurz, außer bei der mit Saccharose-Lösung. Während die Kurzkopfgleitbeutler innerhalb der festgelegten Zeit (30 Minuten) 8,1 ml der Saccharose-Lösung konsumierten, war es bei den anderen mit Leitungswasser gefüllten Pipetten jeweils 0,9 ml; 0,5 ml und wieder 0,5 ml (Tab. 2).

Als Nächstes verwendete ich eine 0,5 %ige Saccharose-Lösung. Genauso wie sich die Tiere bei der 1 %igen Saccharose-Lösung verhielten, taten sie es auch bei dieser Lösung. Sie besuchten fast in gleicher Art und Weise alle Pipetten, während sie sich bei der Pipette mit Zuckerlösung länger aufhielten. Nach 30 Minuten Versuchszeit konsumierten die Tiere 6,9 ml von der Lösung, während sie von den restlichen mit Wasser gefüllten Pipetten jeweils 0,6 ml; 0,6 ml und 0,9 ml tranken.

Nun halbierte ich die Saccharose- Konzentration auf 0,25 %. Nach dem Versuch konsumierten die Tiere von der 0,25 %igen Saccharose-Lösung 3,3 ml. Von den anderen mit Wasser gefüllten Pipetten wurden jeweils 0,5 ml; 0,4 ml und 1,4 ml getrunken. Die letzte Menge des konsumierten Wassers war im Gegensatz zu den anderen Wassermengen deswegen erhöht, weil ein einziges Tier bei einem einzigen Besuch circa 6 ml trank. Diese hohe Menge war nicht einmal bei den Versuchen mit den 20 %igen Zuckerlösungen zu beobachten. Ohne diesen Wert wäre der Wasserkonsum bei circa 0,8 ml gelegen.

Ich verringerte die Konzentration der Saccharose-Lösung auf 0,2 %. An diesem Versuchstag waren die Tiere an den Lösungen insgesamt weniger interessiert. Sie besuchten zwar die Pipetten, aber die Verweildauer war sehr kurz und die Individuen waren von der Anzahl her weniger. In den letzten zehn Minuten der Beobachtungszeit besuchte kein einziges Individuum die Pipetten. Das wirkte sich auf die konsumierte Lösungsmenge aus. Das bedeutet, dass der Konsum bei der 0,2 %igen Saccharose-Lösung 0,1 ml und für die anderen drei Pipetten 0 ml betrug. Anhand dieser letzten Beobachtung nahm ich an, dass die Tiere an so einer niedrigen Zucker-Konzentration nicht interessiert waren, beziehungsweise sie nicht wahrnahmen. Also legte ich die Geschmacksschwelle für Saccharose mit 0,25 % fest (7,3 mM).

Tab. 2: Überblick auf den Verlauf für die Bestimmung des Schwellenwertes für Saccharose. Der Schwellenwert ist rot markiert. C: Konzentration der verabreichenden Saccharose-Lösung. ml: Der Verbrauch von Zuckerlösung bzw. Leitungswasser.

C [%]	Lösungsart	Saccharose[ml]	Wasser1[ml]	Wasser2[ml]	Wasser3[ml]
1,0		8,0	0,9	0,5	0,5
0,5		6,9	0,6	0,6	0,9
0,25		3,3	0,5	0,4	1,4[0,8]
0,2		0,1	0,0	0,0	0,0

4.2.2. Geschmacksschwelle für Glukose

Nachdem ich die Versuche bezüglich der Präferenz der Kurzkopfgleitbeutler für eine bestimmte Zuckersorte untersuchte, kam ich zu dem Schluss, dass die Tiere die Glukose weniger bevorzugten, wenn diese ihnen gemeinsam mit der Saccharose beziehungsweise Fruktose-Lösung angeboten wurde. Daher entschied ich mich für eine 0,5 %ige Glukose-Lösung zu Beginn der Geschmacksschwellen-Versuche und nicht für eine 0,25 %ige, die ich vorher bei dem Versuch für Schwellenwert für Saccharose ermittelt habe.

An diesem Versuchstag waren die Kurzkopfgleitbeutler weniger motiviert und machten weniger Besuche als es bei Präferenzbestimmung und später bei Geschmacksschwellen-Versuchen mit der 0,5 %igen Saccharose-Lösung der Fall war. Am Ende der festgelegten Zeit wurde insgesamt von der 0,5 %igen Glukose-Lösung 1,6 ml getrunken, während die Tiere von den anderen mit Wasser gefüllten Pipetten jeweils 0 ml; 0,1 ml und wieder 0 ml tranken (Tab. 3). Dieses Ergebnis zeigte, dass die Tiere doch diese Lösung erkannten und sie präferierten.

Als Nächstes halbierte ich die Konzentration der Glukose-Lösung und machte sie 0,25 %ig. Im Gegensatz zu Versuchen mit der 0,5 %igen Glukose-Lösung waren

die Tiere mehr motiviert und machten mehr Besuche bei den Pipetten. Am Ende der dreißig Minuten war die konsumierte Menge der 0,25 %igen Glukose-Lösung bei 3,5 ml, während es bei den Wasserproben bei jeweils 0,3 ml; 1,2 ml und 0,5 ml lag.

Nach diesem überraschenden Ergebnis verringerte ich die Konzentration der Glukose-Lösung auf 0,2 %. Die Frequenz der Besuche der Kurzkopfgleitbeutler war ähnlich dem vorigen Versuch. Am Ende der Beobachtungszeit war die konsumierte Menge an 0,2 %ige Glukose Lösung bei 2,8 ml, während es bei anderen Pipetten bei jeweils 0,3 ml; 0,5 ml und 0 ml war. Die konsumierte Menge an Glukose-Lösung bewertete ich als Präferenz und aus diesem Grund wollte ich die Konzentration wieder verringern.

Als Nächstes verwendete ich eine 0,1 %ige Glukose-Lösung. Bei diesen Versuchen waren die Tiere zwar aktiv und motiviert aber hatten ihr Interesse nicht an den Pipetten, sondern sie suchten sich im Geäst in den restlichen Spuren des Steckobstes nach etwas Fressbarem. Sie leckten und knabberten die trockenen Astspitzen und interessierten sich kaum mehr für die Pipetten und deren Inhalte. Dementsprechend war die konsumierte Menge der 0,1 %igen Glukose-Lösung niedrig, sie lag also bei 0,8 ml. Für die anderen mit Wasser gefüllten Pipetten waren die konsumierten Mengen jeweils 0 ml; 0,3 ml und 0,1 ml.

Die konsumierte 0,8 ml 0,1 %ige Glukose-Lösung war im Vergleich der konsumierten Wassermengen zwar höher, aber diese Menge wurde bei anderen Versuchen von einer mit Wasser gefüllten Pipette auch getrunken (siehe die konsumierten Wassermengen der Saccharose-Lösungen und der 0,25 %igen Glukose-Lösung). Deswegen stufte ich dieses Ergebnis nicht als Präferenz ein und nahm den Wert 0,2 % als Geschmacksschwelle für die Glukose.

Tabelle 3: Überblick auf den Verlauf für die Bestimmung des Schwellenwertes für Glucose. Der Schwellenwert ist grün markiert. C: Konzentration der verabreichenden Glucose-Lösung. ml: Der Verbrauch von Zuckerlösung bzw. Leitungswasser.

C [%]	Lösungsart	Glukose[ml]	Wasser1[ml]	Wasser2[ml]	Wasser3[ml]
0,5		1,6	0,0	0,1	0,0
0,25		3,5	0,3	1,2	0,5
0,2		2,8	0,3	0,5	0,0
0,1		0,8	0,0	0,3	0,1

4.2.3. Geschmacksschwelle für Fruktose

Nachdem ich die Geschmacksschwelle für Saccharose und Glukose ermittelte, begann ich mit dem Versuch mit einer Fruktose-Lösung, die die gleiche Konzentration hatte, wie Saccharose-Lösung, für die die Kurzkopfgleitbeutler eine Präferenz zeigten, nämlich 0,2 %ig. An diesem Tag waren die Tiere nicht motiviert, so dass sie die Pipetten wenig besuchten aber trotz ihrer geringen Motivation tranken die Tiere insgesamt 1,6 ml von 0,2 %igen Fruktose-Lösung, während die Konsumation von den anderen mit Wasser gefüllten Pipetten jeweils bei 0 ml; 0,1 ml und wieder 0 ml war.

Als nächstes verwendete ich eine 0,1 %ige Fruktose-Lösung, um die Geschmacksschwelle genauer zu ermitteln. Bei diesem Versuch waren die Tiere im Allgemeinen auch wenig motiviert und sie besuchten die mit Wasser gefüllten Pipetten mehr als die mit Fruktose. Am Ende der festgelegten Zeit konsumierten die Tiere von der 0,1 %igen Fruktose-Lösung 0,6 ml, während sie von den mit Wasser gefüllten Pipetten jeweils 0,4 ml; 0 ml und 0,1 ml tranken (Tab. 4).

