



DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Nahrungsaufnahme bei *Cavia porcellus* (Linnaeus, 1758)

Ein Vergleich zwischen harter und weicher Nahrung“

verfasst von / submitted by

Anja Paster

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Magistra der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2016 / Vienna, 2016

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 406 445

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtstudium UniStG
UF Mathematik UniStG
UF Biologie und Umweltkunde UniStG

Betreut von / Supervisor:

Ao. Univ.- Prof. Dr. Doris Nagel

Inhaltsverzeichnis

1. Danksagung	5
2. Einleitung	8
2.1 Allgemeines zu <i>Cavia porcellus</i>.....	9
2.1.1 Systematik	9
2.1.2 Domestizierung	10
2.1.3 Morphologie	12
2.1.4 Zucht	15
2.1.5 Haltung.....	16
2.1.6 Forschung	17
2.2 Schädelanatomie	18
2.2.1 Schädelevolution	18
2.2.2 Schädelanatomie der Rodentia.....	20
2.2.3 Kaumusculatur der Rodentia	21
2.2.4 Schädelanatomie bei <i>Cavia porcellus</i>	24
2.2.5 Schädelkinetik.....	26
2.3 Nahrungsaufnahme bei <i>Cavia porcellus</i>.....	28
3. Material und Methoden	29
3.1 Material	29
3.1.1 Systematische Stellung von <i>Cavia porcellus</i> nach WILSON & REEDER (2005)	29
3.1.2 Versuchstiere	29
3.1.3 Futter.....	31
3.1.4 Technische Hilfsmittel.....	31
3.2 Methoden.....	33
3.2.1 Anatomische Untersuchungen	33

3.2.2	Kinematische Untersuchungen	33
4.	Ergebnisse.....	37
4.1	Anatomische Analysen	37
4.1.1	Anatomie des Schädels.....	37
4.1.2	Anatomie der Kaumuskulatur	40
4.2	Kinematische Analysen	49
4.2.1	Nahrungsaufnahme	49
4.2.2	Kauzyklen	55
5.	Diskussion.....	77
5.1	Allgemein	77
5.2	Anatomische Analysen	79
5.3	Kinematische Analysen	85
5.3.1	Nahrungsaufnahme	85
5.3.2	Kauzyklen	86
5.4	Conclusio	90
5.5	Herausforderungen und Lösungen	91
5.6	Versäumtes	94
6.	Zusammenfassung/Abstract	95
7.	Literaturverzeichnis	97

1. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei Prof. Dr. Doris Nagel bedanken, dass sie die Betreuung meiner Arbeit übernommen hat und so den Abschluss meines Studiums ermöglichte. Danke für die Hilfestellungen und dass ich immer mit Fragen zu ihr kommen konnte.

Weiters möchte ich mich bei der Tierhaltung der Universität Wien bedanken, hier allen voran Mag. Matthias Nemeth, der mir die Hausmeerschweinchen und die Utensilien zur Haltung der Tiere für die Filmarbeiten zur Verfügung gestellt hat.

Bei der Erstellung der anatomischen Rekonstruktionen war vor allem Prof. Dr. Michaela Gumpenberger von der Veterinärmedizinischen Universität Wien eine große Hilfe, da sie die CT Scans durchführte. Außerdem möchte ich mich hier auch bei Dr. Thomas Schwaha bedanken, der mir bei der Rekonstruktion mit Amira eine große Hilfe war und mir während der Filmarbeiten immer wieder geholfen hat.

Ein ganz großes Dankeschön gilt meinen weiteren Betreuern Dr. Patrick Lemell und Dr. Christian Beisser. Egal wo ich bei der Diplomarbeit ein Problem hatte, haben sie immer Zeit gefunden mir zu helfen und versucht schnell eine Lösung zu finden. Sie waren eine große Hilfe bei der Organisation der Versuchstiere, beim Erklären der technischen Geräte und beim Zur-Verfügung-Stellen der Literatur und der Software. Hier möchte ich die Gelegenheit noch nutzen mich vor allem bei Patrick Lemell für die ganze Hilfe während der Diplomarbeit zu bedanken. Neben den ganzen technischen und inhaltlichen Hilfestellungen, waren seine motivierenden Worte und klaren Ansagen, wenn ich nicht genau weiter wusste, eine große Hilfe.

Die Diplomarbeit war zwar die große Abschlussarbeit des Studiums, doch dies möchte ich auch als Chance sehen, mich bei allen Personen zu bedanken, die mich während des ganzen Studiums unterstützt haben. Ganz besonders möchte ich meine Eltern Christine und Georg Paster hervorheben, welche mich meine ganze Ausbildung über unterstützt und motiviert haben. Egal ob ich mein Studium wechselte oder für ein halbes Jahr im Ausland war, ihr wart immer für mich da und habt mir geholfen. Neben meinen Eltern waren meine Geschwister Susanne, Florian und Judith immer wichtige Begleiter, auch wenn wir uns während des Semesters nicht so oft gesehen haben, ist es schön zu wissen, dass man eine Familie hat, auf die man sich immer verlassen kann und bei denen man sich immer melden kann. Danke für eure Zeit und Geduld, die ihr immer für mich habt.

Neben meiner Familie waren es auch viele Freunde, auf die ich mich stets verlassen konnte. Besonders wichtig waren meine „Mädls“ aus Oberösterreich und meine Mitbewohnerinnen, durch die das Studium zu einem ganz besonderen und unvergesslichen Lebensabschnitt geworden war.

Zum Stressabbau war vor allem der Sport von großer Bedeutung und nach einem langen Unitag gibt es nichts Besseres als sich auf dem Volleyballfeld auszutoben, deshalb wurde das Training als erstes in den Stundenplan eingetragen. Ein ganz großes „Danke“ möchte ich hier an meine zwei Mannschaften richten, denn immer wenn ich mit ihnen gemeinsam am Feld stehe, sind alle anderen Probleme vergessen und es macht Spaß zu spielen.

Es ist schön zu wissen, dass man im Studium auch Freunde für das Leben gefunden hat, vor allem unsere liebevoll genannte „Bioherde“ möchte ich nach dem Studium auf keinen Fall missen. Auch wenn man die Prüfungen alleine schreiben muss, ist das Studium viel einfacher, wenn man nette KollegInnen hat, die beim Rechnen der Beispiele und beim Lernen für die Prüfungen stets beistehen. Danke für die Hilfe, die unvergesslichen Exkursionen und die gemeinsamen Spielebarabende. Ich hoffe wir verlieren uns nach dem Studium nicht aus den Augen.

2. Einleitung

Das Thema dieser Diplomarbeit ist die Erforschung der Nahrungsaufnahme beim Hausmeerschweinchen, *Cavia porcellus* (LINNAEUS, 1758). Das Ziel der Arbeit ist es zu untersuchen, ob beim Hausmeerschweinchen Unterschiede bei der Nahrungsaufnahme bei harter und weicher Nahrung existieren. Dazu wurden ausschließlich non-invasive Forschungsmethoden verwendet. Die Abbildungen in der Arbeit, sofern es nicht anders angegeben ist, stammen von der Autorin selbst.

Die Ordnung Rodentia (BOWDICH, 1821) umfasst Arten, welche weltweit verbreitet und vor allem durch ihren spezialisierten Kauapparat ausgezeichnet sind. Den größten Teil der Kaumuskulatur nimmt der Musculus masseter, welcher den Kieferschluss ermöglicht, ein (TURNBULL, 1970). *Cavia porcellus* aus der Familie der Caviidae (GRAY, 1821) wurde in den Anden in Südamerika domestiziert, wird heute aber weltweit als Haustier gehalten und für Forschungszwecke eingesetzt (WING, 1978).

Neben anatomischen Untersuchungen des Schädels und der Kaumuskulatur werden Schnellbildaufnahmen gemacht. Wegen der starken Behaarung von *Cavia porcellus* soll auch geprüft werden, ob eine sinnvolle Auswertung der Daten möglich ist.

2.1 Allgemeines zu *Cavia porcellus*

2.1.1 Systematik

Ursprünglich kommt das Hausmeerschweinchen *Cavia porcellus* aus den Zentralanden in Südamerika und wurde dort von den Ureinwohnern, von denen es „Cuy“ genannt wird, domestiziert (GADE, 1967). Das Hausmeerschweinchen wurde dann im 16. Jahrhundert von den Spaniern nach Europa gebracht. Die ersten wissenschaftlichen Beschreibungen stammen von Aldrovandus (1522-1607) und Gesner (1516-1565) (CUMBERLAND, 1886). Linnaeus führte den wissenschaftlichen Namen *Cavia porcellus* 1758 ein, wobei das lateinische Wort „porcellus“ auf Deutsch übersetzt „Schweinchen“ heißt. Eine mögliche Erklärung für die Herkunft des Namens „Meerschweinchen“ ist, dass es aussieht wie ein kleines Schwein und von der anderen Seite das Meeres importiert wurde (PATERSON, 1972).

Mit über 2000 Arten gehört die Ordnung Rodentia zu der artenreichsten unter den Säugetieren und macht 40 Prozent der Säugetierarten aus (CARLETON & MUSSEY, 2005; KAY & HOEKSTRA, 2008). Sie sind auf jedem Kontinent außer der Antarktis zu finden und besetzen eine Vielzahl von verschiedenen Nischen (HONEYCUTT ET AL., 2007; KAY & HOEKSTRA, 2008). Die ersten Nachweise für Nagetiere reichen ins Paläozän vor 55 bis 60 Mio. Jahre zurück (HONEYCUTT ET AL., 2007). Nach WILSON & REEDER (2005) werden die Nagetiere in folgende Subordnungen eingeteilt:

- Sciuromorpha
- Castorimorpha
- Myomorpha
- Anomaluromorpha
- Hystricomorpha

Jedoch gab es immer wieder Zweifel, ob es sich bei der Ordnung Rodentia um eine monophyletische Gruppe handelt, oder ob die Hystricomorpha (Stachelschweinverwandten), zu denen auch das Hausmeerschweinchen zählt, als eigene Ordnung innerhalb der Säugetiere einzuordnen ist. Die Arten der Unterordnung Hystricomorpha aus Südamerika gehen alle auf denselben Vorfahren zurück (WOOD, 1974). Publikationen wie „Is the guinea-pig a rodent?“ von GRAUR ET AL. (1991) und „The guinea pig is not a rodent“ von D'ERCHIA ET AL. (1996) glaubten durch

phylogenetische Analysen aufgrund von molekularen Sequenzierungen der mtDNA bewiesen zu haben, dass Nagetiere ein Polyphylum darstellen. Diese Daten werden stark kritisiert, da die mtDNA wenig geeignet ist, die monophyletische Stellung der Ordnung Rodentia zu widerlegen. Außerdem wird hier ein sehr vereinfachtes Modell genommen, was jedoch problematisch scheint, wenn die Daten so stark mit der ursprünglichen Einteilung in Konflikt stehen (SULLIVAN & SWOFFORD, 1997). Zusätzlich unterstützen Analysen der Exon Rezeptoren der Wachstumshormone die Theorie, dass es sich bei der Ordnung Rodentia um eine monophyletische Gruppe handelt, und legen die Abspaltung der Hystricomorpha von den Sciuromorpha auf etwa 50 Millionen Jahren vor heute (HONEYCUTT ET AL., 2007).

Cavia porcellus gehört zur Gattung *Cavia* (PALLAS, 1766), welche folgende Arten umfasst (nach WILSON & REEDER, 2005):

- *Cavia aperea* (ERXLEBEN, 1777)
- *Cacia fulgida* (WAGLER, 1831)
- *Cavia intermedia* (CHEREM ET AL., 1999)
- *Cavia magna* (XIMINEZ, 1980)
- *Cavia porcellus* (LINNAEUS, 1758)
- *Cavia tschudii* (FRITZINGER, 1857)

Die ersten Nachweise für die Gattung *Cavia* in Südamerika stammen aus dem mittleren Miozän, also vor etwa 20 Millionen Jahren und vor zwei bis fünf Millionen Jahren erreichte sie die größte Diversität (MACDONALD, 2006).

2.1.2 Domestizierung

Aufgrund der Morphologie und genetischer Analysen ist es unumstritten, dass *Cavia porcellus* von einer Art aus der Gattung *Cavia* abstammt. Es gibt viele morphologische Ähnlichkeiten und dies vor allem auch im Bereich des Schädels: Charakteristisch für die Gattung *Cavia* ist, dass die Schneidezähne nicht pigmentiert sind und es Zementeinlagerungen zwischen den Prismen der Backenzähne gibt. Der Processus zygomaticus maxillae wird durch das Os lacrimale (Tränenbein) nicht vollständig unterbrochen und die Ausbildung des Processus ist auf der orbitalen Seite. Eine kleine annähernd dreieckige Platte verschmälert sich zum Corpus maxillare und zwischen dieser dorsomedialen Wand und dem lateralen Teil des Os ethmoidale (Siebbein)

nimmt der Canalis lacrimo-ethmoidalis einen großen Raum ein (HÜCKINGHAUS, 1961). Die Frage, welche Art die Ausgangsart für die Domestizierung war, ist noch immer nicht ganz geklärt. Zur Diskussion stehen einerseits das Wildmeerschweinchen aus Brasilien (*Cavia aperea*), wobei sich HÜCKENHAUS (1961) in dieser Annahme vor allem aufgrund der Ausbildung des dritten Molars, welcher bei *Cavia aperea* und *Cavia porcellus*, im Gegensatz zu den anderen *Cavia* Arten, gleich ausgebildet ist, stützt. Außerdem führt er das Hausmeerschweinchen als eine Unterart von *Cavia aperea* an. Andererseits wird in der Literatur immer wieder auf *Cavia cutleri* verwiesen (BANKS, 1989; MÜTSCHARD, 2008). Diese Art wurde von TSCHUDI im Jahr 1849 neu beschrieben und zu *Cavia tschudii* umbenannt (WALKER ET AL., 2014). Dies wird als Ausgangsart für *Cavia porcellus* am wahrscheinlichsten angesehen, was für eine Domestizierung in den Anden in Peru sprechen würde (WALKER ET AL., 1964; WILSON & REEDER, 2005; MACDONALD, 2006). Weiters spricht auch die molekulare Diversität für eine nähere Verwandtschaft zwischen *Cavia porcellus* und *Cavia tschudii*, als zwischen *Cavia porcellus* und *Cavia aperea*, woraus man auch die Domestizierung von *Cavia tschudii* ableiten kann (SPOTORNO ET AL., 2004). Das Verbreitungsgebiet des Wildmeerschweinchens *Cavia tschudii* liegt im nördlichen Chile, im südlichen Peru, in Bolivien und im nordwestlichen Argentinien (WOODS & KILPATRICK, 2005). Diese Wildmeerschweinchen leben auf Wiesen, wo sie sich von Gras und Wurzeln ernähren, zum Schutz suchen sie Unterschlupf in Höhlen, welche von anderen Tieren gegraben oder gebaut wurden, oder in natürlichen Unterständen. Jedoch bauen sie selbst weder Nester, noch graben sie Gruben und Gangsysteme. Die Gruppengröße, in denen sie zusammenleben ist sehr variabel (CLEMONS & SEEMANN, 2011).

Neben morphologischen Veränderungen, wie einer größeren Körperform (KÜNZL & SACHSER, 1998), einem kleineren Gehirn und einer kürzeren Schnauze (HERRE, 1956; GRZIMEK, 1969) beim Hausmeerschweinchen im Vergleich zum Wildmeerschweinchen, gibt es auch viele Veränderungen im Verhalten, jedoch wird hier der Vergleich mit dem Wildmeerschweinchen *Cavia aperea* gemacht und nicht mit *Cavia tschudii*. Bei *Cavia aperea* wird ein höheres Aggressivitätspotential festgestellt als bei der domestizierten Form, hingegen sind positive soziale Verhaltensweisen beim Hausmeerschweinchen stärker ausgebildet (KÜNZL & SACHSER, 1998).

Außerdem kam es auch zu starken Veränderungen des Magen-Darm Traktes, da Wildmeerschweinchen ein anderes Nahrungsspektrum haben. Die Nahrung von Wildmeerschweinchen ist wasserärmer und zellulosereicher im Vergleich zum Hausmeerschweinchen, welche eine Nahrung bekommen, die leichter verdaulich und wasserreicher ist. Es kommt beim Hausmeerschweinchen zu einer Vergrößerung des Magens und einer Verlängerung des Dünndarms, während die Länge des Blind- und Dickdarms abgenommen hat (GRZIMEK, 1969).

Begonnen wurde mit der Domestizierung des Wildmeerschweinchens vor 3000 bis 6000 Jahren (KAISER ET AL., 2015), wobei es gesicherte Nachweise für die Domestizierung ab 1800 vor Christus gibt. Der Grund der Domestizierung von *Cavia porcellus* war, dass sie einerseits eine Nahrungsquelle darstellten und andererseits in der Kultur eine wichtige Rolle spielten (MACDONALD, 2006), bei den Inkas wurden die Meerschweinchen zum Beispiel den Göttern geopfert (WAGNER, 1976). Nach der Entdeckung Südamerikas wurde das Hausmeerschweinchen im 16. Jahrhundert von den Spaniern nach Europa gebracht. Aufgrund des einfachen Transports und der leichten Haltung wurde es in viele Teile der Welt gebracht. Während es in Südamerika noch immer eine wichtige Nahrungsquelle darstellt, wird es weltweit als Haustier gehalten und in Labors für Forschungen verwendet (WALKER ET AL., 1964; GRZIMEK, 1969; WAGNER, 1976; MORALES, 1994).

2.1.3 Morphologie

Das Hausmeerschweinchen wird das erste Mal im 16. Jahrhundert beschrieben. Dabei schrieb Gesner (1516-1565), dass es sich um ein kleines Tier mit verschiedenen Farbausprägungen beim Fell und einem mausähnlichen Gebiss handelt. Weiters zählte er bei den Vorderfüßen je sechs Krallen und bei den Hinterfüßen je fünf Krallen, ein Irrtum da es nur vier Krallen am Vorderfuß und drei beim Hinterfuß besitzt (CUMBERLAND, 1886; WALKER ET AL., 1964). Durch ihre Fußstellung sind sie eine Übergangsform zwischen Sohlen- und Zehengänger, was eine schnelle Bewegung aus einer kauenden Körperstellung möglich macht (MÜTSCHARD, 2008).

Das Hausmeerschweinchen hat einen kurzen und gedrungenen Körper mit einem großen Kopf, der etwa ein Drittel der Körperlänge einnimmt (MACDONALD, 2006), der

Hals ist sehr kurz. Im Normalfall ist das Männchen größer als das Weibchen (COOPER & SCHILLER, 1975), dabei beträgt die Körperlänge zwischen 225 mm und 355 mm. Ihr Schwanz ist sehr verkümmert und sie besitzen kurze Extremitäten (WALKER ET AL., 1964).

Beim Fell von *Cavia porcellus* gibt es viele verschiedene Variation bezüglich der Länge, Farbe und der Form der Haare. Unabhängig vom Geschlecht können Langhaar- und Kurzhaarmeerschweinchen sowohl gleichgerichteten bzw. gewirbelten Haarwuchs und verschiedene Fellfärbungen (schwarz, braun, rötlich, weiß) aufweisen. (WALKER ET AL., 1964; COOPER & SCHILLER, 1975; Abb. 1 und 2). Beim Fell eines Tieres können auch drei Fellfarben kombiniert sein. Die Länge der Haare hängt mit dem Haarwechsel zusammen, der bei den Langhaarmeerschweinchen verzögert stattfindet (GRZIMEK, 1969). Bei Abb. 1 handelt es sich um ein Weibchen, welches kurze Haare hat und bei dem das Fell drei verschiedene Farben aufweist. In der Abb. 2 ist ein männliches Langhaarmeerschweinchen zu sehen, das nur zwei Fellfarben, nämlich weiß und schwarz, hat. Haarlose Stellen sind bei *Cavia porcellus* die Ballenhaut, die Fußsohle und die Zehen, außerdem ist auch der Bereich um die Zitzen haarlos, wobei sie nur ein Zitzenpaar besitzen. Die Haut des Hausmeerschweinchens ist ohne Falten, straff und eher derb, die Hautfarbe variiert ebenfalls und bei einem schwarzen Haarkleid ist auch die Hautfarbe dunkel. Im Vergleich dazu ist bei weißen Haaren die Haut darunter hellrosa (MÜTSCHARD, 2008).



Abb. 1: Kurzhaarhausmeerschweinchen (Weibchen), dreifärbig: braun, weiß und schwarz.



Abb. 2: Langhaarhausmeerschweinchen (Männchen), zweifärbig: weiß und schwarz.

Im Gesicht sind verschiedene Arten von Vibrissen erkennbar. Besonders auffällig sind die in zwei Parallelreihen angeordneten Vibrissen über der Oberlippe, welche als Tasthaare fungieren und vor allem für die räumliche Wahrnehmung wichtig sind. Von diesen gibt es auf jeder Seite zwei parallele Reihen mit je sechs Tasthaaren, wie es in Abb. 3 zu sehen ist. Weiters gibt es noch Vibrissen am Kinn, bei der Nase und über und unter den Augen. Außerdem kann man bei Abb. 3 auch die dreieckige Form der

Lippen sehen, wobei die obere einen Spalt hat (CLEMONS & SEEMANN, 2011). Auf den Abb. 1 und 3 sind die kurzen Ohren (WALKER ET AL., 1964) gut sichtbar, während sie beim Langhaarmeerschweinchen bei Abb. 2 fast im Fell verschwinden.



Abb. 3: Kurzhaarhausmeerschweinchen (Männchen), einfarbig: braun.

Wichtige morphologische Merkmale bei *Cavia porcellus* sind die Anatomie des Schädels und der Kaumuskulatur, da viele systematische Einteilungen bei den Nagetieren Bezug auf diese Merkmale nehmen (TURNBULL, 1970). Diese Merkmale werden im Kapitel 1.2 genau behandelt.

2.1.4 Zucht

Es gibt viele verschiedene Züchtungen der verschiedenen Rassen des Hausmeerschweinchens. Für das Labor spielt das kurzhaarige amerikanische oder englische Hausmeerschweinchen die wichtigste Rolle und wird deshalb am meisten gezüchtet (CLEMONS & SEEMANN, 2011).

Die Lebenserwartung eines Hausmeerschweinchens beträgt etwa acht Jahre (GRZIMEK, 1969), wobei sie ihre Geschlechtsreife schon sehr früh erreichen. Die Weibchen sind bereits nach vier bis fünf Wochen geschlechtsreif, Männchen hingegen etwas später. Die Schwangerschaftsdauer beträgt bei *Cavia porcellus* zwischen 59 und 72 Tagen mit einer Wurfgröße von drei bis vier Jungen. Die Jungen sind Nestflüchter und laufen und fressen nach nicht einmal einem Tag (EDINGER, 1976; CLEMONS & SEEMANN, 2011).

Beim Züchten der Hausmeerschweinchen gibt es entweder die Möglichkeit ein monogames Paar, also ein fortpflanzungsfähiges Weibchen und ein fortpflanzungsfähiges Männchen, in einem Käfig zusammen zu halten. Dies wird meist bei Inzuchten verwendet, wenn sich Geschwister paaren sollten, jedoch trifft man in der üblichen Zucht meist auf polygame Gruppen. Hier sind mehrere Weibchen (ca. vier bis fünf) und nur ein Männchen, wobei alle in einem fortpflanzungsfähigen Alter sind, in einem Käfig. Wenn eines der Weibchen schwanger wird, dann wird es entweder bei der Gruppe gelassen und es bleibt so immer dieselbe Gruppe, oder es wird, wenn die Schwangerschaft schon in einem fortgeschrittenen Stadium ist, einzeln gehalten und erst nach der Aufzucht der Jungen wieder zur Gruppe zurückgegeben. Die dritte Möglichkeit wäre, dass sie in eine Gruppe von schwangeren Weibchen gegeben wird und danach wieder zurück in die Ausgangsgruppe kommt. Der Vorteil an monogamen Paaren ist die größere Wurfgröße, jedoch bringt es den Nachteil mit sich, dass mehrere Männchen und mehrere große Käfige gebraucht werden (EDINGER, 1976).

2.1.5 Haltung

Bei der Haltung im Käfig wird vom „Guide for the Care and Use of Laboratory Animals“ (Institute for Laboratory Animal Research, 2011) für Meerschweinchen, die leichter als 350 g sind, eine Käfiggröße von 387,12 cm² vorgeschrieben und für welche, die schwerer sind als 350 g eine Fläche von 651,65 cm². Weiters muss die Höhe des Käfigs mindestens 17,78 cm betragen. Außerdem ist beim Meerschweinchen eine Temperatur von 20 bis 26 Grad Celsius vorgesehen.

Im Bundesgesetzblatt der Republik Österreich (Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, 2004) werden für *Cavia porcellus* in der zweiten Tierhaltungsverordnung

bei der Anlage 1: „Mindestanforderungen an die Haltung von Säugetieren“ bei den Kleinnagern folgende Anforderungen für das Hausmeerschweinchen angeführt:

- (1) „Die Tiere sind paarweise oder in Gruppen, jedoch nicht zusammen mit Kaninchen, zu halten.
- (2) Die Käfiggröße für 1 bis 2 Tiere muss mindestens 100 x 60 x 50 cm (Länge x Breite x Höhe), die Grundfläche für jedes weitere erwachsene Tier mindestens 2000 cm² betragen.
- (3) Den Tieren sind eine Schlafhöhle und erhöhte Liegeflächen anzubieten.“

Weiters muss den Hausmeerschweinchen ständig Wasser zur Verfügung stehen, wobei pro Tag ungefähr 50 bis 100 ml Wasser getrunken werden, wenn sie zusätzlich Obst und Gemüse bekommen. Wenn dies nicht der Fall ist, sollten 250 bis 1000 ml Wasser täglich im Käfig verfügbar sein (Institute for Laboratory Animal Research, 2011).

2.1.6 Forschung

In der Forschung kommen mehr und mehr Nagetiere zum Einsatz. Während die Wissenschaft Tiere wie die Ratte oder das Hausmeerschweinchen früher „mehr als ein ‚passives Modell‘ benutzte, dessen Bau und Lebensfunktionen man studierte und mit dem menschlichen Organismus verglich“ (GRZIMEK, 1969), so sind sie heute wichtige Versuchsobjekte in der Medizin, Genetik und Verhaltensbiologie (GRZIMEK, 1969). Für den Einsatz in der Forschung spielen viele Faktoren eine Rolle, wobei wichtige Gründe die einfache Haltung der Tiere und die schnelle Vermehrungsrate sind (BANKS, 1989). Aktuell werden viele Forschungen mit Hausmeerschweinchen durchgeführt. In den letzten zwei Jahren wurde viel über das Genom von *Cavia porcellus*, vor allem auch im Vergleich zur Wildform, geforscht, welches sich mit Ähnlichkeiten und Unterschieden bei den Chromosomen von Meerschweinchen beschäftigt (WALKER ET AL., 2014)

2.2 Schädelanatomie

2.2.1 Schädelevolution

Der Kauapparat der Säugetiere hat sich aus deren Vorfahren, den Reptilien, entwickelt, jedoch kam es zu mehreren Anpassungen (TURNBULL, 1970). Es kam zu einigen Veränderungen der knöchernen Struktur. Während bei Reptilien zum Beispiel die Knochen Os articulare und Os quadratum noch das Kiefergelenk bilden, wird es bei den Säugetieren von Os temporale und Os dentale gebildet, die beiden anderen Knochen finden sich nach der Reichert-Gauppschen Theorie im Gehör des Säugetieres als Malleus und Incus wieder (CROMPTON & PARKER, 1978; TAKECKI & KURATANI, 2010; Abb. 4). Im Gegensatz zu einem eher einheitlichen Zahnbild der Reptilien kommt es bei den Säugetieren zu einer Differenzierung der Zähne in vier verschiedene Zahntypen, Incisivi (Schneidezähne), Canini (Eckzähne), Prämolaren (Vordermahlzähne) und Molaren (Mahlzähne) (TURNBULL, 1970; CROMPTON & PARKER, 1978). Außerdem finden bei den Säugetieren schon mehr Schritte der Nahrungsaufbereitung, wie zum Beispiel ein vermehrter enzymatischer Aufschluss der Nahrung, im Mund statt (TURNBULL, 1970).

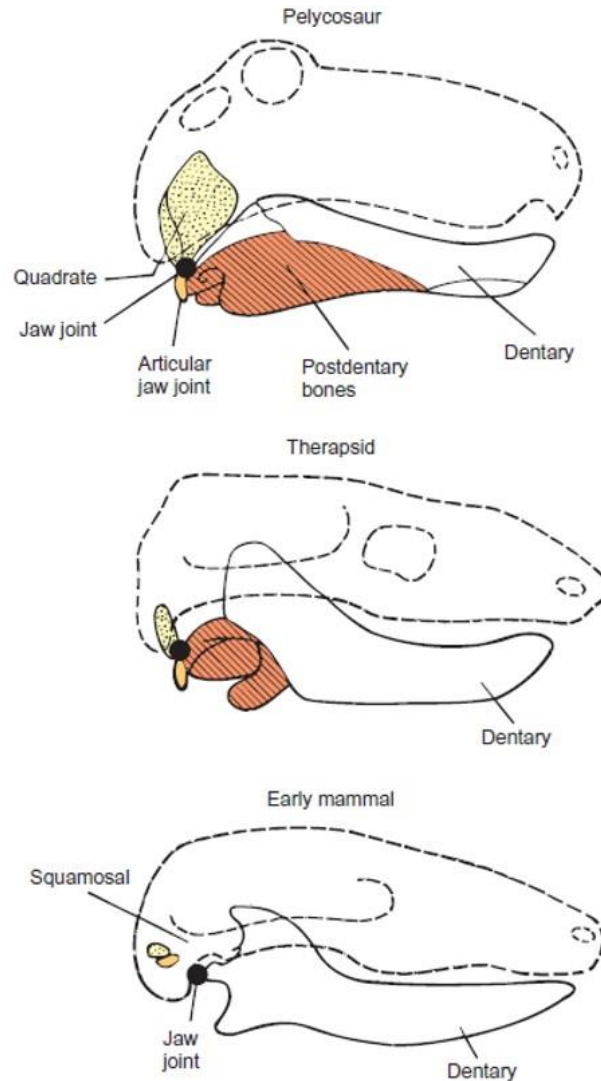


Abb. 4: Anatomie des Kiefergelenks und der Gehörknöchelchen von den Reptilien zu den frühen Säugetieren (aus KARDONG, 2012).

Innerhalb der Klasse Mammalia kam es bei den verschiedenen Ordnungen zu vielen Anpassungen des Kauapparats. Hier vor allem im Bereich der Zahnstruktur, aber auch bei der Muskulatur, welche den Kieferschluss ermöglicht. Die wichtigsten drei Muskeln für den Kieferschluss sind Musculus masseter, Musculus temporalis und Musculus pterygoideus (TURNBULL, 1970). Neben den Rodentia besitzen auch die Lagomorphen (Hasenartige) ein ähnliches Gebiss, jedoch geht man davon aus, dass dieses Gebiss im Laufe der Evolution unabhängig voneinander entstanden ist (THENIUS, 1989).

2.2.2 Schädelanatomie der Rodentia

Das Gebiss der Nagetiere zeichnet sich durch eine sehr hohe Spezialisierung innerhalb der Säugetiere aus. Sie besitzen nur ein Paar Incisivi im Unter- bzw. im Oberkiefer. Dann folgt ein großes Diastema, ein großer zahnloser Bereich zwischen den Incisivi und den Prämolaren, welcher durch das Fehlen der Canini und der vorderen Prämolaren entsteht. Nach dem Diastema besitzen sie Prämolare und Molare (GRZIMEK, 1969; THENIUS, 1989), wobei die Anzahl dieser innerhalb der Ordnung der Nagetiere variiert. Meist beträgt die Anzahl der Zähne 22 und wird nur bei der Gattung *Heliophobius* (Erdbohrer) mit 28 Zähnen überschritten (WALKER, 1964). In Abb. 5 ist diese typische Reihenfolge der Zähne beim Urson (*Erethizon dorsatum*, LINNAEUS, 1758; Baumstachler) aus der Unterordnung der Hystricomorpha zu sehen. Durch das Entfernen eines Teils des Unter- bzw. Oberkiefers sind die ganzen Zähne erkennbar, wodurch die stark gekrümmte Form der Schneidezähne sowie das weite Hineinreichen in das Unter- bzw. Oberkiefer gut ersichtlich werden.

