

Evolution und Funktionsvariabilität von bunodonten Molaren bei Primaten

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

der Naturwissenschaften

vorgelegt beim Fachbereich Biowissenschaften

der Johann Wolfgang Goethe-Universität

Frankfurt am Main

von

Ulrike Maria Menz

aus Wiesbaden

Frankfurt 2016

D30

Vom Fachbereich Biowissenschaften
der Johann Wolfgang Goethe – Universität als Dissertation angenommen.

Dekanin: Prof. Dr. Meike Piepenbring

Gutachter: PD Dr. Ottmar Kullmer und Prof. Dr. Friedemann Schrenk

Datum der Disputation: 23. Februar 2017

Semper aliquid haeret (Francis Bacon frei nach Plutarch)

Evolution und Funktionsvariabilität von bunodonten Molaren bei Primaten

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden funktionale Details der Okklusion während der Mastikation bei ausgewählten fossilen und rezenten Primaten quantitativ vergleichend untersucht. Dazu wurden die Okklusionsflächen von antagonistischen Molarenpaaren mit modernen virtuellen Verfahren digitalisiert und anhand von 3D Kronenmodellen kartiert und funktional ausgewertet. Die in der Forschergruppe DFG FOR 771 entwickelte Software „Occlusal Fingerprint Analyser“ (OFA) kam erstmals bei einer großen Stichprobe von Primaten zum Einsatz. Aus dem ursprünglichen tribosphenischen Molarentyp der frühen eozänen Primaten haben einige Nahrungsspezialisten im Laufe der Evolution Modifikationen entwickelt um ihre Nahrung mechanisch besser aufzubereiten. So sind neue Funktionselemente auf den Molaren entstanden, wie z.B. ein distolingualer Höcker (Hypoconus) auf den Oberkiefermolaren. Die Auswertung der Parametermessungen, wie die Facettenlage und -größe, der Okklusale Kompass, der Mastikationskompass und die Messungen der Okklusionsreliefs ergaben, dass die ursprünglichen Primaten der Gattung *Cantius* aus dem Eozän einen flachen Hypoconus als vergrößerte Fläche zum Quetschen der Nahrung genutzt haben. Das weist auf eine frugivore Nahrungspräferenz hin. Auch unter den rezenten Arten mit insektivorer Nahrungspräferenz ist häufig der Hypoconus ausgebildet, allerdings zeigt er dann ein steiles Relief. Es konnte gezeigt werden, dass eine zweite Kauphase, die nach der maximalen Verzahnung mit der Öffnung des Kiefers eintritt, unter den rezenten Strepsirrhini mit Hypoconus nur sehr schwach ausgeprägt ist. Eine weitere evolutionäre Modifikation sind buccolingual ausgerichtete komplementäre Kantenpaare auf den Molaren, die sogenannte Bilophodontie, die sich in der Familie der Cercopithecidae entwickelt hat. Die Unterfamilie der Colobinae zeigt eine besonders stark reliefgeführte Okklusion und hat deshalb während der Mastikation weniger Bewegungsspielraum als die der Cercopithecinae. Die zweite Kauphase der Cercopithecinae ist gegenüber den folivoren Colobinae zum Teil auffällig verlängert. Da die Colobinae Vormagenverdauung und die Cercopithecinae Monogastrier sind, kann vermutet werden, dass die Zahnmorphologie eng mit der entsprechenden chemischen Verdauungsweise verknüpft ist. Das dryopithecine Höckermuster der Hominoidea hat eine wesentlich flachere Höckermorphologie als die bilophodonten Molaren. Daher war ein höherer Bewegungsspielraum während der Mastikation beobachtbar. Es konnte gezeigt werden, dass steilere Facetten bei den folivoren Nahrungsspezialisten zu finden sind, wie den Colobinae bei den bilophodonten, oder den Gorillas unter dem dryopithecinen Molarentyp. Ein flacheres Molarenrelief ermöglicht ein besseres Aufschließen von Nahrung mit unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften. Mit den OFA-Analysen und den Ergebnissen der Quantifizierung des Kronenreliefs von rezenten und fossilen Primatenzähnen konnte in der vorliegenden Untersuchung eine relevante Vergleichsbasis für ein funktionelles Verständnis der Evolution der vielfältigen Kronenformen bei Primaten erarbeitet werden. Für zukünftige Studien sollte die innerartliche Stichprobe erweitert werden um die Variabilität näher zu untersuchen.

Evolution and functional variabilities in primate bunodont molars

Abstract

In this thesis, functional details of the occlusion during mastication in selected fossil and recent primates are quantitatively compared. For this purpose, the occlusal surfaces of antagonistic molar pairs are scanned and functionally interpreted using 3D crown models and virtual methods. The software "Occlusal Fingerprint Analyzer" (OFA) developed in the research group DFG FOR 771 was used for the first time in a large sample of primates. From the primary tribosphenic molar type of the Early Eocene primates, some food specialists have developed modifications in the course of evolutionary adaptations to improve the mechanical food processing. Thus new functional elements have arisen on the molars such as a distolingual cusp (hypoconus) on the maxillary molars.

The analysis of the parameter measurements, such as the facet position and size, the occlusal compass, the mastication compass and the occlusal relief, showed that the basal primate representatives from the Eocene used a flat hypoconus to enlarge the surface for crushing the food. This indicates a frugivore food preference. The distolingual cusp is particularly common among the recent species with an insectivorous dietary preference. It could be shown that a second power stroke phase, which occurs after the maximum intercuspatation in the opening of the jaw, is only very slightly in the recent Strepsirrhini with a hypoconus. Further evolutionary modification in primate molars is the bilophodont development, which is expressed in complementary pairs of buccolingually oriented cusps with connecting lophs, and which is represented in the family of the Cercopithecidae. The subfamily of the Colobinae shows a relatively restricted occlusion and therefore has less freedom of movement during mastication than that of the Cercopithecinae. The power stroke Phase II of the Cercopithecinae is prolonged compared to the folivore Colobinae. Since the Colobinae are foregut-fermenters and the Cercopithecinae are monogastrics, it can be assumed that the tooth morphology is closely linked to the corresponding chemical digestion. The dryopithecine molar pattern of the hominoids has a distinct flatter morphology than the bilophodont molars. Therefore, a higher range of movement was observed during mastication.

It has been shown that steeper facets are found in folivore food specialists, such as the Colobinae in bilophodont-, or the Gorillas in the dryopithecine molar type. A flatter molar relief is capable for a wider food spectrum.

The OFA analyzes and the results of the quantification of the crown relief of recent and fossil primate teeth provide a relevant data basis for a comprehensive functional understanding of the evolution of the various crown forms in primates. For future studies, the intraspecific sample should be expanded to study the variability.

Inhalt

Verwendete Abkürzungen.....	11
1. Einleitung	12
1.1. Das Primatengebiss.....	14
1.2. Terminologie	15
1.2.1 Abrasion, Attrition und Kauzyklus	15
1.2.2 Terminologie der Primatenzähne und Facettennomenklatur.....	17
1.3. Entwicklung des Hypoconus	18
1.3.1. Entwicklung innerhalb der Säugetiere.....	18
1.3.2. Entstehung des Hypoconus bei Primaten	18
1.4. Entwicklung der Bilophodontie	20
1.5. Hominoides Molarenmuster	23
1.6 Bekannte Nahrungspräferenz von Primaten.....	26
2. Zielsetzung	30
3. Material und Methoden.....	33
3.1 <i>Cantius</i>	33
3.2 Vergleichsmaterial	35
3.3 Rezente Cercopithecidae.....	38
3.4 Rezente Hominoidea	39
3.6 Methoden.....	40
3.6.1 Herstellung von Replika.....	40
3.6.2 Herstellung und Bearbeitung virtueller Modelle und statistische Methoden.....	40
3.6.3 Dynamische Analyse der okklusalen Kontakte	42
3.6.4 Mastikationskompass	45
3.6.5 Okklusaler Kompass.....	48
3.6.6 Orientation Patch Count (OPC)	49
4. Ergebnisse	51
4.1 <i>Absarokius abbotti</i> DPC 2977	51
4.1.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	51
4.1.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	52
4.2 <i>Aegyptopithecus zeuxis</i> DPC 3161	53
4.2.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	53
4.2.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	55
4.3 <i>Afradapis longicristatus</i> DPC 21537.....	55
4.3.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	55
4.3.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	57

4.4 <i>Apidium phiomense</i> DPC 14238	57
4.4.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	57
4.4.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	59
4.5 <i>Cantius</i> sp. USGS 4689_34m	59
4.5.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	59
4.5.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	61
4.6 <i>Cantius</i> sp. USGS 7860_521m	62
4.6.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	62
4.6.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	63
4.7 <i>Catopithecus browni</i> DPC 11594	64
4.7.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	64
4.7.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	66
4.8 <i>Cercocebus torquatus</i> smf 1049	66
4.8.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	66
4.8.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	67
4.9. <i>Cheirogaleus major</i> smf 73562	68
4.9.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	68
4.9.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	69
4.10 <i>Chlorocebus aethiops</i> smf 1053.....	69
4.10.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	69
4.10.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	70
4.11 <i>Colobus guereza</i> smf 1106 und smf 4099.....	71
4.11.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	71
4.11.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	71
4.12 <i>Cynocephalus</i> sp. smf 1330.....	72
4.12.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	72
4.12.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	73
4.13 <i>Dendropithecus macinnesi</i> KNM-RU 1850	74
4.13.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	74
4.13.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	74
4.14 <i>Dorcopsis</i> sp. smf 59278.....	75
4.14.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	75
4.14.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	76
4.15 <i>Galago demidoff</i> smf 83201 und <i>Galagoides demidovii</i> smf 73560	76
4.15.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	76
4.15.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	77

4.16 <i>Galago senegalensis</i> smf 32751	78
4.16.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	78
4.16.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	79
4.17 <i>Gorilla gorilla beringei</i> smf 63976.....	80
4.17.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	80
4.17.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	80
4.18 <i>Hapalemur</i> sp. smf 34722	81
4.18.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	81
4.18.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	83
4.19 <i>Hylobates lar</i> smf 18718	83
4.19.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	83
4.19.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	84
4.20 <i>Indri indri</i> smf 931	85
4.20.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	85
4.20.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	87
4.21 <i>Lemur catta</i> smf 19089	88
4.21.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	88
4.21.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	88
4.22 <i>Lemur mongoz</i> smf 2546	89
4.22.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	89
4.22.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	90
4.23 <i>Lepilemur mustelinus</i> smf 34717.....	90
4.23.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	90
4.23.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	91
4.24 <i>Loris tardigradus</i> smf 3218.....	92
4.24.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	92
4.24.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	92
4.25 <i>Macaca maurus</i> smf 1020.....	93
4.25.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	93
4.25.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	94
4.26 <i>Macropus giganteus</i> smf 15947	95
4.26.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	95
4.26.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	95
4.27 <i>Microcebus murinus</i> smf 34590	96
4.27.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	96
4.27.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	97

4.28 <i>Nasalis larvatus</i> smf 5041	98
4.28.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	98
4.28.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	98
4.29 <i>Otolemur crassicaudatus</i> smf 44754	100
4.29.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	100
4.29.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	101
4.30 <i>Palenochtha minor</i> USNM 9590.....	101
4.30.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	101
4.30.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	104
4.31 <i>Pan troglodytes verus</i> smf pa pc 383	104
4.31.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	104
4.31.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	105
4.32 <i>Papio ursinus</i> smf 94224 und smf 94234	106
4.32.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	106
4.32.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	107
4.33 <i>Parapithecus grangeri</i> DPC 1090.....	108
4.33.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	108
4.33.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	109
4.34 <i>Perodicticus potto</i> smf 59373	110
4.34.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	110
4.34.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	111
4.35 <i>Pongo</i> sp. Schoch_1975_4	111
4.35.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	111
4.35.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	112
4.36 <i>Presbytis cristatus</i> smf 1077	113
4.36.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	113
4.36.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	114
4.37 <i>Proconsul africanus</i> KNM-RU 7290.....	114
4.37.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	114
4.37.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	115
4.38 <i>Sivapithecus</i> sp. YPM 13799	116
4.38.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	116
4.38.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	116
4.39 <i>Tarsius syrichta</i> smf 94285	117
4.39.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	117
4.39.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse	118

4.40	<i>Tupaia glis</i> smf pa gu 861	119
4.40.1	Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	119
4.40.2	Mastikationskompass und OFA-Analyse	120
4.41	<i>Victoriapithecus macinnesi</i> KNM MB 21036.....	120
4.41.1	Facettenanalyse und Okklusaler Kompass.....	120
4.41.2	Mastikationskompass und OFA-Analyse	121
4.42	Oriana-Rosendiagramme der Richtungswinkel von <i>Cantius</i>	122
4.43	Dreiecksdiagramme von <i>Cantius</i> sp. M1, M2 und m1, m2	125
4.44	Dreiecksdiagramm, 3D-Index, OFA und OPC von <i>Cantius</i> sp. und Vergleichsmaterial	127
4.45	OFA-Projekte von <i>Cantius</i> sp. und <i>Copelemur</i> sp. aus verschiedenen stratigraphischen Horizonten im Vergleich	133
4.46	Dreiecksdiagramm, 3D-Index, OFA- und OPC-Diagramm bilophodonte Molaren....	134
4.47	Dreiecksdiagramm, 3D-Index, OFA- und OPC-Diagramm der dryopithecinen Molaren	139
4.48	Dreiecksdiagramm Gesamtansicht.....	142
5.	Diskussion.....	146
5.1	Integration des Hypoconus - Funktionsweise und Evolution.....	146
5.1.1	Die Hypoconusentwicklung am Beispiel <i>Cantius</i>	146
5.1.2	Funktion und Evolution des Hypoconus innerhalb der Vergleichsgruppe	152
5.2	Bilophodontie - Funktionsweise und Evolution	155
5.2.1	Methodendiskussion am Beispiel der bilophodonten Molaren.....	162
5.3	Hominoides Molarenmuster	163
6.	Fazit	169
7.	Danksagung	171
8.	Literaturverzeichnis	172
9.	Anhang.....	181
9.1	Messwerte <i>Cantius</i> M1+M2 und m1+m2.....	183
9.2	Messwerte Primaten und Outgroup M1	199
9.3	Messdaten Dreiecksdiagramme	210
9.4	Liste OPC	212
9.5	Oriana Circuläre Statistik für <i>Cantius</i>	214
9.6	NPMANOVA Statistik aller Dreiecksdiagramme	218

Verwendete Abkürzungen

M1 erster oberer Backenzahn
M2 zweiter oberer Backenzahn
m1 erster unterer Backenzahn
m2 zweiter unterer Backenzahn

LPT lateroprotrusion
LRT lateroretrusion
MT mediotrusion

sin sinister
dex dexter
TS Timestep
F Facette

AMNH Sammlung des American Museum of Natural History, New York, USA
DUPC oder
DPC Sammlung der Duke University, Division of Fossil Primates, Durham,
North Carolina, USA
KNM Sammlung der Kenya National Museums, Nairobi, Kenya
KNM CA Locality Chamtwara
KNM LG Locality Legetet
KNM MB Locality Maboko
KNM RU Locality Rusinga
KNM SO Locality Songhor
SMF Sammlung des Senckenberg Forschungsinstituts und Naturmuseums in
Frankfurt am Main
USGS Sammlung der United States Geological Survey, Johns Hopkins University in
Baltimore, Maryland, USA
USNM Sammlung des United States National Museums in Washington D.C., USA

Mastikationskompass 360°:

mes	mesial	dist	distal
m-ml	mesio-mesiolingual	d-db	disto-distobuccal
ml	mesiolingual	db	distobuccal
l-ml	linguo-mesiolingual	b-db	bucco-distobuccal
ling	lingual	buc	buccal
l-dl	linguo-distolingual	b-mb	bucco-mesiobuccal
dl	distolingual	mb	mesiobuccal
d-dl	disto-distolingual	m-mb	mesio-mesiobuccal

1. Einleitung

Die Gruppe der Primaten ging, vermutlich im Paleozän vor 60-65 Millionen Jahren, aus insektivoren Säugetieren mit tribosphenischen Molaren hervor (Bown und Kraus 1979, Butler 1990, 2000). Die ersten echten Primaten stammen aus dem Eozän und sind seit etwa 55 Millionen Jahren belegt. Darunter gehören die beiden Gruppen der Adapidae und der Omomyidae, deren Vorkommen etwa zeitgleich in Nord-Amerika und Europa nachgewiesen ist (Rose 1994).

Bislang wurde vorwiegend die Zahnmorphologie der Primaten beschrieben, die Funktion der Morphologie aber oft vernachlässigt. Ryder (1878, 1879) stellte durch eigene Beobachtungen fest, dass die Unterkiefer sich lateral bewegen, während die Zähne in Kontakt sind. Cope (1889) führte die Ausprägung der Zahnhöcker auf die querlaufende und horizontale Bewegung der Unterkiefer zurück, dabei hat er drei Kaubewegungen unterschieden: die orthale - ein einfacher Kieferschluß, die ectentale - bei der sich der Unterkiefer lateral bewegt, und die propalinal - bei der es sich um eine mesiodistale Bewegung handelt (Butler 1974). Wood prägte 1934 (S. 257) die Begriffe von Mörser und Pistill, um die Okklusion der Ober- und Unterkiefermolaren am Beispiel der Perissodactyla zu erklären:

„(...) From a mechanical point of view, the upper cheek teeth of a primitive perissodactyl may be considered as a series of mortars, and the lower teeth as the pestles. The mortars are, alternately, the interdental spaces (bounded by the metaloph, metacone, parastyle and protoloph, with the posterior and anterior cingula forming the floor), and the median valley, bounded by the protoloph, paracone and metaloph. The trigonids and talonids are the pestles, occupying their primitive occlusal positions, respectively, in the interdental spaces in front of, and in the median valleys of, the corresponding upper teeth. The ectoloph acts as stops to delimit the possibilities of the lateral swing of the lower teeth. This is the general arrangement in nearly all Eocene and Oligocene perissodactyls (including, of course, the Hyrachyidae), as well as in some later ones; in the more highly specialized horses and rhinoceroses, it is modified into a grinding mill at essentially a uniform level, utilizing the differential hardness of enamel, dentine and, often, cement. (...)“

Butler (1952) legte den Grundstein für die Facettennomenklatur und beschrieb für *Hyracotherium* zehn antagonistische Kontaktfacetten. Er schreibt, dass die Abnutzung auf der Zahnoberfläche Informationen über die Kaubewegung beinhaltet und dass die Striationen (Oberflächenrillen) quer zur Kieferrichtung liegen, was beweist, dass die Kieferbewegung in laterale Richtung verläuft. Durch die komplementäre Facettenanordnung

schloss er auch, dass buccale Zahnhöcker der unteren Molaren mit lingualen Zahnhöckern der oberen Molaren in Kontakt gekommen sein müssen und buccale Zahnhöcker der unteren Molaren mit buccalen Höckern der oberen Molaren. Butler stellte fest, dass die Abnutzungsfacetten der Molaren anderer Perissodactylen mit denen von *Hyracotherium* übereinstimmen.

Mills untersuchte (1955) die Kontaktfacetten für *Gorilla* und stellte dabei fest, dass es auf den oberen Molaren drei Arten von Facetten gibt, nämlich zwei Reihen, die nach lingual orientiert sind und eine Reihe, die nach buccal orientiert ist. Bei den unteren Molaren verhält es sich umgekehrt. Heute werden diese Facetten als buccale und linguale Phase I-Facetten und Phase II-Facetten bezeichnet. Er überlagerte Zeichnungen von kompletten Ober- und Unterkiefern, um die Mastikationsbewegungen zu verstehen und fand heraus (1955, 1963, 1966), dass die Facettenpositionen von Perissodactylen, rezenten Primaten und Insektivoren übereinstimmen.

Über die Problematik zur Beobachtung des Mastikationsvorgangs schreibt Butler (1974, S. 209): „Chewing is not easy to investigate in a living animal, because the molars are hidden from view.“ Um das Mastikationsverhalten am lebenden Tier zu beobachten, führten Crompton und Hiiemae (1969, 1970) cinematographische Studien zum Kauverhalten an *Didelphis* durch und kombinierten diese mit einer Facettenanalyse. Dadurch war es erstmals möglich zu folgern, was auf der Zahnoberfläche passiert. Diese Methode ist jedoch nur für einzelne Exemplare anwendbar und sehr aufwendig. Maier (1977a, b) sowie Maier und Schneck (1981) haben mit ihrer weiterentwickelten Facettennomenklatur und -analyse die evolutionäre Entwicklung der Molarenform der hominoiden und cercopithecoiden Primaten zu erklären versucht. Das Hinzufügen von Attritionsfacetten und die Orientierungsänderung dieser Facetten durch morphologische Umstrukturierung der Molarenoberflächen sehen Maier und Schneck (1981) als Anpassung an bestimmte Nahrungspräferenzen. Sie sind der Ansicht, dass das dryopithecine Höckermuster der Hominoidea das höchstdifferenzierteste der Primatenmolaren ist.

Detaillierte Aussagen über eine dreidimensionale okklusale Bewegungsanalyse konnten bislang nicht gemacht werden. Ebenfalls fehlen räumliche Untersuchungen der Attritionsmuster an Primaten mit gleicher zahnmorphologischer Struktur, die jedoch eine unterschiedliche Nahrungspräferenz haben. Mit dem Occlusal Fingerprint Analyser (OFA) lassen sich nun erstmals dreidimensionale Bewegungsmuster für die unterschiedlichen Molarenreliefe erzeugen, quantitativ auswerten und somit eine hypothetische Effizienzsteigerung ermitteln.

1.1. Das Primatengebiss

Das Primatengebiss hat sich aus dem Zahnmuster der ursprünglichen Säugetiere entwickelt, die eine Zahnformel von 3.1.4.3. je Kieferhälfte aufwiesen. Das bedeutet, dass pro Quadrant 3 Incisivi, 1 Caninus, 4 Prämolaren und 3 Molaren vorhanden waren. Mit dem Auftreten der Adapidae und der Omomyidae im Eozän wurde bereits ein Incisivus reduziert und die Zahnformel veränderte sich zu 2.1.4.3. Im Laufe der Evolution wurde ein Prämolare reduziert, weshalb heutige Platyrrhini (Neuweltaffen) eine Zahnformel von 2.1.3.3. besitzen. Bei allen Catarrhini (Altweltaffen) fehlt noch ein weiterer Prämolare, daher gilt hier die Zahnformel 2.1.2.3. Einige Strepsirrhini (Feuchtnasenprimaten) haben sich im Frontzahnbereich weiter spezialisiert, wie z.B. die Indridae mit der Zahnformel 2.1.2.3./1.1.2.3 (Geismann 2003). Das heterodonte Gebiss mit vier verschiedenen Zahntypen moderner Primaten, weist außerdem zwei Zahngenerationen (Diphyodontie) mit Milch- und Dauergebiss auf. Die Incisivi, der Caninus und die Prämolaren sind bereits im Milchgebiss vorhanden und werden ersetzt, die Molaren haben keine Vorläufer und werden nur einmal angelegt.

Der ursprüngliche tribosphenische Oberkiefermolar besteht aus drei Haupthöckern, der mesiobuccale Paraconus, der distobuccale Metaconus und der linguale Protoconus, die das Trigon einrahmen. Distal liegt das Talon. Viele Säugetiere, darunter auch die Primaten, haben distolingual einen vierten Höcker entwickelt, den Hypoconus. Im Laufe der Evolution entwickelten sich auf den Oberkiefermolaren noch zwei kleine Höcker, der Metaconulus und der Paraconulus, die bei den meisten modernen Primaten wieder reduziert oder umgebildet sind. Nach Henke und Rothe (1994, S.133) kann der Metaconulus an der Umbildung zur Crista obliqua beteiligt sein, indem er weiter in die Kaufläche vorrückt und eine Crista mit dem Protoconus bildet.

Der Unterkiefermolar besteht aus drei anterioren Höckern, dem mesiolingualen Paraconid, dem buccalen Protoconid und dem lingualen Metaconid, die um das Trigonid angeordnet sind. Ein weiteres Becken, das Talonid, wird auch vom Metaconid flankiert, außerdem vom lingualen Entoconid, dem buccalen Hypoconid und in manchen Fällen vom distalen Hypoconulid (Abb. 1.1.a).

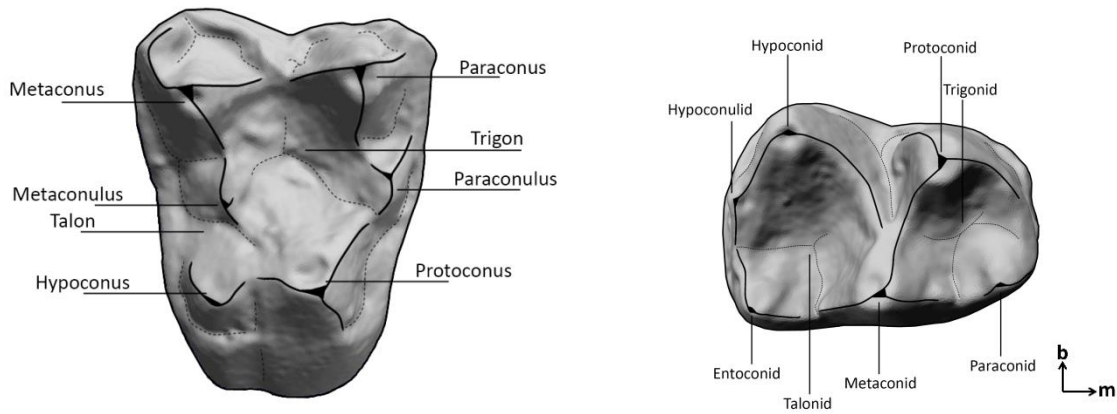


Abb. 1.1.a: Höckernomenklatur nach Cope und Osborn (1888) am Beispiel von *Cantius* sp. Grafik: Laura Hauser

Das Primatengebiss wird allgemein als bunodontes (griech. bounos = Hügel, odontes = Zähne) Gebiss gesehen, dessen Hauptfunktion im Quetschen und Scherschneiden besteht. Das Nahrungsspektrum der Primaten schließt tierische sowie pflanzliche Kost ein. Es werden Insekten, Blätter, Gräser, Samen und Früchte, aber auch kleinere Wirbeltiere, Eier oder Pflanzensäfte konsumiert. Da sich viele Primaten saisonal von unterschiedlicher Nahrung ernähren, scheint das bunodonte Quetschgebiss als omnivore Anpassung ideal. Dessen Evolution ist durch drei Schlüsselmerkmale gekennzeichnet: 1. den Hypoconus am distolingualen Teil der oberen Backenzähne, 2. dem bilophodonten Molarentyp, wie er bei den Cercopithecidae zu finden ist, und 3. dem dryopithecinen Höckermuster, wie es bei den Hominoidea ausgebildet ist.

1.2. Terminologie

1.2.1 Abrasion, Attrition und Kauzyklus

Abrasion und Attrition sind Abnutzungserscheinungen auf der Zahnoberfläche, die bei der Nahrungszerkleinerung entstehen. Nach Butler (1972) entsteht Abrasion durch den Kontakt von z.B. Nahrung mit der Zahnoberfläche. Die Spuren, die dadurch auf dem Zahn sichtbar werden, sind diffus angeordnet und lassen keine Kieferbewegungsrichtung erkennen. Attrition dagegen entsteht durch Zahn-Zahn-Kontakt. Durch den antagonistischen Zahn bilden sich sogenannte Kontaktfacetten auf den Zahnoberflächen (Butler 1972). Butler (1972, 1973) definiert eine Facette als typisch flache oder konkav gewölbte Fläche, die Licht reflektiert und auf der parallele Striationen auftreten. Die Striationen zeigen die relative Bewegung des Kiefers beim Kauvorgang. Jede Attritionsfacette hat eine korrespondierende Facette auf dem antagonistischen Zahn. Butler erwähnte schon 1973, dass Abnutzungsfacetten auf fossilen Molaren deshalb von Interesse sind, weil sie Informationen über die okklusalen Beziehungen und Bewegungen von antagonistischen

Zähnen bzw. Kiefern beinhalten. Das ermöglicht eine Zuordnung von Zahnstruktur und Zahnfunktion zwischen Ober- und Unterkieferzähnen.

Der Kauzyklus nach Hiiemae und Kay (1973) und Kay und Hiiemae (1974) besteht aus zwei Phasen (Abb.1.2.a). In Phase I bewegt sich der Unterkiefer nach oben zur Mitte hin bis zur zentralen Okklusion, dem Zustand der maximalen Verzahnung, der auch als Schlussbiss bezeichnet wird. Phase II bezeichnet die Kieferöffnung nach dem Schlussbiss, wenn der Unterkiefer aus der maximalen Verzahnung nach unten, in mesiale Richtung ausgleitet. Phase I wird auch als Inkursion, das Eingleiten des Unterkiefers in den Schlussbiss bezeichnet, Phase II als Exkursion.

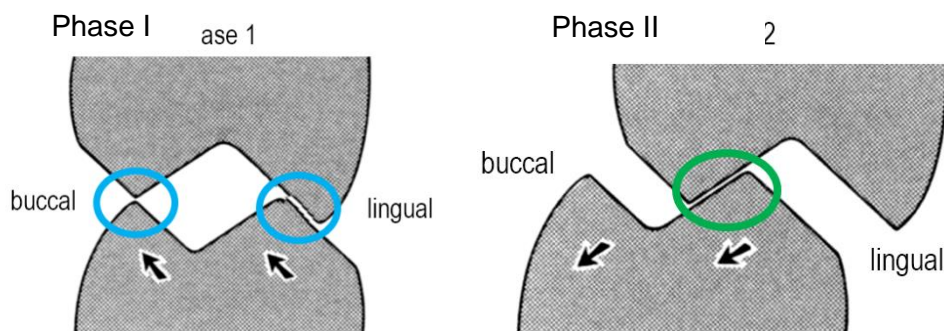


Abb. 1.2.a: Schematische Darstellung der Phase I (links) und Phase II (rechts) bei einem oberen und unteren Molaren, Sagittalschnitt. Blaue Kreise (links) zeigen die Kontaktstellen der buccalen und lingualen Phase I-Facetten, der grüne Kreis (rechts) zeigt die Kontaktstelle der Phase II-Facetten. Verändert nach Maier und Schneck (1981).

Während des Kauzyklus sind bestimmte Facetten in Kontakt, die aufgrund ihrer Lage der entsprechenden Kauphase zugeordnet werden können. Unterschieden wird zwischen buccalen Phase I-Facetten (F1, F2, F3, F4), lingualen Phase I-Facetten (F5, F6, F7, F8) und Phase II-Facetten (F9 bis F13), wie in Abb. 1.2.b zu sehen ist.

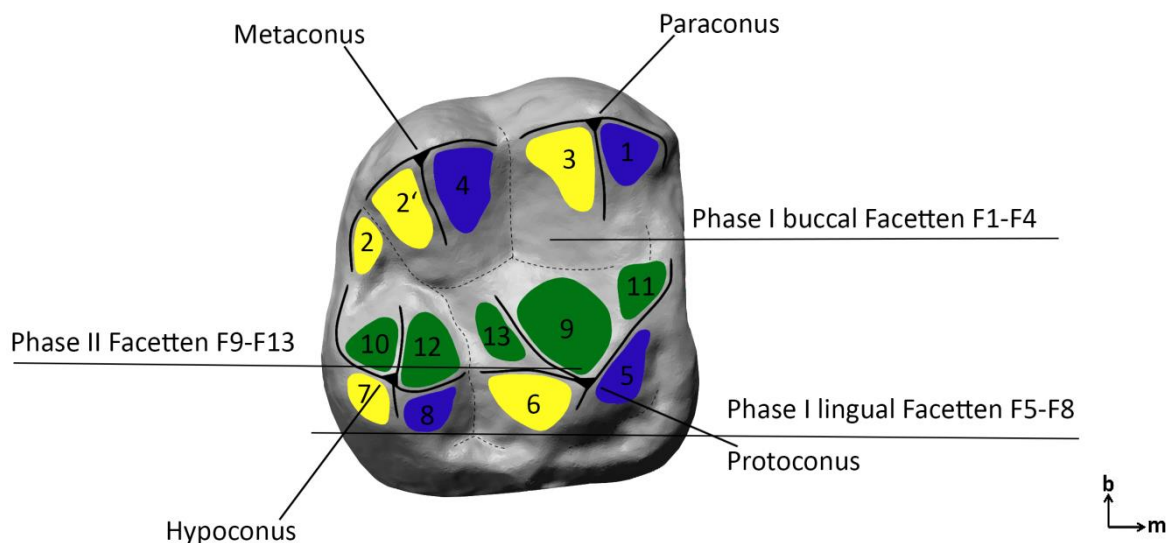


Abb. 1.2.b: Buccale und linguale Phase I-Facetten und Phase II-Facetten am Beispiel eines M2 von *Proconsul africanus* KNM-RU 7290 M2sin. (gespiegelt). Grafik: Laura Hauser

1.2.2 Terminologie der Primatenzähne und Facettennomenklatur

Die angewandte Facettenterminologie folgt Crompton (1971), Kay (1977), Maier (1980), Maier und Schneck (1981) und wurde weiter entwickelt von Kullmer et al. (2009). Butler (1973) sowie Kay und Hiiemae (1974) identifizierten bis zu 10 komplementäre Facettenpaare auf den Molaren von *Cantius (Pelycodus)* (Abb. 3.6.i), ebenso viele wie Maier (1980) für moderne Strepsirrhini beschrieb. Für bilopohodonte Molaren sind 12 komplementäre Facetten in der Literatur angegeben (Maier 1977a+b, Kay 1977), wie in den Abb. 1.4.a und 1.4.b zu sehen ist. Und für hominoide Molaren werden 13 antagonistische Facettenpaare beschrieben (Maier und Schneck, 1981), Abb 1.5.a und 1.5.b. Butler zeigt 1952, dass die Facetten, die er den Perissodactylen zuschrieb, mit denen von rezenten Primaten und auch Insektivoren übereinstimmen bzw. vergleichbar sind. Tabelle 1.2.a zeigt die bekannte publizierte Facettennomenklatur im Vergleich. In dieser Arbeit wurde die Nomenklatur in der rechten Spalte nach Kullmer et al. (2009) verwendet. Die deskriptive Höckerterminologie folgt Cope (1874, 1883, 1888), Osborn (1888, 1904, 1907) sowie Maier und Schneck (1981).

Butler (1952) Mills (1955)	Crompton and Hiiemäe (1970)	Crompton (1971)	Gingerich (1974)	Kay (1977)	Maier (1980)	Maier and Schneck (1981)	Kullmer et al. (2009)
1	1	2a, 2b	B2	2a, 2b	2	2	F2
2	2	1a, 1b	B1	1a, 1b	1	1	F1
3	4	5	B5	5	5	5	F5
4, 4'				7	7	7	F7
5			L2	10	10	10	F10
				10n	12	12	F12
6	3	3a, 3b	B3	3a, 3b	3	3	F3
7	6	4a,4b	B4	4a,4b	4	4	F4
8, 8'			B7	8, 8n	8	8	F8
9	5	6	B6	6	6	6	F6
10			L1	9	9	9	F9
				x	11	11	F11
						13	F13
						4'	F2'

Tabelle 1.2.a: Tabelle der publizierten Facettennomenklatur. Verändert nach Hunter und Fortelius (1994). In der vorliegenden Arbeit wurde die grau unterlegte Nomenklatur nach Kullmer et al. (2009) verwendet.

1.3. Entwicklung des Hypoconus

1.3.1. Entwicklung innerhalb der Säugetiere

Nach Hunter und Jernvall (1995) entwickelte sich der Hypoconus bei Säugetieren konvergent über zwanzig Mal im Känozoikum (Erdneuzeit). In ihrer Studie benennen sie die Hypoconus-Entwicklung als Schlüssel-Innovation und sehen bei Säugetieren ohne distolingualen Höcker keine Ausweitung in der Biodiversität. „ (...) mammals lacking hypocones show no marked increase in species diversity during the Cenozoic (...)“ Hunter und Jernvall (1995, S. 10718).

Eine hohe Speziesdiversität besteht demnach nur bei Säugern mit Hypoconus und hier bevorzugt unter den Herbivoren. Hunter und Jernvall (1995) sehen Säuger mit distolingualen Höcker als präadaptiert für eine Zahnspezialisierung, wie z.B. die Selenodontie. Sie nehmen an, dass sich der Hypoconus ausgebildet hat, um die Occlusalfläche zu vergrößern und dass das zu weiteren Zahnanpassungen an bestimmte Nahrungsquellen geführt haben kann.

1.3.2. Entstehung des Hypoconus bei Primaten

Es wird vielfach zwischen einem „echten“ Hypoconus bei Adapiden und einem sogenannten „Pseudohypoconus“ bei Notharctiden unterschieden (Butler 2000, Gregory 1922, Hershkovitz 1977, O’Leary 1996, Simpson 1955). Der „echte“ Hypoconus entsteht aus dem distolingualen Cingulum und der „Pseudohypoconus“ aus der Postprotocrista oder der Nannopithec-Falte. Bei der Nannopithec-Falte handelt es sich um einen deutlichen Grat, der nach distolingual vom Protoconus ausgehend verläuft. Der Begriff wurde von Hürzeler (1948) geprägt und wurde ursprünglich von Stehlin (1916) am Eozänen Primaten Nannopithec festgestellt. Coster et al. (2013) bemerken, dass die Nannopithec-falte nicht mit dem Postprotocingulum homolog ist, sondern eine neomorphologische Struktur darstellt.

Anemone et al. (2012) zeigten, dass die Morphologie des distolingualen Höckers in beiden Fällen unterschiedlich ist. Sie haben durch die Untersuchung der Schmelz-Dentin-Grenze (EDJ= Enamel-Dentin-Junction) die deutliche Präsenz eines Dentin-Horns in beiden Gruppen gezeigt. Dadurch bewiesen sie, dass es sich hier um einen echten Höcker handelt, der auf eine konvergente Entwicklung zurückgeht. Somit ist es kein „pseudo“-, sondern eine echter Höcker. Folglich wird in der vorliegenden Arbeit der distolinguale Höcker von *Cantius* als Hypoconus bezeichnet.

Nach Butler (2000) entwickelte sich unabhängig unter Primaten ein Hypoconus bei den Omomyiden, Adapiden und Anthropoiden. Er fehlt unter den rezenten Primaten nur bei

einigen Feuchtnasenprimaten und Tarsiern, in Marmosetten sind sie laut Kay (1994) sekundär zurückgebildet.

Am Primaten *Cantius* aus dem frühen Eozän des Bighorn Basins (Wyoming, USA) wurden detaillierte morphologische Studien an den oberen Molaren durchgeführt. Es stellte sich heraus, dass sich ein Hypoconus aus der Postprotocrista entwickelt hat (Butler, 2000; Fleagle, 1999; Gingerich and Simons, 1977; Rose, 2006). Generell entsteht der Hypoconus bei Primaten als kleiner Höcker am lingualen Ende des distalen Cingulums und hat in Phase I mit dem Paraconid und in Phase II mit dem Protoconid Kontakt. Das Paraconid bildet sich zurück, wenn sich der Hypoconus vergrößert; es entsteht ein Kontakt mit dem Metaconid und dem Entoconid des davorliegenden Molars (Butler, 2000). Dabei entsteht die Facette 7 am mesialen Abhang des Metaconids und am distolingualen Abhang des Hypoconus. Facette 8 entsteht an der distalen Flanke des Entoconids und dem mesiolingualen Abhang des Hypoconus. Die Phase II-Facette 10, ist buccal bis distobuccal auf dem Hypoconus orientiert und schert bei *Cantius* gegen den mesialen Abhang des Protoconids ab. Oft befindet sich zusätzlich auf den davorliegenden unteren Molaren eine Kontaktfacette 10 auf dem distalen Cingulum.

Hölzchen (2012) hat in seiner Diplomarbeit acht Fälle der Hypoconusentstehung simuliert und dabei festgestellt, dass der Höcker neben der Quetschfunktion auch als Erweiterung der Scherfunktion dienen kann. Unter acht untersuchten Beispielen waren zwei Möglichkeiten, die zwar eine funktionelle Hypoconusintegration darstellen, bei den untersuchten bekannten Primaten aber nicht vorkommen (Hölzchen, 2012).

1.4. Entwicklung der Bilophodontie

Das bilophodonte Molarenmuster entwickelte sich in verschiedenen Säugetierstämmen. Bei den Primaten begann die Differenzierung der bilophodonten und der dryopithecinen Höckermuster vermutlich im Oligozän. Fossil ist es bereits ansatzweise in *Prohylobates* und *Victoriapithecus* zu erkennen (Fleagle 1999, Maier 1977b, Szalay und Delson 1979). In rezenten Primaten findet man das Muster bei einigen Platyrrhini, den Indridae und den Cercopithecoidea (Henke und Rothe, 1994).

Butler (1986) vermutet, dass die Bildung des bilophodonten Molarenmusters aus dem primitiven hominoiden Typen entstanden ist. Dieses Muster zeichnet sich dadurch aus, dass der Molar mesiodistal verlängert ist und die Höcker paarweise und parallel angeordnet sind. Hier gibt es keinen querverlaufenden Grat. Ausnahme sind die Colobinenmolaren, die einen rudimentären Rest eines Cristid oblique haben (Butler 1986). Maier (1977a) bezeichnet die bilophodonten Molaren als die höchstdifferenzierteste biotechnische Anpassungslösung für eine herbivore Ernährung. Verglichen mit den frühen Adapiden und Notharctiden oder auch mit den Molaren moderner Strepsirrhini, ausgenommen der Indriidae (M2 und m2), finden sich auf den bilophodonten Molaren zwei komplementäre Attritionsfacetten mehr. Maier (1977a, S. 27) geht davon aus, dass sich dadurch die Effizienz der Kauzyklen erhöht hat. Es handelt sich um die Facetten 11 und 12, die nach Maier auch an der Bildung neuer Funktionselemente beteiligt sind, wie einer Fovea posterior an den unteren Molaren und einer Fovea anterior an den oberen Molaren (Maier 1977a).

Das bilophodonte Höckermuster besteht aus jeweils vier Höckern in den Oberkiefermolaren M1 und M2 und vier Höckern in den Unterkiefermolaren m1 und m2 (Abb. 1.4.a + b). Auf den Oberkiefermolaren liegt mesiobuccal der Paraconus. Der Metaconus befindet sich distobuccal. Auf der lingualen Seite liegt der Protoconus in mesiolingualer Richtung und der Hypoconus in distolingualer Richtung. Die beiden mesialen Höcker sowie die beiden distalen Höcker sind über Querlophen miteinander verbunden. Die mesiale Querlophe wird als Crista transversa anterior und die Distale als Crista transversa posterior bezeichnet. Die buccale mesiale Crista transversa wird als buccale Crista transversa anterior und die innenliegende als linguale Crista transversa anterior bezeichnet. Auf den Unterkiefermolaren m1 und m2 befindet sich mesiobuccal das Protoconid und distobuccal das Hypoconid. Das Metaconid liegt an mesiolingualer Stelle und das Entoconid distolingual. In dieser Arbeit werden die Querlophen der Unterkiefermolaren als Cristid transvers anterior und posterior bezeichnet (Abb. 1.4.b). Das buccale Cristid transvers anterior entspricht der „crest a“ von Kay (1977, S. 329, Fig. 1b), das linguale Cristid transvers anterior entspricht dem „medial protocristid“, und

das linguale Cristid transvers posterior entspricht dem „postentocristid“. Dieser von Kay (1977) als „postentocristid“ bezeichnete Grat wurde wahrscheinlich versehentlich mit dem „medial postentocristid“ verwechselt.

Insgesamt gibt es 12 komplementäre Kontaktfacetten F1 - F12. Davon sind F1 - F4 buccale Phase I-Facetten und F5 - F8 linguale Phase I-Facetten. Bei F9 - F12 handelt es sich um Phase II-Facetten (siehe Abb. 1.4.a.).

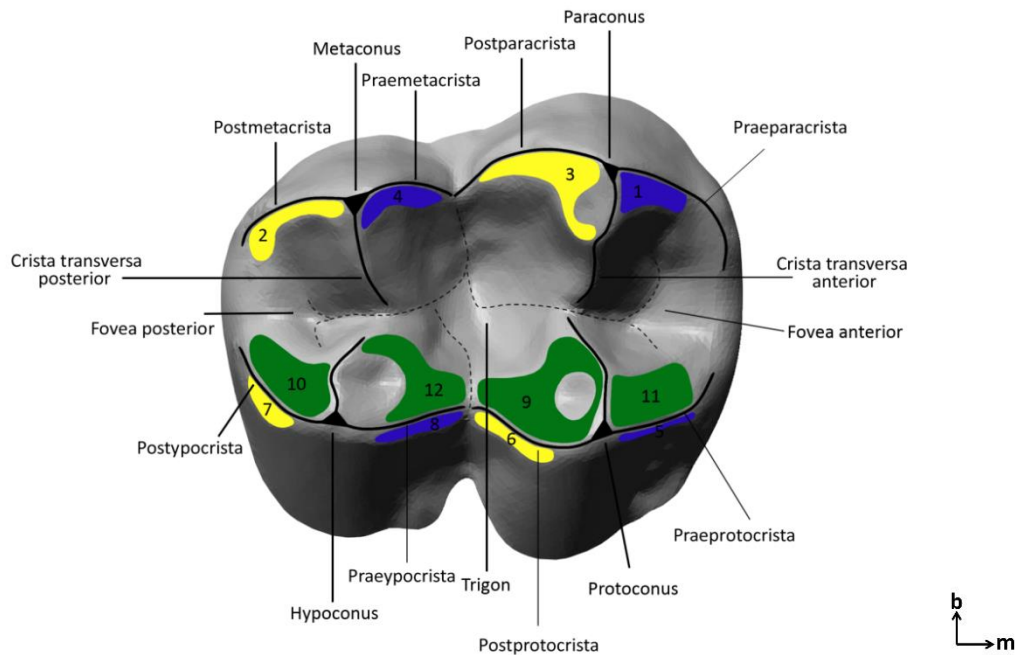


Abb. 1.4.a: Terminologie und Facettennomenklatur bei *Cercocebus torquatus* smf1049 M2 dex.
Grafik: Laura Hauser

An den oberen Molaren befindet sich F1 deutlich nach mesial geneigt an der mesialen Flanke des Paraconus. Sie verläuft entlang der Praeparacrista und dehnt sich bei manchen Individuen bis an die mesiale Kante der Praeparacrista aus. F2 liegt in distolingualer Neigung an der Postmetacrista, distal des Metaconus. Distal des Paraconus entlang der Postparacrista verläuft F3 bis zur buccalen Crista transversa anterior in distolinguale Richtung geneigt. F4 befindet sich zwischen der Praemetacrista und der buccalen Crista transversa posterior am mesialen Abhang des Metaconus. Von der Praeprotocrista nach mesiolingual gekippt und schmal an der Crista gelegen befindet sich F5. F6 liegt entlang der Postprotocrista in distolinguale Richtung geneigt. F7 ist distal des Hypoconus gelegen, nach distolingual entlang der Posthypocrista geneigt. Die F9 der Phase II befindet sich zwischen der linguale Crista transversa anterior und der Postprotocrista. F10 liegt am distobuccalen Abhang des Hypoconus zwischen der linguale Crista transversa posterior und der Posthypocrista. Die neu hinzugekommenen Attritionsfacetten sind am Oberkiefermolaren wie folgt gelegen: Am mesialen Abhang des Protoconus befindet sich F11 zwischen der Praeprotocrista und der linguale Crista transversa anterior. F12 liegt an der mesialen

Flanke des Hypoconus zwischen der Praehypocrista und der lingualen Crista transversa posterior.

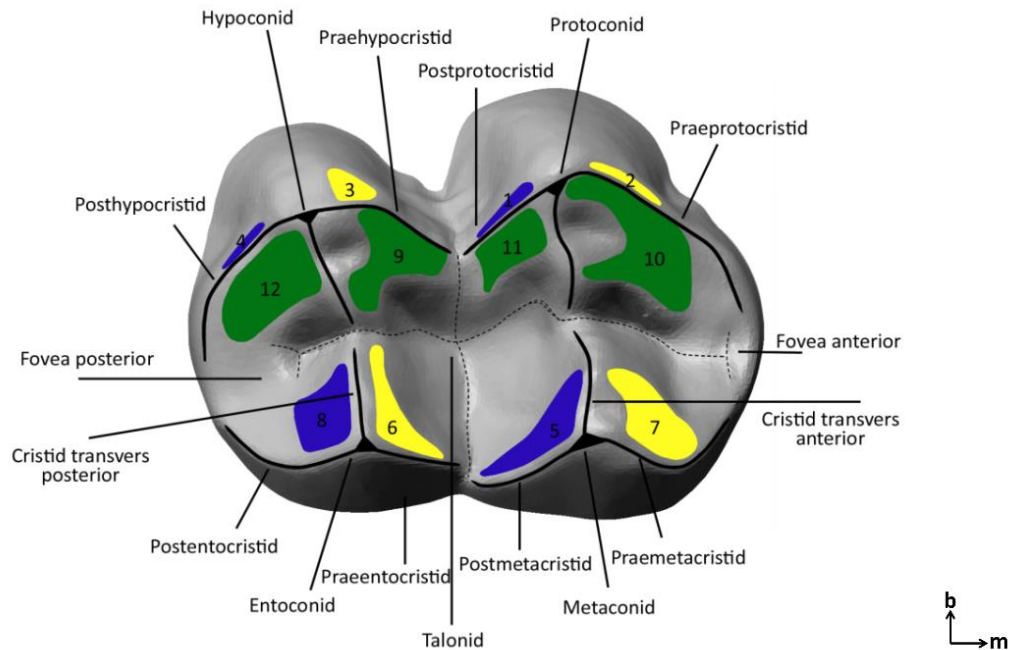


Abb. 1.4.b: Terminologie und Facettenomenklatur bei *Cercocebus torquatus* smf1049 m2 sin.
Grafik: Laura Hauser

Die F1 der Unterkiefermolaren (Abb. 1.4.b) liegt am schmalen Grat des Postprotocristids nach distobuccal geneigt. Wie F1, ist auch F2 am Protoconid, allerdings in mesiobuccaler Neigung am Praeprotocristid. F3 ist auch nach mesiobuccal am Grat des Praehypocristids am Hypoconid gerichtet. Distal des Hypoconids am Posthypocristid befindet sich F4 in buccodistaler Richtung. Unter den lingualen Phase I-Facetten befindet sich F5 am Metaconid zwischen der Crista transversa anterior und dem Postmetacristid. F6 liegt am mesialen Abhang des Entoconids zwischen der posterioren Querlophe und dem Praeentocristid. Am Metaconid in mesialer Neigung befindet sich F7 zwischen dem Praemetacristid und der lingualen anterioren Querlophe. F8 liegt am Entoconid nach distal gerichtet zwischen der Crista transversa posterior und dem Postentocristid. Die Phase II-Facette 9 liegt am mesiolingualen Abhang des Hypoconids zwischen der buccalen posterioren Querlophe und dem Praehypocristid. F10 befindet sich mesial vom Protoconid am Praeprotocristid, und reicht teilweise bis zur Fovea anterior. Die neu entstandene F11 ist am distolingualen Abhang des Protoconids zwischen der buccalen anterioren Crista und dem Postprotocristid. F12 liegt am Hypoconid zwischen dem Posthypocristid und der buccalen Crista transversa posterior in distolingualer Neigung.

1.5. Hominoides Molarenmuster

Maier und Schneck (1981) bezeichnen das dryopithecine Höckermuster der Hominoidea als das höchstdifferenzierteste Molarenmuster innerhalb der Primaten. An der Phase II sind fünf Attritionsfacetten beteiligt und am prominenten Hypoconulid entstehen zwei neue komplementäre Facetten, die sie als 4' und 13 bezeichnen. (...) „Das Facettenpaar 13 modelliert sekundär eine Crista obliqua heraus, die mit der Postprotocrista der tribosphenischen Vorläuferkonstruktion nicht identisch ist. Der „Dryopithecus-Typus“ der Hominoidenmolaren ist somit keineswegs primitiv, sondern stark abgeleitet. Dieser Sachverhalt gilt für sämtliche Hominoidea seit dem Miozän; die oligozänen Formen scheinen noch etwas weniger weit differenziert zu sein.“ (...) Maier und Schneck (1981, S.127).

Das dryopithecine Höckermuster ist gekennzeichnet durch vier Höcker auf den Oberkiefermolaren mit einer diagonal verlaufenden Crista obliqua und fünf Höckern auf den Unterkiefermolaren. Auf den Oberkiefermolaren M1 und M2 befinden sich mesiobuccal der Paraconus, distobuccal der Metaconus, mesiolingual der Protoconus und distobuccal der Hypoconus. Es gibt vier buccale Phase I-Facetten F1 - F4, vier linguale Phase I-Facetten F5 - F8 und fünf Phase II-Facetten F9 - F13.

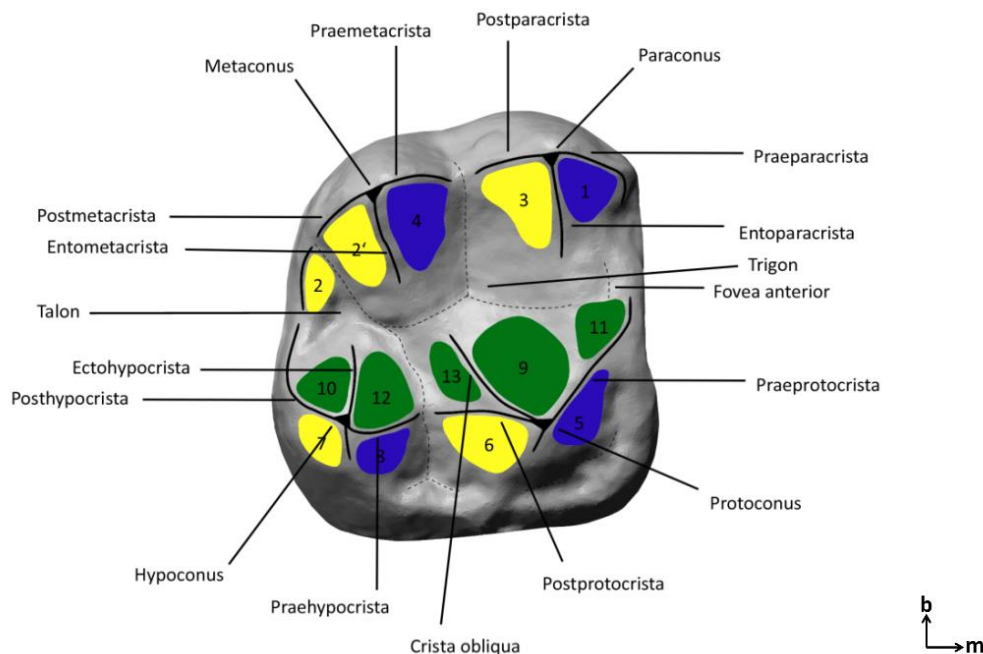


Abb. 1.5.a: Terminologie und Facettennomenklatur am Beispiel von *Proconsul africanus* KNM-RU 7290 M2 dex. Grafik: Laura Hauser

Die F1 befindet sich in mesiolingualer Neigung am Paraconus, zwischen Entoparacrista und Praeparacrista. F2 liegt am distolingualen Abhang des Metaconus. In der Abb. 1.5.a werden F2 und F2' differenziert, wobei F2' synonym zu F4' nach Maier und Schneck (1981) zu

verstehen ist. Maier und Schneck beschreiben 1981 die Facette 4', die nach Definition dadurch entsteht, dass während des Kauvorgangs das Hypoconulid mit seiner buccalen Flanke mit der Entometacrista kollidiert. In ihrer Publikation liegt F4' in manchen Fällen am distolingualen Abhang des Metaconus und in anderen Beispielen am mesiolingualen Abhang des Metaconus. Liegt der letzte Fall vor, so wird diese Facette hier ebenfalls als F4 bezeichnet, da sie wie diese orientiert ist. Im ersten Fall dagegen erhält die Facette die Bezeichnung 2', da sie dann die gleiche Orientierung wie F2 aufweist. F3 befindet sich an der distolingualen Flanke des Paraconus zwischen Entoparacrista und Postparacrista. F5 liegt an der mesiolingualen Flanke des Protoconus, entlang der Praeprotocrista. F6 distolingual der Postprotocrista am Protoconus. Am Hypoconus befindet sich am distolingualen Abhang unterhalb der Posthypocrista F7 und am mesiolingualen Abhang, unterhalb der Praehypocrista die F8. Die Phase II-Facette 9 liegt nach buccal geneigt, zwischen der Praeprotocrista und der Crista obliqua. Am Hypoconus zwischen Ectohypocrista und der Posthypocrista befindet sich F10. Fast horizontal, am mesialen Ausläufer der Praeprotocrista zur Fovea anterior liegt F11. Ebenso wie F10, liegt F12 am Hypoconus, allerdings nach mesiobuccal geneigt zwischen der Ectohypocrista und der Praehypocrista. Das hominoide Facettenmuster ist durch eine zusätzliche Facette 13 gekennzeichnet, die am distolingualen Abhang der Crista obliqua entsteht.

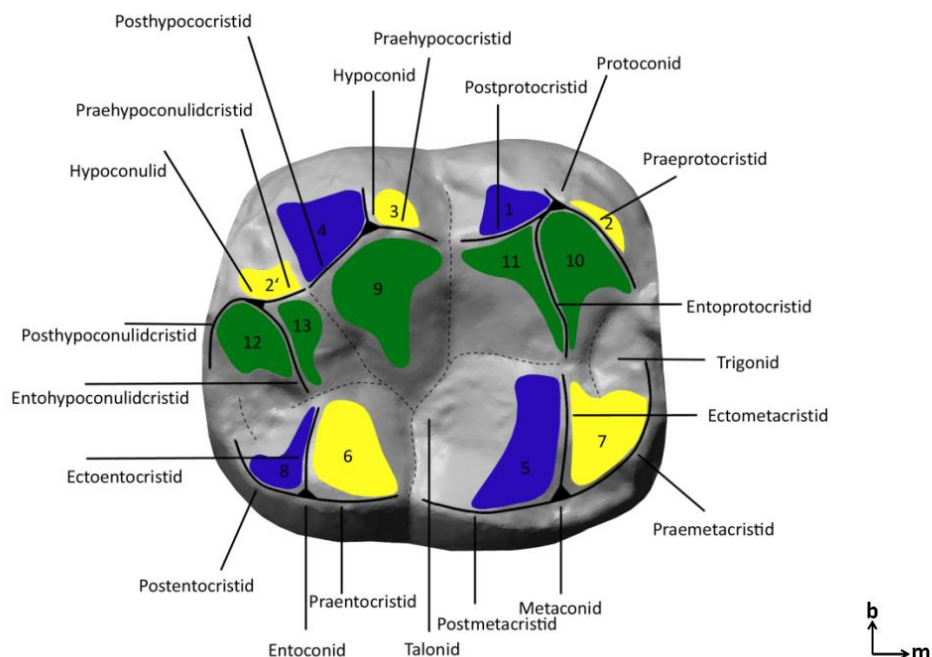


Abb. 1.5.b: Terminologie und Facettennomenklatur am Beispiel von *Proconsul africanus* KNM-RU 7290 m2 sin. Grafik: Laura Hauser

Aufgrund der Höckermorphologie der Unterkiefermolaren der Hominoidea wird das dryopithecine Höckermuster auch Y5-Muster genannt, weil die beiden Fissuren mesial und

distal des Hypoconids, und die Fissur zwischen Entoconid und Metaconid ein Y formen (Abb. 1.5.b).

Das Protoconid befindet sich mesiobuccal und das Hypoconid distobuccal. Mesiolingual liegt das Metaconid und mesiodistal das Entoconid. Der zusätzliche Höcker Hypoconulid befindet sich distal.

Die F1 liegt distobuccal am Protoconid unterhalb des Postprotocristids. Ebenso am Protoconid gelegen, befindet sich F2 geneigt in mesiobuccale Richtung unterhalb des Praeprotocristids. F2' liegt am Hypoconulid nach buccal orientiert, unterhalb des Praehypoconulidcristids. Am Hypoconid in mesiobuccaler Ausrichtung unterhalb des Praehypocristids befindet sich F3. Ebenso am Hypoconid liegt in buccodistaler Ausrichtung, unterhalb des Posthypocristids F4.

Von den lingualen Phase I-Facetten liegt F5 am Metaconid in buccodistale Richtung geneigt, zwischen dem Postmetacristid und dem Ectometacristid. F6 befindet sich zwischen dem Ectoentocristid und dem Praeentocristid, an der mesiobuccalen Flanke des Entoconids. In mesiobuccaler Ausrichtung des Metaconids befindet sich F7 zwischen dem Ectometacristid und dem Praemetacristid. F8 liegt am Entoconid zwischen dem Ectoentocristid und dem Postentocristid in distaler Neigung.