Dann stellte ich eine Lösung mit einer 0,15 %igen Fruktose-Lösung her, um zu testen, ob die Tiere eine Lösung mit Fruktose-Konzentration von weniger als 0,2 %ige herauschmecken könnten. Aber bei diesem Versuch waren die Tiere auch nicht motiviert. Sie suchten nach den Obstresten beziehungsweise -spuren im

Geäst oder heruntergefallenen Obststücken unter dem Geäst, aber sie besuchten die Lösungen weniger, was auch an konsumierten Lösungsmengen am Ende des Versuchs zu erkennen war. Sie konsumierten 0,3 ml von der 0,15 %igen Fruktose-Lösung, während sie von den mit Wasser gefüllten Pipetten überhaupt nichts tranken.

Nach den Versuchen mit den verschiedenen Fruktose-Konzentrationen stellte ich fest, dass die Geschmacksschwelle bei Kurzkopfgleitbeutlern für die Fruktose bei 0,2 % lag und dass sie die niedrigeren Konzentrationen nicht präferierten.

Tabelle 4: Überblick auf den Verlauf für die Bestimmung des Schwellenwertes für Fruktose. Der Schwellenwert ist blau markiert. C: Konzentration der verabreichenden Fruktose-Lösung. ml: Der Verbrauch von Zuckerlösung bzw. Leitungswasser.

C [%]	Lösungsart	Fruktose[ml]	Wasser1[ml]	Wasser2[ml]	Wasser3[ml]
0,2		1,6	0,0	0,1	0,0
0,1		0,6	0,4	0,0	0,1
0,15		0,3	0,0	0,0	0,0

4.3. Erkennung der künstlichen Süßersatzstoffe

Bei den Versuchen mit den Kurzkopfgleitbeutlern, bei denen ich feststellen wollte, ob sie die künstlichen Ersatzstoffe von einer normalen Zuckerlösung unterscheiden können, bot ich den Tieren eine 20 %ige Saccharose-Lösung – und eine entsprechende Zuckerersatzstoff-Lösung (Laut Verpackung ergeben fünf Stück bei der gleichen Menge eine Lösung mit der gleichen Süßkraft). Wie ich es bei den Versuchen 1 bis 3 machte, füllte ich jede Lösung in zwei verschiedene Pipetten auf und wählte die Platzierung auf dem Holzgestell willkürlich aus. Die Tiere merkten sofort, in welchen Pipetten sich die Saccharose-Lösung befand und tranken nur von denen. Sie besuchten zwar die

mit künstlichem Süßersatzstoff gefüllten Pipetten, aber sie verweilten hier sehr kurz und besuchten gleich darauf die anderen Pipetten, bei denen Saccharose-Lösung vorhanden war.

Dabei spielte der von mir verwendete Ausdruck „Eifersuchtseffekt“ auch eine Rolle, bei dem es um eine Art soziales Verhalten ging, auf das ich in der Diskussion näher eingehen werde. Kurz gesagt, die Tiere besuchten eine Lösung, weil sich ein anderer Artgenosse dort befand.

Aus diesem Grund blieben die Tiere nicht sehr lange an einer Lösung, sondern sie gingen zu einer anderen, wo gerade ein anderes Individuum daran trank. Und so entdeckten die Tiere sehr schnell, wo sich die Zuckerlösung befand, die auch in sehr kurzer Zeit ausgetrunken wurde.

Die Tiere vermieden die mit Zuckerersatzstoff gefüllten Lösungen, sowohl das Süßstoffgemisch als auch den reinen Süßstoff Saccharin-Natrium. Deshalb führte ich die Beobachtungen je Süßstoff nur an zwei Tagen durch. Bei allen Beobachtungen blieben die Pipetten unberührt, die mit Süßstoff-Lösung aufgefüllt waren. Die Tiere besuchten sie zwar am Anfang, aber von denen tranken sie nicht, während sie die mit Saccharose gefüllte Pipette innerhalb einiger Minuten leer tranken.

5. Diskussion

5.1. Präferenz der Zuckersorten

Nach dem Ausschalten der Lichter gewöhnten sich die Tiere schnell an das Gestell und kamen ohne langes Zögern zu den mit Zuckerlösungen aufgefüllten Pipetten. Da die Tiere in der Nacht, in der man für sie künstliches Licht verwendete, keine Nahrung zu sich nahmen, waren sie hungrig und motiviert für

die Versuche. Aber sie zögerten, da das Futter nahe am Boden war. Für die am Baum lebenden Tiere ist es wichtig, den Boden zu vermeiden oder mit großer Vorsicht zum Boden zu kommen. Durch diese Lebensweise verringern sie die Gefahr, eine Beute für Prädatoren zu werden (Holmes & Austad, 1994).

Trotz der Bodennähe der Lösungen kamen die Tiere öfters zu den Pipetten, um von den Lösungen zu trinken. Aber sie versuchten möglichst den Boden zu vermeiden und entwickelten eigene Strategien, wie zum Beispiel, dass sie sich an die Pipetten klammerten und kopfüber aus denen tranken. Dieses Verhalten könnte die Präferenzen für bestimmte Lösungen verfälscht haben, weil die Tiere meistens von einer Richtung zum Holzgestell kamen und sich eher den Pipetten vom Rand des Gestells näherten. Zwar kamen die Tiere eher aus der linken Seite zum Gestell aber sie verteilten sich dann auf alle Pipetten. Außerdem wurde eine mögliche Gewöhnung in eine bestimmte Richtung vermieden, indem die Pipetten mit derselben Lösung nicht an denselben Stellen fixiert wurden, sondern immer zufällig verteilt.

Obwohl die Richtung die Präferenzen nicht genau beeinflusst hatte, könnte eine mögliche Bevorzugung einer Richtung vermieden werden, indem man vielleicht ein rundliches Gestell verwendet, auf dem ein Gerät für Videoaufnahmen montiert wird, damit alle Richtungen erfasst werden könnten. Oder man gestaltet den Zugang zum Gestell durch eine Röhre neutraler, die vielleicht von oben zum Gestell führt, damit die Tiere nicht unbedingt zum Boden kommen müssten.

Eine andere Möglichkeit wäre es, dass man die Pipetten an den Ästen im Terrarium fixiert, um die Tiere vom Stress der Bodennähe zu verschonen. Dabei sollte man auch beachten, dass der Zugang zu den Pipetten so neutral wie möglich gehalten werden soll.

Eine der effizientesten Methoden, die man bei den Versuchen über eine Futter-beziehungsweise Lösungspräferenz anwendet, ist der „two-bottle-test“, bei der

eine Tiergruppe oder ein einzelnes Individuum nur zwei Lösungen jeweils in einem Gefäß zum Aussuchen bekommt. Diesen Test könnte ich auch verwenden aber ich bräuchte zur Beobachtung einen separaten Raum, in dem ich die Möglichkeit hätte, die einzelnen Individuen getrennt von der Gruppe zu beobachten. Dadurch könnte ich mehr Information über die Individuen wie zum Beispiel Geschlecht, Altersklasse, auffällige Verhaltensweisen etc. erhalten, welche bei solchen Beobachtungen von Nutzen sein könnten.

Ein Vergleich meiner Ergebnisse mit einer Studie mit den Kurzkopfgleitbeutlern in der freien Wildbahn über dasselbe Thema wäre ein guter Anhaltspunkt, um die Versuchsbedingungen der Tiere im Tiergarten zu verbessern, falls diese notwendig sind. Hier könnte man die Wirkung der Artgenossen und der anderen Spezies auch mit einbeziehen.

Was ich bei Kurzkopfgleitbeutlern über Nahrungspräferenz herausfand, ist bestimmt mit der Geschmackswahrnehmung dieser Spezies verbunden. Um mehr Erkenntnis über ihren Geschmackssinn zu erfahren, muss man über die Anatomie und die Morphologie der Zunge, der Geschmacksnerven und sowie deren Funktion forschen. Der bisherige Wissensstand basiert größtenteils auf der Erforschung des Geschmackssinnes des Menschen und höheren Wirbeltieren wie die Primaten oder von Labortieren wie Ratten und Mäuse (Eckert et al., 2000).

Zum Beispiel ist vielleicht die Lebensdauer der Geschmacksknospenzellen der Kurzkopfgleitbeutler höher als die von Menschen und aus diesem Grund könnten die Tiere einen besseren Geschmackssinn haben. Durchschnittlich leben die menschlichen Geschmackszellen ungefähr zehn Tage. Sie werden unter der Kontrolle der Geschmacksnerven von epithelialen Basalstammzellen gebildet (Stone et al., 2002). Man kann die Geschmackszellen beim Menschen in kurzlebigen (zwei Tage) und langlebigen (13 Tage) Zellen unterteilen (Hamamichi et al., 2006).