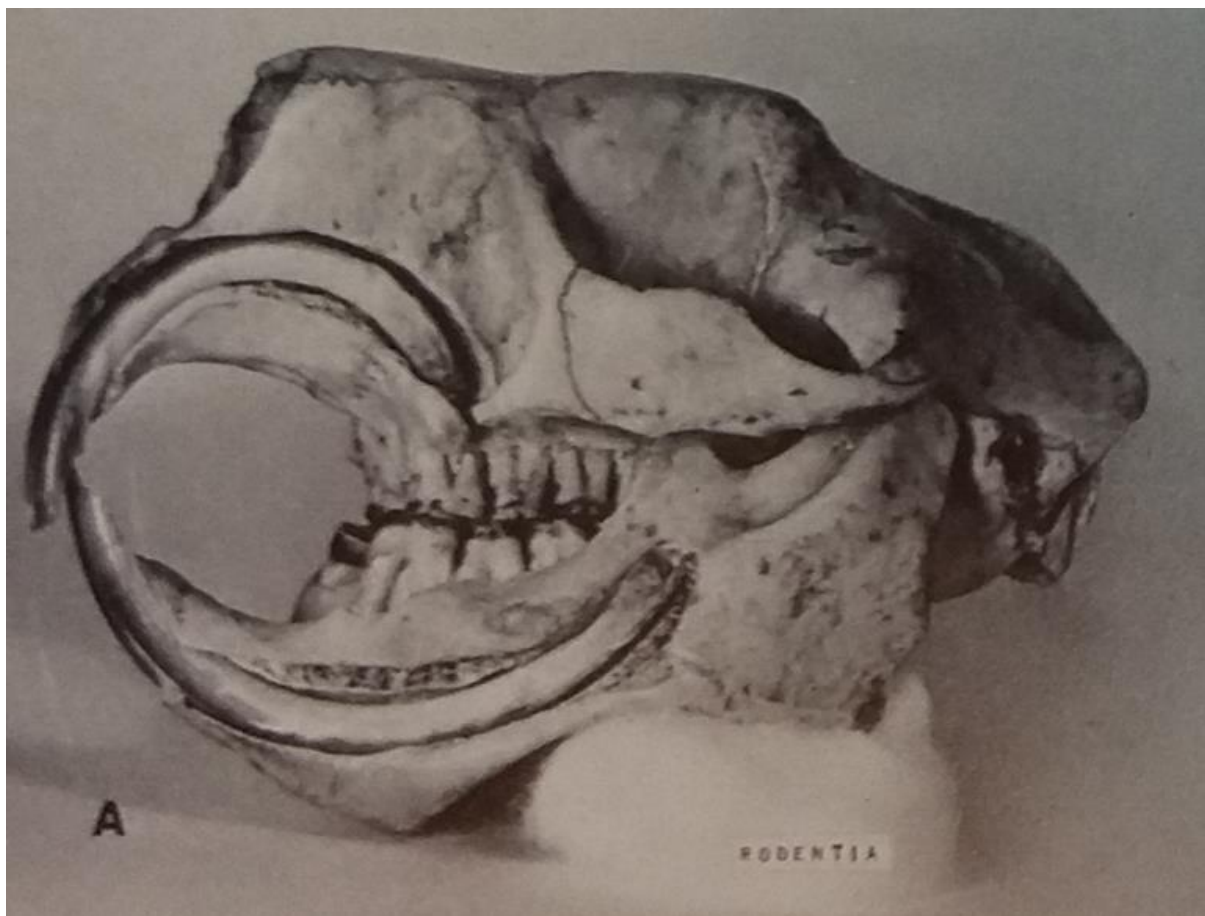


Abb. 5: Schädel von *Erethizon dorsatum* (Rodentia). Teile des Schädels wurden wegpräpariert, damit auch die Wurzeln der Incisivi, Prämolaren und Molaren sichtbar sind (aus WALKER ET AL., 1964).

Neben der Anordnung spielt auch der Aufbau der Zähne für das spezialisierte Gebiss eine wichtige Rolle. Bei allen Arten innerhalb der Ordnung Rodentia sind die Incisivi wurzellos, was ein lebenslanges Wachstum ermöglicht. Außerdem ist nur die Außenseite der Incisivi mit Schmelz überzogen, wodurch die Innenseite schneller abgenutzt wird als die Außenseite und so bleiben sie immer scharf (WALKER, 1964; GRZIMEK, 1969; THENIUS, 1989). Durch die spezielle Funktion der Schneidezähne hat sich dieser Aufbau ergeben (TURNBULL, 1970). Wegen dem ständigen Weiterwachsen ist auch eine gewisse Abnutzung wichtig, damit diese nicht zu lang werden.

Die Mahlzähne dienen dem Kauen und Zerkleinern der Nahrung (TURNBULL, 1970). Die Mahlzähne können entweder wurzellos sein, was ein lebenslanges Wachstum der Prämolaren und Molaren, ebenso wie bei den Incisivi, zur Folge hat. Dies ist zum Beispiel bei den Arten der Familie der Caviidae der Fall, oder die Prämolaren und Molaren besitzen Wurzeln, wodurch das Wachstum dieser Zähne auf eine gewisse Dauer beschränkt ist. Dies findet man zum Beispiel bei der Familie der Gliridae (Schläfer) (WALKER, 1964; COX & HAUTIER, 2015). Der Zahnschmelz, der die äußere Struktur der Zähne bildet, weist unterschiedliche Schmelzstrukturen auf, welche auch zur Klassifizierung der Nagetiere verwendet werden. Jedoch wurde festgestellt, dass diese Schmelzmuster konvergent entstanden sind (WALKER, 1964; THENIUS, 1989).

2.2.3 Kaumuskulatur der Rodentia

Wie bereits bei der Systematik erwähnt, werden die Nagetiere von WILSON & REEDER (2005) in fünf Unterordnungen unterteilt. Wichtig dabei ist die Anatomie des Schädels und der Kaumuskulatur. Betrachtet man ältere Einteilungen von Tullberg aus dem Jahr 1899, so unterteilt dieser die Nagetiere in zwei Subordnungen Hystricognathi und Sciurognathi nach dem Winkel des Unterkiefers zu den Schneidezähnen (HONEYCUTT ET AL., 2007). Die Einteilung nach der Muskulatur geht auf BRANDT aus dem Jahr 1855 zurück, wobei er die Nagetiere in die drei Unterordnungen Sciuiomorpha, Hystricomorpha und Myomorpha klassifiziert. Eigentlich gibt BRANDT auch noch als vierte Unterordnung die Lagomorpha an, welche jedoch eine eigene Ordnung innerhalb der Klasse Mammalia bilden (COX & JEFFERY, 2011). Es gibt aber einige Familien (Anomaluridae, Castoridae, Pedetidae, Dipodidae, Bathyergidae, Myoxidae und Ctenodactylidae), welche nicht in dieses System passen (HONEYCUTT ET AL., 2007;

COX & JEFFERY, 2011). Ein Grund, weshalb diese Einteilung auch nicht bis heute stand hielt und die Familien Anomaluridae und Castoridae in eigene Subordnungen unterteilt wurden, die übrigen Familien wurden den bestehenden Unterordnungen zugeteilt (WILSON & REEDER, 2005). Jedoch wurde die Einteilung nach BRANDT (1855) nicht ganz verworfen, sondern durch sie kann die unterschiedliche Entwicklung der Kaumuskulatur, ausgehend von dem am meisten gefundenen Nagetier im frühen Oligozän, dargestellt werden. Dabei wird die ursprüngliche Form, welche heute noch mit der Art *Aplodontia rufa* (Stummelschwanzhörnchen) vertreten ist, als „protrogomorph“ bezeichnet (COX & JEFFERY, 2011).

Folgende drei Muskeln spielen bei der Kaumuskulatur beim Kieferschluss eine wichtige Rolle und werden für die systematische Klassifizierung herangezogen: Musculus masseter, Musculus temporalis und Musculus pterygoideus. Den größten Teil nimmt der M. masseter ein, welcher zwischen 55 und 77 Prozent der Muskulatur darstellt. Der Anteil des M. pterygoideus beträgt zwischen 12 und 28 Prozent und der M. temporalis hat meist den kleinsten Teil der Masse mit 7 bis 29 Prozent. Doch nicht nur die Masse der Muskeln, sondern auch die Ansatzstellen und der Verlauf sind wichtige Voraussetzungen, damit der Kieferschluss bestmöglich erfolgen kann (TURNBULL, 1970).

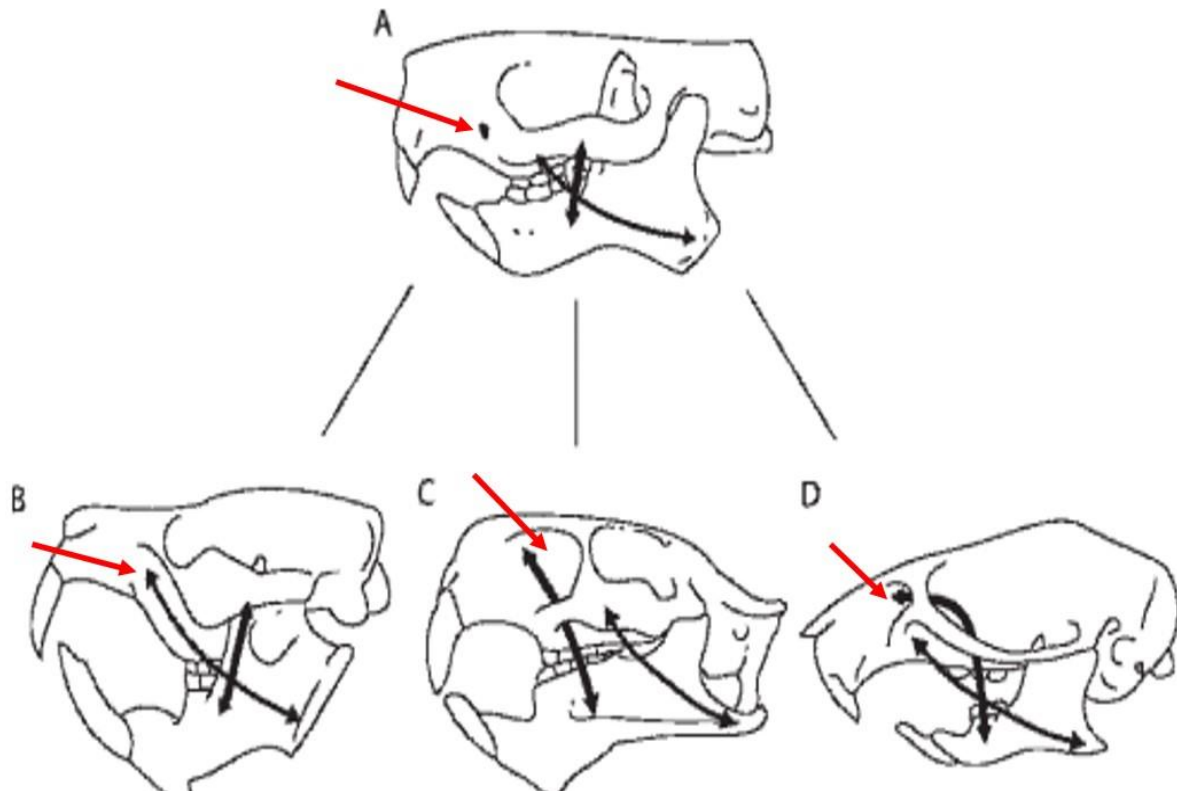


Abb. 6: Die vier Grundtypen eines Nagetierschädels: A: protrogomorph, B: sciuiromorph, C: hystricomorph, D: myomorph. Die Pfeile stellen den Verlauf und die Ansatzstellen der Muskeln dar. Deep masseter (dünne Pfeile), M. zygomaticomandibularis (dicke Pfeile), roter Pfeil führt zu Foramen infraorbitale (verändert nach HAUTIER ET AL., 2010).

Wichtig für die Einteilung sind nur zwei Teile des masseters, nämlich der deep masseter (tiefliegender Anteil des M. masseter) und der M. zygomaticomandibularis, denn während es bei den beiden zu starken Veränderungen innerhalb der Rodentia kommt, bleibt der superficial masseter (oberflächlich liegender Anteil des M. masseter) nahezu unverändert (HAUTIER ET AL., 2010). Die Arten der Gruppe der Protrogomorpha haben nur ein kleines Foramen infraorbitale (Unteraugenhöhle), der M. zygomaticomandibularis zieht von der Mitte der Außenseite des Jochbogens relativ senkrecht zur Mandibel, während der deep masseter vom vorderen Teil des Jochbogens zum Kieferwinkel geht. Die sciuiromorphen Rodentia besitzen ebenfalls nur ein kleines Foramen infraorbitale. Der M. zygomaticomandibularis verläuft ähnlich wie bei den protrogomorphen, allerdings etwas schräger vom hinteren Drittel des Jochbogens nach vor zur Mandibel bis unterhalb der Molaren. Der deep masseter setzt nicht mehr am Jochbogen an, sondern zieht vom Oberkiefer Richtung Kieferwinkel. Dieser Zustand ist bei den Familien Sciuridae (Eichhörnchen), Castoridae (Biber) und Geomyoidae (Taschenratten, Kängururatten und-mäusen) anzutreffen.

Bei den Hystricomorpha kommt es zu einer Vergrößerung des Foramen infraorbitale, durch welches dann der M. zygomaticomandibularis zieht. Er kommt vom Oberkiefer nahe der Augenhöhle und zieht schräg nach hinten unten zur Mandibel. Der deep masseter hingegen zieht vom hinteren Teil des Jochbogens zum Kieferwinkel. Diese Anordnung der Kaumuskulatur findet man bei den Caviomorpha (Nagetiere in Südamerika), Phiomorpha (Afrikanischen Sandgräber, Rohrratten und Felsenratten) und bei den Hystricidae (Stachelschweine der Alten Welt), weiters noch bei den Pedetidae (Springhasen), Anomaluridae (Dornschwanzhörnchen), Dipodidae (Springmäusen) und Ctenodactylidae (Kammfingern).

Die Myomorpha stellen eine Kombination der beiden letztgenannten, also des sciuromorphen und des hystricomorphen Typen, dar. Dieser Gruppe werden die Muridae (Mäusen und Ratten) und die Gliridae (Schläfer) zugeteilt. Dabei sind der Verlauf und die Ansatzstellen des deep masseters sehr ähnlich wie bei den Sciuromorpha. Der M. zygomaticomandibularis nimmt einen ähnlichen Verlauf wie bei den hystricomorphen Typen, er kommt vom Oberkiefer, verläuft dann allerdings eher waagrecht Richtung Augenhöhle, biegt dann senkrecht zum Jochbogen ab und zieht wie bei allen anderen Typen auch zur Mandibel unterhalb der Molaren (HAUTIER ET AL., 2010; COX & JEFFERY, 2011).

2.2.4 Schädelanatomie bei *Cavia porcellus*

Die Zahnformel beim Hausmeerschweinchen lautet:

$$\frac{1\ 0\ 1\ 3}{1\ 0\ 1\ 3}$$

mit einem Diastema zwischen den Schneidezähnen und den Mahlzähnen. Wie auch bei allen anderen Rodentia sind die Incisivi wurzellos und wachsen das ganze Leben, ebenso wie die Prämolaren und Molaren (WALKER ET AL., 1964; MÜTSCHARD, 2008; CLEMONS & SEEMANN, 2011). Die Incisivi ragen im Vergleich zu anderen Nagetieren nicht weit aus dem Ober- bzw. Unterkiefer hervor. Wichtig ist, dass die Zähne genügend abgerieben werden, was vor allem durch die Anzahl der Kaubewegungen reguliert wird und weniger durch die Beschaffenheit des Futters. Es kommt zu einem Zahnwechsel, jedoch findet dieser während der Schwangerschaft (43. – 48. Tag) statt (CLEMONS & SEEMANN, 2011). Die *Cavia* Arten zeigen bei den vier Mahlzähnen viele

Variationen (MACDONALD, 2006), auch beim Hausmeerschweinchen haben diese eine spezielle Struktur und zwar besitzen sie Schmelzleisten, welche transversal stehen. Außerdem sind die Kauflächen der Prämolaren und Molaren im Unterkiefer nach innen und im Oberkiefer nach außen abgesenkt. Das zahntragende Element der oberen Incisivi ist das Os incisivum, welches bei anderen Tierordnungen besser als Prämaxillare bekannt ist. Es ist nach oben hin relativ weit fortgesetzt, reicht bis zum Os frontale und verbindet das Os nasale mit dem Maxillare (POPESKO ET AL., 2002). Bei *Cavia porcellus* reicht das Maxillare weit nach hinten und die Augenhöhlenfläche (Facies orbitalis), welche ein Teil des Maxillare ist, bildet zusammen mit dem Os frontales die Augenhöhlenwand (WOERLE & WOLF, 1977). Der Processus zygomaticus, ein Fortsatz des Maxillaren, stellt die Verbindung zum Os zygomaticum her und sie bilden den Jochbogen, der mit dem Os temporale in Verbindung steht (POPESKO ET AL., 2002).

Der massive Unterkiefer ist in zwei Teile geteilt, in einen vorderen Corpus mandibulae und einen hinteren Teil, den Ramus mandibulae (POPESKO ET AL., 2002), die jedoch fest miteinander verbunden sind. Dabei wird der Körper der Mandibula unterteilt in den Pars incisiva und Pars molaris. Die Alveole des unteren Schneidezahns reicht bis zu jener des ersten Prämolars zurück und ist auf der lateralen Seite als eine zylinderförmige Auswölbung erkennbar. Der Corpus mandibulae bildet die Alveolen für den Prämolare und die drei Molare auf jeder Seite. Schräg unterhalb des Prämolars ist das Foramen mentale, was eine Verbindung für den Nerv, die Arterie und die Vene durch den Unterkiefer ist. Auf der äußeren Seite der Pars molaris beginnt die Crista masseterica (bei WOERLE & WOLF (1977) Crista lateralis genannt), welche nach hinten in den Processus condylaris und somit in den Ramus mandibulae übergeht. Die Grube zwischen Crista masseterica und der Alveolarwand der Prämolaren und Molaren dient als Ansatzstelle der Kaumuskulatur. Nach dem dritten Molar ist ein Fortsatz (Processus coronoideus) erkennbar, welcher als Ansatzstelle des M. temporalis dient. Der Processus angularis ist ein Teil des Ramus mandibulae und erstreckt sich auf jedem Unterkieferast relativ lange nach hinten. Beim Processus angularis handelt es sich um eine Knochenplatte, welche an den Rändern verstärkt ist (WOERLE & WOLF, 1977; POPESKO ET AL., 2002).

Der Oberkiefer ist mit dem restlichen Schädel unbeweglich verbunden, deshalb ist die einzige mögliche Bewegung im Kopfbereich die des Unterkiefers zum restlichen Schädel. Das Kiefergelenk verbindet die Ramus mandibulae mit dem Pars squamosa, einem Teil des Os temporalis (PFLUMM, 1996). Bei diesem Gelenk handelt es sich um ein sogenanntes Schlittergelenk, es muss eine Vor- und Rückbewegung, eine seitliche Bewegung und eine Bewegung des Unterkiefers nach unten bzw. oben möglich machen (MÜTSCHARD, 2008).

Bei der Muskulatur zählen die Hausmeerschweinchen, so wie auch alle anderen Arten der Familien der Caviinae, zu den Hystricomorpha, sie haben also ein großes Foramen infraorbitale, durch welches der M. zygomaticomandibularis zieht.

2.2.5 Schädelkinetik

Die Schädelkinetik umfasst alle Bewegungen, welche innerhalb des Schädels möglich sind. Wichtig für die Nahrungsaufnahme sind hier die Schließ- und Öffnungsbewegung des Unterkiefers (SCHWENK, 2000). Charakteristisch für die Säugetiere ist, dass beim Kiefergelenk der Schädelknochen mit dem Unterkieferknochen verbunden ist, wie es bei Abb. 4 im Vergleich zu den Amnioten, welche keine Säugetiere sind, sichtbar ist (CROMPTON & PARKER, 1978). Der Oberkiefer ist fest mit dem Schläfenbein verwachsen, weswegen bei den Säugetieren nur noch eine Bewegung des Unterkiefers möglich ist (KARDONG, 2012).

Neben den knöchernen Strukturen sind auch die Muskeln für die Bewegungen wichtig. Bei den Nagern wird zwischen einem Nagen mit den Scheidezähnen und einer Kaubewegung mit den Mahlzähnen unterschieden. Dabei können diese beiden Bewegungen nicht gleichzeitig durchgeführt werden, sondern müssen unabhängig voneinander erfolgen (TURNBULL, 1970; COX ET AL., 2012). COX ET AL. (2012) untersuchen zum Vergleich ein Eichhörnchen (Sciuromorpha), eine Wanderratte (Myomorpha) und ein Hausmeerschweinchen (Hystricomorpha). Während beim Nagen mehr Kraft auf den Rostrum und unter dem Auge wirkt, ist sie beim Kauen vor allem auf die ventrale Orbita verlegt, bei beiden Bewegungen scheint der Jochbogen von großer Wichtigkeit. Betrachtet man die Effizienz der einzelnen Tiere bei den beiden Kauprozessen, so stellt man fest, dass diese beim Nagen mit den Schneidezähnen bei

den Eichhörnchen (*Sciurus carolinensis*) größer ist als bei den Hausmeerschweinchen. Dies macht den Anschein, dass Eichhörnchen besser im Nagen sind, was auch die Härte des Futters bestätigen würde, da sich Eichhörnchen von Nüssen und Samen ernähren, welche anfangs genagt werden, während Hausmeerschweinchen harte und weiche Nahrung zu sich nehmen. Umgekehrt ist es beim Kauen: Bei den Hausmeerschweinchen ist die Mahlbewegung im Vergleich zum Eichhörnchen effizienter, weshalb der Muskulatur-Typus der Hystricomorpha effizienter beim Kauen scheint. Im Vergleich zu den beiden hat die Wanderratte (*Rattus norvegicus*) bei fast allen Zähnen den effizientesten Biss und ist somit am vielfältigsten, da sie sowohl beim Nagen als auch beim Kauen eine hohe Effizienz aufweist.

2.3 Nahrungsaufnahme bei *Cavia porcellus*

Der Verdauungstrakt bei Säugetieren kann am besten durch eine Röhre dargestellt werden, an deren Beginn die Mundhöhle steht, wo zum einen die Nahrungsaufnahme, aber zum anderen auch die Zerkleinerung der Nahrung durch die Kieferbewegung und die Interaktion zwischen den Zähnen und dem Futter erfolgt. Dabei sind bei der Nahrungsaufnahme die knöchernen Strukturen wie Schädel, Unterkiefer und Zähne wichtig, als auch die damit in Verbindung stehende Kaumuskulatur und die Zunge. Nach der ersten Aufbereitung in der Mundhöhle gelangt das Futter über die Speiseröhre in den Magen (SCHWENK, 2000). Die Nahrungsaufnahme erfolgt beim Meerschweinchen, im Unterschied zu Ratten und Hamster, ohne Hilfe der Vorderfüße, sondern ausschließlich mit dem Mund (BYRD, 1981). Mithilfe der Lippen wird die Mundhöhle von der Umgebung abgeschlossen und da eine behaarte Lippenhaut beginnend am Mundwinkel nach hinten zieht, kommt es zu zwei Backenwülsten, wodurch vorne ein Nageraum und hinten ein Kauraum entstehen (MÜTSCHARD, 2008).

Bereits 1981 führte BYRD Analysen über das Kauverhalten von *Cavia porcellus* durch, indem er einerseits die Bewegung des Unterkiefer s mithilfe von Optoelektronik analysierte, und weiters elektromyographische Analysen der Kaumuskulatur durchführte. Dadurch kam er zu einer Unterteilung in Nagezyklen, bilaterale Kauzyklen und unilaterale Kauzyklen:

- Nagezyklen: entstehen durch Bewegungen in anteroposteriore Richtungen, also durch Vor- und Rückbewegungen des Unterkiefers.
- Bilaterale Kauzyklen: Zuerst erfolgt die Bewegung des Unterkiefers auf eine Seite und im Anschluss auf die andere, wodurch eine geschlossene Schleife entsteht.
- Unilaterale Kauzyklen: Hier erfolgt die Bewegung des Unterkiefers nur auf eine Seite.

Die beiden Kauzyklen, also der bilaterale als auch der unilaterale, und die Nagezyklen folgen aus Bewegungen des Unterkiefers. Es kommt parallel zu einer Vor- und Rückbewegung, zu einer seitlichen Bewegung und zu einer Bewegung des Unterkiefers nach unten. Im Vergleich zwischen dem Nagezyklus und den beiden verschiedenen Mahlzyklen, folgt beim Nagen zuerst eine Rückwärtsbewegung des Unterkiefers und dann erst die Vorwärtsbewegung (BYRD, 1981).

3. Material und Methoden

3.1 Material

3.1.1 Systematische Stellung von *Cavia porcellus* nach WILSON & REEDER (2005)

Unterstamm: Vertebrata

Klasse: Mammalia

Ordnung: Rodentia

Unterordnung: Hystricomorpha

Infraordnung: Hystricognathi

Familie: Caviidae

Gattung: *Cavia*

Art: *Cavia porcellus*

Cavia porcellus ist eine domestizierte Art, die ursprünglich aus Südamerika kommt. Aufgrund der leichten Haltung in Käfigen ist diese Art heute als Labor- und Haustier weltweit verbreitet (HÜCKINGHAUS, 1964; GRZIMEK, 1969; WING, 1978; KAISER, 2015).

3.1.2 Versuchstiere

Bei den Versuchstieren handelte es sich um Tiere aus dem Department für Verhaltensbiologie der Universität Wien. Für die Forschungsarbeit wurden vier lebendige Exemplare und zwei tote zur Verfügung gestellt, wobei die zwei toten auf natürliche Weise gestorben waren und für die Sektion und die Computertomographie verwendet wurden. Die Forschungsarbeit mit den lebendigen Tieren erstreckte sich über drei Wochen und nach Abschluss dieser Forschungsarbeit wurden die Tiere wieder in die Tierhaltung der Universität Wien zurückgegeben.

Die vier lebendigen Tiere wurden auf zwei Käfige mit dem Maßen L x B x H = 120 cm x 60 cm x 50 cm aufgeteilt, wobei in einem Käfig zwei Männchen und in dem anderen die beiden Weibchen waren. Der Boden der Käfige wurde mit Sägespänen

ausgepolstert und in jedem Käfig stand den Hausmeerschweinchen ein Hüttchen als Versteck zur Verfügung. Außerdem hatten die Tiere aufgrund einer Wasserflasche ständigen Zugang zu Trinkwasser und es waren stets Heu und Pellets als Futter in den Käfigen zur Verfügung. Weiters erhielten sie während der Forschungsarbeit immer wieder Gemüse (Karotten und Gurken). Während der Filmaufnahmen wurden sie einzeln in ein Aquarium mit den Maßen L x B x H = 50 cm x 30 cm x 30 cm gegeben, in welchem sie aber immer nur für maximal eine Stunde waren.

Alle Tiere bis auf Goldi, einem der beiden Männchen, kamen in der Tierhaltung in der Verhaltensbiologie zur Welt, weshalb das Alter sehr genau bekannt ist. Zum Zeitpunkt der Forschungsarbeit hatten die Hausmeerschweinchen ein Alter zwischen 17 Monaten und vier Jahren (Tab. 1), es handelte sich also nur um adulte Tiere. Das braune Hausmeerschweinchen Goldi wurde bei einem Tierarzt abgegeben und von dort an die Tierhaltung übergeben. Aufgrund des jungen Alters beim Erhalt des Tieres konnte das Alter gut bestimmt werden. Wie in Tabelle 1 erkennbar ist, waren die beiden Männchen und die beiden Weibchen bezüglich des Gewichts und der Schädellänge sehr homogen.

Die Auswahl fiel auf diese vier Hausmeerschweinchen, da diese in der Tierhaltung auch Gemüse erhielten, während die meisten anderen nur an den Verzehr von Pellets gewohnt waren und so nicht sicher war, ob sie überhaupt Gemüse wie Karotten oder Gurken fressen würde.

Tab. 1: Daten der Hausmeerschweinchen aus dem Department für Verhaltensbiologie der Universität Wien.

Name	Sf08a	Sf03+	Cm20	Goldi
Bild				
Geschlecht	Weiblich	Weiblich	Männlich	Männlich
Geburtsmonat	Sept. 2011	Sept. 2013	Mai 2014	Mai 2014
Gewicht	1,005 kg	1,001 kg	1,244 kg	1,273 kg
Schädellänge	75,3 mm	75,0 mm	80,5 mm	80,7 mm

3.1.3 Futter

Für die Versuche wurden Pellets der Firma Ssniff (ssniff V2233 - 0 4 mm Pellets) als harte Nahrung verwendet. Dabei handelt es sich um ein Alleinfuttermittel für die Haltung von Meerschweinchen. Die Pellets sind aus folgenden Produkten zusammengesetzt: Trockengrünfutter, Getreide und pflanzliche Nebenerzeugnisse, Ölsaaten, Mineralstoffe, Vitamine und Spurenelemente (SSNIFF, 2005). Als weiche Nahrung wurde eine Gurke verwendet und zum weiteren Vergleich wurden die Tiere beim Kauen einer Karotte gefilmt, um so ein Vergleichsobjekt zwischen harter und weicher Nahrung zu haben. Die Größe der Pellets war durch einen Durchmesser von 4 mm mit einer Länge von 12 mm vorgegeben. Die Gurken und die Karotten wurden in gleich große Stücke geschnitten, wobei ein Pellet als Vorlage genommen wurde. Damit die Hausmeerschweinchen genügend Ballaststoffe erhalten, hatten sie in ihren Käfigen auch Heu zur Verfügung.

3.1.4 Technische Hilfsmittel

Zur anatomischen Analyse wurde zuerst eine Sektion eines Männchens gemacht. Außerdem wurde zur Rekonstruktion der Kaumuskulatur der Schädel eines männlichen Hausmeerschweinchens mithilfe von Computertomographie gescannt. Der Scan wurde mithilfe eines multi-slice helical CT (Siemens Somatom Emotion) an der veterinärmedizinischen Universität Wien, Klinische Abteilung für Bildgebende Diagnostik, durchgeführt. Die Datenauswertung erfolgte im Anschluss mit dem Programm Amira 6.0.

Zur Bewegungsanalyse wurden Schnellbilddaufnahmen mit der High-Speed Kamera Fastcam 1024 PCI der Firma Photron gemacht. Die Steuerungssoftware Fastcam Viewer (PFV_v351_64bit) diente dem Bearbeiten und Schneiden der Filme. Das Objektiv bei der Kamera war ein Makro Objektiv (Nikkor) der Firma Nikon. Zur ausreichenden Beleuchtung wurden Kaltlichtlampen der Marke COOLH Dedocool benutzt (Dedolight Dedocool; 250 Watt). Die Auswertung der Filme erfolgte durch Tracken verschiedener Punkte mithilfe eines MATLAB Scripts, wobei als Grundlage dafür eine in MATLAB implementierte Digitalisierungs-Software von Ty Hedrick diente (HEDRICK, 2008). Fortgesetzt wurde die Analyse mit einem MATLAB Script, das von

Dr. Christian Beisser und Dr. Patrick Lemell programmiert wurde. Zur weiteren Datenanalyse der Ergebnisse wurden diese mittels EXCEL ausgewertet und graphisch dargestellt.