Die Phase II-Facette 9 liegt am mesiolingualen Abhang des Hypoconids zwischen Prae- und Posthypocristid. F10 befindet sich zwischen Ento- und Praeprotocristid am mesialen Abhang des Protoconids. F11 ist ebenso am Protoconid gelegen, zwischen Ento- und Postprotocristid in distolingualer Ausrichtung. Am Hypoconulid befinden sich zum einen zwischen Ento- und Posthypoconulidcristid F12 und zum anderen in mesialer Neigung F13.

1.6 Bekannte Nahrungspräferenz von Primaten

Die Frage nach der Nahrungspräferenz ist in dieser Untersuchung von großer Bedeutung. Zu erforschen gilt vor allem, ob unterschiedliche Abnutzungsmuster bei ähnlicher Molarenmorphologie durch Mastikation als Folge verschiedener Nahrungspräferenzen verursacht werden.

Allgemein wird angenommen, dass Früchte bei der Nahrungsaufnahme gequetscht werden. Auch wenn es sich dabei noch um unreife Früchte handelt, werden bei dieser Form der Ernährung die Nahrungsbestandteile zwischen den Zahnoberflächen weichgekaut. Hierfür ist eine Anpassung vorteilhaft, die breite Quetschbecken vorsieht.

Blätter und Gräser enthalten in der Regel viel Zellulose, deren Nährwert eher gering ist. Um sich davon ernähren zu können, müssen größere Mengen konsumiert werden. Damit die Nahrung besser aufgeschlossen werden kann, müssen die Blätter möglichst klein geschnitten werden. Hierzu ist es Vorteil, wenn an den Höckerabhängen der Molaren klingenartige Kanten entwickelt wurden, die scherenartig aneinander vorbeigleiten.

Wenn die Nahrungsaufnahme vorwiegend aus Insekten besteht, muss eine Möglichkeit vorhanden sein, das Exoskelett der Insekten zu durchstoßen. Dabei ist es von Vorteil, wenn spitze Höcker den Chitinpanzer perforieren können. Da die Nahrung nicht nur aus harten Exoskelettanteilen besteht, sondern auch aus zähen Komponenten, wie z.B. der Cuticula bei Raupen, haben die Kontaktfacetten auch eine scherend-schneidende Funktion.

Es gibt eine große Anzahl an Untersuchungen, die sich mit der Rekonstruktion möglicher Diäten von ausgestorbenen Tieren befassen und welche die Hypothese einer entsprechenden morphologischen Anpassungen stützen (Kay 1973, 1975, 1977a, 1977b, 1978, 1981; Kay und Hiiemae 1974; Kay und Cartmill 1977; Kay und Hylander 1978; Kay und Sheine 1979; Kay und Simons 1980a, b; Kay und Covert 1983, 1984; Hylander 1975; Swindler und Sirianni 1976; Rosenberger und Kinsey 1976; Walker 1981; Walker et al. 1978; Sheine 1979; Sheine und Kay 1977, 1982; Seligsohn 1977; Covert und Kay 1981; Covert 1986; Szalay 1981).

Nach Soligo und Martin (2006) besteht eine Beziehung zwischen der Körpermasse und der primären Nahrungsanpassung unter den rezenten Primaten. Insektivore Primaten sind klein, folivore groß und frugivore Primaten sind dazwischen angesiedelt (Kay 1984; Martin 1990). Eine Proteinquelle für die kleineren frugivoren Spezies besteht in tierischer Nahrung und für die größeren frugivoren Spezies in Blattnahrung (Kay 1984; Martin 1990). Es ist allgemein akzeptiert, dass ausgestorbene Primaten, die im Erwachsenenalter ein Körpergewicht von mehr als 350g aufwiesen, sich nicht ausschließlich insektivor ernährt haben konnten (Kay 1984). Die untersuchten Arten wurden nach ihrer primären Nahrungspräferenz eingeteilt. Saisonale Unterschiede in der Nahrungszusammenstellung werden hier nicht berücksichtigt.

Einleitung

Tabelle 1.6.a: Bekannte Nahrungspräferenz von Primaten

Art	Nahrungspräferenz aus der Literatur
<i>Absarokius abbotti</i>	frugivor , Strait (2001), Covert (1986, 1995), Szalay (1976)
<i>Aegyptopithecus zeuxis</i>	largely frugivorous Fleagle (1999) primarily frugivorous Kirk and Simons (2001)
<i>Afradapis longicristatus</i>	highly folivorous Seiffert et al (2009)
<i>Apidium sp.</i>	primarily frugivorous Kirk & Simons (2001)
<i>Cantius sp.</i>	predominantly frugivorous , Covert (1986, 1995) probably insectivorous , Gregory (1920), (ancestral Notharctinae)
<i>Catopithecus browni</i>	frugivorous–insectivorous Simons EL, Placvan JM, Fleagle JG (1999), Kirk & Simons (2001)
<i>Cercocebus torquatus</i>	harte Nüsse und Samen Geissmann (2003)
<i>Cheirogaleus major</i>	frugivor Maier (1980), Geissmann (2003)
<i>Chlorocebus aethiops</i>	Früchte, Baumexudate, Triebe und Invertebraten, Geissmann (2003)
<i>Colobus guereza</i>	vorwiegend Blätter und Samen, Geissmann (2003)
<i>Cynocephalus variegatus</i>	“(…) leaves , buds, and flowers from a variety of tree species.” http://animaldiversity.ummz.umich.edu/accounts/Cynocephalus_volans/ am 10.11.2015, 11:57 Uhr
<i>Dendropithecus macinnesi</i>	frugivorous , Kay RF & Ungar PS (1997) fruit and leaves , Szalay FS & Delson E (1979)
<i>Dorcopsis sp.</i>	Primary diet: Herbivor (folivor) http://animaldiversity.org/accounts/Dorcopsis_luctuosa/ am 10.11.2015, 12:24 Uhr
<i>Galago/ides demidovii/demidoff</i>	70% Insekten , 19% Früchte, 10% Pflanzenexkrete, Maier (1980) vorwiegend insektivor , Geissmann (2003)
<i>Galago senegalensis</i>	Insekten und Pflanzenexkrete, Maier (1980), 70% Insekten , Seligsohn (1977), vorwiegend insektivor , Geissmann (2003)

Einleitung

<i>Gorilla gorilla beringei</i>	Berggorillas: Blätter und Mark, Geissmann (2003)
<i>Hapalemur sp.</i>	Bambus , Schilf Maier (1980), Geissmann (2003)
<i>Hylobates lar</i>	Früchte und Blätter , Geissmann (2003)
<i>Indri indri</i>	80% Blätter , Seligsohn (1977) 57% Blätter, Clutton-Brock & Harvey (1977) Früchte und Blätter – Verteilung saisonabhängig, Fleagle (1999) Folivivor , Geissmann (2003)
<i>Lemur catta</i>	mehr omnivor-frugivor als die anderen Lemuren, Maier (1980), vorwiegend frugivor , Geissmann (2003)
<i>(Eu)Lemur mongoz</i>	Früchte und Blätter , Maier (1980), Geissmann (2003) Curtis und Zaramody (1998), Curtis (2004)
<i>Lemur variegatus= Varetia sp.</i>	Früchte und Blätter Maier (1980), Geissmann (2003)
<i>Lepilemur mustelinus</i>	folivor Maier (1980), Geissmann (2003)
<i>Loris tardigradus</i>	vorwiegend insektivor . Maier (1980), Geissmann (2003)
<i>Macaca maurus</i>	frugivor (70-80%) , fressen aber auch Blätter (10-15%), Blüten und anderes pflanzliches Material, ebenso wie verschiedenartige tierische Beute (10-15%). Geissmann (2003)
<i>Macropus giganteus</i>	Primary diet: Herbivor (folivor) http://animaldiversity.org/accounts/Macropus_giganteus/ am 10.11.2015, 12:22Uhr
<i>Microcebus murinus</i>	„(...) neben Früchten auch ein relativ großer Teil an Insekten (...)“, Geissmann (2003), Maier (1980)
<i>Nasalis larvatus</i>	folivore/frugivores , specializing in seed consumption, Yeager (1989) strictly folivorous , Röper et al (2014) Young leaves (65.9%) and fruits (25.9%), Matsuda et al. (2009)
<i>Otolemur/Galago crassicaudatus</i>	vorwiegend frugivor , Maier (1980), 30% Insekten, Seligsohn (1977), Früchte und Baumexudate, Geissmann (2003)
<i>Palenochtha minor</i>	“(...) sharpness of the cusps is probably related to the apparently extreme insektivorous adaptations of this tiny form.“, Szalay FS, Delson E (1979)

Einleitung

<i>Pan troglodytes verus</i>	„(...) vorwiegend Früchte und Nüsse (45-76%) und Blätter (12-45%)“. „(...) Obwohl primär frugivor , fressen Schimpansen auch regelmäßig soziale Insekten und verschiedene kleinere Säugetiere, aber auch andere Primaten (...)“, Geissmann (2003)
<i>Papio ursinus</i>	„(...) reife Früchte, Wurzeln, Knollen, Graswurzeln, Baumexudate, Blätter, Vogeleier. Viele Pavianarten sind opportunistische Fleischfresser: kleine Säuger, junge Gazellen oder Grünmeerkatzen.“, Geissmann (2003), <i>Papio ursinus</i> are dietary generalists that exploit a diverse repertoire of food resources. Clymer (2006)
<i>Parapithecus grangeri</i>	primarily frugivorous , Kirk and Simons (2001)
<i>Perodicticus potto</i>	65% Früchte , 20% geronnene Pflanzensäfte, 10% Insekten, bes. Ameisen, Maier (1980), Charles-Dominique (1974, 1977), Westafrika: vorwiegend frugivor , Ostafrika: 60% Baumexudate, Geissmann (2003)
<i>Pongo sp.</i>	primär frugivor . Früchte mit harter Schale, harte Samen, Blätter, Triebe, Rinde, Geissmann (2003)
<i>Presbytis cristatus</i>	junge Blätter , Samen und Früchte, Geissmann (2003)
<i>Proconsul sp.</i>	frugivorous , Kay RF, Ungar PS (1997)
<i>Sivapithecus sp.</i>	hard seeds, nuts, and fruits , Kay (1981)
<i>Tarsius syrichta</i>	insektivor-carnivor , Maier (1980), ausschließlich fleischfressend , Geissmann (2003)
<i>Tupaia glis</i>	omnivore http://animaldiversity.ummz.umich.edu/accounts/Tupaia_glis/ am 10.11.2015, 12:26 Uhr
<i>Victoriapithecus macinnesi</i>	79% Früchte , 7% Blätter (Benefit 1987, 1999a, 1999c, 2000; Benefit & McCrossin 1990, McCrossin & Benefit 1994) Zitate aus. Hartwig: Primat Fossil Record (S. 252)

2. Zielsetzung

Funktionsanalysen von Primatengebissen wurden bislang nur zweidimensional durchgeführt, deshalb ist das Verständnis der funktionalen Zusammenhänge zwischen Ober- und Unterkieferbezahnung bislang eher dürftig. Mit der Occlusal Fingerprint Analyser (OFA) – Software, die im DFG-Projekt FOR 771 entwickelt wurde, werden virtuelle okklusale antagonistische Zahnkontakte erstmals an Primaten quantitativ ausgewertet. Zusammen mit der Facettenanalyse, der Quantifizierung des Kronenreliefs und des Mastikationszyklus soll hier ein umfassendes funktionales Verständnis der funktionsmorphologischen Evolution der Primatenmolaren aufgezeigt werden. Dazu wird die evolutionäre, funktionelle und strukturmorphologische Entwicklung der basalen, bilophodonten und hominoiden Molarenform der Primaten analysiert und in 3D Okklusion und Kauleistung im Kontext der bekannten Nahrungsspektren der rezenten Arten verglichen. Die Analysen erfolgen an dreidimensionalen virtuellen Zahnmodellen, die mittels Oberflächenscanner und Computertomograph gewonnen wurden.

Im Laufe der Primatenevolution haben sich neue Funktionselemente auf den Molaren entwickelt, davon lassen sich drei Schlüsselmerkmale deutlich differenzieren:

1. - Die okklusale Integration eines zusätzlichen distolingualen Höckers (Hypoconus) an den oberen Molaren, und die damit verbundene Entwicklung einer eins zu zwei Verzahnung mit der entsprechenden Umkonstruktion der unteren Backenzahnkronen.
2. - Die Entstehung der Bilophodontie bei Cercopitheciden mit buccolingual ausgerichteten komplementären Kantenpaaren in den Ober- und Unterkiefer-Molaren.
3. - Die Etablierung und funktionale Weiterentwicklung des sogenannten dryopithecinen Höckermusters mit einer Vermehrung von Zahnkontakten entlang zusätzlicher Schmelzkanten bei Hominidenmolaren.

Mit der vorliegenden Arbeit sollen folgende Hypothesen geprüft werden:

Zu 1. Hypoconusentwicklung

Der Hypoconus entwickelte sich bei einigen Primaten bereits im frühen Eozän. Die Bildung eines zusätzlichen Höckers lässt neue Kontaktfacetten entstehen. Statt der ursprünglichen sieben Facetten, die Crompton 1971 am tribosphenischen Molar beschrieben hat, können sich an den Höckerflanken des Hypoconus drei weitere Attritionsflächen bilden.

Hierzu lassen sich folgende Ausgangsfragen formulieren: Was bedeutet das zusätzliche Aufeinandertreffen von okklusalen Flächen für die Biomechanik der Nahrungszerkleinerung? Welche Umgestaltungen am antagonistischen Zahn wurden zur okklusalen Integration am Antagonisten umgesetzt? Am Beispiel des eozänen Primaten *Cantius* soll geprüft werden,

wie sich das Kauverhalten vom frühen bis zum späteren evolutiven Stadium geändert hat. Es werden Vergleiche mit modernen Strepsirrhini mit und ohne Hypoconus herangezogen, deren Nahrungspräferenz bekannt ist.

Zu 2. Bilophodontes Primatengebiss

Das bilophodonte Molarenmuster bei Primaten hat auf den ersten und zweiten Molaren jeweils 2 parallele Höcker, die mit Querlophen verbunden sind. Durch diese Konstruktion sind zwei weitere Attritionsfacetten entstanden, Facette 11 und Facette 12. Für das bilophodonte Höckermuster gibt es unterschiedliche Entstehungstheorien. Aus dem Unter- bis Mittel-Miozän ist bekannt, dass bei *Victoriapithecus* im Unterkiefer bilophodonte Molaren ausgebildet sind. In den Oberkiefermolaren ist die Crista transversa posterior noch nicht umgebildet. Nach Delson (1973) hat die Umbildung im Miozän stattgefunden und war im Pliozän abgeschlossen. Dies ist z.B. durch den Primaten *Mesopithecus* nachgewiesen (Maier 1977). Simons (1970) schlägt die oligozänen Primaten *Parapithecus* und *Apidium* als basale Cercopithecoidea vor, und Kay (1977) vermutet, dass die geschwänzten Altweltaffen aus einer Linie von *Parapithecus* stammen könnten.

Nach Maier (1977a, b) und Kay (1975, 1978, 1984) hat sich die Bilophodontie der Cercopithecoidea als Anpassung an ein effizientes Zermahlen der Nahrung entwickelt. Die Lophen führen die Höcker und Becken in die Verzahnung, dabei haben sich die Kaufacetten auf dem Entoconid vergrößert (Benefit 2000). Happel (1988) nimmt an, dass die Bilophodontie eine Anpassung an eine granivore Ernährung ist. Benefit (2000) stellt fest, dass alle modernen Cercopithecoidea bilophodonte Molaren haben und dass sich die meisten Säuger mit lophodonter Bezahnung folivor ernähren.

Hierzu lassen sich folgende Ausgangsfragen formulieren: Wie unterscheidet sich das Kaumuster zwischen bilophodonten Molaren, die eine Attritionsfacette weniger haben als die sich fast parallel entwickelten dryopithecinen Höckermuster der Menschaffentypen? Kann eine Effizienzsteigerung während der Mastikation eine Erklärung für die Entwicklung der Bilophodontie sein, wie es von Maier (1977a, b) vermutet wurde? Welche Nahrung lässt sich mit den auffallenden Querjochen bevorzugt zerkleinern?

Zu 3. Hominoides Primatengebiss

Die Entwicklung vom tribosphenischen Zahnmuster zum hominoiden Höckermuster setzt voraus, dass sich ein Hypoconus gebildet hat, der angegliedert ist und durch das Talon etwas vom ursprünglich dreihöckerigen Zahn separiert ist. Im Unterkiefermolar muss sich das Paraconid vollständig reduziert und distal ein Hypoconulid gebildet haben. Durch die Umstrukturierung haben sich zu den sieben Facetten im tribosphenischen Zahn sechs weitere Facetten gebildet, darunter auch Facette 13, die eine Erweiterung gegenüber dem

bilophodonten Muster darstellt. Nach Maier und Schneck (1981, S.127) stellt das hominoide Höckermuster den höchstdifferenzierten Molarentypus innerhalb der Primaten dar.

Hierzu lassen sich folgende Ausgangsfragen formulieren: Kann der dryopithecine Molar als ein Multifunktionswerkzeug mit vielseitigen funktionalen Anpassungen beschrieben werden?

Zeigt dieses Höckermuster tatsächlich die höchste Anzahl der Kontaktfacetten und wie unterscheidet es sich funktional von einem bilophodonten Molarentyp?

3. Material und Methoden

3.1 *Cantius*

Der eozäne Primat *Cantius* gehört zu den ersten echten Primaten und ist über einen Zeitraum von mindestens 3 Millionen Jahren im nordamerikanischen Bighorn Basin, Wyoming, nachgewiesen (Rose 1994, 1999, 2006). Die Original-Sammlung der Gattung *Cantius* ist im Center for Functional Anatomy and Evolution, Johns Hopkins University, School of Medicine, in Baltimore, Maryland, untergebracht. Die stratigraphische Epoche ist das frühe Eozän, eingeteilt in das North American Land Mammal Age (NALMA) Wasatchian (WA), das wiederum in biostratigraphische chronologische Zonen aufgeteilt ist, dem Biochron WA0 bis WA7. Alle Sammlungsetiketten der Zähne von *Cantius* sind mit dem stratigraphischen Horizont in Meter angegeben, was eine eindeutige Zuordnung in die jeweilige Biochron erlaubt. Die verwendete Stichprobe beinhaltet Zähne von 30 bis 591 Metern. Das umfasst ein Biochron von Beginn des WA2 bis zum Ende des WA6, was nach Chew (2005) einen Zeitraum von 54,84 – 52,71 Millionen Jahre (Ma) umfasst.

Die Stichprobe wurde in 3 Levels unterteilt:

Level 1:	30 bis 190m	=	54,84 Ma bis 53,92 Ma
Level 2:	292 bis 450m	=	53,50 Ma bis 52,97 Ma
Level 3:	463 bis 591m	=	52,95 Ma bis 52,71 Ma

Es wurden obere und untere, erste und zweite Molaren von *Cantius* untersucht. Die Stichprobe besteht aus M1 n=19, M2 n= 21, m1 n= 19 und m2 n=14, also insgesamt n=73 Zähnen (Tabelle 3.1.a). Die Auswahlkriterien waren sowohl die komplette Erhaltung der Zähne als auch ein möglichst identischer Abnutzungsgrad. Smith (1984) klassifizierte Abkaustadien für Jäger- und Sammlerkulturen und hat 8 Stadien definiert. Innerhalb der Stadien 3-8 wurden drei mögliche Unterkategorien pro Stadium zugelassen, die Variationen im Abkaunungsmuster zeigen. In der vorliegenden Arbeit wurden Zähne verwendet, die nach dieser Klassifizierung einen Abkaugrad zwischen 3.2 und 4.3 haben.

Systematische Stellung von *Cantius*:

Superfamilia: Adapoidea

3 Familien: Sivaladapidae (Asien)
 Adapidae (Europa)
 Notharctidae (Nordamerika + Europa) mit 2 Unterfamilien:

Cercamoniinae

u.a. *Darwinius*, *Donrussellia* und *Europolemur*

Notharctinae mit 6 Gattungen:

Cantius (11 Arten) (Nordamerika + Europa)
Copelemur (3)
Hesperolemur (1)
Notharctus (4)
Pelycodus (2)
Smilodectes (3) Systematik nach Gebo (2002)

Tabelle 3.1.a: Verwendete Zähne von *Cantius* und stratigraphische Meterangabe.

Die in der Tabelle verwendete Gattung *Pelycodus* wird heute der Gattung *Cantius* zugerechnet, bis auf die beiden Ausnahmen *P. jarrovi* und *P. danielsae*, die aber nicht in der Stichprobe enthalten sind.

Sammlungsnummer und Zahntyp	Gattung und Art (wenn angegeben)	Stratigraphie (Meter)
Oberkiefermolaren		
USGS 23777_M2_dex	<i>Cantius mckennai</i>	30
USGS 4689_M1-M2_dex	<i>Pelycodus ralstoni</i>	34
USGS 23761_M2_dex	<i>Cantius ralstoni</i>	34
USGS 27208_M1-M2_dex	<i>Cantius</i>	34
USGS 13634_M1+M2_sin	<i>Cantius ralstoni</i>	149
USGS 13634_M1+M2_dex	<i>Cantius ralstoni</i>	149
USNM 522166_M2_dex	<i>Cantius trigonodus</i>	149
USGS 13582_M1_dex	<i>Cantius ralstoni</i>	190
USGS 10058_M1-M2_sin	<i>Cantius mckennai</i>	292
USGS 30263_M1-M2_dex	<i>Cantius</i>	378
USGS 453_M1-M2_dex	<i>Pelycodus</i>	400
USNM 495167_M1-M2_dex	<i>Cantius</i> (Deckel: <i>abditus</i>)	407
USGS 4533_M1-M2_dex	<i>Pelycodus</i>	425
USGS 4534_M1-M2_sin	<i>Pelycodus</i>	425
USGS 433_M1-M2_sin	<i>Pelycodus</i>	438-444
USGS 10021_M1-M2_dex	<i>Cantius</i>	450
USGS 7210_M1_dex	<i>Cantius</i>	463
USGS 16577_M1+m1-m2_dex	<i>Copelemur</i>	463
USGS 25921_M1-M2_dex	<i>Cantius</i>	485
USGS 6980_M1-M2_sin	<i>Cantius</i>	486

USGS 7860_M1-M2_sin	<i>Cantius</i>	521
USGS 13624_M1-M2_sin	<i>Cantius</i>	559
USGS 7236_M2_dex	<i>Cantius</i>	591
Unterkiefermolaren		
USGS 23779_m1-m2_dex	<i>Cantius mckennai</i>	30
USGS 4650_m1-m2_dex	<i>Pelycodus ralstoni</i>	34
USGS 13634_m1+m2_sin	<i>Cantius ralstoni</i>	149
USGS 13634_m1+m2_dex	<i>Cantius ralstoni</i>	149
USGS 2588_m1-m2_sin	<i>Pelycodus</i>	344
USNM 522187_m1-m2_sin	<i>Cantius trigonodus</i>	360
USNM 522188_m1-m2_sin	<i>Cantius trigonodus</i> (Deckel: <i>abditus</i>)	380
USGS 25937_m1-m2_dex	<i>Cantius</i>	415
USGS 4565_m1_dex	<i>Pelycodus</i>	424
USGS 4521_m1-m2_dex	<i>Pelycodus</i>	425
USGS 4539_m1_dex	<i>Pelycodus</i>	425
USGS 23687_m1-m2_sin	<i>Cantius</i>	438
USGS 6148_m1-m2_dex	<i>Pelycodus</i>	441
USGS 7212_m1_sin	<i>Cantius</i>	463
USGS 23694_m1-m2_dex	<i>Cantius</i>	463
USGS 23747_m1_dex	<i>Cantius</i>	463
USGS 7860_m1_sin	<i>Cantius</i>	521
USGS 7235_m1-m2_dex	<i>Cantius</i>	591
USGS 16611_m1-m2_sin	<i>Cantius</i>	591

3.2 Vergleichsmaterial

Die modernen Strepsirrhini, die in der Arbeit verwendet wurden, stammen aus der Sammlung des Senckenberg Forschungsinstitut und Naturmuseums, Sektion Mammalogie in Frankfurt am Main. Da in der Sammlung von einigen Arten nur ein Exemplar vorhanden ist, wurde ein n=1 ausgewählt. Hinzu kamen die bereits genannten Auswahlkriterien. Es wurden keine Abgüsse hergestellt, sondern μ -ct-Scans von den Originalen angefertigt und daraus STL-Modelle generiert, wie in Kap.3.6.2 beschrieben. Die Molaren der modernen Strepsirrhini dienen als Vergleichsmaterial, um die funktionelle Stellung der Entwicklung des Hypoconus mit der von *Cantius* zu untersuchen. Es wurden auch Taxa ausgewählt, die keinen Hypoconus haben, um auch hier funktionelle Vergleiche anzustellen. Von den Feuchtnasenprimaten wurden nur die M1 für die Untersuchung verwendet. Neben den modernen Strepsirrhini wurde *Tarsius syrichta* als Haplorrhini, *Palenochtha minor* und *Absarokius abbotti* als weitere fossile Primaten und als Outgroup *Tupaia glis* und *Cynocephalus variegatus* analysiert. In dieser Arbeit wird der veraltete Begriff „Prosimiae“ (Halbaffen) verwendet, der nur auf einer Gruppierung nach Ähnlichkeiten beruht und keine

monophyletische Gruppe beschreibt, der aber den Koboldmaki (*Tarsius*) als Trockennasenprimat mit den Feuchtnasenprimaten zusammenfasst.

Tabelle 3.2.a: Liste der Vergleichsobjekte

Taxonomische Einteilung	Sammlungsnummer	
Strepsirrhini, Lemuriformes, Lemuroidea:		
Cheirogaleidae		
<i>Cheirogaleus major</i>	smf 73562	M1 und m1-m2 dex.
<i>Microcebus murinus</i>	smf 34590	M1 und m1-m2 dex.
Indridae		
<i>Indri indri</i>	smf 931	
Lemuridae		
<i>(Eu)Lemur mongoz</i>	smf 2546	M1 und m1-m2 sin.
<i>Hapalemur sp.</i>	smf 34722	M1 und m1-m2 sin.
<i>Lemur catta</i>	smf 19089	M1 und m1-m2 dex.
<i>Lemur variegatus</i> = <i>Varecia variegata</i>	smf 34723	M1 dex. nur OPC
Lepilemuridae		
<i>Lepilemur mustelinus</i>	smf 34717	M1 und m1-m2 sin.
Strepsirrhini, Loriformes, Loroidea, Galagonidae		
<i>Galago demidoff</i>	smf 83201	M1 und m1-m2 dex.
<i>Galago demidovii</i>	smf 73560	M1 sin.
<i>Galago senegalensis</i>	smf 32751	M1 und m1-m2 dex.
<i>Otolemur crassicaudatus</i>	smf 44754	M1 und m1-m2 sin.

Die beiden rezenten Primaten *Galago demidoff* und *Galagoides demidovii* sind synonym, werden aber so aufgeführt, wie sie in der Sammlung katalogisiert sind. Es wurden deshalb zwei Individuen von einer Gattung und Art verwendet, da von smf 73560 nur ein Schädel vorhanden ist. *Galago demidoff* smf 83201 wurde für das OFA-Projekt und somit auch für den Mastikationskompass verwendet, da hier Ober- und Unterkiefermolaren vorhanden sind. Da die M1 von smf 83201 zu wenig abgekaut sind um die Facetten zu identifizieren, wurde für diese Analyse das Exemplar smf 73560 ausgewählt.

Taxonomische Einteilung	Sammlungsnummer	
Strepsirrhini, Loriformes, Loroidea, Loridae		
<i>Loris tardigradus</i>	smf 3218	M1 und m1-m2 sin.
<i>Perodicticus potto</i>	smf 59373	M1 dex. und m1-m2 sin. gespiegelt
Haplorrhini, Tarsiiformes, Tarsioidea, Tarsiidae		
<i>Tarsius syrichta</i>	smf 94285	M1 und m1-m2 sin.

Outgroup

Scandentia, Tupaiidae

Tupaia glis smf pa gu 861 M1 und m1-m2 dex.

Dermoptera, Cynocephalidae

Cynocephalus variegatus smf 1330 M1 und m1-m2 sin.

Tabelle 3.2.b: Liste der fossilen Primaten

Taxonomische Einteilung	Sammlungsnummer	
Omomyidae, Anaptomorphidae		
<i>Absarokius abbotti</i>	DPC 2977 DPC 1468	M1 dex. m1-m2 dex.
Catarrhini, Propliopithecoidea, Propliopithecidae		
<i>Aegyptopithecus zeuxis</i>	DPC 3161 DPC 3161 DPC 3871 DPC 1027 DPC 1028 DPC 2332 DPC 23232 DPC 6254	M1-M2 sin. M1-M2 dex. m1-m2 dex. m1-m2 sin. m1-m2 sin. m1-m2 sin. m1-m2 dex. m2 dex.
Adapiformes, Caenopithecinae		
<i>Afradapis longicristatus</i>	DPC 2977	M1 und m1 dex.
Anthropoidea, Parapithecidae		
<i>Apidium phiomense</i>	DPC 14238	M1 sin. gespiegelt
<i>Apidium phiomense</i>	DPC 3871	m1-m2 dex.
<i>Parapithecus grangeri</i>	DPC 1090	M1 sin.
<i>Parapithecus grangeri</i>	DPC 6313	m1-m2 sin.
Catarrhini, Propliopithecoidea, Oligopithecidae		
<i>Catopithecus browni</i>	DPC 11594 DPC 15339	M1 sin. m1-m2 sin.
Catarrhini, Dendropithecoidea, Dendropithecidae		
<i>Dendropithecus macinnesi</i>	KNM RU 1850	M1 + m1-m2 dex.
Palaechthonidae		
<i>Palenochtha minor</i>	USNM 9590 AMNH 35451	M1 sin. m1-m2 dex.gespiegelt

McNulty et al. (2015) haben eine Überarbeitung der Gattung *Proconsul* vorgenommen und die neue miozäne Hominoidengattung *Ekembo* beschrieben. Die in dieser Arbeit verwendeten Proconsulidae gehören auch nach der Revision von McNulty et al. (2015) noch zu *Proconsul*.

Catarrhini, Proconsuloidea, Proconsulidae		
<i>Proconsul major</i>	KNM CA 388	M2 dex.
<i>Proconsul major</i>	KNM CA 392	M2 sin.
<i>Proconsul major</i>	KNM CA 1298	m2 dex.
<i>Proconsul major</i>	KNM CA 2229	m2 sin.
<i>Proconsul major</i>	KNM LG 47	m2 dex.
<i>Proconsul major</i>	KNM LG 452	m2 sin.
<i>Proconsul major</i>	KNM LG 452	m2 dex.
<i>Proconsul major</i>	KNM LG 1472	m2 dex.
<i>Proconsul major</i>	KNM SO 381	M2 sin.
<i>Proconsul major</i>	KNM SO 472	m1 sin.
<i>Proconsul major</i>	KNM SO 485	M2 sin.
<i>Proconsul major</i>	KNM SO 915	m1 sin.
<i>Proconsul major</i>	KNM SO 934	M1 sin.
<i>Proconsul africanus</i>	KNM RU 7290	M1-M2 sin.
<i>Proconsul africanus</i>		M1-M2 dex.
<i>Proconsul africanus</i>		m1-m2 sin.
<i>Proconsul africanus</i>		m1-m2 dex.

Hominidae, Dryopithecini		
<i>Rudapithecus hungaricus</i>	RUD 200	M1 dex. nur OPC

Hominidae, Ponginae		
<i>Sivapithecus</i> sp.	YPM 13799	M1 dex. gespiegelt
<i>Sivapithecus sivalensis</i>	AMNH 19412	m1-m2 sin.

Cercopithecoidea, Victoriapithecidae		
<i>Victoriapithecus macinnesi</i>	KNM MB 21036	M1 dex.
<i>Victoriapithecus macinnesi</i>	KNM MB 18933	m1-m2 dex.
<i>Victoriapithecus macinnesi</i>	KNM MB 18994	M1 sin.

3.3 Rezente Cercopithecidae

Für die Analyse der bilophodonten Molaren wurden nach den bereits bekannten Kriterien verschiedene Taxa aus der Sammlung des Senckenberg Forschungsinstituts ausgewählt. Die 3D-Oberflächenscans wurden mit dem System SmartSCAN 3D, Systemsoftware Optocat 11 der Firma Breuckmann angefertigt. Micro-ct-Scans wurden nur bei kleinen Zähnen eingesetzt, für die die Auflösung des Oberflächenscanners nicht ausreichte.

Tabelle 3.3.a: Liste der rezenten bilophodonten Primaten

Taxonomische Einteilung	Sammlungsnummer	
Cercopithecidae, Cercopithecinae		
<i>Cercocebus torquatus</i>	smf 1049	M1 und m1-m2 dex.
<i>Chlorocebus aethiops</i>	smf 1053	M1 und m1-m2 sin.
<i>Macaca maurus</i>	smf 1020	M1 und m1-m2 dex.
<i>Papio ursinus</i>	smf 94234	M1 dex.
<i>Papio ursinus</i>	smf 94224	M1 dex.
Cercopithecidae, Colobinae		
<i>Colobus guereza</i>	smf 1106	M1 und m1-m2 sin.
<i>Colobus guereza</i>	smf 4099	M1 und m1-m2 dex.
<i>Nasalis larvatus</i>	smf 5041	M1 und m1-m2 dex.
<i>Presbytis cristatus</i>	smf 1077	M1 und m1-m2 sin.
Outgroup Bilophodontie:		
Metatheria, Macropodidae		
<i>Dorcopsis</i> sp.	smf 59278	M3 und m3-m4 sin.
<i>Macropus giganteus</i>	smf 15974	M3 und m3-m4 sin.
Perissodactyla, Tapiridae		
<i>Tapirus terrestris</i>	smf 15667	M1 nur OPC

3.4 Rezente Hominoidea

Tabelle 3.4.a: Liste der rezenten hominoiden Primaten

Gattung/Art	Sammlungsnummer	
Hominoidea		
<i>Gorilla gorilla beringei</i>	smf 63976	M1 + m1-m2 dex.
<i>Hylobates lar</i>	smf 18718	M1 + m1-m2 sin.
<i>Pan troglodytes verus</i>	smf pa pc 383	M1 + m1-m2 dex.
<i>Pongo</i> sp.	smf Schoch 1975	M1 + m1-m2 dex.

3.6 Methoden

3.6.1 Herstellung von Replika

Die Originalzähne von *Cantius* und von den Fayum-Primaten wurden mit Provil® Novo Light regular set CD2 von Heraeus Kulzer GmbH abgeformt. Für die Abgüsse ist der Kunstharz RenLam® M-1 und der Härter Ren® HY956 von Huntsman verwendet worden. Um die Facetten besser zu identifizieren wurde das Abgussmaterial mit dem Pigment Araldit DW 0137-schwarz von Huntsman eingefärbt.

3.6.2 Herstellung und Bearbeitung virtueller Modelle und statistische Methoden

Die Abgüsse von *Cantius*, den Fayum-Primaten und die Originalzähne der Strepsirrhini sind mit einem μ -Ct Phoenix Nanotom® S 180 in einer Auflösung zwischen 10 und 19 μ m gescannt worden. Die 3D-Oberflächenscans wurden mit dem System SmartSCAN 3D und der Systemsoftware Optocat 11 von Firma Breuckmann angefertigt.

Die Herstellung der digitalen 3D Oberflächenmodelle im STL-Format erfolgten mit der Software Volume Graphics Studio Max 2.1. Diese wurden anschließend mit der Software InnovMetric PolyWorks® V12 weiter verarbeitet und analysiert. Um die Modelle räumlich zu referenzieren, wurde eine Polylinie auf den Cervicalrand gelegt und Netzpunkte mit einem Abstand von 0,5 mm links und rechts dieser Kurve (Polylinie) ausgewählt. Aus den Netzpunkten wurde eine Best-Fit-Ebene generiert (Abb. 3.6.a), die als Referenzebene dient. Anschließend wurde jeder Zahn wie folgt ausgerichtet: mesial in Richtung der x+ Achse und buccal in Richtung der y+ Achse. Diese Ausrichtung in der xy-Achse ist Voraussetzung für die weitere Bearbeitung und Analyse mit der „Occlusal Fingerprint Analyzer (OFA)“ Software, der Darstellung im Okklusalen Kompass und dem Mastikationskompass sowie zur Raumwinkelberechnung.

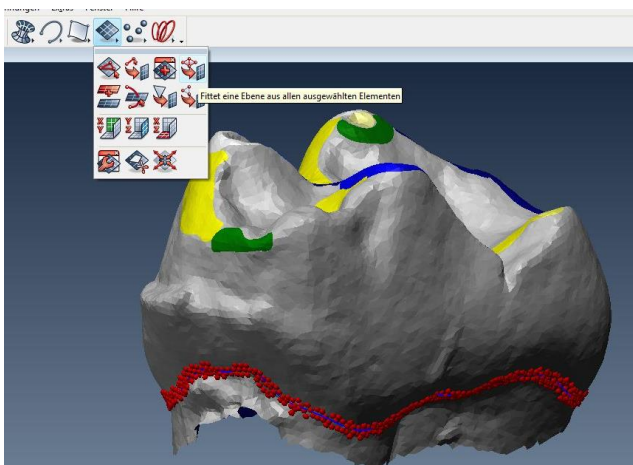


Abb. 3.6.a: Virtueller Unterkiefermolar mit Netzpunkten am Cervikalrand (rot) vor der Erstellung der Best-Fit-Ebene

Um funktionelle Beziehungen zwischen Zahnmorphologie und der Nahrung interpretieren zu können, wird neben der o.g. Best-Fit-Ebene eine weitere Ebene generiert. Diese

Parallelebene setzt am tiefsten Punkt des Kronenreliefs an (Abb. 3.6.b). Aus dem Verhältnis der dreidimensionalen Zahnkronenfläche über der Parallelebene und deren zweidimensionalen Schnittfläche wird der 3D- oder Reliefindex errechnet. Mit diesem Index kann das Kronenrelief in seiner Reliefkomplexität beurteilt werden (Kullmer et al., 2002; Ulhaas et al., 2004).

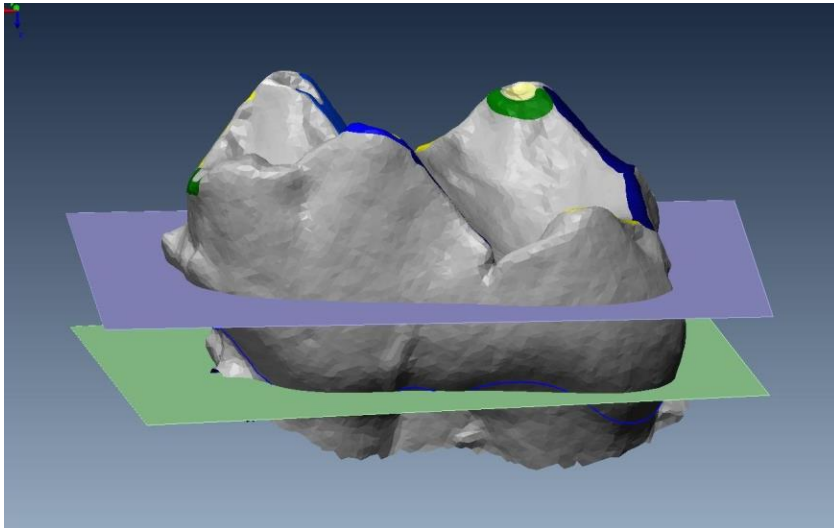


Abb. 3.6.b: Unterkiefermolar mit Referenzebene (grün) und Parallelebene (blau)

Mit einem Leica Stereomikroskop MZ12.5. wurden die Facetten identifiziert und mit InnovMETRIC © Polyworks 12 IMEdit auf das virtuelle Modell übertragen. Die Facettengröße der Molaren wurde mit Polyworks in Millimeter ermittelt und der entsprechenden Kauphase (Phase I buccal, Phase I lingual und Phase II) zugeordnet. Im Anschluß wurde errechnet, wie hoch der prozentuale Anteil jeder Phase bei 100% Gesamtanteil beträgt. Um den individuellen prozentualen Kauphasenanteil zu visualisieren, wurde mit Microsoft Excel ein Dreiecksdiagramm erstellt. Die Dreiecksdiagramme wurden mit NPMANOVA (non-parametric multivariate analysis of variance) statistisch ausgewertet. Der p-Wert wurde unkorrigiert und Bonferroni-korrigiert im Anhang dargestellt. NPMANOVA ist Teil der Statistik-Software Past 2.17.

Die Rosendiagramme wurden mit Oriana© 3.21 Circular Statistic hergestellt. Damit ist es möglich, die Richtungswinkel der Facettenflächen in einem Kreisdiagramm darzustellen und vergleichbar zu machen. Die Richtungsvektoren aller untersuchten Molaren wurden aufgetragen. Die Diagramme können gestapelt werden, um die relativen Anteile von Teilmengen innerhalb der Daten zu zeigen. Wenn eine Facette unterteilt wurde in bspw. F1, F1.1 und F1.2, wurde der Mittelwert der Richtungsvektoren errechnet und aufgetragen. So wurde mit allen Facetten der gleichen Bewegungsrichtung verfahren.

Die Methoden zur Modellorientierung, Facettenidentifizierung, Neigungs- und Raumwinkel der Facetten sowie des Okklusalen Kompasses sind detailliert in Fiorenza et al. (2011b) und Fiorenza und Kullmer (2013) beschrieben worden.

3.6.3 Dynamische Analyse der okklusalen Kontakte

Die Occlusal Fingerprint Analyser (OFA) Software wurde im Rahmen der DFG Forschergruppe 771 von 2008-2014 entwickelt und ermöglicht eine Analyse von virtuell generierten Zahnkontakten (Benazzi et al. 2011a, 2011b, 2012, 2013a, 2013b, 2014, Engels 2011, Fiorenza 2009, Fiorenza et al. 2010, 2011a, 2011b, 2011c, Kullmer et al. 2009, 2012, 2013, Schultz 2011, von Koenigswald et al. 2013). Mit dieser Software ist es erstmals möglich, Zahnkontakte während des Kauzyklus zu visualisieren und quantitativ zu beschreiben. Mit antagonistischen digitalen Zahn- oder auch Kiefermodellen können Bewegungsabläufe rekonstruiert und die Flächennutzung und räumliche Lage vermessen werden. OFA ist eine Open Source Software, die auf der Homepage der Forschergruppe <http://www.for771.uni-bonn.de/> (22.08.2016, 14:53 Uhr) zur Verfügung steht. Ein detailliertes Handbuch als pdf-Datei wird mitinstalliert und ist nach der Installation über C:\Programme\Occlusal Fingerprint Analyser aufrufbar.

In der vorliegenden Arbeit wurden von den im Materialteil benannten Primatengruppen sowie der Outgroup, OFA-Analysen durchgeführt. Von jeder Gruppe wurden der M1 und die antagonistischen m1-m2, wie zuvor beschrieben, digitalisiert. Die vorher im kartesischen Koordinatensystem ausgerichteten Unterkiefermolaren (siehe Kapitel 3.6.2.) werden in das Programm geladen, anschließend der Oberkiefermolar. Maxillare Zahnreihen oder wie hier der M1, werden über Translation und Rotation so lange ausgerichtet, bis sie im Schlussbiss (Zentrische Okklusion) orientiert sind. Die Unterkiefermolaren bleiben standardisiert in der x-y-Achsenorientierung, um nach der Simulation der Kaubewegung einen Mastikationskompass zu rekonstruieren. Dafür ist die x-y-Ebene die Referenz. Nach der Ausrichtung im Schlussbiss wird ein virtueller Kaupfad bestimmt, den die Unterkiefermolaren abfahren. Dieser Pfad wird durch eine Sequenz von Pfadpunkten (Abb. 3.6.c: blaugüne Pyramiden) interaktiv vorgegeben.

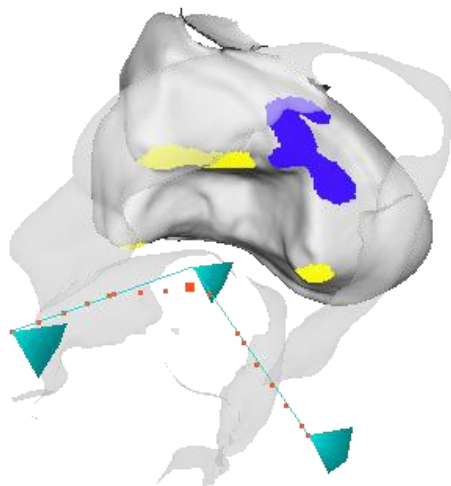


Abb. 3.6.c: OFA-Projekt von *Absarokius abbotti*. Oben ist der M1 von DPC 2977 mit Kollisionsflächen in gelb und blau zu sehen. Halbttransparent die beiden m1+m2 von DPC 1468. Die blaugünen Pyramiden sind die vorgegebenen Pfadpunkte, die orangenen Punkte stellen den daraus errechneten Kaupfad dar.

Die Unterkiefermolaren fahren den Pfad ab und kollidieren mit den Oberkiefermolaren. Mehrere Algorithmen, darunter Collision-, Deflection- und Breakfree-Algorithmen, berechnen die Ablenkung der Unterkiefermolaren und somit den genauen Kollisionsweg während der Okklusion (orangene Punkte).

Die orangenen Punkte geben nicht nur den Okklusionspfad wieder, sondern zeigen auch die zeitliche Abfolge von Einzelschritten, den Timesteps (TS). Der große orange Punkt auf der Abb. 3.6.c markiert den Ort, an dem sich das Zentrum des Unterkiefermodells während des Ablaufens des simulierten Kauschlags gerade befindet. In der vorliegenden Arbeit wurde eine Schrittfolge (stepping) von 0,2 eingestellt. Das bedeutet, wenn keine Kollision im vorgegebenen Pfad auftritt, werden auf einer linearen Strecke von 0-1 sechs TS auftreten: 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 und 1. Falls nun zum Beispiel nach 0.6 eine Kollision auftritt und die Ablenkung greift, könnte es z.B. 0, 0.2, 0.4, 0.6 und 0.7 sein. Also fünf TS mit fünf zugehörigen Trajectory Points, die den Ort symbolisieren, an dem auf eine Kollision getestet wurde. Ein Timestep beschreibt einen Zeitpunkt, an dem evtl. Kollisionsdaten erfasst wurden; er ist somit Teil einer Abfolge von mehreren Timesteps. Dabei sind die Zeit und die Länge zwischen den Timesteps unterschiedlich und abhängig von den aktuellen Kollisionsdaten (pers.comm. ZiLoX IT - Heiko Zimmermann & Stephan Lorschach GbR).

Physiologisch erfolgt der Pfad von buccal in linguale Richtung aufwärts bis zur zentrischen Okklusion und von dort aus abwärts weiter in linguale Richtung. Das Eingleiten in die zentrische Okklusion wird auch als Inkursion bezeichnet, das Ausgleiten als Exkursion. Wie schon beschrieben, treten bei der Inkursion die Phase I-Facetten der Ober- und Unterkiefermolaren bis zur zentrischen Okklusion in Kontakt, die Phase II-Facetten kollidieren im Schlussbiss.

Nachdem ein Kauzyklus rekonstruiert wurde, erhält man über den „Collision Viewer“ aus dem Menü der OFA-Software die Größe der jeweiligen Kollisionsfläche. Die Farben der Kontaktflächen können gemäß den Richtungsfarben des Okklusalen Kompass angepasst werden (Kullmer et al. 2009). Mit dem Hinzufügen einer Referenzebene können auch die Neigungs- und Richtungswinkel (DIP und DIP-Direction) während der Mastikation gemessen werden, wie in Abb. 3.6.d zu sehen ist. Der errechnete Kauzyklus kann als Diagramm ausgegeben werden (Abb. 3.6.e). In der vorliegenden Arbeit wurde die Fläche des M1 verwendet, die bei Kontakt mit den beiden antagonistischen m1+m2 entsteht. Auf der X-Achse sind die errechneten Timesteps, auf der Y-Achse die Fläche in Quadratmillimeter (mm^2) aufgetragen. Über den einzelnen Balken des verwendeten Stapelbalkendiagramms ist die Kontaktfläche pro TS angezeigt.

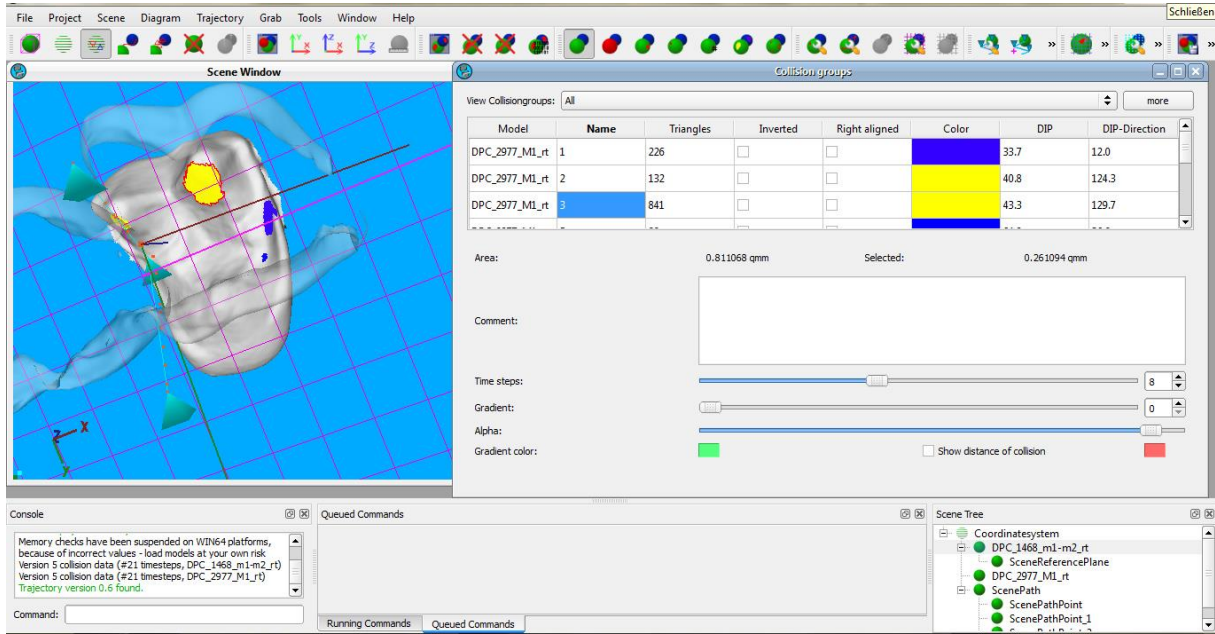


Abb. 3.6.d: Ansicht der OFA-Arbeitsfläche mit Kollisionsgruppen

Da die Kauzyklen einiger Primaten als Diagramm zu groß sind, um sie mit allen Kontaktflächengrößen abzdrukken, wurden nur die mm^2 des ersten, eines mittleren und des letzten Timesteps auf dem Diagramm angegeben (Abb. 3.6.e.). Die Information über die Gesamtflächennutzung pro Phase ist in der jeweiligen Beschreibung enthalten. Die blauen Balken im Diagramm zeigen die Flächen der Phase I und die grünen Balken die der Phase II. Aus der Gesamtflächennutzung der jeweiligen Phase wird der prozentuale Anteil der Phase I und Phase II errechnet und im Ergebnisteil angegeben.

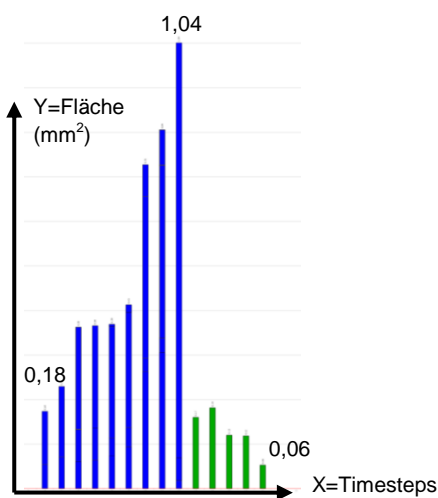


Abb. 3.6.e: OFA-Diagramm von *Absarokius abbotti* DPC 2977 mit Angabe der Kontaktfläche in mm^2 (y-Achse) des ersten, eines mittleren und des letzten Timesteps (x-Achse)

3.6.4 Mastikationskompass

Der Mastikationspfad eines Säugetieres wird durch die Zahnmorphologie bestimmt. Er besteht aus dem Eingleiten des Unterkiefers von buccal während der Phase I bis zur zentralen Okklusion und dem anschließenden Öffnen des Kiefers und dem Ausgleiten nach lingual in der Phase II. Von Koenigswald et al. (2012) haben dazu eine neue Terminologie und ein Abbildungsschema entwickelt.

Der Mastikationskompass eines rezenten oder fossilen Gebisses wird genau rekonstruiert, indem man die einzelnen Punkte des im OFA entstandenen Kaupfads als Textdatei exportiert. Diese Textdatei importiert man anschließend in InnovMETRIC © Polyworks 12 IMInspect (Abb. 3.6.f: orangene Punkte). Für die Inkursion wird vom ersten Kontaktpunkt bis zum Kontaktpunkt der zentralen Okklusion ein Vektor gesetzt (Abb. 3.6.f: Pfeil Name: Inkursion). Ein weiterer Vektor für die Exkursion beginnt in der zentralen Okklusion und endet am letzten Kontaktpunkt (Abb. 3.6.f: Pfeil Name: Exkursion).

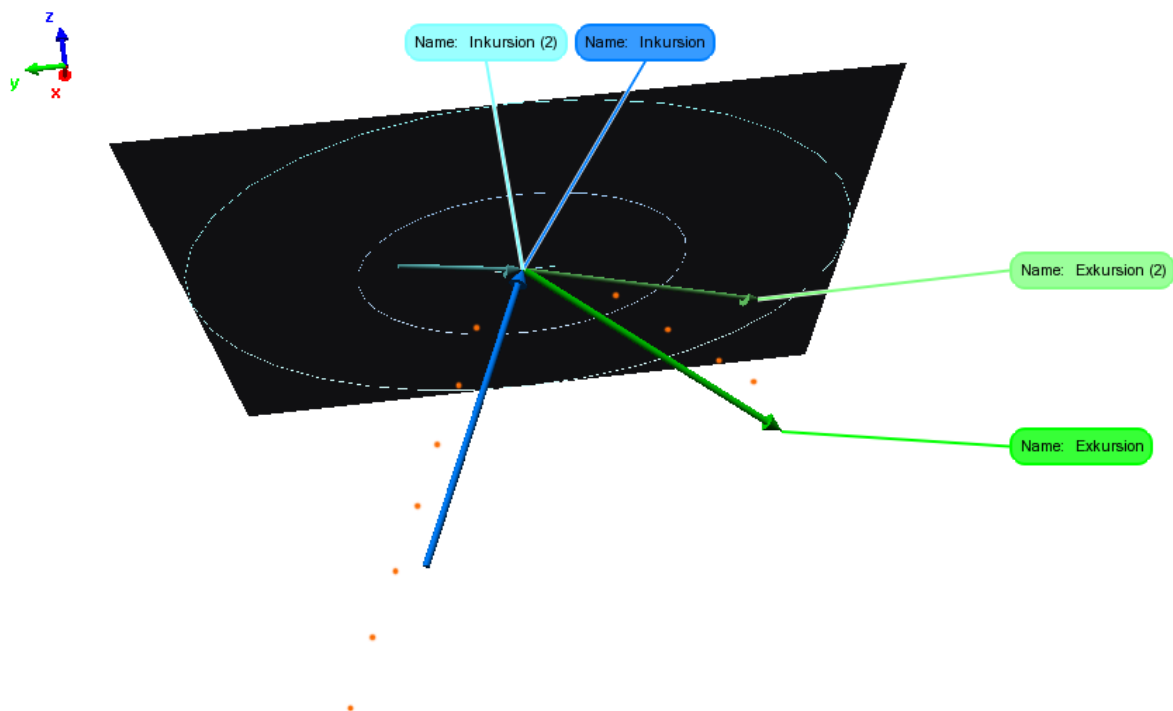


Abb. 3.6.f: Erstellung des Mastikationskompasses mit InnovMETRIC © Polyworks 12 IMInspect. Die orangenen Punkte stellen den importierten Kaupfad aus dem OFA-Projekt dar. Hier: *Palenochtha minor* AMNH 35451 (m1+m2) und USNM 9590 (M1). Die Pfeile zeigen die im Text beschriebenen Vektoren

Da die xy-Achse aus dem OFA die Referenz ist, wird in dieser Ebene ein numerischer Kreis der Größe 1 erzeugt, ein weiterer in der Größe 0.5. Beide Vektoren werden auf die direkt vergleichbare numerische Länge 1 gebracht. Danach erzeugt man eine Ebene in der xy-Achse und verdoppelt die Vektoren, die dann auf die Ebene projiziert werden (Abb. 3.6.f: Pfeil Name: Inkursion (2) und Pfeil Name: Exkursion (2)). Die Ansicht wird nach x = mesial

und y = buccal so ausgerichtet, dass wenn keine linken M1 und m1-m2 vorhanden sind, rechte Molaren entsprechend gespiegelt werden müssen (von Koenigswald et al. 2013). Die Inkursion der Phase I ist bei den untersuchten Primaten immer aufwärts gerichtet und wird im Mastikationskompass als blauer Pfeil dargestellt. Die Exkursion ist immer abwärts gerichtet und wird als gestrichelter grüner Pfeil dargestellt. Ist die Inklination 45° oder steiler, liegen die Pfeile innerhalb des inneren Kreises. Sind die Neigungswinkel flacher, liegen sie zwischen innerem und äußerem Kreis. Im Beispiel von *Palenochtha minor* (Abb. 3.6.g) beträgt der Inklinationswinkel der Inkursion $67,1^\circ$, somit ist er steiler als 45° und befindet sich innerhalb des inneren Kreises. Der Inklinationswinkel der Exkursion ist mit $27,7^\circ$ wesentlich flacher und verläuft deshalb zwischen innerem und äußerem Kreis. Zwischen Inkursion und Exkursion ist bei den untersuchten Taxa im Mittelpunkt des Kreises immer die zentrische Okklusion dargestellt.

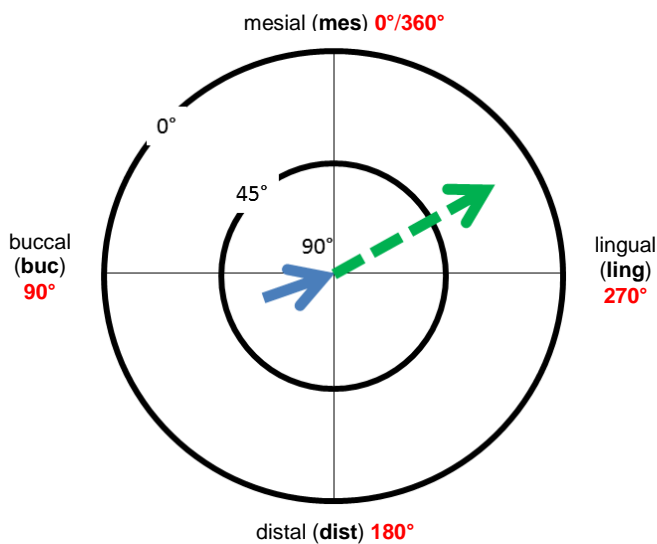


Abb. 3.6.g: Mastikationskompass nach von Koenigswald et al. (2012) am Beispiel von *Palenochtha minor* AMNH 35451 (m1+m2) und USNM 9590 (M1)

Die Richtung (Azimuth) wird in der vorliegenden Arbeit zum besseren Vergleich zwischen 0° und 360° angegeben im Gegensatz zu von Koenigswald et al. (2013), deren Richtungsangabe zwischen 0° und 180° liegen. Dadurch ergibt sich folgende Terminologie:

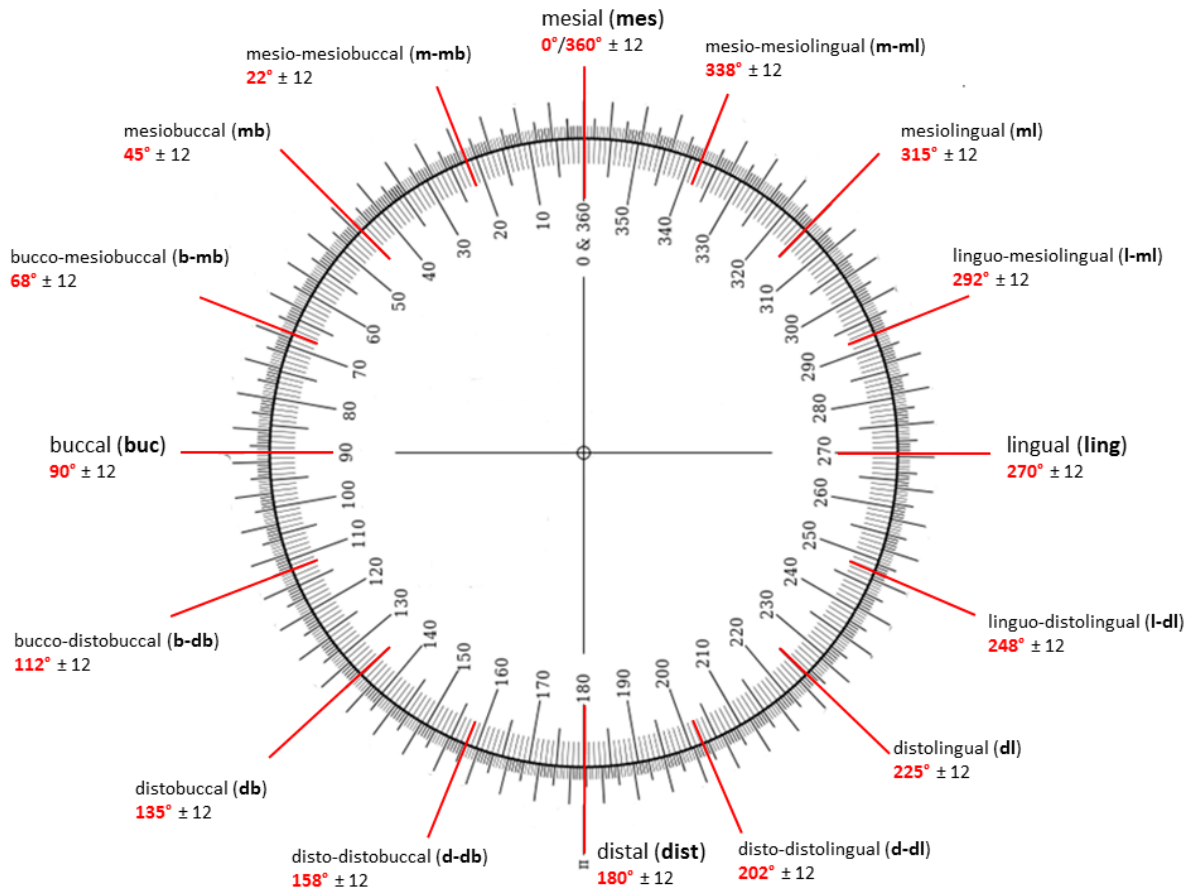


Abb. 3.6.h.: Richtungskreisel 360° mit Terminologie. Das Beispiel von *Palenochtha minor* aus Abb.3.6.g zeigt demnach eine Inkursion in linguo-mesiolinguale (l-ml) Richtung mit 288° und eine Exkursion in l-ml Richtung mit 299°

3.6.5 Okklusaler Kompass

Im Gegensatz zum Mastikationskompass, der den Kaupfad eines Individuums visualisiert, gibt der Okklusale Kompass die Hauptrichtung der Bewegungsmöglichkeiten aus der zentralen Okklusion an.