Aber die hohe Empfindlichkeit der Zunge von Kurzkopfgleitbeutlern könnte mit den anatomischen Unterschieden der Geschmackszellen im Mundbereich zusammenhängen. Bei Menschen befinden sich im Mund auf verschiedenen Stellen circa 2000-4000 Geschmackszellen, die in den Wänden oder Gräbern der Papillen von Geschmacksknospen lokalisiert sind. Mit Hilfe der anatomischen Untersuchungen an der Zunge von Kurzkopfgleitbeutlern kann man die Unterschiede zu der menschlichen Zunge bezüglich der Anzahl, Verteilung und Dichte der Geschmackszellen herausfinden und diese Parameter in den Geschmacksknospen beziehungsweise im Mund der Kurzkopfgleitbeutler feststellen.

Weitere anatomische Untersuchungen sind auch einerseits in der Innervierung der Zunge beziehungsweise der Geschmackszellen notwendig. Andererseits sind die Gehirnnareale beziehungsweise -funktionen zu untersuchen, die ebenfalls bei der Wahrnehmung des süßen Geschmacks eine wichtige Rolle spielen.

Oft konnte beobachtet werden, dass ein Individuum nicht von seiner eigenen Lösung trank. Da konnte man von dem von mir erfundenen Begriff „Eifersuchteffekt“ reden, dass bei diesen Tieren während der Versuchen oft beobachtet wurde. Es geht dabei darum, dass ein Individuum versuchte, mit dem anderen Artgenossen gemeinsam zu fressen, weil das erste Tier diese Nahrungsquelle „entdeckt“ hat. Aber der Grund kann auch sein, dass sie um eine Nahrungsquelle konkurrierten. Ich bezeichnete es deswegen als „Eifersucht“, da sich die Tiere bei den Versuchen 1 bis 3 öfters streckten, um vom „Nachbarn“ zu fressen, obwohl diese Individuen sich an eine der Pipetten klammerten und diese in ihrem Anspruchsbereich hatten. Sie versuchten daher die Nahrung vom Nachbarn auch in Besitz zu nehmen und sie nicht mit ihnen zu teilen.

Wie der englische Name von Kurzkopfgleitbeutlern „sugar glider“ sagt, machen die Kohlenhydrate in von Form Mono- beziehungsweise Disacchariden einen Großteil ihrer Nahrung aus. Olszewski und Levine (2007) warnen vor dem

Gefahr des übermäßigen Konsums von Lebensmitteln mit hohem Zuckergehalt, die die Hämoostase des menschlichen Organismus gefährden könnte. Was die Ernährung der Kurzkopfgleitbeutler mit hohem Anteil an Zucker betrifft, ist diese Aussage natürlich nicht anwendbar, da sich die Kurzkopfgleitbeutler in ihren natürlichen Habitaten auch gerne von süßen Nahrungsmitteln ernähren. Auch im Tiergarten Schönbrunn werden die Tiere mit Früchten oder Nektar gefüttert, die einen hohen Zuckergehalt haben.

Andererseits könnte man während der Versuche den Tieren Zuckerlösungen anbieten, deren Konzentration weniger als die bei den Versuchen verwendeten Lösungen waren (bei meinen Versuchen war sie bei 20%). Man muss aber dabei beachten, dass die Konzentration nicht zu gering sein soll, um die Motivation der Tiere an den Lösungen während der gesamten Versuchseinheiten aufrechtzuerhalten. Mit einer Lösung niedriger Konzentration könnte man vielleicht die Drängelei und den „Eifersuchteffekt“ vermindern, welche sich bei den Versuchen negativ auf die Präferenz der Tiere auswirken und nicht immer als „echte Präferenz“ interpretiert werden könnte.

Neben einer Reihe von süßen Kohlenhydraten, gibt es auch Proteine, die süß schmecken. Seit den 1970er Jahren wurden sechs süße Proteine und ein Geschmack modifiziertes Protein entdeckt. Sie haben vorteilhafte Eigenschaften, da sie für den Organismus nicht schädlich sind und im Vergleich zu Zuckersorten sehr hohe Süßkraft aber niedrige Kalorien haben (Kong et al., 2003).

Von süßen Proteinen sind folgende zu nennen:

Thaumatococcus: Es hat eine Süßkraft, die etwa 2000-3000-mal stärker als Zucker ist und aus einigen Früchten wie *Thaumatococcus daniellii* Benth oder aus *Pichia pastoris* gewonnen wird (Ohta et al., 2008; Ide et al., 2007).

Mabinlin II: Es hat eine Süßkraft, die mehr als 4000 fache von der des Zuckers ist und von den reifen Samen einer Pflanze namens *Capparis masaiikai* Levl aus dem südlichen China gewonnen wird. Es besteht aus A- und B-Ketten, die durch

vier Disulfid-Brücken vernetzt sind, was bei allen bekannten süßen Protein-Strukturen der Fall ist (Li et al., 2008).

Brazzein: Dieses Protein besteht aus 53 Aminosäuren und wird auch aus den essbaren Früchten der Pflanze *Pentadiplandra brazzeana Baillon* aus Afrika aber auch im Labor zum Beispiel aus der Expression der *Escherichia coli* gewonnen und ähnlich süß wie Saccharose (Assadi et al., 2008).

Monellin: Es besitzt zwei Ketten (A und B Monellin), die insgesamt aus 96 Aminosäuren bestehen und eine Verknüpfung mit einem Gly-Phe Dipeptid haben. Ihre Süßkraft übertrifft die von der Saccharose 1500-2500-mal. Es wird aus *Discoreophyllum cuminsii* isoliert und wird auch durch die Expression und Sekretion des Bakteriums *Bacillus subtilis* gewonnen (Spadaccini et al., 2001; Chen et al., 2007).

Curculin: Es besteht aus zwei identischen Untereinheiten (Homodimer) und wird von den Früchten der Pflanze *Curculigo latifolia* aber auch durch die Expression aus *Escherichia coli* gewonnen.

Neoculin: Es hat den gleichen Ursprung wie Curculin aber es besteht aus zwei unterschiedlichen Untereinheiten (Heterodimer); eine davon ist die saure, glykosylierte Untereinheit mit 113 Aminosäureresten und die andere ist das Monomer Curculin selbst (Suzuki et al., 2004).

Miraculin (Geschmack modifiziertes Protein): Dieses eigentlich geschmacklose Protein wird aus der Wunderbeere *Synsepalum dulcificum/Sideroxylon dulcificum* oder durch Expression an Transgenen des Kopfsalats gewonnen (Sun et al., 2006). Die Geschmack-modifizierten Proteine ändern den sauren in einen süßen Geschmack, so dass sauer schmeckende Nahrungsmitteln süß empfunden werden (Burdach, 1988).

Über die Kurzkopfgleitbeutler ist nicht bekannt, ob sie die süßen Proteine auch erkennen würden. Aber es ist anzunehmen, dass sie es können, da die Geschmackswahrnehmung der süßen Proteine (auch für den Geschmack Umami) über die geschmackspezifische GPCR (G-protein coupled receptors) hT1R1 und T1R3 erfolgt, das zumindest auf eine der Protein-Ketten reagiert (Li

et al., 2008b), während die Wahrnehmung des süßen Geschmacks über zwei anderen Domänen hT1R2 und T1R3 erfolgt (Sainz et al., 2007).

5.2. Geschmacksschwellen für die Zuckersorten

Bei den Versuchen mit den Geschmacksschwellen mit 1 %iger Lösung war auch eine Drängelei zu beobachten, die bei 20 %igen Lösungen auch beobachtet wurde. Daraus konnte man schließen, dass die Tiere den Süßgeschmack der 1%igen Lösung noch gut wahrnehmen konnten, und zwar dermaßen, dass sie dafür drängelten. Ich selbst habe die Lösung probiert und es kam mir nicht süß vor. Nach weiteren Versuchen fand ich heraus, dass die Tiere niedrigere Konzentrationen, die zwischen 0,2 und 0,25 % liegen, noch wahrnahmen.

Untersuchungen bei Menschen zeigten, dass es keine Unterschiede bezüglich der Geschmackserkennung und Schwellenwerte der Saccharose zwischen den Geschlechtern gibt (Chang et al., 2006). Aber die Präferenz der Weibchen auf süße Nahrungsmittel ist durch hormonelle Schwankungen in dem gesamten Fortpflanzungszyklus betroffen. Bei Ratten kann sich die Präferenz für süße Speisen durch Östrogen-Zugabe ändern. Die bisherigen Untersuchungen zeigen, dass ovariectomierten weiblichen Ratten weniger von Saccharose-Lösungen trinken, wenn ihnen Östrogen verabreicht wird, das heißt bei ihnen ist die Geschmacksschwelle für Saccharose erhöht. Dabei wird die Präferenz für weniger konzentrierte Saccharose-Lösungen verringert. Eine alternative Erklärung wäre, dass das Östrogen die Fähigkeit beeinträchtigt, eine verdünnte Saccharose-Lösung zu erkennen (Curtis et al., 2005). Ob bei Kurzkopfgleitbeutlern eine hormonelle beziehungsweise saisonale Schwankung der Präferenzen für die Geschmacksschwelle vorhanden ist, liegt noch in keiner Arbeit vor. Noch dazu ist nicht bekannt, ob es geschmackspezifische Unterschiede bei den Geschlechtern bezüglich oben geführter Parameter gibt.