3.2 Methoden

3.2.1 Anatomische Untersuchungen

Am Beginn der anatomischen Untersuchungen wurde eine Sektion eines toten männlichen Tieres auf der Universität Wien durchgeführt. Beim Kopf wurde versucht die ganze Haut, die Muskulatur und das Gehirn zu entfernen. Nach der Sektion wurde der Kopf für fünf Stunden ausgekocht, um die restlichen Weichteile zu entfernen. Im Anschluss wurde der Knochen mit 3%iger H_2O_2 gebleicht. Weiters wurde ein CT Scan eines männlichen Hausmeerschweinchens gemacht. Um in diesem Scan Muskeln identifizieren zu können, wurde der Kopf des Tieres für 25 Tage in eine 100%ige Ethanol mit 1%iger Iod Lösung gelegt (METSCHER, 2009). Die Computertomographie wurde von Ass. Prof. Dr. Michaela Gumpenberger an der Veterinärmedizinischen Universität an der Klinischen Abteilung für Bildgebende Diagnostik mithilfe eines multi-slice helical CT (Siemens Somatom Emotion) mit einer Voxelgröße von $750 \times 750 \times 750 \mu\text{m}$ gemacht. Die Visualisierung der Bilder des CT Scans erfolgte mit Drishti (v2.0), wobei Bilder des Kopfes von der dorsalen, lateralen und ventralen Ansicht mit einer Schichtbreite von 0,6 mm erstellt wurden. Im Anschluss wurde die Darstellung der Kaumuskulatur, welche für den Kieferschluss verantwortlich ist, und der Zunge mithilfe des Programms Amira 6.0 rekonstruiert. Es wurden Bilder vom Schädelknochen alleine und von dem Schädelknochen mit der rekonstruierten Kaumuskulatur angefertigt.

3.2.2 Kinematische Untersuchungen

Für die Bewegungsanalysen wurden die vier verwendeten Hausmeerschweinchen in den Käfigen für die Dauer der Aufnahmen in das Filmlabor des Departments für Integrative Zoologie gebracht. Die vier Tiere wurden zum Filmen einzeln in ein Aquarium mit den Maßen $L \times B \times H = 50 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ gesetzt. Begonnen wurde mit lateralen Aufnahmen mit der Auflösung 1024×512 bei 250 Bildern/sek, jedoch war aufgrund des Felles wenig von der Bewegung des Unterkiefers sichtbar. Um eine bessere Auswertung zu ermöglichen wurde ein Tier rasiert und mit einem permanent Marker markiert, was aber nicht zu einer Verbesserung beitrug und so wurden aus

dieser Perspektive nur Aufnahmen bei der Nahrungsaufnahme gemacht, wobei zum Fixieren der Nahrung entweder eine Pinzette oder eine Konstruktion mit einem Nagel zum Aufspießen der Nahrung verwendet wurden. Insgesamt wurden von jedem Tier mindestens zwei Videos von jedem Nahrungstyp bei der Nahrungsaufnahme erstellt. Um die Kauzyklen zu analysieren wurden frontale Aufnahmen mit einer Auflösung von 512 x 512 und 250 Bilder/sek gemacht. Zum einen wurden die einzelnen Hausmeerschweinchen während eines ganzen Nahrungsvorgangs gefilmt, zum anderen gibt es Aufnahmen von mehreren Kauzyklen. Die Dauer des Kauvorgangs wurde in drei Abschnitte: Anfang, Mitte und Ende geteilt, die jeweiligen Sequenzen wurden aus den kompletten Videos geschnitten. Jedes dieser Kurzvideos enthielt sechs Maulöffnungs- und sechs Maulschließvorgänge mit ungefähr 250 bis 350 Frames, also einer Dauer von einer Sekunde bis zu 1,4 Sekunden. Zusätzlich wurden noch Videos mit einer Auflösung von 1024 x 1024 mit einem Spiegel gemacht, welcher im 45° Winkel unter dem Aquarium befestigt wurde, wobei sich eine statistische Auswertung dieser Aufnahmen aufgrund der Schräge als schwierig herausstellte. Um eine Kalibrierung zu ermöglichen wurde bei jeder Aufnahme ein Stück Papier mit 12 mm Länge an der Aquariumswand befestigt (Abb. 7).

Die ersten drei Tage war es nicht möglich gute Aufnahmen von den Hausmeerschweinchen im Aquarium zu machen, da sie nicht fressen wollten, was wahrscheinlich an der veränderten Umgebung lag. Nach drei Tagen schienen sie sich an die Umgebung des Filmlabors gewöhnt zu haben und somit war es möglich mit den Aufnahmen beim Fressen zu beginnen. Dabei wurde das Gemüse bevorzugt angenommen. Aufnahmen mit Pellets waren schwieriger, da es kaum möglich war, durchgehende Aufnahmen ohne zusätzliche Bewegungen zu bekommen.

Für die Auswertung wurden bei jedem Bild bei den Filmen dieselben Punkte mithilfe der in MATLAB implementierten Digitalisierungs-Software getrackert. Bei den Nahrungsaufnahmevideos wurden ein Punkt bei den Augen und ein weiterer bei dem Nahrungsstück gesetzt (Abb. 7), wodurch der zeitliche Verlauf von der Maulöffnung über das erste Festhalten der Nahrung bis zum Zeitpunkt, wo die Nahrung aus der lateralen Sicht nicht mehr zu sehen war, ausgewertet werden konnte.

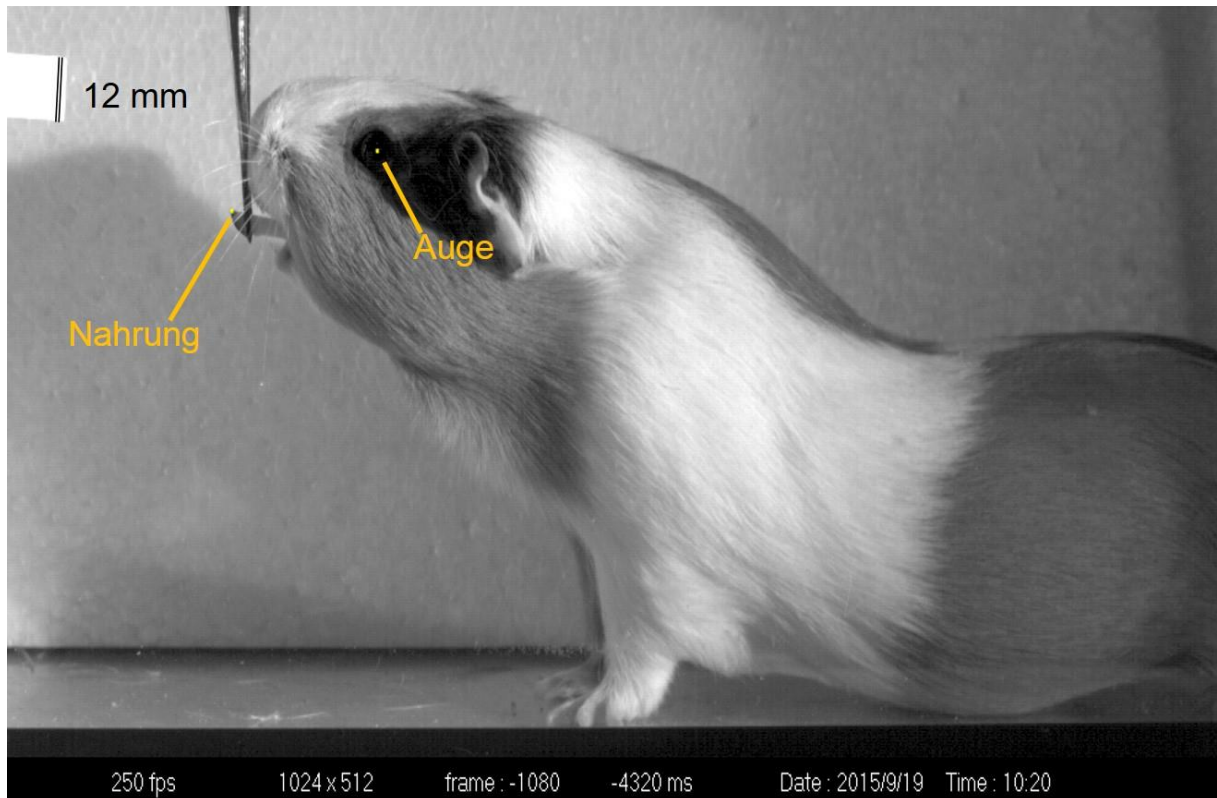


Abb. 7: Nahrungsaufnahme eines Gurkenstückes: Trackerpunkte beim Auge und bei der Nahrung.

Bei den frontalen Aufnahmen wurden die Trackerpunkte bei der Nase und in der Mitte bei der unteren Lippe gesetzt um die Bewegungen des Unterkiefers zu verfolgen (Abb. 8). Um die Bewegungen des Oberkiefers zu verfolgen, wurde der Trackerpunkt bei der Nase gesetzt, da die Bewegungen der Nase und des Oberkiefers gleich sind. Dadurch konnten die Unterschiede in der Distanz zwischen Ober- und Unterkiefer gemessen werden, die Dauer der einzelnen Öffnungs- und Schießphasen des Maules und die Geschwindigkeiten der Bewegungen. Außerdem konnte so die horizontale und vertikale Bewegung des Unterkiefers mitverfolgt und ausgewertet werden.

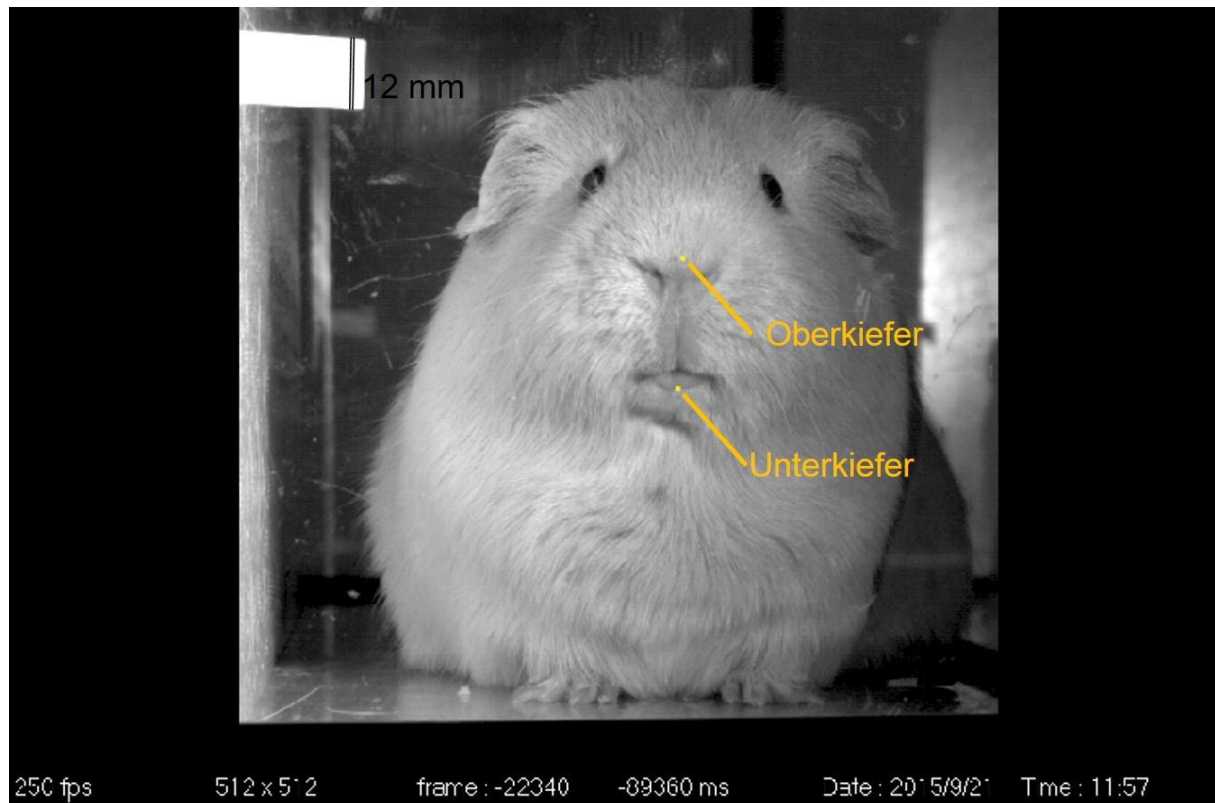


Abb. 8: Kauzyklus: Trackerpunkte beim Oberkiefer und beim Unterkiefer.

Nach dem Berechnen der Mittelwerte und Standardabweichungen wurden die Daten mithilfe von EXCEL einheitlich skaliert und anschließend graphisch dargestellt.

4. Ergebnisse

4.1 Anatomische Analysen

4.1.1 Anatomie des Schädels

Im nächsten Kapitel werden die für die Nahrungsaufnahme essentiellen Elemente anhand der Bilder des CT Scans besprochen (Abb. 9). Insgesamt betrug die Länge des gescannten Schädels 75 mm und die Höhe 35 mm. Die Form des Schädels aus lateraler Sicht war rechteckig mit abgerundeten Ecken, wobei das Verhältnis Länge zu Höhe ungefähr 2:1 betrug, die Schnauze war stumpf. Bei der lateralen Darstellung ist das sekundäre Kiefergelenk sichtbar. Es wurde durch den Unterkiefer (Os mandibulare) und das Schläfenbein (Os temporale) gebildet, wodurch die Bewegung des Unterkiefers zum restlichen Schädel möglich war. Weiters war der Jochbogen (Os zygomaticum) gut erkennbar, welcher mit der Maxilla ein großes Foramen infraorbitale bildete. Der Oberkiefer bestand aus der Prämaxilla und der Maxilla, wobei beim Nagetier im Vergleich zu anderen Säugetieren die Prämaxilla Os incisivum genannt wird.

Außerdem wurden der Atlas und der Axis dargestellt. Die ersten zwei Halswirbel machten eine Drehbewegung des Kopfes zum restlichen Körper möglich, wobei der Atlas, der mit dem Hinterhauptbein (Os occipitale) in Verbindung stand, als Träger des Kopfes diente, Nickbewegungen ermöglichte, und auch Drehbewegungen des Kopfes über die Verbindung Atlas zu Axis möglich machte.

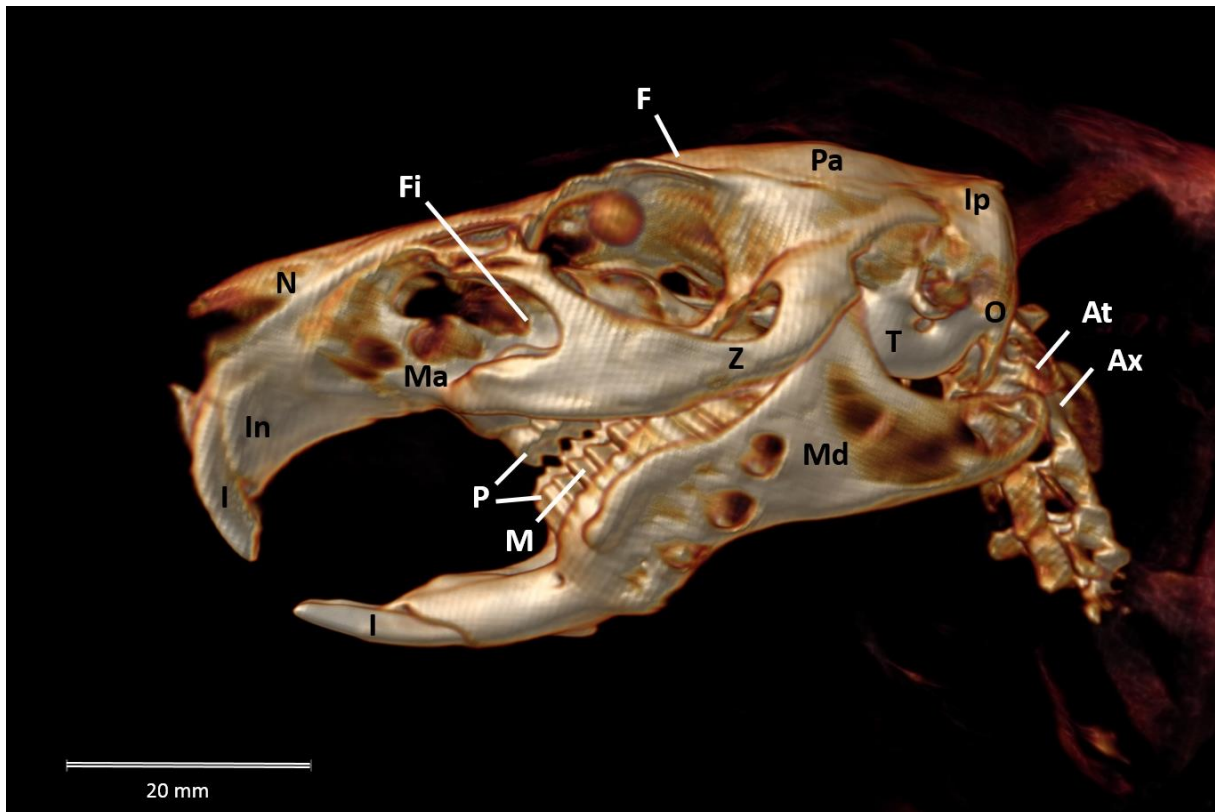


Abb. 9: Laterale Ansicht des Schädels von *Cavia porcellus*: At = Atlas, Ax = Axis, F = Os frontale, Fi = Foramen infraorbitale, I = Incisivi, In = Os incisivum, Ip = Os interparietale, M = Molare, Ma = Os maxillare, Md = Os mandibulare, N = Os nasale, O = Os occipitale, P = Prämolare, Pa = Os parietale, T = Os temporale, Z = Os zygomaticum. Maßstab: 20 mm.

Beim Oberkiefer waren die zahntragenden Elemente das Os incisivum und das Os maxillare, wobei das Os incisivum das tragende Element für das Paar Incisivi darstellte und das Os maxillare auf jeder Seite einen Prämolar und drei Molaren trug. Das zahntragende Element der unteren Zähne ist das Os mandibulare, welches sehr robust war. Bei der lateralen Darstellung ist das Diastema zwischen den Incisivi und den Prämolaren und das Fehlen der Canini deutlich erkennbar (Abb. 9). Die Incisivi waren nach außen hin zugespitzt. Beim Kieferschluss wurden die unteren Incisivi an den oberen vorbeigeführt, wodurch es zu einer Abnutzung der oberen Incisivi auf der Innenseite kam und die Zähne scharf blieben.

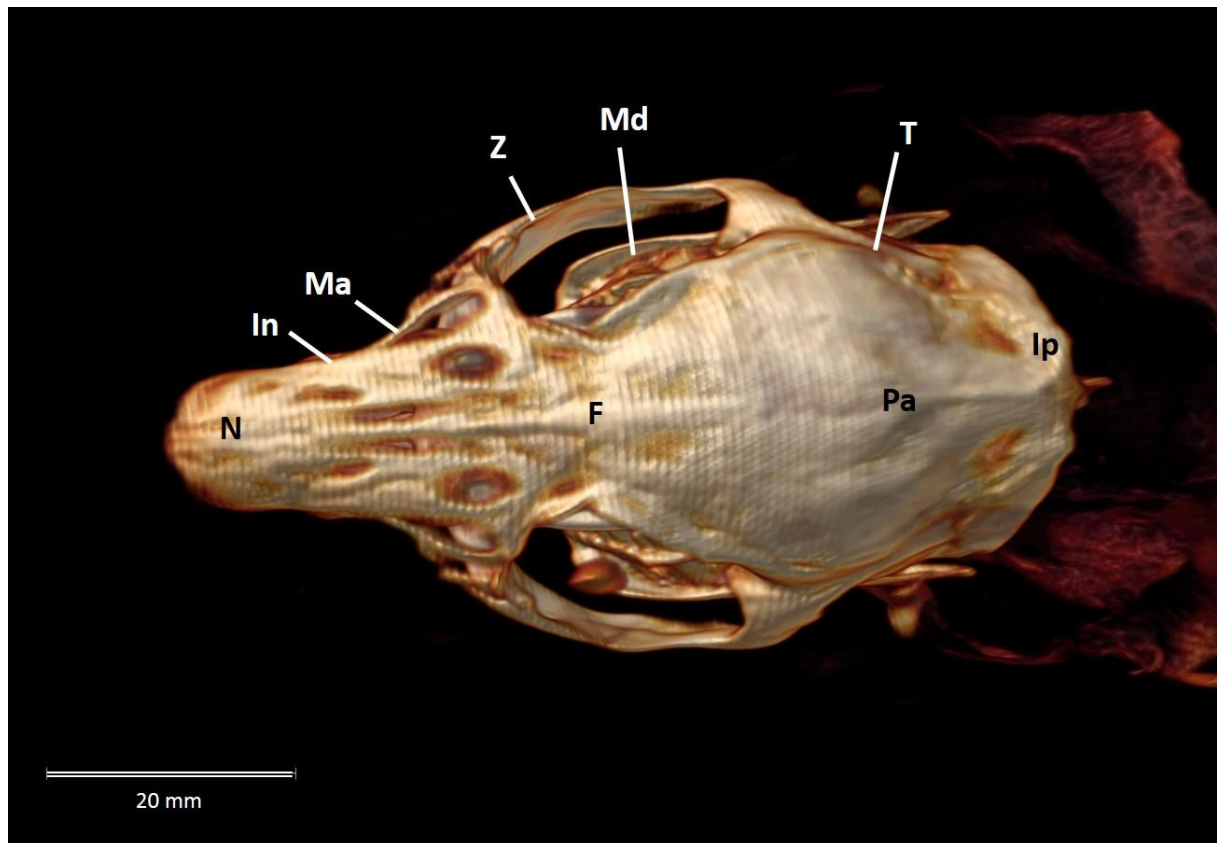


Abb. 10: Dorsale Ansicht des Schädels von *Cavia porcellus*: F = Os frontale, In = Os incisivum, Ip = Os interparietale, Ma = Os maxillare, Md = Os mandibulare, N = Os nasale, Pa = Os parietale, T = Os temporale, Z = Os zygomaticum. Maßstab: 20 mm.

Betrachtet man das CT-Bild von dorsal, nahm die Breite des Schädels von Os parietale über Os frontale zum Os nasale ab. Außerdem ist seitlich das Schläfenbein (Os temporale), welches die hintere Ansatzstelle des Jochbogens bildete, erkennbar. Durch den großen Jochbogen entstand eine große Orbita.

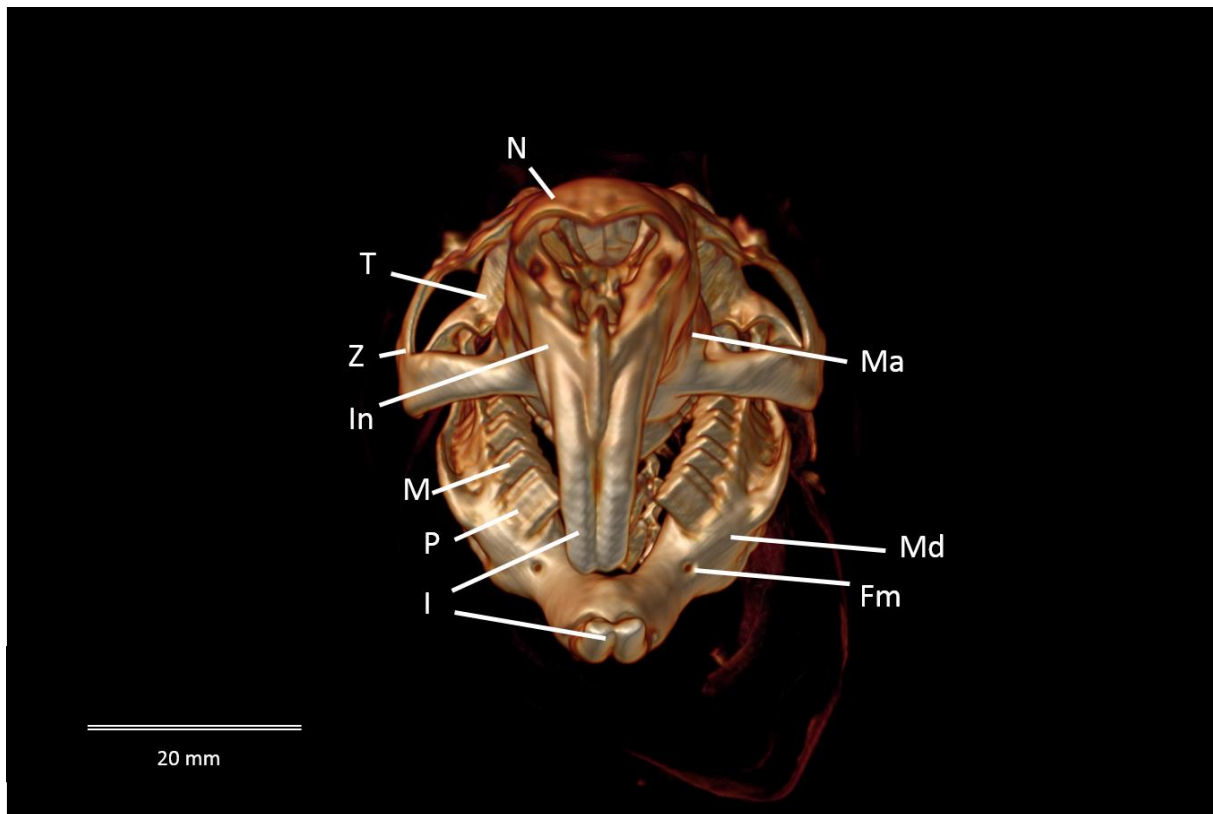


Abb. 11: Frontale Ansicht des Schädels von *Cavia porcellus*: Fm = Foramen mentale, I = Incisivi, In = Os incisivum, M = Molare, Ma = Os maxillare, Md = Os mandibulare, N = Os nasale, P = Prämolare, T = Os temporale, Z = Os zygomaticum. Maßstab: 20 mm.

Bei der frontalen Ansicht ist die schräge Kaufläche der Prämolaren und Molaren im Unterkiefer erkennbar, die lingual abfiel (Abb. 11). Das Nasenbein bildete nach vorne hin mit der Prämaxilla eine Öffnung. Die breiteste Stelle entstand durch die Prominenz des Jochbogens. Bei diesem adulten Männchen war die maximale Schädelbreite bei 40 mm. Die Mandibula war schmaler als der restliche Schädel und sehr massiv. Im vorderen Teil befand sich beidseitig das Foramen mentale, was eine Austrittsöffnung für Nerven- (dritter Ast des N. trigeminus) und Blutgefäße darstellte.

4.1.2 Anatomie der Kaumuskulatur

In den nächsten Bildern der Rekonstruktion werden jene Kaumuskeln vorgestellt, die bei *Cavia porcellus* zum Kieferschluss notwendig sind. Zusätzlich wurde die Zunge, welche beim Kieferschluss keine Funktion übernahm, jedoch für die Nahrungsaufnahme wichtig ist, dargestellt. Die Rekonstruktion der Muskeln, ausgenommen der Zunge, wurde aufgrund der Symmetrie nur auf der linken Seite durchgeführt.

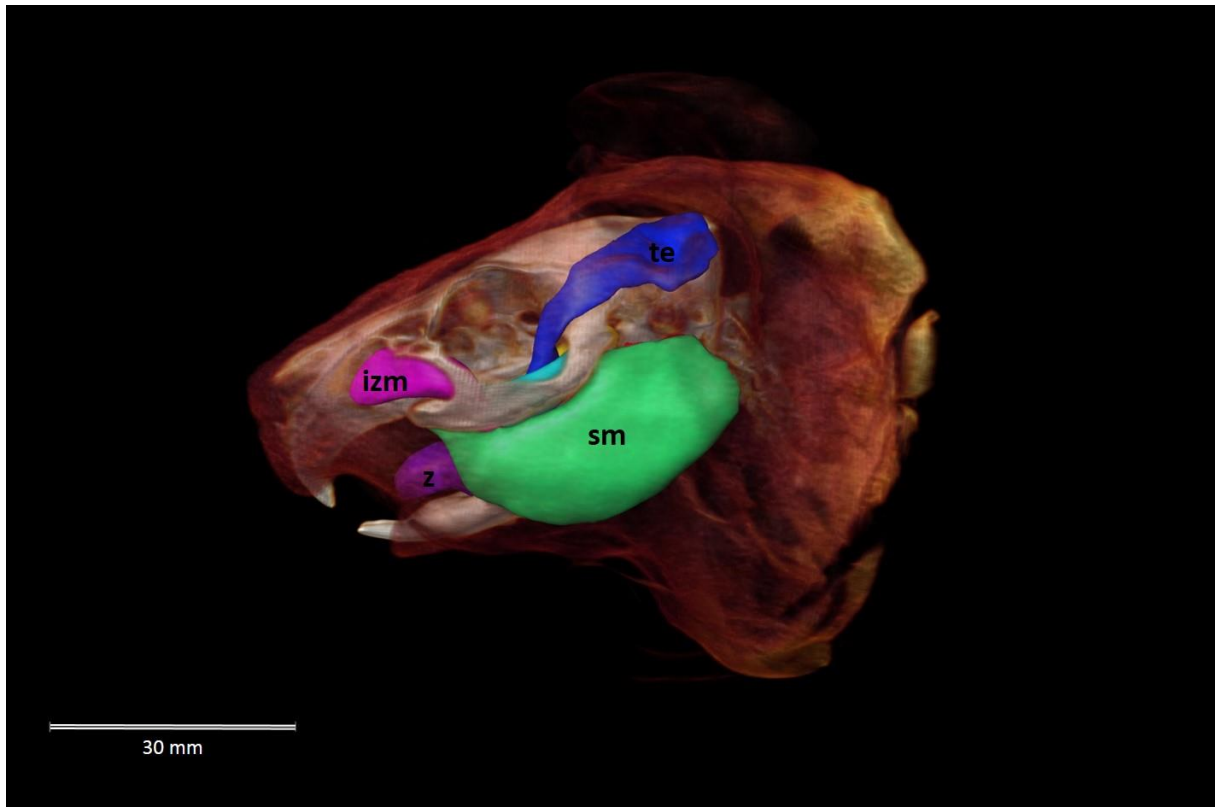


Abb. 12: Laterale Ansicht des Schädels, der Kaumuskulatur und der umgebenden Gewebe von *Cavia porcellus*: izm = infraorbitaler Teil des M. zygomaticomandibularis (rosa), sm = superficial masseter (grün), te = M. temporalis (blau), z = Zunge (lila). Maßstab: 30 mm.

In Abb. 12 wurden neben den Muskeln auch die umgebenden Gewebe dargestellt. Der Musculus masseter wird beim Meerschweinchen insgesamt in drei Teile geteilt:

- oberflächlich gelegener Teil des M. masseter (superficial masseter)
- tiefer gelegener Teil des M. masseter (deep masseter)
- M. zygomaticomandibularis.

Wobei der M. zygomaticomandibularis in einen infraorbitalen, anterioren und posterioren Anteil geteilt wurde, jedoch sind die letzten beiden in Abb. 12 nicht zu erkennen, da sie vom Jochbogen, vom superficial und deep masseter überdeckt wurden, also weit innen gelegen waren. Der superficial masseter war der größte und überdeckte den tiefergelegenen deep masseter vollständig (Abb. 12 und 13).