Von Douglass und DeVreugd (1997) wurde erstmals ein Farbcode publiziert, der die okklusale Bewegung aus der maximalen Bezahnung heraus anzeigt. Kullmer et al. (2009) haben den Farbcode und den Okklusalen Kompass weiter entwickelt.

In Abb. 3.6.i ist zu sehen, welche Hauptbewegungsrichtungen aus der Zentrischen Okklusion heraus möglich sind. Während der maximalen Verzahnung sitzt der Protoconus im Talonid. Bei Öffnung und Bewegung der Mandibel in eine bestimmte Richtung kollidieren die entsprechenden Facetten.

Die F1, F4, F5 und F8 (blau) sind bei lateroretrusiver (LRT) Bewegung in Kontakt. Die F2, F3, F6 und F7 (gelb) sind bei lateroprotrusiver (LPT) Bewegung in Kontakt und die F9, F10, F11, F12 und F13 (grün) bei mediotrusiven (MT) Bewegungen. F1_3_5 (rot) ist die Attritionsfacette, die bei *Cantius*, *Afradapis longicristatus* und *Indri indri* während der Inkursion nach lateral in Kontakt tritt.

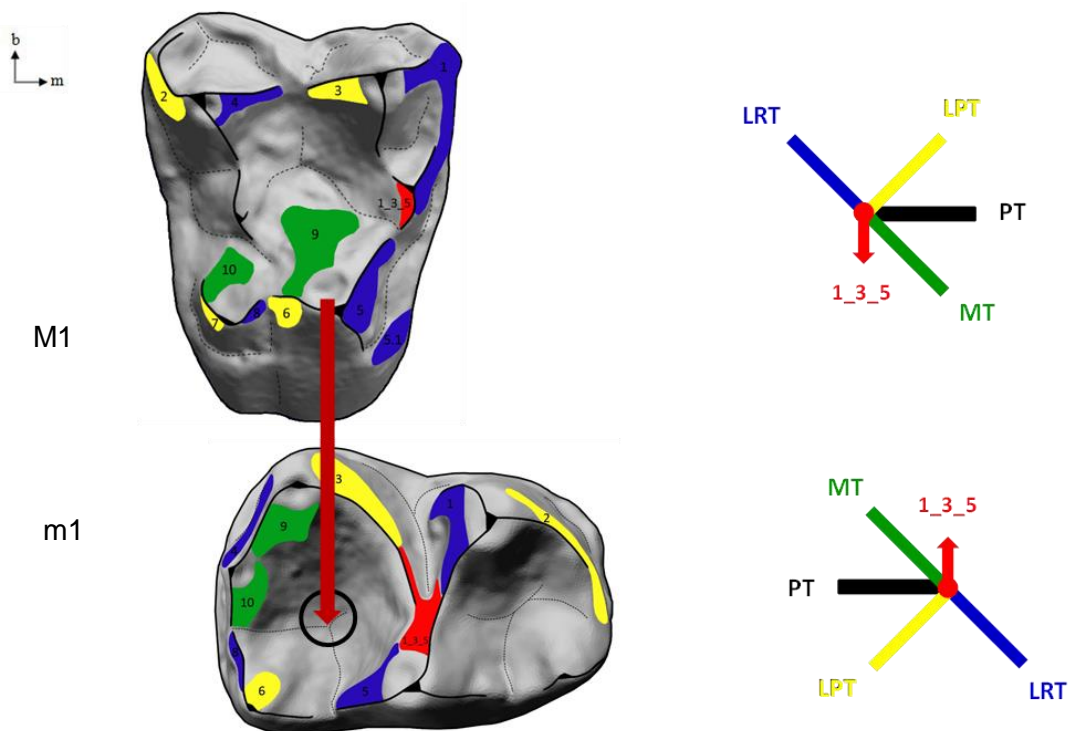


Abb. 3.6.i: Antagonistische Kontaktfacetten am Beispiel eines oberen und unteren ersten Molars des eozänen Primaten *Cantius*. Der rote Pfeil links zeigt die okklusale Beziehung des Protoconus, der in der zentralen Okklusion im Talonid sitzt. Rechts sind die Hauptrichtungen angezeigt, in die der Unterkiefermolar sich bewegen kann. Grafik: Laura Hauser nach einer Vorlage von Kullmer et al. (2009)

Jeder Vektor steht für eine Facette und beinhaltet die Information über den Neigungswinkel und Richtungswinkel der jeweiligen Facette. Je kürzer der Vektor ist, umso steiler die Facette, je länger der Vektor, umso flacher ist die Facette, immer bezogen auf die Referenzebene (Abb. 3.6.j).

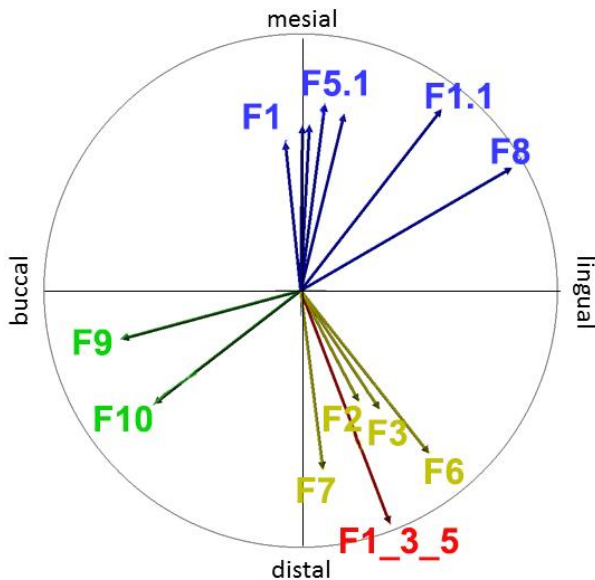


Abb. 3.6.j: Okklusaler Kompass M1 von *Cantius* sp. USGS 7860_521m

3.6.6 Orientation Patch Count (OPC)

Um die Topographie und Komplexität von Zähnen zu analysieren, wurde die von Evans (Evans et al. 2007) entwickelte Surfer Manipulator Software verwendet. Die Methode nennt sich OPC. Der Surfer Manipulator wird mit der GIS-Software Surfer für Windows (Golden Software) angewendet und zur Visualisierung ist zusätzlich das Programm Cortona3D notwendig.

Zur Vorbereitung werden die in der Referenzebene orientierten Zähne in ein 3D Bearbeitungsprogramm geladen. Hier wurde InnovMETRIC© Polyworks 12 IMEdit verwendet. Die Zähne orientiert man in der xy-Achse mesial nach y. Alle Polygone, die unterhalb des Sichtfeldes sind, werden gelöscht. Das so bearbeitete Modell wird als Punktwolke exportiert.

Die morphologischen Merkmale wie Höcker und Grate, die sich auf der Zahnoberfläche befinden, werden in einer 360° Drehung so erfasst, dass das aus einer Punktwolke bestehende Modell in 45° Schritten achtmal abgetastet wird. Evans et al. (2007) bezeichnen einen Zahn als mehr komplex, je höher die Anzahl von charakteristischen Merkmalen auf der 3D-Zahnoberfläche ist.

Da die Zähne unterschiedlich groß sind, wurden die Daten standardisiert, indem jeder Zahn auf eine vorher festgelegte Datenreihe gerechnet wird, um sie vergleichbar zu machen. In der vorliegenden Arbeit wurden für die Modelle 50 Datenreihen angewendet. Während Evans (2007) für einen Vergleich Zahnreihen verwendete, wurde in dieser Studie die Methode auf Einzelzähne angewendet, wie schon bei Skinner et al. (2010).

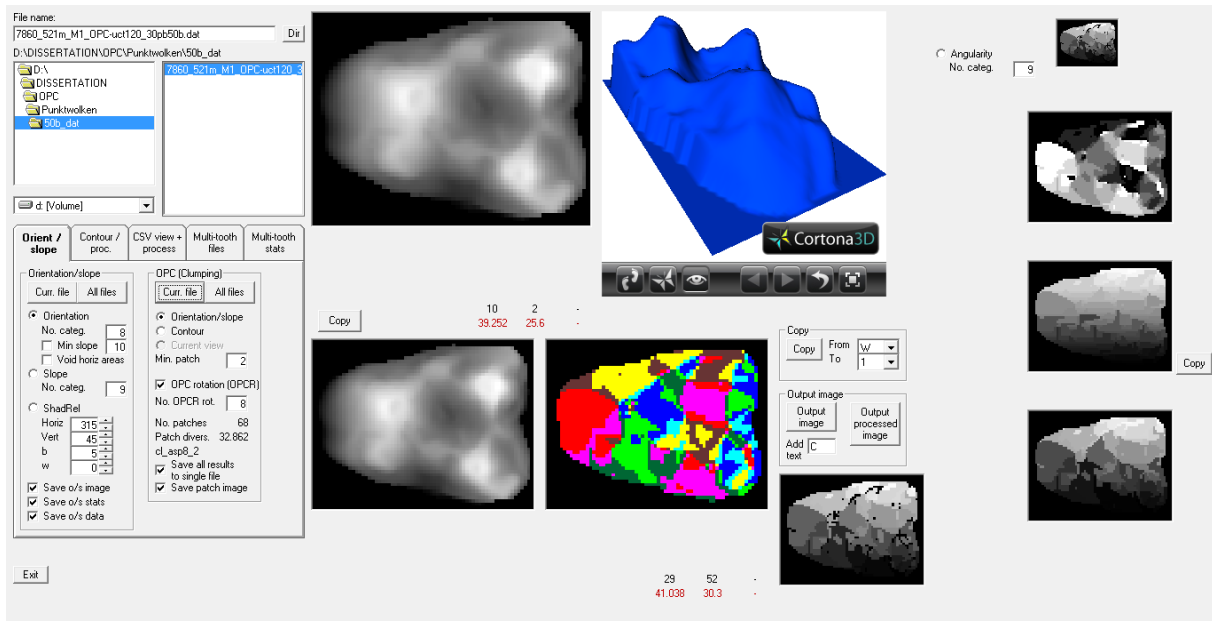


Abb. 3.6.k: Screenshot der Software Surfer Manipulator nach der Berechnung der Patches. Die bunte fleckige Darstellung (unten, Mitte) zeigt die 68 berechneten Patches von *Cantius* sp. USGS 7860, 521m M1 bei 50 Reihen

In der Abb. 3.6.k wurde als Beispiel der linke M1 von *Cantius* sp. USGS 7860 verwendet. Im Menu der Software Surfer Manipulator ist die 3D-Darstellung des M1 zu sehen. In der unteren Bildmitte der Abbildung, sind die vom Programm berechneten gleichorientierten bunten „Flecken“ auf der Zahnoberfläche zu erkennen. Das sind die sogenannten Patches, deren Anzahl links im Menu unter „No. patches“ erscheint. Je höher die Anzahl der Patches, desto komplexer ist die Zahnoberfläche.

Evans et al. (2007) bewiesen, dass es eine Beziehung zwischen Zahnoberflächen-Komplexität und Nahrung gibt. In ihrer Studie wurden Molaren-Zahnreihen von Rodentia und Carnivora verglichen. Dabei stellte sich heraus, dass die Species, die Pflanzenmaterial zerkleinern müssen, eine höhere Molarenkomplexität aufweisen, als solche, die Tiernahrung konsumierten. Um pflanzliche Nahrung aufzuschließen, ist ein höherer mechanischer Zerkleinerungsprozeß notwendig, der mit einer höheren Komplexität der untersuchten Molaren-Zahnreihen einhergeht.

4. Ergebnisse

4.1 *Absarokius abbotti* DPC 2977

4.1.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Absarokius abbotti wurde 1906 von Loomis unter dem Gattungsnamen *Anaptomorphus abbotti* beschrieben. Die oberen Molaren zeigen ein ursprüngliches tripsochenisches Muster. Ein Hypoconus hat sich nicht gebildet. Ein Entocingulum verläuft jeweils unterhalb des Metaconulus und des Paraconulus in Richtung lingual. Beide verbinden sich nicht, sondern laufen offen am lingualen Protoconus-Abhang aus (Abb. 4.1.a). Am distalen Entocingulum zeigt sich keine Abnutzung.

Der untersuchte M1 hat eine mesiodistale Länge von 2,11 mm und misst buccolingual 3,2 mm. Ab der Cervikalebene hat der Zahn eine Oberfläche von 12 mm² und ab der definierten Parallelebene 10 mm². Es wurden buccale Phase I F1-4, linguale Phase I F5 und F6, sowie eine Phase II F9 markiert und vermessen. F1 verläuft mit einem Neigungswinkel von 56° relativ schmal entlang der Paraconus-Präparacrista und verjüngt sich in Richtung der Cervix. F2 verläuft entlang der Metaconus-Postmetacrista bis zum Metastylus und in buccaler Richtung entlang der Entometacrista in einem Neigungswinkel von 57°. F3 ist mit einem Neigungswinkel von 49° etwas flacher als F1 und F2. Die Facette verteilt sich am distolingualen Abhang des Paraconus zwischen Entoparacrista und Postparacrista. An letzterer zieht sich F3 in einer relativ schmalen Fläche, bis sie am tiefsten Punkt zwischen Paraconid und Metaconid auf die F4 trifft. F4 ist mit einem Neigungswinkel von 38° flacher als alle anderen buccalen Phase I-Facetten und verläuft nur schmal entlang der Prämetacrista des Metaconus entlang. F1.1 nimmt einen größeren Anteil anterior des Paraconulus und des Entocingulums ein. Dadurch verlängert sich die Schneidkante bei Kontakt mit der antagonistischen F1 am unteren m1. Der m1 hat ebenso eine ursprüngliche Morphologie, mit einem deutlichen Paraconid. Metaconid und Paraconid stehen nicht parallel in einer buccolingualen Linie, sondern das Protoconid ist deutlich weiter nach mesial ausgerichtet.

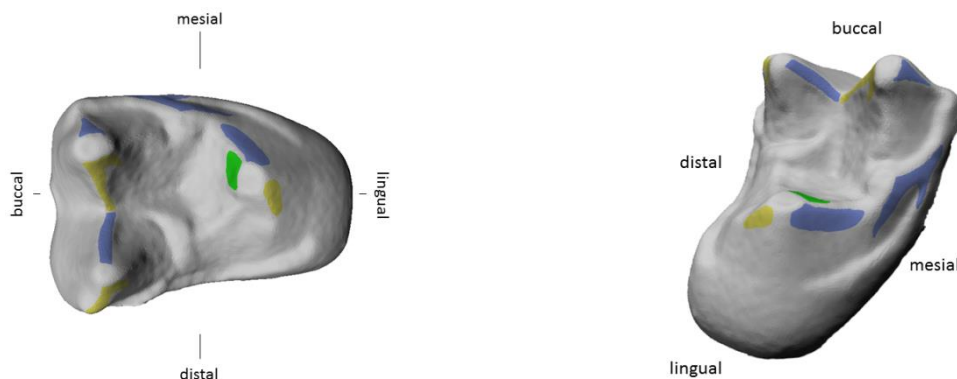


Abb. 4.1.a: *Absarokius abbotti* DPC 2977, M1, okklusale Ansicht und mesiolinguale Ansicht mit Facettenanordnung (v.l.n.r.)

Der Okklusale Kompass (Abb. 4.1.b) zeigt ein stark eingeschränktes Bewegungsmuster. Durch die Führungsfacetten F3 und F4 ist keine große Differenz innerhalb der Richtungswinkel möglich. Die Winkel der LRT-Facetten (blau), haben nur einen Spielraum von $18,3^\circ$, zwischen F1 und F5. Die LPT-Facetten (gelb), liegen zwischen 208° bei F2 und 235° bei F6, haben somit auch nur eine Differenz von 27° . Die einzige Phase II F9 in MT-Richtung (grün) hat einen Winkel von 88° nach buccal.

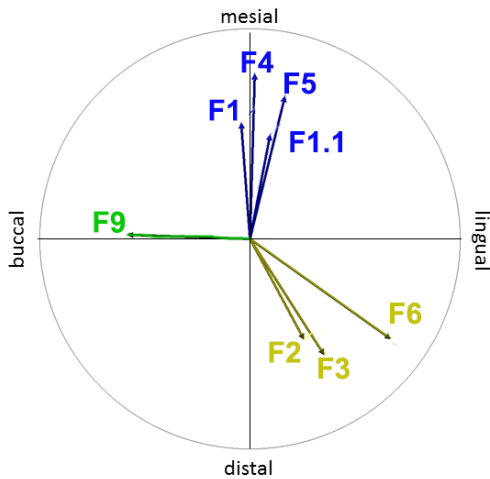


Abb. 4.1.b: Okklusaler Kompass von *Absarokius abbotti* DPC 2977, M1

4.1.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Wie im Mastikationskompass (Abb. 4.1.c, links) zu sehen ist, geht die Inkursionrichtung direkt nach lingual und der Neigungswinkel beträgt $37,2^\circ$. Bei der Exkursion messen wir einen flacheren Inklinationswinkel von $32,4^\circ$. Die Exkursion geht mit $264,1^\circ$ auch in linguale Richtung.

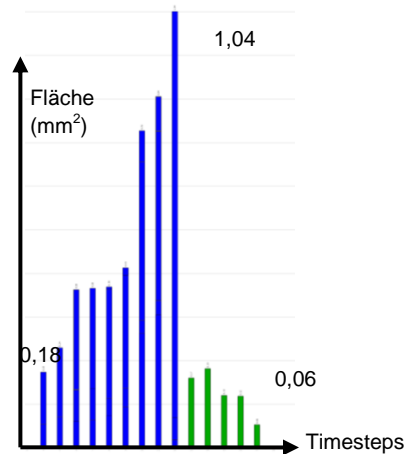
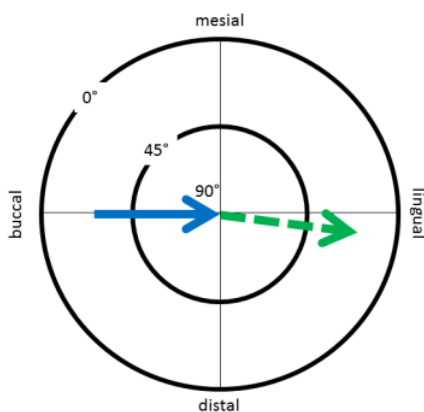


Abb. 4.1.c: Mastikationskompass und OFA-Diagramm von *Absarokius abbotti* DPC 2977 und DPC 1468 (m1-m2) (v.l.n.r.)

Das OFA-Projekt wurde mit DPC 1468 (m1-m2) durchgeführt, weil keine assoziierten antagonistischen Zähne für DPC 2977 (M1) vorhanden sind. Das Diagramm (Abb. 4.1.c, rechts) von *Absarokius abbotti* zeigt einen Kauzyklus, der insgesamt 14 Timesteps lang ist. Die Flächennutzung der Phase I-Facetten steigt stark an, insgesamt werden 4,63 mm² Fläche genutzt, während für die Phase II nur eine Gesamtfläche von 0,67 mm² pro Kauzyklus verwendet wird. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 86,8%, der der Phase II 13,2%.

Im Orientation Patch Count (OPC) wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 47 Patches errechnet.

4.2 *Aegyptopithecus zeuxis* DPC 3161

4.2.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Eine Facettenanalyse wurde bereits von Kay und Hiiemae (1974) und Kay (1977) durchgeführt. Dabei haben sie unterschiedliche Facettennomenklaturen verwendet, die in Tabelle 2.2.a im Kapitel 2.2.2. Terminologie der Primatenzähne, mit der hier verwendeten Nomenklatur vergleichbar wird.

Die hier untersuchten M1 und M2 waren im Original in einem Erhaltungszustand, der es schwierig machte, die Facetten zu analysieren. Die bei Kay (1977) beschriebenen Facetten 1b und 3b am Paraconulus, sowie 2b und 4b am Metaconulus konnten nicht bestimmt werden. Die von ihm beschriebene „Cusp a“, distal an der Präprotocrista gelegen, fehlt auch am vorliegenden M1. Die buccalen Phase I F1-4 und die lingualen F5-F8 konnten alle lokalisiert werden. Auch die Phase II F9 und F10 sind vorhanden. Ein Hypoconus ist gut entwickelt (Abb. 4.2.a, links). Die von Kay (1977) beschriebene Facette X, die in der vorliegenden Arbeit als Phase II F11 bezeichnet wird, wurde an einem m2 (DPC 2332, Abb. 4.2.b. unten links) am distolingualen Abhang des Protoconids gefunden. Die antagonistische Facette liegt nach Kay's Beschreibung (1977, S. 335+336) am lateralen Abhang des Protoconus, mesial zum Paraconulus, konnte aber bei keinem der untersuchten M1 und M2 nachweislich festgestellt werden. Eine weitere Phase II F13 war hingegen an einem m2 bestimmbar. Sie befindet sich an der mesialen Neigung des Hypoconulids (Abb. 4.2.b, unten rechts). Die antagonistische Kontaktfläche der F13 sollte am distolingualen Abhang der Postprotocrista liegen, konnte aber aufgrund der oben erwähnten Erhaltungszustände der Fossilien nicht bestimmt werden.

Die Oberfläche beträgt ab der definierten Parallelebene 44,6 mm² und ab der Cervikalebene 70,4 mm², dabei misst der Zahn von mesial nach distal 5,7 mm und von buccal nach lingual 7,2 mm.



Abb. 4.2.a: Linker M1 von *Aegyptopithecus zeuxis* DPC 3161, gespiegelt. Facettenanordnung und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Die LRT-Facetten im Okklusalen Kompass (Abb. 4.2.a, rechts) haben eine Differenz von 58° zwischen F4 mit 339° und F8 mit 281° . Die LPT-Facetten orientieren sich zwischen 257° für F6 und 188° für F7 und haben somit eine Differenz von 69° . Die MT Phase II F9 orientiert sich mit 93° nach buccal und F10 mit 132° nach distobuccal. Die Neigungswinkel zeigen, dass die Facetten nicht besonders steil sind. Am flachsten ist F8 mit nur 8° und am steilsten F2 mit 53° . Die in Abb. 4.2.b unten links beschriebene Facette 11 hat einen Neigungswinkel von $24,6^\circ$ und ist mit 181° nach distal orientiert. Die Facette 13 in der Abb. 4.2.b unten rechts hat einen Neigungswinkel von $20,8^\circ$ und ist mit 349° nach mesial orientiert.

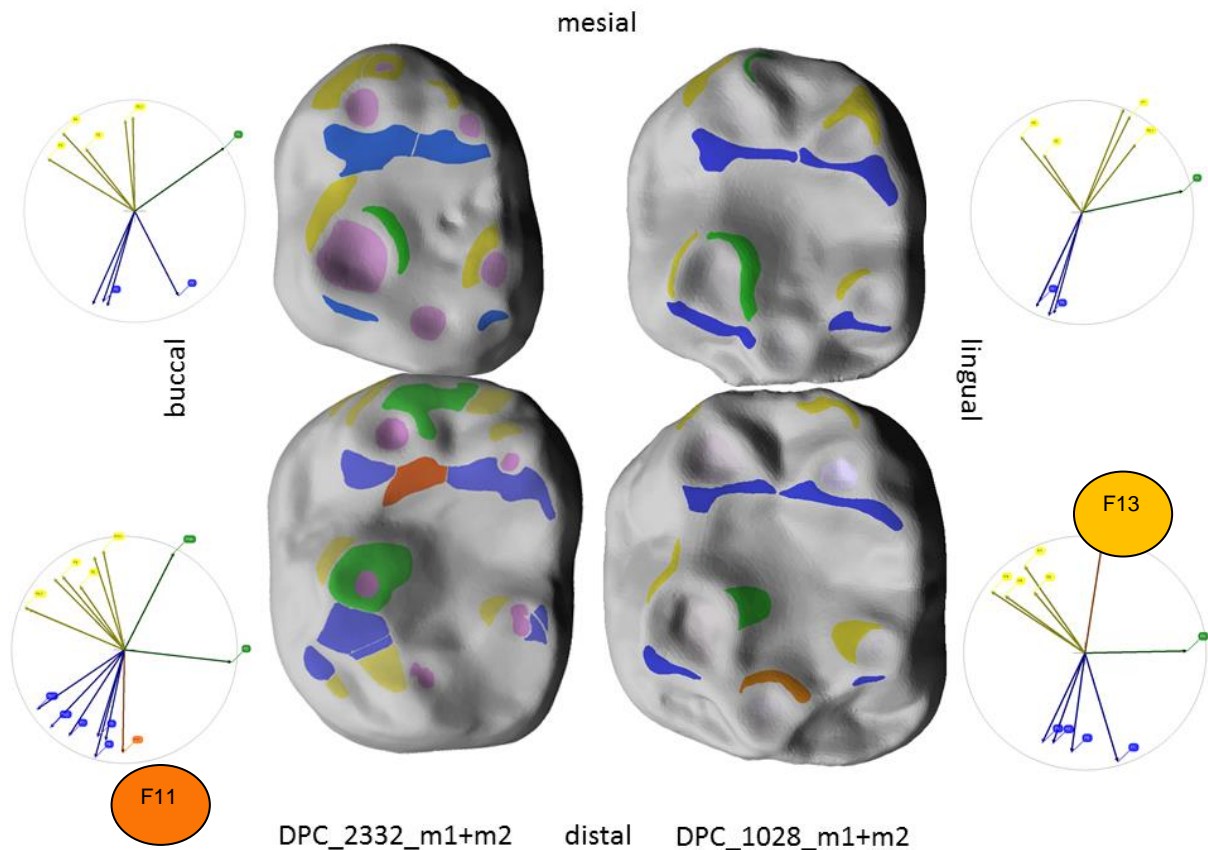


Abb. 4.2.b: *A.zeuxis* m1 (oben) und m2 (unten) von DPC 2332 und DPC 1028 (v.l.n.r.) mit den dazugehörigen Okklusalen Kompassen. In orange sind am linken m2 F11 und in hellorange am rechten m2 F13 dargestellt.

4.2.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Für das OFA-Projekt und die Berechnung des Mastikationskompass wurden für DPC 3161 (M1 sin. gespiegelt) DPC 1028 (m1-m2 dex.) ausgewählt.

Im Mastikationskompass (Abb. 4.2.c, links) orientiert sich der Inkursionspfeil der Phase I 281° nach lingual mit $21,2^\circ$ Neigung, die Exkursion richtet sich mit 287° nach linguomesiolingual mit einem Neigungswinkel von $6,4^\circ$.

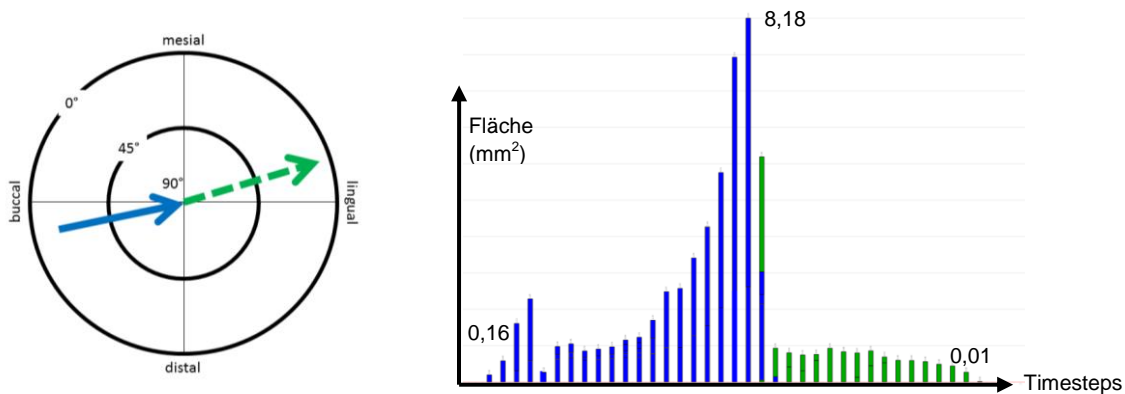


Abb. 4.2.c: Mastikationskompass und OFA-Diagramm von *A.zeuxis* DPC 3161, M1sin gespiegelt mit DPC 1028 m1-m2 dex. (v.l.n.r.)

Im OFA-Diagramm (Abb. 4.2.c, rechts) überwiegt Phase I deutlich mit einer Gesamtflächen-nutzung von $44,43 \text{ mm}^2$. Dafür wurden 22 TS berechnet. Phase II nutzt insgesamt $10,92 \text{ mm}^2$ bei 17 TS. Die Fläche der Phase II bleibt während des Kauzyklus konstant. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 81%, der der Phase II 19%.

Im Orientation Patch Count (OPC) wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 69 Patches errechnet.

4.3 *Afradapis longicristatus* DPC 21537

4.3.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Die Erstbeschreibung der kompletten Bezahnung mit Kiefer von *Afradapis longicristatus* stammt von Seiffert et al. (2009). Sie stellten Zahn- und Kiefermerkmale fest, wie sie auch in jüngeren Anthropeida vorkommen, die als früheste Vorfahren der Catarrhini (Altweltaffen) gelten. *A. longicristatus* stammt aus dem Fayum im Norden Ägyptens und wurde auf 37 Millionen Jahre datiert. Der untersuchte M1 hat eine Oberfläche von $71,78 \text{ mm}^2$ ab der Referenzebene und $56,15 \text{ mm}^2$ ab der definierten Parallelebene. Mesiodistal misst der Zahn $6,2 \text{ mm}$ und buccolingual $5,9 \text{ mm}$. Bei den Facetten handelt es sich in diesem Stadium um schmale Flächen, bis auf diejenigen, die rot markiert sind (Abb. 4.3.a, links). Es gibt buccale Phase I F1-F4 und linguale Phase I F5-F8. Phase II-Facetten wurden keine bestimmt. F1

läuft mit einem Neigungswinkel von 57° unterhalb der Paraconusspitze entlang der Präparacrista, bis über die Präparaconuluscrista zum mesialen Abhang des Paraconulus. F2 befindet sich am distalen Abhang des Metaconus und geht entlang der Postmetacrista bis zum Metastylus in einem Neigungswinkel von 63° . Es gibt keinen Kontakt auf der distalen Kante. F3 zieht sich mit einer Inklination von 41° entlang der Postparacrista und F4 entlang der Prämetacrista mit 46° Neigung. Am basalen Ende der beiden Facetten 3 und 4 ist ein horizontaler Kontakt mit einer Inklination von 25° , der im Folgenden auch bei einigen Molaren von *Cantius* beobachtet wurde. Dieser Kontakt schert bei der Inkursion am buccalen Abhang der Hypoconidspitze ab. Horizontal auf dem Paraconulus liegt eine Attritionsfacette mit einer Neigung von 30° , die auch bei *Cantius* als F1_3_5 beschrieben wurde. Bei der Inkursion entsteht hier ein Stop mit dem antagonistischen buccalen Metaconidabhang, bevor die Zähne in die zentrische Okklusion eingleiten. F5 geht von der Protoconusspitze entlang der Präprotocrista bis zum Paraconulus, wo sie auf die horizontale F1_3_5 trifft. F6 hat einen Neigungswinkel von 42° und liegt am distolingualen Abhang des Protoconus entlang der Postprotocrista. *Afradapis* hat einen deutlichen Hypoconus ausgebildet, der nach Seiffert et al. (2009) aus dem posterioren Cingulum entstanden ist. Auf dem distolingualen Abhang des Hypoconus hat sich entlang der Posthypocrista eine F7 mit einem Neigungswinkel von 43° gebildet. Am mesiolingualen Abhang entlang der Prähypocrista befindet sich eine F8 mit einer Inklination von 30° .

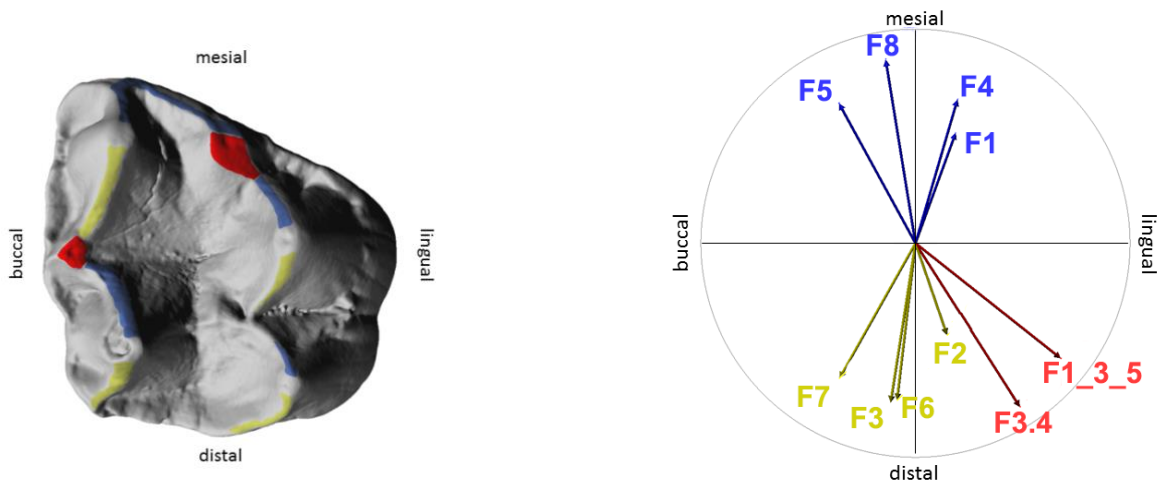


Abb. 4.3.a: Rechter M1 von *Afradapis longicristatus* DPC 21537, Facettenanordnung und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Die blauen LRT-Facetten, die alle Richtung mesial orientiert sind, besitzen eine Differenz von 38° und liegen zwischen F5 bei 331° und F8 bei 9° . Die LPT-Facetten orientieren sich zwischen F2 bei 199° und F7 bei 151° und haben somit eine Varianz von 48° . MT-Facetten konnten nicht ermittelt werden. Die beiden zusätzlichen Facetten liegen in distolinguale Richtung, F3_4 orientiert sich nach 212° und F1_3_5 nach 232° (Abb. 4.3.a, rechts).

4.3.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Im Mastikationskompass (Abb. 4.3.b, links) wird deutlich, dass die Inkursion mit $56,4^\circ$ recht steil ist. Die Inkursionsrichtung weist mit 332° nach mesio-mesiolingual. Die Exkursion hat einen Neigungswinkel von 15° . Dabei erfolgt die Exkursion auch nicht nach lingual, sondern weicht um 37° von lingual in Richtung mesial ab, geht also mit 307° in Richtung mesiolingual.

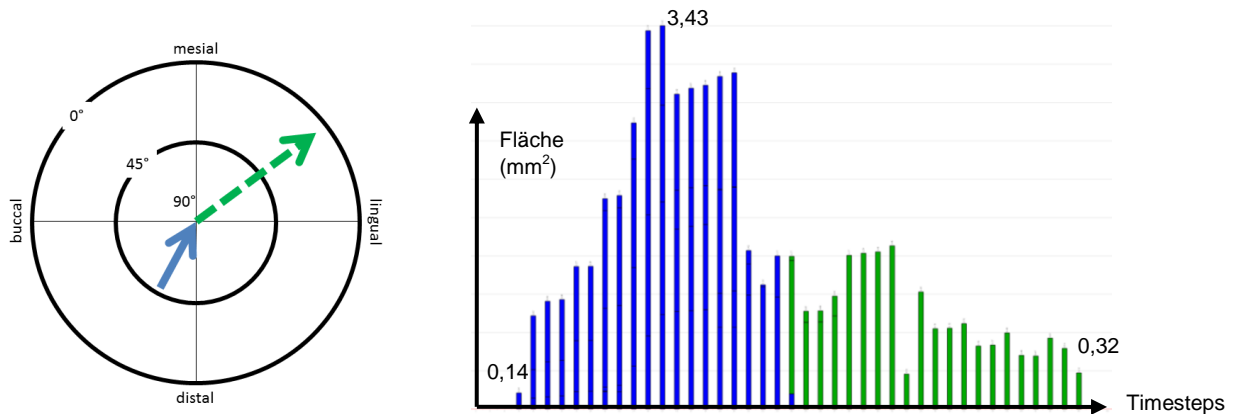


Abb. 4.3.b: Mastikationskompass und OFA-Diagramm von *Afradapis longicristatus* DPC 21537, M1 und m1 dex. (v.l.n.r.)

Im OFA-Diagramm (Abb. 4.3.b, rechts) steigt die Phase I stark an und bleibt recht massiv. Gegen Ende der Phase I fällt die Fläche etwas ab, bleibt aber auf einem Plateau, das in Phase II übergeht. Phase II bleibt relativ konstant in der Facettenflächennutzung und läuft langsam aus. Phase I hat eine Gesamtflächennutzung von $37,25 \text{ mm}^2$ und es wurden 20 TS berechnet. Phase II verwendet $17,43 \text{ mm}^2$ bei 21 TS. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 68%, der der Phase II 32%. Im Orientation Patch Count (OPC) wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 73 Patches errechnet.

4.4 *Apidium phiomense* DPC 14238

4.4.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Apidium phiomense wurde 1908 von Osborn beschrieben und stammt aus dem Fayum des mittleren Oligozäns. *Apidium* wird, wie auch *Parapithecus*, von Simons (1974) als basaler Cercopithecoidea gesehen. Die Zahnformel lautet 2.1.3.3. Kay (1977) sieht *Apidium* näher mit *Aegyptopithecus* verwandt, als mit *Parapithecus*. Die Oberfläche ab der Referenzebene des vorliegenden M1 beträgt $35,24 \text{ mm}^2$ und ab der Parallelebene $15,36 \text{ mm}^2$. Von mesial nach distal misst der Zahn $3,7 \text{ mm}$ und von buccal nach lingual $5,4 \text{ mm}$. Die Höcker sind insgesamt deutlich abgerundet. Kay beschrieb 1977 die Facettenposition von *Apidium moustafai* und bestimmte dabei „cusp a“ am Oberkiefermolar, welcher seiner Ansicht nach

mit „cusp a“ von *Aegyptopithecus zeuxis* homolog ist. Dieser Höcker sollte am distalen Ende der Präprotocrista positioniert sein, kommt aber am M1 von *Apidium phiomense* DPC 14238 nicht vor. Der vorliegende M1 hat vier buccale Phase I F1-F4, vier linguale Phase I F5-F8 und vier Phase II F9, F10, F12 (Abb. 4.4.a+b in rot dargestellt) und F13 (Abb. 4.4.a+b in orange dargestellt).

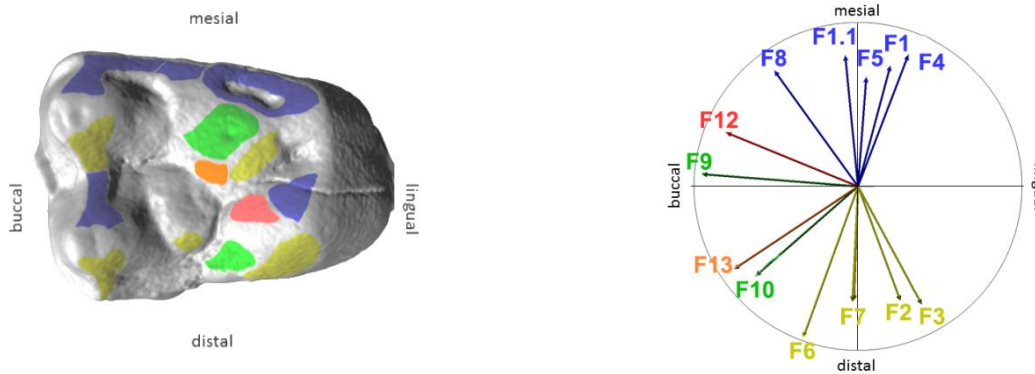


Abb. 4.4.a: *Apidium phiomense* DPC 14238, M1 sin. gespiegelt, Facettenanordnung und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Mit 42° ist F2 die steilste buccale Phase I-Facette, gefolgt von F1 mit 40° . Mit einem Neigungswinkel von 35° ist F3 eher flach und F4 mit 31° die flachste buccale Phase I-Facette. Von den lingualen Phase I-Facetten ist F5 mit 48° am steilsten, F7 hat 46° und F6 ist mit 11° die flachste linguale Phase I-Facette. F9 ist mit 17° die flachste unter den Phase II-Facetten. F12 hat einen Neigungswinkel von $29,6^\circ$ und F13 von $24,3^\circ$.

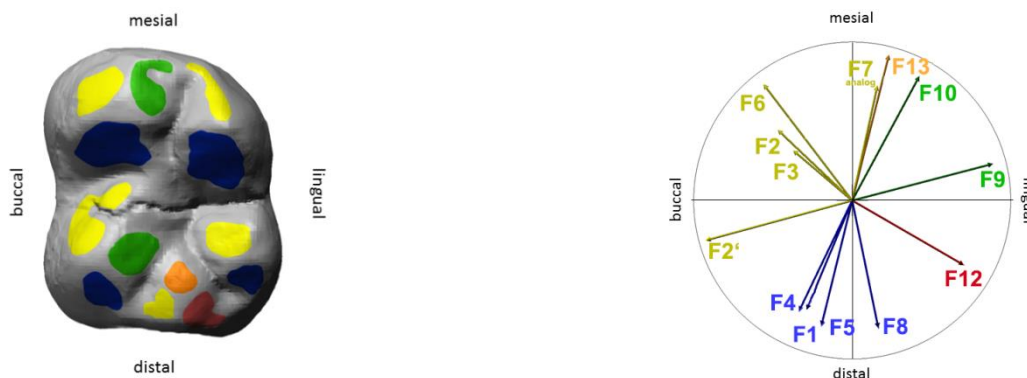


Abb. 4.4.b: *Apidium phiomense* DPC_3871, m1 dex. gespiegelt, Facettenanordnung und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Da die Höcker relativ flach sind, ist die Bewegungsmöglichkeit weniger eingeschränkt. Die blauen LRT-Facetten haben eine Differenz von 57° , von 339° für F4 bis 36° für F8. Die gelben LPT-Facetten sind zwischen 178° für F7 und 208° für F3 orientiert und besitzen somit eine Differenz von 30° . Die Phase II F12 (rot) ist mit 72° nach b-mb gerichtet und F13 (orange) mit 124° nach distobuccal. Die Vektoren der beiden weiteren Phase II-Facetten sind nach buccal, F9 mit 86° und distobuccal, F10 mit 131° gerichtet (Abb. 4.4.a, rechts). Im m1 ist F12 mit 240° nach linguo-distolingual orientiert und hat einen Neigungswinkel von $35,4^\circ$. F13 plottet mit 345° nach mesio-mesiolingual und ist mit einem Fallwinkel von $18,4^\circ$ relativ flach (Abb. 4.4.b, rechts).

4.4.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Im Mastikationskompass (Abb. 4.4.c, links) sieht man eine Inkursion, die mit 270° nach lingual ausgerichtet ist. Die Neigung des Eingleitwinkels beträgt 18,4°. Die Exkursion ist mit 286° nach linguo-mesiolingual orientiert und der Ausgleitwinkel beträgt 9,9°.

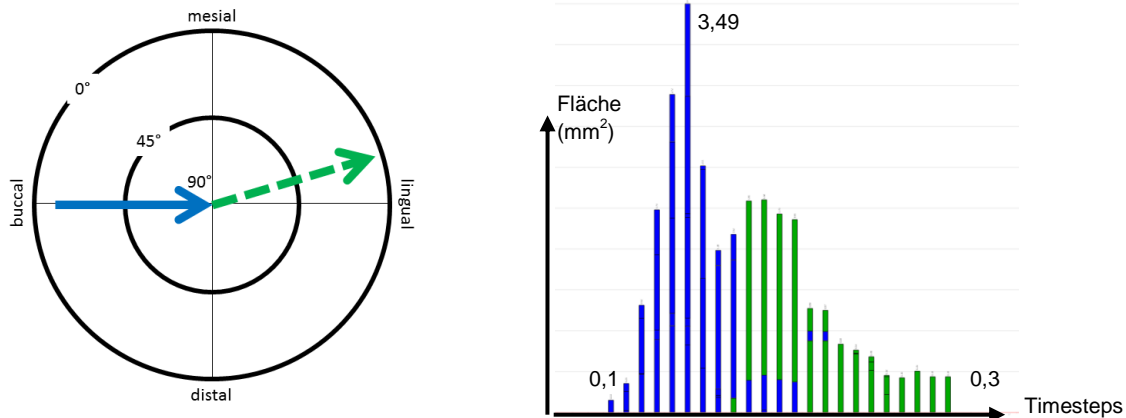


Abb. 4.4.c: Mastikationskompass und Diagramm aus dem OFA-Projekt von *Apidium phiomense* DPC 14238, M1 und DPC 3871, m1+m2 (v.l.n.r.)

Da für DPC 14238 (M1) keine antagonistischen Zähne vorhanden sind, wurde das OFA-Projekt mit DPC 3871 (m1+m2) durchgeführt.

Im OFA-Diagramm (Abb. 4.4.c, rechts) ist eine sehr stark ansteigende Phase I zu sehen, die eine Gesamtfläche von 15,38 mm² einnimmt und 15 TS benötigt. Für Phase II werden 10,7 mm² Gesamtfläche genutzt und ebenfalls 15 TS verwendet.

Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 59,3%, der der Phase II 41,7%.

Im Orientation Patch Count (OPC) wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 68 Patches errechnet.

4.5 *Cantius* sp. USGS 4689_34m

4.5.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Die Gattung *Cantius* hat eine sehr ursprüngliche Molarenmorphologie. Keiner der untersuchten Molaren aus der Level1 Stratigraphie hat einen Hypoconus. Vom Protoconus ausgehend verläuft ein Grat in distale Richtung, die Nannopithex-Falte. Ein deutliches Cingulum verläuft von unterhalb des Paraconulus entlang über lingual bis zur distalen Einkerbung auf der Höhe des Metaconulus. Die mesiodistale Länge des vorliegenden M1

beträgt 3,5 mm, buccolingual misst der Zahn 4,6 mm. Die Oberfläche des Zahns beträgt 31,6 mm² ab der Cervikalebene und 25,5 mm² ab der definierten Parallelebene.

Butler (1973) publizierte eine umfassende Facettenbeschreibung über die frühen tertiären Primaten Nordamerikas. Phase I F1-4 liegen buccal an den Flanken von Paraconus und Metaconus, linguale Phase I F5 und F6 sind vorhanden. Im vorliegenden M1, wie auch bei anderen untersuchten oberen ersten Backenzähnen der ältesten Stratigraphie, konnten keine Phase II-Facetten erkannt werden. Bei allen oberen und unteren ersten Molaren wurde eine Facette gemessen, die bei Butler als Grat oder schmaler Kamm bezeichnet wird. Auf dem M1 befindet sie sich horizontal auf dem Paraconulus und ist oft in mesiolinguale Richtung gekippt. Auf der Abb. 4.42.a, S.120 des Oriana Rosendiagramms ist zu sehen, dass die Facette in alle Richtungen kippen kann. Grund dafür ist die horizontale Ausrichtung, die diese Facette einnimmt. Auf dem m1 ist die Facette in buccale Richtung auf dem Metaconid-Abhang orientiert. Während des Kauprozesses geht die Facette sehr früh, direkt nach F1 und F4 in Kontakt. Die Metaconidspitze stoppt auf dem Paraconulus ab und die Zähne gleiten entlang dieser Facette in die zentrale Okklusion. Die Facette wurde 1_3_5 benannt, weil sie bei okklusaler Ansicht auf den m1 zwischen den Facetten 1, 3 und 5 liegt. Der Vollständigkeit wegen muss noch erwähnt werden, dass bei einigen *Cantius* Molaren noch eine weitere Abnutzungsfläche detektiert wurde. Diese befindet sich am M1, genau zwischen F3 und F4 am basalen Ende zwischen Paraconus und Metaconus sowie am m1 ebenfalls zwischen F3 und F4, hier fast apikal an der buccodistalen Flanke des Hypoconids (Abb. 4.5.a). Als Bezeichnung wurde F3_4 gewählt.

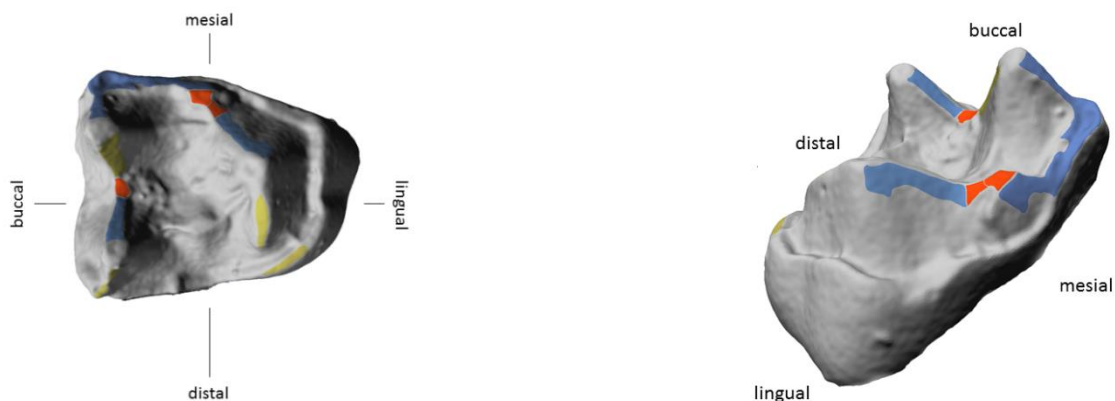


Abb. 4.5.a: M1 von *Cantius* sp. USGS 4689_34m in okklusaler und lateraler Ansicht

F1 läuft entlang der mesialen Flanke des Paraconus über den Parastylus und weiter auf der Präparaconuluscrista, bis es die mesiale Fläche des Paraconulus einnimmt. Hier wurde ein Gesamt-Neigungswinkel von 48° ermittelt. F2 wurde hier nur als ein schmales Band wahrgenommen, das sich unterhalb des Tip-crushings des Metaconus entlang der Postmetacrasta bis auf den Metastylus verteilt. F2 hat einen Gesamt-Neigungswinkel von 46°. F3 befindet sich an der distolingualen Flanke des Paraconus und verläuft entlang der

Postparacrista. F3 hat einen Neigungswinkel von 62° , der deshalb wesentlich steiler als der von F1 und F2 ist, weil diese beiden durch die Verteilung auf dem Parastylus bzw. dem Metastylus in der Gesamtmessung flacher werden. F4 besitzt einen Neigungswinkel von 39° und läuft entlang der Prämetacrista. F5 flankiert den Protoconus entlang der Präprotocrista mit einer Neigung von 46° und trifft vor dem Paraconulus auf die F1_3_5. F1_3_5 wurde hier an zwei Stellen gemessen, direkt auf dem Paraconulus mit einer Neigung von 7° und an der Entoparaconuluscrista mit 27° . F6 befindet sich auf dem Grat der Nannopithex-Falte mit einem Neigungswinkel von 41° und F6.1 auf dem distolingualen Teil des Entocingulums mit einem Neigungswinkel von 22° .

Mit dem Okklusalen Kompass wird deutlich, dass die blauen LRT-Facetten sehr spezifisch in eine Richtung weisen, F1 mit einem Winkel von 354° , F4 mit 352° und F5 mit 353° (Abb. 4.5.b). Die gelben LPT-Facetten zeigen eine größere Differenz von 73° auf, von F2 mit 141° bis F3 mit 214° . Für F1_3_5 erhält man direkt auf dem Paraconulus einen Richtungswinkel von 345° und entlang der Entoparaconuluscrista 276° . Obwohl es sich im Grunde um eine Facette handelt, wurden zwei Raumwinkel ermittelt, da die Facette beim Ausgleiten aus der zentrischen Okklusion über das Praehypocristid schert und deshalb zwei verschiedene Richtungen aufweist. F3_4 weist mit 244° nach linguo-distolingual.

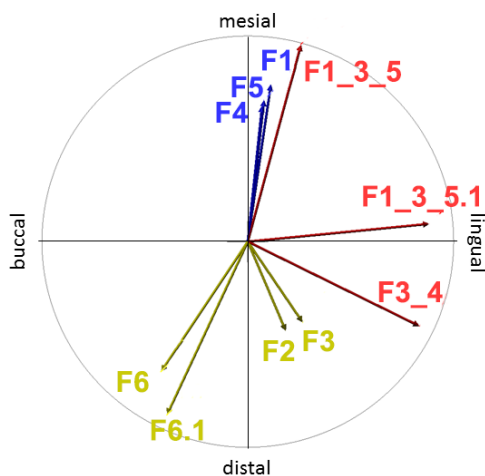


Abb. 4.5.b: Okklusaler Kompass des M1 von *Cantius* sp. USGS 4689_34m

4.5.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Im Mastikationskompass beträgt der Inklinationswinkel bei der Inkursion $50,8^\circ$. Die Inkursionsrichtung zeigt mit $285,8^\circ$ nach linguo-mesiolingual. Beim Ausgleiten beträgt der Neigungswinkel $31,1^\circ$ und weist mit 275° nach lingual (Abb. 4.5.c, links).

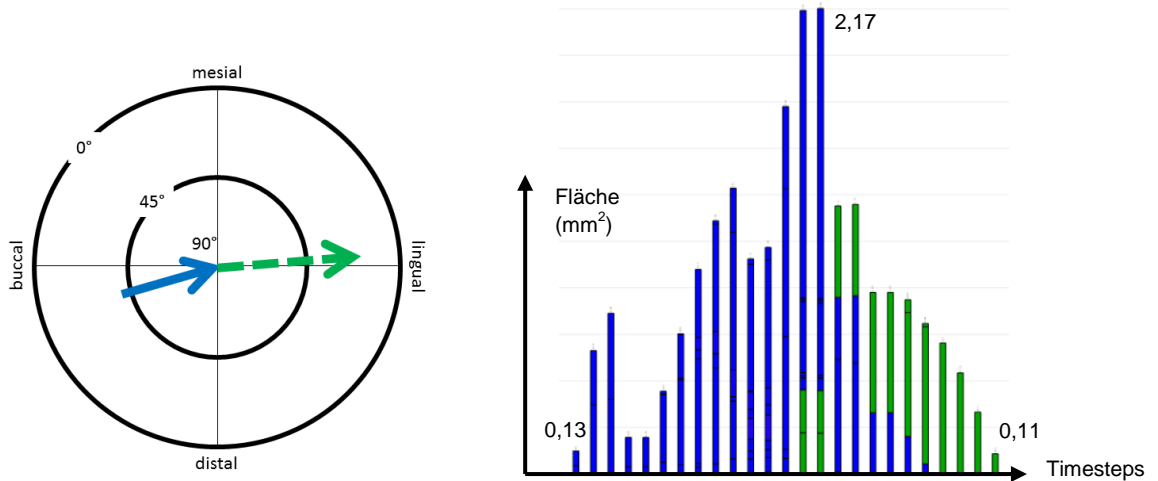


Abb. 4.5.c: Mastikationskompass und OFA-Diagramm von *Cantius* sp. USGS 4689_34m, M1 und USGS 4650_34m, m1+m2 (v.l.n.r.)

Für das OFA-Projekt wurde der m1 und m2 von *Cantius* sp. USGS 4650_34m verwendet. Das OFA-Diagramm zeigt 25 Timesteps für Phase I und Phase II (Abb. 4.5.c, rechts). Die Phase I-Facetten steigen gleich deutlich an und nutzen insgesamt eine Fläche von 19,58 mm², für Phase II werden 6,68 mm² Gesamtfläche verwendet. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 74,6%, der der Phase II 25,4%. Im OPC wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 81 Patches errechnet.

4.6 *Cantius* sp. USGS 7860_521m

4.6.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Die oberen Molaren von *Cantius* zeigen auch in den stratigraphisch höher liegenden Schichten das tribosphenische Muster. Distolingual hat sich ein Hypoconus entwickelt (Butler 2000, Gingerich und Simons 1977). Ein Entocingulum verläuft mesial von der Präparaconuluscrista in Richtung lingual bis auf die Höhe der Entoprotocrista. Auf der lingualen Flanke des Protoconus ist sie sehr schwach ausgeprägt. Distal beginnt das Cingulum an der basalen Flanke des Metaconus und reicht bis zur lingualen Flanke des Hypoconus.

Der vorliegende M1 misst mesiodistal 4,5 mm und buccolingual 6,5 mm, die Oberfläche ab der Referenzebene beträgt 49,3 mm² und ab der Parallelebene 38,6 mm². Auch hier wurden alle buccalen Phase I F1-4 gemessen, linguale Phase I F5-8 und Phase II F9-10. Durch die Bildung des Hypoconus gibt es zusätzliche Facetten: F7, F8 und F10 (Abb. 4.6.a). Entlang der Präparacrista am mesialen Abhang des Paraconus verläuft die F1 bis auf den Parastylus. Von dort zieht sie sich weiter in Richtung lingual bis zur Präparaconuluscrista

und bedeckt die mesiale Flanke des Paraconulus. Der Gesamt-Neigungswinkel beträgt 43° . F2 ist am distolingualen Abhang des Metaconus und erstreckt sich von der Entometacrista bis zur Postmetacrista und endet am basalen Ende des Metaconus. F2 hat einen Neigungswinkel von 61° . F3 bedeckt die distolinguale Flanke des Paraconus, läuft entlang der Postparacrista und hat eine Inklination von 56° . Der mesiale Abhang des Metaconus wird von F4 belegt und zieht sich entlang der Prämetacrista bis zum basalen Ende des Metaconus. F4 besitzt einen Neigungswinkel von 45° . F5 ist an der mesialen Flanke des Protoconus und F5.1 liegt auf dem Entocingulum darunter. Die Inklination beträgt 50° für F5 und 46° für F5.1. Am distolingualen Abhang des Protoconus befindet sich F6 mit einer Neigung von 36° . F7 liegt schmal am Rand unterhalb des Tip-crushings des Hypoconus in distolingualer Richtung mit einem Fallwinkel von 45° . F8 hat einen Neigungswinkel von 17° und befindet sich auch am Hypoconus nach mesiolingual orientiert. Die Phase II-Facetten 9 und 10 haben beide eine Inklination von 44° . F9 erstreckt sich vom buccalen Abhang des Protoconus in das Trigon und bedeckt auch in distale Richtung den Bereich, der ursprünglichen Nannopithex-Falte. F10 bedeckt den distobuccalen Abhang des Hypoconus.