Einige Metalle und Metallverbindungen wirken auf die Geschmacksschwelle auch. Zum Beispiel senkt das fünfwertige Vanadium in der Verbindung Ammonium-Vanadat die Geschmacksschwelle der Saccharose bei Menschen. Ammonium allein hat keine Auswirkungen auf der Geschmacksschwelle. Daher ist die Senkung der Geschmacksschwelle auf dem fünfwertigen Vanadium zurückzuführen. Untersuchungen mit dem vierwertigen Vanadium in Vanadium-Sulfat Verbindung änderte nichts bei der Schwelle der Empfindlichkeit der Saccharose (Nagai et al., 2006). Über dieses Thema liegen auch keine Daten für Kurzkopfgleitbeutel vor.

Pasquet et al. (2006) fanden heraus, dass die Geschmackserkennung bei Menschen vor oder nach einer Mahlzeit keine signifikanten Unterschiede zeigte. Aber was Katsuura et al. (2005) in ihrer Arbeit nachwiesen, zeigt, dass sich eine gewisse Beleuchtungsstärke auf die Geschmacksschwelle auswirken könnte. Bei der geringeren Beleuchtungsstärke sank die Empfindlichkeit gegenüber süßem beziehungsweise bitterem Geschmack, während sich die Sekretion von Speichel erhöhte. Wenn es auch bei den Kurzkopfgleitbeutlern der Fall ist, dann sollte es wegen der nocturnalen Lebensweise der Tiere umgekehrt sein. Dann sollte bei der geringen Beleuchtungsstärke die Empfindlichkeit der Tiere höher sein.

5.3. Erkennung von künstlichen Zuckerersatzstoffen

Jährlich werden ca. 50.000 Tonnen Zuckerersatzstoffe von Menschen konsumiert. Mittlerweile sind in der Nahrungsindustrie die Zuckerersatzstoffe nicht mehr wegzudenken. Viele Menschen erkennen die mit Süßstoffen gesüßten Nahrungsmittel nicht mehr oder sind überhaupt nicht imstande, diese zu unterscheiden. Für manche Menschen schmecken die mit Süßstoff gesüßten Nahrungsmittel –sogar die genetisch veränderten Früchte mit Süßstoffzusatz– besser, wie ein Versuch für Präferenz mit künstlich gesüßten Wassermelonen

mit niedrigen Zuckergehalt (die eigentlich für Diabetiker gedacht war) zeigte. Die Akzeptanz dieser Früchte ist sowohl bei Jugendlichen als auch bei Erwachsenen dokumentiert (Collins et al., 2006).

Die Ergebnisse der Arbeiten über Nebenwirkungen der Süßstoffe sind umstritten. Während nach einigen Befunden die negativen Wirkungen durch toxische Effekte von Saccharin wie Blasendistention, erhöhte Osmolalität im Urin und Blasenkrebs beim Menschen erzeugen (Tripathi et al., 2006) und der Süßstoff Xylit bei Hunden nachhaltige, Insulin-vermittelte Blutzucker-senkende Probleme verursacht (Cope, 2004), zeigten andere Untersuchungen, dass das Saccharin zu besseren Funktionen der Verdauung bei Ratten beitragen kann (Furudono et al., 2006), während bei Rindern keine Nebenwirkungen festgestellt wurden (McMeniman et al., 2006).

Meine Versuche mit Süßstoffen an Kurzkopfgleitbeutlern brachten die Ergebnisse, dass diese Tiere die Pipetten mit Süßstoff-Lösungen erkannten und sie vermieden. Aber was nicht beantwortet werden konnte, war die Frage, ob die Tiere die Süßstoffe in der Nahrung erkennen können. Dafür muss man den Tieren die Süßstoffe nicht in den Pipetten als Lösung anbieten, sondern als Bestandteil ihrer Nahrung. Man könnte z.B. den Süßstoff in Naturjogurt verrühren oder damit einen Kuchen backen. Als Kontrolle könnte man diese Nahrungsmittel mit einer der Zuckersorten vorbereiten. Dann sollten diese den Tieren zur Unterscheidung angeboten werden. Wenn die Tiere diese Nahrungsmittel akzeptieren, dann wäre eine Untersuchung der Nebenwirkungen über die Gesundheit der Kurzkopfgleitbeutler möglich.

Der Süß-Rezeptor-Heterodimer hT1R2 und hT1R3 auf der menschlichen Zunge reagiert auch mit Süßstoffen, so dass diese auch süß empfunden werden. Die Transmembran-Domäne hT1R3 bindet sich beispielsweise an dem Süßstoff Cyclamat. Aber die süße Wahrnehmung der Zuckerersatzstoffe erfolgt nicht bei allen Wirbeltieren gleichermaßen. Der Süß-Rezeptor (mT1R2 und mT1R3) der

Mäuse reagiert nicht auf Cyclamat (Jiang et al., 2005a). Die Lactisole interagieren mit hT1R3 und hemmen den süßen Geschmack von Zucker, Eiweiß, Süßungsmitteln und künstlichen Süßstoffen bei Primaten und Menschen, während es keinen Einfluss auf Reaktionen der Süß-Rezeptoren der Nager hat (Jiang et al., 2005b).

Deswegen ist bei Kurzkopfgleitbeutlern eine anatomische Untersuchung notwendig, um die Unterschiede der Geschmackrezeptoren festzustellen. Wenn die Untereinheiten der Geschmacksrezeptoren gleich wie die von Menschen sind, könnten vielleicht die Verzweigungen und/oder die Bindungsstellen dieser Proteine anders sein. Dafür könnten genetische Untersuchungen an Genen hilfreich sein, die für diese Rezeptoren kodieren.

Saccharin schmeckt manchen Menschen bitter. Es ist die Folge der Empfindlichkeit der Rezeptoren für bitter (hT2Rs oder TAS2Rs). Das Gen-Allel hT2R43 macht Menschen sehr sensibel auf die Bitterkeit der natürlichen pflanzlichen Verbindungen Aloin und Säure. Den Menschen, die nicht über dieses Allel verfügen, schmecken diese Verbindungen in geringen Konzentrationen nicht. Das gleiche Gen-Allel hT2R43 macht Menschen für die Bitterkeit eines künstlichen Süßstoff –Saccharin– empfindlicher. Darüber hinaus sind bei einem eng verwandten Gen-Allel (hT2R44) auch mehr Menschen empfindlich auf die Bitterkeit von Saccharin (Pronin et al., 2007). Das könnte auch eine Erklärung dafür sein, warum die Tiere das Saccharin vermieden. Vielleicht schmeckte es ihnen auch bitter und vermied es, was von einem Tier, das sich von süßen Nahrungsmitteln ernährt, auch zu erwarten ist.

Nahrungsmittel, die Aspartam enthalten, sollten von Phenylketonurie-Patienten nicht unbedenklich konsumiert werden, da die Zersetzung vom Aspartam in hoher Temperatur, niedrigen pH-Bedingungen und langer Aufbewahrungszeit steigt (Hsieh & Chen, 2007); dann wirkt das entstandene Phenylalanin gesundheitsschädlich. Aber nicht nur bei Phenylketonurie-Patienten sind

gesundheitliche Schäden durch Aspartam zu erwarten. Beim Verabreichen von Aspartam an den Ratten hatten die Tiere viele Nebenwirkungen und Krankheiten wie zum Beispiel bösartige Tumore bei Männchen, eine erhebliche Zunahme der Inzidenz von Lymphomen/Leukämien bei beiden Geschlechtern, Anstieg der Inzidenz von Mamma-Karzinom bei Weibchen. „The results of this carcinogenicity bioassay confirm and reinforce the first experimental demonstration of Aspartams multipotential carcinogenicity at a dose level close to the acceptable daily intake for humans. Furthermore, the study demonstrates that when life-span exposure to Aspartam begins during fetal life, its carcinogenic effects are increased” (Soffritti et al., 2007).

Nach Konen et al. (2003) hat Aspartam keine Auswirkungen auf Lernen und Gedächtnis der erwachsenen Ratten. Und bei Mäusen wurden folgende Auswirkungen festgestellt: “The results showed an increase in gene expressions concerning all the investigated genes especially in organs with a high proliferation rate: lymphoreticular organs, bone-marrow and kidney. Conclusion: Aspartame has a biological effect even at the recommended daily maximum dose” (Gombos et al., 2007). Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen sehen Wade et al. (2007) keine Gefahren vom Aspartam, nachdem sie mit Rhesus-Affen Versuche bezüglich ihrer Konzentrationsfähigkeit unternahmen und sie schlussfolgerten folgendermaßen: „A normalized demand analysis revealed that aspartame is a more elastic commodity than food and drug reinforcers“.

Obwohl die oben geführten Arbeiten auf die schädliche Wirkungen von Aspartam hinweisen, zeigte die Arbeit von Lim et al. (2006), dass Aspartam kein höheres Risiko für Gehirnkrebs oder -tumore bei den Menschen darstellt.

Wegen der Unstimmigkeiten über den Nebenwirkungen von Aspartam, entschied ich mich dafür, diesen Süßstoff bei meinen Versuchen nicht zu verwenden.