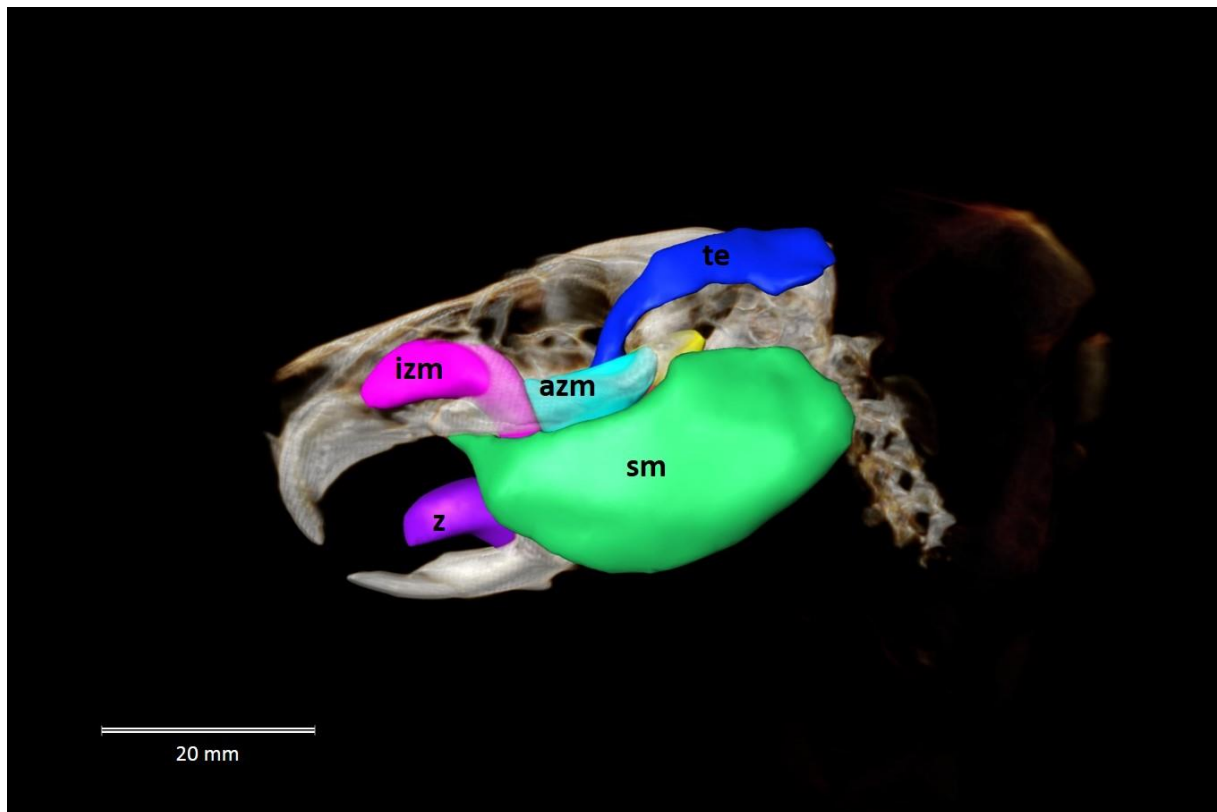


Abb. 13: Laterale Ansicht des Schädels und der Kaumuskulatur von *Cavia porcellus*: azm = anteriorer Teil des M. zygomaticomandibularis (hellblau), izm = infraorbitaler Teil de M. zygomaticomandibularis (rosa), sm = superficial masseter (grün), te = M. temporalis (blau), z = Zunge (lila). Maßstab: 20 mm.

Der superficial masseter nahm einen sehr großen Teil der Kaumuskulatur ein. Er war beim CT Scan eindeutig von dem weiter innen liegenden deep masseter unterscheidbar. Den dorsalen Ursprung nahm der superficial masseter beim vorderen Ende des Jochbogens, welcher eher schmal war. Der Muskel vergrößerte sich schnell, umfasste den gesamten hinteren Bereich des Unterkiefers und endete beim Kieferwinkel.

Der M. temporalis begann beim Os parietale und zog durch die Orbita hinunter an die Innenseite des Processus coronoideus der Mandibel (Abb. 13 bis 17).

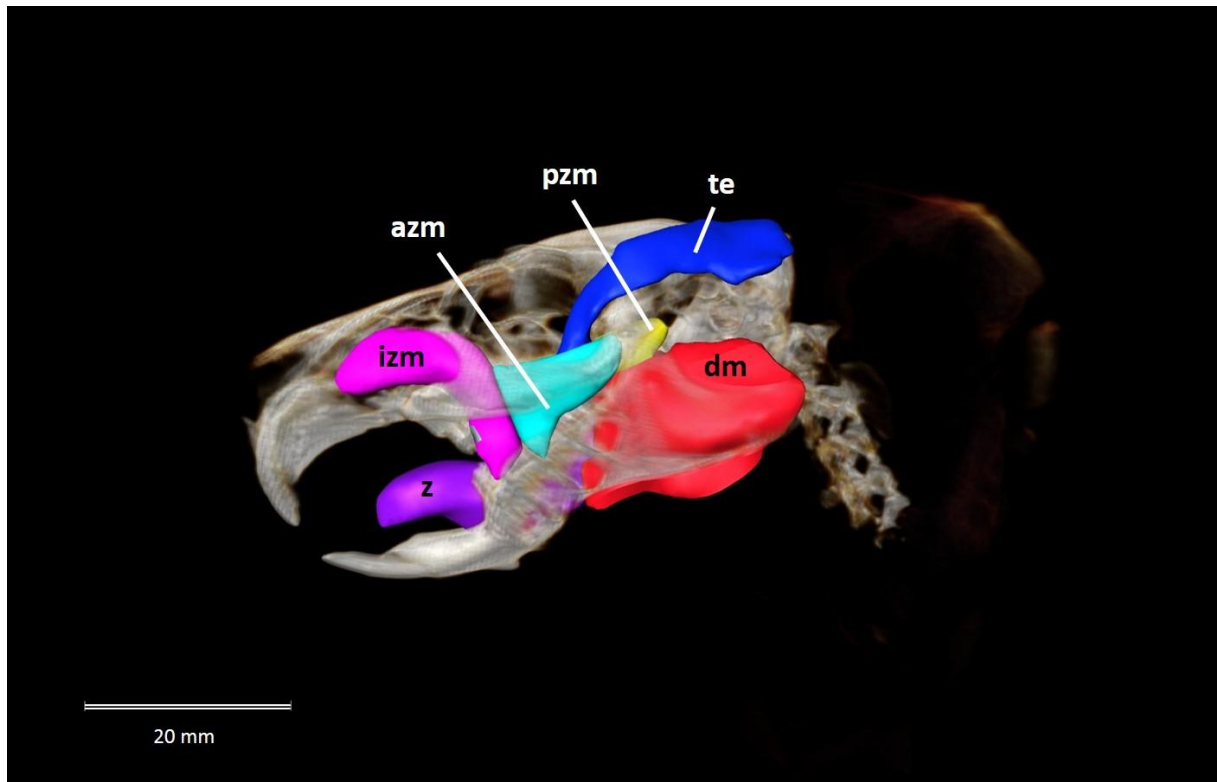


Abb. 14: Laterale Ansicht des Schädels und der Kaumuskulatur ohne dem superficial masseter von *Cavia porcellus*: azm = anteriorer Teil des M. zygomaticomandibularis (hellblau), dm = deep masseter (rot), izm = infraorbitaler Teil des M. zygomaticomandibularis (rosa), pzm = posteriorer Teil des M. zygomaticomandibularis (gelb), te = M. temporalis (blau), z = Zunge (lila). Maßstab: 20 mm.

Der mittlere Teil des M. masseters, der deep masseter, lag innerhalb des superficial masseters und innerhalb des Unterkiefers. Er zog vom weiter hinten liegenden Teil auf der ventrolateralen Seite des Jochbogens zum hinteren Bereich des Unterkiefers (Processus angularis mandibulae).

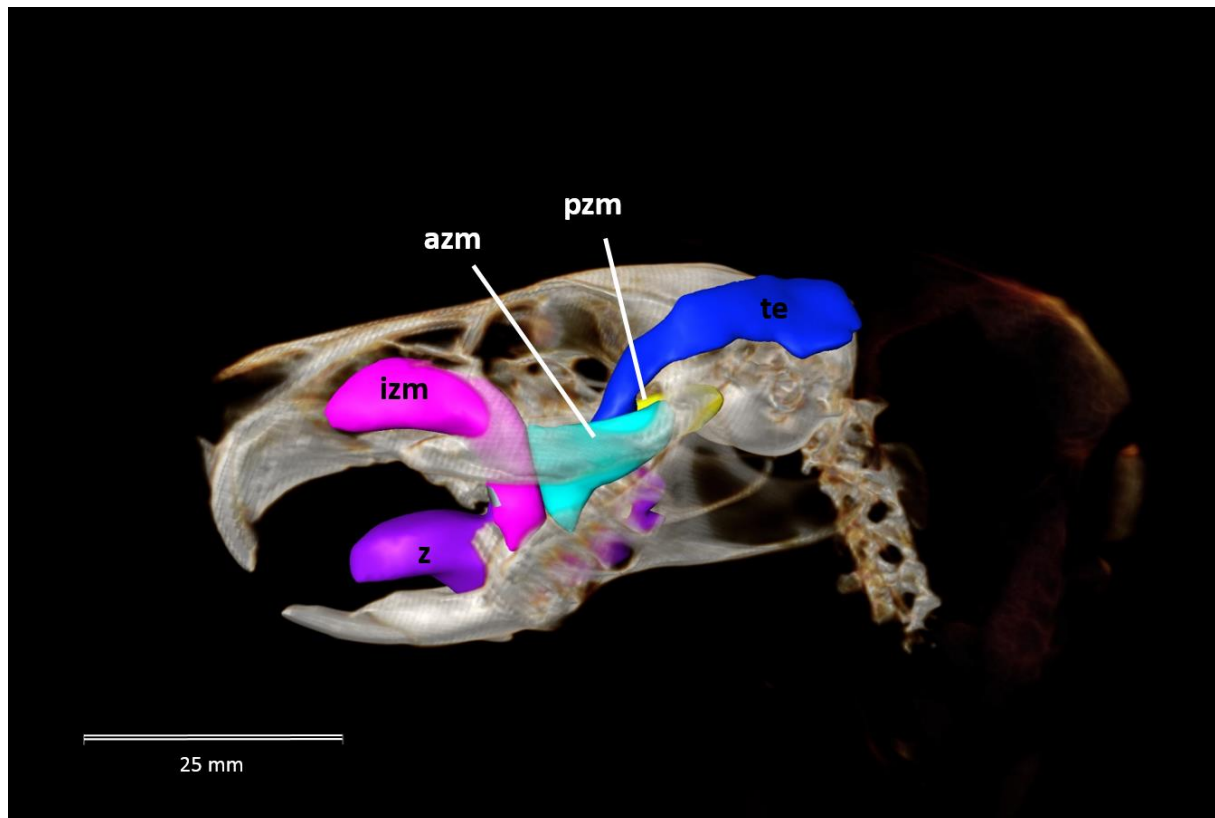


Abb. 15: Laterale Ansicht des Schädels und der Kaumuskulatur ohne dem superficial und dem deep masseter von *Cavia porcellus*: azm = anteriorer Teil des M. zygomaticomandibularis (hellblau), izm = infraorbitaler Teil des M. zygomaticomandibularis (rosa), pzm = posteriorer Teil des M. zygomaticomandibularis (gelb), te = M. temporalis (blau), z = Zunge (lila). Maßstab: 25 mm.

Der M. zygomaticomandibularis bildete die innere Schicht des M. masseter. Der infraorbitale Teil des M. zygomaticomandibularis hatte seinen Ursprung beim Os incisivum und zog auf der Innenseite des Jochbogens durch das Foramen infraorbitale zur Außenseite des vorderen Bereichs der Mandibel und hatte den Ansatz unterhalb des ersten Molars (Abb. 14 bis 18). Der anteriore Teil des M. zygomaticomandibularis nahm seinen Ursprung auf der medialen Innenseite des Jochbogens und zog innerhalb des Jochbogens zum Unterkiefer, wo er unter den Mahlzähnen (zwischen dem zweiten und dritten) endete. Der posteriore Teil des M. zygomaticomandibularis lag weiter hinten, setzte beim hinteren Teil des Jochbogens an und zog ebenfalls zum Unterkiefer, wo er hinter dem anterioren, ungefähr unter dem dritten Molar endete.

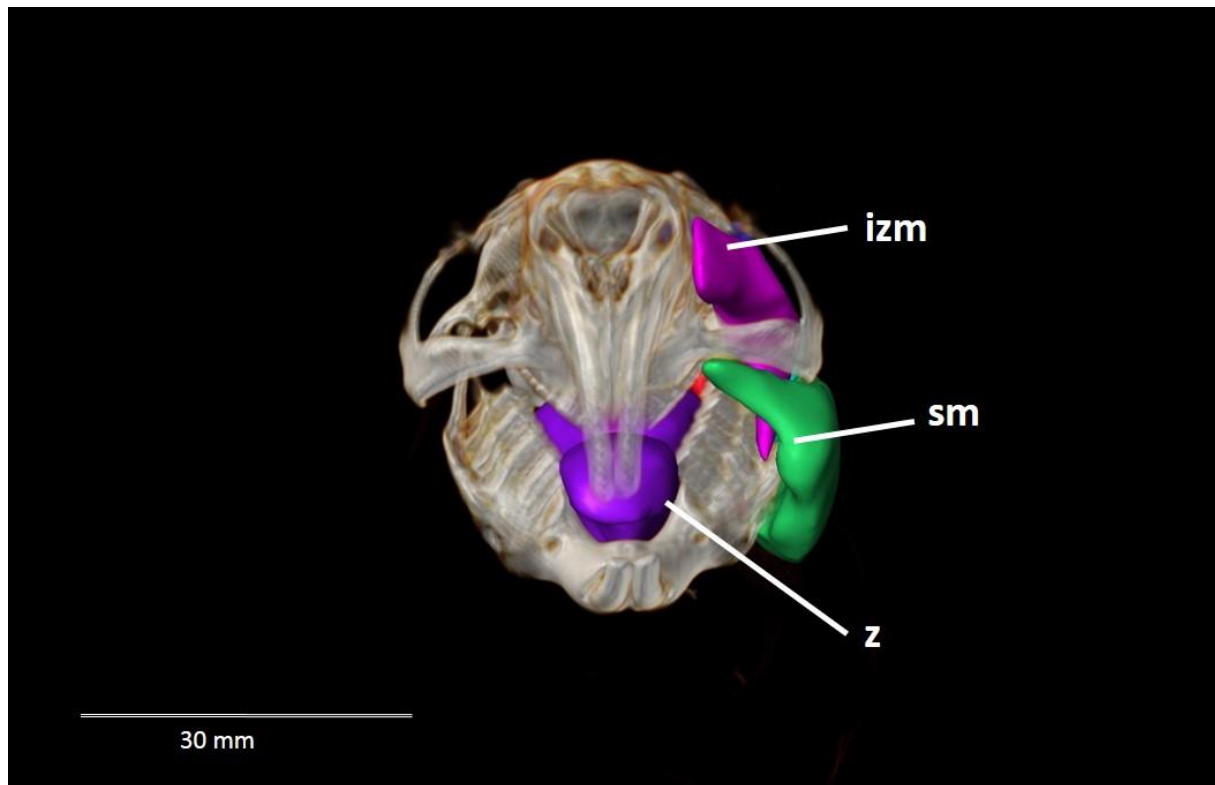


Abb. 16: Frontale Ansicht des Schädels und der Kaumuskulatur von *Cavia porcellus*: izm = infraorbitaler Teil des M. zygomaticomandibularis (rosa), sm = superficial masseter, z = Zunge (lila). Maßstab: 30 mm.

Bei der frontalen Darstellung des Schädels von *Cavia porcellus* (Abb. 16) war die Dicke des superficial masseters erkennbar. Weiters sah man auch, dass die Zunge im vorderen Bereich schmal war und einen eher spitzen Teil hatte, während sie nach hinten hin, zwischen den Mahlzähnen an Fläche zunahm (Abb. 16 und 18). Die Zunge ragte nicht über die Incisivi hinaus.

Weiters werden in Tabelle 2 die Volumina der rekonstruierten Kaumuskulatur, also der linken Seite, und der Zunge dargestellt. Der superficial masseter nahm von den Muskeln, welche für den Kieferschluss nötig sind, den größten Volums Anteil ein, gefolgt vom deep masseter.

Tab. 2: Volumen der rekonstruierten Muskulatur in mm³.

Muskel	Volumen in mm ³
Superficial masseter	1748
Deep masseter	918
Infraorbitaler Teil des M. zygomaticomandibularis	350
Anteriorer Teil des M. zygomaticomandibularis	226
Posteriorer Teil des M. zygomaticomandibularis	101
M. temporalis	285
Zunge	2097

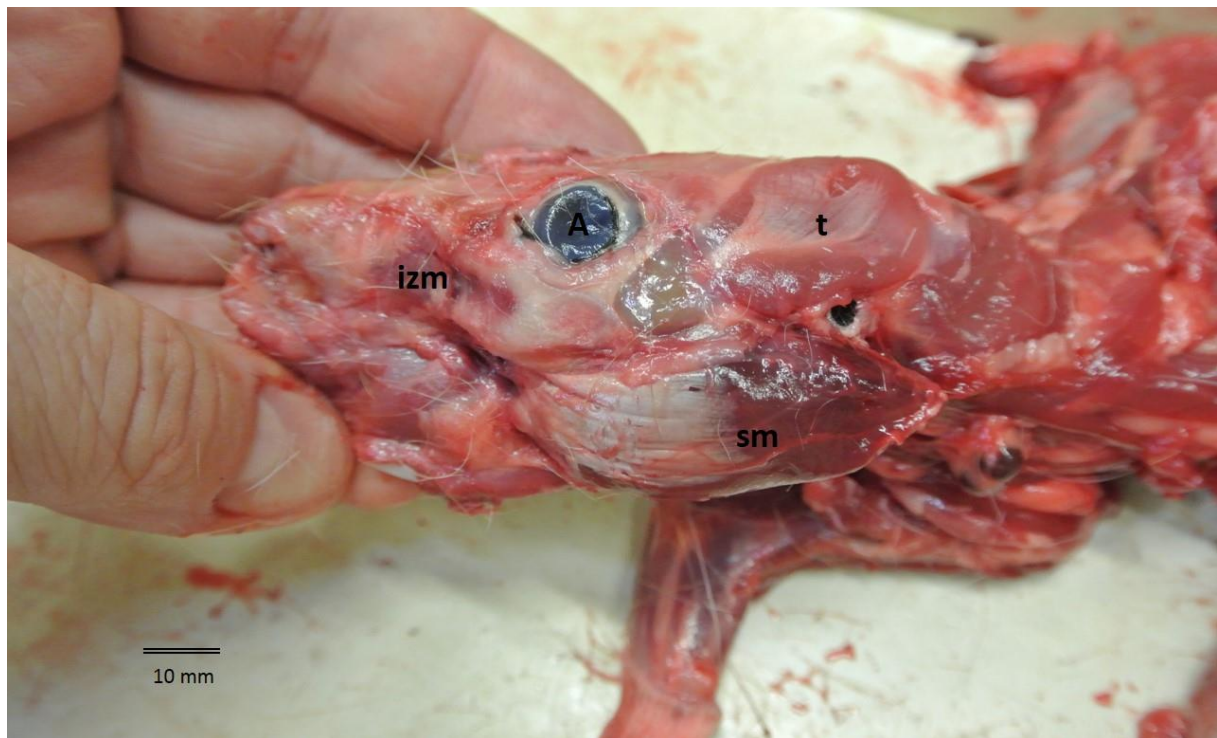


Abb. 17: Laterale Ansicht bei der Sektion von *Cavia porcellus*: A = Auge, izm= infraorbitaler Teil des M. zygomaticomandibularis, sm = superficial masseter, T = M. temporalis. Maßstab: 10 mm.

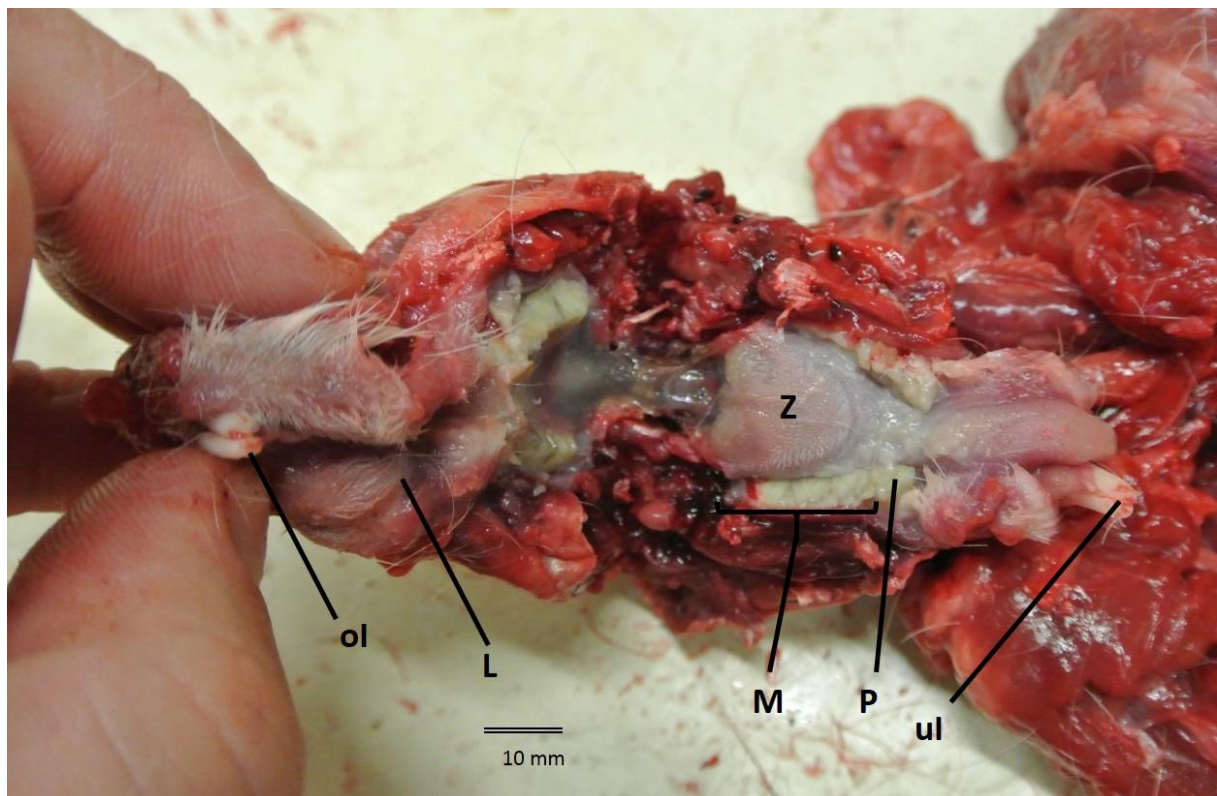


Abb. 18: Mundhöhle bei der Sektion von *Cavia porcellus*: L = beharrte Lippenhaut, M = Molare, ol = obere Incisivi, P = Prämolare, ul = untere Incisivi, Z = Zunge. Maßstab: 10mm.

Bei der Sektion wurde bis auf die Lippenhaut die ganze Haut entfernt. Dadurch wurde der superficial masseter und der M. temporalis freigelegt. Hier sind die Sehnen dieser beiden Muskeln deutlich sichtbar. Der superficial masseter hatte beim Jochbogen mit einer starken Sehne seinen Ursprung und setzte in der posterioren Region der Mandibel an. Die Sehne des M. temporalis zog unterhalb des Auges zum Processus coronoideus des Unterkiefers. Außerdem war der Ursprung des infraorbitalen Teils des M. zygomaticomandibularis beim Os incisivum zu erkennen (Abb. 17).

Durch das Durchschneiden der Muskulatur war eine Öffnung des Maules auf ca. 160° möglich. Die Lippenhaut war beharrt (Abb. 18) und ging etwa in der Mitte des Diastemas zusammen, wodurch die Mundhöhle funktionell zweigeteilt wurde, in einen vorderen Nageraum zum Abbeißen, er wurde nach außen hin von den Incisivi begrenzt und einen Kauraum zur Nahrungsmanipulation und -aufbereitung, dieser ging weiter hinten in die Speiseröhre über. An der Übergangsstelle veränderte sich auch die Form der Zunge: Während sie vorne im Nageraum noch schmal und relativ spitz war, wurde sie ab der Verengung immer breiter und zeigte auch deutliche Papillen.

4.2 Kinematische Analysen

Der komplette Fressvorgang wurde in zwei Abschnitte unterteilt. Den ersten Abschnitt stellt die eigentliche Nahrungsaufnahme dar, also das Erfassen des Futters mit den Zähnen bis zum Zeitpunkt, wo das Futter komplett in der Mundhöhle verschwunden war. Im zweiten Abschnitt kam es zu zahlreichen Kauzyklen bis das Futter geschluckt werden konnte.

4.2.1 Nahrungsaufnahme

Bei der Nahrungsaufnahme kam es zuerst zu einer Bewegung zum Futter, wobei die Nahrung dann oft noch genauer mithilfe des Geruchsinns untersucht wurde. Es waren sowohl Kopf- als auch Körperbewegung zum Futter erkennbar. Bei der Nahrungsaufnahme streckten sie den Kopf nach vorne und zogen diesen, nachdem sie das Futterstück fixiert hatten, wieder zurück, um es vollständig ins Maul zu befördern. Bei der Nahrungsaufnahme spielten die Incisivi eine wichtige Rolle (Abb. 22), da die Nahrung mit diesen aufgenommen bzw. abgebissen wurde. Die Vorderfüße wurden beim Hausmeerschweinchen bei der Nahrungsaufnahme nicht verwendet. Bei allen drei Nahrungstypen wurde das Futter, welches immer dieselbe Größe besaß, zuerst mit der schmalen Seite aufgenommen. Die Hälfte des länglichen Nahrungsstückes ragte bei den dreien unterschiedlich lange heraus und wurde nach und nach in den Kauraum transportiert.

Die Nahrungsaufnahme wurde von mehreren Seiten beobachtet. Bei den lateralen Aufnahmen geschah die Nahrungsaufnahme entweder von einem Nagel oder die Nahrung wurde mit einer Pinzette gehalten. Dabei konnten die Maulöffnung und das Zubeißen beobachtet werden.

Bei der Nahrungsaufnahme wurde die Zeitmessung gestartet, als das Maul am weitesten geöffnet war. Der nächste Zeitpunkt war als das Maul das erste Mal geschlossen war und die Nahrung sich teils im Maul befand. Die nächste Zeitmessung erfolgte, als die Nahrung von der lateralen Seite nicht mehr sichtbar war. In der Tabelle 3 wurde dies in eine erste Phase (maximale Öffnung bis Nahrung mit Incisivi festgenommen war) und eine zweite Phase (Nahrung mit den Incisivi festgenommen bis Nahrung nicht mehr sichtbar war) eingeteilt. Weiters wurde auch die Gesamtdauer

berechnet (Tab. 3). Bei dieser Auswertung wurden von jedem der vier Versuchstiere je vier Nahrungsaufnahmen pro Nahrungstyp zur Berechnung genommen. Es konnten keine geschlechtsspezifischen Unterschiede festgestellt werden, weshalb die Daten von allen vier Tieren gepoolt werden konnten.

Tab. 3: Nahrungsaufnahme von *Cavia porcellus*.

Nahrungsaufnahme		Mittelwert		Standardabweichung	
		Frames (250/sek)	Zeitdauer in Sek.	Frames (250/sek)	Zeitdauer in Sek.
Gurke	1. Phase	36	0,144	5	0,021
	2. Phase	91	0,365	38	0,151
	Gesamt	127	0,509	43	0,153
Karotte	1. Phase	39	0,157	9	0,037
	2. Phase	192	0,767	144	0,577
	Gesamt	230	0,938	143	0,572
Pellet	1. Phase	36	0,143	5	0,022
	2. Phase	584	2,337	233	0,931
	Gesamt	620	2,480	234	0,935

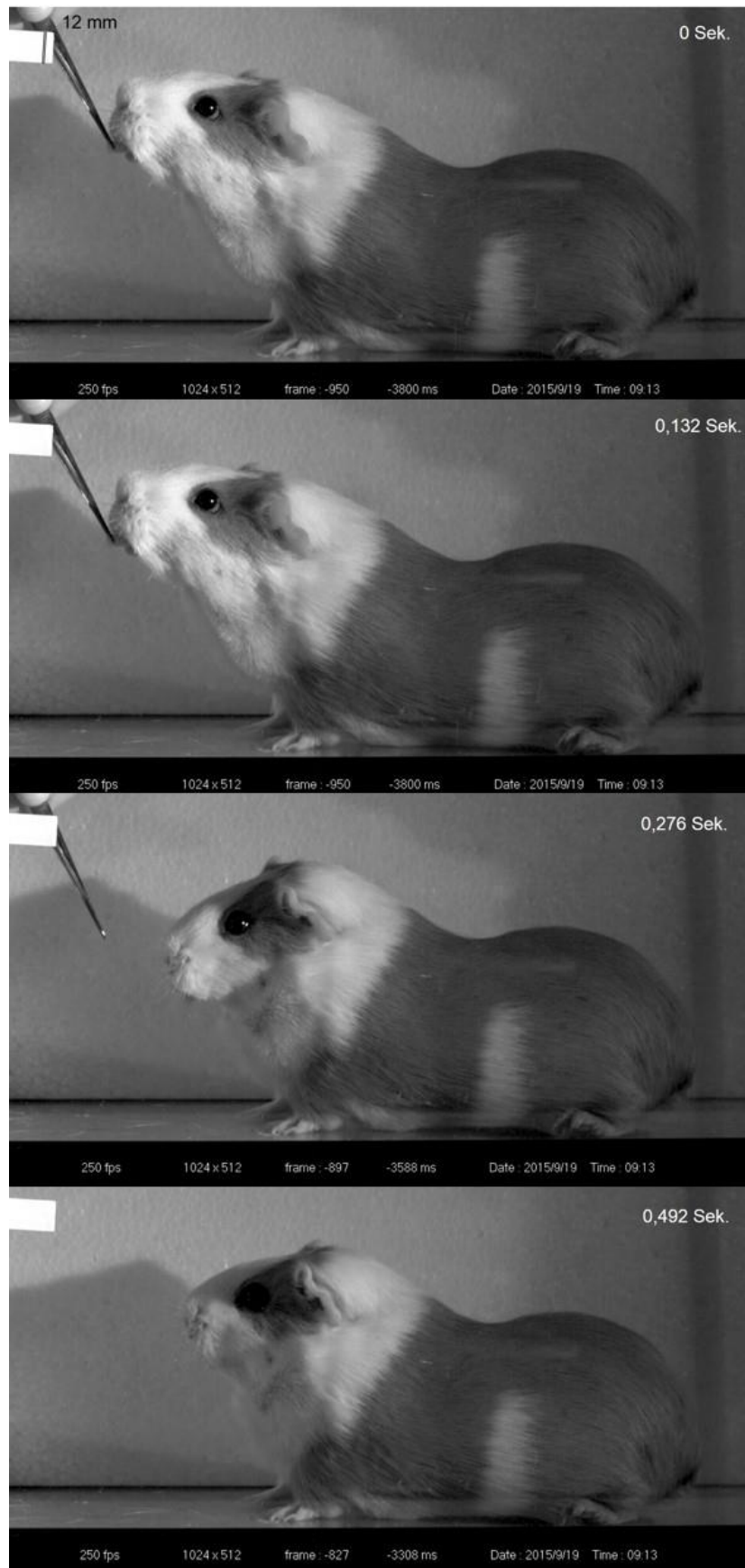


Abb. 19: Abfolge von Einzelbildern der Nahrungsaufnahme von einer Gurke bei *Cavia porcellus* (Weibchen). Hochgeschwindigkeitsaufnahme mit 250 Bildern pro Sekunde. 1. Bild: Maulöffnung, 2. Bild: Festhalten der Nahrung, 3. Bild: Nahrung halb im Maul, 4. Bild: Nahrung nicht mehr sichtbar. Maßstab: 12 mm.