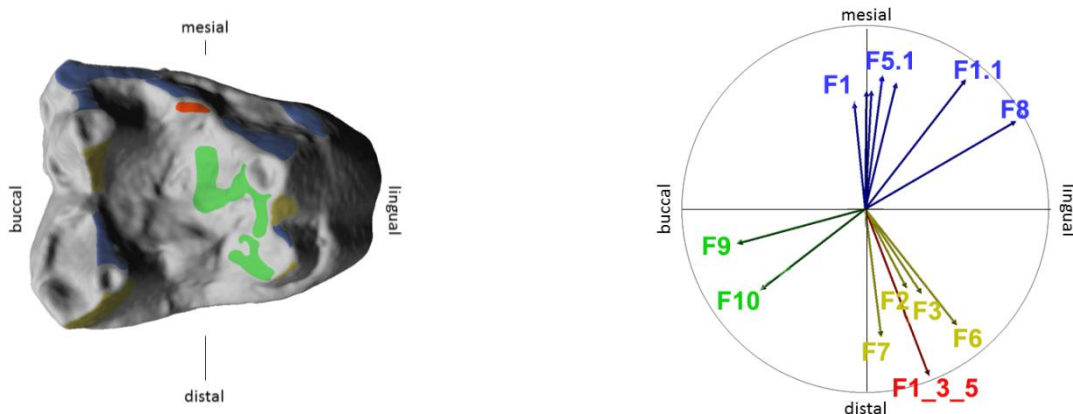


Abb. 4.6.a: Linker M1 von *Cantius* sp. USGS 7860_521m gespiegelt, Facettenmapping und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Im Okklusalen Kompass sehen wir eine Differenz von 66° der blauen LRT-Facetten zwischen 6° für F1 und 300° für F8. Die gelben LPT-Facetten liegen mit einem Winkel von 27° auseinander, von 187° für F7 bis 214° für F3. Die Winkel der grünen MT-Facetten differieren um 23° , mit 105° bei F9 und mit 128° bei F10 (Abb. 4.6.a, rechts).

4.6.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Im Mastikationskompass (Abb. 4.6.b, links) sehen wir, dass die Inkursion mit einem Neigungswinkel von $25,1^\circ$ flacher ist als die Exkursion mit einem Neigungswinkel von $40,7^\circ$. Die Richtung aus der der Unterkiefer in den Oberkiefer eingleitet, weist mit 281° nach linguo-mesiolingual, die Richtung des Ausgleitwinkels mit 264° nach lingual.

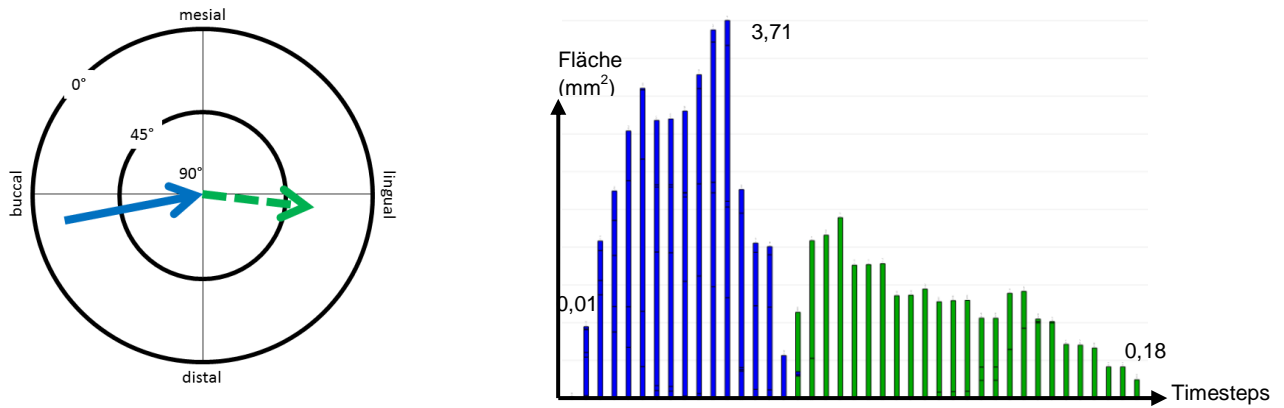


Abb. 4.6.b: Mastikationskompass und OFA-Diagramm von *Cantius* sp. USGS 7860_521m, M1 und m1 und USGS 7235_m2 (v.l.n.r.)

Für das OFA-Projekt (Abb. 4.6.b, rechts) wurde der assoziierte m1 verwendet, der m2 stammt von einem anderen Individuum: USGS 7235_591m_m2_dex._gespiegelt. Der Kauzyklus des OFA-Diagramms misst 41 Timesteps. Die Gesamtflächennutzung der Phase I beträgt $34,26 \text{ mm}^2$, für Phase II werden insgesamt $23,12 \text{ mm}^2$ verwendet. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 59,7%, der der Phase II 40,3%. Im OPC wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 68 Patches errechnet.

4.7 *Catopithecus browni* DPC 11594

4.7.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Die Erstbeschreibung des eozänen Primaten *Catopithecus browni* stammt von Elwyn Simons aus dem Jahre 1989. Das Fossil stammt aus der Fayum-Senke und hat die gleiche Zahnformel wie moderne Catarrhini: 2.1.2.3. Simons (1989) beschreibt einen stark ausgebildeten Hypoconus, der am untersuchten Individuum fehlt (siehe Abb. 4.7.a, links und Abb. 4.7.b, links). Hier ist ein deutlich ausgeprägtes Innencingulum mit einer Schmelzverdickung am distolingualen Rand vorhanden, auf dem keine Kontaktfacetten festgestellt wurden. Der untersuchte M1 misst von mesial nach distal 3,2 mm und von buccal nach lingual 4,2 mm. Die Oberfläche beträgt ab der Cervikalebene 26 mm^2 und ab der Parallelebene $19,6 \text{ mm}^2$. Es sind Phase I F1-F6 und eine Phase II F9 vorhanden. Da die distolinguale Schmelzverdickung nicht in Kontakt ist, existiert keine F7, F8 und F10. Als F1 wurde nur eine schmale Facette, mesial des Paraconus an der Präparacrista bestimmt. Vom Parastylus ausgehend, verläuft an der mesialen Kante bis zur F5 am mesialen Abhang des Protoconus eine einzige Facette, die auch als Verbindung zwischen F1 und F5 gesehen werden kann. Am untersuchten antagonistischen m1 sind F1 und F5 nicht verschmolzen, möglicherweise wird dies aber bei fortgeschrittener Usur passieren (Abb. 4.7.b, rechts). F1_5 bildet sich dann aus, wenn Protoconid und Metaconid buccolingual parallel orientiert sind, so

dass eine gemeinsame Scherkante entsteht. F2 besetzt den distalen Abhang des Metaconus und reicht fast bis zur Entometacrista. Distobuccal verläuft sie entlang der Postmetacrista bis zum Metastylus. Sie schert gegen den mesiobuccalen Abhang des Protoconids. F3 ist ein schmales Band, das an der Postparacrista liegt und gegen den buccomesialen Rand am Hypoconid schert. F4 ist ebenso eine schmale Facette, die an der Prämetacrista liegt und gegen die distobuccale Kante des Hypoconids in Kontakt ist. F6, distolingual der Postprotocrista, nimmt eine breite Fläche ein und schert gegen den buccalen Hang des Entoconids. Auf den vorhandenen Hypoconulid, das nah am Entoconid liegt, ist auf dem Apex etwas Tip-crushing zu sehen. F9 am buccalen Abhang des Protoconus schert in Phase II gegen den lingualen Hang des Hypoconids. Sehr steile Facetten bilden F2 mit 59°, F1 mit 58° und F1_5 mit 54°. Am flachsten ist F6 mit 35°.

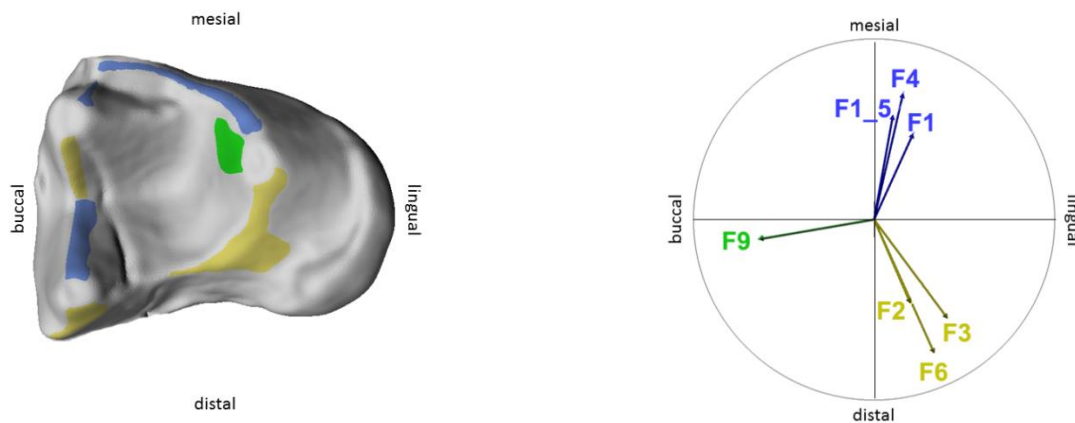


Abb. 4.7.a: M1 sin. gespiegelt von *Catopithecus browni* DPC 11594 mit Kontaktfacetten und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Im Okklusalen Kompass sieht man ein eingeschränktes Bewegungsmuster (Abb. 4.7.a, rechts). Für die LRT-Facetten gilt eine Varianz von 14°, wobei sich F1 nach 336° orientiert und F5 nach 350°. Auch die LPT-Facetten differieren um 14° zwischen F2 bei 203° und F3 bei 217°. F9 orientiert sich mit 100° in buccale Richtung.

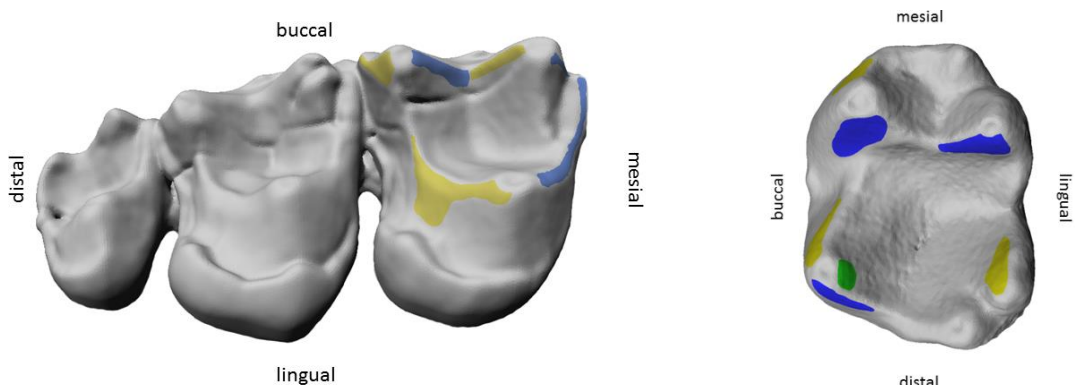


Abb. 4.7.b: Obere linke Zahnreihe M1-M3, gespiegelt, von *Catopithecus browni* DPC 11594, M1 mit Phase I Kontaktfacetten und *Catopithecus browni*, DPC 16795, m1 dex. gespiegelt mit Kontaktfacetten (v.l.n.r.)

4.7.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Im Mastikationskompass (Abb. 4.7.c, links) sieht man, wie die Inkursion der Phase I mit 277° nach lingual gerichtet ist, ebenso wie die Exkursion der Phase II mit 272° . Dabei beträgt die Inklination der Inkursion $44,4^\circ$, während das Ausgleiten mit $17,9^\circ$ wesentlich flacher ist.

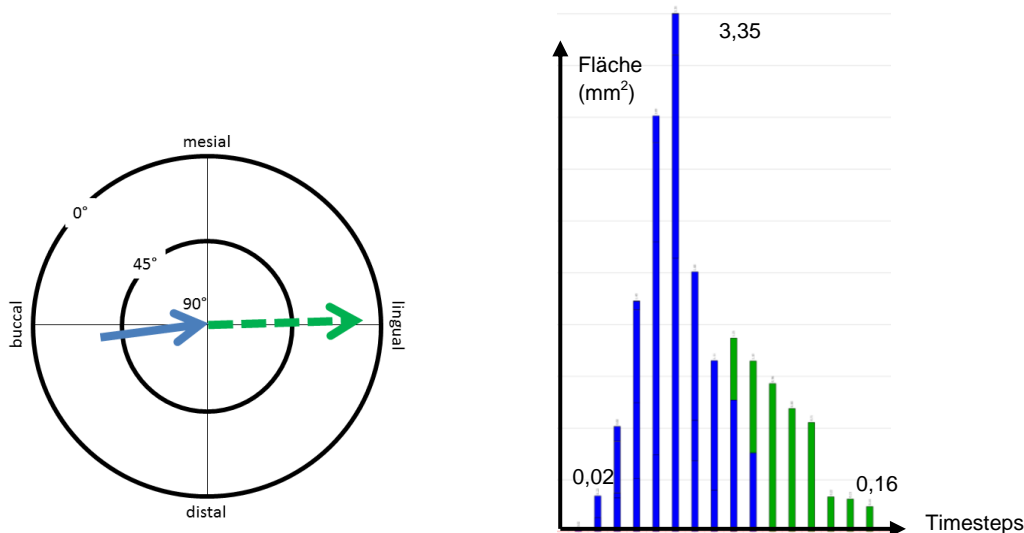


Abb. 4.7.c: Mastikationskompass und OFA-Diagramm von *Catopithecus browni* DPC 11594 M1 und DPC 16795 m1+m2 (v.l.n.r.)

Für das OFA-Projekt wurde als Gegenstück der m1-m2 von DPC 16795 gewählt. Im OFA-Diagramm (Abb. 4.7.c, rechts) sieht man eine stark ansteigende Phase I, die eine Gesamtfläche von $12,61 \text{ mm}^2$ nutzt. Für Phase II wird eine Gesamtfläche von $4,06 \text{ mm}^2$ verwendet. Phase II flacht schnell ab und hat kein Plateau. Insgesamt werden 16 TS berechnet, davon werden 8 TS für Phase I, 6 für Phase II und 2 TS für beide gemessen. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt $75,8\%$, der der Phase II $24,2\%$.

Im OPC wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 64 Patches errechnet.

4.8 *Cercocebus torquatus* smf 1049

4.8.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Der untersuchte M1 hat eine Gesamtoberfläche von 60 mm^2 ab der definierten Parallelebene und 139 mm^2 ab der Referenzebene. Der Zahn misst von mesial nach distal 7 mm und von buccal nach lingual $7,6 \text{ mm}$. Es gibt vier buccale Phase I F1-F4, generell vier linguale Phase I F5-F8, wobei im vorliegenden M1 eine F5 fehlt. Und es gibt vier Phase II-Facetten F9-F12 (Abb. 4.8.a). F1 ist mit 53° der steilste Winkel, F9 ist mit 14° am flachsten.

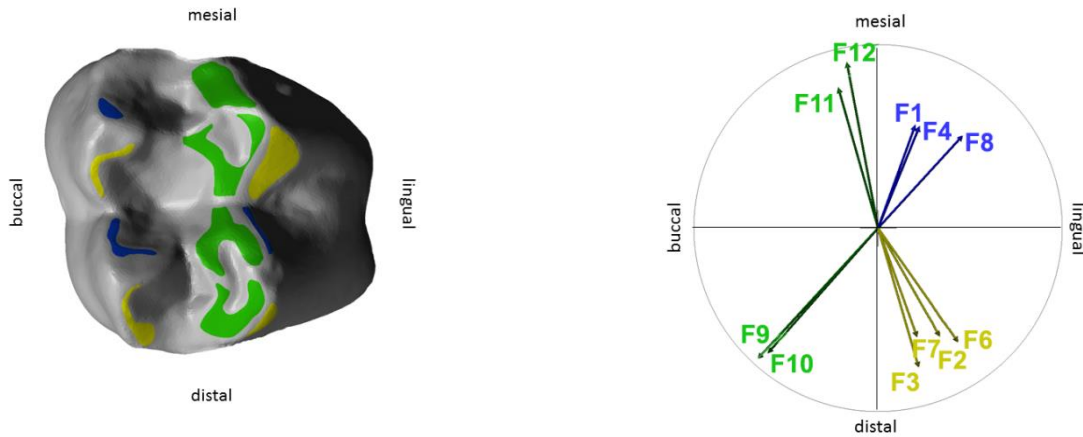


Abb. 4.8.a: Rechter M1 von *Cercocebus torquatus* smf 1049 mit Facettenanalyse und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Im Okklusalen Kompass sind die LRT Facetten zwischen 318° bei F8 und 340° bei F1 orientiert, besitzen also eine Differenz von 22° . Die LPT Facetten haben eine Differenz von 19° , hier orientiert sich F3 mit 196° am weitesten in Richtung distal und F6 mit 215° Richtung distolingual. Wie bei bilophodonten Zähnen üblich, orientieren sich die MT-Facetten nicht mehr in buccale Richtung, wie in Abb. 4.8.a, rechts zu sehen ist. F11 mit 16° und F12 mit 11° gehen in Richtung mesio-mesio-buccal bzw. mesial. F9 und F10 mit 137° und 139° orientieren sich in Richtung distobuccal.

4.8.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Die Inkursion der Phase I geht mit 282° in linguale Richtung und besitzt dabei einen Neigungswinkel von $11,3^\circ$. Während der Phase II richtet sich die Exkursion auch nach lingual mit 263° und mit einer Inklination von $29,7^\circ$. (Abb. 4.8.b, links)

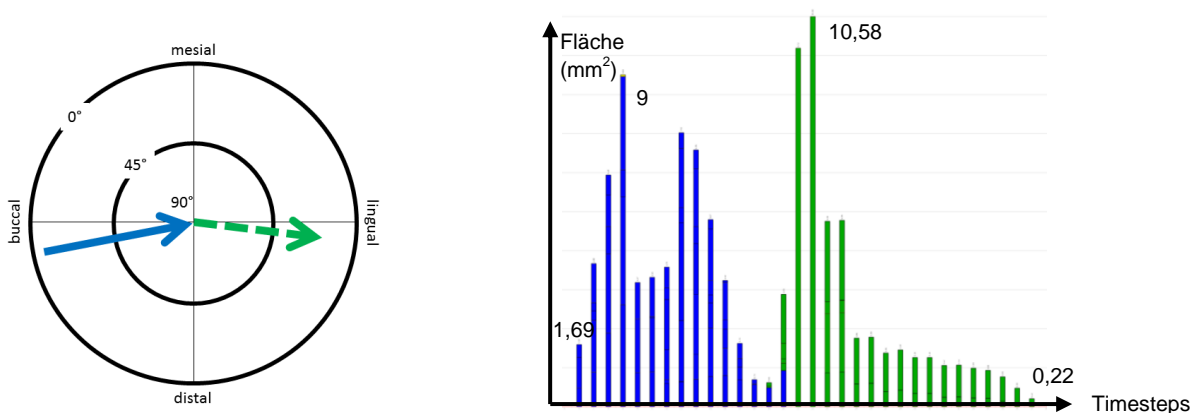


Abb. 4.8.b: Mastikationskompass und OFA-Diagramm von *Cercocebus torquatus* smf 1049 M1 und m1+m2 dex. (v.l.n.r.)

Im OFA-Projekt steigt Phase I gleich stark an und nutzt dann über berechnete 15 TS eine Fläche von 58,35 mm². Auch Phase II weist eine starke Steigung auf und fällt dann wieder ab, anschließend bleibt ein längeres Plateau bestehen. Die Gesamtflächennutzung ist 47,79 mm² groß. Insgesamt werden 32 TS berechnet. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 54,8%, der der Phase II 45,2% (Abb. 4.8.b, rechts). Im Orientation Patch Count wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 55 Patches errechnet.

4.9. *Cheirogaleus major* smf 73562

4.9.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Der untersuchte M1 misst mesiodistal 3,8 mm und buccolingual 4,6 mm. Die Oberfläche beträgt ab der Referenzebene 31 mm² und ab der Parallelebene 21,5 mm². Die Zahnmorphologie und die Lage der Facetten wurden 1980 detailliert von Maier beschrieben. Im vorliegenden M1 gibt es, wie in der Beschreibung von Maier (1980), keine Facetten auf dem Cingulum und F10 liegt weiter im Trigon in Richtung buccal. Eine F5 konnte nicht festgestellt werden (Abb. 4.9.a, links).

F1 hat einen Neigungswinkel von 35°, F2 ist etwas steiler mit 41°. Für die Inklination der F3 wurde ein Winkel von 37° gemessen und F4 ist mit 50° am steilsten. F6 ist mit 13° sehr flach und die Phase II-Facetten zeigen eine Neigung von 30° bei F9 und 24° bei F10.

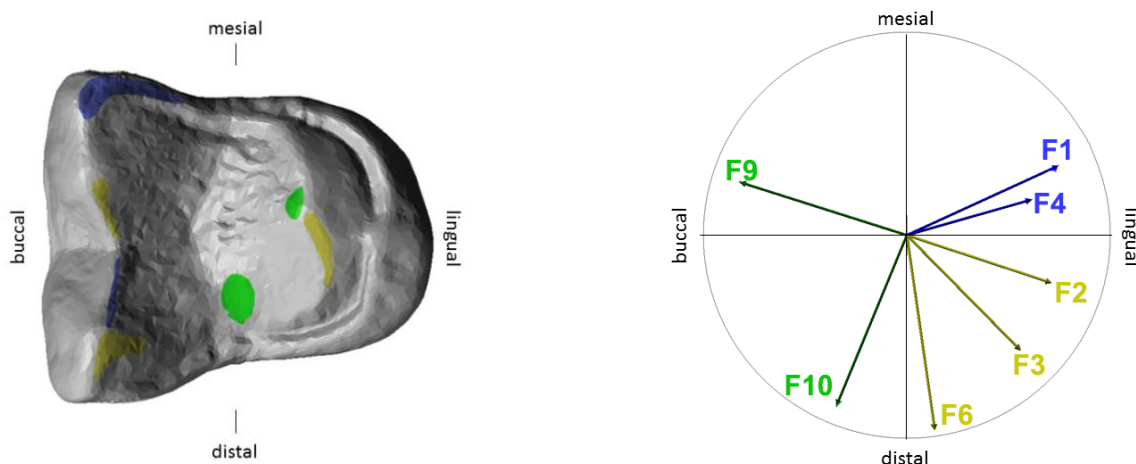


Abb. 4.9.a: M1 dex. von *Cheirogaleus major* smf 73562, Facettenanalyse und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Im Okklusalen Kompass (Abb. 4.9.a, rechts) zeigen die beiden LRT-Facetten eine Orientierung zwischen 286° für F4 und 295° für F1. Die Differenz der LPT-Facetten ist deutlich größer, zwischen 188° bei F6 und 252° bei F2, also insgesamt 64°. Die MT-Facetten zeigen die weiteste Streuung mit 86°. Dabei orientiert sich F9 mesiobuccal mit 72° und F10 buccodistal mit 158°.

4.9.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Im Mastikationskompass (Abb. 4.9.b, links) ist zu sehen, dass die Inkursion direkt aus buccaler Richtung erfolgt und nach lingual ausgleitet. Die Inklination der Inkursion beträgt $37,4^\circ$ und die der Exkursion $24,4^\circ$.

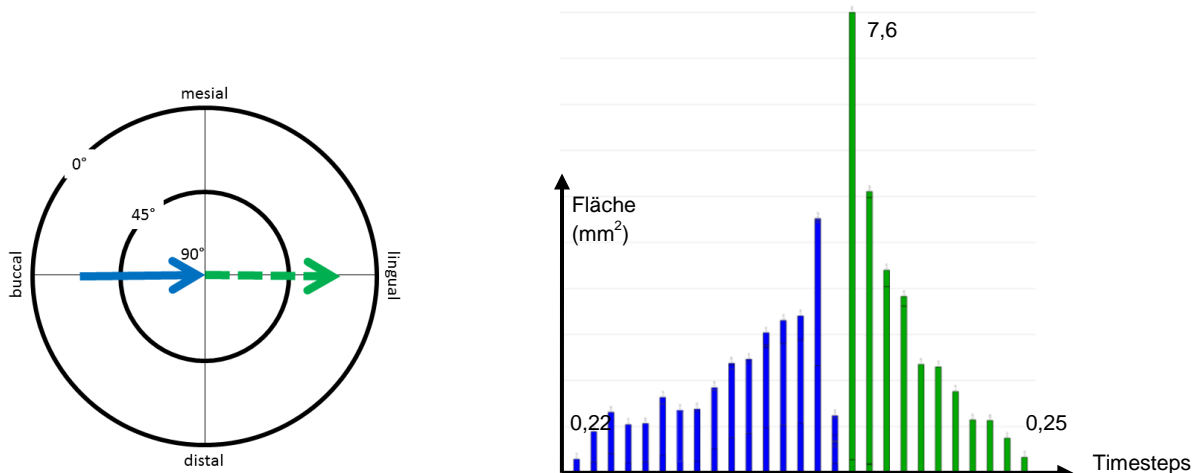


Abb. 4.9.b: Mastikationskompass und OFA-Diagramm von *Cheirogaleus major* smf 73562, M1 und m1+m2 dex. (v.l.n.r.)

Im OFA-Diagramm (Abb. 4.9.b, rechts) zeigt sich ein flacher Anstieg der Phase I, der 16 Timesteps lang ist und insgesamt $24,42 \text{ mm}^2$ Fläche nutzt. In der zentrischen Okklusion wird viel Fläche der Phase II genutzt, die insgesamt nur 11 Timesteps lang ist, aber mit $25,9 \text{ mm}^2$ größer ist als die Fläche der Phase I. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt $48,4\%$, der der Phase II $51,6\%$. Im OPC wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 67 Patches errechnet.

4.10 *Chlorocebus aethiops* smf 1053

4.10.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Die Höckerflanken des M1 sind im Vergleich zu allen anderen bilophodonten ersten Molaren der untersuchten Primaten wesentlich flacher (Abb. 4.10.a).

Der M1 misst mit $5,6 \text{ mm}$ von mesial nach distal, wie von buccal nach lingual. Die Oberfläche ab der Referenzebene beträgt 80 mm^2 und ab der Parallelebene 30 mm^2 . Es konnten acht Phase I-Facetten ermittelt werden und vier Phase II-Facetten. Von den buccalen Phase I-Facetten ist F1 mit 22° am flachsten und F2 mit 37° am steilsten. F3 und F4 besitzen beide einen Neigungswinkel von 32° . Von den lingualen Phase I-Facetten ist F5 am steilsten mit 50° und F6 mit 29° am flachsten. Von den Phase II-Facetten ist F9 mit 12° sehr flach, gefolgt von F11 mit 15° . Am steilsten ist hier F10 mit 28° .

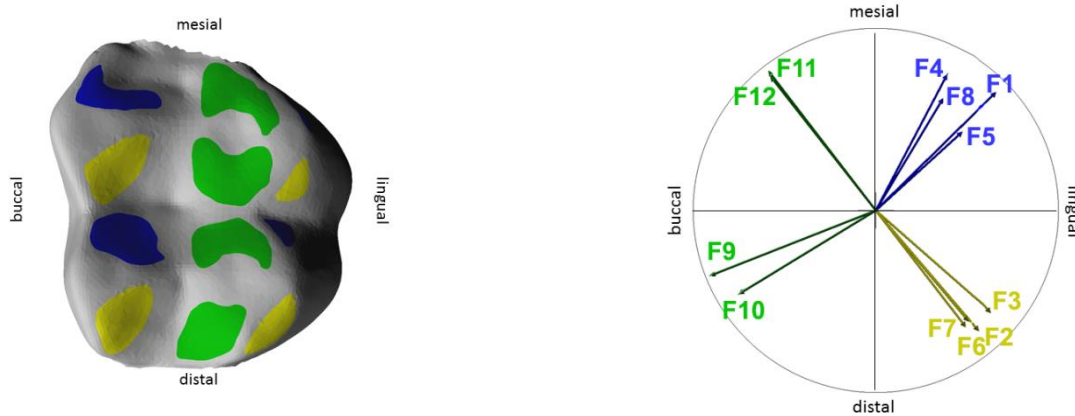


Abb. 4.10.a: *Chlorocebus aethiops* smf 1053, M1 sin. gespiegelt, Facettenanalyse und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Im Okklusalen Kompass zeigen die LRT-Facetten eine Varianz von 20°. F4 orientiert sich mit 332° nach m-ml und F5 mit 312° nach ml. Die gelben LPT-Facetten liegen zwischen 218° für F7 bis 229° für F3, haben also eine Differenz von 11°. Mit einem Unterschied von 9° orientieren sich die MT- F9 nach 112° und F10 nach 121°. Die beiden F11 und F12 richten sich mit 38° nach mesiobuccal (Abb. 4.10.a, rechts).

4.10.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Der Mastikationskompass zeigt, dass die Inkursion und die Exkursion beide nach lingual gerichtet sind (Abb. 4.10.b, links). Der Neigungswinkel beim Eingleiten beträgt 25,9° und beim Ausgleiten 13,7°.

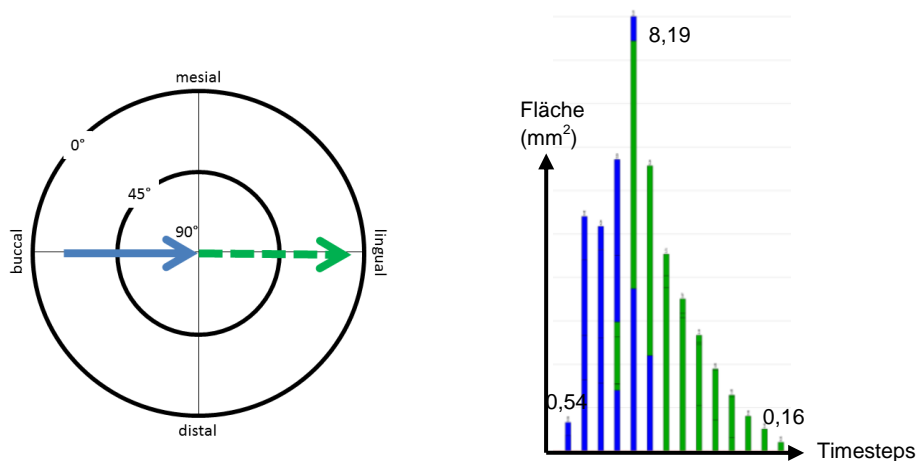


Abb. 4.10.b: Mastikationskompass und OFA-Diagramm von *Chlorocebus aethiops* smf 1053, M1 und m1-m2 sin.

Im OFA-Projekt von *Chlorocebus* steigt die Phase I direkt stark an und geht in Phase II über, die gleichmäßig abfällt. Die Gesamtflächennutzung beträgt bei Phase I 18,71 mm² und 22,14 mm² bei Phase II. Insgesamt wurden für einen Kauzyklus 14 TS berechnet. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 45,7%, der der Phase II 54,3% (Abb. 4.10.b, rechts).

Im OPC wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 55 Patches errechnet.

4.11 *Colobus guereza* smf 1106 und smf 4099

4.11.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Für die Facettenanalyse und den Okklusale Kompass wurde der M1 von *Colobus guereza* smf 4099 verwendet. Das OFA-Projekt und der Mastikationskompass wurden auf *Colobus guereza* smf 1106 angewendet.

Die Oberfläche des untersuchten M1 beträgt 121,8 mm² ab der Cervicalebene und 59,7 mm² ab der Parallelebene. Die Maße betragen von mesial nach distal 7,6 mm und von buccal nach lingual 6,4 mm. Von den vier buccalen Phase I-Facetten ist F1 mit 60° am steilsten und F3 mit 51° am flachsten. Zu den vier lingualen Phase I-Facetten gehört F5, die mit 73° am stärksten geneigt ist. Von den vier Phase II-Facetten ist F9 mit 36° am flachsten und F11 mit 48° am steilsten (Abb. 4.11.a).

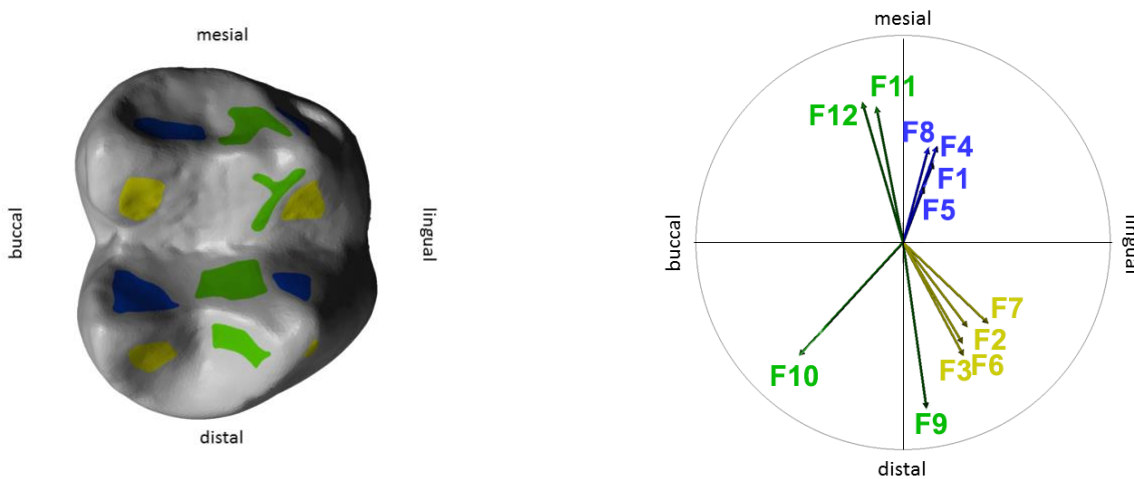


Abb. 4.11.a: Facettenanalyse des M1dex. von *Colobus guereza* smf 4099 und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Die LRT-Facetten zeigen ein sehr stark eingeschränktes Bewegungsmuster (Abb. 4.11.a, rechts). F1 und F5 sind nach 339° orientiert und F8 nach 345°. Somit erhält man eine Differenz von nur 6°. Die gelben lateroprotrusiven Facetten haben eine Varianz von 18° und orientieren sich zwischen 208° für F3 und 226° für F7. Die MT F11 und F12 gehen mit 11° und 16° in mesio-mesiobuccale Richtung. F10 liegt mit 137° nach distobuccal und F9 mit 188° sogar nach distal.

4.11.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Im Mastikationskompass (Abb. 4.11.b, links) erkennt man, dass die In- und Exkursion nach lingual weisen. Die Inkursion hat einen etwas steileren Neigungswinkel mit 38,5° als die Exkursion mit 31,9°.

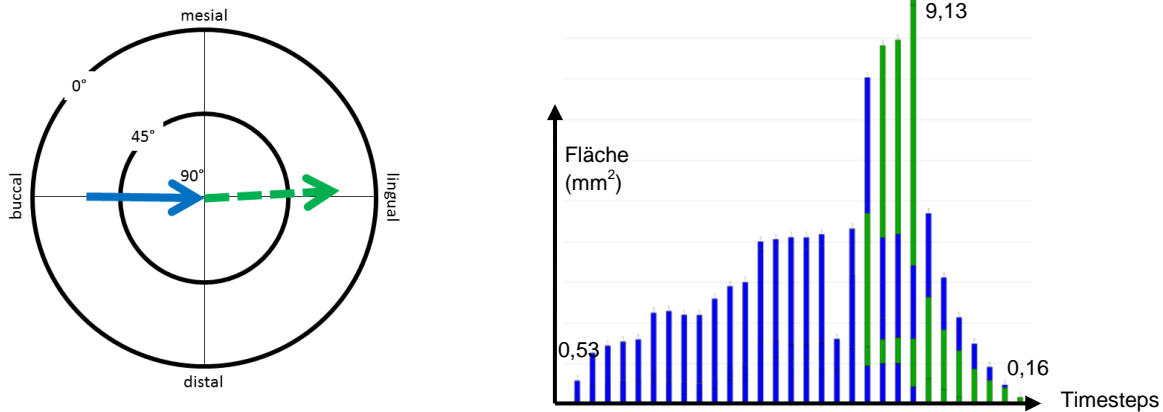


Abb. 4.11.b: Mastikationskompass und OFA-Diagramm von *Colobus guereza* smf 1106

Das OFA-Diagramm von *Colobus guereza* smf 1106 zeigt einen Kauzyklus, der insgesamt 30 Timesteps lang ist (Abb. 4.11.b, rechts). Die Flächennutzung der Phase I-Facetten steigt langsam an. Insgesamt wird dafür eine Fläche von 62,89 mm² genutzt, während für die Phase II eine Gesamtfläche von 27,5 mm² pro Kauzyklus verwendet wird. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 69,6%, der der Phase II 30,4%. Im OPC wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 56 patches errechnet.

4.12 *Cynocephalus* sp. smf 1330

4.12.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Für *Cynocephalus* wurde keine Facettenanalyse erstellt, weil auf den zur Verfügung stehenden Molaren keine Kontaktfacetten detektiert werden konnten. Vom Paraconus entlang der Postparacrista sowie der Präparacrista sind sehr starke Abrasionsbänder entlang der Cristae zu erkennen (Abb. 4.12.a). Genauso verhält es sich am Metaconus und der Prä- und Postmetacrista. Die beiden buccalen Höcker Paraconus und Metaconus können aus morphologischen Gründen keine Attritionsfacetten zeigen, da sie keinen Antagonisten haben. Durch die OFA-Analyse ist zu erkennen, dass der einzige Kontakt zustande kommt, wenn das Talonid den Protokonus umgibt (Abb. 4.12.b, links).

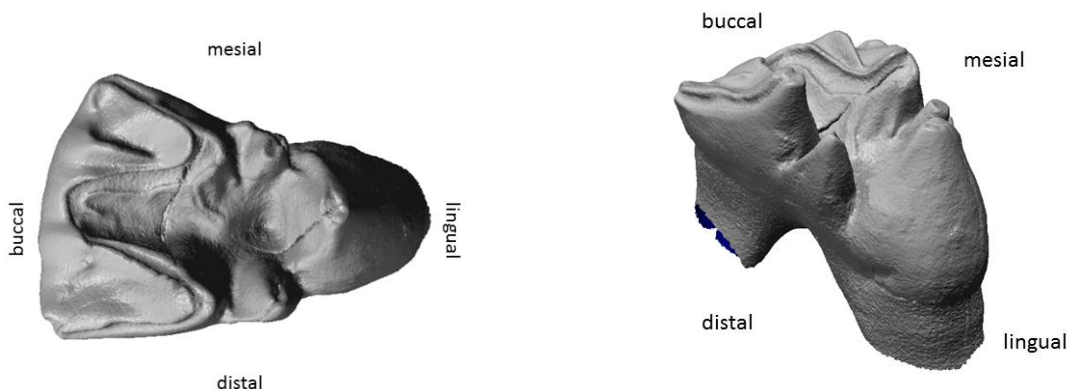


Abb. 4.12.a: M1 sin. gespiegelt von *Cynocephalus* sp. smf 1330

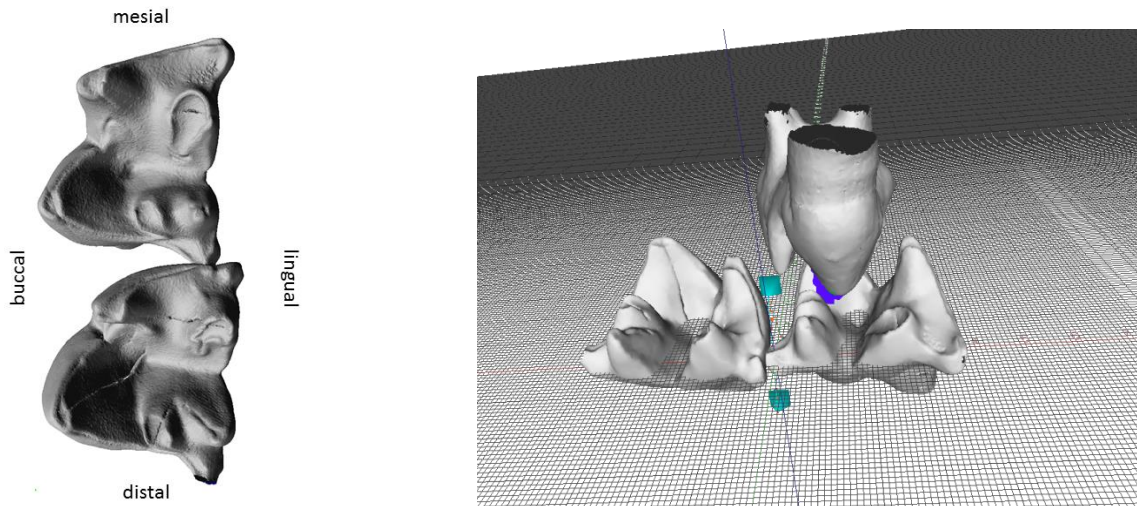


Abb. 4.12.b: m1 (oben links) und m2 (unten links) von *Cynocephalus* sp. smf 1330, Kauzyklus aus dem OFA-Projekt von *Cynocephalus* während Phase II (rechts)

4.12.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Im Mastikationskompass sieht man eine sehr steile Inkursion mit einem Neigungswinkel von $79,7^\circ$, die in Richtung linguo-distolingual mit 246° eingeleitet. Während der Exkursion gleitet der Zahn mit 269° nach lingual aus und hat dabei einen Fallwinkel von $66,2^\circ$ (Abb. 4.12.c, links).

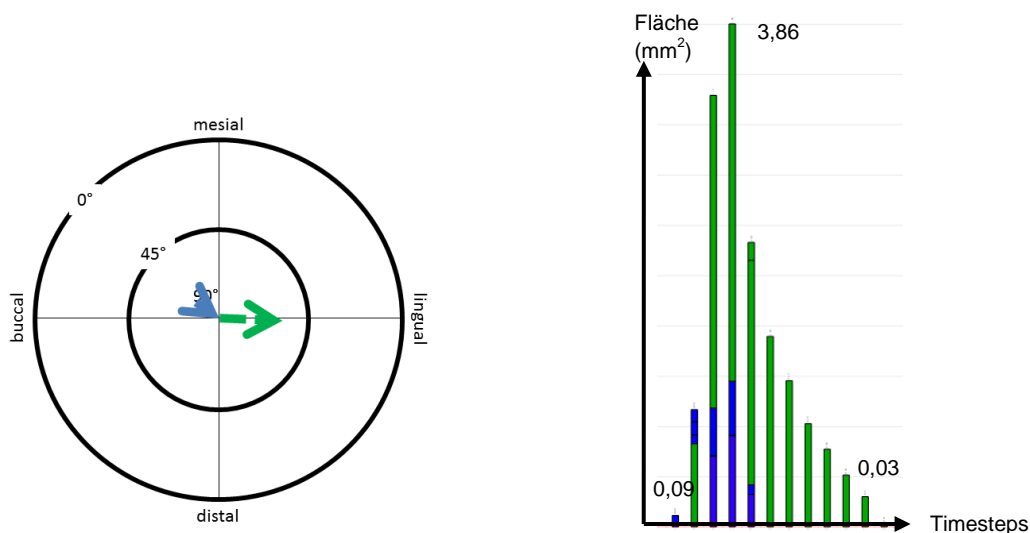


Abb. 4.12.c: Mastikationskompass und OFA-Diagramm von *Cynocephalus* sp. smf 1330 (v.l.n.r.)

Im OFA-Diagramm (Abb. 4.12.c, rechts) wird ersichtlich, dass die Phase I Flächennutzung sehr gering ist und insgesamt nur $2,7 \text{ mm}^2$ beträgt. Phase II nutzt insgesamt $12,27 \text{ mm}^2$ Gesamtfläche bei 11 TS. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 18%, der der Phase II 82%. Im OPC wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 81 Patches errechnet.

4.13 *Dendropithecus macinnesi* KNM-RU 1850

4.13.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Da der M1 von *Dendropithecus macinnesi* KNM-RU 1850 schon sehr weit abgekaut ist, wird die Facettenanalyse am M2 vorgenommen (Abb. 4.13.a, links). Der Zahn misst von mesial nach distal 6,5 mm und von buccal nach lingual 7,8 mm. Die Oberfläche beträgt ab der Referenzebene 100,4 mm² und ab der Parallelebene 60,6 mm². Insgesamt gibt es 13 Kontaktfacetten, wie es im hominoiden Molarenmuster üblich ist. *Dendropithecus* hat vier buccale Phase I F1-F4 und vier linguale Phase I F5-F8. Facette 9-F13 sind Phase II-Facetten.

Wie im Okklusalen Kompass (Abb. 4.13.a, rechts) zu sehen ist, sind von den buccalen Phase I-Facetten F4 mit 44° am steilsten und F2 mit 36° am flachsten. Die flachsten linguale Phase I-Facetten sind F5 und F6 mit jeweils 37° und F8 ist mit 46° am steilsten. Die flachste Phase II-Facette ist F13 mit 23°, gefolgt von F11 mit 27°. F10 ist mit 40° die steilste Phase II-Facette. Maier und Schneck (1981) beschreiben bei *Dendropithecus* eine Facette 4'. Wie in Kap.: 2.5 besprochen, wird die Facette hier als F2' beschrieben.

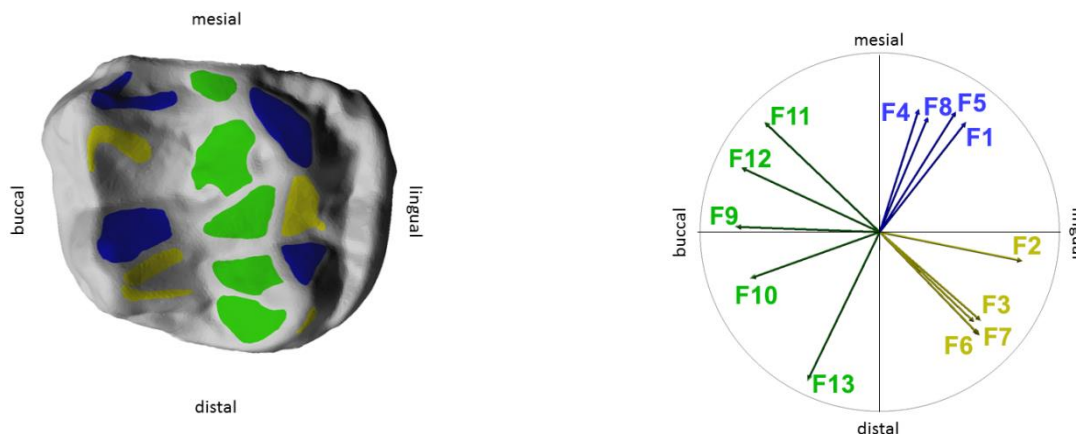


Abb. 4.13.a: M2 von *Dendropithecus macinnesi* KNM-RU 1850, Facettenanalyse und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Die LRT-Facetten orientieren sich zwischen 322° für F1 und 342° für F4, variieren voneinander um 20°. Die LPT-Facetten liegen zwischen 259° für F2' und 224° für F2 und F6 jeweils. Die MT-Facetten haben eine Differenz von 108° zwischen 46° für F11 und 154° für F13.

4.13.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Der Inkursionspfeil im Mastikationskompass weist mit 280° in linguale Richtung. Dabei hat er einen Neigungswinkel von 21,7°. Die Inklination der Exkursion ist mit 6,3° wesentlich flacher. Das Ausgleiten aus der zentrischen Okklusion geht mit 263° in linguale Richtung.

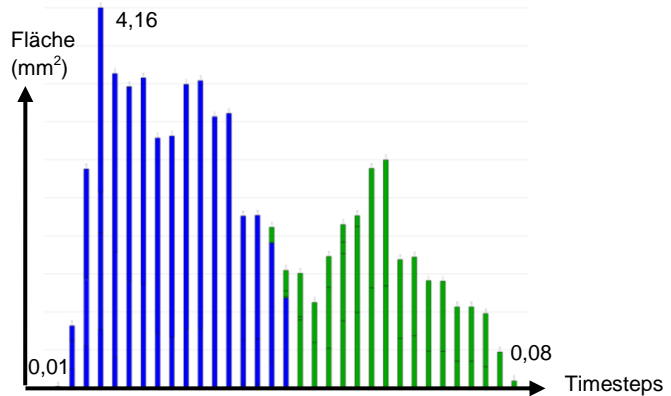
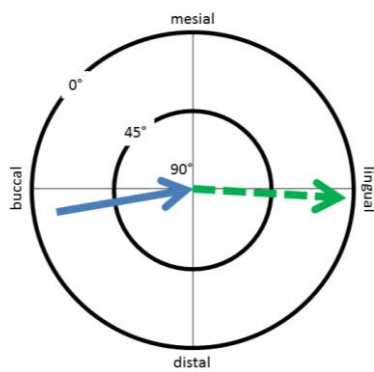


Abb. 4.13.b: Mastikationskompass und Diagramm aus dem OFA-Projekt von M1 und m1+m2 von *Dendropithecus macinnesi* KNM-RU 1850 (v.l.n.r.)

Im OFA-Diagramm zeigt sich eine sehr stark ansteigende Phase I, die über 17 TS eine Gesamtfläche von 41,88 mm² einnimmt. Für Phase II wird weniger Fläche genutzt, insgesamt nur 20,9 mm², für die werden 33 TS berechnet.

Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 66,8%, der der Phase II 33,2%.

Im Orientation Patch Count (OPC) wurden für den M2 bei einer Einstellung von 50 Reihen 75 Patches errechnet.

4.14 *Dorcopsis* sp. smf 59278

4.14.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Da sich die Facetten der Macropodidae nicht mit der Facettenterminologie der Primaten vergleichen lassen (siehe Abb. 4.26.a, rechts), wurde auf die Facettenanalyse und den Okklusalen Kompass verzichtet.

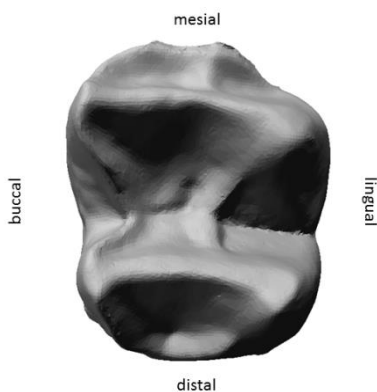


Abb. 4.14.a: *Dorcopsis* sp. smf 59278 M3 sin., gespiegelt, Occusalansicht

4.14.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Im Mastikationspfad weist die Eingleitbewegung der Phase I mit 280° nach lingual, Phase II geht mit 264° nach linguo-distolingual. Die Inklination der Inkursion ist mit $40,5^\circ$ wesentlich steiler als die der Exkursion mit $17,1^\circ$ (Abb. 4.14.b, links).

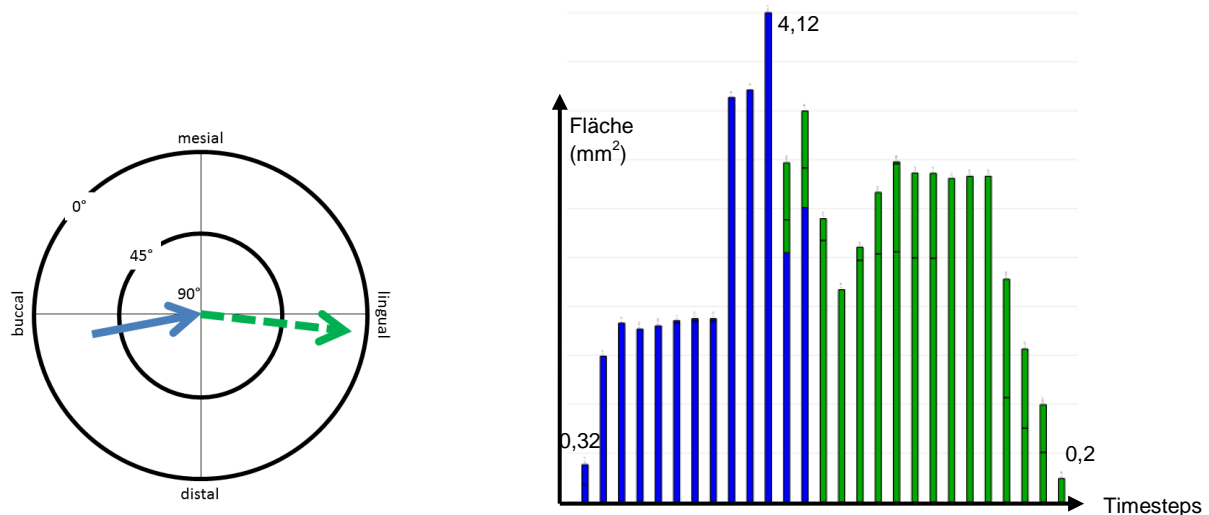


Abb. 4.14.b: Mastikationskompass und OFA-Diagramm von *Dorcopsis* sp. smf 59278 (v.l.n.r.)

Das OFA-Diagramm zeigt eine relativ gleich verteilte Phase I und Phase II, wie auch in der Abb. 4.14.b, rechts, zu sehen ist. Für Phase I wird eine Gesamtfläche von $26,19 \text{ mm}^2$ auf dem M3 genutzt. Dafür wurden 13 TS berechnet. Die Phase II hat eine Flächennutzung von $31,3$ bei 16 TS. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt $45,55\%$, der der Phase II $54,45\%$. Im Orientation Patch Count (OPC) wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 50 Patches errechnet.

4.15 *Galago demidoff* smf 83201 und *Galagoides demidovii* smf 73560

4.15.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Wie im Materialteil erwähnt, wurden hier 2 Individuen untersucht, die Synonym verwendet werden und auch als *Galagoides demidoff* in der Literatur zu finden sind (Geissmann 2003). Die Zähne von *Galago demidoff* smf 83201 waren zu wenig abgekaut, um eine vergleichbare Facettenanalyse durchzuführen, deshalb wurde hierfür der M1 von *Galagoides demidovii* smf 73560 verwendet, wie in der Abb. 4.15.a zu sehen ist. Von letzterem ist keine antagonistische Mandibel in der Sammlung, deshalb wurde für die OFA-Analyse *Galago demidoff* smf 83201 eingesetzt.

Der M1 von *Galagoides demidovii* smf 73560 misst mesiodistal 1,95 mm und buccolingual 2,83 mm. Die Oberfläche ab der Referenzebene beträgt 10 mm² und ab der Parallelebene 8,86 mm².

Die Facetten und Zahnmorphologie von *Galago demidoff* wurden eingehend von Maier (1980) beschrieben. Im Unterschied dazu verläuft F2 im vorliegenden M1 nicht am distolingualen Abhang des Metaconulus, sondern einzig an der distalen Flanke des Metaconus. Außerdem liegt F9 nicht am buccalen Abhang des Protoconus, sondern die Protoconusspitze wurde abgekaut und dient hier als F9. F10 befindet sich, wie auch von Maier (1980) beschrieben, nicht auf dem buccodistalen Hypoconusabhang, sondern distal des Protoconus.

Die Inklination von F1 und F1.1 betragen 68° und 67°. Der Neigungswinkel von F2 misst 49° und von F3 52°. Den gleichen Winkel von 61° weisen F4 und F5 auf. F6 hat einen flacheren Neigungswinkel von 39° und F7 ist mit 44° eher steil. Für F9 erhält man 37° und die beiden Phase II-Facetten F9 und F10 haben eine Inklination von 32° und 49°.

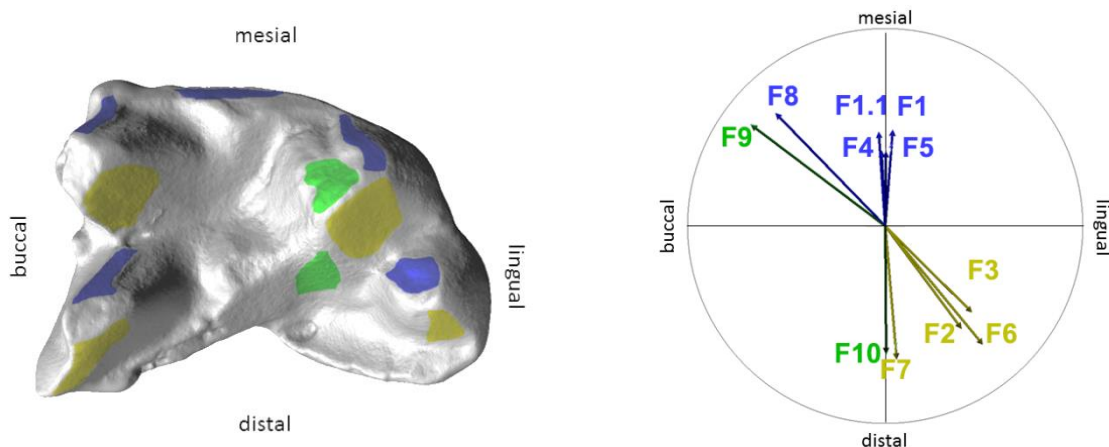


Abb. 4.15.a: *Galagoides demidovii* smf 73560 M1 sin. gespiegelt, Lage der Facetten und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Im Okklusalen Kompass zeigt sich, dass die MT-Facette 9 hier von der üblichen, buccalen Ausrichtung abweicht. F9 geht mit 53° eher in die Richtung der LRT-Facetten, die zwischen 44° für F8 und 355° für F5 liegen. F10 mit 180°, orientiert sich eher in Richtung der LPT-Facetten, die zwischen 185° bei F7 und 225° bei F3 liegen (Abb. 4.15.a, rechts).

4.15.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Im Mastikationskompass (Abb. 4.15.b, links) misst die Inklination der Inkursion 56,9° und ist somit relativ steil. Sie geht mit 284° nach linguo-mesiolingual. Die Inklination der Exkursion ist mit 22,4° wesentlich flacher als der Eintrittswinkel. Mit 268° weist die Ausgleitrichtung nach lingual.

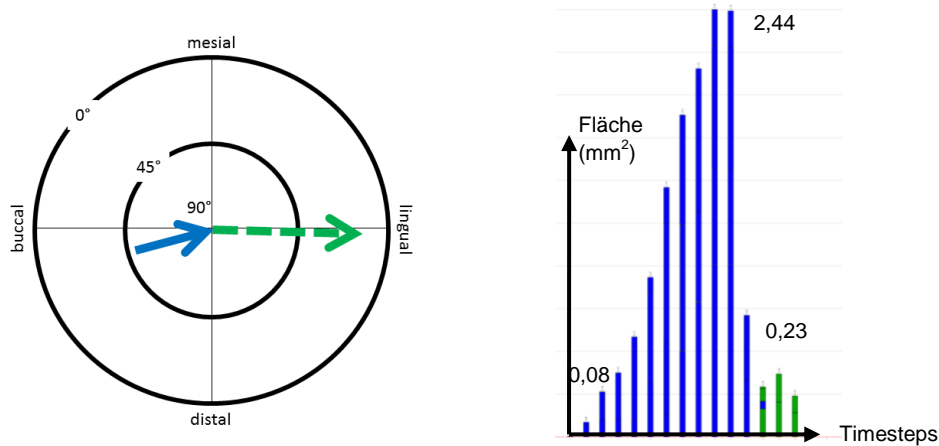


Abb. 4.15.b: *Galago demidoff* smf 83201, Mastikationskompass und OFA-Diagramm von *Galago demidoff* smf 83201 (v.l.n.r.)

Das OFA-Diagramm zeigt eine größere Phase I Komponente, die stark ansteigt und mit insgesamt 13,14 mm² viel mehr Gesamtfläche verwendet als Phase II, die nur 0,83 mm² nutzt und auch nur 3 Timesteps lang ist. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 94,1%, der der Phase II 5,9% (Abb. 4.15.b, rechts).

Im Orientation Patch Count wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 65 Patches für *G. demidoff* smf 83201 und 66 Patches für *G. demidovii* smf 73560 errechnet.

4.16 *Galago senegalensis* smf 32751

4.16.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Eine detaillierte Beschreibung der Zahnmorphologie und der Facetten von *Galago senegalensis* wurde von Maier (1980) angefertigt. Die Maße des vorliegenden M1 betragen 2,6 mm mesiodistal und 3,39 mm buccolingual. Die Oberfläche beträgt 16,4 mm² ab der Referenzebene und 14,7 mm² ab der Parallelebene. Die Neigungswinkel ähneln den Winkeln des vorher besprochenen *Galago demidoff*.

Die LRT-Facetten F1, F4, und F5 haben eine Inklination von 66° für F1, 62° für F4 und 68° für F5. Nur F8 ist mit 49° etwas flacher. Die LPT-Facetten F2 und F6 besitzen einen Fallwinkel von 48° und F3 von 46°, F7 ist mit 36° die flachste der Phase I-Facetten. Die Phase II-Facetten sind generell flacher als die Phase I-Facetten. F9 hat einen Neigungswinkel von 29° und F10 von 34°.