Neben süß schmeckenden Proteinen gibt es auch süße Verbindungen, die in der Natur vorkommen aber keinen, beziehungsweise einen niedrigen Nährwert besitzen. Eine davon wird aus der Pflanze *Stevia rebaudiana* gewonnen, die Glykosid basierte aktive Verbindungen (Steviosid und andere) besitzt und 200-300-mal süßer als Zucker empfunden wird. Solche Verbindungen werden als Alternative zu Zucker verwendet, von der vor allem die Diabetiker profitieren. Die wohltuende Wirkung von Stevia bietet einen Ausweg zum süßen Leben ohne Gesundheitsrisiken (Das & Dang, 2005). Ein anderer Vertreter dieser Verbindungen ist „Rebiana“ zu nennen, das ebenfalls natürlich vorkommt und keine Kalorien hat aber eine Süßkraft von 200-300-mal höher als die der Saccharose besitzt (Prakash et al., 2008).

Es wäre auch interessant, die Präferenz der Tiere gegenüber diesem natürlich vorkommenden Süßstoff zu untersuchen. Wären die Tiere auch imstande, diesen zu erkennen und dann zu ignorieren, dann könnte man schlussfolgern, dass die Tiere gezielt Nahrungsmittel mit hohem Energieinhalt suchen und diese konsumieren.

6. Literaturverzeichnis

- ASSADI, Porter Fariba M.; PATRY, Sammy; MARKLEY, John L. (2008). Efficient and rapid protein expression and purification of small high disulfide containing sweet protein brazzein in E-coli. Protein Expression and Purification: 58 (2): 263-268.
- BARBER-MEYER, Shannon M. (2007). Photopollution impacts of the nocturnal behavior of the Sugar Glieder (*Petaurus breviceps*). Pacific Conservation Biology: 13 (3): 171-176.
- BRADLEY, A. J. & STODDART D. M. (1993). The dorsal paracloacal gland and its relationship with seasonal changes in cutaneous scent gland

- morphology and plasma androgen in the marsupial sugar glider (*Petaurus breviceps*: Marsupialia: Petauridae). Journal of Zoology (London): 229 (2): 331-346.
- BRADLEY, A. J. & STODDART D. M. (1997). Plasma androgen, social position, and response to GnRH in the marsupial sugar glider (*Petaurus breviceps* Marsupialia: Petauridae). Journal of Zoology (London): 241 (3): 579-587.
 - BURDACH, J. Konrad (1988). Geschmack und Geruch. Gustatorische, olfaktorische und trigeminale Wahrnehmung. Hans Huber Verlag, Bern, Stuttgart, Toronto, 1988.
 - CARTHEW, Susan M. (1993). An assessment of pollinator to *Banksia spinulosa*. Australian Journal of Ecology: 18 (3): 257-268.
 - CARTHEW, Susan M. (1994). Foraging behaviour of marsupial pollinators in a population of *Banksia spinulosa*. Oikos: 69 (1):133-139.
 - CHAN, Won Ic; CHUNG, Jin Woo; KIM, Young Ku; CHUNG, Sung Chang; KHO, Hong Seop. (2006). The relationship between phenylthiocarbamide (PTC) and 6-n-propylthiouracil (PROP) taster status and taste thresholds for sucrose and quinine. Archives of Oral Biology: 51 (5): 427-432.
 - CHEN, Zhongjun; HENG, Cai; LI, Zhengying; LIANG, Xinle; XINCHEN, Shangguan. (2007). Expression and secretion of a single-chain sweet protein monellin in *Bacillus subtilis* by *sacB* promoter and signal peptide. Applied Microbiology and Biotechnology: 73 (6): 1377-1381.
 - CHRISTIAN, Nereda & GEISER, Fritz (2007). To use or not to use torpor? Activity and body temperature as predictors. Naturwissenschaften: 94 (6): 483-487.
 - COLLINS, Julie K.; DAVIS, Angela R.; ADAMS, Arin; MANNESS, Niels; PERKINS, Veazie; PENELOPE, M. (2006). Consumer acceptability of low-sugar watermelon sweetened with non-calorie sweetener by a Native American community. International Journal of Food Sciences and Nutrition: 57 (5-6): 363-268.

- CUI, Meng; JIANG, Peihua; MAILLET, Emeline; MAX, Marianna; MARGOLSKEE, Robert F.; OSMAN, Roman. (2006). The heterodimeric sweet taste receptor has multiple potential ligand binding sites. *Current Pharmaceutical Design*: 12 (35): 4591-4600.
- CUNNINGHAM, Ross B.; LINDENMAYER, David B.; CRANE, Mason; MICHAEL, Damian; MCGREGOR, Christopher. (2007). Reptile and arboreal marsupial response to replanted vegetation in agricultural landscapes. *Ecological Applications*: 17 (2): 609-619.
- COOKE, Raylene; WALLIS, Robert; HOGAN, F., WHITE, J.; WEBSTER, Alan (2006). The Diet of powerful owls (*Ninox strenau*) and prey availability in a continuum of habitats from disturbed urban fringe to protected forest environments in south- eastern Australia. *Wildlife Research*: 33 (3): 199-206.
- COOKE, Raylene; WALLIS, Robert; WEBSTER, Alan; WILSON, Jenny. (1997). Diet of a family of powerful owls (*Ninox strenau*) from Warrendyte, Victoria. *Proceedings of the Royal Society of Victoria*: 109 (1): 1-6.
- COPE, R.B. (2004). A screening study of xylitol binding in vitro to activated charcoal. *Veterinary and Human Toxicology*: 46 (6): 336-337.
- CRAUSE, W.J.; CUTTS, J.H. (1982). Morphological observations on the papillae of the opossum *Didelphis virginiana* tongue. *Acta Anatomica*: 113 (2): 159-168.
- CURTIS, Kathleen S.; STRATFORD, Jennifer M.; CONTRERAS, Robert J. (2005). Estrogen increases the taste threshold for sucrose in rats. *Physiology and Behavior*: 86 (3): 281-286.
- DAS, Kuntal; DANG, Raman. (2005). Stevia - A sugar substitute for diabetic patients. *Crop Research (Hisar)*: 30 (2): 305-308.
- ECKERT, Robert; RANDALL, David; BURGGREN, Warren; FRENCH, Kathleen (2000). *Tierphysiologie*, Thime Verlag, Stuttgart, New York, 3. Auflage, 2000.
- ENDO, Hideki & YOKOHAWA, Kayoko & KUROMARU, Masamichi, HAYASHI, Yoshihiro (1998). Functional anatomy of gliding membrane

- muscles in the sugar gliders (*Petaurus breviceps*). *Annals of Anatomy*: 180 (1): 93-96
- ESDAILLE, T. M.; SENG, R.; CAFFE, A. R.; NAARENDORP, F. (2004). Histological and functional characteristics of the sugar glider retina: a comparison with the mouse retina. *IOVS*: 45 (1): 340.
 - FURUDONO, Yuichi; ANDO, Chiho; YAMAMOTO, Chizuko; KOBASHI, Motoi; YAMAMOTO, Takashi. (2006). Involvement of specific orexigenic neuropeptides in sweetener-induced overconsumption in rats. *Behavioural Brain Research*: 175 (2): 241-248.
 - GASSNER, Georg; GOLLMANN, Birgit (2001). *Sugar Gliders, Kurzkopfgleitbeutler*. Ulmer Verlag, 2001.
 - GEISER, Fritz; HOLLOWAY, Joanne C.; KORTNER, Gerhard (2007). *Journal of Comparative Physiology Biochemical Systemic and Environmental Physiology*: 177 (5): 495-501.
 - GEISER, Fritz. (1994). Hibernation and daily torpor in Marsupialias: A review. *Australian Journal of Zoology*: 42 (1): 1-16.
 - GKASER, D.; HELLEKANT, G. (1977). Behavioral and electro physiological experiments on the sense of the taste in *Saguinus midas* Tamarin Callitrichidae. *Folia Primatologica*: 28 (1): 43-51.
 - GO, Yasuhiro. (2006). Lineage-specific expansions and contractions of the bitter taste receptor gene repertoire in vertebrates. *Molecular Biology and Evolution*: 23(5): 964-972.
 - GOLDINGAY, R. L. (1994). Loud Calls of the Yellow-Bellied Glider, *Petaurus australis* - Territorial Behavior by an Arboreal Marsupial. *Australian Journal of Zoology*: 42 (3): 279-293.
 - GOLDINGAY, R. L. (1986). Feeding behaviour of the Yellow-Bellied Glider *Petaurus australis* Marsupialia Petauridae at Bombala New South Wales Australia. *Austrian Mammology*: 9 (1-2): 17-26.
 - GOMBOS, Katalin; VARJAS, Timea; ORSOS, Zsuzsanna; POLYAK, Eva; PEREDI, Judit; VARGA, Zsuzsanna; NOWRASTEH, Ghodratollah;