Abb. 20: Abfolge von Einzelbildern der Nahrungsaufnahme von einer Karotte bei *Cavia porcellus* (Weibchen). Hochgeschwindigkeitsaufnahme mit 250 Bildern pro Sekunde. 1. Bild: Maulöffnung, 2. Bild: Festhalten der Nahrung, 3. Bild: Nahrung halb im Maul, 4. Bild: Nahrung nicht mehr sichtbar. Maßstab: 12 mm.



Abb. 21: Abfolge von Einzelbildern der Nahrungsaufnahme von einem Pellet bei *Cavia porcellus* (Männchen). Hochgeschwindigkeitsaufnahme mit 250 Bildern pro Sekunde. 1. Bild: Maulöffnung, 2. Bild: Festhalten der Nahrung, 3. Bild: Nahrung halb im Maul, 4. Bild: Nahrung nicht mehr sichtbar. Maßstab: 12 mm.

Bei den Abb. 19 bis 21 sind die Abfolgen der Nahrungsaufnahme bei Gurke, Karotte und Pellet zu sehen. Dabei wurden die für Tabelle 3 unterteilten Phasen dargestellt. Vom ersten bis zum zweiten Bild vergingen bei der Gurke und bei der Karotte 0,132 Sekunden und beim Pellet 0,144, welche fast gleich waren und den Mittelwerten mit der Standardabweichung entsprachen (siehe Tab. 3). Beim dritten Bild in der jeweiligen Abbildung sieht man die Position, während die Tiere das Nahrungsstück zur Hälfte im Mund hatten und nach und nach in den Kauraum weiter transportierten. Die Gurke war beim Weibchen nach 0,492 Sekunden vollständig im Maul verschwunden, bei der Karotte benötigte das andere Weibchen 0,804 Sekunden und das Männchen 2,624 Sekunden, bis das Pellet von der Seite nicht mehr zusehen war. Diese Werte stimmten sehr gut mit den errechneten Mittelwerten ($n = 16$) von Tabelle 3 überein, welche bei der Gurke bei 0,509 Sekunden, bei der Karotte bei 0,938 Sekunden und beim Pellet bei 2,480 Sekunden lagen. Die Phase 1 dauerte somit bei allen Futtersorten etwa gleich lang, wohingegen die Phase 2 deutliche Unterschiede aufwies. Je härter das Futter war, desto länger dauerte es, bis die Nahrung vollständig in den Kauraum transportiert worden war.

Bei diesen Bildserien (Abb. 19 bis 21), welche die Nahrungsaufnahme für alle drei Futtertypen darstellen, ist auch die Vorwärtsbewegung des gesamten Körpers und auch des Kopfes zur Nahrung zu sehen. Sobald die Nahrung fixierte war, zogen sich die Tiere wieder zurück und kauten die Nahrung.

Das Nahrungsstück wurde mit den Incisivi festgehalten, was jedoch von der lateralen Ansicht nicht ersichtlich war, da diese nicht aus dem Mund herausragten. Mithilfe der Zähne, der Zunge und den Lippen wurde das Nahrungsstück dann immer weiter nach hinten in den Kauraum transportiert. Bei den Aufnahmen von ventral waren die Incisivi gut sichtbar. Auch hier kam es durch eine Vorwärtsbewegung des gesamten Körpers und dann des Kopfes zur Bewegung zur Nahrung. Im Gegensatz zu den lateralen Aufnahmen mussten die Tiere bei den Aufnahmen von ventral das Futter vom Aquariumboden aufnehmen. Das Nahrungsstück wurde zuerst in die richtige Position gebracht (Abb. 22, linkes Bild) und dann mit den Incisivi auf der längeren Seite genommen (Abb. 22, rechtes Bild). Anschließend wurde das Futterstück mit Hilfe der Lippen gedreht, sodass es mit der schmalen Seite voran in den Mund transportiert werden konnte.



Abb. 22: Abfolge von Einzelbilder der Nahrungsaufnahme von einem Pellet bei *Cavia porcellus* (Männchen). Hochgeschwindigkeitsaufnahme mit 250 Bildern pro Sekunde. linkes Bild: Maulöffnung, rechtes Bild: Festhalten der Nahrung mit den Incisivi.

4.2.2 Kauzyklen

Allgemein konnte man beim Kauen feststellen, dass Hausmeerschweinchen bei harter und weicher Nahrung sowohl nach links als auch nach rechts eine Kaubewegung nach einem regelmäßigen Schema durchführten. Dabei blieb der Schädel von *Cavia porcellus* während des Kauprozesses fast in derselben Position und war meist gerade nach vorne gerichtet. Die Kaubewegung erfolgte durch seitliche Mahlbewegungen des Unterkiefers. Ausgewertet wurde die Distanz zwischen Unterkiefer und Oberkiefer, die horizontale Bewegung des Unterkiefers und die vertikale Bewegung des Unterkiefers. Jedoch konnten die Ergebnisse für die vertikale Bewegung des Unterkiefers vernachlässigt werden, weil diese mit denen der Distanz zwischen Oberkiefer und Unterkiefer korrelierten, da die Tiere den Kopf während des Kauens fast gar nicht bewegten. Außerdem sollte die Berechnung der Distanz zwischen den beiden getrackerten Punkten genauer sein, da sie kleine Bewegungen des Kopfes miteinbezieht. Um einen Überblick über alle Kauzyklen zu bekommen, wurde von

jedem Nahrungstyp ein Video von Goldi durchgetrackert, weil sich dieses Männchen am ruhigsten während der Nahrungsaufnahmen verhalten hatte.

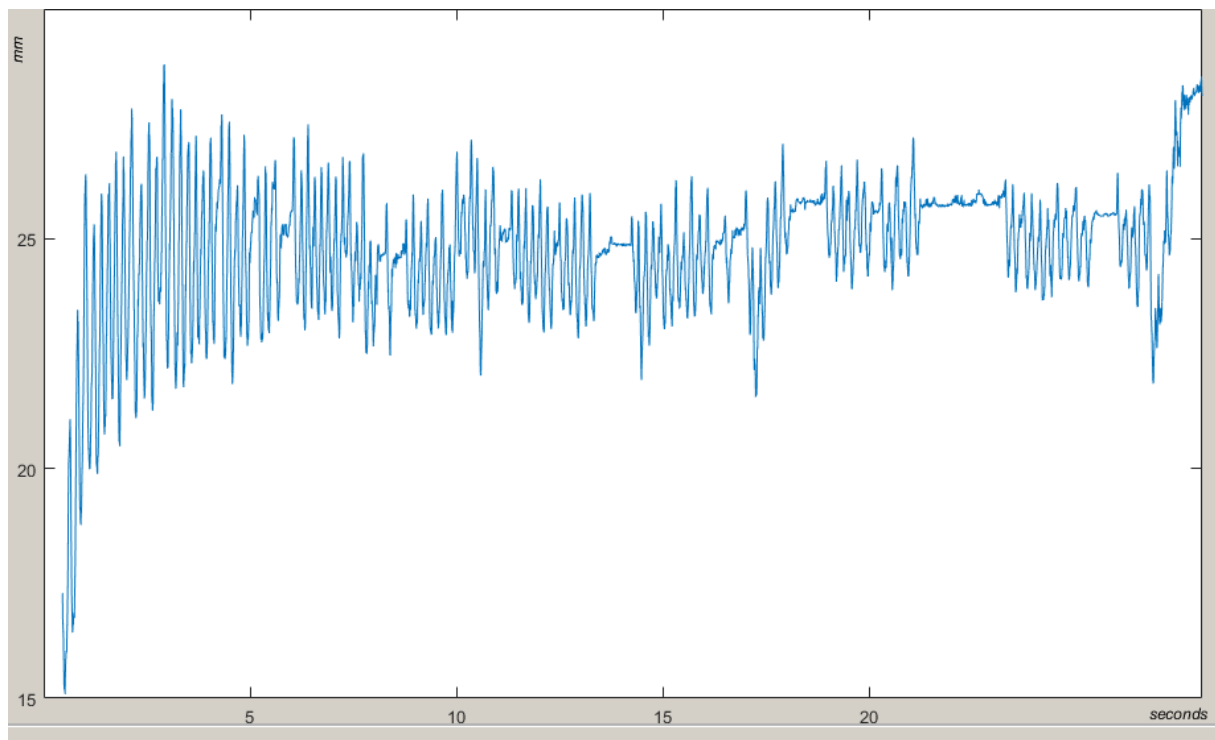


Abb. 23: Gesamter Kauprozess eines Gurkenstückes bei *Cavia porcellus* (männlich). X- Achse: Zeit in Sekunde, Y- Achse: Distanz zwischen den Punkten Ober- und Unterkiefer in mm.

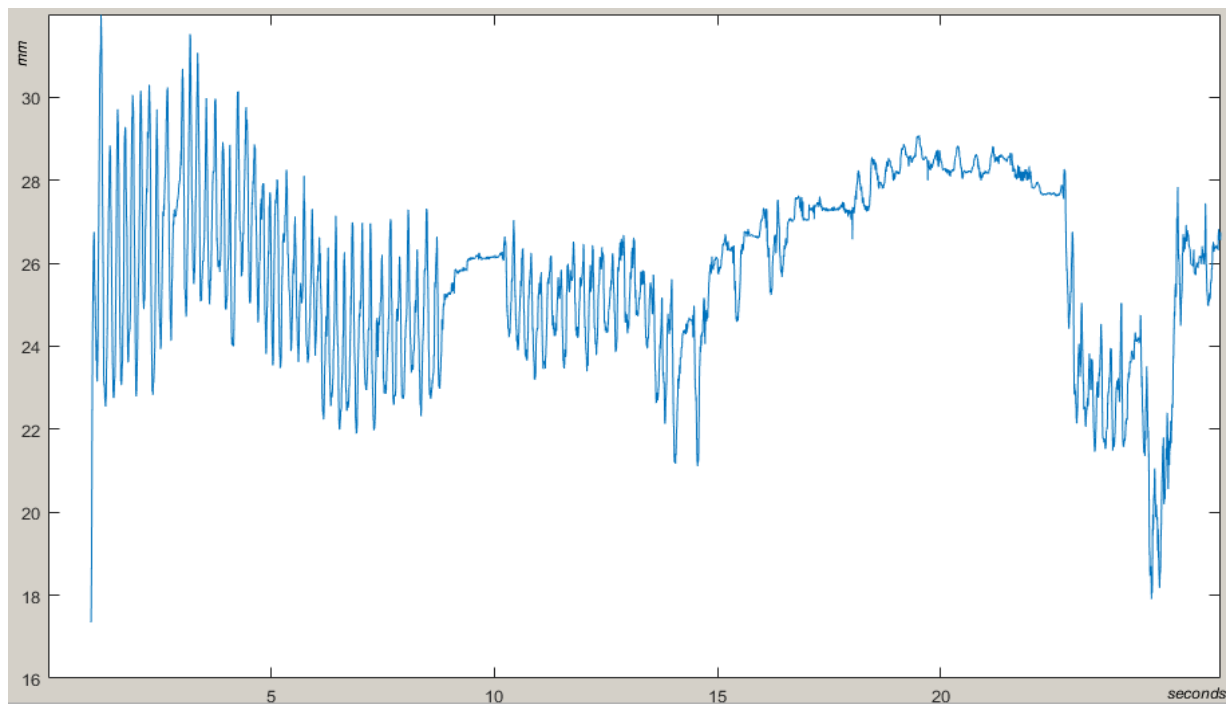


Abb. 24: Gesamter Kauprozess eines Karottenstückes bei *Cavia porcellus* (männlich). X- Achse: Zeit in Sekunde, Y- Achse: Distanz zwischen den Punkten Ober- und Unterkiefer in mm.

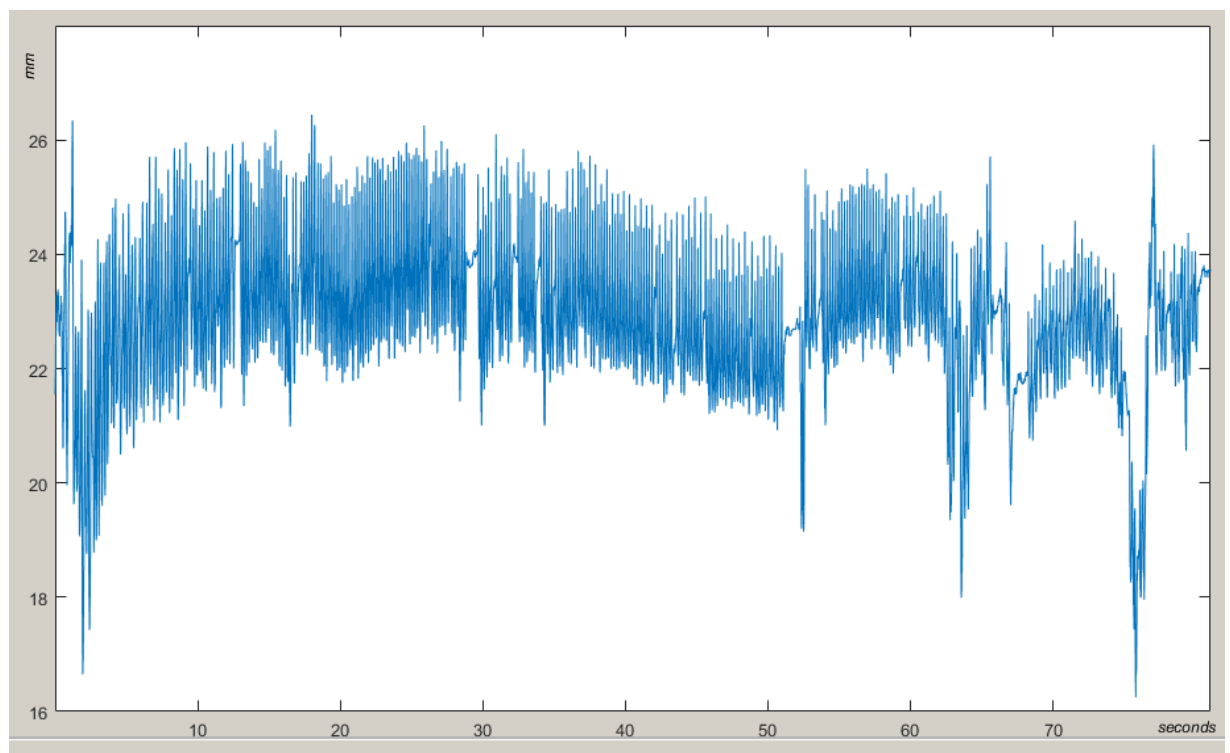


Abb. 25: Gesamter Kauprozess eines Pellets bei *Cavia porcellus* (männlich). X- Achse: Zeit in Sekunde, Y- Achse: Distanz zwischen den Punkte Ober- und Unterkiefer in mm.

Betrachtet man die Kurven der Distanz zwischen Ober- und Unterkiefer (Abb. 23 bis 25) über den ganzen Kauprozess hinweg, so ist zu sehen, dass bei allen drei Nahrungstypen (Gurke, Karotte und Pellet) am Beginn des Kauprozesses noch eine große Regelmäßigkeit herrschte, während diese zum Ende hin abnahm und immer mehr Pausen stattfanden. Aufgrund der abnehmenden Regelmäßigkeit wurde der gesamte Kauprozess gedrittelt und es wurden Videos mit je drei Kaubewegungen nach links und drei nach rechts aus den jeweiligen Dritteln: Anfang, Mitte und Ende, zusammengeschnitten und ausgewertet. Dabei sind die Maxima immer die größte Distanz zwischen Ober- und Unterkiefer und somit das Öffnen des Maules, während die Minima in den Abbildungen jene Punkte sind, wo sich der Unterkiefer in einer geschlossenen zentralen Position befand. Der gesamte Kauprozess der Gurke ging über einen Zeitraum von ca. 26 Sekunden, wobei es bei diesem Film 73 Mal zum Öffnen und Schließen des Maules kam (Abb. 23). Bei der Karotte war der Kauprozess ca. 5 Sekunden länger, hier kam es zu 94 maligen Öffnen und Schließen des Maules (Abb. 24). Im Vergleich dazu ging der Kauprozess bei dem Männchen beim Pellet über eine Dauer von ungefähr 80 Sekunden mit über 300 Maulöffnungs- und schließbewegungen (Abb. 25), was der dreifachen Dauer des Kauprozesses der Gurke mit vier Mal so vielen Kaubewegungen entsprach. Die Werte über die Dauer des Kauprozesses von der Karotte waren 2,5 Mal so niedrig wie diese vom Pellet.

Von Goldi, wurden die Daten auch im Detail für die einzelnen Videos ausgewertet und mit Hilfe von MS EXCEL dargestellt (Abb. 26 bis 28).

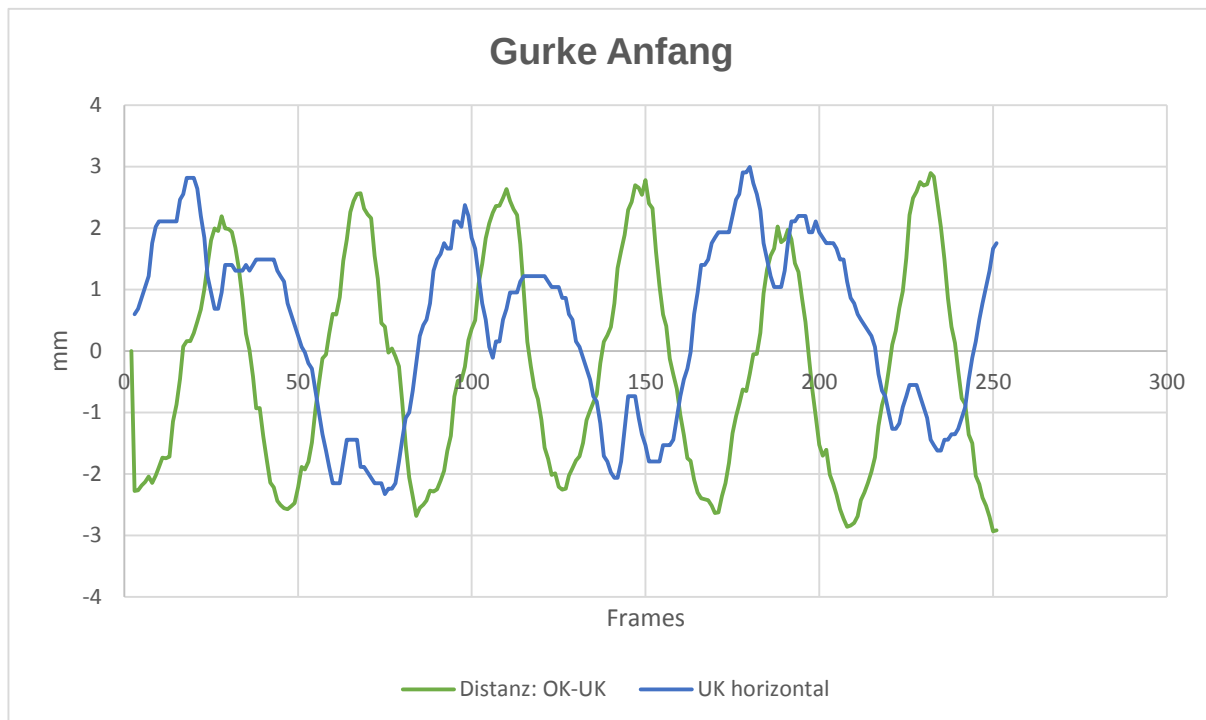


Abb. 26: sechs Kauzyklen eines Gurkenstückes in der Anfangsphase: Abstand von Oberkiefer zu Unterkiefer (grün), Bewegung Unterkiefer horizontal (blau).

Bei der Auswertung der Abb. 26 handelt es sich um ein Video mit sechs Maulöffnungs- und Maulschließbewegungen von Goldi am Anfang des Kauprozesses einer Gurke. Die Distanz zwischen Oberkiefer und Unterkiefer (grün) und die Bewegung des Unterkiefers in der Horizontalen (blau) wurden bei dem jeweiligen Frame übereinander gelegt. Begonnen wurde, wie der Unterkiefer beim geschlossenen Maul in einer zentralen Position war und es folgte abwechselnd eine Maulöffnung auf der linken und eine auf der rechten Seite. Die Distanz zwischen Unterkiefer und Oberkiefer wurde vor allem durch die vertikalen Bewegungen des Unterkiefers geprägt, weshalb es zu einer sehr guten Übereinstimmung der beiden Kurven kam. Die Distanz zwischen Oberkiefer und Unterkiefer wurde durch die horizontalen Bewegungen des Unterkiefers nur leicht verändert, weshalb diese auch in weiterer Folge nicht mehr beachtet werden. Die maximale Maulöffnung betrug 5,77 mm und die maximale Auslenkung von links nach rechts betrug 5,1 mm. Bei der horizontalen Bewegung des Unterkiefers war die Bewegungsabfolge zu sehen. Dabei bewegte *Cavia porcellus* zuerst den Unterkiefer schräg links nach unten. Bei der maximalen Öffnung folgte eine horizontale Bewegung des Unterkiefers zurück Richtung einer zentralen Position, bevor er sich wieder nach links bewegte. Im Anschluss daran folgten das Schließen des Maules und eine Auslenkung auf die rechte Seite mit dem gleichen Muster.

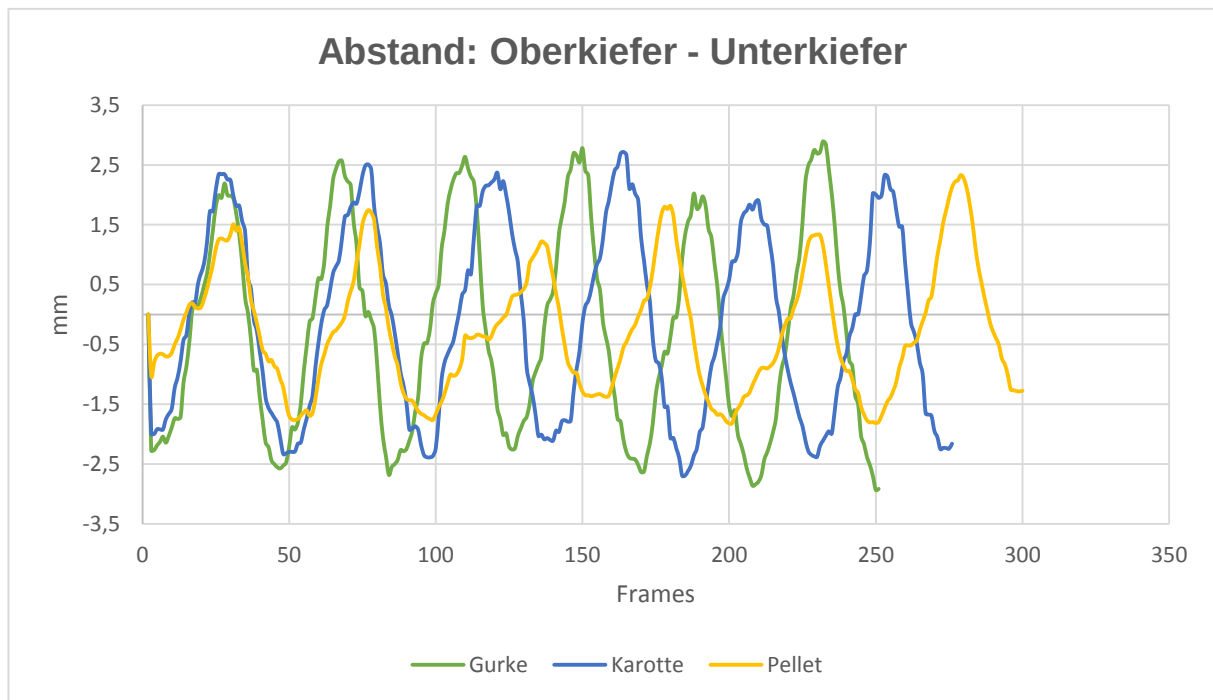


Abb. 27: Abstand von Oberkiefer zu Unterkiefer in der Anfangsphase. Sechs Maulöffnungs- und Maulschließphasen von den drei Nahrungstypen: Gurke (grün), Karotte (blau) und Pellet (gelb).

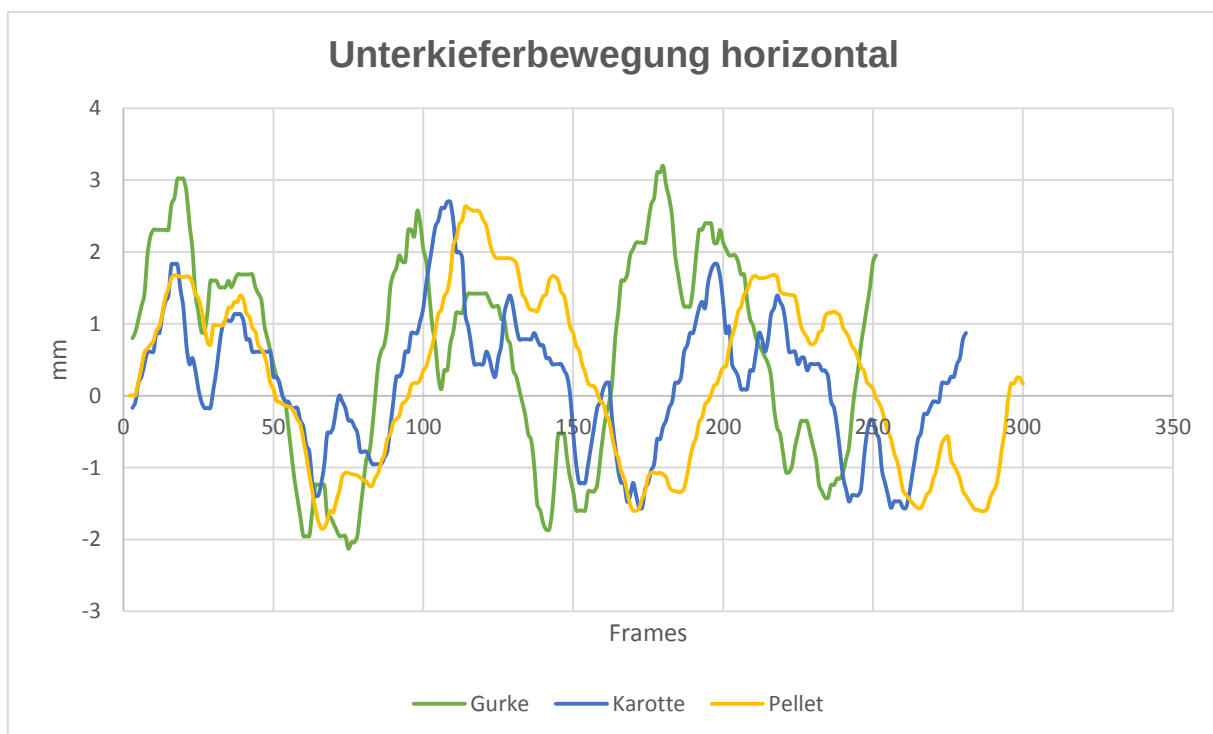


Abb. 28: Horizontale Bewegung des Unterkiefers in der Anfangsphase: Sechs Maulöffnungs- und Maulschließphasen von den drei Nahrungstypen: Gurke (grün), Karotte (blau) und Pellet (gelb).

Abb. 27 und 28 zeigen Vergleiche zwischen den einzelnen Futtersorten und stammen aus der Anfangsphase des Kauprozesses. Die geschnittenen Videos beinhalteten sechs Maulöffnungs- und Maulschließphasen. Zum besseren Vergleich wurde der erste Kauzyklus jeweils auf denselben Nullpunkt übereinandergelegt, was der halben Distanz zwischen dem geschlossenen Maul und der maximalen Öffnung entsprach. Es starteten alle bei einer geschlossenen zentralen Position des Unterkiefers und als erstes folgte eine Maulöffnung auf die linke Seite. Die sechs Kauphasen erfolgten von der Dauer als auch der Auslenkungen beim jeweiligen Futter sehr konstant. Vergleicht man die Kurven, ist eindeutig ersichtlich, dass die Kauzyklen für weiche Nahrung deutlich kürzer dauern als für die härtere. Die ersten sechs Kauphasen für die Gurke (grüne Kurve) waren schon nach 250 Frames, also nach einer Sekunde abgeschlossen, während sie bei der Karotte eine Dauer von 1,088 Sekunden und beim Pellet 1,208 Sekunden benötigten (Abb. 27 und 28). Weiters fällt auf, dass beim Pellet im Vergleich zur Gurke und zur Karotte den Unterkiefer nicht so weit geöffnet wurde, insgesamt war hier ein Unterschied von 1 mm zu erkennen (Abb. 27). Bei der Gurke und der Karotte konnten hier keine Unterschiede festgestellt werden. Bei der Karotte bewegte das Tier den Unterkiefer weiter zurück als beim Pellet und bei der Gurke, wobei der Unterschied zu Gurke nicht so extrem war, wie zum Pellet (Abb. 28).

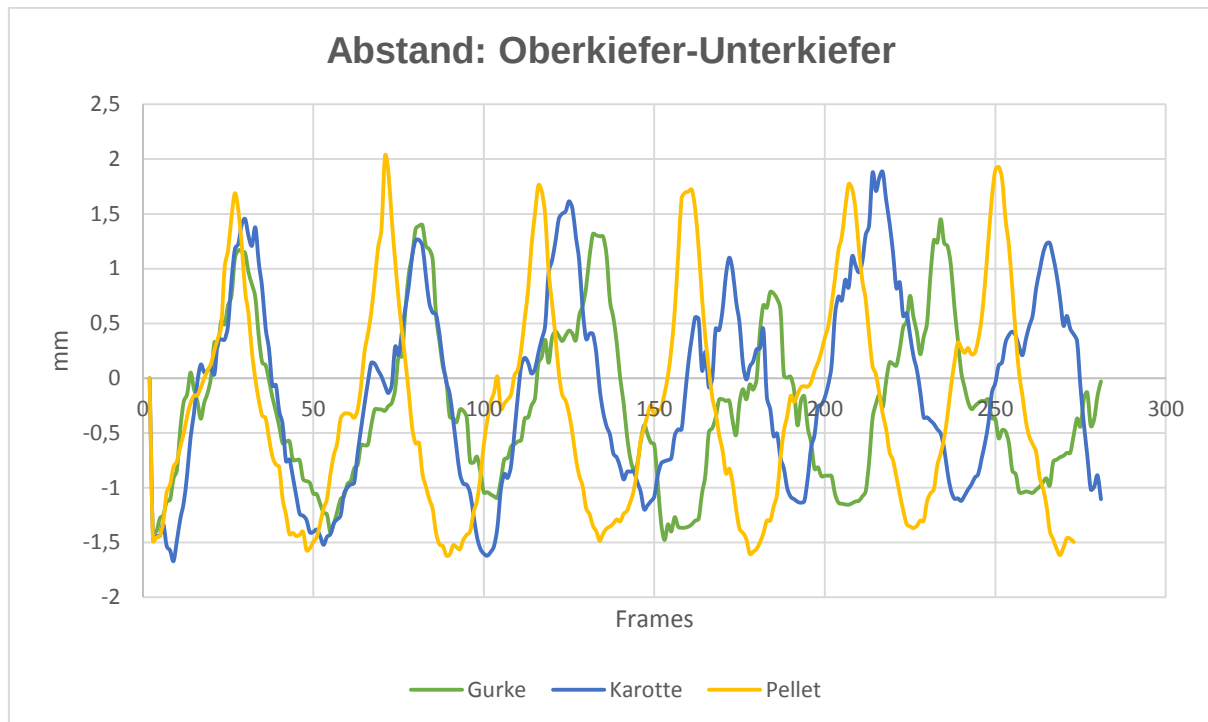


Abb. 29: Abstand von Oberkiefer zu Unterkiefer in der mittleren Phase. Sechs Maulöffnungs- und Maulschließphasen von den drei Nahrungstypen: Gurke (grün), Karotte (blau) und Pellet (gelb).