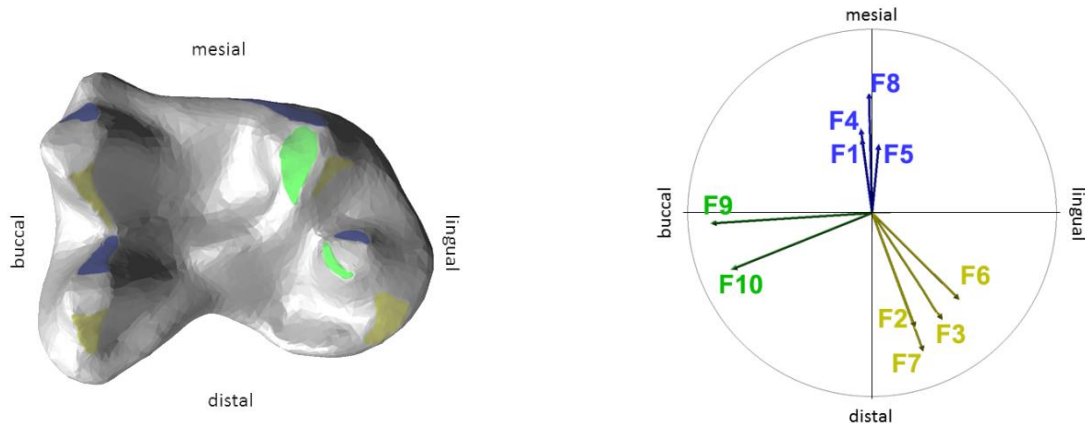


Abb. 4.16.a: Lage der Facetten und Okklusaler Kompass von *Galago senegalensis* smf 32751, M1 dex.

Im Okklusalen Kompass wird deutlich, dass die LRT-Facetten wenig variieren. Von 8° für F1 und F4 bis zu 354° bei F5 erhält man eine Differenz von nur 14° . Die LPT-Facetten sind zwischen 200° bei F7 und 225° bei F6 im Raum orientiert. Mit einem Winkel von 94° ist F9 deutlich nach buccal gerichtet, während F10 mit 112° um 18° davon abweicht, wie in der Abb. 4.16.a, rechts, zu sehen ist.

4.16.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Im Mastikationskompass sieht man, dass die Inklination der Inkursion mit 41° etwas steiler ist als die Exkursion mit 38° . Die Richtung der Inkursion weist mit 276° nach lingual, wie die der Exkursion mit 264° (Abb. 4.16.b, links).

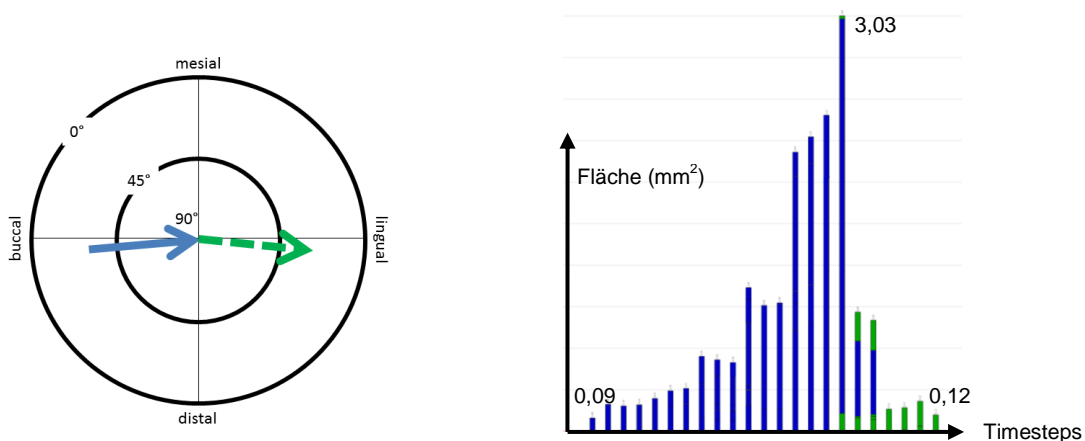


Abb. 4.16.b: Mastikationskompass und OFA-Diagramm von *Galago senegalensis* smf 32751, M1 und m1+m2 dex. (v.l.n.r.)

Das OFA-Diagramm (Abb. 4.16.b, rechts) zeigt für Phase I mit $18,1 \text{ mm}^2$ eine wesentlich größere Gesamtfläche als für Phase II mit $1,48 \text{ mm}^2$. Für Phase I wurden 19 TS berechnet. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt $92,6\%$, der der Phase II $7,4\%$.

Im Orientation Patch Count wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 57 Patches errechnet.

4.17 *Gorilla gorilla beringei* smf 63976

4.17.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Die Molaren des Gorillas haben das dryopithecine Höckermuster ausgebildet. Der untersuchte M1 hat eine Oberfläche von 608 mm² ab der Referenzebene und 297,4 mm² ab der Parallelebene. Der Zahn misst von mesial nach distal 15,4 mm und von buccal nach lingual 17,6 mm. Von den 13 antagonistischen Kontaktfacetten, die Maier und Schneck 1981 beschrieben haben, befinden sich nur 10 am untersuchten M1. Davon sind vier buccale Phase I F1-F4, zwei linguale Phase I F6 und F7 und vier Phase II F9, F10, F12 und F13 vorhanden. Facette 5, 8 und 11 fehlen am untersuchten Molaren (Abb. 4.17.a, links). Von den buccalen Phase I-Facetten ist F4 mit 37° die mit der stärksten Neigung, gefolgt von F2 mit 34°. F2.1 ist von den buccalen Facetten am flachsten mit 23°. Es gibt nur zwei linguale Phase I-Facetten. F7 hat einen Neigungswinkel von 48° und F6 hat 36°. Von den Phase II-Facetten ist F13 mit 31° am steilsten und F9 am flachsten mit 21°.

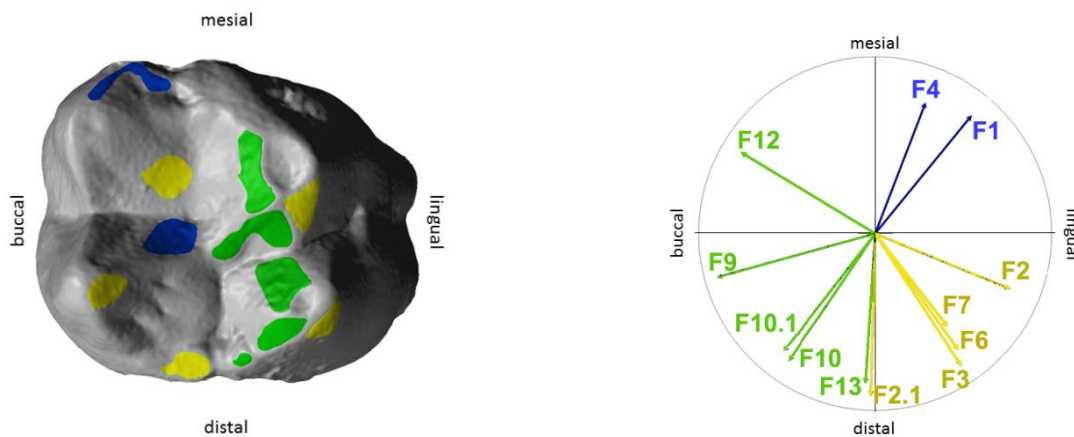


Abb. 4.17.a: M1 dex. von *Gorilla gorilla* smf 63976, Facettenanalyse und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Die LRT-Facetten haben eine Varianz von 16° und liegen zwischen 321° für F1 und 339° für F4. Das Bewegungsmuster der gelben LPT-Facetten ist wenig eingeschränkt und liegt zwischen 178° für F2.1 und 248° für F2, hat also eine Differenz von 70°. Die MT-Facetten orientieren sich zwischen 59° für F12 und 176° für F13 (Abb. 4.17.a, rechts).

4.17.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Die Inkursionsrichtung geht nach lingual, die Exkursion mit 287° in Richtung linguomesiolingual, wie im Mastikationskompass (Abb.4.14.b) zu sehen ist. Der Neigungswinkel der Phase I beträgt 19,5°, ähnlich dem Winkel der Phase II beim Ausgleiten mit 18,7°.

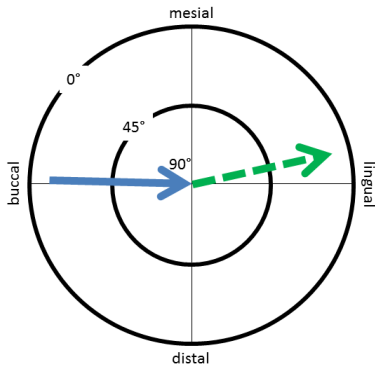


Abb. 4.17.b: Mastikationskompass der m1+m2 dex. von *Gorilla gorilla* smf 63976

Im OFA-Projekt wurden für die Phase I 32 TS berechnet und für die Phase II 75 TS (Abb. 4.17.c). Die Phase I hat eine Gesamtflächennutzung von 133,28 mm², sie steigt stark an, nutzt dann etwas weniger Fläche bis sie in Phase II übergeht. Dort wird am Anfang der Phase noch mehr Fläche genutzt, welche sich wieder etwas verringert und dann lange auf einem Plateau bestehen bleibt. Insgesamt sind hier 338,6 mm² Fläche in Kontakt.

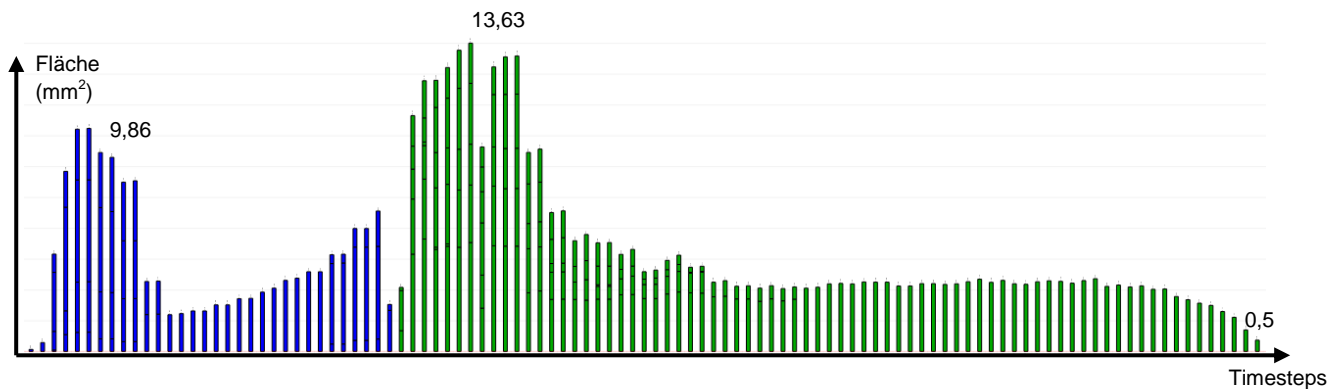


Abb. 4.17.c: Diagramm aus dem OFA-Projekt von M1 und m1+m2 dex. von *Gorilla gorilla* smf 63976

Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 28,3%, der der Phase II 71,7%.

Im OPC wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 67 Patches errechnet.

4.18 *Hapalemur* sp. smf 34722

4.18.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Maier (1980) beschreibt das Facettenpaar 1 der ersten Molaren von *Hapalemur* als wenig entwickelt. In dem von ihm untersuchten Exemplar überragt das Protoconid die Cristid oblique zu wenig, um hier genug Platz für eine ausgeprägte F1 zu schaffen. Im vorliegenden Untersuchungsobjekt wurde eine gut entwickelte F1 bestimmt, die entlang der Präparacrista bis zum Parastylus verläuft und sich weiter entlang des mesialen Cingulums ausdehnt. Das

von Maier (1980) beschriebene sehr gut entwickelte Scherkantensystem der F3 und F4 ist auch am vorliegenden M1 vorhanden.

Mesiodistal misst der M1 4,62 mm und buccolingual 5,4 mm. Die Oberfläche beträgt ab der Cervikalebene 44,2 mm² und ab der Parallelebene 32,3 mm². Die buccalen Phase I-Facetten F1-4 nehmen eindeutig die größere Fläche ein. Als linguale Phase I-Facette existiert nur F5. Eine F6 ist am vorliegenden M1 nicht vorhanden und wurde auch von Maier (1980) nicht beschrieben. Die F2 beginnt hier unterhalb des Tip-crushings des Metaconus. Auf dem Paraconus befindet sich kein Tip-crushing, aber der apikale Abschnitt ist in F3 intergriert, wie auf Abb. 4.18.a. zu sehen ist.

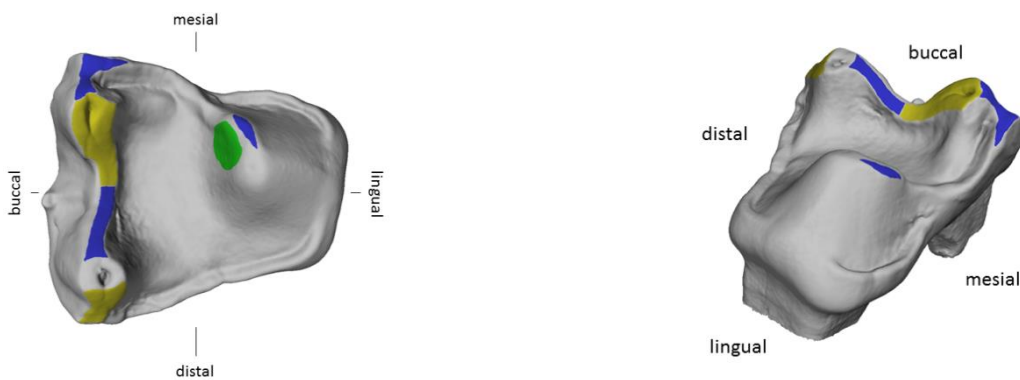


Abb. 4.18.a: M1 sin., gespiegelt von *Hapalemur* sp. smf 34722

Die blauen LRT-Facetten sind zwischen 24° bei F5 und 335° bei F4 orientiert, somit liegen sie über 49° auseinander (Abb. 4.18.b). Die LPT-Facetten sind hier nur buccal vorhanden. Für F2 beträgt der Richtungswinkel 210° und für F3 235°. Die einzige Phase II F9 hat einen Richtungswinkel von 102°. Von den Neigungswinkeln ist F9 am steilsten mit 58° und F5 ist mit 34° die flachste Facette.

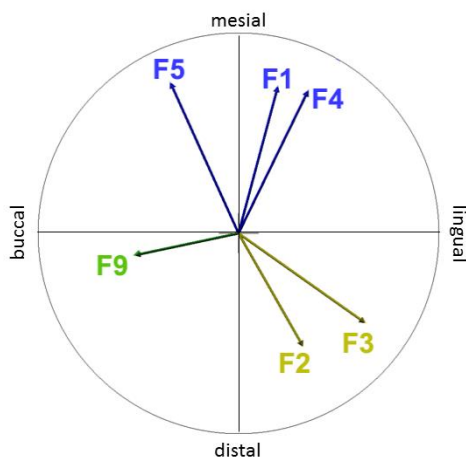


Abb. 4.18.b: Okklusaler Kompass des M1 sin. von *Hapalemur* sp. smf 34722

4.18.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Im Mastikationskompass sind die Neigungswinkel der Inkursion mit 39° und der Exkursion mit 40° fast gleich steil. Der Richtungswinkel der Inkursion weist mit 287° nach linguo-mesiolingual und der Winkel der Exkursion mit 267° nach lingual (Abb. 4.18.c, links).

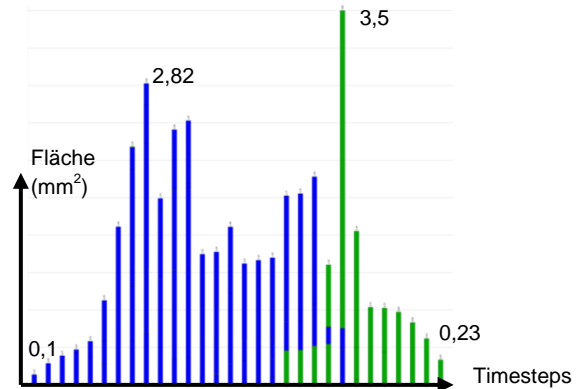
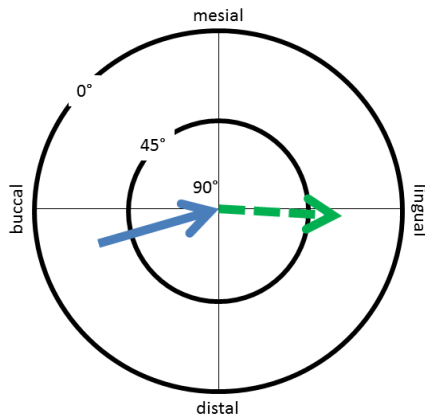


Abb. 4.18.c: Mastikationskompass und OFA-Diagramm des M1 und m1+m2 von *Hapalemur* sp. smf 34722 (v.l.n.r.)

Im OFA-Diagramm sieht man eine erst schwach ansteigende Phase I, die nach 5 Timesteps stark ansteigt (Abb. 4.18.c, rechts). Danach bleibt ein Plateau erhalten, das in die Phase II mündet, die kurz sehr viel Fläche nutzt und dann mäßig abfällt. Insgesamt werden $27,88 \text{ mm}^2$ Fläche für Phase I und $9,77 \text{ mm}^2$ Fläche für Phase II verwendet. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 74,1%, der der Phase II 25,9%. Im Orientation Patch Count wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 56 Patches errechnet.

4.19 *Hylobates lar* smf 18718

4.19.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Der vorliegende M1 stammt von einem juvenilen Tier, dessen M3 noch nicht durchgebrochen waren. *Hylobates* hat die typische Zahnmorphologie der Hominoidea mit buccalen Phase I F1-4, lingualen Phase I F5-F8 und den Phase II F9-F13 (Abb. 4.19.a, links). Mesiodistal misst der Zahn 6,3 mm und buccolingual 6,8 mm. Die Oberfläche beträgt ab der Cervikalebene $98,5 \text{ mm}^2$ und ab der Parallelebene $51,8 \text{ mm}^2$.

Von den buccalen Facetten sind F1 mit 49° am steilsten und F3 mit 28° am flachsten. Von den lingualen Phase I-Facetten besitzt F7 mit 46° die stärkste Neigung und F6 ist mit 29° am flachsten. Die Phase II-Facetten sind alle recht flach, von F13 mit 21° bis F10 und F11 mit jeweils 34° .



Abb. 4.19.a: M1 von *Hylobates lar* smf 18718 Facettenverteilung und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Für die LRT-Facetten erhält man Richtungswinkel zwischen 338° für F4 und 354° für F8, hat demnach eine Varianz von 16° . Die LPT-Facetten liegen zwischen 218° für F7 und 245° für F6, sind also weniger eingeschränkt in ihrer Bewegungsmöglichkeit und haben eine Differenz von 27° . Die MT-Facetten differieren voneinander mit 120° und sind zwischen 52° für F12 und 172° für F13 orientiert (Abb. 4.19.a, rechts).

4.19.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Im Mastikationskompass weist die Inkursion mit 272° nach lingual wie auch die Exkursion mit 281° . Der Neigungswinkel der Inkursion beträgt $35,9^\circ$ und der Exkursion $22,3^\circ$ (Abb. 4.19.b, links).

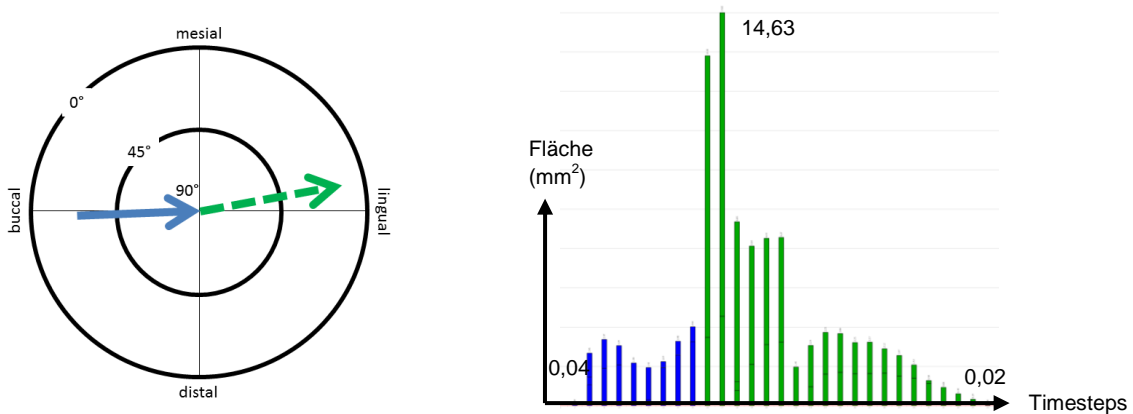


Abb. 4.19.b: Mastikationskompass und OFA-Diagramm von *Hylobates lar* smf 18718 M1 und m1+m2 (v.l.n.r.)

Das OFA-Diagramm (Abb. 4.19.b, rechts) von *Hylobates lar* zeigt, dass sehr wenig Gesamtfläche für die Phase I verwendet wird. Sie steigt schwach an und bleibt auf einem niedrigen Plateau mit insgesamt $16,69 \text{ mm}^2$, für die auch nur 9 TS berechnet wurden. Phase II steigt direkt massiv an, fällt dann mäßig ab. Dies geschieht über 20 TS bei einer Flächennutzung von $74,6 \text{ mm}^2$. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 18,3%, der der Phase II 81,7%. Im Orientation Patch Count wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 46 Patches errechnet.

4.20 *Indri indri* smf 931

4.20.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Die Molaren der Indriidae wurden detailliert von Maier (1977b) als die einzigen Prosimiae beschrieben, die die bilophodonte Molarenmorphologie konvergent entwickelt haben.

Der untersuchte rechte M1 von *Indri indri* hat eine Oberfläche von 75,17 mm² ab der definierten Parallelebene und von 118,14 mm² ab der Cervikalebene. Der Zahn misst von mesial nach distal 7,2 mm und von buccal nach lingual 7,5 mm.

Auf dem M1 sind nicht alle Kontaktfacetten des bilophodonten Molarentyps vorhanden, F11 wurde nicht entwickelt. Es gibt neun Phase I-Facetten und drei Phase II-Facetten. Maier (1977b) beschreibt bei M1 bereits eine F12, die im vorliegenden M1 bestätigt wurde. F12 liegt an der mesialen Flanke des Hypoconus zwischen der Praehypocrista und der Andeutung einer lingualen Crista transversa posterior. Zum Vergleich wurde hier auch der M2 untersucht, der alle Kontaktfacetten des bilophodonten Molarentyps ausgebildet hat (Abb. 4.20.b).

Der untersuchte M1 besitzt eine horizontale Facette F1_3_5 auf dem Paraconulus, wie schon bei *Afradapis longicristatus* und *Cantius* sp. beschrieben (Abb. 4.20.a, links). Die Facette ist mit 18,5° sehr flach und weist direkt nach lingual, wie auf der Abbildung (4.20.a, rechts) des Okklusalen Kompasses zu sehen ist. Am unteren m1 ist die Facette ein schmaler Grat zwischen Protoconid und Metaconid (rot markierte Fläche Abb. 4.20.c). Von den buccalen Phase I-Facetten des M1 ist F1 am flachsten mit 32°. F1 nimmt nur eine schmale Fläche entlang der Präparacrista ein. Sie reicht an der apikalen Stelle an die Entoparacrista. Die buccale Phase I-Facette des M1 mit der stärksten Neigung ist F2 mit 63°. Von den lingualen Phase I-Facetten ist F8 am flachsten und F6 mit 56° am steilsten. F9 hat einen Neigungswinkel von 57°, F10 hat 47° und F12 ist mit 40° die Phase II-Facette mit der geringsten Neigung. Auf der Okklusalfäche des m1 wurden zwei Phase II-Facetten festgestellt, F9 liegt am lingualen Abhang des Hypoconids und F12 in einem schmalen Streifen am Posthypocristid (Abb. 4.20.c).



Abb. 4.20.a: M1 dexter von *Indri indri* smf 931, Facettenmorphologie mit F1_3_5 in rot dargestellt und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Auf dem M2 ist die F1 mit 62° wesentlich steiler als auf dem M1 und sie verläuft direkt auf der Präparacrista. Neben F2 gibt es noch eine F2.1, die mit 50° die flachste Facette der buccalen Phase I ist (Abb.4.20.b). Die lingualen Phase I-Facetten sind insgesamt flacher als die buccalen. F8 hat auf dem M2 nur eine Neigung von 40° und liegt als sehr schmale Facette auf der Prähypocrista, wie auch F5 auf der Präprotocrista. F6 ist von den buccalen Phase I-Facetten mit 51° am steilsten.

Die Phase II-Facetten haben ähnliche Werte bei den Neigungswinkeln. F10 und F12 haben mit 54° die schwächste Inklination, gefolgt von F9 mit 56° und F11 mit 57° .

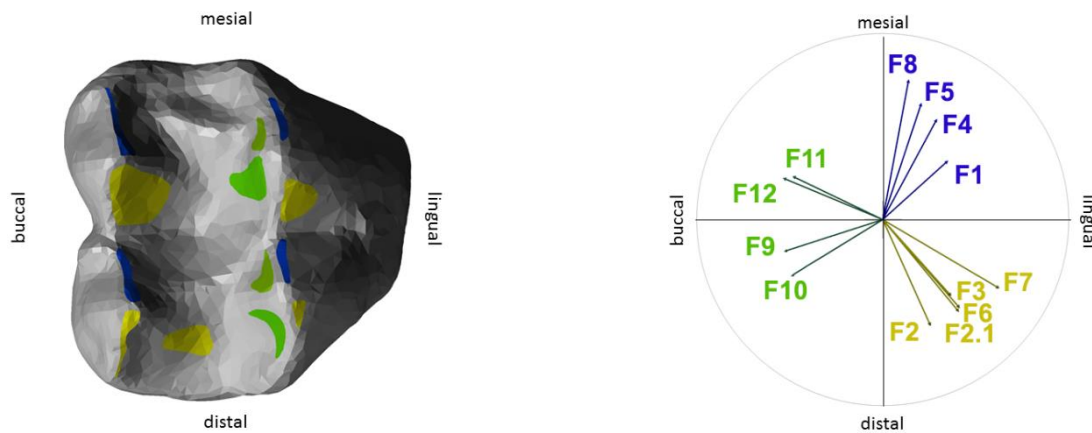


Abb. 4.20.b: M2 dexter von *Indri indri* smf 931, Facettenmorphologie und Okklusaler Kompass mit F11 und F12 (v.l.n.r.)

Die blauen LRT-Facetten des M1 weisen eine Differenz von 18° auf und liegen zwischen 321° für F4 und 339° für F1. Die LPT-Facetten sind noch stärker in ihrem Bewegungsmuster eingeschränkt und liegen mit nur 3° Differenz zwischen 226° für F6 und 229° für F3 (Abb. 4.20.a, rechts). Vergleicht man die Werte mit den LPT-Facetten des M2, ergibt sich ein größerer Spielraum von 204° für F2 bis zu 239° für F7 (Abb. 4.20.b, rechts).

Die MT Facetten des M1 orientieren sich zwischen 72° für F12 und 136° für F10, haben also eine Differenz von 64° . Im M2 beträgt die Differenz 58° von 64° für F11 bis 122° für F10.

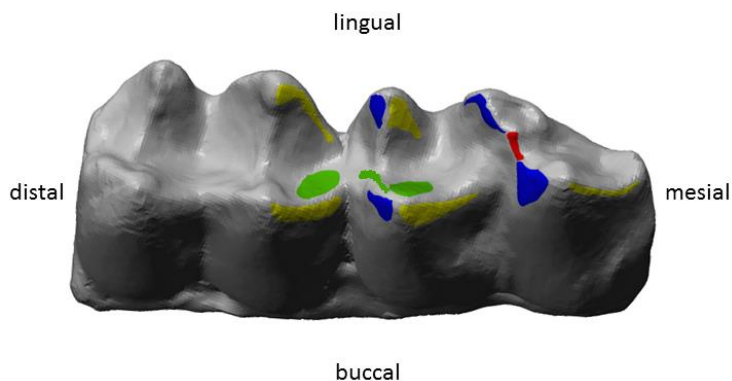


Abb. 4.20.c: m1+m2 dexter von *Indri indri* smf 931, Facettenmorphologie

4.20.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Der Mastikationspfad der Phase I weist mit 276° nach lingual, Phase II geht nach dem Ausgleiten aus der zentrischen Okklusion mit 288° nach linguo-mesiolingual (Abb. 4.20.d). Die Inklination der Inkursion beträgt $30,5^\circ$, die der Exkursion $32,7^\circ$.

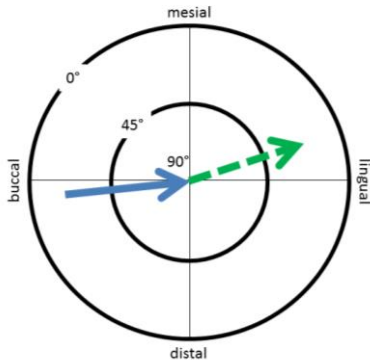


Abb. 4.20.d: Mastikationskompass von *Indri indri* smf 931m1+m2 dexter

Im OFA-Diagramm (Abb. 4.20.e) sieht man, dass die Phase I deutlich stärker ausgeprägt ist als die Phase II. Phase I steigt 7 TS schwach an, ab dann massiv mit insgesamt 32 TS und einer Gesamtflächennutzung von $80,52 \text{ mm}^2$. Für Phase II werden insgesamt 26 TS berechnet, sie fällt langsam ab, wobei eine Gesamtfläche von $22,98 \text{ mm}^2$ verwendet wird.

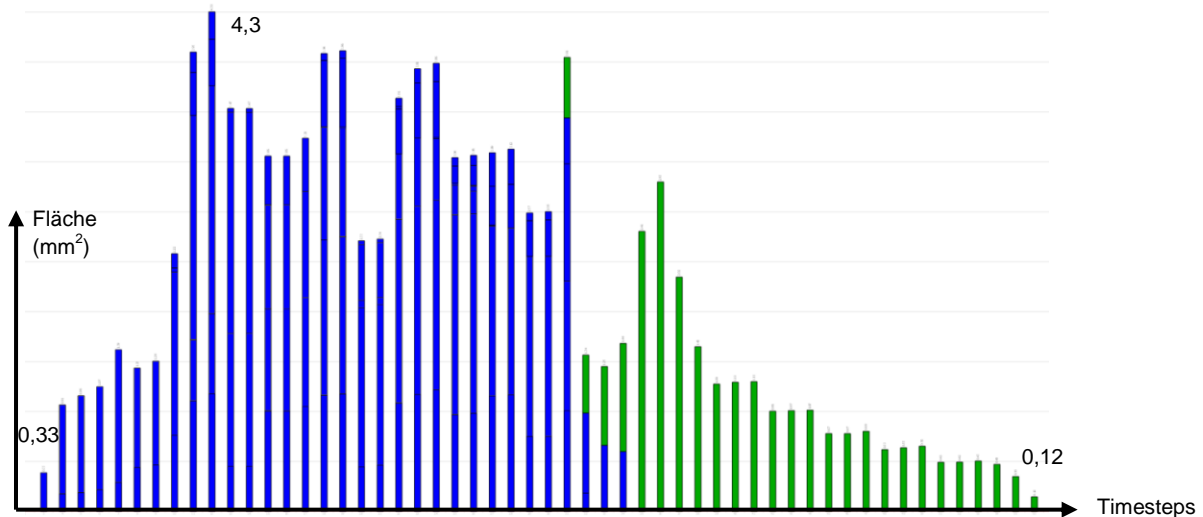


Abb. 4.20.e: OFA-Diagramm von *Indri indri* smf 931M1 und m1+m2 dexter

Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt $77,8\%$, der der Phase II $22,2\%$. Im Orientation Patch Count wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 61 Patches errechnet.

4.21 *Lemur catta* smf 19089

4.21.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Wie bereits von Maier (1980) beschrieben, besteht der M1 aus den drei Haupthöckern und hat ein sehr stark ausgezogenes Innencingulum. Ein Hypoconus existiert nicht (Abb. 4.21.a, links). Im Gegensatz zu Maier's Beschreibung fehlt im untersuchten M1 die kleine Facette auf dem Innencingulum, die mit dem lingualen Höckerchen des Postmetacristids artikuliert. Maier sieht in dem Nebenhöckerchen eine Führungsstruktur für den Protokonus. Mesiodistal misst der vorliegende M1 5,2 mm und buccolingual 6,1 mm. Die Oberfläche beträgt ab der Cervikalebene 50,4 mm² und ab der Parallelebene 34,6 mm².

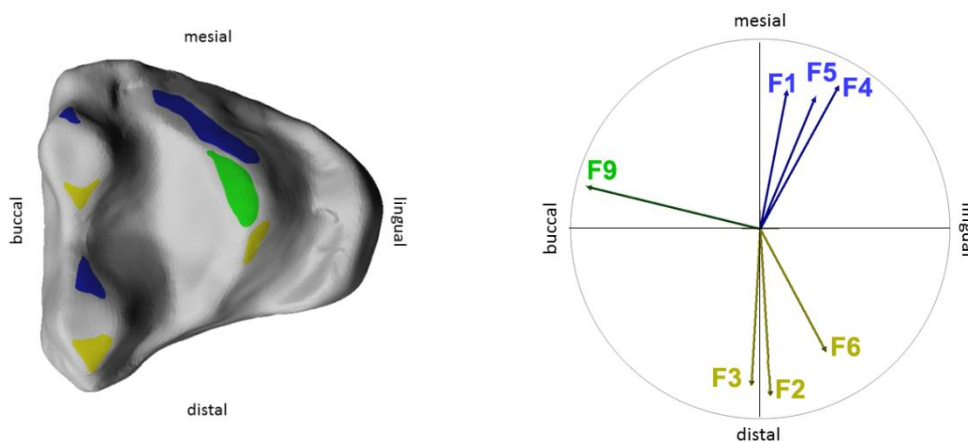


Abb. 4.21.a: Facettenanalyse des M1 dexter von *Lemur catta* smf 19089 und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

F1 und F6 zeigen mit 42° die stärkste Inklination. Mit 19° ist F9 am flachsten. Die LRT-Facetten haben eine Differenz von 18° und orientieren sich zwischen 349° für F1 und 331° für F4. Die LPT-Facetten liegen zwischen 177° für F3 und 208° für F6, verteilen sich also über 31°. Wie im Okklusalen Kompass zu sehen ist, orientiert sich F9 nach 76° (Abb. 4.21.a, rechts).

4.21.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Im Mastikationskompass beträgt der Neigungswinkel der Inkursion 33,7°. Der Austrittswinkel ist mit 11,1° sehr flach (Abb. 4.21.b, links). Die Inkursion der Phase I ist nach lingual orientiert, während die Exkursion mit 255° nach linguodistolingual verläuft.

Ein Kauzyklus stellt sich auf dem OFA-Diagramm mit 16 TS dar, wobei Phase I mit einer Gesamtfläche von 6,44 mm² einen wesentlich größeren Anteil einnimmt als die Phase II mit einer Gesamtfläche von 2,23 mm² (Abb. 4.21.b, rechts). Beide Phasen sind 8 TS lang. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 74,3%, der der Phase II 25,7%.

Im OPC wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 50 Patches errechnet.

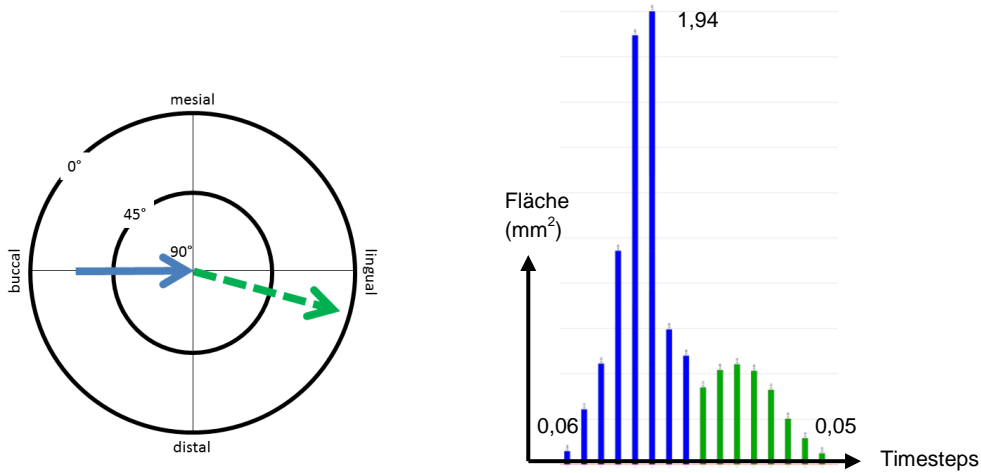


Abb. 4.21.b: Mastikationskompass und OFA-Diagramm von M1 und m1+m2 dexter von *Lemur catta* smf 19089

4.22 *Lemur mongoz* smf 2546

4.22.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Der untersuchte M1 misst mesiodistal 4,5 mm und buccolingual 5,7 mm. Lingual ist das Cingulum nach mesial sowie nach distal stark verbreitert und zeigt eine abrasive Abnutzung. Hier handelt es sich um Tip-crushing, da diese Bereiche keinen antagonistischen Zahnkontakt haben.

Lemur mongoz besitzt keinen Hypoconus auf dem M1 (Abb. 4.22.a, links). Die Oberfläche ab der Cervikalebene beträgt 39,7 mm² und ab der definierten Parallelebene 28,8 mm².

Die Neigungswinkel sind relativ flach, besonders die LRT-Facetten F1, F4 und F5 mit 37°, 27° und 11°. Die LPT-Facetten sind steiler, F2 mit 53°, F3 mit 41° und F6 mit 27°. Es gibt nur eine Phase II-Facette, F9, mit einer Inklination von 45° (Abb. 4.22.a, rechts).



Abb. 4.22.a: Rechter M1 von *Lemur mongoz* smf 2546 mit Facettenanalyse und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Im Okklusalen Kompass zeigen die Richtungswinkel der LRT-Facetten eine Differenz von 24°. Von 1° für F5 bis 337° für F1. Die Varianz der gelben LPT-Facetten beträgt 31° von 168° für F6 bis 199° für F3. Die einzige Phase II F9 orientiert sich mit 101° nach buccal.

4.22.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Der Mastikationskompass ähnelt dem von *Cheirogaleus major*, beide gehen direkt aus buccal in Phase I und gleiten nach lingual mit der Phase II aus (Abb. 4.22.b, links). Der Neigungswinkel der Inkursion beträgt $19,8^\circ$ und der Exkursion $24,8^\circ$.

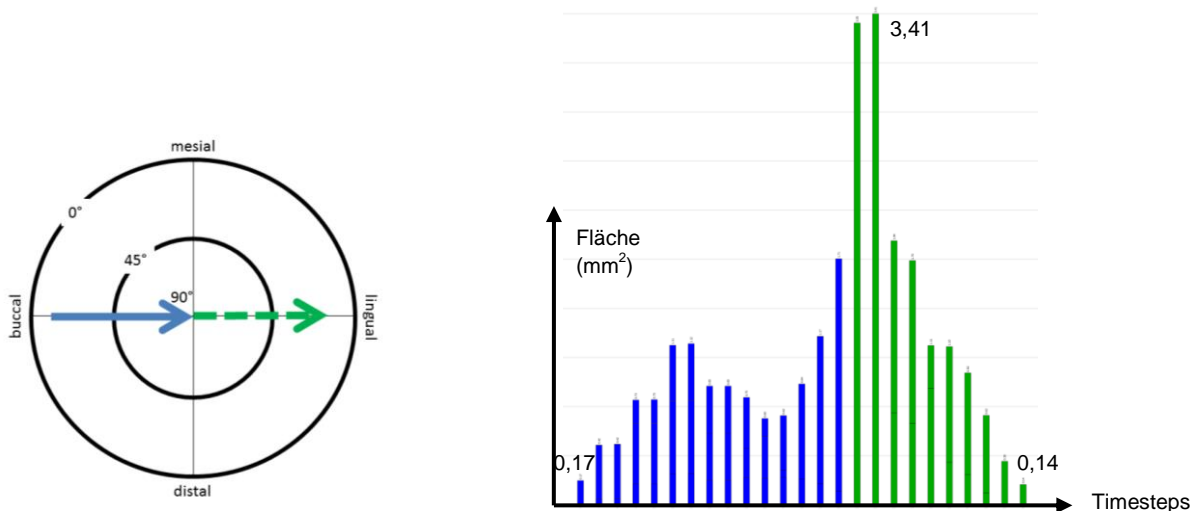


Abb. 4.22.b: Mastikationskompass und OFA-Diagramm des M1 und m1+m2 von *Lemur mongoz* smf 2546 (v.l.n.r.)

Ebenso gleicht das OFA-Diagramm dem von *Cheirogaleus major*. Auch bei *Lemur mongoz* gibt es einen flachen Anstieg der Phase I, die 15 TS lang ist und eine Gesamtfläche von $12,05 \text{ mm}^2$ einnimmt (Abb. 4.22.b, rechts). Für Phase II werden nur 10 TS berechnet, aber die Gesamtfläche beträgt $14,49 \text{ mm}^2$. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 45,4%, der der Phase II 54,6%. Im Orientation Patch Count wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 54 Patches errechnet.

4.23 *Lepilemur mustelinus* smf 34717

4.23.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Wie bereits von Maier (1980) beschrieben, besitzen die oberen Molaren keinen Hypoconus. An der linguodistalen Kante hat sich ein ausgezogenes Cingulum entwickelt (Abb. 4.23.a, links). Der Flächenanteil der buccalen Phase I-Facetten überwiegt stark gegenüber den lingualen Phase I-Facetten. Beim Kauzyklus scheren die oberen Phase I-Facetten gegen die unteren, wie eine Schere, um die Nahrung zu zerteilen. Ein ähnliches Facettenmuster ist bei *Hapalemur* sp. zu sehen.

Der untersuchte M1 misst mesiodistal 3,2 mm und buccolingual 3,4 mm, bei einer Oberfläche von $20,9 \text{ mm}^2$ ab der Cervikalebene und $11,12 \text{ mm}^2$ ab der Parallelebene. Die buccalen Phase I-Facetten zeigen eine Neigung von 40° für F1 und 44° für F2. F3 und F4

besitzen beide eine Inklination von 30°. Auf der lingualen Seite ist F5 mit 43° wesentlich steiler als F6 mit 29°. Die einzige Phase II F9 hat einen Neigungswinkel von 36°.

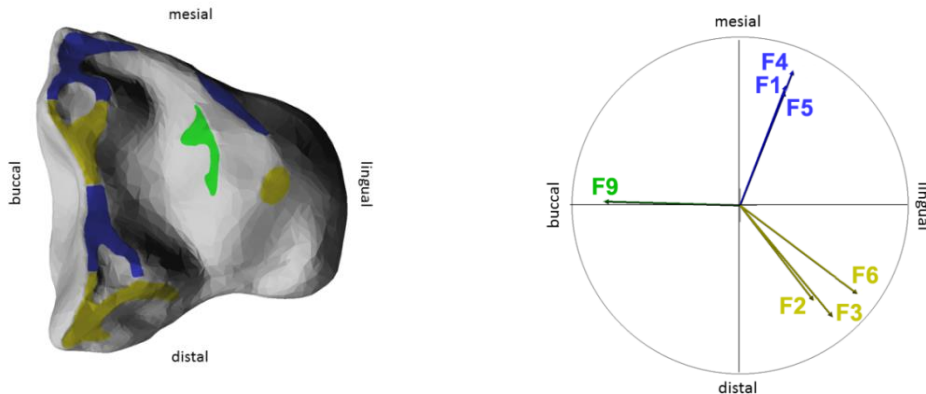


Abb. 4.23.a: M1 von *Lepilemur mustelinus* smf 34717, Lage der Facetten und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Auf dem Okklusalen Kompass (Abb. 4.23.a, rechts) zeigt sich eine ganz strikte Ausrichtung der LRT-Facetten von 338° bis 339°. Zwischen den LPT-Facetten gibt es eine größere Differenz von 218° bei F2 bis 233° bei F6. F9 ist mit einem Richtungswinkel von 88° nach buccal gerichtet.

4.23.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Im Mastikationskompass (Abb. 4.23.b, links) ist zu sehen, dass die Inkursion aus buccal erfolgt und mit Phase II nach lingual ausgleitet. Dabei beträgt der Fallwinkel bei der Inkursion 14,9° und bei der Exkursion 14,7° und ist somit während des Kauzyklus relativ flach, verglichen mit den anderen untersuchten Strepsirrhini.

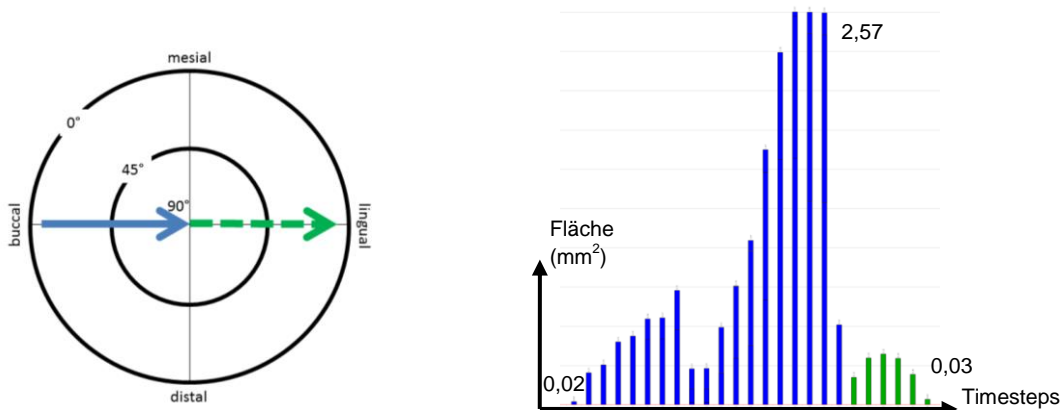


Abb. 4.23.b: Mastikationskompass und OFA-Diagramm von *Lepilemur mustelinus* smf 34717, M1 und m1+m2 (v.l.n.r.)

Das OFA-Diagramm zeigt deutlich die Verteilung der Phase I zu den Phase II-Facetten (Abb. 4.23.b, rechts). Phase I überwiegt mit 18,24 mm² Gesamtfläche auf 19 TS verglichen mit 1,34 mm² Flächennutzung auf 6 TS. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 93,2%, der der Phase II 6,8%. Im Orientation Patch Count wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 55 Patches errechnet.

4.24 *Loris tardigradus* smf 3218

4.24.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Der analysierte M1 von *Loris tardigradus* misst 2,7 mm von mesial nach distal und 3,6 mm von buccal nach lingual. Es gibt einen angegliederten Hypoconus mit drei komplementären Abnutzungsfacetten (Abb. 4.24.a, links).

Die Oberfläche beträgt 21,31 mm² ab der Cervikalebene und 17,16 mm² ab der definierten Parallelebene. Wie Maier (1980) beschreibt, verläuft die F1 entlang der Präparacrista und weiter, als F1.1 gekennzeichnet, entlang der Präparaconuluscrista. Beide haben einen steilen Neigungswinkel von 72° und 76°. F2 und F3 sind mit 56° flacher in der Neigung. Von den lingualen Phase I-Facetten ist F5 mit 51° am steilsten, und F6 mit 48° am flachsten. Die Fallwinkel der beiden Phase II-Facetten betragen 35° für F9 und 62° für F10. Maier (1980) beschreibt F10 als relativ deutlich entwickelt an der Buccalflanke des Hypoconus. Im vorliegenden M1 ist sie etwas nach mesiobuccal geneigt.

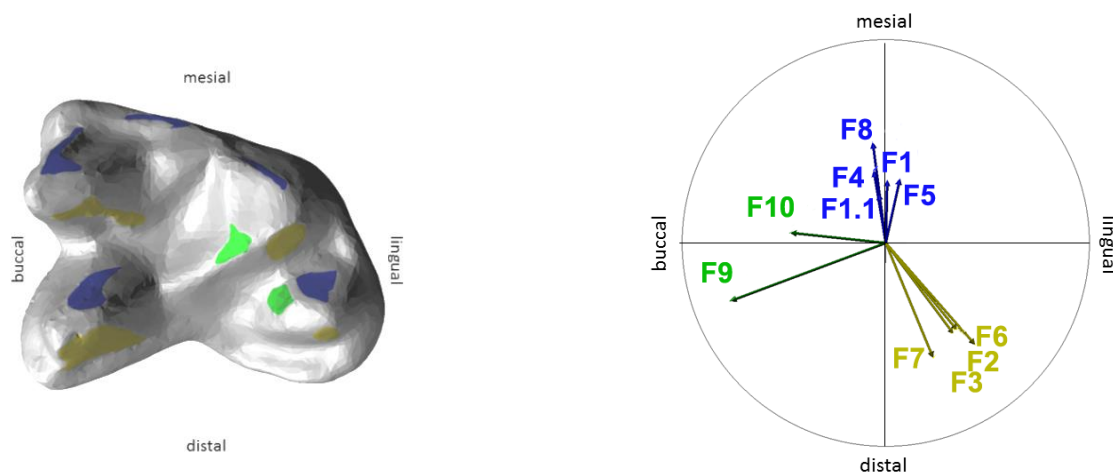


Abb. 4.24.a: Linker, gespiegelter M1 von *Loris tardigradus* smf 3218 mit Facettenanalyse und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Im Okklusalen Kompass ist erkennbar, dass alle LRT Facetten relativ steil sind (Abb. 4.24.a, rechts). Ihre Richtung bewegt sich zwischen 9° für F4 bis 348° für F5, haben also eine Differenz von 21°. Die LPT Facetten sind zwischen 202° bei F7 und 221° bei F6 orientiert. Die beiden MT Facetten F9 in 111° und F10 in 84° zeigen eine Differenz von 27° in Richtung buccal.

4.24.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Im Mastikationskompass (Abb. 4.24.b, links) ist zu sehen, dass die Inklination der Inkursion 27,2° beträgt und sie mit 275° in linguale Richtung orientiert ist. Nach der zentrischen Okklusion erfolgt die Exkursion mit 279° ebenso nach lingual und sie hat einen Neigungswinkel von 25,1°.

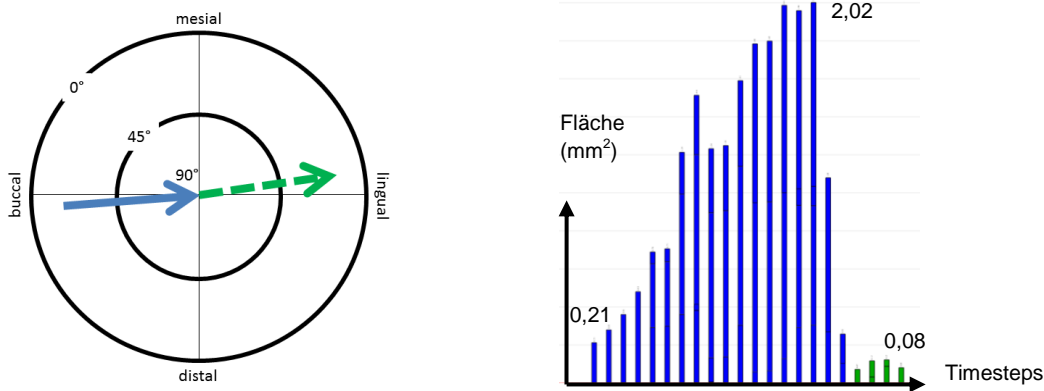


Abb. 4.24.b: Mastikationskompass und OFA-Diagramm von *Loris tardigradus* smf 3218 M1 und m1-m2 sin. (v.l.n.r.)

Im OFA-Diagramm (Abb. 4.24.b, rechts) dominiert deutlich die Phase I mit einer Gesamtflächennutzung von 20,59 mm², die stark ansteigt und nach 17 TS direkt abfällt. Ab TS 12 setzt Phase II ein, die insgesamt nur 0,39 mm² Fläche nutzt. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 98,1%, der der Phase II 1,9%. Im Orientation Patch Count (OPC) wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 65 Patches errechnet.

4.25 *Macaca maurus* smf 1020

4.25.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Der rechte M1 von *Macaca maurus* smf 1020 (Abb. 4.25.a, links) misst von mesial nach distal 7,5 mm und von buccal nach lingual 7,7 mm. Die Oberfläche beträgt ab der Cervikalebene 127 mm² und ab der Parallelebene 60 mm². Kay hat 1977 eine Facettenanalyse von *Macaca mulatta* publiziert und dabei festgestellt, dass in Phase I die Facetten 1 bis 7, 7n und 8 auftreten. In Phase II konnte er F9 und F10 bestimmen und, falls vorhanden, Facette 10n und Facette x (Kay, 1977). Nach der hier angewendeten Nomenklatur handelt es sich bei Facette 10n um F12 und bei x um F11, wie in der Tabelle 2.2.a zu sehen ist.

Der vorliegende M1 hat die buccalen Phase I F1-4, die lingualen Phase I F5-8 und die Phase II F9-12. F1 ist mit 52° am steilsten, gefolgt von F4 mit 50°. F8 ist mit 26° relativ flach. Von den Phase II-Facetten ist F12 mit 44° am steilsten, gefolgt von F11 mit 39°. Mit 23° stellt F9 die flachste Facette des M1 dar.

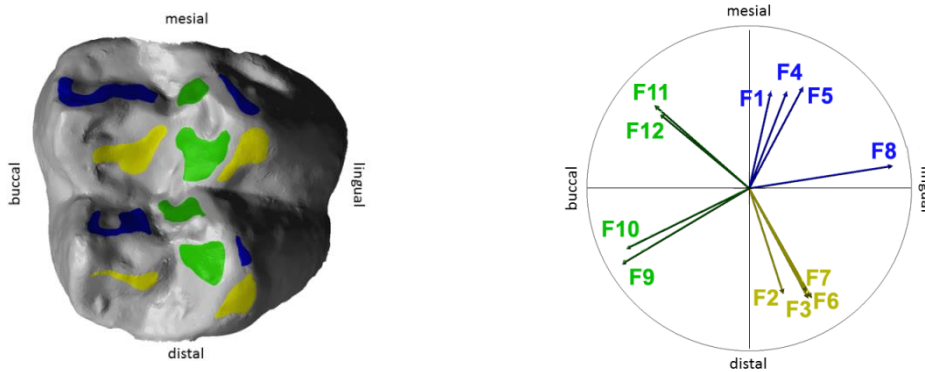


Abb. 4.25.a: *Macaca maurus* smf 1020 M1 dexter: Facettenanalyse und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Die LRT-Facetten liegen zwischen F1 mit 347° und F5 mit 332° in Richtung m-ml, bis auf eine Ausnahme, F8 orientiert sich mit 279° nach lingual. Die LPT-Facetten zeigen mit nur 12° eine geringere Differenz. Sie liegen zwischen 198° für F2 und 210° für F6. Die MT F9 und F10 orientieren sich mit 121° und 116° in Richtung bucco-distobuccal, F11 und F12 mit 49° und 50° in Richtung mesiobuccal (Abb. 4.25.a, rechts).

4.25.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Der Mastikationspfad der Phase I weist mit 275° nach lingual, ebenso wie der, der Phase II mit 274° (Abb. 4.25.b, links). Die Inklination der Inkursion beträgt 29,2°, die der Exkursion 22,5°.

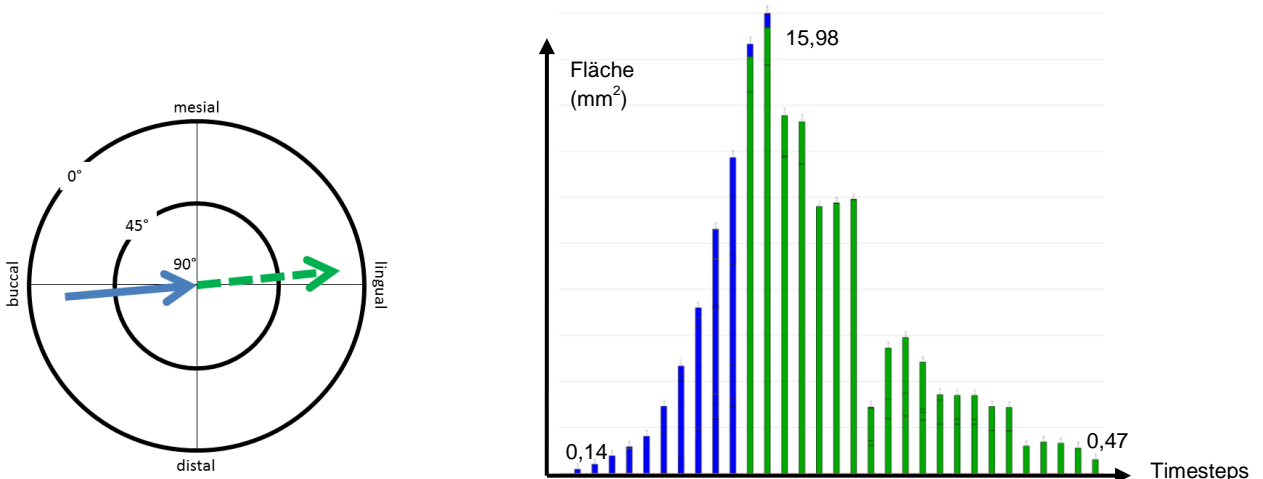


Abb. 4.25.b: Mastikationspfad und OFA-Diagramm von *Macaca maurus* smf 1020 M1 und m1-m2 dexter (v.l.n.r.)

Im OFA-Diagramm wird ersichtlich, dass Phase II deutlich überwiegt (Abb. 4.25.b, rechts). Phase I steigt relativ stark an und nutzt eine Gesamtfläche von 35,44 mm². Phase II schließt sich direkt an, fällt langsam ab und nutzt eine Gesamtfläche von 115,27 mm². Für den Kauzyklus werden insgesamt 31 TS berechnet. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 23,5%, der der Phase II 76,5%. Im Orientation Patch Count wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 57 Patches errechnet.

4.26 *Macropus giganteus* smf 15947

4.26.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Da sich die Facetten von *Macropus* nicht mit der Facettenterminologie der Primaten vergleichen lassen (siehe Abb. 4.26.a), wurden keine Facettenanalyse und kein Okklusaler Kompass angefertigt. Die bilophodonte Bezaahnung von *Macropus* wird als Anpassung an die herbivore Ernährung gesehen (Kuhn-Schnyder und Rieber, 1984, S.270).

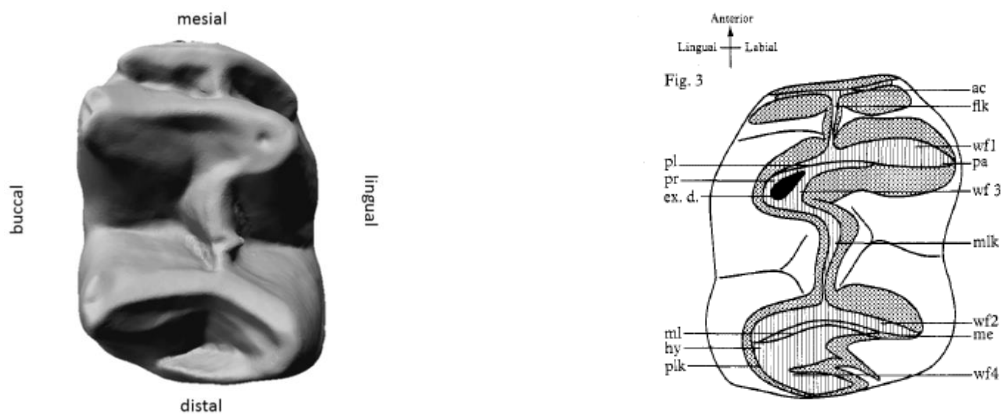


Abb. 4.26.a: M3 dex. von *Macropus giganteus* smf 15947 (links) und schematische Darstellung von *Macropus giganteus* aus Sanson (1980)

4.26.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

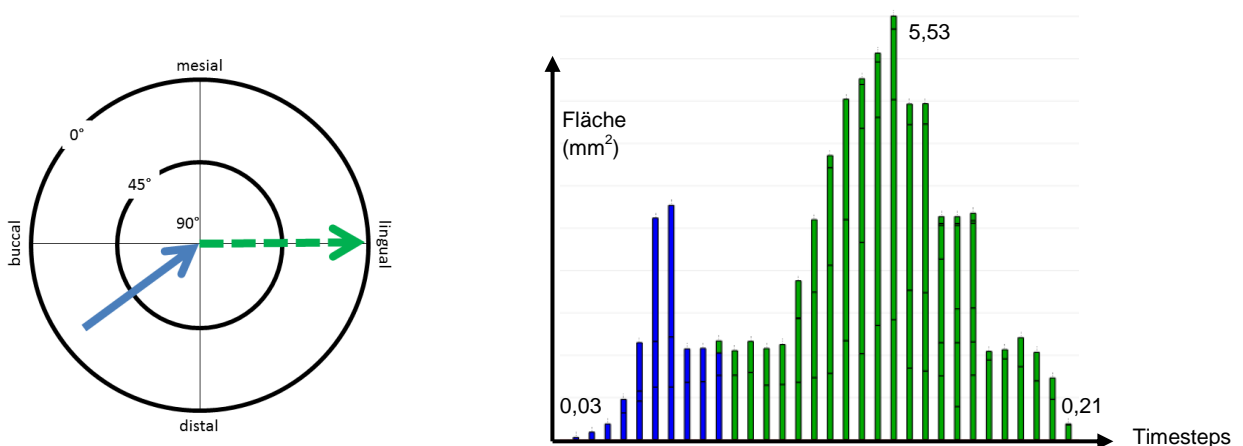


Abb. 4.26.b: Mastikationskompass und OFA-Diagramm von *Macropus giganteus* smf 15947, M3 und m3+m4 (v.l.n.r.)