- TETTINGER, Antal; MUCSI, Gyula; EMBER, Istvan. (2007). The effect of aspartame administration on oncogene and suppressor gene expressions. *In Vivo (Attiki)*: 21 (1): 89-92.
- HAMAMICHI, R.; ASANO-MIYOSHI, M.; EMORI, Y. (2006). Taste bud contains both short-lived and long-lived cell populations. *Neuroscience*: 141: 2129-2138.
 - HELLEKANT, G.; AF SEGERSTAD, C. Hard; ROBERTS, T. V. (1994). Sweet taste in the calf: III. Behavioral responses to sweeteners. *Physiology and Behavior*: 56 (3): 555-562.
 - HENSEL, Herbert. (1966). *Allgemeine Sinnesphysiologie – Hautsinn, Geschmack, Geruch*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1966.
 - HERRERA, M. L.G.; LEBLANC, D.; NASSAR, J. (2000). Sugar discrimination and gustatory thresholds in captive-born Old World Bats. *Mammalia*: 64 (2): 135-143.
 - HIGGINS, Alexis L.; BERCOVITCH, Fred B.; TOBEY, Jennifer R.; ANDRUS, Chris Hamlin. (2011). Dietary Specialization and Eucalyptus Species Preferences in Queensland Koalas (*Phascolarctos cinereus*). *Zoo Biology*: 30 (1): 52-58.
 - HOLMES, D. J.; AUSTAD, S. N. (1994). Fly now, die later: Life-history correlations of gliding and flying in mammals. *Journal of Mammalogy* 75: 224-226.
 - HOWARD, J. (1989). Diet of *Petaurus breviceps* Marsupialia Petauridae in a mosaic of coastal woodland and heath. *Australian Mammalogy*: 12 (1-2): 15-22.
 - HSIEH, T. J.; CHEN, S. (2007). A facile HPLC method for optical purity and quantitative measurements of phenylalanine from the hydrolyzed aspartame under different pH and temperature after its derivatization with a fluorescent reagent. *Amino Acids (Vienna)*: 33 (1): 123-128.

- IDE, Nobuyuki; KANEKO, Ryosuke; WADA, Ritsuko; MEHTA, Alka; TAMAKI, Shinobu; TSURUTA, Tomoko; FUJITA, Yuki; MASUDA, Tetsuya; KITABATAKE, Naofumi. (2007). Cloning of the thaumatin I cDNA and characterization of recombinant thaumatin I secreted by *Pichia pastoris*. Biotechnology Progress: 23 (5):1023-1030.
- JACKOWIAK, Hanna; GODYNICKI, Szymon (2007). Light and scanning electron microscopic study on the structure of the lingual papillae of the feathertail glider (*Acrobates pygmeus*, Burramyidae, Marsupialia). Anatomical Record: 290 (11): 1355-1365.
- JACKSON, Stephen M. (2000). Population dynamics and life history of the mahogany glider, *Petaurus gracilis*, and the sugar glider, *Petaurus breviceps*, in north Queensland. Wildlife Research: 27 (1): 21-37.
- JAMES, W. T. (1980). A test of the Virginia opossum *Didelphis virginiana* preference for sweets. Bulletin of the Psychonomic Society: 16 (1): 65-66.
- JIANG, Peihua; CUI, Meng; ZHAO, Baohua; SYDER, Lenore A.; BERNARD, Lumie M. J.; OSMAN, Roman; MAX, Marianna; MARGOLSKEE, Robert F. (2005a). Identification of the cyclamate interaction site within the transmembrane domain of the human sweet taste receptor subunit T1R3. Journal of Biological Chemistry: 280 (40): 34296-34305.
- JIANG, Peihua; CUI, Meng; ZHAO, Baohua; SYDER, Lenore A.; BERNARD, Lumie M. J.; OSMAN, Roman; MAX, Marianna; MARGOLSKEE, Robert F. (2005b). Identification of the cyclamate interaction site within the transmembrane domain of the human sweet taste receptor subunit T1R3. Journal of Biological Chemistry: 280 (15): 15238-15246.
- KAESTNER, A. (1995). Lehrbuch der speziellen Zoologie. Band II Wirbeltiere, Teil 5/1 Säugetiere. (Dietrich Storck) Gustav Fischer, 1995.

- KAKU, T.; TSUMAGARI, M; KIYOHARA, S.; YAMASHITA, S. (1980). Gustatory responses in the minnow *Pseudorasbora parva*. *Physiology and Behavior*: 25 (1): 99-106.
- KATSUURA, Tetsuo; JIN, Xinqin; BABA, Yasushi; SHIMOMURA, Yoshihiro; IWANAGA, Koichi. (2005). Effects of color temperature of illumination on physiological functions. *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*: 24 (4): 321-325.
- KAVANAGH, John R.; BURK- HERRICK, Angela; WESTERMAN, Mike; SPRINGER, Mark S. (2004). Relationship among families of Diprotodontia (Marsupialia) and the phylogenetic position of the autapomorphic honey possum (*Tarsipes rostratus*). *Journal of Mammalian Evolution*: 11 (3-4): 207-222.
- KAVANAGH, R.P. (2002). Comparative diets of the Powerful Owl (*Ninox strenua*), Sooty Owl (*Tyto tenebricosa*) and Masked Owl (*Tyto novaehollandiae*) in southeastern Australia. In: Newton, I., Kavanagh, R., Olsen, J. and Taylor, I. (eds.). *Ecology and Conservat.*
- KOBAYASHI, Kan; KUMAKURA, Masahiko; YOSHIMURA, Ken; NONAKA, Kouji; MURAYAMA, Toshiaki; HENNEBERG, Maciej. (2003). Comparative morphological study of the lingual papillae and their connective tissue of the koala. *Anatomy and Embryology*: 206 (4): 247-254.
- KONEN, J. A.; KOVATCH, C. M.; BARTH, T. M. (2003). Short - term exposure to aspartame has no effect on water maze performance in adult rats. *Society for Neuroscience Abstract Viewer and Itinerary Planner*: 289: 16.
- KONG, Jian Qiang; ZHAO, Qi; YANG, Qi Zhi; XIBEI, Zhiwu Xuebao. (2003). Recent advances of sweet-tasting proteins and taste-modifying protein. *Xibei Zhiwu Xuebao*: 23 (5): 815-821.
- LANDWEHR, G. O.; RICHARDSON, K. C.; WOLLER, R. D. (1990). Sugar preferences of honey possums *Tarsipes rostratus* Marsupialia

- Tarsipedidae and western pygmy possums *Cercartetus concinnus* Marsupialia Burramyidae. Australian Mammology: 13 (1-2): 5-10.
- LASKA, Matthias. (2002). Gustatory responsiveness to food-associated saccharides in European rabbits, *Oryctolagus cuniculus*. Physiology and Behavior: 76 (2): 335-341.
 - LASKA, Matthias. (1996). Taste preference thresholds for food-associated sugars in the squirrel monkey (*Saimiri sciureus*). Primates: 37 (1): 91-95.
 - LASKA, Matthias; SANCHEZ, Edith Carrera; RIVERA, Jose Antonio Rodriguez; LUNA, Ernesto Rodriguez. (1996). Gustatory thresholds for food-associated sugars in the spider monkey (*Ateles geoffroyi*). American Journal of Primatology: 39 (3): 189-193.
 - LI, De-Feng; JIANG, Peihua; ZHU, De-Yu; HU, Yonglin; MAX, Marianna; WANG, Da-Cheng. (2008). Crystal structure of Mabinlin II: A novel structural type of sweet proteins and the main structural basis for its sweetness. Journal of Structural Biology: 162(1): 50-62.
 - LIM, Unhee; SUBAR, Amy F.; MOUW, Traci; HARTGE, Patricia; MORTON, Lindsay M.; STOLZENBERG, Solomon Rachael; CAMPBELL, David; HOLLENBECK, Albert R; SCHATZKIN, Arthur. (2006). Consumption of aspartame-containing beverages and incidence of hematopoietic and brain malignancies. Cancer Epidemiology Biomarkers and Prevention: 15 (9): 1654-1659.
 - MALLICK, J. & STODDART, D. M. & JONES, I. & BRADLEY, A. J. (1994). Behavioral and endocrinological correlates of social status in the male sugar glider (*Petaurus breviceps* Marsupialia: Petauridae). Physiology and Behavior: 55(6): 1131-1134.
 - MARTIN, R.W. (1985). Overbrowsing and decline of a population of the koala *Phascolarctos cinereus* in Victoria Australia I. Food preference and food tree defoliation. Australian Wildlife research: 12(3): 355-366.
 - MATSON, Kevin D.; MILLAM, James R.; KLASING, Kirk C. (2001). Thresholds for sweet, salt, and sour taste stimuli in cockatiels (*Nymphicus hollandicus*). Zoo Biology: 20 (1): 1-13.