Im mittleren Bereich des Kauzyklus sind bei den drei Nahrungstypen mehr und mehr Unregelmäßigkeiten zu erkennen (Abb. 29), wobei hier bei den weicheren Nahrungstypen (Gurke und Karotte) deutlich mehr Unregelmäßigkeiten auftraten als bei der harten Nahrung. Außerdem war auch die Dauer, welche für drei bilaterale Kauzyklen benötigt wurde, jetzt bei den beiden weicheren Futtertypen annähernd gleich und nahm Werte zwischen der Dauer der Anfangsphase und der Endphase ein.

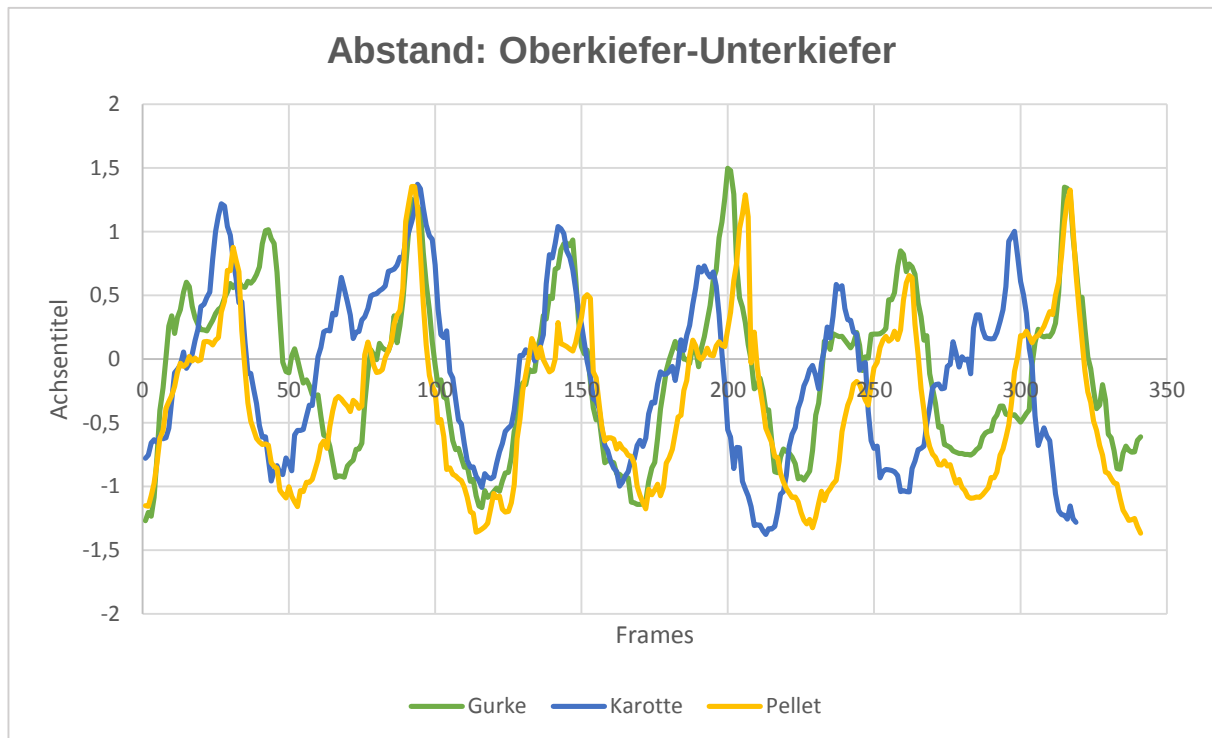


Abb. 30: Abstand von Oberkiefer zu Unterkiefer in der Endphase. Sechs Maulöffnungs- und Maulschließphasen von den drei Nahrungstypen: Gurke (grün), Karotte (blau) und Pellet (gelb).

Weiters wurden die Kurven des Abstands zwischen Oberkiefer und Unterkiefer in der Endphase gegenüber gestellt (Abb. 30). Die Dauer von sechs Kauzyklen ist jetzt bei der Gurke auf 1,32 Sekunden und bei der Karotte auf 1,28 Sekunden gestiegen, während sie sich bei den Pellets am wenigsten und zwar um 0,152 Sekunden (auf 1,36 Sekunden) verlängerte. Zwar waren noch immer eindeutige Maulöffnungs- und Maulschließphasen erkennbar, jedoch wurden die Bewegungen in sich unregelmäßiger und langsamer. Der Unterschied zwischen harter und weicher Nahrung wurde kleiner. Während am Anfang der Unterschied zwischen der Gurke und dem Pellet bei 0,208 Sekunden lag und sich die Dauer bei der Karotte in der Mitte der beiden Werte befand, war am Ende des Kauprozesses dieser Unterschied nicht mehr festzustellen. Der Unterschied nach sechs Maulöffnungsphasen bei der Gurke und dem Pellet lag nur noch bei 0,04 Sekunden und die Karotte wies einen geringeren Wert auf. Es kam auch während der Kauphase zum Ende hin immer wieder zu Pausen nach denen wieder weitergekaut wurde.

Beobachtet man die Maxima und Minima bei den Kurven (Abb. 27, 29 und 30), so war eine Abnahme bei der Maulöffnung zu verzeichnen. Während bei der Anfangsphase bei der Gurke die Maulöffnung noch ca. 5 mm betrug, war es bei der mittleren nur noch

ca. 3 mm und am Ende dann bei ca. 2 mm. Ähnliches lässt sich auch für die Karotte und das Pellet feststellen.

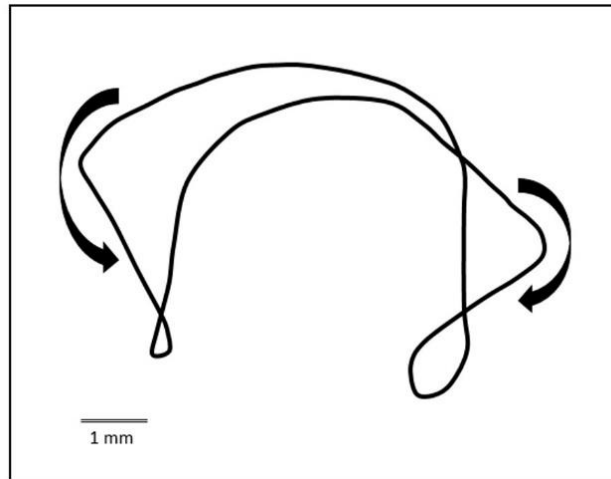


Abb. 31: Bilateraler Kauzyklus einer Gurke (Anfangsphase) von einem Weibchen (Sf03+).

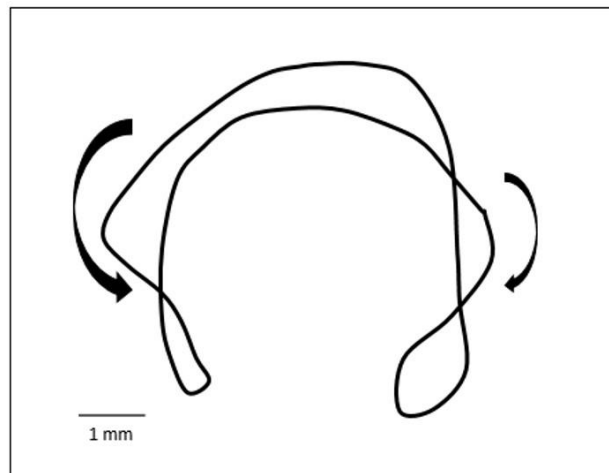


Abb. 32: Bilateraler Kauzyklus einer Karotte (Anfangsphase) von einem Weibchen (Sf03+).

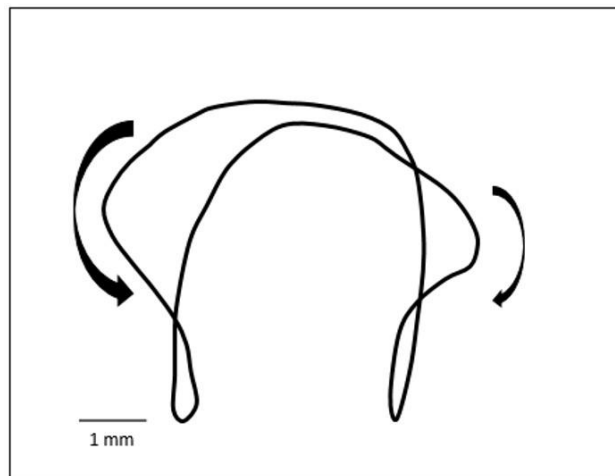


Abb. 33: Bilateraler Kauzyklus eines Pellets (Anfangsphase) von einem Weibchen (Sf03+).

Die Bewegungen des Unterkiefers bei einer bilateralen Kaubewegung waren bei allen drei Futtertypen sehr ähnlich (Abb. 31 bis 33). Beim Öffnen des Maules kam es zuerst zu einer Bewegung nach außen und dann wieder zurück Richtung Mitte. Diese Bewegung zurück in die Mitte war bei der Karotte und bei der Gurke stärker ausgeprägt als beim Pellet, wobei es bei der Karotte noch ein bisschen extremer war. Das Schließen des Maules erfolgte relativ gerade nach oben und erst als das Maul geschlossen war, wurde der Unterkiefer auf die rechte Seite bewegt. Beim Öffnen auf der rechten Seite war wieder ein ähnliches Muster erkennbar, da zuerst eine Bewegung nach außen erfolgte und als das Maul zu ca. zwei Drittel geöffnet war, kam es zu einer Bewegung nach innen und im Anschluss zu einer nach außen, wobei eine weitere Schleife entstand. Ebenso wie auf der linken Seite wurde das Maul zuerst geschlossen bzw. fast ganz geschlossen, bevor die Bewegung auf die andere Seite erfolgte. Diese Kaubewegung endete im selben Punkt wie sie begonnen hatte, es handelt sich also um einen bilateralen Kauzyklus.

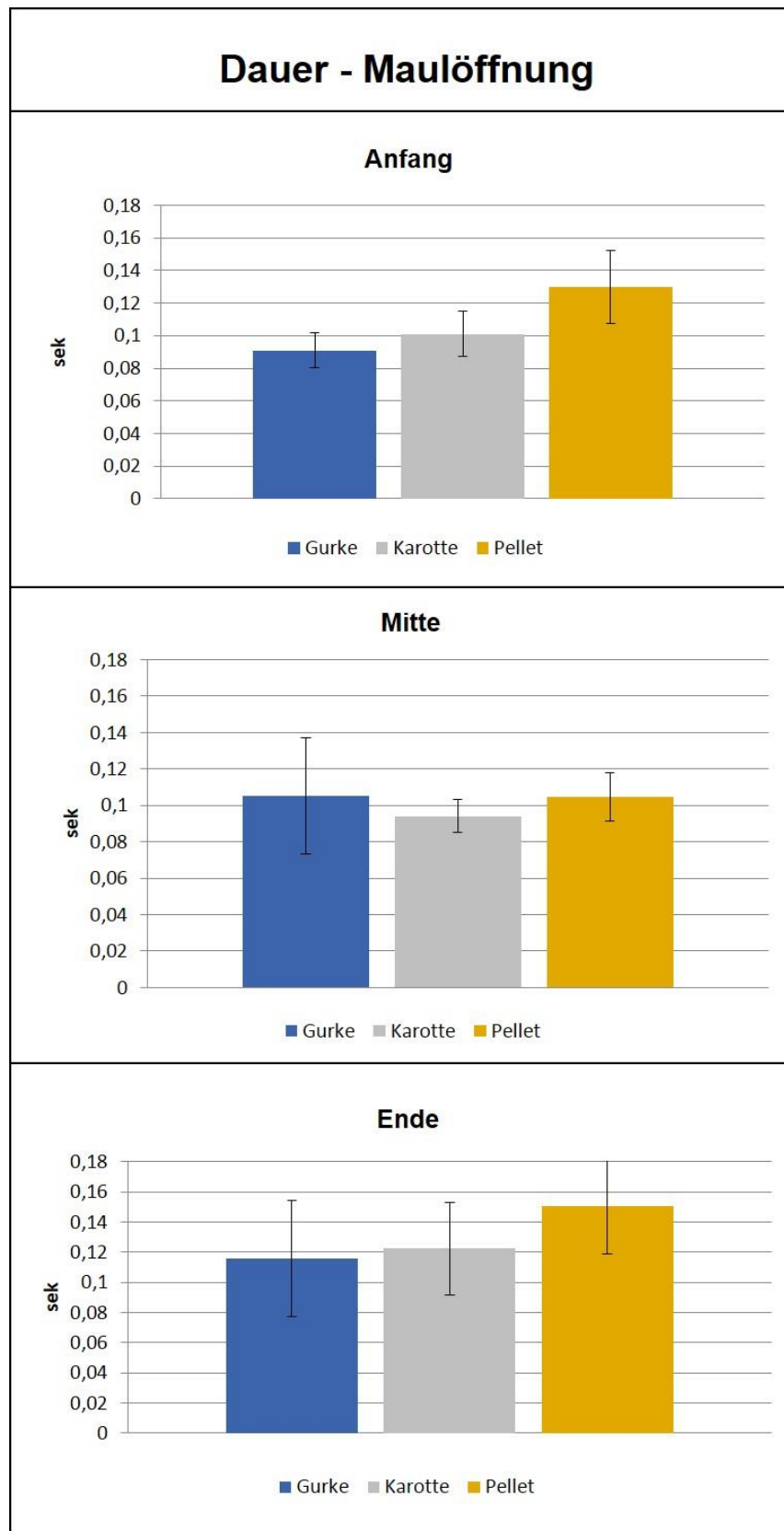


Abb. 34: Mittelwerte und Standardabweichungen der Dauer der Maulöffnung von Goldi bei den unterschiedlichen Nahrungstypen.

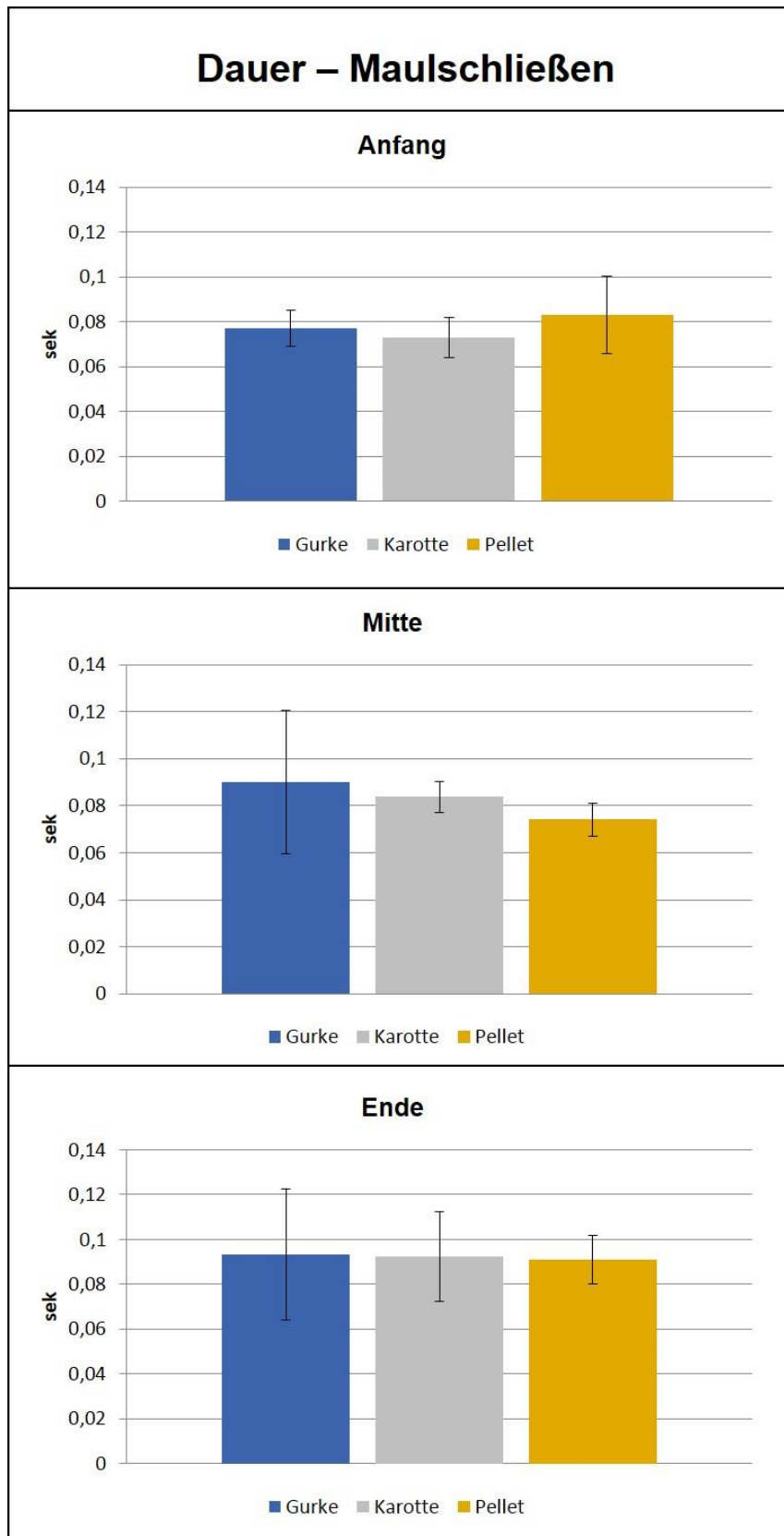


Abb. 35: Mittelwerte und Standardabweichungen der Dauer des Maulschließens von Goldi bei den unterschiedlichen Nahrungstypen.

In den Abb. 34 bis 37 wurden die Ergebnisse von Goldi im Detail ausgewertet. Dabei wurden die Mittelwerte über die Dauer aller Maulöffnungs- bzw. Mauschließbewegungen zu den jeweiligen Kauphasen und den Futtertypen gebildet (Abb. 34 und 35). Beim Öffnen des Maules wurde die Dauer immer länger, je länger der Kauprozess dauerte. Während beim Maulöffnen in der anfänglichen Kauphase zwischen der Gurke und dem Pellet ein größerer Unterschied von 0,04 Sekunden war und diese Dauer bei der Karotte einen Wert in der Mitte von beiden annahm, waren beim Schließen des Maules keine signifikanten Unterschiede zu erkennen. In der mittleren Kauphase gab es bei der Dauer des Maulöffnens keine großen Unterschiede, diese waren mit 0,01 Sekunden bei der Gurke und Karotte am unterschiedlichsten. Am Ende des Kauprozesses ergaben sich für das Pellet wieder deutlich höhere Werte als für die Gurke, nämlich war hier ein Unterschied von 0,035 Sekunden. Die Bewegung zum Öffnen des Maules im Laufe des Kauprozesses dauerte für alle drei Futtersorten etwa 0,02 Sekunden. Das Schließen des Maules erfolgte für alle drei Nahrungstypen schneller als das Öffnen des Maules und das auch für alle drei Phasen. Bei der Anfangsphase waren die Ergebnisse alle ca. 0,08 und in der Endphase bewegte sich die Dauer um 0,095. In der Mitte lagen die Werte bei 0,075 für die Dauer der Schließbewegung beim Pellet und 0,09 bei der Gurke. Bei der Dauer konnten bei der Anfangsphase und bei der Endphase im Gegensatz zur mittleren Phase für die Maulöffnung und das Schließen des Maules zwischen den unterschiedlichen Futtersorten signifikante Unterschiede festgestellt werden.

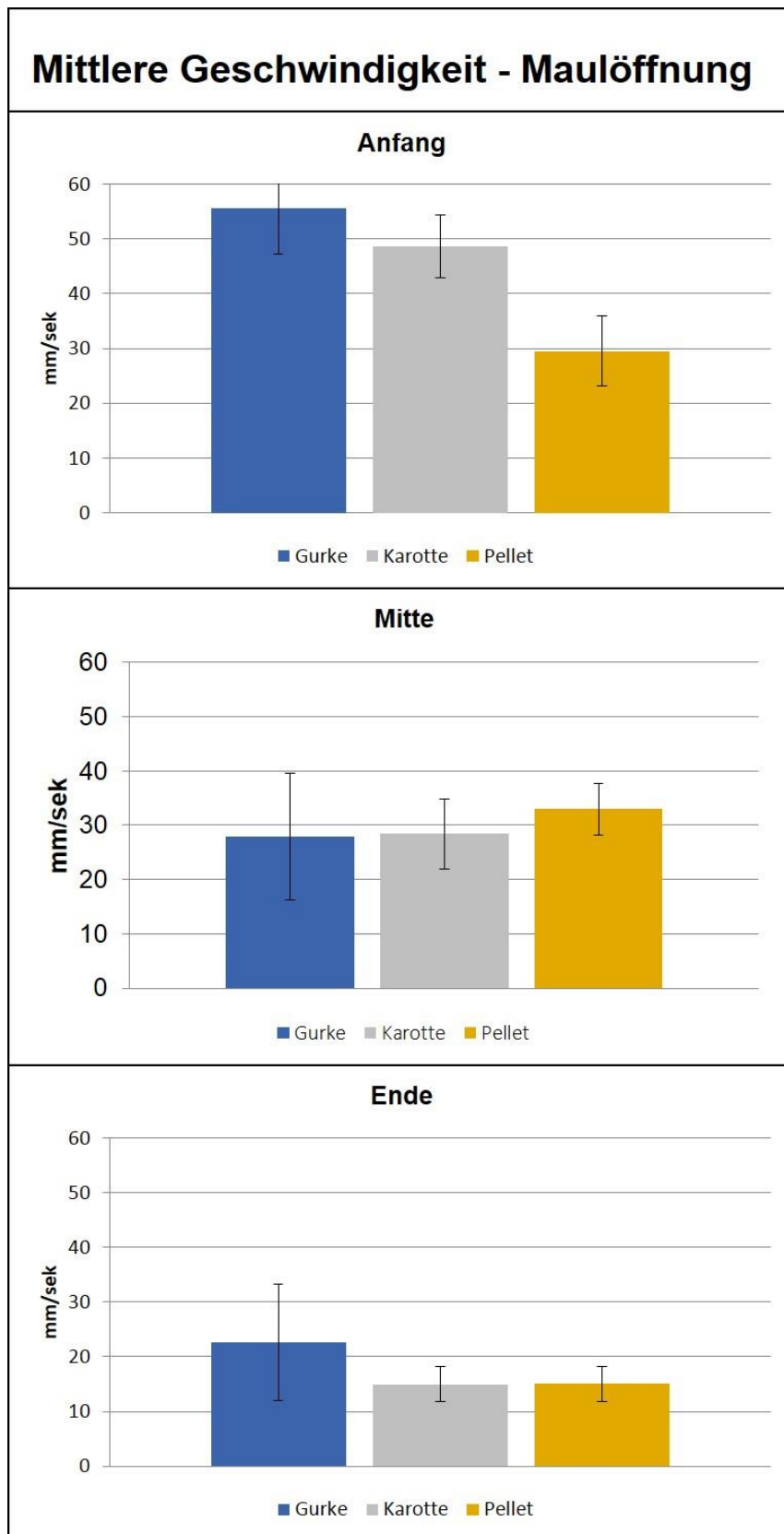


Abb. 36: Mittelwerte und Standardabweichungen der gemittelten Geschwindigkeit der Maulöffnung von Goldi bei den unterschiedlichen Nahrungstypen.

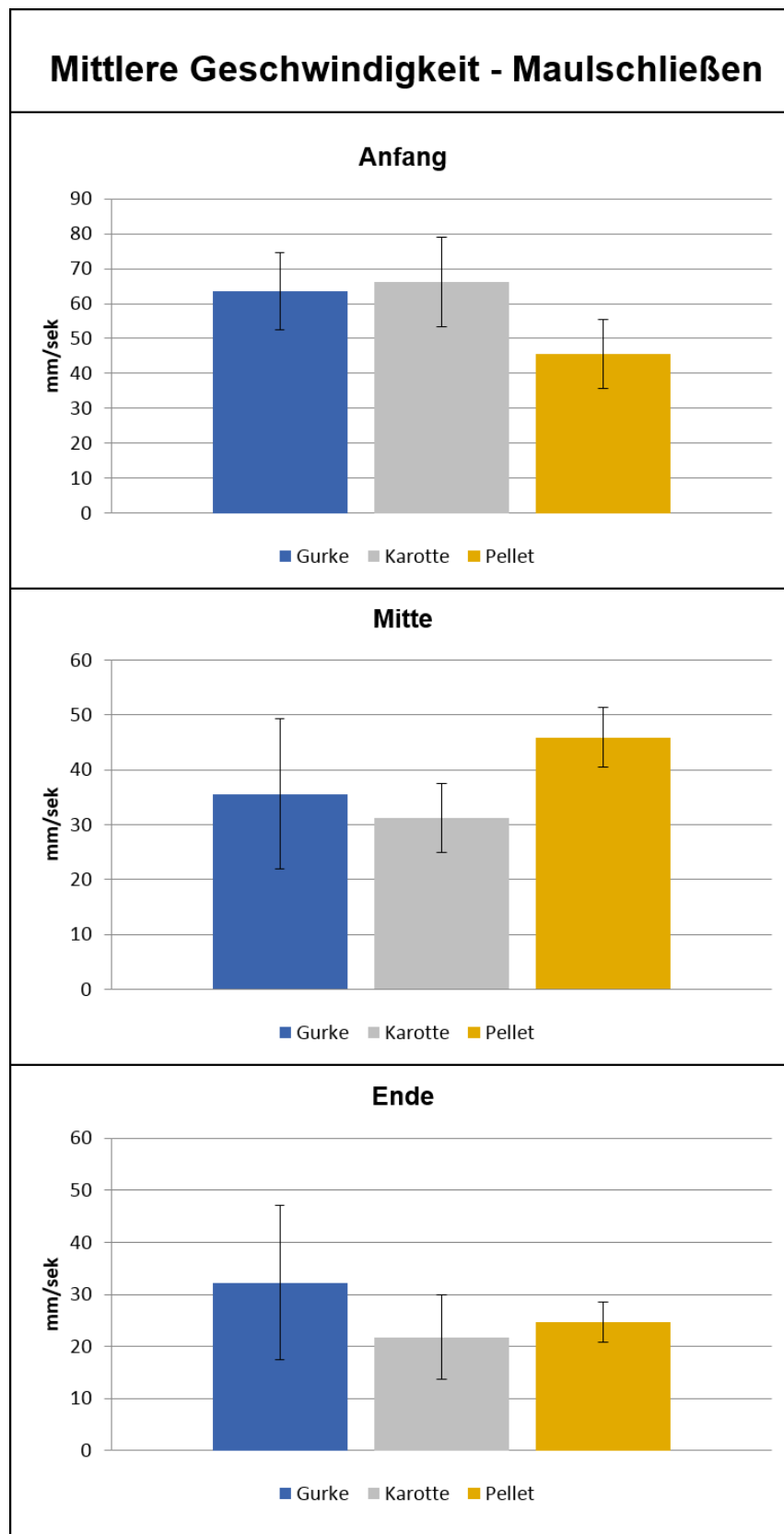


Abb. 37: Mittelwerte und Standardabweichungen der gemittelten Geschwindigkeit des Maulschließens von Goldi bei den unterschiedlichen Nahrungstypen.

Bei den Geschwindigkeiten lässt sich bei beiden, also dem Maulöffnen und –schließen (Abb. 36 und 37) feststellen, dass diese für alle drei Futtertypen gegen Ende abnimmt. Betrachtet man dies über den Kauprozess, so kam es bei der Gurke von 55 mm/sek zu einer Verlangsamung der Öffnungsbewegung auf 29 mm/sek bei der mittleren Phase und auf 23 mm/sek am Ende, also auf eine Abnahme von ca. 60 Prozent der Anfangsgeschwindigkeit. Bei der Karotte ergab sich ungefähr dieselbe prozentuelle Abnahme und beim Pellet halbierte sich die Geschwindigkeit von 30 mm/sek auf 15 mm/sek, wobei in der mittleren Kauphase kein Abfall, wie bei den anderen beiden Futtertypen, zu erkennen war. In der Anfangsphase waren bei der Gurke und beim Pellet starke Unterschiede vor allem in der Maulöffnungsbewegung erkennbar. Während dies beim Pellet 30 mm/sek betrug, war es bei der Gurke mit 55 mm/sek fast doppelt so schnell.

Für die Schließbewegung lässt sich zwischen dem Beginn und dem Ende der Schließgeschwindigkeit für alle drei Futtertypen zumindest eine Halbierung der Schließgeschwindigkeit feststellen. Jedoch gab es für die Futtertypen Unterschiede bei der Abnahme der Geschwindigkeit zwischen dem Beginn des Kauzyklus und der Mitte. Beim Pellet blieb die Geschwindigkeit bei der Schließbewegung annähernd gleich, im Gegensatz zur Gurke und zur Karotte, wo es bereits zwischen der Anfangsphase und der mittleren Kauphase zu einer Halbierung der Geschwindigkeit kam.

Signifikanztests zwischen den unterschiedlichen Futtersorten ergaben für die Anfangsphase eine sehr hohe Signifikanz, im Gegensatz zur mittleren Kauphase und zur Endphase.

Tab. 4: Ergebnisse aller Versuchstiere beim Fressen eines Gurkenstückes. MW = Mittelwert, S = Standardabweichung, n = 72.

Maulöffnung Anfang:	Dauer MW	Dauer S	Mittlere Geschwindigkeit MW	Mittlere Geschwindigkeit S
Männchen	0,1132	0,0387	39,5300	18,9210
Weibchen	0,0908	0,0220	44,1145	16,5028
Gesamt	0,1039	0,0340	41,4270	17,9540
Maulschließen Anfang:	Dauer MW	Dauer S	Mittlere Geschwindigkeit MW	Mittlere Geschwindigkeit S
Männchen	0,0621	0,0202	64,8128	12,5073
Weibchen	0,0710	0,0194	54,6452	17,9665
Gesamt	0,0660	0,0202	60,3534	15,8381
Maulöffnung Mitte:	Dauer MW	Dauer S	Mittlere Geschwindigkeit MW	Mittlere Geschwindigkeit S
Männchen	0,1174	0,0466	29,9295	14,9373
Weibchen	0,0880	0,0200	44,7611	12,6347
Gesamt	0,1035	0,0392	36,2987	16,4310
Maulschließen Mitte:	Dauer MW	Dauer S	Mittlere Geschwindigkeit MW	Mittlere Geschwindigkeit S
Männchen	0,0812	0,0297	45,4424	19,1199
Weibchen	0,0643	0,0184	64,0343	16,6373
Gesamt	0,0729	0,0255	55,3794	19,9987
Maulöffnung Ende:	Dauer MW	Dauer S	Mittlere Geschwindigkeit MW	Mittlere Geschwindigkeit S
Männchen	0,1163	0,0372	25,0642	12,1133
Weibchen	0,1155	0,0344	33,6754	15,9044
Gesamt	0,1159	0,0355	29,4428	12,9512
Maulschließen Ende:	Dauer MW	Dauer S	Mittlere Geschwindigkeit MW	Mittlere Geschwindigkeit S
Männchen	0,0763	0,0357	42,5524	20,9973
Weibchen	0,0679	0,0162	54,1720	13,5774
Gesamt	0,0718	0,0272	48,7495	18,2427

Tab. 5: Ergebnisse aller Versuchstiere beim Fressen eines Karottenstückes. MW = Mittelwert, S = Standardabweichung, n = 72.