Der blaue Inkursionspfeil im Mastikationskompass weist mit 312° in mesio-linguale Richtung (Abb. 4.26.b, links). Dabei hat er einen Neigungswinkel von 42,4°. Die Inklination der Exkursion ist mit 11,2° sehr flach. Das Ausgleiten aus der zentrischen Okklusion geht mit 270° nach lingual.

Das OFA-Diagramm zeigt eine wesentlich geringere Gesamtflächennutzung der Phase I gegenüber der Phase II (Abb. 4.26.b, rechts). Für Phase I wurden 10 TS bei einer Gesamtfläche von $11,6 \text{ mm}^2$ berechnet. Phase II nutzt eine Fläche von $56,76 \text{ mm}^2$ bei berechneten 23 TS. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 16,9%, der der Phase II 83,1%. Im OPC wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 59 Patches errechnet.

4.27 *Microcebus murinus* smf 34590

4.27.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Bei *M. murinus* handelt es sich um den kleinsten der untersuchten lebenden Primaten. Er weist am M1 eine Oberfläche von $7,49 \text{ mm}^2$ ab der Referenzebene und $5,9 \text{ mm}^2$ ab der Parallelebene auf. Die Breite beträgt von mesial nach distal $1,7 \text{ mm}$ und die Länge von buccal nach lingual $2,1 \text{ mm}$.

Maier (1980) beschreibt die Postprotoconusleiste von *M. murinus* als variabel, so dass sie häufig nicht den Protoconus mit dem Metaconus verbindet, sondern in Form einer Nannopithex-Falte (Hürzeler 1948) nach distal verläuft. Der untersuchte M1 zeigt keine Nannopithex-Falte, sondern eine Postprotocrista (Abb. 4.27.a, links).

Die buccalen Phase I F1 und F4 sind mit 61° am stärksten geneigt. F2 mit 46° und F3 mit 51° sind deutlich flacher. F3 nimmt den kompletten buccodistalen Abhang des Paraconus ein und ist mit $0,28 \text{ mm}^2$ auch die flächenmäßig größte Facette. Aus der lingualen Phase I ist F8 mit 28° relativ flach. F7 ist mit 57° die steilste LPT Facette. Von den beiden grünen MT-Facetten ist F9 mit 17° am flachsten und F10 ist mit 51° relativ steil für eine Phase II-Facette.

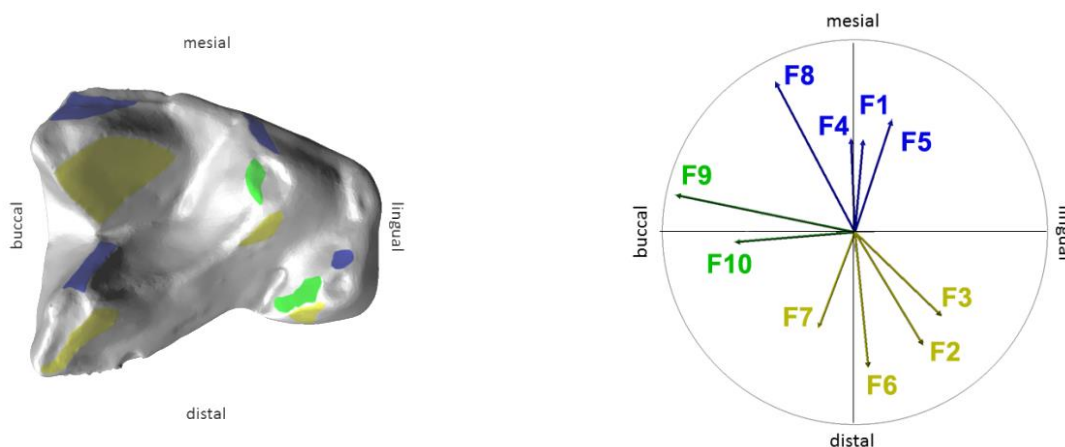


Abb. 4.27.a: Rechter M1 von *Microcebus murinus* smf 34590, Lage der Facetten und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Im Okklusalen Kompass sieht man ein weniger striktes Bewegungsmuster (Abb. 4.27.a, rechts). Die LRT-Facetten orientieren sich von 28° für F8 bis 342° für F5, also mit 46° Differenz. Die gelben LPT-Facetten mit den Richtungswinkeln 159° für F7 und 226° für F3, haben eine Varianz von 67° . Die MT F9 ist nach 78° orientiert und F10 nach 95° . Maier (1980) schreibt über F10, dass die linguale Fläche des Protoconids aus Proportionsgründen häufig nicht die buccale Seite des Hypoconus erreicht und stattdessen an der „Nannopithex-Leiste“ (Postprotocrista) absichert. „(...) Bei stark vergrößertem Hypoconus kann sich die F10 jedoch auch bis hierher ausweiten (...)“ (Maier 1980, S. 36). Im vorliegenden M1 liegt F10 an der buccalen Flanke des Hypoconus.

4.27.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Der Kauzyklus geht aus buccal nach der zentrischen Okklusion auf direktem Weg nach lingual, wie der Mastikationskompass zeigt (Abb. 4.27.b, links). Bei der Inkursion beträgt der Neigungswinkel $26,8^\circ$, bei der Exkursion $35,7^\circ$.

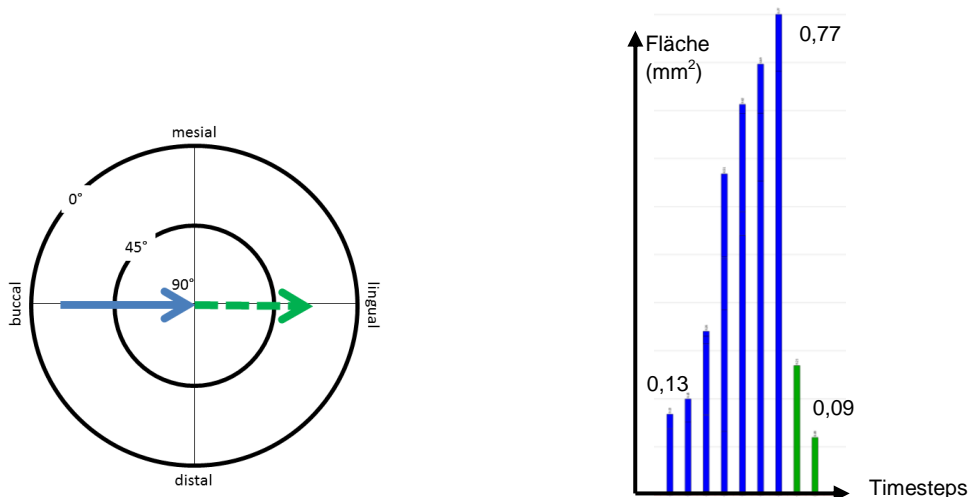


Abb. 4.27.b: Mastikationskompass und OFA-Diagramm von *Microcebus murinus* smf 34590 (v.l.n.r.)

Das OFA-Diagramm zeigt einen Kauschlag, der nur 9 TS benötigt (Abb. 4.27.b, rechts). Phase I steigt direkt steil an und nutzt eine Gesamtfläche von $3,08 \text{ mm}^2$, Phase II, mit 2 TS nutzt dagegen nur $0,3 \text{ mm}^2$. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt $91,1\%$, der der Phase II $8,9\%$.

Im Orientation Patch Count wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 63 Patches errechnet.

4.28 *Nasalis larvatus* smf 5041

4.28.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Der untersuchte rechte M1 von *Nasalis larvatus* smf 5041 hat eine Oberfläche von 118 mm² ab der Cervikalebene und 71 mm² ab der definierten Parallelebene. Mesiodistal besitzt der Molar eine Länge von 7,2 mm und buccolingual 6,1 mm. Wie bei dem bilophodonten Molarenmuster üblich, weist der Zahn 12 Kontaktfacetten auf (Abb. 4.28.a, links).

Von den buccalen Phase I-Facetten zeigt F4 mit 63° die steilste Neigung und F3 mit 47° die flachste. F5 ist mit einem Neigungswinkel von 63° von den lingualen Phase I-Facetten am stärksten geneigt. F8 hat einen Neigungswinkel von 61°. Von den Phase II-Facetten ist F6 mit 42° relativ flach. F11 besteht aus zwei Kontaktflächen, an der mesialen medialen Querlophe ist sie mit 54° relativ steil. F11.1 hat einen Neigungswinkel von 43° und liegt an der Präprotocrista. F10 hat dagegen nur 21° Neigung und zeigt die flachste Neigung der Phase II-Facetten, gefolgt von F9 mit 25°.

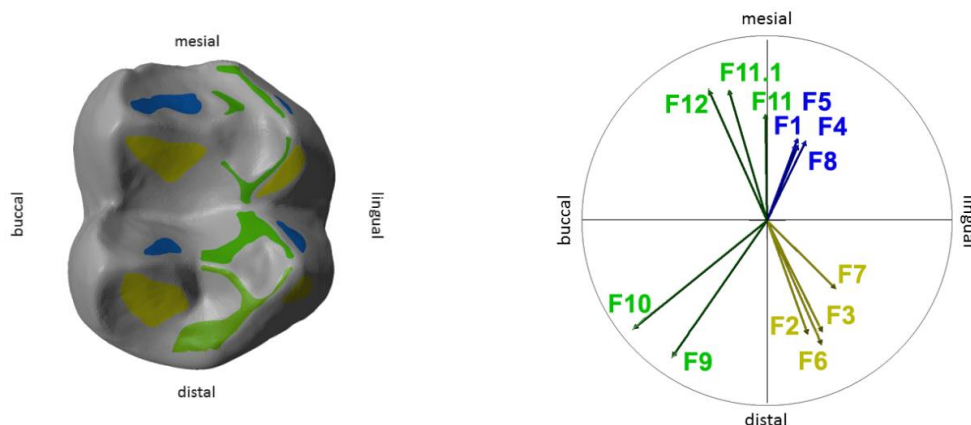


Abb. 4.28.a: M1 dexter von *Nasalis larvatus* smf 5041, Facettenanalyse und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Die blauen LRT-Facetten haben mit 6° nur eine geringe Varianz (Abb. 4.28.a, rechts). Am weitesten in Richtung m-ml liegt F1 mit 340°, F8 hat 334°. Die LPT-Facetten haben eine Differenz von 25°, davon orientieren sich die Facetten F2 mit 200°, F6 mit 204° und F3 mit 206° nach d-dl und F8 mit 225° nach dl. Die grünen MT-Facetten F9 mit 145° und F10 mit 129° orientieren sich in Richtung buccodistal, F11 direkt nach mesial und F11.1 und F12 mit 16° und 24° nach m-mb.

4.28.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Im Mastikationspfad weist die Eingleitbewegung der Phase I mit 277° nach lingual. Phase II geht ebenso nach lingual (Abb. 4.28.b).

Die Inklination der Inkursion ist mit $47,7^\circ$ relativ steil, der Neigungswinkel der Exkursion beträgt $14,5^\circ$.

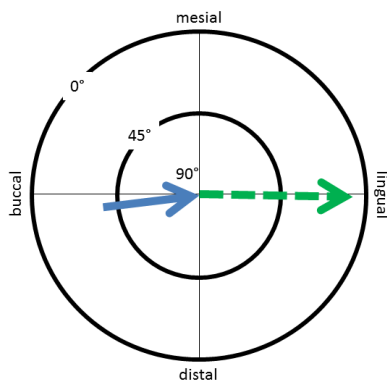


Abb. 4.28.b: Mastikationskompass von m1+m1 dexter von *Nasalis larvatus* smf 5041

Das OFA-Diagramm zeigt einen Kauzyklus, für den insgesamt 35 TS berechnet werden. Für Phase I werden insgesamt $84,51 \text{ mm}^2$ Fläche genutzt, für Phase II $69,52 \text{ mm}^2$. Phase I steigt gleich über relativ viel Fläche stark an und geht dann direkt in Phase II über. Nach relativ viel Kontaktfläche in der Anfangsphase der Phase II fällt die Nutzung stark ab und hält sich auf einem Plateau mit geringer Kontaktfläche (Abb. 4.28.c). Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 54,9%, der der Phase II 45,1%. Im Orientation Patch Count wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 57 Patches errechnet.

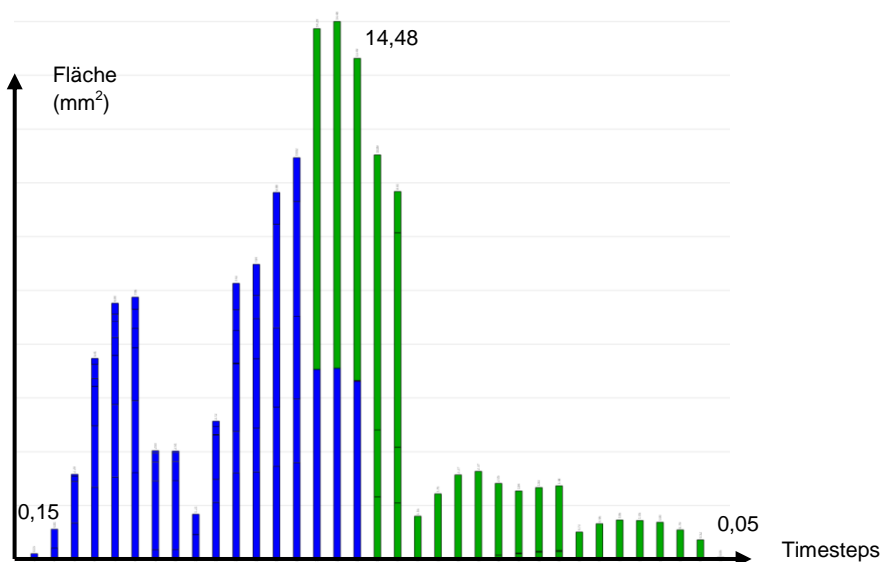


Abb. 4.28.c: OFA-Diagramm von M1 und m1+m1 dexter von *Nasalis larvatus* smf 5041

4.29 *Otolemur crassicaudatus* smf 44754

4.29.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Kay (1973) sowie Hiimae und Kay (1973) beschreiben die Molaren von *O. crassicaudatus* konstruktionsmorphologisch als besonders gut zum Quetschen geeignet. Maier (1980) bezeichnet das Facettenmuster als funktionsmorphologisch im Wesentlichen den Galagidea angeglichen. Von mechanischer Relevanz seien jedoch die unterschiedlichen Kanten- und Flächenwinkel. Außerdem beschreibt er die Höcker als wesentlich bunodonter verglichen mit anderen Galagidae. *Otolemur* hat einen gut entwickelten Hypoconus (Abb. 4.29.a, links).

Der analysierte M1 hat eine Oberfläche von 33,24 mm² ab der Cervikalebene und 26,4 mm² ab der Parallelebene. Mesiodistal misst er 3,7 mm und buccolingual 4,9 mm. Am Okklusalen Kompass ist ein weniger eingeschränktes Bewegungsmuster zu erkennen (Abb. 4.29.a, rechts). Die blauen LRT-Facetten haben eine Differenz von 55°, F8 ist nach 25° orientiert und die beiden F1 und F4 liegen in Richtung 330°. F1.1, am mesialen Abhang des Paraconulus liegt in Richtung 354°. Die LPT-Facetten variieren zwischen 199° für F7 und 242° für F3, haben also eine Differenz von 43°. F10 liegt nicht wie üblich am buccodistalen Abhang des Hypoconus, sondern distolingual der Postprotocrista (Abb. 4.29.a, links). Maier (1980) hat in seiner Beschreibung zwei F10 differenziert. Möglicherweise ist der vorliegende M1 noch zu wenig abgekaut und die zweite F10 schleift sich erst nach entsprechender Zahnabnutzung ein. Durch die ungewöhnliche Lage der F10, zeigt der Richtungsvektor mit 154° nach disto-distobuccal, während die Orientierung für F9 in buccale Richtung nach 98° geht. Von den Neigungswinkeln ist F6 mit 24° am flachsten. F9 ist mit 62° Neigung für eine Phase II-Facette ungewöhnlich steil, was vermutlich daran liegt, dass diese Facette sich gerade erst einschleift und knapp buccal der Protoconusspitze liegt. Die Transversalscherfacetten 1 und 5, haben eine Inklination von 46° und 45°.

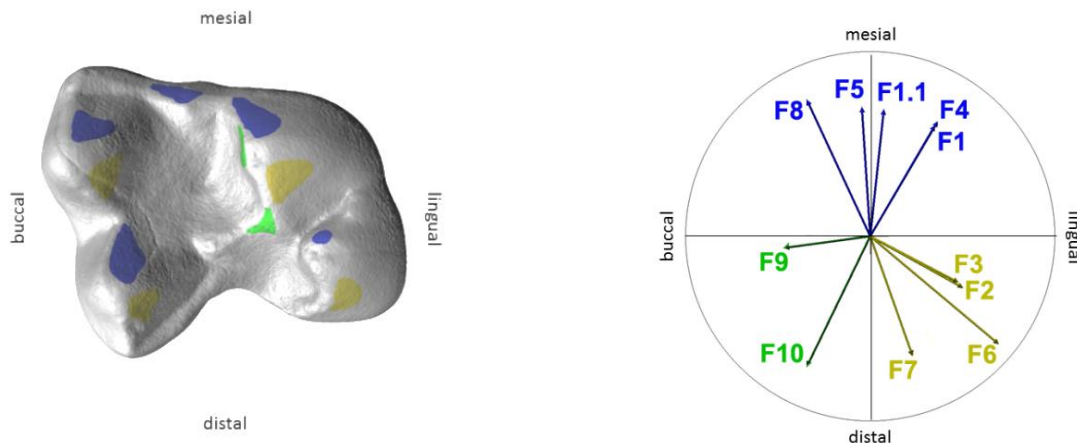


Abb. 4.29.a: M1 von *Otolemur crassicaudatus* smf 44754, Facettenanalyse und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

4.29.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Im Mastikationskompass erfolgt die Inkursion direkt von buccal in linguale Richtung und hat dabei eine Inklination von $42,6^\circ$. Die Exkursion ist mit $22,7^\circ$ flacher und verläuft dabei mit 259° ebenso nach lingual (Abb. 4.29.b, links).

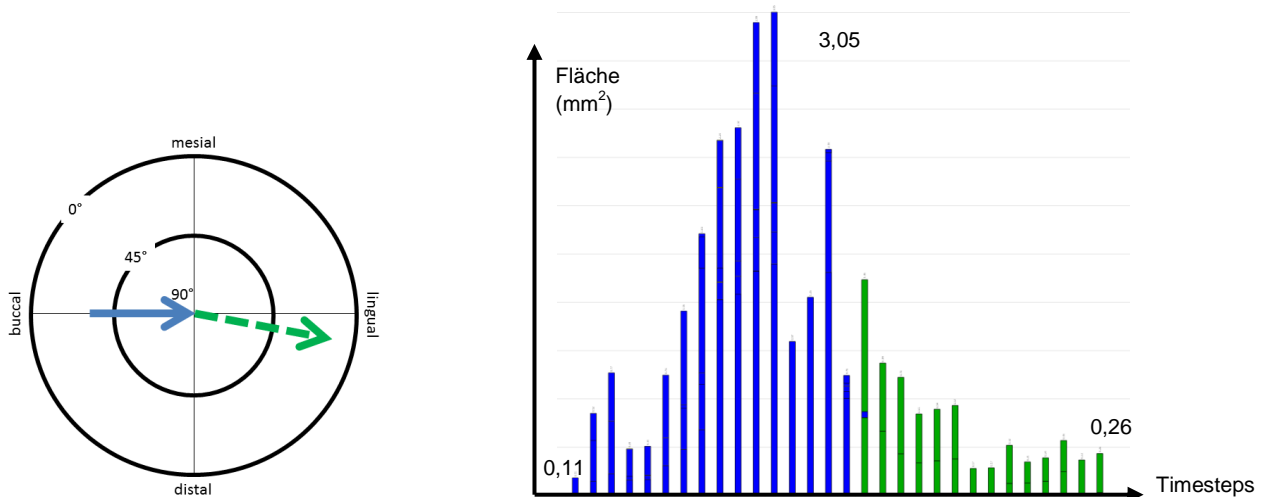


Abb. 4.29.b: Mastikationskompass und OFA-Diagramm von *Otolemur crassicaudatus* smf 44754 (v.l.n.r.)

Das OFA-Diagramm zeigt eine moderat ansteigende Phase I (Abb. 4.29.b, rechts). Die eine Gesamtfläche von $21,38 \text{ mm}^2$ einnimmt und 16 TS berechnet. Die Phase II hält 14 TS lang auf einem Plateau und nutzt eine Gesamtfläche von $6,47 \text{ mm}^2$.

Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 77%, der der Phase II 23%.

Im Orientation Patch Count (OPC) wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 57 Patches errechnet.

4.30 *Palenochtha minor* USNM 9590

4.30.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Die Funktionsfacetten von *Palenochtha minor* wurden von Kay und Hiimae (1974) an einem oberen und einem unteren zweiten Molaren beschrieben (Abb. 4.30.a). Es handelt sich um die Exemplare AMNH 35443 für den oberen Molaren und AMNH 35450 für den unteren Molaren. Maier (1980) hat dieselbe Facettenabbildung für die deskriptive Terminologie verwendet. In der vorliegenden Studie wurde mit einem Abguss eines M1 des Exemplars USNM 9590 gearbeitet. Kay und Hiimae (1974) beschreiben die Bezahnung von *Palenochtha* als die primitivste unter den Primaten und sie sehen die Molaren unzweifelhaft als strukturelle Vorläufer der eozänen Primaten.

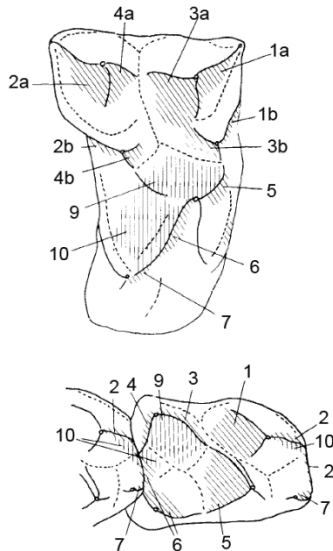


Abb. 4.30.a: Facetten-Positionen und -Nummerierung bei *Palenochtha minor* aus Kay und Hiiemae (1974, Seite 235, Fig.5B)

Nach Kay und Hiiemae (1974) werden im "Power-Stroke" von *P. minor* neun Attritionsfacetten gebildet, sieben Phase I-Facetten und zwei Phase II-Facetten. Darunter sind vier buccale P1 F1-F4 und drei linguale P1 F5-F7. Es gibt zwei Phase II F9 und F10 (Abb. 4.30.a aus Kay und Hiiemae, 1974). In der vorliegenden Studie konnten nur sieben Attritionsfacetten differenziert werden. Darunter waren die buccalen P1 F1-F4 und linguale P1 F5 und F6. Außerdem wurde nur eine P2 F9 bestimmt (Abb. 4.30.b). Als Zahngröße wurde von Kay und Hiiemae (1974) der Abstand zwischen Protoconus und Paraconus mit 0,87 mm angegeben.

Der vorliegende M1 misst mesiodistal 1,3 mm und buccolingual 2,1 mm. Der Abstand zwischen Protoconus und Paraconus weist eine Länge von 1,07 mm auf. Die Oberfläche ab der definierten Parallelebene beträgt 3,21 mm² und ab der Cervikalebene 4,82 mm². F1 verläuft schmal vom Paraconus entlang der Präparacrista. Auf dem Parastylus und entlang des mesialen Cingulums sind keine Abnutzungsfacetten. In der Beschreibung von Kay und Hiiemae (1974) hat die F1 des m1 nicht nur Kontakt mit der Präparacrista des M1, sondern auch mit der Präparaconuluscrista, welche als 1b beschrieben ist. F2 läuft in einem schmalen Streifen entlang der Postmetacrista. F3 beginnt unterhalb des Paraconus und verläuft längs der Postparacrista, trifft aber an der basalen Stelle nicht mit der F4 zusammen, die am mesiolingualen Abhang des Metaconus liegt und entlang der Prämetacrista verläuft. Alle buccalen Phase I F1-F4 haben bei Kay und Hiiemae (1974) eine Scherkantenverdopplung am Paraconulus und am Metaconulus, die mit b gekennzeichnet sind. Diese Facetten konnten in der vorliegenden Studie nicht bestimmt werden. Möglicherweise tritt diese Scherkantenverdopplung erst bei fortgeschrittener Usur ein. Die F5 befindet sich am mesialen Abhang des Protoconus. Die entlang der Nannopithex-Falte entstandene F6 okkludiert mit dem mesiobuccalen Abhang des Entoconids und schert auch an der mesialen Kante des Paracristids des nachfolgenden m2 ab. Eine F7 wie bei Kay und

Hiiemae (1974) beschrieben, konnte am vorliegenden M1 nicht bestimmt werden. Auch der dort beschriebene Hypoconus wurde bei USNM 9590 weder am M1 noch am M2 gefunden. Lediglich eine geringe Schmelzausbuchtung ist am distolingualen basalen Abhang des Protoconus erkennbar (Abb. 4.30.b). F9 ist eine kleine runde Fläche die auf dem buccalen Abhang des Protoconus liegt. F10 kommt bei USNM 9590 nicht vor. Die Inklinationen von F1 und von F5 sind mit 75° und 76° besonders steil. Am flachsten ist F6 mit 36° . Der Neigungswinkel der einzigen Phase II F9 beträgt 47° .

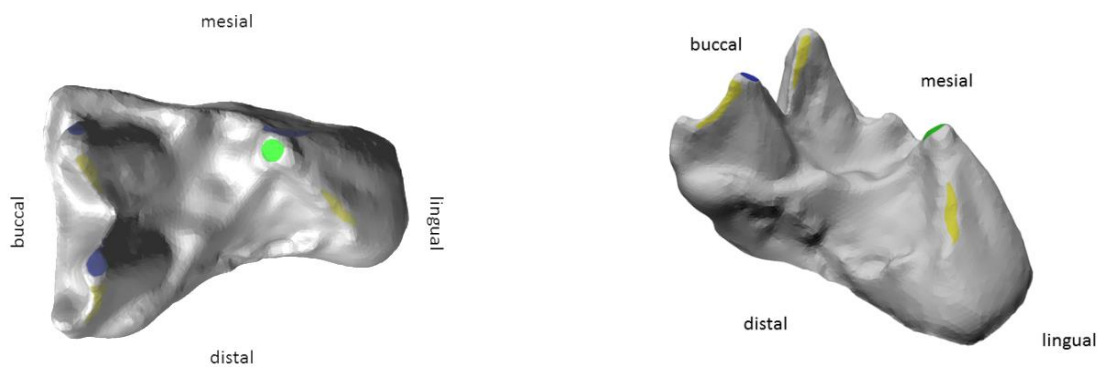


Abb. 4.30.b.: USNM 9590 M1 sin. von *Palenochtha minor*, gespiegelt von okklusal und von distolingual

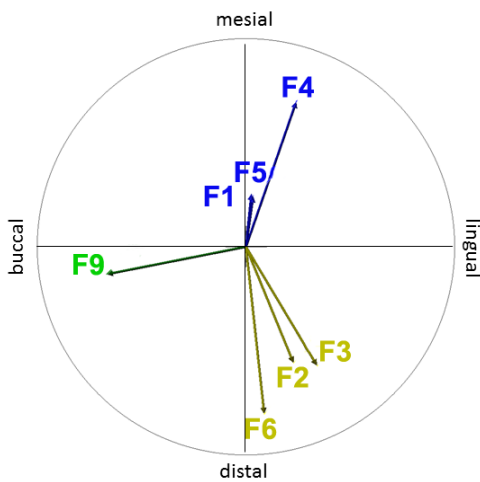


Abb. 4.30.c.: Okklusaler Kompass von *Palenochtha minor* USNM 9590 M1 sin.

Im Okklusalen Kompass ist ein eingeschränktes Bewegungsmuster zu erkennen. Die LRT Facetten orientieren sich zwischen 354° für F1 und 341° für F4, haben also eine Differenz von 13° . Die LPT Facetten liegen um 25° auseinander, F3 weist nach 211° und F6 nach 186° . Die MT F9 zeigt mit einem Raumwinkel von 259° in buccale Richtung (Abb. 4.30.c).

4.30.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Im Mastikationskompass erkennt man eine sehr steile Inklination der Inkursion mit $67,1^\circ$, sie geht mit 288° in linguo-mesiolinguale Richtung. Beim Ausgleiten aus der zentrischen Okklusion beträgt der Neigungswinkel nur noch $27,7^\circ$ und richtet sich mit 299° ebenso in linguo-mesiolinguale Richtung (Abb. 4.30.d, links).

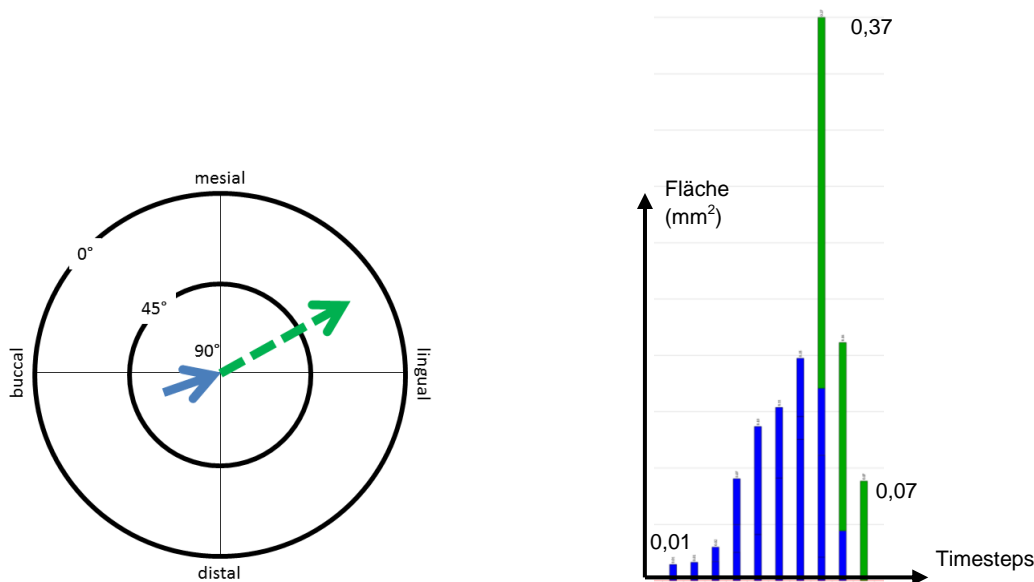


Abb. 4.30.d: Mastikationskompass der m1+m2 von *Palenochtha minor*, AMNH 35451 mit M1 USNM 9590 M1 sin., gespiegelt und OFA-Diagramm (v.l.n.r.)

Das OFA-Diagramm zeigt, dass für die Phase I eine Gesamtfläche von $0,63 \text{ mm}^2$ verwendet wird, die sich auf 9 TS verteilt (Abb. 4.30.d, rechts). Die Phase I steigt stark an und während noch Phase I-Facetten in Kontakt sind, beginnt Phase II, die eine Gesamtfläche von $0,43 \text{ mm}^2$ einnimmt und mit 3 TS sehr schnell abfällt. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 59%, der der Phase II 41%. Im OPC wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 69 Patches errechnet.

4.31 *Pan troglodytes verus smf pa pc 383*

4.31.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Die Molaren von *Pan* besitzen die dryopithecine Höckermorphologie mit 13 antagonistischen Kontaktfacetten. Der untersuchte M1 hat eine Oberfläche von $285,4 \text{ mm}^2$ ab der Cervikalebene und $167,5 \text{ mm}^2$ ab der Parallelebene. Der Zahn weist eine mesiodistale Länge von $12,4 \text{ mm}$ auf und misst von buccal nach lingual $10,4 \text{ mm}$.

Von den buccalen Phase I-Facetten ist F2 mit 50° relativ steil und F3 mit 14° sehr flach. F3 liegt im vorliegenden Fall nicht am distalen Abhang des Paraconus, sondern an der Basis

des Paraconus distal der Fovea anterior (Abb. 4.31.a, links). Von den lingualen Phase I-Facetten ist F5 mit 58° am steilsten und F7 mit 27° am flachsten. Die flachste Phase II-Facette ist F13 mit 21° . F9 hat einen Neigungswinkel von 24° und F10 und F12 beide 35° . Die steilste Phase II-Facette ist F11 mit 41° .

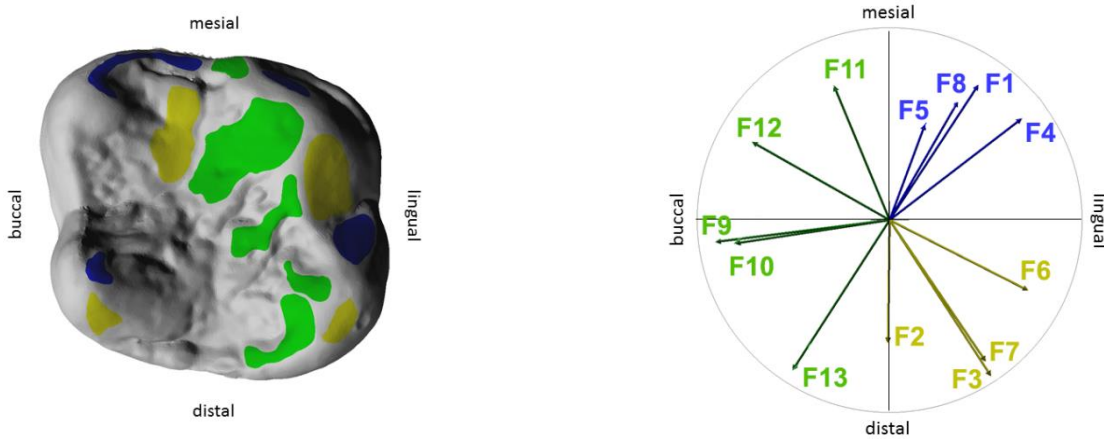


Abb. 4.31.a: *Pan troglodytes verus* smf pa pc 383, M1dex. Facettenverteilung und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Der Okklusale Kompass zeigt ein relativ uneingeschränktes Bewegungsmuster (Abb. 4.31.a, rechts). Die LRT-Facetten liegen 32° auseinander und orientieren sich zwischen 308° für F4 und 340° für F5. Die LPT-Facetten sind zwischen 179° für F2 und 243° für F6 orientiert und haben somit eine Differenz von 64° . Von den grünen MT-Facetten richten sich F9 mit 97° und F10 mit 99° nach buccal. F11 geht mit 22° nach mesio-mesiobuccal, F12 mit 60° nach bucco-mesiobuccal und F13 mit 147° in Richtung buccodistal. Insgesamt zeigt sich hier für die Phase II-Facetten eine Differenz von 125° .

4.31.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Der Mastikationskompass verdeutlicht, dass die Inkursion und die Exkursion beide nach lingual erfolgen (Abb. 4.31.b). Der Neigungswinkel beim Eingleiten beträgt $26,3^\circ$ und beim Ausgleiten $18,9^\circ$.

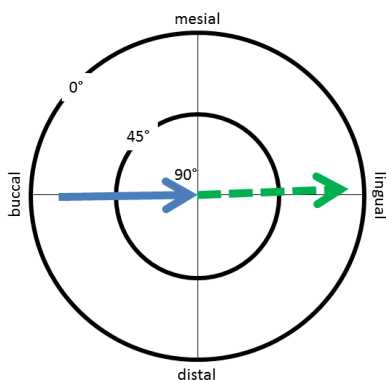


Abb. 4.31.b: Mastikationskompass von *Pan troglodytes verus* smf pa pc 383 m1+m2 dex.

Im OFA-Diagramm (Abb. 4.31.c) sehen wir, dass während eines Kauzyklus die Phase I mit einer Gesamtflächennutzung von 108,77 mm² etwas geringer ist als die Flächennutzung der Phase II mit 138,18 mm². Für Phase I werden 32 TS und für Phase II 37 TS berechnet. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 44,1%, der der Phase II 55,9%. Im Orientation Patch Count (OPC) wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 78 Patches errechnet.

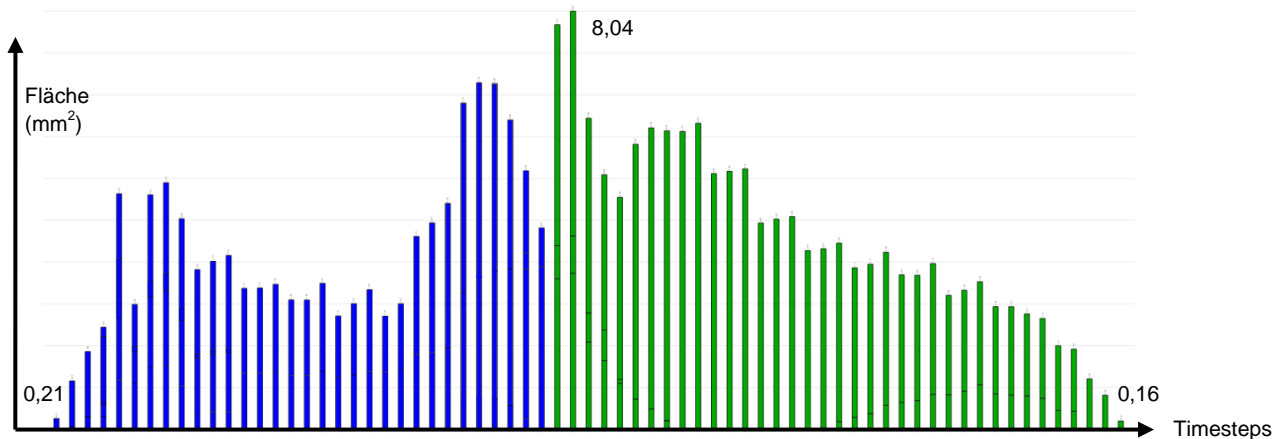


Abb. 4.31.c: OFA-Diagramm von *Pan troglodytes* versus smf pa pc 383, M1 und m1+m2 dex.

4.32 *Papio ursinus* smf 94224 und smf 94234

4.32.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Die Molaren von *Papio ursinus* haben das typische bilophodonte Primatenmuster mit vier Höckern und zwei Querlophen. Für die Facettenanalyse und den Okklusalen Kompass wurde der M1 von *Papio ursinus* smf 94224 verwendet (Abb. 4.32.a) und für die OFA-Analyse (Abb. 4.32.c) und den Mastikationskompass (Abb. 4.32.b) der M1 und die m1+m2 von *Papio ursinus* smf 94234.

Der M1 von *Papio ursinus* smf 94224 ist relativ groß. Er misst von mesial nach distal 12,1 mm und von buccal nach lingual 11,4 mm. Die Oberfläche beträgt ab der Referenzebene 287 mm² und ab der Parallelebene 132 mm². Es gibt 12 antagonistische Facettenpaare, F1-F8 sind Phase I-Facetten und F9-F12 Phase II-Facetten. Von den buccalen Phase I-Facetten ist F4 mit 54° am steilsten, gefolgt von F1 mit 47°. F2 mit 36° und F3 mit 30° sind relativ flach. Von den lingualen Phase I-Facetten weisen diejenigen, die in lateroretrusive Richtung orientiert sind, die steilste Neigung auf. F5 hat einen Neigungswinkel von 52° und

F8 von 44°. F6 ist mit 24° die flachste Phase I-Facetten. Die Phase II-Facetten sind insgesamt flacher. F12 ist darunter mit 27° am steilsten und F9 mit 6° am flachsten.

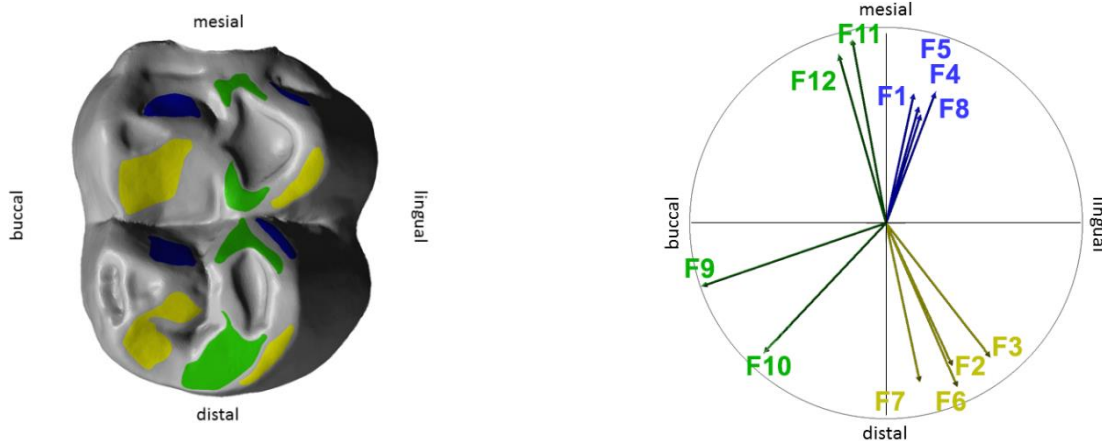


Abb. 4.32.a: M1 dex.von *Papio ursinus* smf 94224 Facettenmapping und Okklusaler Kompass

Die LRT-Facetten haben eine Differenz von nur 9°, sie liegen zwischen 348° für F1 und 339° für F8. Die gelben LPT-Facetten orientieren sich zwischen 192° für F7 und 218° für F3, haben also eine Differenz von 26° und damit ein weniger eingeschränktes Bewegungsmuster als die LRT-Facetten. Die MT-Facetten F11 und F12 orientieren sich mit 10° nach mesial, bzw. mit 16° nach m-mb. F10 liegt in Richtung buccodistal mit 137° und F9 mit 109° in Richtung bucco-distobuccal.

4.32.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Im Mastikationskompass sieht man, dass die Richtung der Inkursion mit 258° nach linguo-distolingual orientiert ist. Phase II gleitet nach lingual aus (Abb. 4.32.b). Der Neigungswinkel der Phase I ist relativ steil und beträgt 40,7°. Der Neigungswinkel beim Ausgleiten ist mit 6,5° besonders flach.

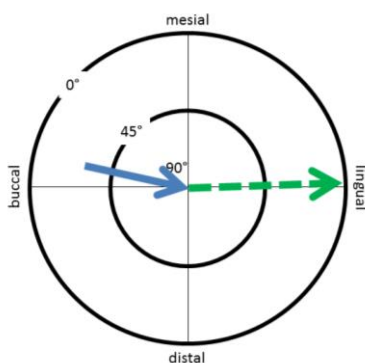


Abb. 4.32.b: Mastikationskompass m1+m2 von *Papio ursinus* smf 94234

Im OFA-Diagramm von *Papio ursinus* smf 94234 wird ersichtlich, dass die Phase II sehr stark ausgeprägt ist und insgesamt eine Fläche von 384,1 mm² einnimmt. Phase I dagegen

besitzt eine Gesamtfläche von 118,03 mm². Für einen Kauzyklus werden 52 TS benötigt. Davon werden 10 der Phase I und 47 der Phase II zugerechnet. 5 TS werden von beiden Phasen belegt (Abb. 4.32.c).

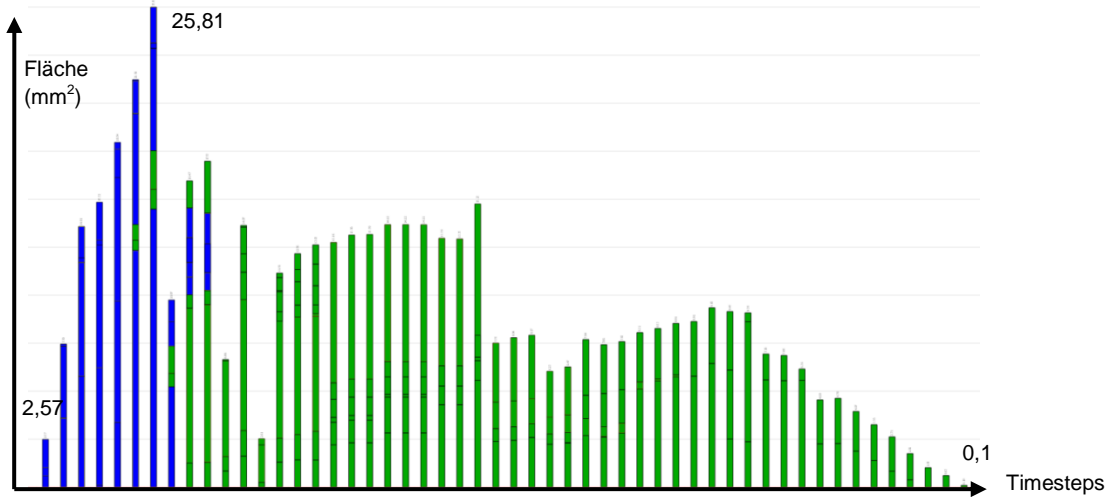


Abb. 4.32.c: OFA-Diagramm M1 und m1+m2 von *Papio ursinus* smf 94234

Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 23,5%, der der Phase II 76,5%. Im OPC wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 70 Patches errechnet.

4.33 *Parapithecus grangeri* DPC 1090

4.33.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Die fossilen Zähne von *Parapithecus grangeri* stammen aus der Fayum Senke Ägyptens und sind im Oligozän einzuordnen. Simons hat 1974 die Erstbeschreibung publiziert und sieht *Parapithecus*, gemeinsam mit *Apidium*, als früheste bekannte Cercopithecoidea. Kay hat (1977) die Okklusionsbeschreibung von *Parapithecus* publiziert und sieht diese Gruppe aufgrund neuer und bestehender Merkmale als basalen Cercopithecidae. Es sind vier buccale Phase I-Facetten F1-F4, vier linguale Phase I F5-F8 und 3 Phase II F9-F11 vorhanden. Der Metaconulus und der Paraconulus sind in die Attritionsnutzung integriert (Abb. 4.33.a, links). Distolingual hat sich ein Hypoconus entwickelt. Das Gesamtreilief ist eher flach, wie auch an den langen Vektoren der Abb. 4.33.a, rechts, erkennbar ist.

Die Oberfläche des untersuchten M1 beträgt ab der Referenzebene 62 mm² und ab der Parallelebene 35,7 mm². Von mesial nach distal misst der Zahn 4,8 mm und von buccal nach lingual 7 mm. Von den buccalen Phase I-Facetten ist F2 mit 51° am steilsten. Am flachsten sind die beiden Facetten 3.1, am distalen Abhang des Paraconulus und F4.1 am mesialen

Abhang des Metaconulus, mit 29°. Unter den lingualen Phase I-Facetten ist F8 mit nur 36° am steilsten und F6 mit 23° am flachsten. Von den drei Phase II-Facetten zeigt F9 mit 17° die geringste Neigung, gefolgt von F10 mit 26° und F11 mit 46°.

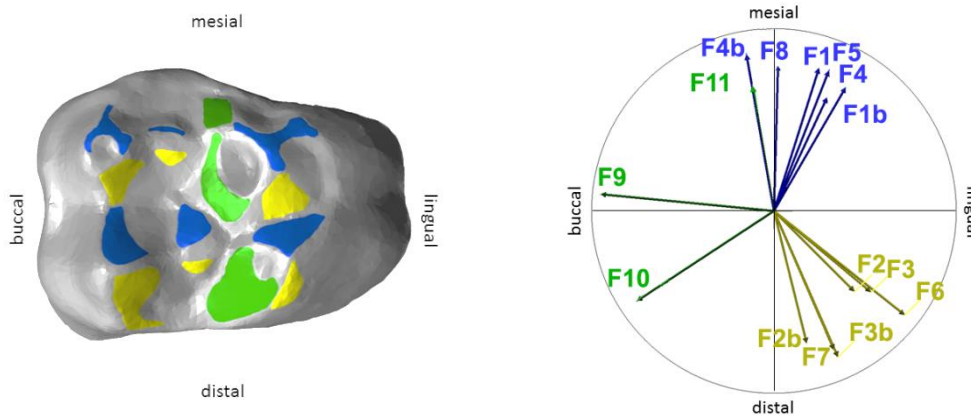


Abb. 4.33.a: Facettenpositionen von *Parapithecus grangeri* DPC 1090 M1 sin. gespiegelt und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Der Okklusale Kompass (Abb. 4.33.a, rechts) zeigt für die blauen LRT-Facetten eine Differenz von 40°, wobei F4.1, auf dem Paraconulus mit 10° nach mesial orientiert ist und F1.1 mit 330° nach m-ml. Unter den LPT-Facetten gibt es eine Differenz von 38°. Der Vektor der F2.1 auf dem Metaconulus zeigt in Richtung 194° nach d-dl und F6 geht mit 232° nach distolingual. Die grüne MT-F11 orientiert sich mit 10° in die gleiche Richtung wie F4.1, die F9 nach buccal mit 84° und F10 mit 123° nach b-db.

4.33.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Im Mastikationskompass (Abb. 4.33.b, links) erkennt man, dass die Inkursion und die Exkursion beide nach lingual erfolgen. Der Neigungswinkel beim Eingleiten beträgt 44,2° und beim Ausgleiten 7,7°.

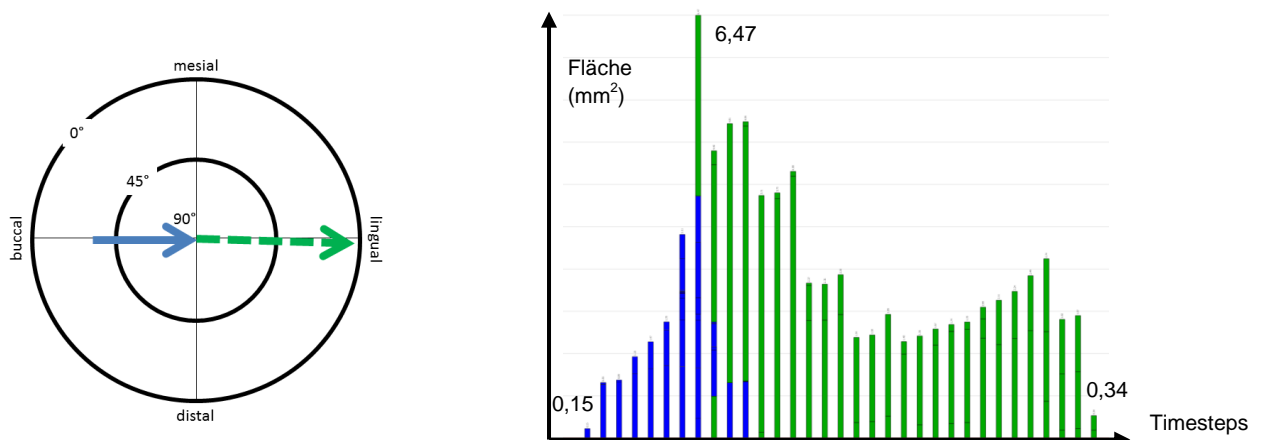


Abb. 4.33.b: Mastikationskompass und OFA-Diagramm von *Parapithecus grangeri* DPC 1090 M1 und DPC 6313 m1+m2 (v.l.n.r.)

Wie im OFA-Diagramm (Abb. 4.33.b, rechts) zu sehen ist, misst die Phase I mit 16,04 mm² deutlich weniger Gesamtfläche als Phase II mit 61,56 mm². Phase I steigt mäßig an und geht direkt in Phase II über, die dann auch gleich massiv mehr Fläche nutzt und sich über ein langes Plateau hält, bis sie nach 26 berechneten TS abfällt. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 21%, der der Phase II 79%. Im Orientation Patch Count wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 61 Patches errechnet.

4.34 *Perodicticus potto* smf 59373

4.34.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Der untersuchte M1 von Potto hat eine Oberfläche von 22,04 mm² ab der definierten Parallelebene und 31,53 mm² ab der Referenzebene. Buccolingual misst der Zahn 4,2 mm und mesiodistal 3,7 mm. Die Höcker sind bunodont und es gibt einen schwachen Hypoconus, auf dem sich Attritionsflächen F7 und F8 eingeschliffen haben (Abb. 4.34.a, links). F10 liegt am distolingualen Abhang der Postprotocrista. In dem von Maier (1980) beschriebenen *Perodicticus potto* befindet sich F10 an einem Nannopithex-Wulst. F1 liegt am mesialen Abhang des Paraconus und läuft entlang der Präparacrista in Richtung Parastylus. Am untersuchten M1 konnte auf dem Parastylus keine Attritionsfacette festgestellt werden. F1 hat mit 52° den steilsten Neigungswinkel. F2 verteilt sich von der Metaconusspitze entlang der Postmetacrista in Richtung Metastylus, der aber keine Kontaktfläche zeigt. F2 hat eine Inklination von 45°. Die flachsten Phase I-Facetten sind lingual F6 und F7 mit jeweils 34° und F8 mit nur 14°. Die Phase II F9 zeigt einen Neigungswinkel von 48° und F10 von 45°.

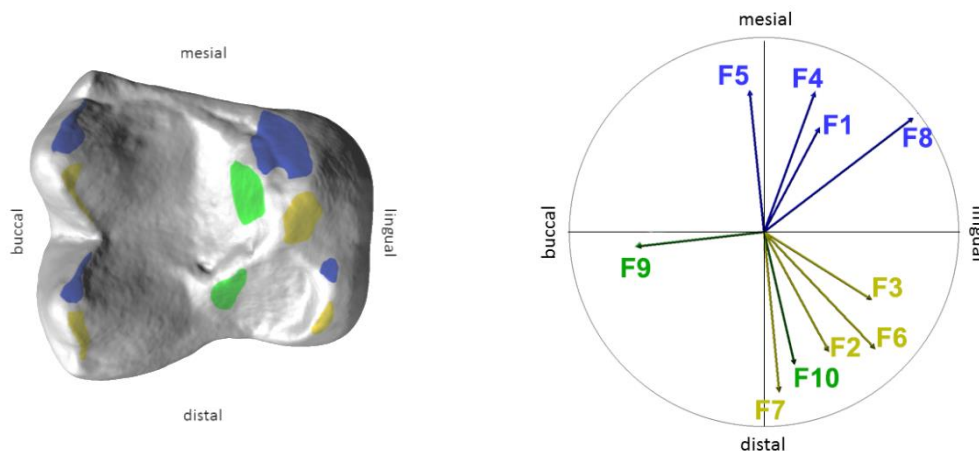


Abb. 4.34.a: M1 von *Perodicticus potto* smf 59373, Facettenanalyse und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Der Okklusalen Kompass von *Perodicticus potto* zeigt ein nicht sehr eingeschränktes Bewegungsmuster (Abb. 4.34.a, rechts). Die LRT-Facetten orientieren sich zwischen 6° für

F5 und 307° für F8, haben somit eine Differenz von 59°. Die gelben LPT-Facetten liegen um 39° auseinander, zwischen 185° für F7 und 224° für F6. Von den beiden MT-Facetten weist nur F9 mit 97° in buccale Richtung. F10 zeigt aufgrund der Lage an der Postprotocrista mit 193° nach disto-distolingual.

4.34.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Das Eingleiten der Phase I in die zentrische Okklusion ist mit 28,3° relativ flach. Beim Ausgleiten beträgt der Neigungswinkel 22,7°, wie bei *Otolemur crassicaudatus*. Phase I weist mit 285° und Phase II mit 283° in linguo-mesiolinguale Richtung.

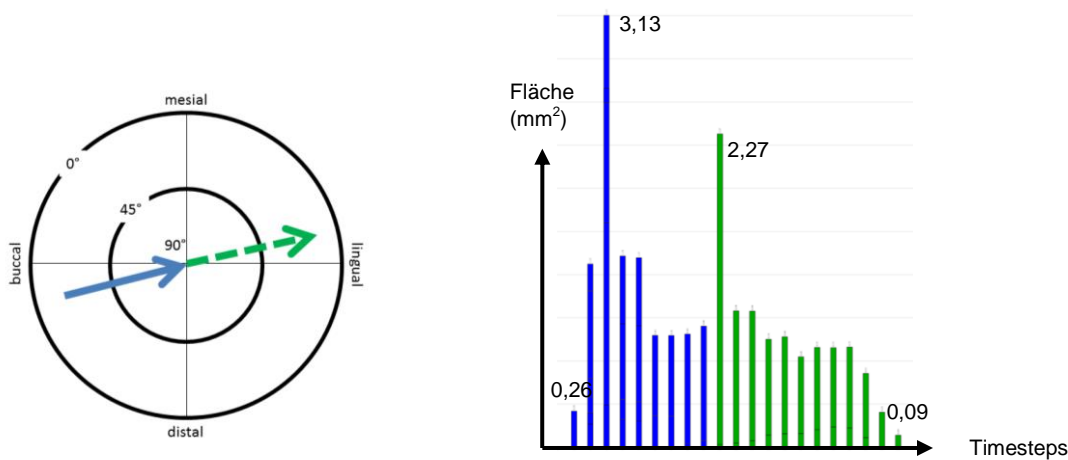


Abb. 4.34.b: Mastikationskompass und OFA-Diagramm von *Perodicticus potto* smf 59373 (v.l.n.r.)

Das OFA-Diagramm zeigt eine Phase I, die direkt ansteigt und nach 9 TS und einer Flächennutzung von 10,8 mm² direkt in Phase II übergeht. Für Phase II wurden 12 TS berechnet, dennoch ist die Gesamtnutzung mit 9,52 mm² etwas geringer als die der Phase I. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 53,2%, der der Phase II 46,8%. Im OPC wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 47 Patches errechnet.

4.35 *Pongo* sp. Schoch_1975_4

4.35.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Pongo hat ein dryopithecines Molarenmuster. Der untersuchte M1 besitzt eine Oberfläche von 342 mm² ab der Referenzebene und 155,5 mm² ab der Parallelebene. Von mesial nach distal misst der Zahn 13,2 mm und von buccal nach lingual 11 mm. Die Höckermorphologie des untersuchten M1 ist relativ flach (Abb. 4.35.a).

Von den buccalen Phase I-Facetten ist F2 mit 36° am steilsten und F1 mit 26° am flachsten. Die lingualen Phase I-Facetten haben mit 40° für F7 die am stärksten geneigte Facette. Von

den Phase II-Facetten ist F12 mit 4° sehr flach, gefolgt von F9 mit 6°. F10 hat mit 19° den steilsten Neigungswinkel der Phase II.

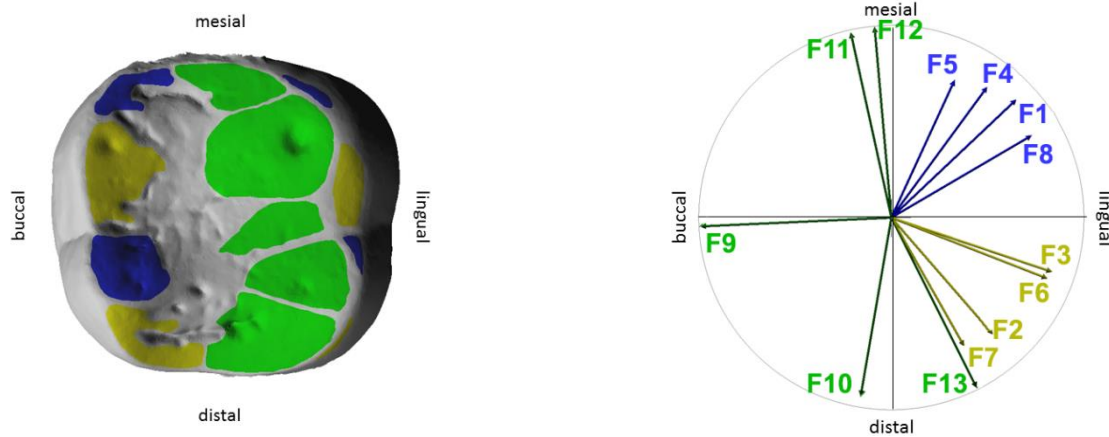


Abb. 4.35.a: *Pongo sp.* Schoch_1975_4_, Facetten M1 dex. Und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Der Okklusale Kompass zeigt eine hohe Bewegungsmöglichkeit für den M1 (Abb. 4.35.a, rechts). Die blauen LRT-Facetten orientieren sich zwischen 300° für F8 und 335° für F5, besitzen eine Differenz von 35°. Die LPT-Facetten liegen um 42° auseinander, zwischen 209° für F7 und 251° für F3. Von den grünen MT-Facetten orientieren sich F11 mit 12° und F12 mit 5° beide in mesiale Richtung. F9 liegt in buccale Richtung mit 93°, F10 mit 170° in distale und F13 mit 207° in disto-distolinguale Richtung.

4.35.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Im Mastikationskompass zeigt sich, dass die Inkursion aus buccaler Richtung erfolgt und mit 276° nach lingual ausgleitet (Abb. 4.35.b). Die Inklination der Inkursion beträgt 22,8° und die der Exkursion 6,4°.