- McKAY, G. M. (1989). Family Petauridae. In: Walton DW, Richardson BJ (eds) Fauna of Australia, Mammalia. Australian Government Printing Services, Canberra, pp 665-678.
- McMENIMAN, J. P.; RIVERA, J.D.; SCHLEGEL, P.; ROUNDS, W.; GALYEAN, M. L. (2006). Effects of an artificial sweetener on health, performance, and dietary preference of feedlot cattle. Journal of Animal Science: 84 (9): 2491-2500.
- MOORE, Benjamin D.; FOLEY, William J. (2000). A review of feeding and diet selection in koalas (*Phascolarctos cinereus*). Australian Journal of Zoology: 48 (3): 317-333.
- MOYES, Christopher D.; SCHULTE, Patricia M. (2008). Tierphysiologie, Pearson Studium, 2008.
- MÜLLER, Werner; FRINGS, Stephan. (2004). Tier- und Humanphysiologie, Springer, 2. Auflage, 2004.
- MUNEMASA, Mauro; NIKAIDO, Masato; DONN'ELLAN, Stephen; AUSTIN, Christopher C.; OKADA, Norihiro; HASEGAWA, Masami.(2006). Phylogenetic analysis of diprotodontian marsupials based on complete mitochondrial genomes. Genes and Genetic Systems: 81 (3):181-191.
- NAGAI, Masanori; SAITOH, Junko; OHNO, Hiromi; HITOMI, Chiaki; WADA, Maki. (2006). Biometals-. Pentavalent vanadium at concentration of the underground water level enhances the sweet taste sense to glucose in college students: 19 (1): 7-12.
- OHTA, Keisuke; MASUDA, Tetsuya; IDE, Nobuyuki; KITABATAKE, Naofumi. (2008). Critical molecular regions for elicitation of the sweetness of the sweet-tasting protein, thaumatin I. FEBS-Journal: 2008; 275 (14): 3644-3652.
- OKADA, Shigenori; SCRAUFNAGEL, Dean F. (2005). Scanning electron microscopic structure of the lingual papillae of the common opossum (*Didelphis marsupialis*). Microscopy and Microanalysis: 11 (4): 319-332.

- OLSZEWSKI, Pavel K.; LEVINE, Allen S. (2007). Central opioids and consumption of sweet tastants: When reward outweighs homeostasis. *Physiology and Behavior*: 91 (5): 506-512.
- PASQUET, Patrick; MONNEUSE, Marie Odile; SIMMEN, Bruno; MAREZ, Andre; HLADIK, Claude Marcel. (2006). Relationship between taste thresholds and hunger under debate. *Appetit*: 46 (1): 63-66.
- PAUSAS, Juli G., BRAITHWAITE, Wayne L., AUSTIN, Mike P. (1995). Modelling habitat quality for arboreal marsupials in the South Coastal forests of the New South Wales, Australia. *Forest Ecology and Management*: 78(1-3):39-49.
- PHILLIPS, Stephen; CALLAGHAN, John. (2000). Tree species preferences of koalas (*Phascolarctos cinereus*) in the Campbelltown area south-west of Sydney, New South Wales. *Wildlife Research*: 27 (5): 509-516.
- PRAKASH, I.; DUBOIS, G. E.; CIOSS, J. F.; WILKENS, K. L.; FOSDICK, L. E. (2008). Development of rebiana, a natural, non-caloric sweetener. *Food and Chemical Toxicology*. 46 (7): 75-82.
- PRONIN, Alexey N.; XU, Hong; TANG, Huixian; ZHANG, Lan; LI, Qing; LI, Xiaodong (2007). Specific Alleles of bitter receptor genes influence human sensitivity to the bitterness of aloin and saccharin. *Current Biology*: 17 (16): 1403-1408.
- PUSCHMANN, Peter (2008). *Der Sugar Glider Petaurus breviceps*, Natur und Tier- Verlag, Münster, 2008.
- PUNZO, Fred; LAIRD, Ann; PEDROSA, Erica. (2003). Prenatal protein malnutrition and visual discrimination learning in the sugar glider, *Petaurus breviceps*. *Journal of Mammalogy*: 84 (4): 1437-1442.
- QUINN, Darren G. (1995). Population ecology of the squirrel glider (*Petaurus norfolcensis*) and the sugar glider (*P. breviceps*) (Marsupialia: Petauridae) at Limeburners Creek, on the Central North Coast of New South Wales. *Wildlife Research*: 22 (4): 471-505

- QUIN, Darren G., SMITH, Andrew P., NORTON, Tony W. (1996). Eco-geographic variation in size and sexual dimorphism in sugar gliders and squirrel gliders (Marsupialia: Petauridae). *Australian Journal of Zoology*: 44 (1): 19-45.
- QUIN, Darren; RIEK, Alexander; GREEN, Stuart; SMITH, Andrew P.; GEISER, Fritz. (2010). Saisonally constant field metabolic rates in free-ranging sugar gliders (*Petaurus breviceps*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A Molecular & Integrative Physiology*: 155 (3): 336-340.
- REMIS, Melissa Jane. (2006). The role of taste in food selection by African apes: implications for niche separation and overlap in tropical forests. *Primates*: 47 (1): 56-64.
- RICHARDSON, K. C.; WOOLLER, R.D.; COLLINS, B.G. (1986). Adaptations to a diet of nectar and pollen in the marsupial *Tarsipes rostratus* Marsupialia Tarsipedidae. *Journal of Zoology Series A*: 208(2): 285-298.
- ROPER, Stephen D. (2007). Signal transduction and information processing in mammalian taste buds. *Pfluegers Archiv European Journal of Physiology*: 454 (5): 759-776.
- ROPER, Stephen D. (1989). The cell biology vertebrate taste receptors. *Annual Review of Neuroscience*: 12: 329-353.
- ROSE, R.W; NEVISON, C. M.; DIXSON, A. F. (1997). Testes weight, body weight and mating systems in marsupials and monotremes. *Journal of Zoology (London)*: 243 (3): 523-531.
- SABAT, Pablo; BOZINOVIC, Francisco; ZAMBRANO, Fernando. (1995). Role of dietary substrates on intestinal disaccharidases, digestibility, and energetics in the insectivorous mouse-opossum (*Thylamys elegans*). *Journal of Mammology*: 76 (2): 603-611.
- SADLER, L. M. & WARDL, S. J. (1999). Coalitions in male sugar gliders: are they natural *Journal of Zoology*: 248: 91.

- SAINZ, Eduardo; CAVENAGH, Margaret M.; LOPEZ JIMENEZ, Nelson D.; GUTIERREZ, Joanne C.; BATTEY, James F.; NORTHUP, John K.; SULLIVAN, Susan L. (2007). The G-protein coupling properties of the human sweet and amino acid taste receptors. *Developmental Neurobiology*: 67 (7): 948-959.
- SAPOLSKY, Robert M. (2004). Social status and health in humans and other animals. *Annual Review of Anthropology*; 33: 393-418.
- SCHMELZLE, Thomas; NUMMELA, Sirpa; SANCHEZ-VILLAGRA, Marcelo R. (2005). Phylogenetic transformation of the ear ossicles in marsupial mammals, with specila reference to Diprotodontians. A Character analysis. *Annals of Camegie Museum*; 74 (3): 189-200.
- SCHMIDT-NIELSEN, Knut. (1999). *Physiologie der Tiere*, Spektrum (Gustav Fischer), Heidelberg, Berlin, 1999.
- SCHMIDT, R. F.; LANG, F.; THEWS, G. (2005). *Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie*. Springer Medizin Verlag, Heidelberg, 2005.
- SIMMEN, Bruno; CHARLOT, Stephanie. (2003). A comparison of taste thresholds for sweet and astringent-tasting compounds in great apes. *Comptes Rendus Biologies*: 326 (4): 449-455.
- SMITH, A. P. (1982). Diet and feeding stratigegies oft he marsupial sugar glider *Petaurus breviceps* in temperate Australia. *Journal of Animal Economy*: 51(1): 149-166.
- SMITH, A. P.; RUSSELL, R. (1982). Diet of Yellow-Bellied Glider *Petaurus australis* Marsupialia Petauridae in North Queensland Australia. *Australian Mammology*: 5(1-2): 41-46.
- SMITH, C. U. M. *Biology of Sensory System*, Wiley, 2000.
- SMITH, M. J. (1973). Mammalian Species No. 30, pp. 1-5, 4 figs. *Petaurus breviceps*. Published by The American Society of Mammalogists.
- SOFFRITTI, Morando; BELPOGGI, Fiorefla; TIBALDI, Eva; ESPOSTI, Davide Degli; LAURIOLA, Michelina. (2007). Life-span exposure to low