Maulöffnung Anfang:	Dauer MW	Dauer S	Mittlere Geschwindigkeit MW	Mittlere Geschwindigkeit S
Männchen	0,1107	0,0248	38,3987	14,9747
Weibchen	0,1039	0,0170	43,6151	8,9069
Gesamt	0,1072	0,0213	41,0526	12,4380
Maulschließen Anfang:	Dauer MW	Dauer S	Mittlere Geschwindigkeit MW	Mittlere Geschwindigkeit S
Männchen	0,0359	0,0202	62,5969	14,5829
Weibchen	0,0712	0,0152	62,6614	15,2343
Gesamt	0,0537	0,0170	62,6317	14,8170
Maulöffnung Mitte:	Dauer MW	Dauer S	Mittlere Geschwindigkeit MW	Mittlere Geschwindigkeit S
Männchen	0,0956	0,0297	30,9094	11,1362
Weibchen	0,0870	0,0206	46,9446	12,1323
Gesamt	0,0914	0,0256	39,0677	14,0996
Maulschließen Mitte:	Dauer MW	Dauer S	Mittlere Geschwindigkeit MW	Mittlere Geschwindigkeit S
Männchen	0,0778	0,0149	32,5072	9,7610
Weibchen	0,0658	0,0107	66,4737	18,3961
Gesamt	0,0712	0,0142	49,4904	22,5036
Maulöffnung Ende:	Dauer MW	Dauer S	Mittlere Geschwindigkeit MW	Mittlere Geschwindigkeit S
Männchen	0,1268	0,0347	13,5303	3,9108
Weibchen	0,0883	0,0211	52,4430	13,6635
Gesamt	0,1075	0,0344	32,9866	22,2230
Maulschließen Ende:	Dauer MW	Dauer S	Mittlere Geschwindigkeit MW	Mittlere Geschwindigkeit S
Männchen	0,0860	0,0265	21,4846	9,9875
Weibchen	0,0689	0,0206	70,4911	28,3566
Gesamt	0,0786	0,0254	42,7516	31,5770

Tab. 6: Ergebnisse aller Versuchstiere beim Fressen eines Pellets. MW = Mittelwert, S = Standardabweichung, n = 72.

Maulöffnung Anfang:	Dauer MW	Dauer S	Mittlere Geschwindigkeit MW	Mittlere Geschwindigkeit S
Männchen	0,1336	0,0239	27,1840	6,0046
Weibchen	0,0959	0,0276	48,0980	10,5624
Gesamt	0,1142	0,0319	37,9578	13,5927
Maulschließen Anfang:	Dauer MW	Dauer S	Mittlere Geschwindigkeit MW	Mittlere Geschwindigkeit S
Männchen	0,0853	0,0203	42,5510	10,4802
Weibchen	0,0852	0,0132	52,2360	11,1406
Gesamt	0,0853	0,0167	47,7549	11,8074
Maulöffnung Mitte:	Dauer MW	Dauer S	Mittlere Geschwindigkeit MW	Mittlere Geschwindigkeit S
Männchen	0,1308	0,0470	27,2884	12,2266
Weibchen	0,0869	0,0202	51,1248	12,5676
Gesamt	0,1086	0,0420	39,3742	17,1936
Maulschließen Mitte:	Dauer MW	Dauer S	Mittlere Geschwindigkeit MW	Mittlere Geschwindigkeit S
Männchen	0,0906	0,0222	58,4025	17,8090
Weibchen	0,0926	0,0180	47,8961	12,4819
Gesamt	0,0916	0,0262	53,0753	16,1225
Maulöffnung Ende:	Dauer MW	Dauer S	Mittlere Geschwindigkeit MW	Mittlere Geschwindigkeit S
Männchen	0,1577	0,0466	15,2813	30,7664
Weibchen	0,1141	0,0346	15,1110	30,3649
Gesamt	0,1359	0,0473	15,2246	30,5657
Maulschließen Ende:	Dauer MW	Dauer S	Mittlere Geschwindigkeit MW	Mittlere Geschwindigkeit S
Männchen	0,0776	0,0261	37,3084	22,8911
Weibchen	0,0700	0,0307	38,1139	59,4460
Gesamt	0,0738	0,0278	37,6104	40,0284

Bei den Tabellen 4 bis 6 wurden die Ergebnisse über alle vier Tiere zu den jeweiligen Nahrungstypen ausgewertet. Dabei wurde zu den drei Phasen: Anfang, Mitte und Ende, jeweils die Dauer der Maulöffnung und des Maulschließens ausgewertet. Dasselbe wurde dann auch für die mittlere Geschwindigkeit gemacht. Dabei wurde immer der Mittelwert und die dazugehörige Standardabweichung dieser Daten zuerst separat für die beiden Männchen bzw. für die beiden Weibchen berechnet und in weiterer Folge wurde der Mittelwert bzw. die Standardabweichung über alle Ergebnisse gebildet. Da von jedem Tier drei Videos mit sechs Kauzyklen zu jeder Phase ausgewertet wurden, wurden die gesamten Werte mit einer Anzahl von $n = 72$ gemittelt.

Vergleicht man die Männchen und Weibchen, so fällt auf, dass die Dauer sowohl beim Maulöffnen als auch beim Maulschließen bei den Männchen fast immer länger ist, als bei den Weibchen. Wie auch bei der Auswertung des einzelnen Individuums, lässt sich beim Öffnen und Schließen des Maules feststellen, dass die Dauer zunahm. Vor allem bei den beiden Weibchen kommt es zu einer längeren Dauer bei der Maulöffnung.

Bei der Geschwindigkeit traten große Unterschiede zwischen den Männchen und Weibchen auf. Vergleicht man die Werte von der Anfangs- und der Endphase, so kam es meist zu einer Abnahme der Geschwindigkeit bei den Weibchen als auch bei den Männchen.

5. Diskussion

5.1 Allgemein

Die Nahrungsaufnahme und -aufbereitung ist bei heterotrophen Organismen eine wichtige Voraussetzung für das Überleben. Da *Cavia porcellus* strikt herbivor ist, spielt vor der Nahrungsaufnahme das Auffinden der Nahrung eine wichtige Rolle und es mussten keine Mechanismen für schnelle Bewegungen entwickelt werden, um eine schnell fliehende Nahrung zu fangen. Während die Wildmeerschweinchen vor allem zu den Dämmerungszeiten am Morgen und am Abend aktiv sind und nach Nahrung suchen, lässt sich beim Hausmeerschweinchen nur schwer ein solches Aktivitätsmuster feststellen, jedoch scheint es, dass sie direktes Licht meiden (CLEMONS & SEEMANN, 2011). Während der Forschungsarbeiten zeigte dies die direkte Bestrahlung mit den Kaltlichtlampen auf, da die Tiere stets versuchten sich der direkten Lichteinstrahlung abzuwenden. Bei einzeln gehaltenen Hausmeerschweinchen konnte man im Labor auch eine Aktivität von 20 Stunden feststellen. Außerdem fressen sie so lange, wie Nahrung zur Verfügung steht und teilen sich die zur Verfügung stehende Nahrung nicht über einen Zeitraum ein. Aufgrund des hohen Vitamin C Bedarfs der Hausmeerschweinchen werden sie Großteils mit Pellets gefüttert, welche speziell für Meerschweinchen entwickelt wurden. Ihnen sollte auf keinen Fall Kaninchenfutter gegeben werden, da es den Vitamin C Bedarf von *Cavia porcellus* nicht deckt. Zusätzlich fressen sie auch frisches Gemüse und Heu, um genügend Ballaststoffe zu bekommen. Da sie die pflanzlichen Organismen nicht gänzlich resorbieren können, wird auch der eigene Kot wieder gefressen (CLEMONS & SEEMANN, 2011).

Bei Hausmeerschweinchen ist im Optimalfall das Futter nicht weit von einem Häuschen, unter dem sie sich verstecken können, entfernt, so müssen sie sich nicht weit davon weg bewegen. Bevor die Nahrung aufgenommen wird, erfolgt eine Kontrolle der Nahrung durch den Geruchssinn.

Bei der Nahrungsaufnahme verwendet *Cavia porcellus* im Vergleich zu anderen Arten der Ordnung Rodentia wie zum Beispiel die Ratte oder der Hamster die Vorderfüße nicht, sondern verwendet dazu ausschließlich das Maul, allem voran die Incisivi (BYRD, 1981; Abb. 22).

5.2 Anatomische Analysen

Der Kopf des Hausmeerschweinchens nimmt ca. ein Drittel der gesamten Körperlänge ein. Aufgrund der Zähne lässt sich feststellen, dass es sich bei dem Exemplar, welches für das CT verwendet wurde, um ein adultes Individuum handelte. Durch die Verwachsungen im Schädelbereich sind auch die einzelnen Knochenplatten, ausgenommen das Os incisivum, nicht so gut erkennbar. Zwischen Os nasale und Os maxillare ist eine Erhebung erkennbar, welche das Os incisivum darstellt. In posteriore Richtung ist nach ca. 2 cm der Übergang zum Os maxillare erkennbar. Beim Jochbogen ist auf halber Höhe auch der Übergang vom Os maxillare zum Os zygomaticum zu sehen. Dieser überdeckt in der lateralen Ansicht (Abb. 9) den Processus coronoideus, welcher die Ansatzstelle des M. temporalis ist. Wichtige Elemente für die Nahrungsaufnahme und -bearbeitung stellen im oberen Bereich des Schädels vor allem das Os incisivum und die Maxilla als Halterung für die Incisivi, Prämolare und Molare dar, während die unteren Zähne in der Mandibula alle beim Corpus mandibulae verankert sind.

Bei den oberen und unteren Schneidezähnen ist eine stärkere Abnutzung lingual festzustellen, da die Außenseite mit Zahnschmelz überzogen ist, wodurch sie nach außen hin immer zugespitzt bleiben. Durch die scharfe Außenkante ist das Abnagen von harter Nahrung möglich. Beim Hausmeerschweinchen sind nicht nur die Incisivi wurzellos, sondern auch die Prämolaren und Molaren. Da sie keine Wurzelkanäle ausgebildet haben, sondern in Richtung der Alveolen offene pulpagefüllte Zahnhöhlen besitzen, ist bei allen Zähnen ein lebenslanges Wachstum möglich, was zur Folge hat, dass eine regelmäßige Abnutzung garantiert sein muss (MÜTSCHARD, 2008). Auf Abbildung 12 ist erkennbar, dass die Incisivi jedoch nicht weit aus dem Kiefer herausragen. Während die Schneidezähne einer scharfen Beißzange gleichen, sind die Zahnflächen der Prämolaren und Molaren perfekt aufeinander abgestimmt und es entsteht mit den Querleisten bei den Mahlzähnen eine gute Fläche, um die Nahrung zu zerkleinern (WOERLE & WOLF, 1977).

Neben den knöchernen Strukturen spielt die Muskulatur, welche für die Bewegung des Unterkiefers zuständig ist, eine entscheidende Rolle. COX & JEFFERY (2011) machten microCT Bilder von einem Hausmeerschweinchen, einer Wanderratte (*Rattus*

norvegicus) und einem Grauhörnchen (*Sciurus carolinensis*, GMELIN, 1788) und verglichen mit Hilfe von Amira 5.2 die Rekonstruktionen der Kaumuskulatur. Betrachtet man den Verlauf des deep masseters und des M. zygomaticomandibularis, so kann man die drei Arten den drei Gruppen zuordnen, wobei das Hausmeerschweinchen zu den Hystricomorpha, die Wanderratte zu den Sciuromorpha und das Grauhörnchen zu den Myomorpha gehört. Neben Unterschieden bei diesen zwei Muskeln können auch Unterschiede bei der Größe und der Form des Jochbogens als auch beim M. temporalis festgestellt werden. Zwar ist der Verlauf M. temporalis bei den drei Arten vom hinteren Teil des Schädels durch die Augenhöhle bis zum Ansatz beim Processus coronoideus derselbe, jedoch ist beim Hausmeerschweinchen im Vergleich zur Wanderratte und zum Grauhörnchen der M. temporalis nicht in einen medialen und lateralen Teil geteilt (Abb. 38).

Vergleicht man die prozentuellen Anteile des M. temporalis an der gesamten Kaumuskulatur, so beträgt er beim Hausmeerschweinchen 10,65 Prozent, beim Grauhörnchen 12,03 Prozent und bei der Wanderratte nimmt er mit 26,86 Prozent mehr als einen doppelt so hohen Anteil ein (COX & JEFFERY, 2011). Beim Vergleich mit den Ergebnissen von COX & JEFFERY (2011) mit den neuen Rekonstruktionen (vgl. Abb. 12 bis 15 mit Abb. 38 (A)), erscheint der M. temporalis beim Hausmeerschweinchen bei den Rekonstruktionen von COX & JEFFERY (2011) größer. Grund dafür könnte die Präparationsmethode sein, da hier Unterschiede in der Lagerung des Tieres vor der Hinzugabe des Kontrastmittels, beim Einfärben und dem anschließenden Fixieren gegeben sind. Die Exemplare, welche von der Verhaltensbiologie zur Sektion und zum CT zur Verfügung gestellt wurden, waren beide gefroren, wobei kein genauer Zeitpunkt des Einfrierens bekannt war. Vergleicht man die Größe des M. temporalis bei der Rekonstruktion (Abb. 12 bis 15) mit dem der Sektion (Abb. 17) so fällt auf, dass der M. temporalis beim seziierten Exemplar ca. der Größe bei der Rekonstruktion von COX & JEFFERY (2011) entsprach. Wodurch man diesen Unterschied, sofern man von einer großen Ähnlichkeit zwischen den unterschiedlichen Individuen ausgehen kann, auf das Kontrastmittel oder die Fixierung beziehen könnte. COX & JEFFERY (2011) verwendeten eine Iod-Kaliumiodid-Lösung (I₂KI), wo das Iod in Wasser gelöst wird, als Kontrastmittel und fixierten die Exemplare in einer Phosphat-gepufferten Kochsalzlösung, wodurch eine Langzeitlagerung mit begrenzter Gewebsschrumpfung möglich war. In weiterer Folge wurde dann erneut

I₂KI als Kontrastmittel verwendet, wobei die Dauer stark von der Größe des Objekts abhängig war. Im Vergleich dazu wurde bei der aktuellen Rekonstruktion der Hausmeerschweinchenschädel zum Kontrastieren für 25 Tage in eine 100%ige Ethanol mit 1%iger Iod Lösung gelegt. Hier könnte es also durch den Alkohol zum Schrumpfen des Gewebes gekommen sein, wodurch der M. temporalis bei diesen Rekonstruktion ein viel kleineres Volumen aufwies als bei der Sektion und bei den Rekonstruktionen von COX & JEFFERY (2011). Zwar wird bei COX & JEFFERY (2011) der prozentuelle Anteil mit dem Gewicht berechnet und bei der aktuellen wird das Volumen verwendet, jedoch sind große Unterschiede im prozentuellen Anteil erkennbar. Hier nimmt der M. temporalis nur 7 Prozent, und bei COX & JEFFERY (2011), wenn man dieselben Muskeln miteinberechnet genau das Doppelte ein.

Große Unterschiede gibt es bei den drei verschiedenen Arten aus COX & JEFFERY (2011) beim superficial masseter und beim deep masseter. Beim Hausmeerschweinchen nimmt er mit ca. 45 Prozent fast die Hälfte der Kaumuskulatur ein, während er bei der Wanderratte (20,42 Prozent) und beim Grauhörnchen (27,37 Prozent) einen viel kleineren Teil einnimmt. Der superficial masseter hat seinen Ursprung auf der lateralen Seite des Jochbogens und läuft beim Unterkiefer zum Winkel beim Ramus mandibulae (COX & JEFFERY 2011). Seine Aufgabe ist die Hebung des Unterkiefers, wodurch der Kieferschluss möglich ist (WOERLE & WOLF, 1977). Während beim deep masseter bei *Rattus norvegicus* und *Sciurus carolinensis* zwei Teile zu erkennen sind (anteriorer und posteriorer Teil des deep masseters), ist so eine Unterteilung bei *Cavia porcellus* nicht möglich. Zwar ist bei allen die Ansatzstelle wieder beim Angulus mandibulae, jedoch unterscheidet sich der Ursprung, was wahrscheinlich mit der unterschiedlichen Struktur des Jochbogens zusammenhängt (COX & JEFFERY 2011; Abb. 6). Verglichen mit den Ergebnissen von COX & JEFFERY (2011) ist beim untersuchten Exemplar hier der Anteil des deep masseters viel höher und nimmt das halbe Volumen des superficial masseters ein. Die Anteile zum Volumen bei den Rekonstruktionen des superficial masseters und des M. zygomaticomandibularis stimmen gut mit den prozentuellen Anteilen des Gewichts der Ergebnisse aus COX & JEFFERY (2011) überein.

Für die Unterscheidung in Hystricomorpha, Sciuromorpha und Myomorpha ist auch die Lage des infraorbitalen Teils des M. zygomaticomandibularis wichtig (HAUTIER ET AL., 2010). Bei der neuen Rekonstruktion des M. zygomaticomandibularis bei *Cavia porcellus* war eine Dreiteilung in den infraorbitalen, anterioren und posterioren Teil festzustellen. Der Verlauf des infraorbitalen Teils des M. zygomaticomandibularis ging vom Ursprung beim Os incisivum durch das Foramen infraorbitale zum Ansatz in der Grube zwischen Crista masseterica und der Alveolarwand unterhalb des 1. Molars, was mit der Rekonstruktion von COX & JEFFERY (2011) übereinstimmt.

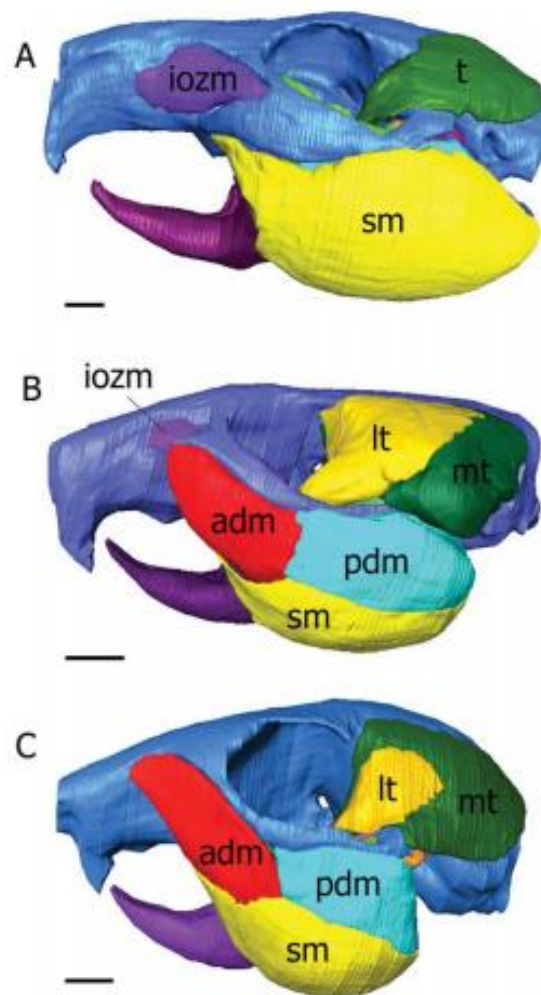


Abb. 38: Laterale Ansicht des Schädels und der Kaumuskulatur von *Cavia porcellus* (A), *Rattus norvegicus* (B) und *Sciurus carolinensis* (C): adm = anteriorer Teil des deep masseter, dm = deep masseter, iozm = infraorbitaler Teil des M. zygomaticomandibularis, mt = medialer Teil des M. temporalis, lt = lateraler Teil des temporalis, pdm = posteriorer Teil des deep masseter, sm = superficial masseter, t = M. temporalis. Maßstab: 5mm. (aus COX & JEFFERY, 2011).

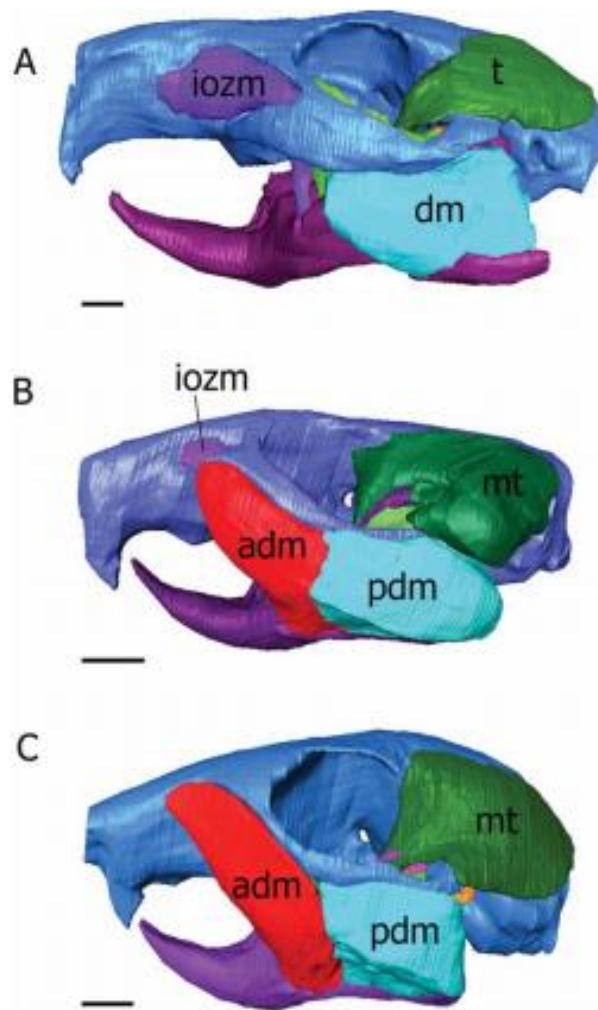


Abb. 39: Laterale Ansicht des Schädels und der Kaumuskulatur ohne dem superficial masseter und dem lateralen Teil des M. temporalis von *Cavia porcellus* (A), *Rattus norvegicus* (B) und *Sciurus carolinensis* (C): adm = anteriorer Teil des deep masseters, dm = deep masseter, iozm = infraorbitaler Teil des M. zygomaticomandibularis, mt = medialer Teil des M. temporalis, pdm = posteriorer Teil des deep masseters, t = M. temporalis. Maßstab: 5mm. (aus COX & JEFFERY, 2011).

Vernachlässigt wurden bis jetzt die zwei Teile des M. pterygoideus. Der M. pterygoideus internus und externus (WOERLE & WOLF, 1977; COX & JEFFERY, 2011) wird in der Literatur immer wieder als M. pterygoideus medialis bzw. lateralis bezeichnet (BYRD, 1981; POPESKO ET AL., 2002). Bei diesen beiden Muskeln sind nur geringe Unterschiede beim Hausmeerschweinchen, der Wanderratte und dem Grauhörnchen festzustellen. Der M. pterygoideus externus nimmt nur einen prozentuellen Anteil von drei Prozent ein, hat seinen Ursprung beim Processus pterygoideus und zieht auf der medialen Seite des Ramus mandibulae Richtung Angulus mandibulae. Der M. pterygoideus internus nimmt im Vergleich zum externus mit ca. 19 Prozent einen relativ großen Teil ein. Dieser findet seinen Ursprung bei der lateralen Seite des Processus

pterygoideus des Keilbeins und hat den Ansatz auf der Innenseite beim Rand des Processus angularis (WOERLE & WOLF, 1977; COX & JEFFERY, 2011).

Der M. masseter ist für den Kieferschluss zuständig und diese Bewegung wird durch den M. temporalis unterstützt. Dabei ist der anteriore Teil des deep masseters vor allem bei der Nagebewegung von Bedeutung, was die Reduktion beim Hausmeerschweinchen erklären würde, da diese im Vergleich zur den anderen beiden die Incisivi bei der Nahrungsaufbereitung nicht so stark verwenden. Der laterale Teil des M. temporalis scheint eine stabilisierende Funktion bei der Mahlbewegung zu übernehmen, wodurch es beim Hausmeerschweinchen durch die Reduktion zu einer Anpassung gekommen sein könnte, da bei der Mahlbewegung vor allem ein Zermahlen der Nahrung wichtig und kein kräftiger Kieferschluss nötig ist (Cox & JEFFERY, 2011, COX ET AL., 2012). Bei der Funktion des M. pterygoideus gibt es zum einen die Theorie, dass der M. pterygoideus der Gegenspieler des M. temporalis ist. Durch ihre gemeinsame Kontraktion erreichen sie eine Vorwärtsbewegung des Gelenkfortsatzes des Unterkiefers und haben so bei der Kaubewegung eine wichtige Aufgabe (WOERLE & WOLF, 1977). Zum anderen sollten beide Teile des M. pterygoideus bei der lateralen Bewegung des Unterkiefers eine entscheidende Rolle spielen. Vor allem beim Hausmeerschweinchen kommt es im Vergleich zur Wanderratte und zum Grauhörnchen zu vielen Mahlbewegungen mit seitlichen Bewegungen, was die starke Ausprägung des M. pterygoideus beim Hausmeerschweinchen erklären würde. Bei *Rattus norvegicus* ist sowohl der deep masseter als auch der M. pterygoideus stark ausgebildet, was zeigt, dass die Ratte ein Universalist ist und sowohl eine effiziente Nagebewegung als auch eine kräftige Kaubewegung der Mahlzähne beherrscht (COX & JEFFERY, 2011).

Weiters wurde die Zunge rekonstruiert. Nach vorne hin war diese relativ spitz und im Bereich des Übergangs zwischen Nageraum und Kauraum wurde diese verbreitet. In dem Bereich des Übergangs veränderte sich auch die Beschaffenheit der Zunge. Während der Nahrungsaufnahme war sie nur selten ein kleiner Teil der Zunge zu sehen und vermutlich dient sie vor allem dem Nahrungstransport in den Kauraum und wahrscheinlich hilft sie bei der Bewegung der Nahrung im Kauraum.

5.3 Kinematische Analysen

5.3.1 Nahrungsaufnahme

Cavia porcellus verwendet im Gegensatz zu anderen Nagetieren wie zum Beispiel Hamster oder Ratte, nicht die Vorderfüße zur Nahrungsaufnahme, sondern diese erfolgt ausschließlich mit den Incisivi und den Lippen. Die Zunge dient dem Nahrungstransport vom vorderen Nageraum in den Kauraum (BYRD, 1981). Bei der Nahrungsaufnahme kam es zu einer Kopf- und, wenn notwendig einer Körperbewegung zum Futter und unabhängig davon, ob die Nahrung vom Boden oder fixiert von einer Halterung in der Luft aufgenommen wurde, waren hier vor allem die Incisivi für die Nahrungsaufnahme von Bedeutung. Die Lippen schienen mehr die Funktion zu übernehmen, die Nahrung zu drehen, während sie von den Incisivi festgehalten wurde, was vor allem bei der Nahrungsaufnahme vom Boden weg eine wichtige Rolle spielte. BYRD (1981) analysierte die Bewegung des Unterkiefers mithilfe eines optoelektronischen Trackingsystems und die Muskelbewegungen durch EMG (Elektromyographie), wobei der Kopf der Versuchstiere fixiert wurde. Als harte Nahrung wurden Pellets verwendet und als weiche Karotten, die ebenfalls in gleich große Stücke geschnitten wurden. Für die Nagezyklen konnten vor allem anteriore und posteriore Bewegungen des Unterkiefers festgestellt werden und weniger starke Auslenkungen buccal und lingual (Abb. 40). Vergleicht man die anteroposteriore Bewegung des Unterkiefers, so erfolgt diese Bewegung in die umgekehrte Richtung wie bei den Kauzyklen (BYRD, 1981). Beim Vergleich der Dauer der Nahrungsaufnahme kann bei den drei Futtertypen ein signifikanter Unterschied zwischen den weichen und den harten Nahrungstypen festgestellt werden. Das erste Zupacken bei der Nahrungsaufnahme nahm zwar bei allen drei Nahrungstypen mit ca. 0,148 Sekunden fast dieselbe Dauer ein, jedoch war ein großer Unterschied bis die Nahrung aus lateraler Sicht gänzlich im Mund verschwunden war. Das Gurkenstück verschwand insgesamt nach einer halben Sekunde im Mund, während es beim Pelletstück von derselben Größe fast 2,5 Sekunden dauerte, jedoch war bei der harten Nahrung eine viel größere Variation in der Dauer einzelner Nahrungsaufnahmen festzustellen als bei der weichen Nahrung. Es scheint, als würde das Pellet von den Nagezähnen bereits mehr aufbereitet als die weiche Nahrung.

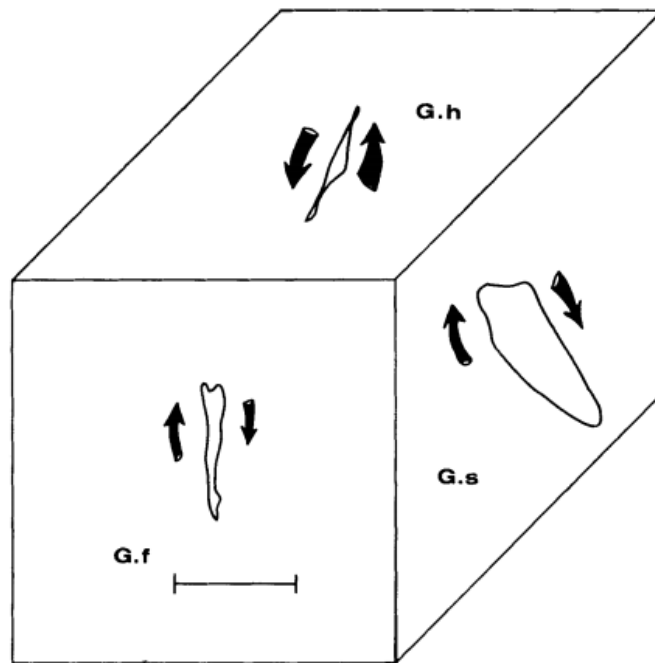


Abb. 40: 3D Rekonstruktion eines Nagezyklus. Die Pfeile beschreiben die Bewegung des Unterkiefers in der frontalen (G.f), sagittalen (G.s) und horizontalen (G.h) Ebene (aus BYRD, 1981).

5.3.2 Kauzyklen

Nachdem die Nahrung mithilfe der Zunge in den Kauraum gelangt, wird sie mit den Prämolaren und Molaren weiter zerkleinert. Dabei können hier zwei verschiedene Arten der Kauzyklen festgestellt werden. Zum einen kommt es zu einem bilateralen Kauzyklus, der eine Kaubewegung auf beide Seiten beinhaltet. Die Bewegung erfolgt in einer geschlossenen Schleife, wobei der Verlauf des Unterkiefers bei den Untersuchungen von BYRD (1981) sehr gut mit den aktuellen Rekonstruktionen korreliert (Abb. 31 bis 33). Zum anderen kommt es bei den Mahlbewegungen zu unilateralen Kauzyklen, welche ebenfalls in einer Schleife erfolgen, jedoch kommt es nur zu einer Maulöffnung und zum Schließen des Maules auf der einen Seite, was ebenfalls in einer geschlossenen Schleife passiert (BYRD, 1981; Abb. 41).