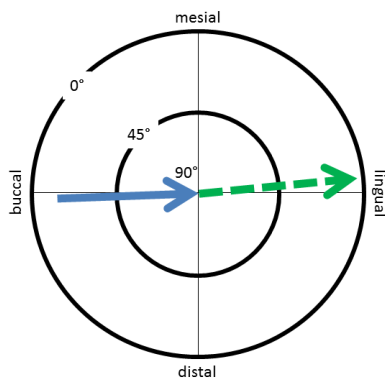


Abb. 4.35.b: Mastikationskompass von *Pongo sp.* Schoch_1975_4_, m1+m2 dex.

Wie im OFA-Diagramm auf der Abb. 4.35.c zu sehen ist, steigt Phase I moderat an, um sich dann über 32 TS gleichmäßig zu verteilen. Für Phase I wird eine Gesamtfläche von 150,84 mm² genutzt. Phase II steigt stark an und fällt langsam über 37 TS ab, bei einer Gesamtflächennutzung von 208,45 mm².

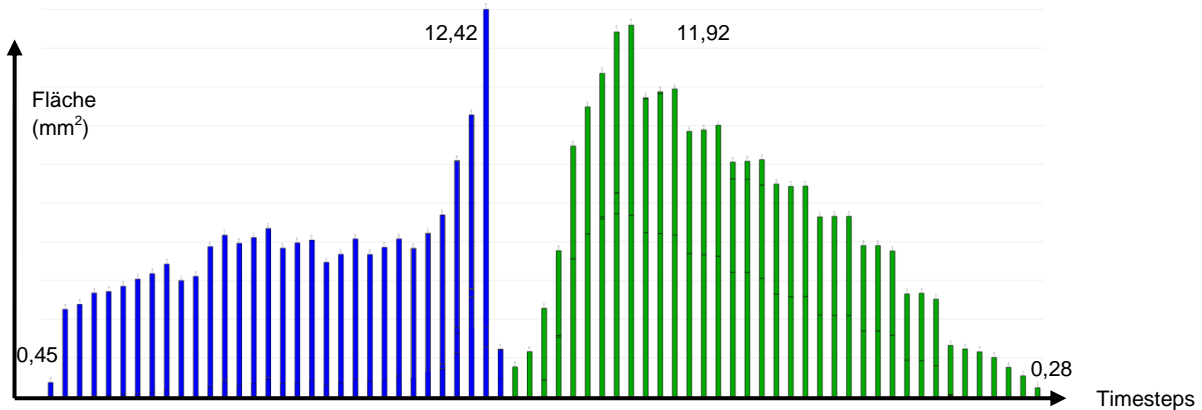


Abb. 4.35.c: OFA-Diagramm von *Pongo* sp. Schoch_1975_4_, M1 und m1+m2 dex.

Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 42%, der der Phase II 58%.

Im Orientation Patch Count wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 63 Patches errechnet.

4.36 *Presbytis cristatus* smf 1077

4.36.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Presbytis cristatus (synonym: *Trachypithecus cristatus*) gehört zu den Colobinae und besitzt bilophodonte Molaren. Der untersuchte M1 misst von mesial nach distal 7 mm und von buccal nach lingual 6,4 mm. Die Oberfläche beträgt ab der Referenzebene 106 mm² und ab der Parallelebene 62 mm². Es gibt generell vier antagonistische buccale Phase I F1-F4, vier linguale Phase I F5-F8 und vier Phase II F9 und F10. Am vorliegenden M1 wurde keine F6 gefunden (Abb.4.36.a). Die buccalen Phase I-Facetten sind alle relativ steil, davon sind F1 mit 61° und F2 mit 59° am steilsten. Von allen Facetten ist F5 mit 67° am steilsten, die flachsten Facetten mit jeweils 39° sind F7 und F9.

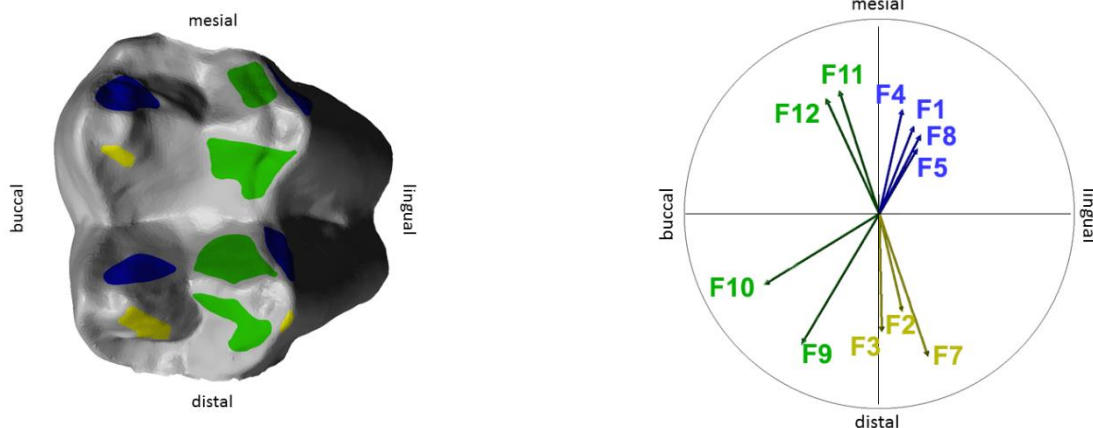


Abb. 4.36.a: Linker M1 von *Presbytis cristatus* smf 1077 (gespiegelt) mit Facettenanalyse und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Die LRT-Facetten zeigen eine Differenz von 18° und befinden sich zwischen 330° für F5 und 348° für F4. Die gelben LPT-Facetten liegen zwischen 181° für F3 und 199° für F7, haben also auch eine Differenz von 18° . Von den grünen MT-Facetten orientieren sich F9 in Richtung 149° , F10 in 122° , F11 in 18° und F12 in Richtung 25° (Abb. 4.36.a, rechts).

4.36.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Phase I gleitet mit einem Neigungswinkel von 22° und einer Orientierung von 282° in Richtung linguo-mesiolingual, wie im Mastikationskompass der Abb. 4.36.b, links, zu sehen ist. Phase II zeigt eine steilere Inklination von 29° die in linguale Richtung weist.

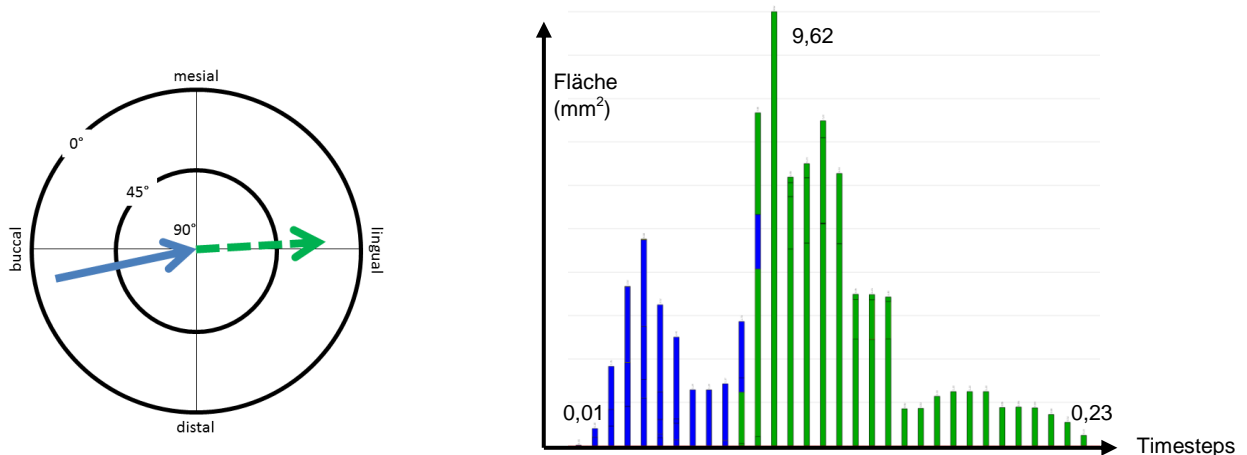


Abb. 4.36.b: Mastikationskompass und OFA-Diagramm von M1 und m1+m2 dex. von *Presbytis cristatus* smf 1077 (v.l.n.r.)

Bei *Presbytis cristatus* smf 1077 zeigt das OFA-Diagramm (Abb. 4.36.b, rechts), dass Phase I geringer ausgeprägt ist als Phase II. Insgesamt werden 32 TS berechnet, davon gehen 12 TS an Phase I, die eine Gesamtfläche von $22,42 \text{ mm}^2$ verwendet. Phase II nutzt fast dreimal so viel Fläche, also insgesamt $62,76 \text{ mm}^2$ über 22 TS. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 26,3%, der der Phase II 73,7%. Im OPC wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 51 Patches errechnet.

4.37 *Proconsul africanus* KNM-RU 7290

4.37.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Die Proconsulidae besitzen das typisch hominoide Molarenmuster mit vier Höckern auf dem M1 (Abb. 4.37.a, links) und fünf Höckern auf dem m1. Ab der Referenzebene weist der untersuchte linke M1 eine Oberfläche von $184,3 \text{ mm}^2$ und ab der Parallelebene $73,3 \text{ mm}^2$ auf. Von mesial nach distal misst der Zahn 7,9 mm und von buccal nach lingual 9,5 mm. Es gibt vier buccale Phase I-Facetten, von denen F1 mit 19° am flachsten ist. F2, bei Maier und Schneck (1981) als 4' bezeichnet, ist die steilste Phase I-Facette mit 41° . Von den vier

lingualen Phase I-Facetten ist F8 mit 41° am steilsten, gefolgt von F6 mit 39° . F5 weist mit 28° die geringste Neigung auf. Von den Phase II-Facetten ist F11 mit 7° am flachsten und F10 mit 27° am steilsten.

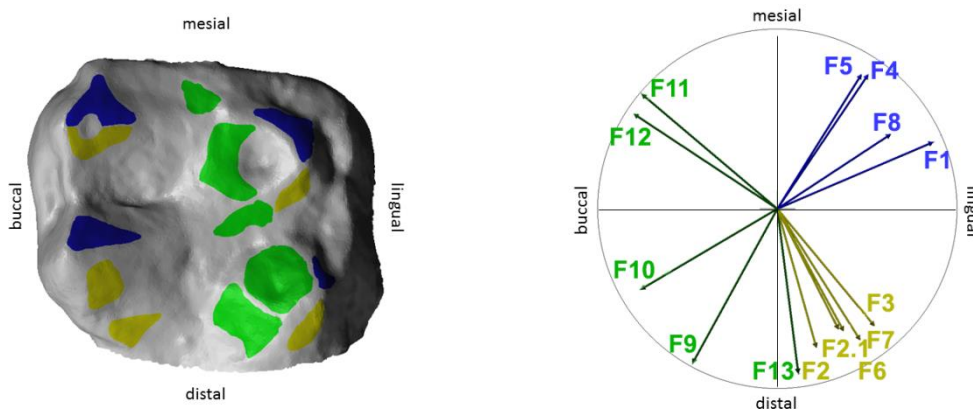


Abb. 4.37.a: *Proconsul africanus* KNM-RU 7290, M1 sin. gespiegelt und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Die LRT-Facetten orientieren sich zwischen 293° für F1 und 328° für F5, haben also eine Differenz von 35° . Die LPT-Facetten liegen zwischen 196° für F2.1 und 220° für F3 und besitzen somit eine Varianz von 24° . Die MT-Facetten F11 mit 50° und F12 mit 57° orientieren sich nach mesiobuccal, F13 mit 187° nach distal. F9 mit 151° und F10 mit 121° liegen dazwischen (Abb. 4.37.a, rechts).

4.37.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Im Mastikationskompass ist zu erkennen, dass Phase I und Phase II beide mit 279° in linguale Richtung orientiert sind. Dabei hat die Inkursion einen Neigungswinkel von 24° und die Exkursion von $15,4^\circ$ (Abb. 4.37.b, links). Das OFA-Diagramm des Projektes von *Proconsul africanus* KNM-RU 7290 zeigt, dass die Gesamtflächennutzung von Phase I und Phase II fast ausgeglichen ist. Phase I nutzt $52,9 \text{ mm}^2$ und Phase II verwendet $52,78 \text{ mm}^2$. Dabei werden für Phase I 15 TS und für Phase II 22 TS berechnet. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 50,1%, der der Phase II 49,9%. Im OPC wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 69 Patches errechnet.

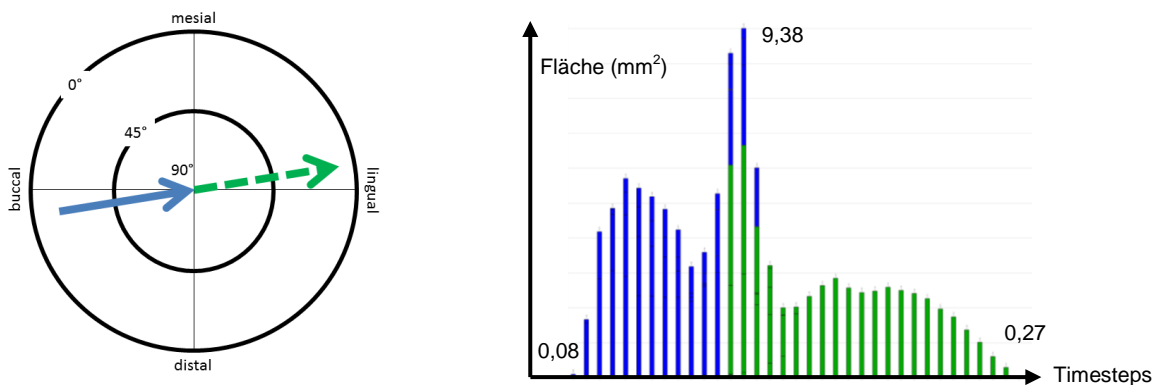


Abb. 4.37.b: Mastikationskompass und OFA-Diagramm von *Proconsul africanus* KNM-RU 7290 M1 und m1+m2 sin. (v.l.n.r.)

4.38 *Sivapithecus* sp. YPM 13799

4.38.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Die Molaren von *Sivapithecus* sp. weisen das typische hominoide Zahnmuster mit vier Höckern auf den Oberkiefermolaren und fünf Höckern auf den Unterkiefermolaren auf. Die Oberfläche des vorliegenden M1 beträgt 211,4 mm² ab der Referenzebene und 115,8 mm² ab der Parallelebene. Es gibt 13 antagonistische Facettenpaare, davon vier buccale und vier linguale Phase I-Facetten und fünf Phase II-Facetten. Die Höckermorphologie ist insgesamt relativ flach (Abb. 4.38.a, links und rechts). Von den buccalen Phase I-Facetten sind F2 und F4 mit 38° am steilsten und F3 mit 28° am flachsten. Von den lingualen Phase I-Facetten ist F7 mit 39° die steilste und am flachsten sind F6 und F8, beide mit 34°. Die Phase II F9-F11 besitzen einen Neigungswinkel von 8°. F12 hat eine Neigung von 10° und F13 ist mit 11° am steilsten. Die Phase II-Facetten sind fast horizontal abgetragen, wie die Vektoren in Abb. 4.38.a, rechts, zeigen.

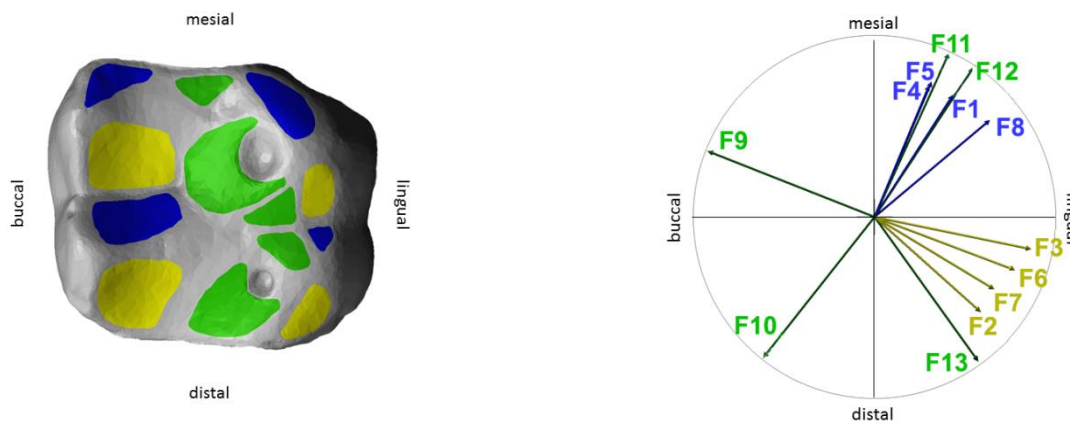


Abb. 4.38.a: M1 dex. von *Sivapithecus* sp. YPM 13799, Facettenmapping und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Im Okklusalen Kompass ist ersichtlich, dass das Bewegungsmuster praktisch keine Einschränkung im Phase II Bereich zeigt. Die blauen LRT-Facetten orientieren sich zwischen 310° für F8 und 337° für die beiden F4 und F5, zeigen also eine Differenz von 27°. Die LPT-Facetten liegen zwischen 228° für F2 und 258° für F3, dadurch liegen sie um 30° auseinander. Im Bereich der LRT-Facetten haben sich die beiden MT-Facetten F11 mit 336° und F12 mit 326° orientiert (Abb. 4.38.a, rechts). F13 grenzt mit 216° an den Bereich der LPT-Facetten. F9 zeigt eine Ausrichtung nach 69° und F10 nach 142°.

4.38.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Im Mastikationskompass zeigen Inkursion und Exkursion beide in linguale Richtung (Abb. 4.38.b). Der Neigungswinkel beträgt beim Eingleiten 32,6° und Phase II gleitet mit einer sehr flachen Inklination von nur 3,9° aus der zentrischen Okklusion aus.

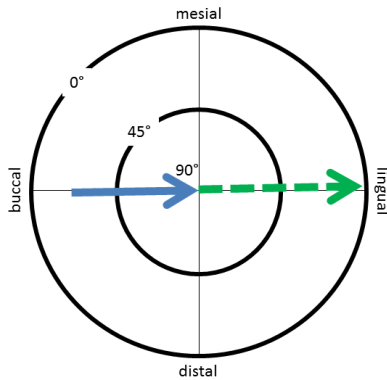


Abb. 4.38.b: Mastikationskompass M1 von *Sivapithecus* sp. YPM 13799 und m1+m2 von *Sivapithecus sivalensis* AMNH 19412

Für das OFA-Projekt wird als antagonistischer m1 und m2 AMNH 19412 verwendet. Das OFA-Diagramm von *Sivapithecus* zeigt eine wesentlich geringere Flächennutzung der Phase I mit 71,61 mm² gegenüber Phase II mit 213,71 mm² (Abb. 4.38.c). Phase I steigt stark an und es wurden 16 TS berechnet. Die Flächennutzung der Phase II ist nach dem ersten Kontakt zunächst recht massiv und fällt erst nach 12 TS leicht ab. Gegen Ende des Kauzyklus bleibt sie dann relativ konstant. Es werden insgesamt 55 TS berechnet.

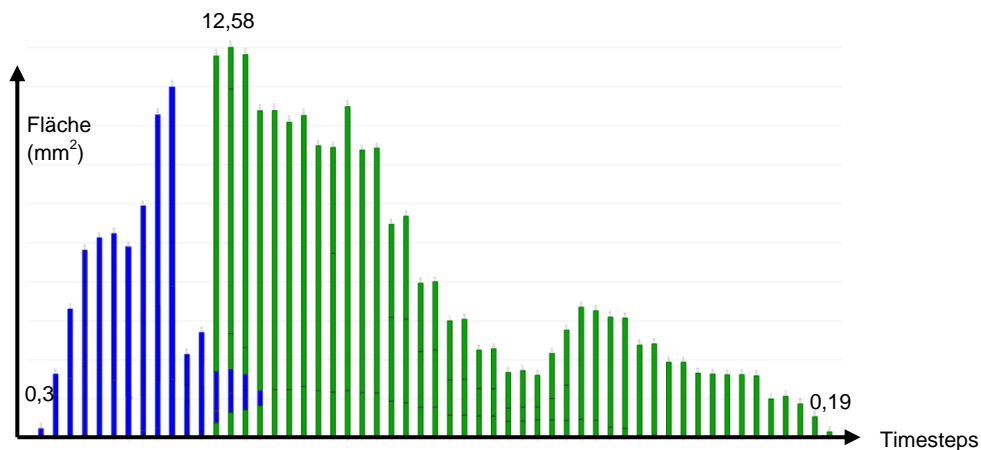


Abb. 4.38.c: OFA-Diagramm von YPM 13799 M1 und AMNH 19412 m1+m2

Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 25,1%, der der Phase II 74,9%. Im OPC wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 56 Patches errechnet.

4.39 *Tarsius syrichta* smf 94285

4.39.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Die Molaren von *Tarsius* zeigen noch das ursprüngliche tribosphenische Muster. Es ist kein Hypoconus vorhanden, nur eine geringe Schmelzverdickung am distolingualen Cingulum, die von Maier (1980) beschrieben wurde. Für F1 beschreibt Maier eine Scherkantenverdopplung am mesialen Abhang des Paraconulus, die im vorliegenden M1 nicht über das Cingulum mit

der F1 am mesialen Abhang des Paraconus in Verbindung steht. Die Facette, die sich am mesialen Abhang des Paraconulus befindet heißt hier F1.1. Für F2 beschreibt er eine Verdopplungskante am Distocingulum, die am untersuchten M1 nicht vorhanden ist (Abb. 4.39.a). Die Oberfläche ab der Referenzebene beträgt $24,58 \text{ mm}^2$ und ab der Parallelebene $16,28 \text{ mm}^2$. Mesiodistal misst der M1 $2,8 \text{ mm}$ und buccolingual $4,4 \text{ mm}$.

Die Tarsius-Molaren haben buccale Phase I F1-F4, linguale Phase I F5 und F6 und eine Phase II F9. Die Neigungswinkel der Facetten sind relativ steil. Zu den steilsten Facetten der Phase I gehören diejenigen, die die sogenannte Transversalschere bilden, also F1.1 mit 69° und F1 bzw. F5 mit jeweils 62° . F2 hat auch eine Inklination von 63° . Am flachsten ist F4 mit 54° . Für eine P2-Facette ist F9 mit 93° sehr steil.

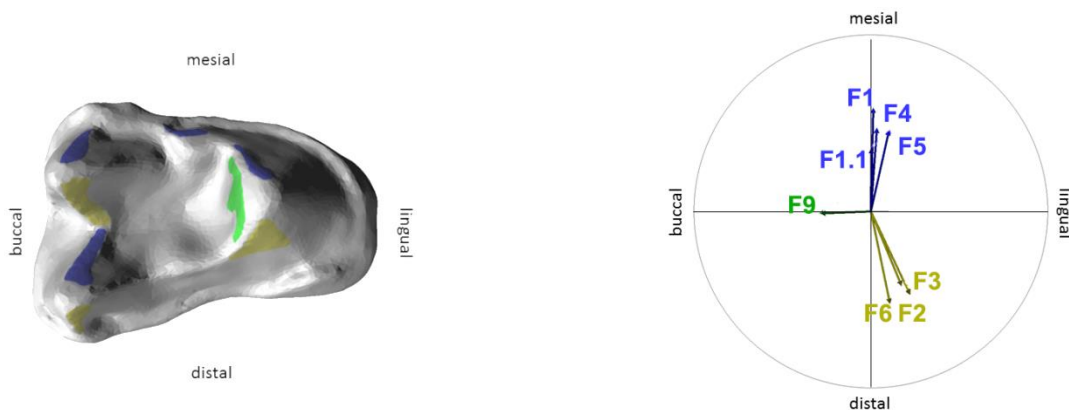


Abb. 4.39.a: M1 dex. Von *Tarsius syrichta* smf 94285, Facettenanalyse und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Bei Ansicht der Richtungswinkel im Okklusalen Kompass zeigt sich, dass sehr wenig Bewegungsspielraum vorhanden ist (Abb. 4.39.a, rechts). Die blauen LRT-Facetten haben eine Varianz von 13° , genauso wie die gelben LPT-Facetten. F1.1 orientiert sich in Richtung 0 , bzw. 360° und F5 in Richtung 347° . F6 nach 192° und F3 nach 205° . F9 zeigt mit 92° nach buccal.

4.39.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Im Mastikationskompass (Abb. 4.39., links) sieht man eine aus buccal erfolgte Inkursion in linguale Richtung, die einen Neigungswinkel von $58,8^\circ$ hat. Der Neigungswinkel der Exkursion beträgt $46,5^\circ$ und erfolgt mit 259° nach lingual.

Das OFA-Diagramm (Abb. 4.39.b, rechts) zeigt einen gleichmäßigen Anstieg der Phase I, für die 18 TS berechnet wurden und die eine Gesamtflächennutzung von $12,16 \text{ mm}^2$ umfasst. Für die Phase II wurden nur 10 TS benötigt und die Gesamtfläche ist mit $5,41 \text{ mm}^2$ auch geringer, als die der Phase I.

Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 69% , der der Phase II 31% . Im Orientation Patch Count wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 63 Patches errechnet.

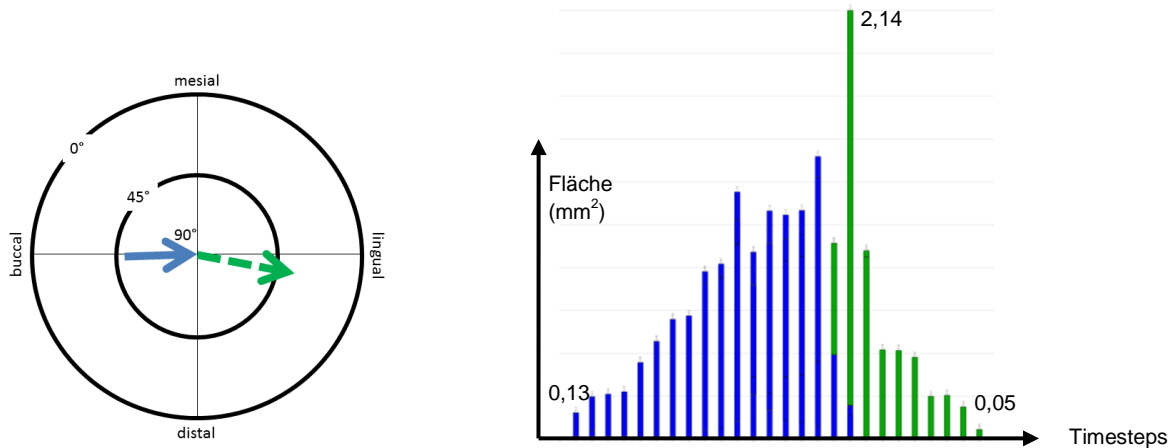


Abb. 4.39.b: Mastikationskompass und OFA-Diagramm von *Tarsius syrichta* smf 94285

4.40 *Tupaia glis* smf pa gu 861

4.40.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Der untersuchte rechte M1 von *Tupaia glis* besitzt eine Oberfläche von 34,28 mm² ab der Referenzebene und 27,97 mm² ab der Parallelebene. Mesiodistal misst der Zahn 3,6 mm und buccolingual 5 mm. *Tupaia* weist dilambdodonte Molaren auf, die für Spitzhörnchen typisch sind (Abb. 4.40.a, links). Es konnten sieben Attritionsfacetten bestimmt werden. Für Phase I F1 bis F6 und für Phase II F9. Es gibt einen deutlichen Schmelzzapfen am distolingualen Abhang des Protoconus, der aber noch keinen Hypoconus darstellt und auf dem keine Attritionsfacetten festgestellt wurden. Eine genaue funktionelle Molarenbeschreibung von *Tupaia* wurde von Maier (1977) angefertigt.

Die steilsten Facetten des vorliegenden M1 sind F3 und F9 mit jeweils 76°, die flachste Facette ist F6 mit 46°. Die mesialen Schneidkantenfacetten F1 und F5 sind 66° und 54° steil.

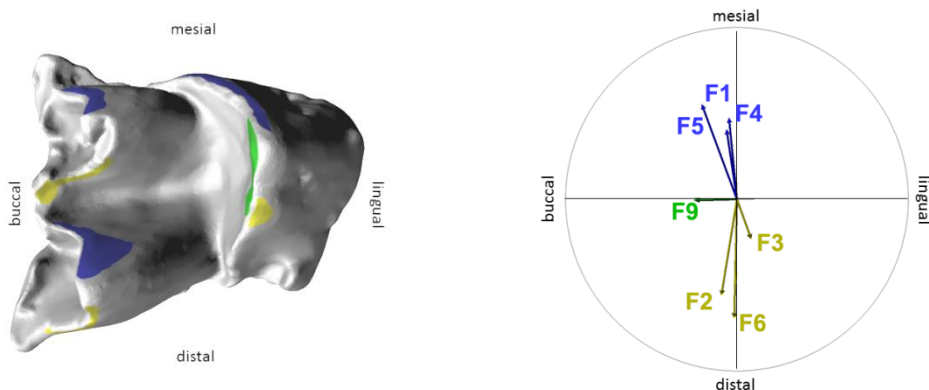


Abb. 4.40.a: M1 von *Tupaia glis* smf pa GU 861, Facettenanalyse und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Der Okklusale Kompass zeigt bei den LRT-Facetten eine Varianz von 14° , bei den LPT-Facetten sind es 29° . Dabei orientieren sich F4 nach 6° und F5 nach 20° , F2 nach 171° und F3 nach 200° . Die einzige MT F9 geht mit 91° Richtung buccal (Abb. 4.40.a, rechts).

4.40.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Im Mastikationskompass ist zu sehen, dass die Inkursion mit 291° in linguo-mesiolinguale Richtung geht. Der Neigungswinkel beträgt dabei $40,6^\circ$. Die Exkursion erfolgt nach lingual mit 272° . Beim Ausgleiten aus der zentrischen Okklusion beträgt die Inklination $19,2^\circ$ (Abb. 4.40.b, links).

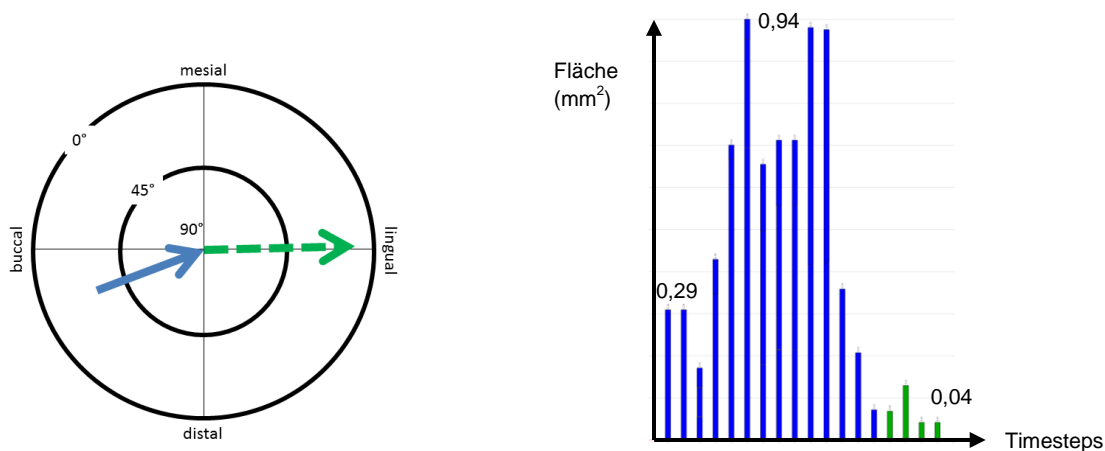


Abb. 4.40.b: Mastikationskompass und OFA-Diagramm von *Tupaia glis smf pa GU 861* (v.l.n.r.)

Im OFA-Diagramm wird deutlich, dass die Phase I überwiegt (Abb. 4.40.b, rechts). Der Gesamtflächenanteil liegt bei $7,12 \text{ mm}^2$ gegenüber $0,26 \text{ mm}^2$ für die Phase II. Von insgesamt 18 berechneten TS fallen nur 4 TS auf die Phase II. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 96,5%, der der Phase II 3,5%. Im OPC wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 70 Patches errechnet.

4.41 *Victoriapithecus macinnesi* KNM MB 21036

4.41.1 Facettenanalyse und Okklusaler Kompass

Die Molarenmorphologie von *Victoriapithecus* gilt als bilophodont (Abb. 4.41.a, links). Ab der Referenzebene hat der untersuchte M1 eine Oberfläche von $80,4 \text{ mm}^2$ und ab der Parallelebene $33,3 \text{ mm}^2$. Von mesial nach distal misst der Zahn $6,1 \text{ mm}$ und von buccal nach lingual $6,4 \text{ mm}$.

Von den vier buccalen Phase I-Facetten ist F1 mit 59° am steilsten, gefolgt von F2 mit 55° . F3 ist mit 40° eher flach und F4 besitzt einen Neigungswinkel von 43° . Von den lingualen P1 Facetten ist F5 mit 57° am steilsten. F7 hat eine Neigung von 53° und F8 50° . Mit einem

Neigungswinkel von 40° ist F6 am flachsten. Die P2 Facetten sind insgesamt flacher. F9 zeigt einen Neigungswinkel von 10° . F11 ist mit 43° die steilste P2 Facette.

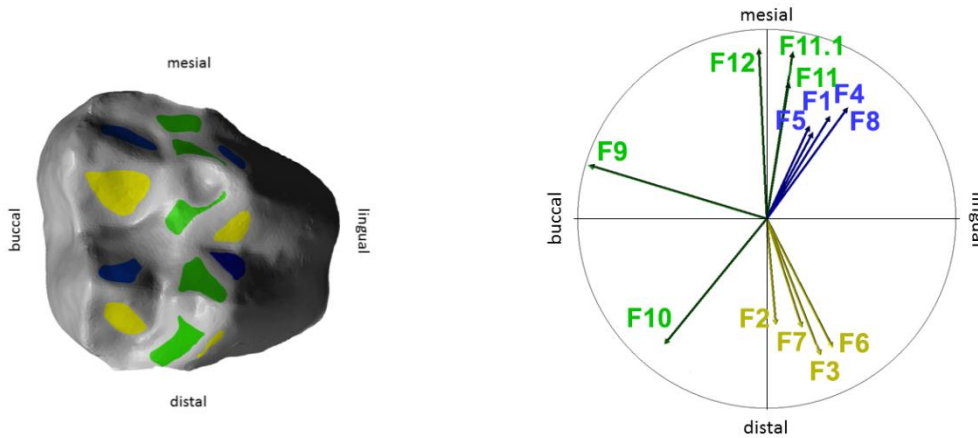


Abb. 4.41.a: M1 von *Victoriapithecus macinnesi* KNM MB 21036, Facettenanalyse und Okklusaler Kompass (v.l.n.r.)

Im Okklusalen Kompass sieht man ein eingeschränktes Bewegungsmuster für die blauen LRT- und die gelben LPT-Facetten. Die LRT-Facetten haben eine Differenz von 11° von 335° für F5 und 324° für F4. Die LPT-Facetten liegen zwischen 185° für F2 und 207° für F6, haben demnach eine Differenz von 22° . Von den MT-Facetten liegt F9 mit 73° in buccal-mesiobuccale Richtung und F10 mit 141° in buccodistale Richtung. Die F11 und F11.1 orientieren sich beide mit 351° nach mesial, wie auch F12 mit 3° (Abb. 4.41.a, rechts).

4.41.2 Mastikationskompass und OFA-Analyse

Im Mastikationskompass (Abb. 4.41.b, links) ist zu sehen, dass Phase I und Phase II beide in linguale Richtung gehen. Dabei hat die Inkursion der Phase I einen Neigungswinkel von $27,4^\circ$ und die Exkursion der Phase II von $7,6^\circ$.

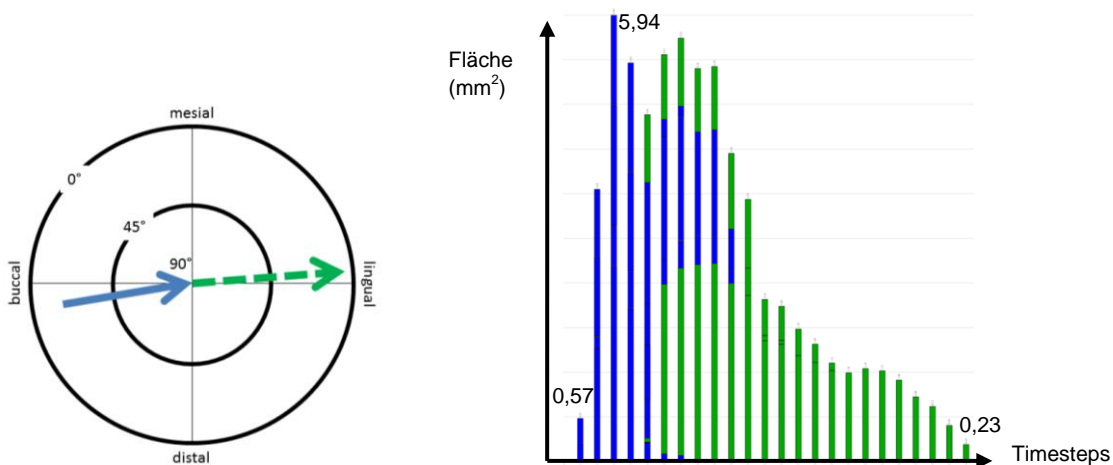


Abb. 4.41.b: Mastikationskompass und OFA-Diagramm von *Victoriapithecus macinnesi* KNM MB 21036 M1 und KNM MB 18993 m1+m2 (v.l.n.r.)

Für das OFA-Projekt wurde als Antagonist der m1 und m2 von KNM MB 18993 gewählt. Im OFA-Diagramm sieht man eine stark ansteigende P1, die eine Gesamtfläche von 27,89 mm² nutzt. Für P2 wird eine Gesamtfläche von 37,12 mm² verwendet. P2 flacht langsam ab und zeigt am Ende des Kauzyklus ein leichtes Plateau (Abb. 4.41.b, rechts). Insgesamt werden 24 TS benötigt, davon werden 10 TS für Phase I, 20 für Phase II und 6 TS für beide gemeinsam berechnet. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 42,9%, der der Phase II 57,1%. Im Orientation Patch Count wurden bei einer Einstellung von 50 Reihen 54 Patches ermittelt.

4.42 Oriana-Rosendiagramme der Richtungswinkel von *Cantius*

M1 und M2: Level 1-3

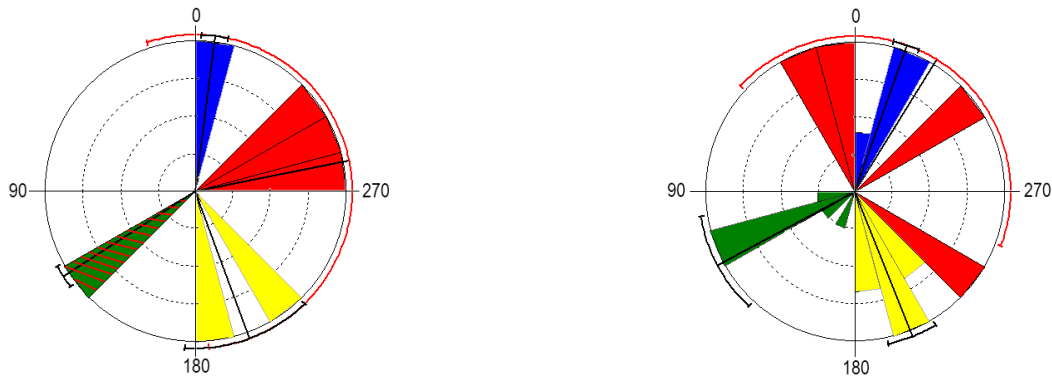


Abb. 4.42.a: Oriana-Diagramm: Level 1 M1 und Level 1 M2 (v.l.n.r.).

In der linken Abb. ist zu beachten, dass die Ausrichtung der grünen F9 gleichzeitig von F1_3_5 besetzt ist, dargestellt durch die rote Schraffur. Wie in Kapitel 3.1 erklärt, wurden die Einzelzähne in folgende drei Levels unterteilt: Level 1: 30-190m, Level 2: 292-450m und Level 3: 463-591m

Mit den Oriana-Rosendiagrammen ist es möglich, die Richtungswinkel der Facettenflächen in einem Kreisdiagramm darzustellen und vergleichbar zu machen. Hier wurde der Mittelwert der Vektoren gleicher Richtung errechnet und aufgetragen. In Level 1, den ältesten stratigraphischen Ablagerungen von 30-190m (siehe Kap.3.1), gibt es bei M1 und M2 keine F7 und F8, da ein Hypoconus fehlt. Bei M1 fehlt F10, die bei M2 aber auf der Postprotocrista vorhanden ist. Der durchschnittliche Vektor liegt für die blauen LRT-Facetten des M1 bei 352,75°, für die gelben LPT-Facetten bei 200,24°, für die grünen MT-Facetten bei 123° und für die roten F1_3_5 bei 281,44°. Für die M2 in Level 1 liegt der durchschnittliche Vektor der LRT-Facetten bei 340,57°, der LPT-Facetten bei 201,84°, der MT-Facetten bei 118,15° und der F1_3_5 bei 328,38°.

In den Oberkiefermolaren sind die Richtungen der F1_3_5 höchst variabel, wie auf der Abb. 4.42.a zu sehen ist. Für die M1 gibt es eine Standardabweichung von $68,14^\circ$ (Abb. 4.42.a, links) und für die M2 $62,87^\circ$ bei F1_3_5 (Abb. 4.42.a, rechts).

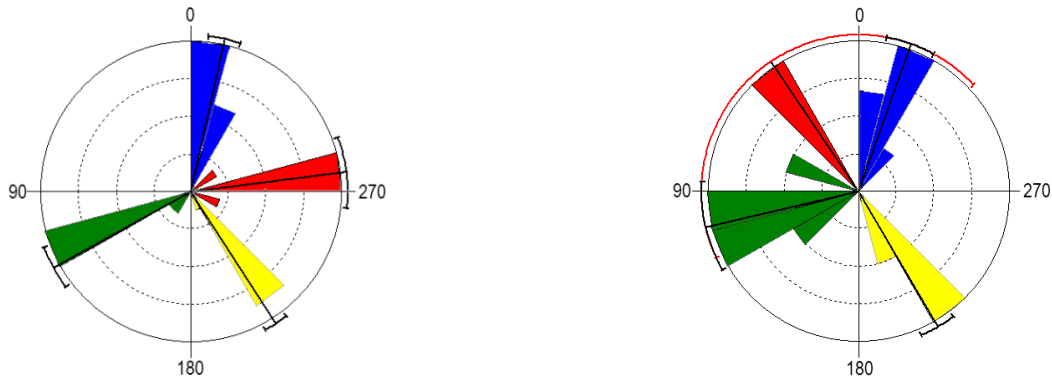


Abb. 4.42.b: Oriana-Diagramm: Level 2 M1 und Level 2 M2 (v.l.n.r.)

In der Abb. 4.42.b, links ist zu sehen, dass für die oberen M1 in Level 2 der Durchschnittsvektor für die blauen LRT-Facetten nach $347,5^\circ$, für die gelben LPT-Facetten nach $212,99^\circ$, für die grünen MT-Facetten nach $118,97^\circ$ und die F1_3_5 nach $277,18^\circ$ orientiert ist. Für die Level 2 M2 (Abb. 4.42.b, rechts) liegen der Mittelwert des LRT-Vektors in $340,5^\circ$, des LPT-Vektors in $210,34^\circ$, des MT-Vektors in $103,18^\circ$ und der Durchschnittsvektor für F1_3_5 in 34° .

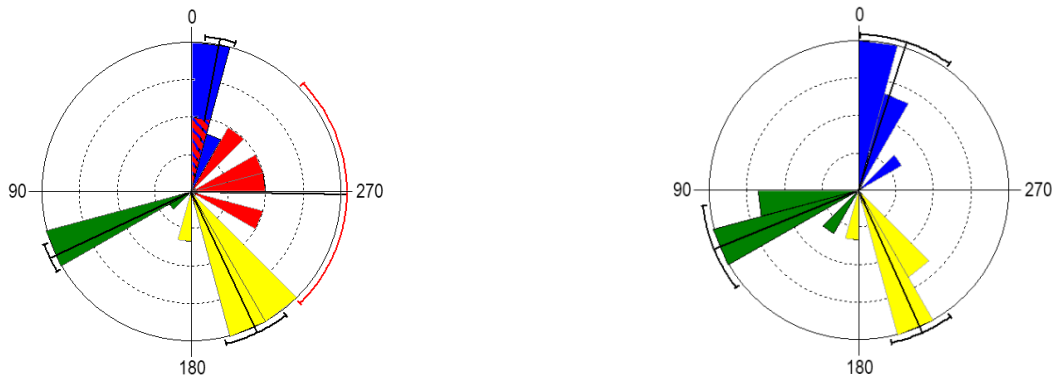


Abb. 4.42.c: Oriana-Diagramm: Level 3 M1 und Level 3 M2 (v.l.n.r.)

Der Mittelwert der Richtungsvektoren ist bei M1 (Abb. 4.42.c, links) für die blauen LRT-Facetten bei $349,14^\circ$, die gelben LPT-Facetten bei $205,28^\circ$, die grünen MT-Facetten bei $115,14^\circ$ und die roten F1_3_5 bei $269,18^\circ$. Bei den M2 ist keine F1_3_5 mehr vorhanden, die Durchschnittsvektoren sind für die LRT-Facetten nach $341,94^\circ$, die LPT-Facetten nach $207,13^\circ$ und die MT-Facetten nach $112,07^\circ$ orientiert (Abb. 4.42.c, rechts).

Level 1-3: m1 und m2

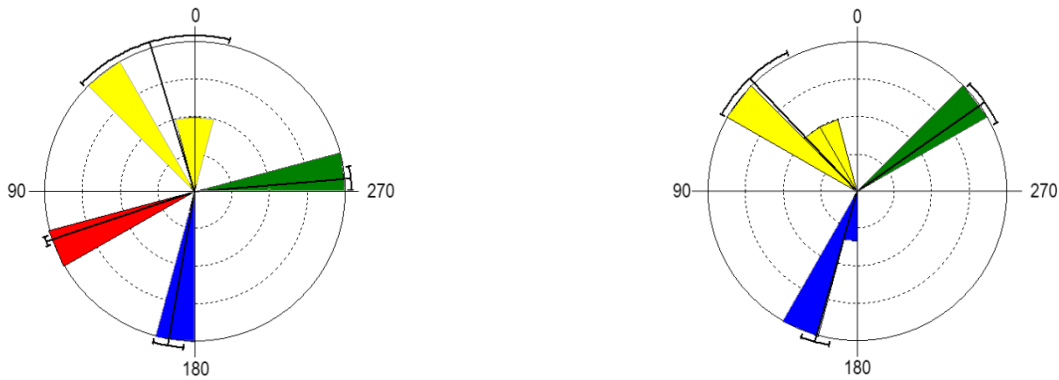


Abb. 4.42.d: Oriana-Diagramm: Level 1 m1 und Level 1 m2 (v.l.n.r.)

Der Mittelwert der Vektoren der Level 1 m1 liegt für die blauen LRT-Facetten bei $170,25^\circ$, für die gelben LPT-Facetten bei $16,6^\circ$, für die grünen MT-Facetten bei 275° und die roten F1_3_5 bei $108,5^\circ$ (Abb. 4.42.d, links). Für die m2 aus Level 1 gelten folgende Mittelwerte für die Vektoren: LRT-Facetten $164,25^\circ$, LPT-Facetten $43,5^\circ$, MT-Facetten 305° und F1_3_5 wurde an den untersuchten m2 nicht gefunden (Abb. 4.42.d, rechts).

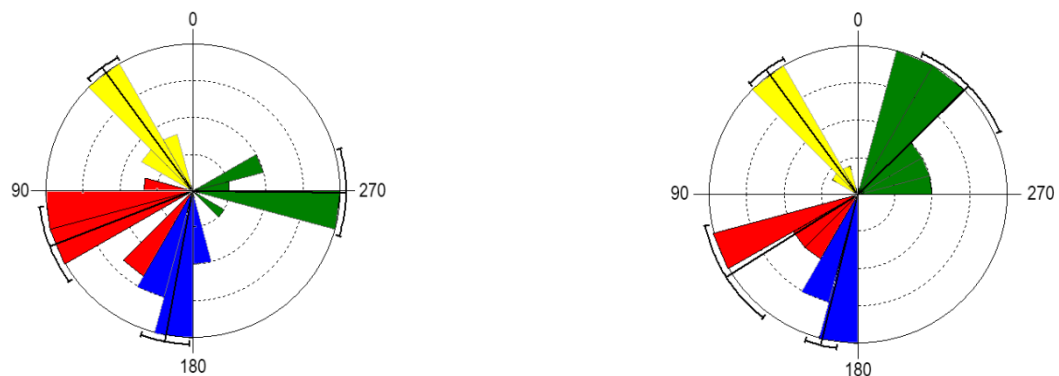


Abb. 4.42.e: Oriana-Diagramm: Level 2 m1 und Level 2 m2 (v.l.n.r.)

Die durchschnittliche Orientierung der Vektoren der Facetten der Level 2 m1, liegt bei den blauen LRT-Facetten bei $169,55^\circ$, bei den gelben LPT-Facetten bei 36° , bei den grünen MT-Facetten bei $269,53^\circ$ und den roten F1_3_5 bei $111,16^\circ$ (Abb. 4.42.e, links). In der Abb. 4.42.e, rechts ist die Verteilung der Richtungsvektoren der Level 2 m2 zu sehen. Der Mittelwert für die LRT-Facetten beträgt $166,3^\circ$, der LPT-Facetten $36,3^\circ$, der MT-Facetten $314,63^\circ$ und der F1_3_5 Facetten 122° . Auffällig ist hier, dass der Vektoren-Mittelwert der MT-Facetten der m1 nach lingual und der der m2 nach mesiolingual orientiert ist.

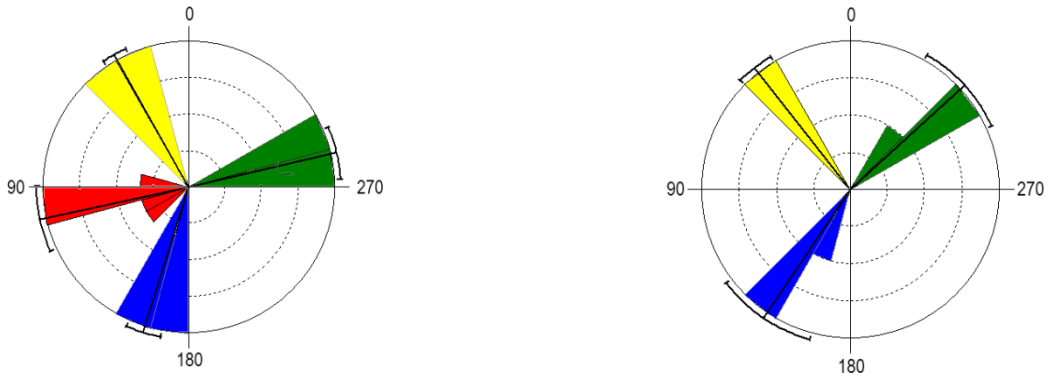


Abb. 4.42.f: Oriana-Diagramm: Level 3 m1 und Level 3 m2 (v.l.n.r.)

Im Level 3 ist der Mittelwert der Vektoren für die m1 bei den LRT-Facetten $162,67^\circ$, der LPT-Facetten bei $29,17^\circ$, der MT-Facetten $283,16^\circ$ und der F1_3_5 bei $102,14^\circ$ (Abb. 4.42.f, links). Für die m2 aus Level 3 beträgt der durchschnittliche Vektor für die LRT-Facetten $145,98^\circ$, LPT-Facetten 38° , MT-Facetten $312,34^\circ$ und es gibt keine F1_3_5-Facetten mehr.

4.43 Dreiecksdiagramme von *Cantius* sp. M1, M2 und m1, m2

Dreiecksdiagramme von *Cantius* sp. M1 und M2 aus den Levels 1 bis 3

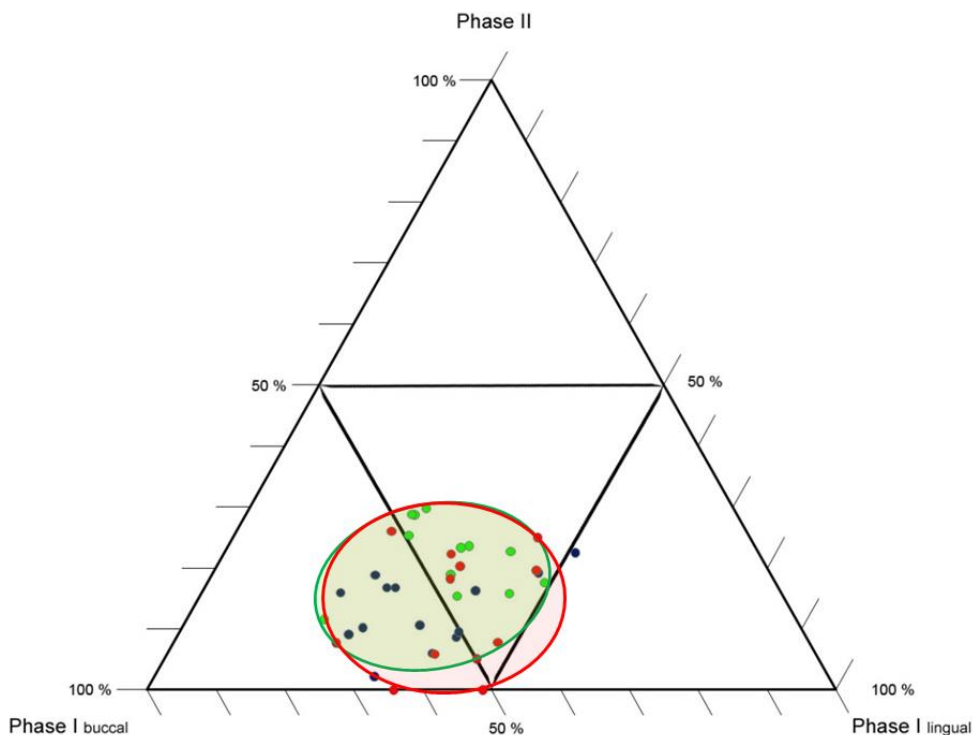


Abb. 4.43.a : Dreiecksdiagramm des prozentualen Flächenanteils der Phasen I buccal und lingual und Phase II der M1 und M2 von *Cantius* sp. rot=Level 1, blau=Level 2, grün=Level 3

Level 1: Die buccalen Phase I-Facetten verteilen sich von 30,8% bis 68,7%. Der größte Anteil liegt zwischen 45-55%. Die lingualen Phase I-Facetten stellen einen Anteil von 22,5% bis 48,7%. Bei den Phase II-Facetten gibt es eine Teilung, ein Teil plottet bei 0-7,8% und ein

weiterer zwischen 18,3% und 26%. Die Molaren mit einem höheren Phase II Anteil sind vorwiegend M2.

Level 2: Die buccalen Phase I-Facetten aus Level 2 beginnen bei 26,6% und gehen bis 66,2%, der Hauptanteil liegt hier zwischen 50% und 66%. Die lingualen Phase I-Facetten plotten zwischen 20,1% und 50,9% und die Phase II-Facetten zwischen 2,2% und 22,5%.

Level 3: Die buccalen Phase I-Facetten plotten zwischen 33,5% und 68,5%, der Hauptteil liegt zwischen 40 und 50%. Linguale Phase I-Facetten liegen zwischen 19,9% und 48,9%, und die Phase II-Facetten verteilen sich zwischen 11,6% und 29,7%, der Hauptanteil liegt zwischen 20% und 30% und damit höher als bei den vorherigen Levels.

In Abb. 4.43.a sieht man, dass die Stichprobe der Molaren aus allen Levels in einem bestimmten Bereich plotten und sich überschneiden. Auffällig ist, dass aus den unteren stratigraphischen Schichten (Level1 = rote Punkte), Individuen vorhanden sind, an deren M1 keine Phase II-Facetten festgestellt wurden. Die untersuchten Molaren aus Level 3 haben den höchsten Anteil an Phase II-Facetten, und es gibt darunter, wie auch bei den Level 2-Molaren keine Individuen ohne Phase II. Für Phase I buccal ist auffällig, dass die Stichprobe aus Level 2 mehr Anteil an Phase I buccal hat, verglichen mit den Level 3 Individuen. Der Hauptanteil liegt für die Level 2 Individuen über 50% und für die Level 3 Individuen unter 50% bei der buccalen Phase I.

Dreiecksdiagramme von *Cantius* sp. m1 und m2 aus den Levels 1 bis 3

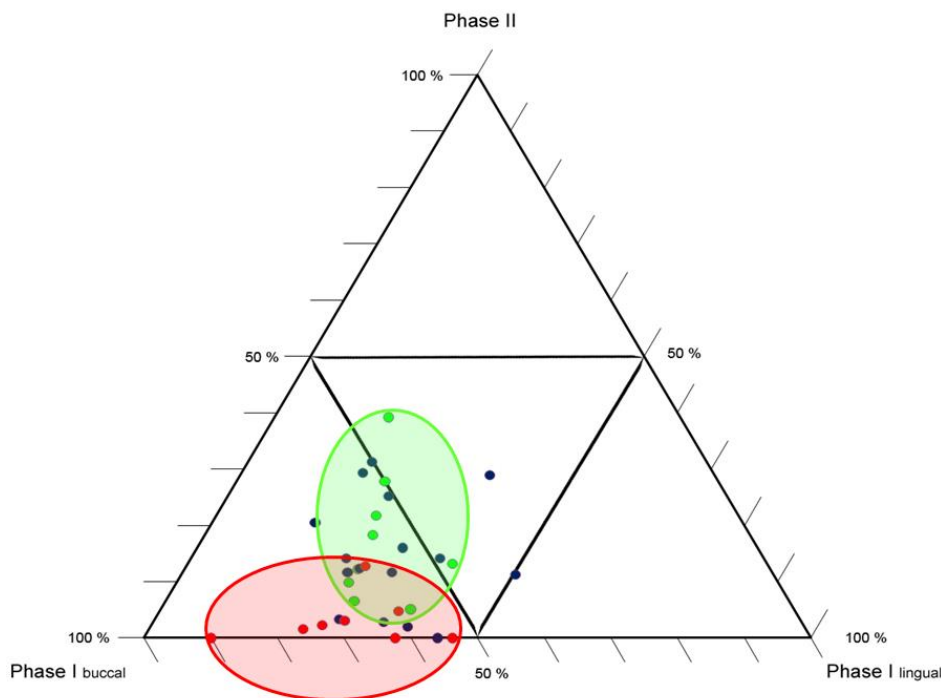


Abb. 4.43.b.: Dreiecksdiagramm des prozentualen Flächenanteils der Phasen I buccal und lingual und Phase II der m1 und m2 von *Cantius* sp. rot=Level 1, blau=Level 2, grün=Level 3

Level 1: Der prozentuale Anteil der buccalen Phase I-Facetten verteilt sich zwischen 53,8% und 90%. Linguale Phase I-Facetten liegen zwischen 25% und 46,2% mit Ausnahme eines

Individuums, dessen m2 bei 10% plottet. Phase II-Facetten sind zwischen 0 und 4,8% angesiedelt, mit einer Ausnahme bei 12,8%, bei der es sich auch um einen m2 handelt.

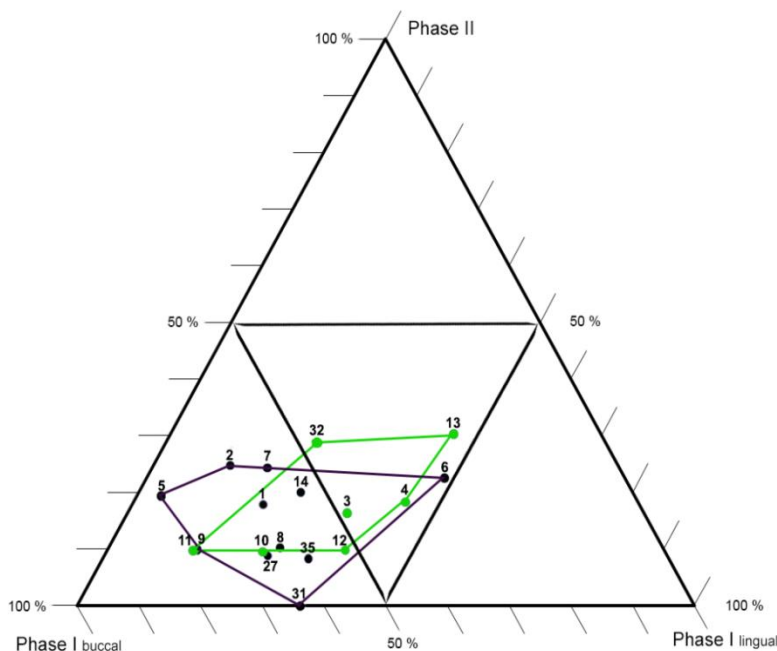
Level 2: Hier liegt der prozentuale Anteil der buccalen Phase I-Facetten zwischen 33,7% und 50,1%. Die lingualen Phase I-Facetten sind verteilt zwischen 18,2% und 50,1% und Phase II-Facetten zwischen 0 und 31,3%.