- doses of aspartame beginning during prenatal life increases cancer effects in rats. *Environmental Health Perspectives*: 115 (9): 1293-1297.
- SPADACCINI, Roberta; CRESCENZI, Orlando; TANCREDI, Teodorico; DE CASAMASSIMI, Natasha; SAVIANO, Gabriella; SCOGNAMIGLIO, Roberta; DI DONATO, Alberto; TEMUSSI, Piero A. (2001). Solution structure of a sweet protein: NMR study of MNEI, a single chain monellin. *Journal of Molecular Biology*: 305 (3): 505-514.
 - STODDART, D. M.; BRADLEY, A. J.; MALLICK, J. (1994). Plasma testosterone concentration, body weight, social dominance and scent-marking in male sugar gliders (*Petaurus breviceps*; Marsupialia: Petauridae). *Journal of Zoology*: 232 (4): 595-601.
 - STONE, L. M.; TAN, S. S.; TAM, P. P. L.; FINGER, T. E. (2002). Analysis of cell lineage relationship in taste buds. *Journal of Neuroscience*: 22: 4522-44529.
 - SUGITA, M. (2006). Taste perception and coding in the periphery. *Cellular and Molecular Life Science*: 63 (17): 2000-2015.
 - SUN, Hyeon Jin; CUI, Min-long; MA, Biao; EZURA, Hiroshi. (2006). Functional expression of the taste-modifying protein, miraculin, in transgenic lettuce. *FEBS Letters*: 580(2): 620-626.
 - SUTHERLAND, Kate; BRIERLEY, Stuart M.; RAYNER, Chris; HOROWITZ, Michael; BLACKSHAW, L. Ashley; YOUNG, Richard L. (2008). Altered duodenal sweet taste receptor expression in diabetic hyperglycemia. *Gastroenterology*: 134 (4, Suppl. 1) A44.
 - SUZUKI, Maiko; KURIMOTO, Eiji; NIRASAWA, Satoru; MASUDA, Yutaka; HORI, Koulchi; KURIHARA, Yoshie; SHIMBA, Nobuhisa; KAWAI, Misako; SUZUKI, Ei Ichiro; KATO, Koichi. (2004). Recombinant curculin heterodimer, exhibits taste-modifying and sweet-tasting activities. *FEBS-Letters*: 573(1-3): 135-138.

- TRIPATHI, Meenakshi; KHANNA, Subhash K.; DAS, Mukul. (2006). Usage of saccharin in food products and its intake by the population of Lucknow, India. Food Additives and Contaminants: 23 (12): 1265-1275.
- TRUBEY, K.R.; CULPEPPER, S.; MARUYAMA, Y.; KINNAMON, S.C.; CHAUDHARI, N. (2006). Tastants evoke cAMP signal in taste buds that is independent of calcium signalling. AM. J. Physiol. Cell Physiol.: 291: C237-C244.
- VAN TETS, Ian G.; WHELAN, Robert J. (1997). Banksia pollen in the diet of Australian mammals. Ecogeography: 20(5): 499-505.
- WADE, Galuska Tammy; GALUSKA, Chad M.; WINGER, Gail; WOODS, James H. (2007): Aspartame demand in rhesus monkeys: Effects of volume and concentration manipulations. Behavioural Processes: 74(1): 71-78.
- WESTHEIDE, Wilfried & RIEGER, Reinhard (2004): Spezielle Zoologie Teil II: Wirbel- oder Schädeltiere, Spektrum (Gustav Fischer), Heidelberg, Berlin.
- WOJCIK, K. (1976). Threshold of taste identification in people. Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska Sectio C Biologia: 31: 271-280.
- WOOD, Matthew S.; WALLIS, Robert L. (1998). Victorian Naturalist: 115(3): 78-80.
- YEE, C. L.; YANG, R.; BOTTGER, B.; FINGER, T. E.; KINNAMON, J. C. (2001). "Typ III" cells of rat taste buds: Immunohistochemical and ultrastructural studies of neuron-specific enolase, protein gene product 9.5, and serotonin. J. Comp. Neurol.: 440: 97-108.

Internetquellen

- Google: Geschmacksknospenarten und ihre Verteilung auf der Zunge.
<http://www.google.at/imgres?q=geschmacksknospen&hl=de&sa=X&biw=1680&bih=847&tbn=isch&prmd=imvns&tbnid=TeWbwEDMR0fQrM:&imgrefurl=http://www.sinnesphysiologie.de/proto01/2->

schmecken/1/zungenaufbau.htm&docid=46T9bPK6XxuyaM&imgurl=http://www.sinnesphysiologie.de/proto01/2-schmecken/1/Zunge%2525203.jpg&w=425&h=607&ei=qTK0TpmMFoT04QTq29mGBA&zoom=1&iact=hc&vpx=174&vpy=368&dur=1906&hovh=268&hovw=188&tx=106&ty=138&sig=105289521072924879360&page=2&tbnh=150&tbnw=105&start=33&ndsp=35&ved=1t:429,r:18,s:33

Stand: Oktober 2011.

- Wikipedia: Kurzkopfgleitbeutler
<http://de.wikipedia.org/wiki/Kurzkopfgleitbeutler> Stand: September 2001.
- Wikipedia: Australienkarte
http://upload.wikipedia.org/wikipedia/commons/7/78/Petaurus_breviceps_distribution.png Stand: Oktober 2011.
- Wikipedia: Geschmacksknospe
<http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Geschmacksknospe.svg&filetimestamp=20080601111634> Stand: Oktober 2011.

7- Anhang

Anhang 1: Protokollblatt

(Verbr. :Verbrauch)

Seitennummer.....

Datum.....

Datum	Zeit	Besuche (Lösung1)	Verbr. in ml	Besuche (Lösung2)	Verbr. in ml	Besuche (Lösung3)	Verbr. in ml	Besuche (Lösung4)	Verbr. in ml

8- Danksagung

Die Arbeit, die hinter diesem Werk steckt, wurde mir durch Hilfe, Tipps, Beistand und Motivation zahlreicher Menschen erleichtert und auch ermöglicht. Ich möchte mich an dieser Stelle bei all denen bedanken, die mich während meines Studiums und meiner Diplomarbeit in jeder Form unterstützt haben; sei es fachlich, freundschaftlich oder emotional.

Vor allem möchte ich meinem Betreuer Herrn Prof. Dr. Helmut Kratochvil danken, der mir die Anregung zum Thema dieser Arbeit gab und freundlicherweise auch die Betreuung übernahm. Ich danke ihm auch für die Hilfe bei der mehrfachen Korrektur des Textes dieser Arbeit und schätze seine Geduld mit mir sehr.

Ganz besonderer Dank gebührt meiner Kollegin Eva Gaffron, die für mich während des ganzen Studiums eine große Unterstützung war. Außerdem möchte ich bei den Freunden Inge Lettner und Erika Aujezdsky bedanken, die mir bei der Übersetzung einiger Texte, dem Satzbau sowie der Korrektur große Hilfe waren. Ich bedanke mich bei Stefan Gerold für die Bereitstellung der digitalen Waage und bei Andreas Hörmann für das Leihen seiner Messbecher. Großer Dank gilt dem Herrn Dr. Schwammer, der mir ermöglichte, mit den Tieren im Tiergarten zu arbeiten sowie allen Pflegern, besonders Eva, Nina, Lisi und Ludwig.

Zuletzt aber umso mehr gilt mein Dank meinen Eltern, die die Wege zum Studium ermöglicht haben und dass sie mit mir geduldig waren. Außerdem möchte ich mich bei meinen Geschwistern bedanken, die mir ermöglichten, zum Studieren nach Österreich zu kommen und mich finanziell sowie emotional nicht alleine gelassen haben.

Abschließend noch ein kleines Dankeschön an alle „süßen“ Kurzkopfgleitbeutler, die die Versuche nicht nur wegen der süßen Belohnung mehr oder weniger bereitwillig über sich ergehen ließen.

9. Lebenslauf

Personalien:

- GÜL Dimitri
- geboren am 01.07.1980 in Altınözü/ HATAY (TÜRKEI)
- Türkische Staatsbürgerschaft
- ledig
- wohnhaft in Anzengruberg.15/25 1050 Wien

Ausbildung:

- 1986-91: Volksschule in Tokaçlı
- 1991-94: Mittelschule in Altınözü
- 1994-97: Gymnasium in Altınözü
- 1998: Ablegung der Aufnahmeprüfung zum Studium und ein Semester Biologiestudium an der Çukurova Universität in Adana
- 1999: Anreise nach Österreich
- 1999-2000: Besuch des Vorstudienlehrganges an der Universität Wien (Deutschkurs).
- 2000: Beginn zu Biologiestudium an der Universität Wien.
- 2003: Abschluss des ersten Studienabschnittes und Beginn mit dem Studienzweig Zoologie
- 2007: Anmeldung für das Studium „Deutsche Philologie“
- 2008: Anmeldung für das Studium „Orientalistik“

Berufliche Tätigkeiten:

- Mitarbeit in der Landwirtschaft der Eltern in der Türkei
- Seit März.2006: Beschäftigung als Seminarraum-Assistent bei „Seminarzentrum Lichtensteinstraße“ und Pflege des hier befindlichen Gartens
- 1.2011-11.2011: Unterrichten als Türkischlehrer bei „FAB: Verein zur Förderung von Arbeit und Beschäftigung“ auf Honorarbasis.

Sonstiges:

Sehr gute Türkischkenntnisse in Schrift und Wort.
Durchschnittliche Kenntnisse der Sprachen Englisch,
Persisch und Arabisch

Kontakt:

Tel.: 0699 10916426
E-Mail: a9808142@unet.univie.ac.at