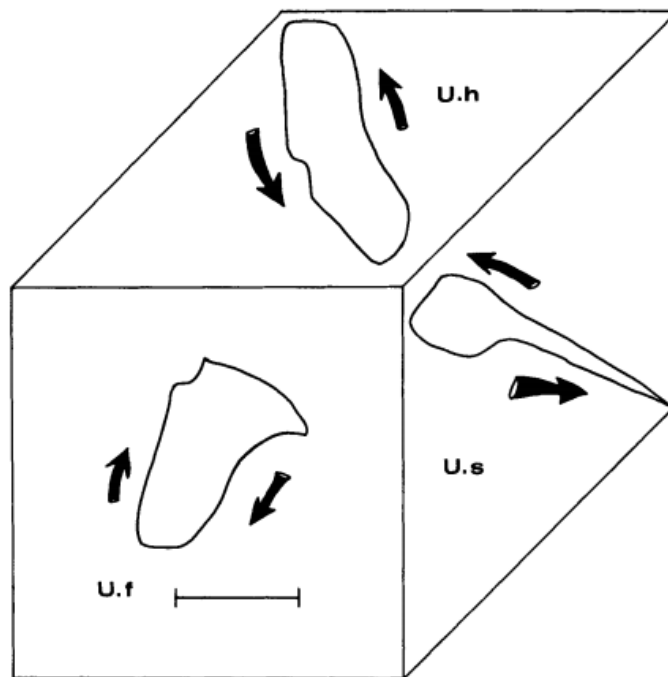


Abb. 41: 3D Rekonstruktion eines unilateralen Kauzyklus. Die Pfeile beschreiben die Bewegung des Unterkiefers in der frontalen (U.f), sagittalen (U.s) und horizontalen (U.h) Ebene (aus BYRD, 1981).

Während des Schließen des Maules und des Power strokes, werden von BYRD (1981) hohe Aktivitätsmuster beim superficial masseter, deep masseter und beim M. pterygoideus internus (bei BYRD (1981) M. pterygoideus medialis) auf der arbeitenden Seite festgestellt und es kommt zu einer gesteigerten Aktivität des M. pterygoideus externus (bei BYRD (1981) M. pterygoideus lateralis) beim Kieferschluss. Der M. temporalis der arbeitenden Seite zeigte gelegentlich am Anfang des Kauprozesses eine Aktivität, während der M. temporalis auf der anderen Seite beim Schließen des Unterkiefers und beim Power stroke eine besondere Bedeutung bei der Stabilisierung und Bewegung des Unterkiefers hat. Abgesehen vom M. temporalis zeigen die anderen eine höhere Aktivität auf der Seite, in dessen Richtung den Unterkiefer bewegt wurde (BYRD, 1981).

Die Kauanalysen bei BYRD (1981) wurden mit Karotten- und Pelletstücken mit der Länge von 7,3 mm und einem Durchmesser von 4,4 mm durchgeführt. Betrachtet man die zwei verschiedenen Futtersorten, so konnte ein Unterschied bei der Anzahl der unilateralen und bilateralen Kauzyklen festgestellt werden. Beim Pellet kam es zu einer höheren Anzahl von bilateralen Kauzyklen, während bei der Karotte die unilateralen Kauzyklen überwogen (BYRD, 1981). Zwar wurde bei diesen Experimenten nicht auf

die unterschiedlichen Kauzyklen geachtet, jedoch konnte auf einen gesamten Kauprozess bei der Gesamtlänge ein Unterschied festgestellt werden, da der gesamte Kauprozess bei der harten Nahrung drei Mal so lange andauerte als bei der weichen Nahrung. Noch dazu wurden ca. viermal so viele Maulöffnungsereignisse bei der harten Nahrung als bei der weichen Nahrung benötigt, bevor die Nahrung dann geschluckt wurde.

Vergleicht man die Höhe und die Breite der bilateralen Kaubewegungen so fällt auf, dass die horizontale und vertikale Bewegung des Unterkiefers bei der Karotte größer ist als beim Pellet (BYRD, 1981), was die neuen Ergebnisse unterstützen, jedoch konnten zwischen Gurke und Karotte keinen eindeutigen Unterschiede festgestellt werden. Bei BYRD (1981) wurde nicht genauer auf die unterschiedlichen Zeitpunkte bei einem gesamten Kauprozess eingegangen. Da Unterschiede bezüglich Dauer und Geschwindigkeit bei den während eines Kauprozesses festgestellt werden konnten, wurden die Videos in die drei Abschnitte (Anfang, Mitte und Ende) geteilt und immer nur die Bereiche einzeln miteinander verglichen. Anfangs stimmen diese Ergebnisse gut überein mit denen von BYRD (1981) und es konnten Unterschiede festgestellt werden, jedoch kommt es mit fortschreitendem Kauprozess zu immer geringeren Unterschieden zwischen den drei Nahrungstypen. Gegen Ende hin nahm auch die Regelmäßigkeit der Kauzyklen ab, da zwischen den einzelnen bilateralen und unilateralen Kauzyklen immer wieder Pausen waren und während eines Kauzyklus das Tier kurz in einer Position verharrte, wodurch bei jeder Futtersorte mehr und mehr Unregelmäßigkeiten vor allem bei der Dauer entstanden.

Bei BYRD (1981) wurden die bilateralen Kauzyklen einzeln ausgewertet und es ergab sich ein Mittelwert von 318,68 Millisekunden mit einer Standardabweichung von 33,05 Millisekunden für das Pellet, was auf drei bilaterale Kauzyklen einen Wert unterhalb einer Sekunde ergäben würde, wobei die kürzere Dauer der hier aufsummierten auf eine kurze Verzögerung zwischen den Kauzyklen zurückzuführen sein könnte, da bei der Karotte der Wert mit 310,71 Millisekunden (Standardabweichung: 32,27 Millisekunden) auf drei bilaterale Kauzyklen aufgerechnet ebenfalls einen geringeren Wert ergibt, als bei der Messung von drei aufeinanderfolgenden Kauzyklen. Außerdem ist die Dauer des Kauzyklus auch vom Zeitpunkt eines Kauprozesses abhängig an welchem dieser Wert gemessen wurde.

Die Bewegungen des Kopfes vom Hausmeerschweinchen während eines Kauprozesses sind eher gering. Kleine Bewegungen konnten durch die Berechnung der Distanz vom Unterkiefer zum Oberkiefer gut ausgeglichen werden, jedoch wurden aufgrund der stabilen Kopfposition die Werte des Versuchstiers „Goldi“ im Detail ausgewertet. Bei der Maulöffnung beim bilateralen Kauzyklus ergaben sich in der Anfangsphase signifikante Unterschiede bei den drei Nahrungstypen. Diese dauerte bei der harten länger als bei der weichen Nahrung, während beim Schließen des Maules keine Unterschiede festgestellt werden konnten. Je länger der Kauprozess andauerte, desto geringer waren die Unterschiede zwischen den Kauzyklen bei Gurke, Karotte und Pellet. Betrachtet man die Geschwindigkeit, so sind überraschender Weise vor allem wieder bei der Anfangsphase beim Öffnen des Maules große Unterschiede aufzuzeichnen. Bei der weichen Nahrung war die Geschwindigkeit beim Öffnen des Maules fast doppelt so schnell als bei der harten Nahrung. Gegen Ende hin wurden die Unterschiede wieder kleiner und waren annähernd gleich. Zwar konnten bei der Dauer des Maulschließens keine Unterschiede festgestellt werden, jedoch war die Geschwindigkeit beim Kieferschluss bei den weichen Nahrungstypen schneller als bei der harten Nahrung, was sich aus der identen Dauer und aufgrund der weiteren Maulöffnung bei den weichen Futtertypen ergab. Beim Vergleich von den männlichen und weiblichen Individuen ergaben sich bei der Dauer fast ausschließlich längere Werte bei den männlichen Individuen als bei den weiblichen. Bei der Geschwindigkeit sind die Werte sehr unterschiedlich, was wahrscheinlich mit den kurzen Pausen zwischen den unterschiedlichen Maulöffnungs- und Maulschließphasen zusammenhängt, welche die Werte für die durchschnittliche Geschwindigkeiten extrem verzerren.

5.4 Conclusio

Bei *Cavia porcellus* kann, so wie bei den anderen Arten der Ordnung Rodentia, eine hohe Spezialisierung des Kauapparates festgestellt werden. Aus morphologischer Sicht werden die Rodentia in die vier polyphyletischen Gruppen: Protrogomorpha, Sciuromorpha, Myomorpha und Hystricomorpha eingeteilt (BRANDT, 1855), wobei die Gattung *Cavia* aufgrund des prominenten Jochbogens mit dem großen Foramen infraorbitale und der Lage des deep masseters und des infraorbitalen Teils des M. zygomaticomandibularis eindeutig den Hystricomorpha zugeordnet werden kann (WILSON & REEDER, 2005; COX & JEFFERY, 2011).

Bei den kinetischen Analysen wurden zwischen der weichen und der harten Nahrung einige Unterschiede festgestellt. Die Härte der Nahrung wirkte sich vor allem auf die Dauer des Kautvorgangs aus. Um harte Pellets aufzunehmen und zu zerkauen waren im Vergleich zum weichen Gurkenstück die dreifache Zeit und fast viermal so viele Kaubewegungen nötig. Schon bei der Nahrungsaufnahme war die Dauer, bis ein hartes Nahrungsstück gänzlich im Maul verschwunden war, viel länger. Untersuchte man einzelne bilaterale Kauzyklen, wurde für die harte Nahrung für die einzelnen Kaubewegungen ein längerer Zeitraum benötigt. Weiters war die Bewegung des Unterkiefers bei der weichen Nahrung größer und es kam zu einer größeren Auslenkung sowohl in der horizontalen als auch vertikalen Ebene (BYRD, 1981). Diese Unterschiede einzelner bilateraler Kauzyklen trafen allerdings nur auf die Anfangsphase eines Kauprozesses zu, da gegen Ende hin die Regelmäßigkeit bei der Kaubewegung bei allen Nahrungstypen abnahm und immer größere Pausen zwischen den einzelnen Kauzyklen erfolgten. Weiters wurden die Unterschiede zwischen den Nahrungstypen bei den Kauzyklen ab dem mittleren Bereich eines Kauereignisses immer geringer und gegen Ende hin waren im Gegensatz zum Anfang beinahe keine Unterschiede mehr festzustellen.

5.5 Herausforderungen und Lösungen

Da Hausmeerschweinchen fast immer fressen, wenn Nahrung zur Verfügung steht, war die Erwartungshaltung für die Filmarbeiten sehr positiv, jedoch war es in den ersten Tagen fast nicht möglich ein Video zu machen, da sich die Versuchstiere weigerten zu fressen. Dieses Problem war höchst wahrscheinlich auf die veränderte Umgebung für die Tiere zurückzuführen, weil sie nach einer Eingewöhnungsphase von ca. drei Tagen wieder normal zu fressen begannen. Um genügend Licht für die Filmarbeiten zu haben, mussten Kaltlichtlampen verwendet werden, jedoch versuchten sich die Tiere tendenziell davon abzuwenden, was durch eine geeignete Einschränkung der Bewegungsfähigkeit der Tiere im Film-Aquarium verhindert werden konnte. Als die Tiere von dem Käfig in das Aquarium gesetzt worden waren, war meist ein Zeitraum von ungefähr einer halben Stunde notwendig, bevor sie sich wieder an das Aquarium gewohnt hatten und darin fressen wollten. Allgemein ist zu sagen, dass es bei allen vier Individuen leichter war, Aufnahmen mit der Gurke und der Karotte zu bekommen als mit den Pellets. Dies lag zum einem daran, dass sie das Gemüse den Pellets bevorzugten und andererseits dauerte der Kauprozess bei dem Pellet etwa dreimal so lange, was eine durchgängige Aufnahme aufgrund der Dauer erschwerte.

Die ersten Schnellbilddaufnahmen wurden von der lateralen Ansicht gemacht, jedoch konnte aufgrund des Felles fast keine Bewegung des Unterkiefers erkannt werden. Um eine bessere Sicht auf den Unterkiefer zu haben, wurden zwei Individuen auf der Seite rasiert und zum besseren Verfolgen einzelner Punkte wurden mit einem Permanentmarker Punkte auf das Fell gezeichnet. Trotz der Rasur und der Markierungen waren die Bewegungen des Unterkiefers noch immer nicht nachvollziehbar, und so wurde die Ansicht von lateral auf frontal gewechselt, die lateralen Aufnahmen konnten nur zur Auswertung der Nahrungsaufnahme verwendet werden. Bei den frontalen Aufnahmen war es dann möglich, die Bewegung des Unterkiefers mithilfe der Unterlippe zu verfolgen und als zweiten Trackerpunkt für den Oberkiefer konnten Fellfärbungen im zentralen Schädelbereich verwendet werden. Da der Oberkiefer fest mit dem restlichen Schädel verwachsen ist, war das Setzen eines Trackerpunktes für den Oberkiefer kein Problem. Interessanter stellte es sich heraus, den Trackerpunkt für den Unterkiefer zu setzen, da es fraglich war, ob die Unterlippe von der Bewegung des Unterkiefers genug mitbewegt wird. Da die Schleifen zu den

bilateralen Nahrungszyklen sehr gut mit den Analysen von BYRD (1981) übereinstimmten, sollte die Wahl des Trackerpunktes des Unterkiefers gut für diese Analysen geeignet sein. Hilfreich wäre beim Setzen der einzelnen Trackerpunkte bei den Bildern den Punkt, der verfolgt werden sollte, eindeutig zu markieren, damit das Programm den Punkt besser erkennen kann und es nicht manuell getrackert werden muss.

Nach den frontalen Aufnahmen wurde versucht, mit einem Spiegel eine Aufnahme von unten zu bekommen. Dabei wurde ein Spiegel im 45 Grad Winkel unterhalb des Aquariums aufgebaut, damit eine Aufnahme von vorne als auch von schräg unten gleichzeitig möglich war. Zwar konnte so die Nahrungsaufnahme mit den Incisivi besser verfolgt werden, aber um den genauen Verlauf des Unterkiefers nachzuverfolgen, hätten die Aufnahmen von unten gemacht werden müssen, weil durch den Winkel die Auftrennung, welche Bewegung der horizontalen und welche der vertikalen Ebene zuzuordnen ist, nicht möglich war.

Ein Problem brachten die Bewegungen des Schädels während des Kauprozesses. BYRD (1981) konnte diese Ungenauigkeit durch das Fixieren des Schädels vermeiden. Bei dieser Methode wurde versucht diese Ungenauigkeit durch das Berechnen der Distanz zwischen dem Oberkiefer und dem Unterkiefer auszugleichen und indem man nicht nur die Bewegungsabfolge des Unterkiefers betrachtete. Dies war für einzelne Kauzyklen möglich, jedoch stellte es sich als schwierig heraus, ein durchgehendes Video ohne Bewegungen des Schädels von einem Futtertyp zu bekommen. Dabei war es aufgrund der kürzeren Dauer bei der Gurke einfacher, jedoch beim Pellet mit viel Geduld verbunden. Auch wenn nicht viele Bewegungen dabei waren, reichten sie aus die Auswertung zu erschweren. Deshalb wurden für die Auswertungen der ganzen Filme und für die genaueren Analysen jene von „Goldi“ genommen, weil dieses Individuum während des Kauprozesses so gut wie keine Bewegungen des Schädels machte. Eine Frage, die man sich während des Kauprozesses stellen muss, ist, wann die Nahrung geschluckt wurde, also wann das Kauereignis von einem Nahrungsstück abgeschlossen ist und ab welchem Zeitpunkt die Nahrung von dem Nageraum in den Kauraum gelangte. Aufgrund des Felles und der Haut konnten diese beiden Momente nur schwierig festgestellt werden, weshalb bei der Nahrungsaufnahme der Fokus auf die Dauer gelegt wurde, die benötigt worden war, bis das gesamte Nahrungsstück aus

lateralen Sicht gänzlich im Maul verschwunden war. Das Ende des Kauens wurde dann angesetzt, als die Tiere wieder begannen nach Futter zu suchen und sich von einer eher stabilen Kauposition des Schädels wegbewegten um wieder Nahrung aufzunehmen.

5.6 Versäumtes

Bei den anatomischen Analysen lag der Schwerpunkt bei der Rekonstruktion der Muskulatur vor allem auf jenen Muskeln, die starke Unterschiede zwischen den verschiedenen Rodentia aufweisen. Da der M. pterygoideus bei der Schließbewegung von Bedeutung ist, könnte dieser ebenfalls beim CT Scan rekonstruiert werden. Weiters wäre eine genauere Untersuchung möglich, warum der M. temporalis im Vergleich zu der Rekonstruktion von COX & JEFFERY (2011) und der Sektion viel weniger ausgebildet ist. Eine erste Vermutung war die Wirkung des Ethanols, welcher mit dem Jod gemischt wurde und dann auch zur Fixierung des Kopfes verwendet wurde. Jedoch war dieser große Unterschied nur beim M. temporalis erkennbar, deshalb könnte es aufgrund einer Fehlbildung des Tieres zu so einem großen Unterschied gekommen sein.

Ziel der kinematischen Untersuchungen war es, Unterschiede zwischen den drei Futtertypen herauszufinden. Zwar konnten auch bei den bilateralen Kauzyklen einige Unterschiede zwischen der harten und weichen Nahrung festgestellt werden, jedoch könnten in weiterer Folge auch die Nagezyklen und die unilateralen Kauzyklen im Detail ausgewertet werden, um den ganzen Kauprozess analysieren zu können. Um den bilateralen Kauzyklus detailreicher auszuwerten, wären Videos von unten nötig, damit vor allem die anteroposteriore Bewegung des Unterkiefers verfolgt werden kann. Für eine Auswertung, welche weniger fehleranfällig ist, wäre über eine Fixierung des Schädels während des Kauprozesses nachzudenken, wie es auch in den Versuchen von BYRD (1981) gemacht wurde. Außerdem würden dadurch auch Ungenauigkeiten aufgrund der Position des Tieres im Aquarium geringer ausfallen, jedoch stellt sich bei der Fixierung des Kopfes die Frage, ob die Kaubewegung beeinflusst wird und so von der natürlichen Bewegung abweicht. Ob das Tier im Aquarium weiter hinten oder ein paar Zentimeter weiter vorne frisst, wirkt sich zwar nicht auf die Dauer und die Geschwindigkeiten aus, jedoch kann es die Distanzen etwas verfälschen, da der Bezugspunkt für die Distanzen bei allen Aufnahmen bei der Aquariumwand befestigt wurde.

6. Zusammenfassung/Abstract

Das Hausmeerschweinchen, *Cavia porcellus* (Rodentia), wurde in Südamerika domestiziert und ist heute aufgrund der leichten Haltung weltweit als Haus- und Labortier verbreitet. Die Ordnung Rodentia zeichnet sich vor allem durch einen hochspezialisierten Kauapparat aus, welcher lange für eine systematische Klassifizierung in die vier Gruppen Protrogomorpha, Sciuromorpha, Hystricomorpha und Myomorpha verwendet wurde, jedoch handelt es sich bei dieser Unterteilung nicht um monophyletische Gruppen. Die Gattung *Cavia* wird aufgrund des großen Jochbogens und des Ursprungs des deep masseters und des infraorbitalen Teil des M. zygomaticomandibularis den Hystricomorpha zugeordnet.

In dieser Studie lag der Schwerpunkt auf der anatomischen Analyse des Schädels und Bewegungsanalysen der Kaubewegung bei harter und weicher Nahrung.

Für die anatomische Analyse wurde ein CT Scan durchgeführt und die Muskeln, welche für den Kieferschluss von Bedeutung sind, rekonstruiert. Für die Bewegungsanalysen wurden Schnellaufnahmen mit 250 Bildern/sek von vier verschiedenen Individuen gemacht, das Bildmaterial wurde getrackert und anschließend mit einer auf MATLAB basierenden Software ausgewertet. Um den Vergleich zwischen harter und weicher Nahrung machen zu können, wurden die Kauzyklen von den drei Nahrungstypen (Gurke, Karotte und Pellet) in den einzelnen Phasen des Kauereignisses (Anfang, Mitte und Ende) ausgewertet.

Dabei ergaben sich vor allem in der Dauer große Unterschiede: Bei der weichen Nahrung war die gesamte Nahrungsaufnahme kürzer und es wurden weniger Kauzyklen benötigt. Bei den einzelnen bilateralen Kauzyklen sind große Unterschiede bei der Dauer in der Anfangsphase vor allem bei der Öffnung des Maules aufgefallen, während es gegen Ende des Kauprozesses immer geringere Unterschiede zwischen den drei Nahrungstypen gibt.

The guinea pig, *Cavia porcellus*, is a member of the order Rodentia. It originally comes from South America, but, due to the use as a pet and a laboratory animal, it is now distributed worldwide. Rodents are characterized by a highly specialized masticatory apparatus, which is used for systematic classification. However, the four groups Protrogomorpha, Sciuromorpha, Hystricomorpha and Myomorpha are not monophyletic. The genus *Cavia* belongs to the Hystricomorpha because of the large zygomatic arch and the insertion areas of the zygomaticomandibular and the deep masseter muscles.

In this study, the focus was on the cranial anatomy and the kinematic analysis of feeding in *Cavia porcellus*; especially the differences of the chewing behaviour between hard and soft food were compared.

To analyse the masticatory apparatus, a CT-scan was made for reconstruction of the jaw closing musculature. For kinematic analysis, four animals were filmed with a high-speed camera and the recordings were tracked and analysed with a MATLAB based software. Feeding cycles for three different kinds of food (cucumber, carrot and pellet) during three phases (start, middle, end of complete feeding events) were compared. Results show differences in duration of the feeding event. The food intake takes way longer for hard food than for carrots and cucumber, and for a harder kind of food more chewing cycles are needed. Furthermore there are differences in duration and, thus, velocity of chewing cycles between soft and hard food; furthermore, especially the jaw opening seems to be quite variable during the first phase of a complete feeding event. At the end of the feeding event, less differences between hard and soft food could be found.

7. Literaturverzeichnis

- ADKINS, M., GELKE, C. L., ROWE, D., HONEYCUTT, R. L. (2001): Molecular Phylogeny and Divergence Time Estimates for Major Rodent Groups. Evidence from Multiple Genes. *Molecular Biology and Evolution* 18 (5): 777-791.
- BANKS, R. (1989): The Guinea Pig: Biology, Care, Identification, Nomenclature, Breeding, and Genetics. Usamriid Seminar Series.
- BRANDT, J. K. (1855): Beiträge zur näheren Kenntnisse der Säugetiere Russlands. Buchdruckerei der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften. St. Petersburg.
- BUNDESGESETZBLATT FÜR DIE REPUBLIK ÖSTERREICH (2004): 486. Verordnung der Bundesministerin für Gesundheit und Frauen über die Haltung von Wirbeltieren, die nicht unter die 1. Tierschutzverordnung fallen, über Wildtiere, die besondere Anforderungen an die Haltung stellen und über Wildtierarten, deren Haltung aus Gründen des Tierschutzes verboten ist (2. Tierhaltungsverordnung). Bundeskanzleramt. Wien.
- BYRD, K. E. (1981): Mandibular Movement and Muscle Activity During Mastication in the Guinea Pig (*Cavia porcellus*). *Journal of Morphology* 170: 147-169.
- CARLETON, M. D., MUSSER, G. G. (2005): Order Rodentia. In: Wilson, D.E., Reeder, D.M., (2005): *Mammal Species of the World. A Taxonomic and Geographic Reference*. Volume 2. John Hopkins University Press. Baltimore.
- CLEMONS, D. J., SEEMANN, J. L. (2011): *The Laboratory Guinea Pig*. Taylor and Francis Group. Boca Raton.
- COOPER, G., SCHILLER, A. L. (1975): *Anatomy of the Guinea Pig*. Harvard University Press. Cambridge.
- COX, P. G., JEFFERY, A. (2011): Reviewing the Morphology of the Jaw-Closing Musculature in Squirrels, Rats, and Guinea Pigs with Contrast-Enhanced MicroCT. *The Anatomical Record* 294: 915-928.
- COX, P. G., RAYFIELD, E. J., FAGAN, M. J., HERREL, A., PATAKY, T. C., JEFFERY, N. (2012): Functional Evolution of the Feeding System in Rodents. *PLoS ONE* 7 (4): e36299.
- COX, P. G., HAUTIER, L. (2015): *Evolution of the Rodents: Advances in Phylogeny, Functional Morphology and Development*. Vol. 5. Cambridge University Press, Cambridge.

- CROMPTON, A. W., PARKER, P. (1978): Evolution of the Mammalian Masticatory Apparatus: The fossil record shows how mammals evolved both complex chewing mechanisms and an effective middle ear, two structures that distinguish them from reptiles. In: American Scientist 66 (2): 192-201.
- CUMBERLAND, C. (1886): The Guinea Pig or Domestic Cavy, for Food, Fur, and Fancy. L. Upcott Gill, London.
- D'ERCHIA, A. M., GISSI, C. PESOLE, G., SACCONI, C., ARNASON, U. (1996): The guinea-pig is not a rodent. Nature 381: 597-600.
- EDINGER, R. D. (1976): Care and Management. In: The Biology of Guinea Pig from Wagner, J. E., Manning, P. J.. Academic Press Inc. New York.
- GADE, D. (1967): The Guinea Pig in Andean Folk Culture. In: Geographical Review. 57 (2): 213-224.
- GRAUR, D., HIDE, W. A., LI, W. H. (1991): Is the guinea-pig a rodent? Nature 351: 649-652.
- GRZIMEK, B. (1969): Grzimeks Tierleben. Enzyklopädie des Tierreichs. Säugetiere 2. Kindler Verlag AG. Zürich.
- HAUTIER, L., CLAVEL, J., LAZZARI, V., RODRIGUES, H. G., VIANEY-LIAUD, M. (2010): Biomechanical Changes and remodelling of the masticatory Apparatus during Mammalian Evolution: The Case of the Issiiodormoyinae (Rodentia). Palaios 25: 6-13.
- HEDRICK, T. L. (2008): Software techniques for two- and three- dimensional kinematic measurements of biological and biomimetic systems. Bioinspiration & Biomimetics 3: 034001.
- HERRE, W. (1956): Fragen und Ergebnisse der Domestikationsforschung nach Studien an Hirnen. Zool. Anz., Ergbd., Verhandlg. d. Dtsch. Zool. Ges. Erlangen (1955): 144-214.
- HONEYCUTT, R. L., FRABOTT, L. J., ROWE, D. L. (2007): Rodent Evolution, Phylogenetic, and Biogeography. In: Wolff, J.O., Sherman, P.W. Rodent Societies. An Ecological and Evolutionary Perspective. The University of Chicago Press. Chicargo, London.
- HÜCKINGHAUS, F. (1961): Zur Nomenklatur und Abstammung des Hausmeerschweinchens. Zeitschrift für Säugetierkunde. 26: 108-111.
- IMMELMANN, K. (1974): Grzimeks Tierleben. Enzyklopädie des Tierreichs. Sonderband „Verhaltensforschung“. Kindler Verlag AG. Zürich.

- INSTITUTE FOR LABORATORY ANIMAL RESEARCH (2011): Guide for the Care and Use of Laboratory Animals. National Academies Press. Washington, DC.
- KAISER, S., HENNESSY, M. B., SACHSER, N. (2015): Domestication affects the structure, development and stability of biobehavioural profiles. *Frontiers in Zoology* 2015, 12 (1): 19- 29.
- KARDONG, V. K. (2012): *Vertebrates: Comparative Anatomy, Function, Evolution*. McGraw- Hill Education – Europe. London.
- KÜNZL, C., SACHSER, N. (1998): The Behavioural Endocrinology of Domestication: A Comparison between the Domestic Guinea Pig (*Cavia aperea f. porcellus*) and Its Wild Ancestor, the Cavy (*Cavia aperea*). *Hormones and Behaviour* 35 (1999): 28-37.
- KAY, E. H., HOEKSTRA, H. E. (2008): Rodents. *Current Biology* 18 (10): 406-410.
- MACDONALD, D. W. (2006): *The Encyclopaedia of Mammals*. Oxford University Press. The Brown Reference Group plc. London.
- METSCHER, B. D. (2009): MicroCT for Developmental Biology: A Versatile Tool for HighContrast 3D Imaging at Histological Resolutions. *Developmental Dynamics* 238: 632-640.
- MORALES, E. (1994): The Guinea Pig in the Andean Economy: From Household Animal to Market Commodity. *Latin American Research Review* 29: 129-142.
- MÜTSCHARD, A. (2008): *Besonderheiten der Anatomie der Kleinsäuger, Vögel und Reptilien*.
- PATERSON, J. W. (1972): The Guinea-pig or Cavy. *The UFAW Handbook on the Care and Management of Laboratory Animals* 4: 223-241.
- PFLUMM, W. (1996): *Biologie der Säugetiere*. Blackwell Wissenschafts-Verlag. Berlin-Wien.
- POPESKO, P., RAJTOVÁ, V., HORÁK, J. (2002): *A Colour Atlas of the Anatomy of Small Laboratory Animals*. Příroda Publishing House. Bratislava.
- SCHWENK, K. (2000): *Feeding. Form, Function and Evolution in Terapod Vertebrates*. Academic Press. San Diego, London.
- SPOTORNO, A. E., VALLADARES, J. P., MARÍN, J. C., ZEBALLOS, H. (2004): Molecular diversity among domestic guinea-pigs (*Cavia porcellus*) and their close phylogenetic relationship with the Andean wild species *Cavia tschudii*. *Revista Chilena de Historia Natural* 77: 243-250.

- SSNIFF (2005): Ssniff Futtermittel für Kaninchen und Meerschweinchen. Alleinfuttermittel für sämtliche Lebens- und Entwicklungsabschnitte. <http://www.ssniff.de/documents/04_katalog_dt_kaninchen_meerschw.pdf> [Zugriff: 3.1.2016].
- SULLIVAN, J., SWOFFORD, D. L. (1997): Are Guinea Pigs Rodents? The Importance of Adequate Models in Molecular Phylogenetics. *Journal of Mammalian Evolution* 4: 77-86.
- TAKECKI M., KURATANI, S. (2010): History of Studies on Mammalian Middle Ear Evolution: A Comparative Morphological and Developmental Biology Perspective. *J. Exp. Zool. (Mol. Dev. Evol.)* 314B 2010.
- THENIUS, E. (1989): Zähne und Gebiß der Säugetiere. In: Kükenthal, W. (1989): *Handbuch der Zoologie. Eine Naturgeschichte der Stämme des Tierreichs. Band 8. Mammalia. Teilband 56.* Walter de Gruyter. Berlin, New York.
- TURNBULL, W. D. (1970): Mammalian masticatory apparatus. *Fieldiana (Geology)* 18 (2): 147-356.
- WAGNER, J. E. (1976): Introduction and Taxonomy. In: Wagner, J. E., Manning, P. J.: *The Biology of Guinea Pig* from Academic Press Inc. New York.
- WALKER, E. P., WARNICK, F., HAMLET S. E., LANGE K. T., DAVIS, M. A., UIBLE, H. E., WRIGHT, P. F. (1964): *Mammals of the World.* The Johns Hopkins Press. Baltimore.
- WALKER, L. I., SOTO, A., SPOTOMO, A. E. (2014): Similarities and differences among the chromosomes of the wild guinea pig *Cavia tschudii* and the domestic guinea pig *Cavia porcellus* (Rodentia, Caviidea). *CompCytogen* 8 (2): 153-167.
- WILSON, D. E., REEDER, D. M. (2005): *Mammal Species of the World. A Taxonomic and Geographic Reference. Volume 2.* John Hopkins University Press. Baltimore.
- WING, E. (1978): Animal Domestication in the Andes in *Advances in Andean Archaeology.* Mouton Publisher. The Hague, Paris, distributed in the United States of America and Canada by Aldrine Publishing Company, Chicago: 167-175.
- WOOD, A. E. (1965): Grades and clades among rodents. *Evolution* 19: 115-130.
- WOOD, A. E. (1974): The Evolution of the old World and new World Hystricomorphs. *Symposia of the zoological Society of London* 34: 21-60.

- WOODS, C. A., KILPATRICK, C. W. (2005): Infraorder Hystricognathi. In: Wilson, D. E., Reeder, D. M., Mammal species of the World: a taxonomic and geographic reference. Johns Hopkins University Press. Baltimore.
- WOERLE, R., WOLF, G. (1977): *Cavia aperea porcellus*. Das Hausmeerschweinchen. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart- New York.