Level 3: Hier sind die buccalen Phase I-Facetten verteilt zwischen 43,7% und 65,2%. Die lingualen Phase I-Facetten befinden sich zwischen 17,1% und 39,6%. Der prozentuale Anteil der Phase II-Facetten liegt zwischen 5,1% und 39,2%.

In der Abb. 4.43.b, die den prozentualen Flächenanteil der Facetten der unteren Molaren zeigt, ist eine deutliche Trennung zwischen den Levels 1 und 3 zu erkennen. Die Molaren der Individuen aus den unteren stratigraphischen Schichten (Level 1= rot) haben wesentlich weniger Phase II Anteil als die der oberen Schichten (Level 3 = grün). Das Sample aus den Schichten dazwischen (Level 2 = blau) ist zwischen den beiden Levels 1 und 3 verteilt. Alle m1 und m2 aus allen Horizonten haben einen höheren Anteil an buccalen Phase I-Facetten verglichen mit den lingualen Phase I-Facetten.

4.44 Dreiecksdiagramm, 3D-Index, OFA und OPC von *Cantius* sp. und Vergleichsmaterial

Ergebnisse Dreiecksdiagramm Prosimiae und Outgroup



1	<i>Tupaia glis</i> _smf_pa_gu_861_M1_dex.
2	<i>Cheirogaleus major</i> _smf_73562_M1_dex.
3	<i>Galago demidovii</i> _smf_73560_M1_sin.
4	<i>Galago senegalensis</i> _smf_32751_M1_dex.
5	<i>Hapalemur sp.</i> _smf_34722_M1_sin.
6	<i>Lemur catta</i> _smf_19089
7	<i>Lemur mongoz</i> _smf_2546_M1_sin.
8	<i>Lemur variegatus</i> _smf_34723_M1_dex.
9	<i>Lepilemur mustelinus</i> _smf_34717_M1_sin.
10	<i>Loris tardigradus</i> _smf_3218_M1_sin.
11	<i>Microcebus murinus</i> _smf_34590_M1_dex.
12	<i>Otolemur crassicaudatus</i> _smf_44754_M1_sin.
13	<i>Perodicticus potto</i> _smf_59373_M1_sin.
14	<i>Tarsius syrichta</i> _smf_94285_M1_dex.
27	<i>Absarokius abbotti</i> _DPC_2977_Mi_sin.
31	<i>Cantius</i> sp._34m_USGS_4689_M1_dex_Level1
32	<i>Cantius</i> sp._521m_USGS_7860_M1_sin_Level3
35	<i>Palenochtha minor</i> _USNM_9590_M1_sin.

Abb. 4.44.a: Dreiecksdiagramm des prozentualen Flächenanteils der Phasen I buccal und lingual und Phase II der M1 der in der folgenden Tabelle angegebenen fossilen und rezenten Primaten und *Tupaia glis* (grün = mit Hypoconus, schwarz = ohne Hypoconus)

Tabelle 4.44.a: Nummerierungsschlüssel der in Abb. 4.43.c verwendeten Arten (grün = mit Hypoconus, schwarz = ohne Hypoconus)

Auf der Abb. 4.44.a ist zu sehen, dass die meisten Individuen ohne Hypoconus (schwarze Punkte) einen höheren Anteil der Phase I buccal haben, als die Individuen mit Hypoconus (grüne Punkte). Hauptsächlich liegen sie zwischen 53% und 65%. Der Phase II Anteil liegt bei allen unter 25% mit Ausnahme des Level 3 *Cantius* sp.(32) und *Perodicticus potto* (13), die einen Phase II Anteil von ca. 30% haben. Der prozentuale Flächenanteil der Phase I lingual liegt bei allen unter 50%. *Lemur catta* (6) hat darunter den größten Anteil, gefolgt von *Perodicticus potto* (13) und *Galago senegalensis* (4).

Den höchsten Anteil der buccalen Phase I haben die beiden folivoren Primaten *Hapalemur* sp. (5) und *Lepilemur mustelinus* (9), die beide keinen Hypoconus haben. Darunter plottet aber auch *Microcebus murinus* (11), der neben Früchten auch einen relativ großen Anteil an Insekten konsumiert (Geissmann, 2003; Maier, 1980; Seligsohn, 1977). Die beiden *Cantius* Arten weichen stark voneinander ab. Am basalen Individuum *Cantius*_34m (31) war keine Phase II festzustellen und der Anteil der buccalen Phase I liegt mit knapp 64% dort, wo die meisten Individuen ohne Hypoconus plotten. *Cantius*_521m (32) hingegen hat, verglichen mit allen anderen untersuchten Prosimiae, einen besonders hohen Anteil der Phase II, hier liegt der buccale Phase I Anteil bei knapp 47%. Die linguale Phase I Fläche weicht bei den beiden *Cantius* Arten um ca. 12% voneinander ab.

Ergebnisse 3D-Index Prosimiae und Outgroup

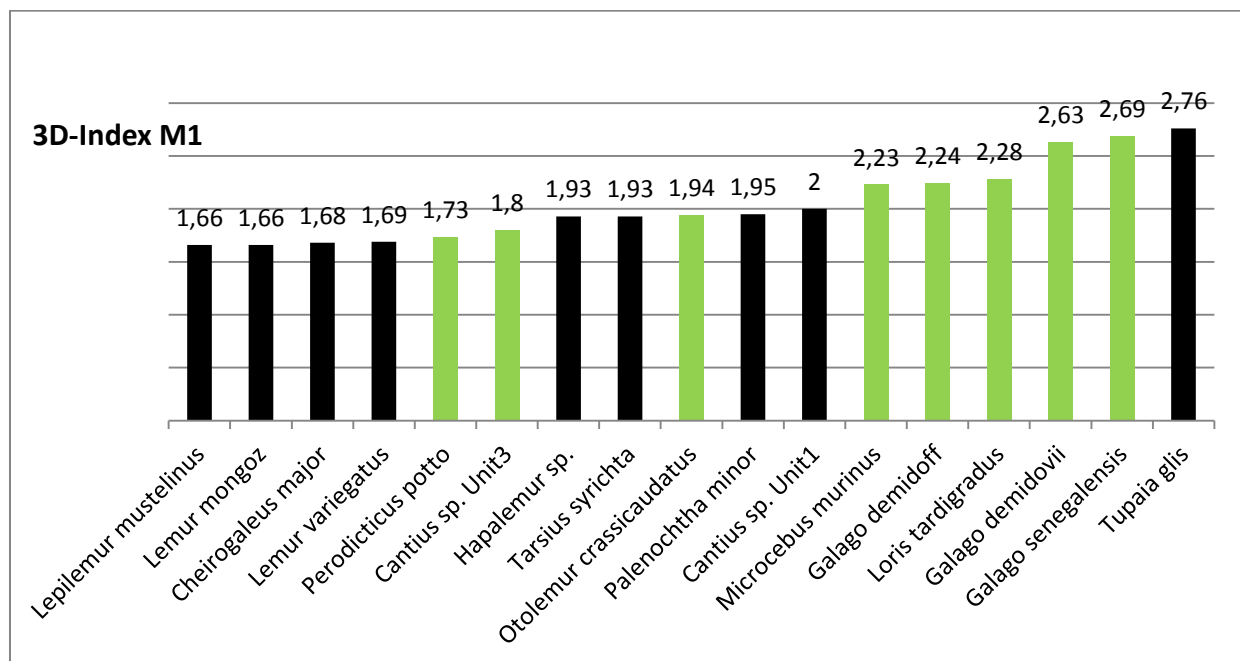


Abb. 4.44.b: 3D-Index M1 moderne Strepsirrhini, zwei *Cantius* sp. aus unterschiedlicher Stratigraphie (Unit 1 = 34m= Level 1, Unit 3 = 521m = Level 3), *Palenochtha minor* als paläozäner Primat und *Tupaia glis* als Outgroup. Grün=mit Hypoconus, schwarz=ohne Hypoconus

In der Abb. 4.44.b ist ersichtlich, dass die Primaten mit Hypoconus (hier in grün dargestellt) durchschnittlich einen höheren 3D-Index haben, als Primaten ohne Hypoconus (schwarzer Balken). Der Balken rechts mit dem höchsten 3D-Index von 2,76 zeigt *Tupaia glis* und gehört zur Outgroup. Berücksichtigt man die Nahrungspräferenz wie in Abb. 4.44.c (hier sind alle insektivoren Primaten mit blauem Balken dargestellt), wird deutlich, dass alle untersuchten strepsirrhinen, insektivoren Primaten einen höheren 3D-Index haben, als die frugiv- oder folivoren Primaten. *Microcebus murinus* hat einen 3D-Index von 2,23 und hat einen Anteil von über 35% Insekten in der Nahrung. *Tarsius syrichta* ist zu 100% carnivor, gehört allerdings in die Gruppe der Haplorrhini. *Cantius* aus Level 3 plottet mit einem Index von 1,8 zwischen *Hapalemur*, der bevorzugt Bambus und Schilf frisst, und *Perodicticus potto*, der als primär frugivor gilt. Szalay und Delson (1979) gehen bei *Palenochtha minor* auch von einer insektivoren Ernährung aus. Im Vergleich mit *Cantius* aus Level 1, liegt der 3D-Index von *P.minor* mit 1,95 noch 0,05 Punkten unter denen von *Cantius*. Da es keine einheitliche Meinung über die Ernährung von *Cantius* gibt, ist der Balken in schwarz dargestellt. *Otolemur crassicaudatus* ernährt sich nach Seligsohn (1977) nur zu 30% von Insekten, deshalb ist auch dieser Balken schwarz.

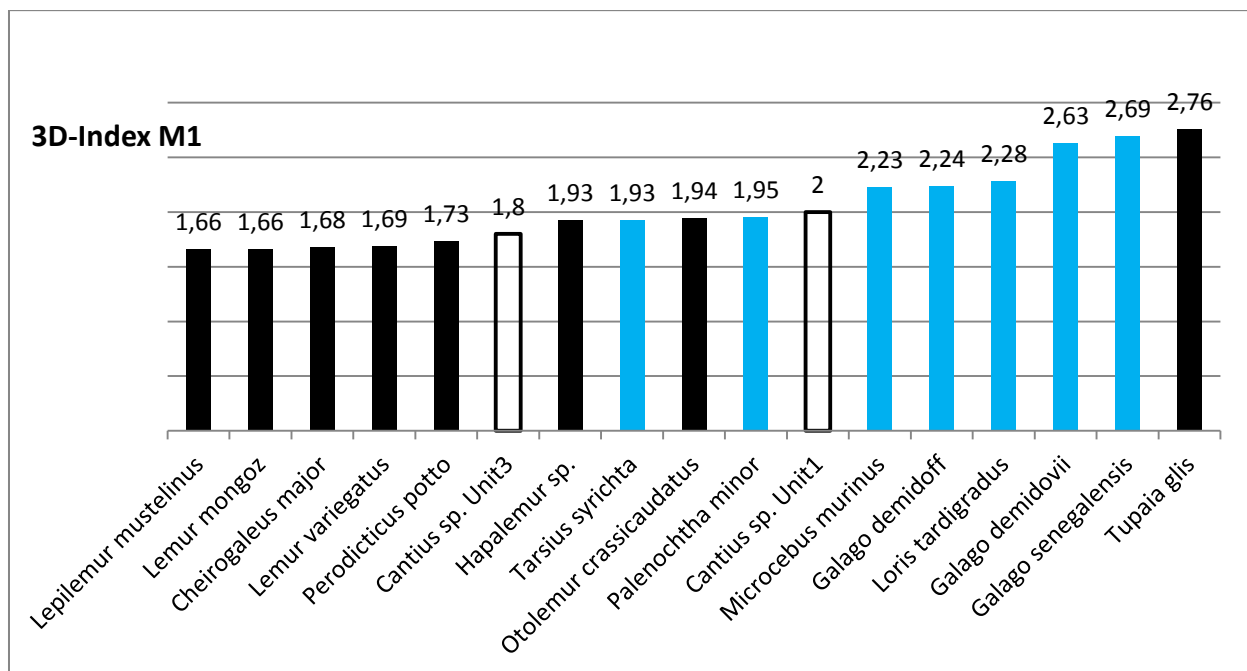


Abb. 4.44.c: 3D-Index M1 moderne Strepsirrhini, zwei *Cantius* Arten aus unterschiedlicher Stratigraphie (Unit 1 = 34m = Level 1, Unit 3 = 521m = Level 3), *Palenochtha minor* als paläozäner Primat und *Tupaia glis* als Outgroup. Blau = über 70% insektivor, schwarz = unter 35% bis keine Insektivorie, transparent = *Cantius*

Ergebnisse der Phase I und der Phase II aus den OFA-Projekten



Abb. 4.44.d: Diagramm der Phase I und der Phase II in Prozent aus den OFA-Projekten.

Links: Grün = mit Hypoconus, schwarz = ohne Hypoconus

Rechts: Blau = insektivor, schwarz = unter 35% bis keine Insektivorie + fossile

In der Abbildung 4.44.d ist links zu sehen, dass die Prosimiae mit Hypoconus tendenziell einen geringeren Phase II Anteil haben. Weniger als 10% Phase II zeigen sich auch bei dem folivoren *Lepilemur mustelinus* und dem zur Outgroup gehörende *Tupaia glis*. Alle anderen Strepsirrhini in diesem Bereich sind primär insektivor (über 70%) mit Ausnahme von *Microcebus murinus*, der nach Geissmann (2003) noch einen relativ hohen Insektenanteil von ca. 35% konsumiert. In der rechten Abbildung sieht man, dass alle insektivoren rezenten

Strepsirrhini (in blau dargestellt) unter 10% Phase II Anteil haben. Etwas über 30% Phase II ist bei *Tarsius syrichta* vorhanden, der aber taxonomisch zu den Haplorrhini gerechnet wird.

Ergebnis 3D-Index *Cantius* Level 1 und Level 3

Von allen untersuchten Molaren von *Cantius* wurden 3D-Indices gebildet, um auch innerhalb der Gruppe Vergleiche anzustellen. In der Abb. 4.44.e. ist der Mittelwert für M1 + M2 sowie für m1 + m2 aus den Leveln 1 und 3 dargestellt.

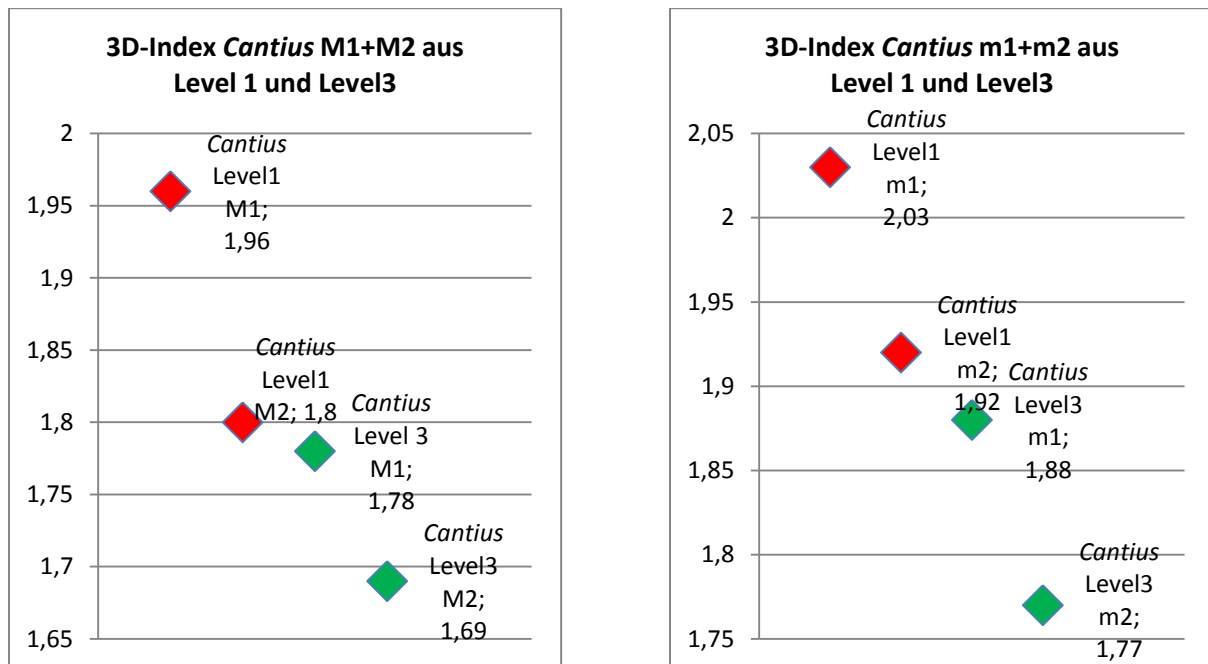


Abb. 4.44.e: Mittelwerte der 3D-Indices der Molaren von *Cantius* sp. aus den Leveln 1 (rot) +3 (grün) von M1+M2 (links) und m1+m2 (rechts)

Bei den Ober- sowie den Unterkiefermolaren ist zu sehen, dass erste und zweite Backenzähne aus den älteren stratigraphischen Schichten (Level 1) einen höheren 3D-Index haben, als die Molaren aus Level 3. Auch innerhalb des Levels ist ein Unterschied zwischen ersten und zweiten Molaren deutlich zu erkennen. Die zweiten Molaren der Level 1 (rot) haben für Ober- und Unterkiefermolaren noch einen höheren Index als die ersten Molaren aus der Level 3 Schicht (grün).

Ergebnisse Orientation Patch Count (OPC) Prosimiae und Outgroup

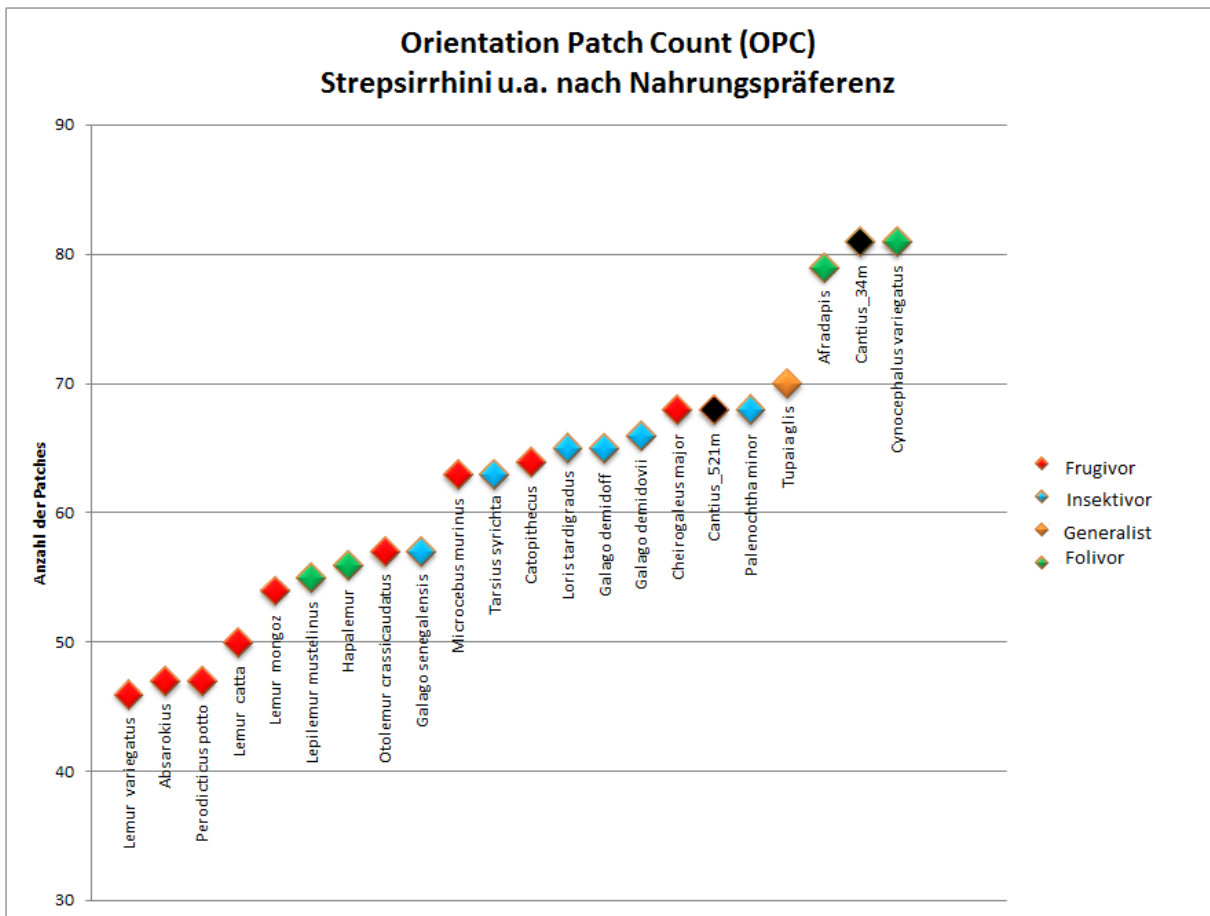


Abb. 4.44.f: OPC bei 50 Reihen. Grün = folivor, orange = omnivor, rot = frugivor, blau = insektivor, die beiden schwarzen Individuen sind *Cantius* sp. (34m = Level 1, 521m = Level 3)

Der OPC beinhaltet Informationen über die Komplexität der Zahnoberfläche. Je komplexer die Oberfläche ist, desto mehr Patches bzw. Flächenmuster, die in eine Richtung orientiert sind, werden von der Software gezählt. In der Abb. 4.44.f haben die Molaren mit ca. 80 Patches die höchste Komplexität. Darunter fallen *Afradapis longicristatus* mit 79, *Cantius* aus Level 1 mit 81 und der zur Outgroup gehörende *Cynocephalus* ebenfalls mit 81 Patches. Danach folgt das zur Outgroup gehörende *Tupaia glis* mit 70 Patches. Zwischen *Palenochtha minor* mit 68 und *Galago senegalensis* mit 57 Patches fallen alle insektivoren Primaten. Dazwischen plottet *Microcebus murinus* mit 63, dessen Nahrung neben Früchten auch einen relativ großen Insektenanteil von über 35% beinhaltet. Außerdem die beiden frugivoren Primaten *Cheirogaleus major* mit 68 und *Catopithecus browni* mit 64 Patches. Der insektivore *Galago senegalensis* (über 70% Insektenanteil in der Nahrung) plottet wie *Otolemur crassicaudatus* (ca. 30% Insektenanteil in der Nahrung) mit 57 Patches. Danach folgen die beiden folivoren Strepsirrhini *Hapallemur* sp. und *Lepilemur mustelinus* mit 56 und mit 55 Patches. Alle darunterliegenden Primaten sind als frugivor eingestuft. Die beiden *Cantius* Arten wurden keiner Nahrungspräferenz zugeordnet und schwarz markiert.

4.45 OFA-Projekte von *Cantius sp.* und *Copelemur sp.* aus verschiedenen stratigraphischen Horizonten im Vergleich

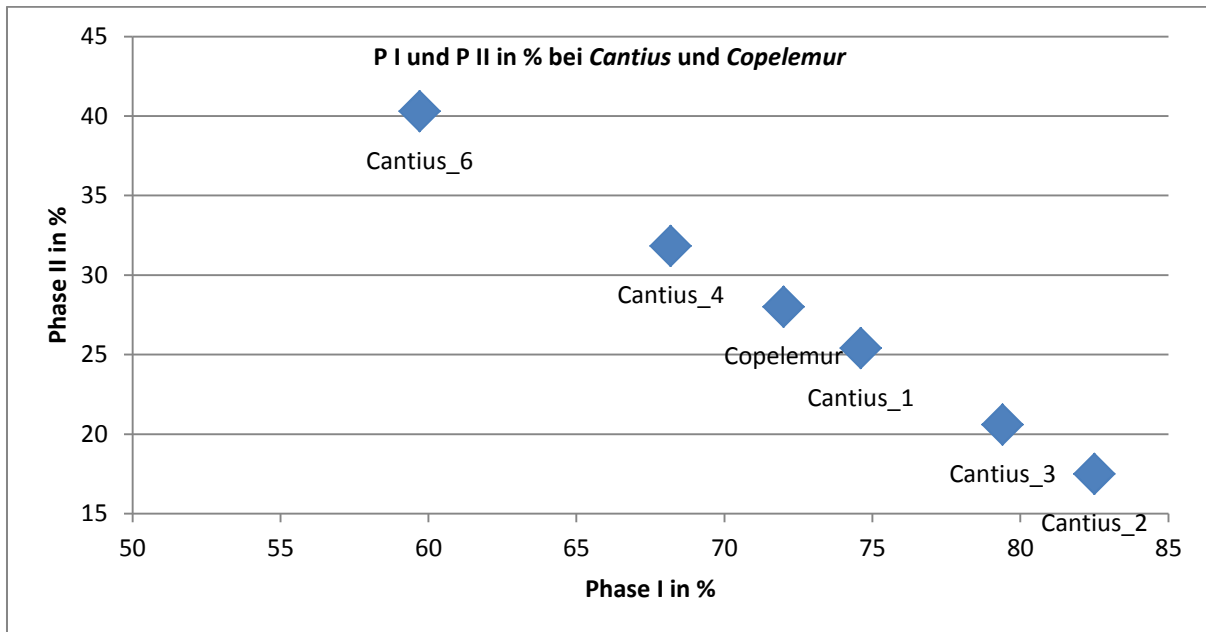


Abb. 4.45.a: Prozentualer Anteil der Fläche von Phase I und Phase II aus den OFA-Projekten von *Cantius sp.* aus verschiedenen stratigraphischen Schichten und *Copelemur sp.*

Von fünf *Cantius* Arten aus verschiedenen stratigraphischen Horizonten und von *Copelemur sp.* wurden OFA-Projekte durchgeführt und miteinander verglichen. Hierbei konnte festgestellt werden, dass die Phase II kontinuierlich zunimmt (Abb. 4.45.a) mit Ausnahme von *Cantius_1*. Bei *Cantius_1* liegt der Phase II Anteil zwischen *Cantius_3* und *Copelemur*. Für *Cantius_1* wurden Ober- und Unterkiefermolaren von 2 verschiedenen Individuen verwendet und das Projekt unter Kap. 4.5 (*Cantius sp.* USGS4689_34m) beschrieben. Phase I hat einen Anteil von 74,6% und Phase II von 25,4%. *Cantius_2* ist ein Projekt von einem Individuum mit assoziiertem Kiefer mit der Sammlungsnummer USGS 13634 aus 149m. Für das OFA-Projekt wurden die rechten M1 und m1-m2 gewählt. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt hier 82,5% und der Phase II 17,5%. Das *Cantius_3* Projekt besteht wieder aus 2 verschiedenen Individuen: M1_USGS 10058 aus 292m und m1-m2_USGS 2588 aus 344m. Phase I umfasst hier 79,4% und Phase II 31,82%. Auch das *Cantius_4* Projekt stammt von 2 Individuen. Der M1 von USGS 10021 aus 450m und m1-m2 von USGS 4521 aus 425m. Der Anteil der Phase I beträgt hier 68,18% und der Phase II 31,82%. *Copelemur sp.* liegt stratigraphisch zwischen *Cantius_4* und *Cantius_6*. Es ist ein assoziierter Kiefer von USGS 16577 und stammt aus 463m. Phase I hat 72% und Phase II 28%. Für das OFA-Projekt von *Cantius_6* (Kap. 4.6; *Cantius sp.* USGS7860_521m) wurden der M1 von USGS 7860 und der assoziierte m1 aus 521m verwendet. Der m2 (dex. gespiegelt) stammt von dem Individuum USGS 7235 aus 591m. Der prozentuale Anteil der Phase I beträgt 59,7%, der für Phase II 40,3%.

4.46 Dreiecksdiagramm, 3D-Index, OFA- und OPC-Diagramm bilophodonte Molaren

Ergebnisse Dreiecksdiagramm bilophodonte Primaten und Outgroup

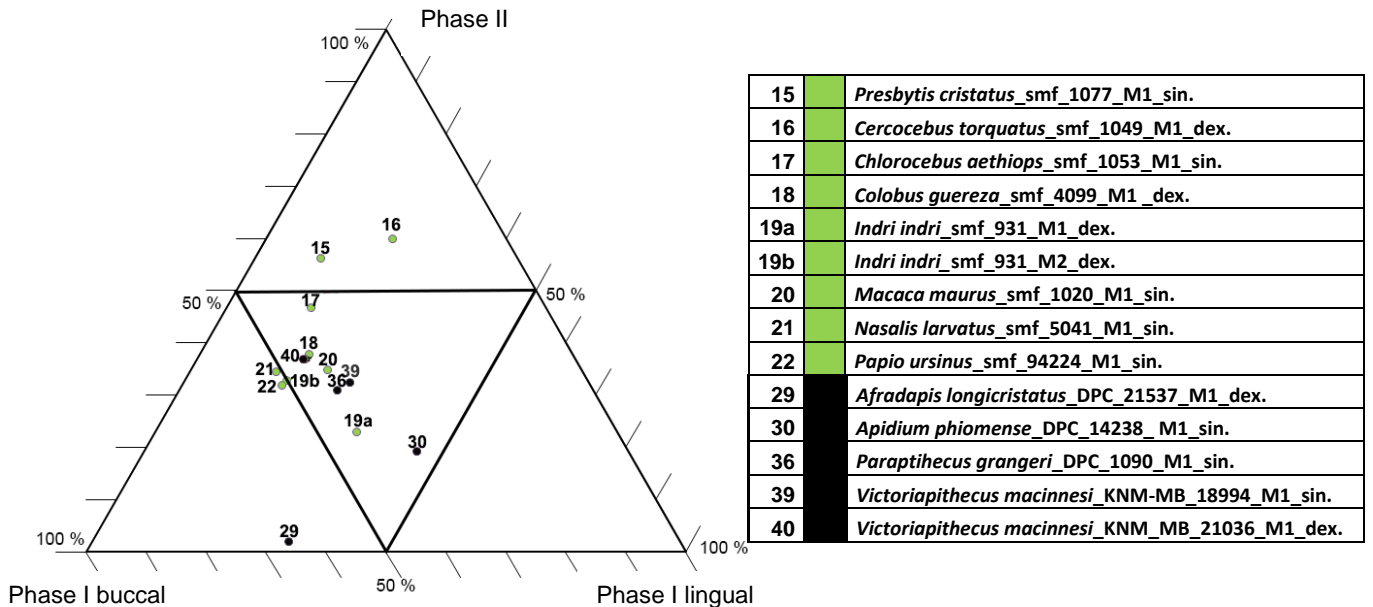


Abb. 4.46.a: Dreiecksdiagramm des prozentualen Flächenanteils der Phasen I buccal und lingual und Phase II der M1. Tabelle der untersuchten fossilen und rezenten Primaten (grün = rezent, schwarz = fossil)

Bei den meisten untersuchten bilophodonten Primatenmolaren liegt der Phase II Anteil zwischen 30% und 40% und der linguale Phase I Anteil zwischen 15% und 30%. Der Hauptteil der buccalen Phase I befindet sich zwischen 35% und 55%. Der folivore *Presbytis cristatus* (15) und der omnivore *Cercocebus torquatus* (16) haben einen Anteil von über 50% der Phase II auf den untersuchten M1. Knapp unter 50% Phase II Anteil hat *Chlorocebus aethiops* (17). Von den beiden basalen Cercopithecoidea (nach Simons, 1974 und Kay, 1977) plottet *Parapithecus grangeri* (36) bei den rezenten Primaten *Indri indri* (19b = M2), *Macaca maurus* (20) und den fossilen Primaten *Victoriapithecus macinnesi* (39 und 40). *Apidium phiomense* (30) hat dagegen einen viel stärkeren linguale Phase I Anteil von 45,5%. Auffällig ist, dass der M1 von *Afradapis longicristatus* (29) nur knappe 2 % Phase II Anteil besitzt, dafür nimmt die buccale Phase I über 65% ein. *Nasalis narvatus* (21) und *Papio ursinus* (22) belegen etwas über 50% der buccalen Phase I Fläche und unter 17% der linguale Phase I Fläche. Der M2 des *Indri indri* (19b) besitzt exakt 50% buccalen Phase I Anteil. Legt man die Nahrungspräferenz zu Grunde, lässt sich kein Trend feststellen, wie in Abb. 4.46.b zu sehen ist.

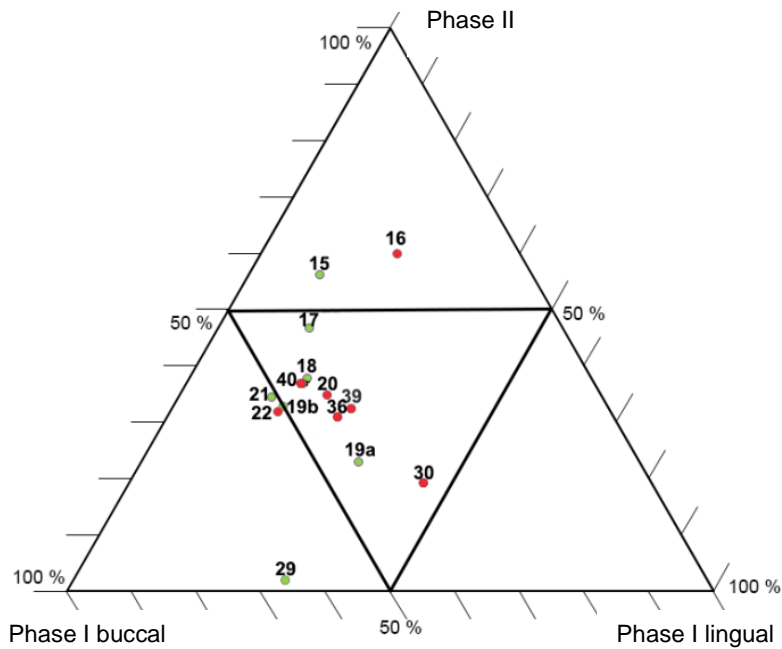


Abb. 4.46.b: Dreiecksdiagramm des prozentualen Flächenanteils der Phasen I buccal und lingual und Phase II der M1 nach Nahrungspräferenz (rot = frugivor, grün = folivor)

Ergebnisse 3D-Index bilophodonte Primaten und Outgroup

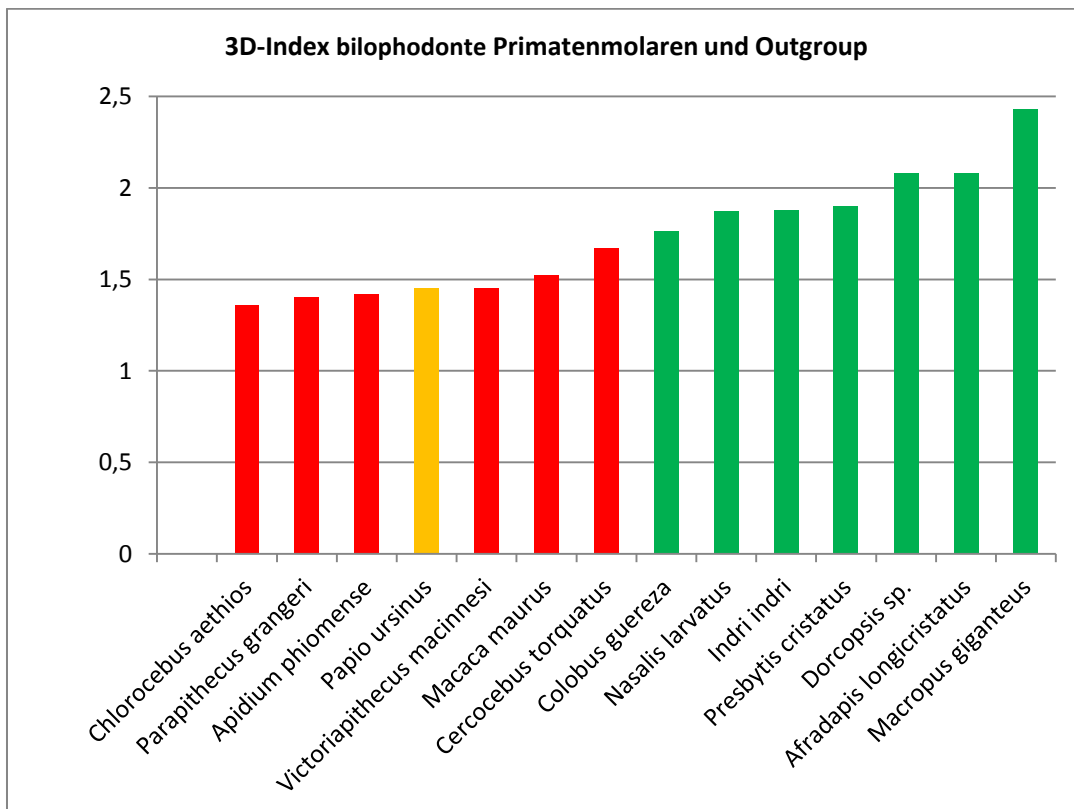


Abb. 4.46.c: 3D-Index der bilophodonten Primaten und Outgroup nach Nahrungspräferenz. Rot = frugivor, orange = omnivor, grün = folivor

Der 3D-Index für die bilophodonten Primaten zeigt eine eindeutige Trennung zwischen den folivoren (grün) und frugivoren (rot) Primaten. Uliass hat bereits 2006 einen deutlich

höheren Reliefindex an colobinen Molaren beschrieben, der auch bei fortschreitender Abnutzung bestehen bleibt. Die colobinen Primaten ernähren sich bevorzugt folivor. Der Mittelwert des 3D-Indices für die primär frugivoren Primaten beträgt 1,47 und für die folivoren 1,99.

Afradapis longicristatus hat unter den Primaten den höchsten 3D-Index mit 2,8. *Macropus giganteus* und *Dorcopsis* sp. gehören zur Outgroup und haben ebenso einen sehr hohen Wert. Beide zeigen stark ausgeprägte Querlophen mit klingenförmigen schmalen Schneidkanten, die durch eine Mitteloppe miteinander verbunden sind. Bei *Macropus* ist die Mitteloppe noch stärker ausgeprägt, deshalb liegt hier der Wert noch höher. Der Quotient der drei Primaten *Nasalis*, *Indri* und *Presbytis* liegt von 1,87 bis 1,9 relativ hoch und auch etwa gleich. Alle drei sind durch hohe Höcker gekennzeichnet und haben steile Scherkanten. Auf der Okklusalfäche des M1 von *Indri indri* ist noch der zusätzliche Paraconulus ausgebildet und die beiden Colobinae haben dominante Querlophen, die den Quotienten hoch ansetzen. *Colobus guereza* hat einen etwas geringeren Wert, da hier die anteriore und posteriore Fovea nicht so stark von den mesialen und distalen Cristae eingerahmt sind, wie z.B. bei *Presbytis*.

Die Grenze verläuft zwischen dem folivoren Primaten *Colobus guereza* (1,75) und dem als primär frugivor eingestuftem *Cercocebus torquatus* (1,67), der u.a. sehr hartschalige Kost zu sich nimmt. Die beiden oligozänen Primaten *Parapithecus* und *Apidium* liegen mit 1,4 und 1,42 im Bereich der Primaten mit einer flachen Kronenmorphologie.

Ergebnisse der prozentualen Verteilung der Phase I und der Phase II aus den OFA-Projekten

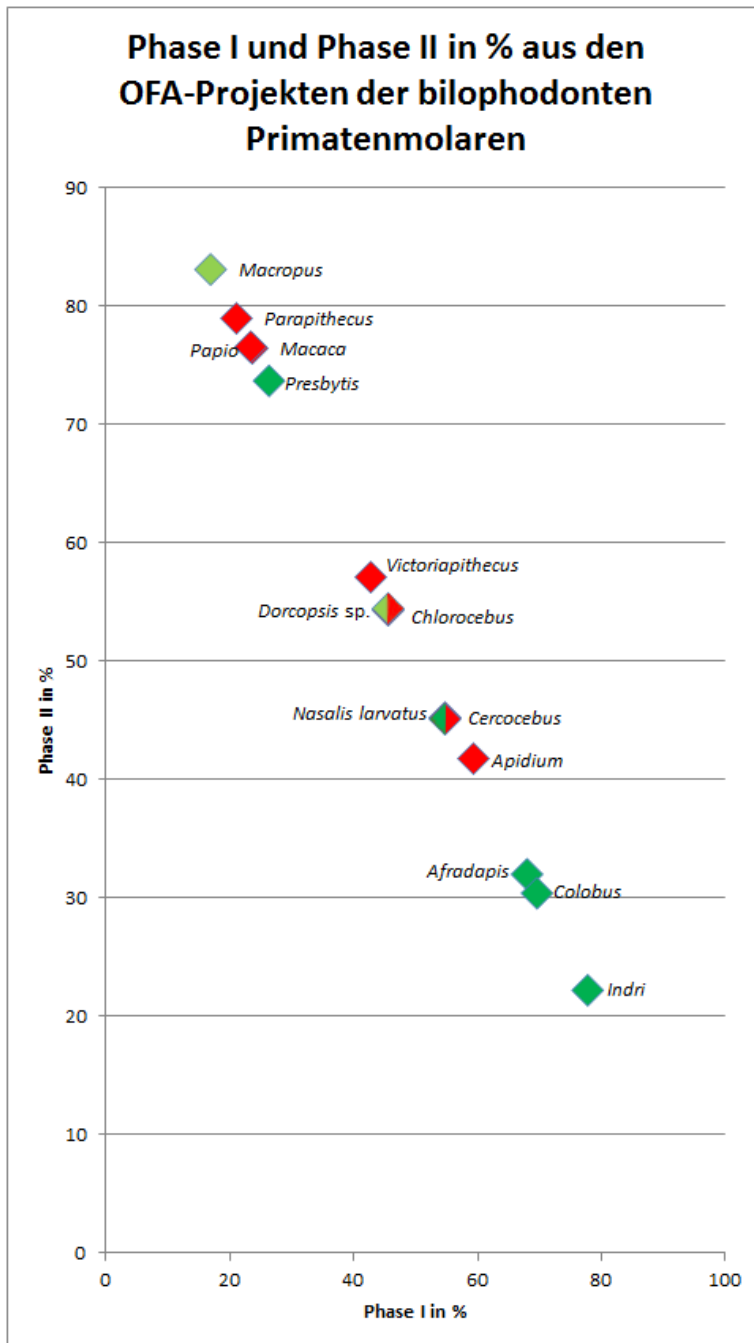


Abb. 4.46.d: Diagramm der Phase I und der Phase II in Prozent aus den OFA-Projekten.
(Hellgrün = folivore Outgroup, grün = folivor, rot = frugivor)

In Abb. 4.46.d ist die prozentuale Verteilung der Phasen I und II aus den OFA-Diagrammen zu sehen. Die primär frugivoren Primaten haben einen Anteil der Phase II von über 40%, angefangen bei *Apidium phiomense*, bis 80% bei *Parapithecus grangeri*. Weniger als 40% der Flächennutzung, die der Phase II zugehörig ist, findet sich bei den folivoren Primaten *Colobus guereza*, dem Lemuren *Indri indri* und dem fossilen *Afradapis longicristatus*. Zwischen 40% und 80% überschneiden sich die folivoren und die frugivoren Primaten. *Macropus* mit über 80% Phase II Anteil gehört zur Outgroup.

Ergebnisse der OPC-Analyse für die bilophodonten Primatenmolaren und die Outgroup

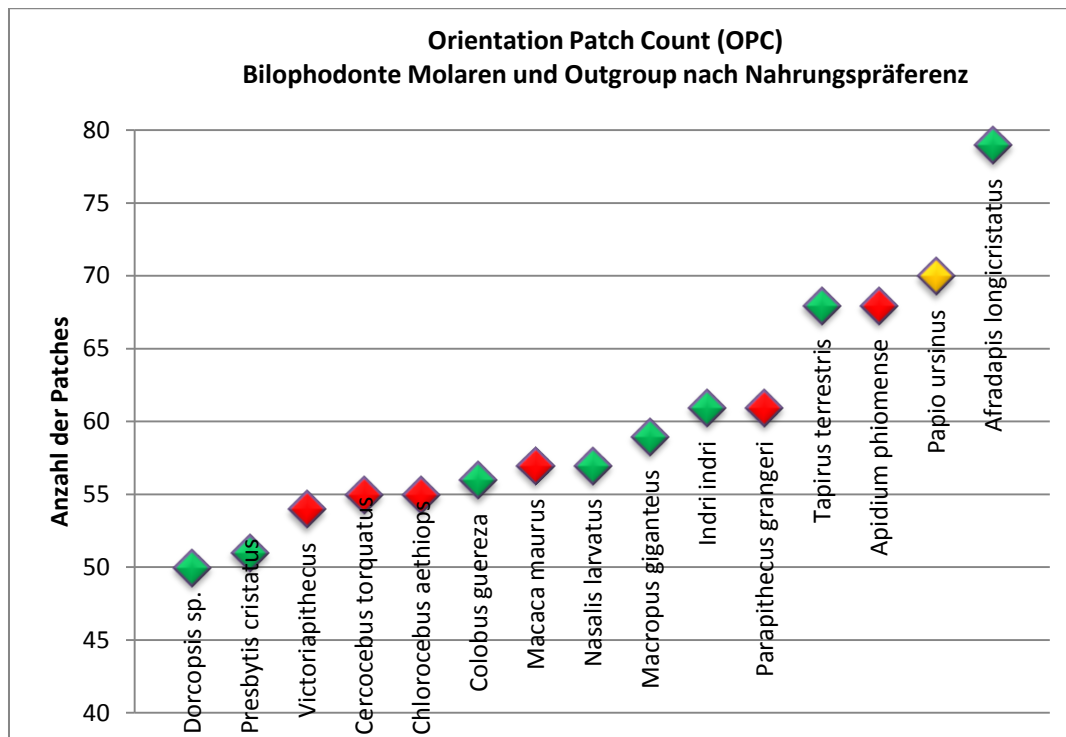


Abb. 4.46.e: OPC der bilophodonten Primatenmolaren und Outgroup nach Nahrungspräferenz. Grün = folivor, rot = frugivor, orange = omnivor

Unter den bilophodonten Molaren besteht bei *Afradapis longicristatus* die höchste Komplexität. In der Abb. 4.46.e ist ein M2 mit 79 Patches aufgetragen, der M1 hat 73 Patches, ist aber nicht dargestellt. *Tapirus terrestris* gehört zur Outgroup und hat mit *Apidium phiomense* 68 Patches, *Papio ursinus* 70. Die meisten bilophodonten Molaren plotten zwischen 50 und 59. *Indri indri* und *Parapithecus grangeri* haben beide 61 Patches. In der Abb. 4.46.e ist zu sehen, dass es keinen Trend der Komplexität bezüglich der Nahrungspräferenz gibt. Die OPC-Methode zeigt unter den bilophodonten Primaten keine eindeutige Differenzierung.

4.47 Dreiecksdiagramm, 3D-Index, OFA- und OPC-Diagramm der dryopithecinen Molaren

Ergebnisse Dreiecksdiagramm dryopithecines Molarenmuster

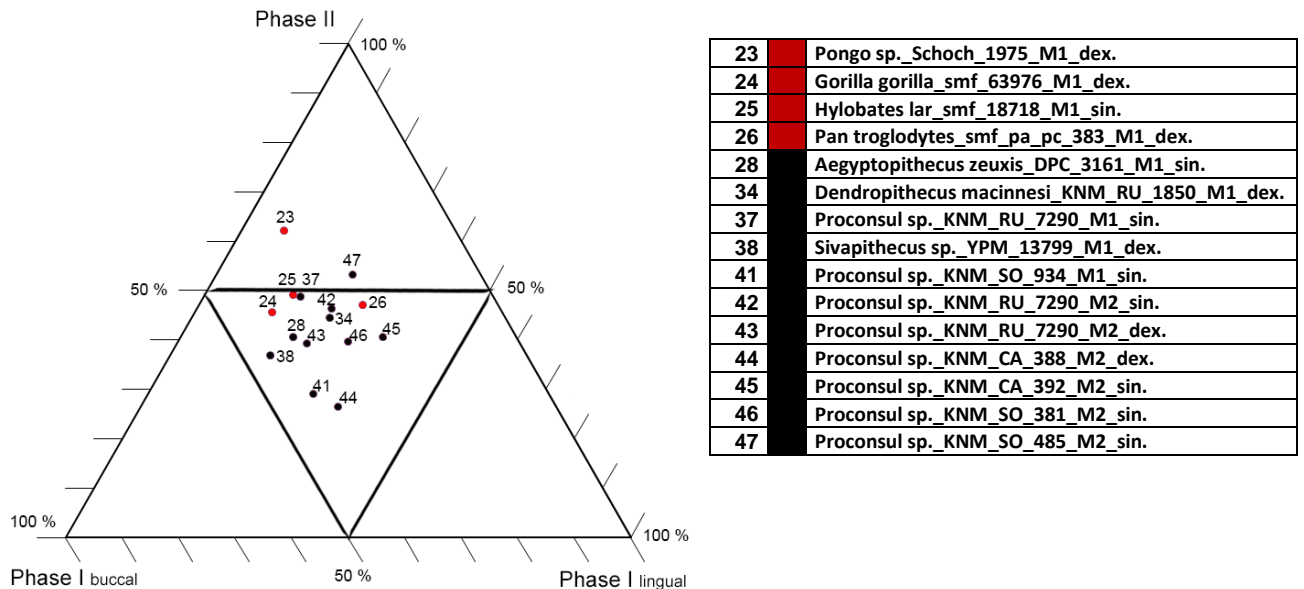


Abb. 4.47.a: Dreiecksdiagramm des prozentualen Flächenanteils der Phasen I buccal und lingual und Phase II der M1 der in der folgenden Tabelle angegebenen fossilen und rezenten Primaten (rot = rezent, schwarz = fossil)

Das Dreiecksdiagramm der dryopithecinen Primatenmolaren zeigt ein recht einheitliches Bild. Innerhalb der *Proconsul*-Gruppe wurden zum Vergleich acht Molaren hinzugefügt, wobei nur zwei davon M1 sind (37 und 41), alle anderen M2. Die Nummern 37, 42 und 43 stellen dasselbe Individuum dar. Innerhalb der *Proconsul*-Gruppe hat die (44) mit 26% den geringsten Phase II Anteil, den höchsten mit 53% hat die (47). *Pongo* (23) hat insgesamt den höchsten Phase II Anteil mit 62%, den geringsten unter den rezenten Primaten hat *Gorilla* (24) mit 45,6%. *Pongo* und *Gorilla* haben beide nur einen Anteil von unter 14% der lingualen Phase I. Der buccale Phase I Anteil ist bei *Gorilla* am höchsten mit 40,6%, der Hauptanteil der Phase I unter den untersuchten Primaten liegt zwischen 45,4 bei *Sivapithecus* (38) und 22,6% bei *Proconsul* (47). Insgesamt zeigt die *Proconsul*-Gruppe und auch *Sivapithecus* (38) einen geringeren Phase II Anteil als die M1 der rezenten Gruppe, was aber nur als Trend zu sehen ist, da es statistisch nicht signifikant ist. Die linguale Phase I ist unter der fossilen Gruppe mit Ausnahme von *Pan troglodyte* auch höher als die der rezenten Gruppe.

3D-Index des dryopithecinen Molarenmusters

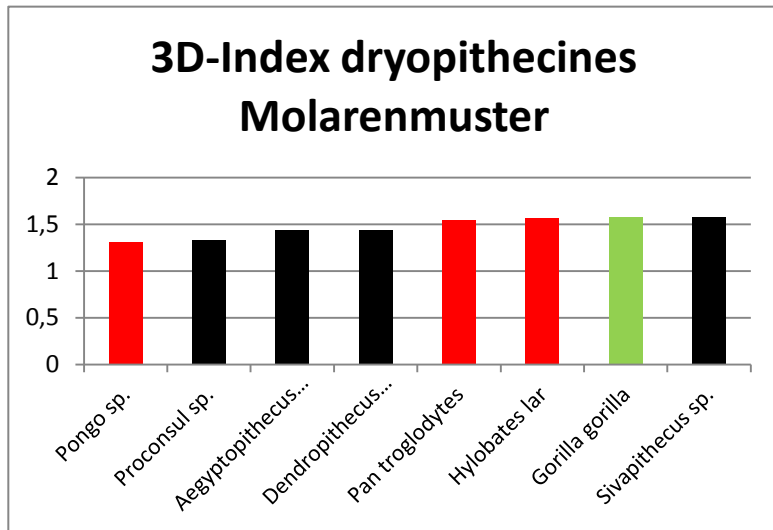


Abb. 4.47.b: 3D-Index der Molaren mit dryopithecinen Höckermuster. Rot = vorwiegend frugivor, schwarz = fossil, grün = vorwiegend folivor

Wie in der Abb. 4.47.b zu sehen ist, gibt es keinen großen Unterschied in der Kronenreliefberechnung unter den untersuchten Primaten mit dryopithecinen Höckermuster. *Pongo sp.* hat mit 1,31 den niedrigsten Index, darauf folgt *Proconsul* mit 1,33. *Gorilla gorilla* und *Sivapithecus sp.* besitzen mit 1,58 den höchsten 3D-Index. Der *Gorilla* ist der einzige folivore unter den untersuchten Primaten mit hominoider Molarenstruktur und zeigt nur einen wenig höheren 3D-Index als seine rezenten primär frugivoren Verwandten. Mit einem Wert von 1,58 fällt er, verglichen mit den bilophodonten Molaren, zwischen die beiden primär frugivoren *Macaca maurus* (1,52) und *Cercocebus torquatus* (1,67).

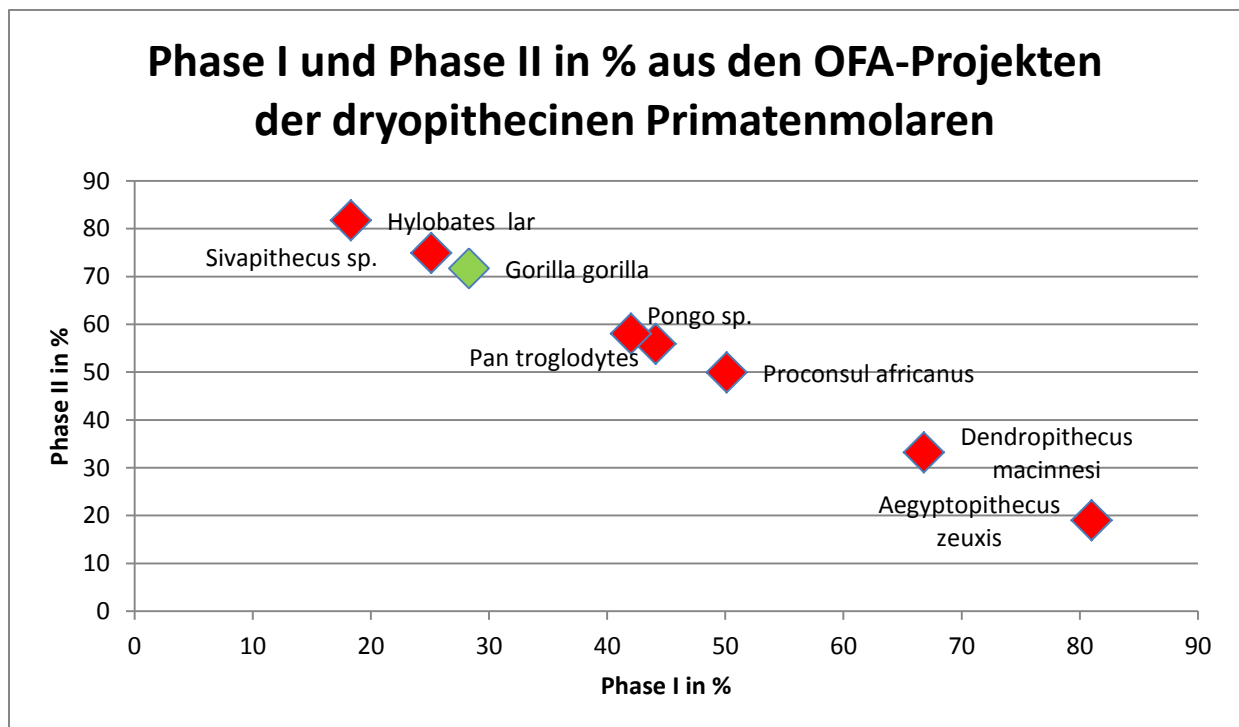


Abb. 4.47.c.: Diagramm der prozentualen Verteilung der Phasen I und II aus den OFA-Projekten der dryopitheconen Primatenmolaren. Rot = primär frugivor, grün = primär folivor

In der Abb. 4.47.c fällt auf, dass die M1 der fossilen Primaten *Aegyptopithecus zeuxis*, *Dendropithecus macinnesi* und *Proconsul africanus* einen höheren Phase I Anteil haben als die M1 der modernen Menschenaffen. Eine Ausnahme bildet der fossile Primat *Sivapithecus*, der 74,9% Phase II Anteil hat und mit *Hylobates lar* und *Gorilla gorilla* an der Spitze derer liegt, die im OFA-Projekt über 70% der Fläche für die Phase II aufwenden.

Ergebnisse OPC hominoides Molarenmuster

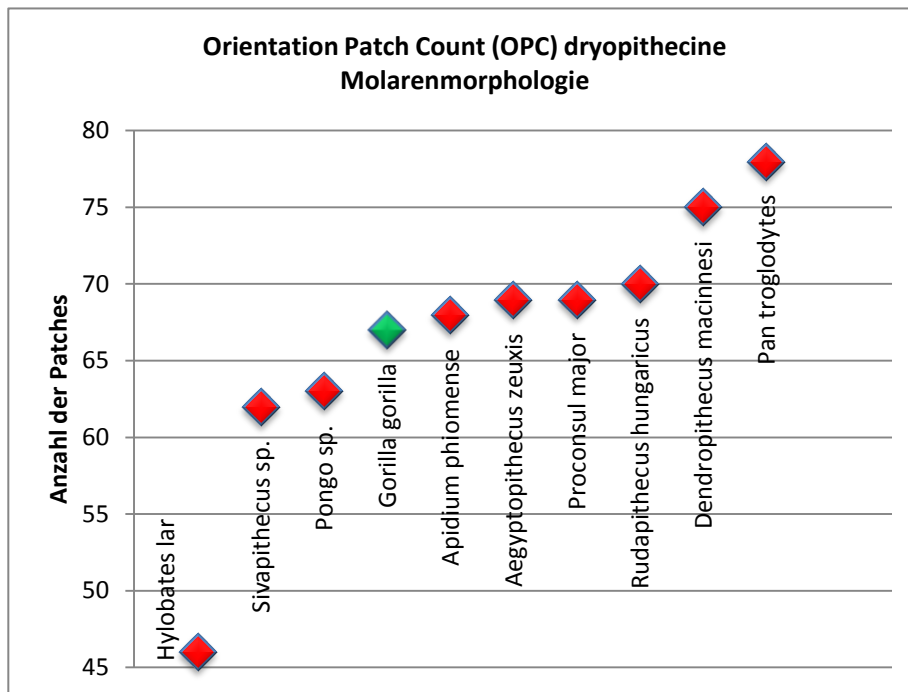


Abb. 4.47.d.: OPC der dryopithecinen Molaren nach Nahrungspräferenz. Rot = vorwiegend frugivor, grün = vorwiegend folivor

Der OPC zeigt für *Pan troglodytes* 78 Patches. Da der M1 von *Pan troglodytes* stark crenuliert ist, hat er einen entsprechend hohen Wert. *Dendropithecus macinnesi* hat ebenso starke Crenulierungen auf der Okklusionsfläche der Molaren und daher einen Wert von 75 Patches. *Hylobates lar* hat keine Schmelzfalten auf den Molarenoberflächen; die Zahnoberfläche ist relativ glatt und der Wert ist mit 46 Patches entsprechend niedrig. Von *Pongo sp.* sowie von *Sivapithecus sp.* ist bekannt, dass die Backenzähne starke Crenulierungen vorweisen, allerdings sind diese relativ schnell abgekaut, wie in den vorliegenden Fällen. *Pongo sp.* hat 63 und *Sivapithecus sp.* 62 Patches.

4.48 Dreiecksdiagramm Gesamtansicht

Die Abbildung 4.48.a zeigt die Verteilung der buccalen und lingualen Phase I, sowie der Phase II in Prozent. Von den untersuchten Gruppen wurden die rezent vorkommenden Individuen der hominoiden Gruppe rot markiert, die rezent bilophodonten Primatenmolaren sind grün, die Prosimiae blau und die fossilen Primaten schwarz markiert. Um die fossilen Primaten besser einordnen zu können, wurden die ausgestorbenen Gattungen *Proconsul* und *Sivapithecus*, wie die modernen Menschenaffen rot einfärbt, *Victoriapithecus* grün, wie die rezenten bilophodonten Primaten. Daraus ergibt sich die Abbildung 4.48.b.

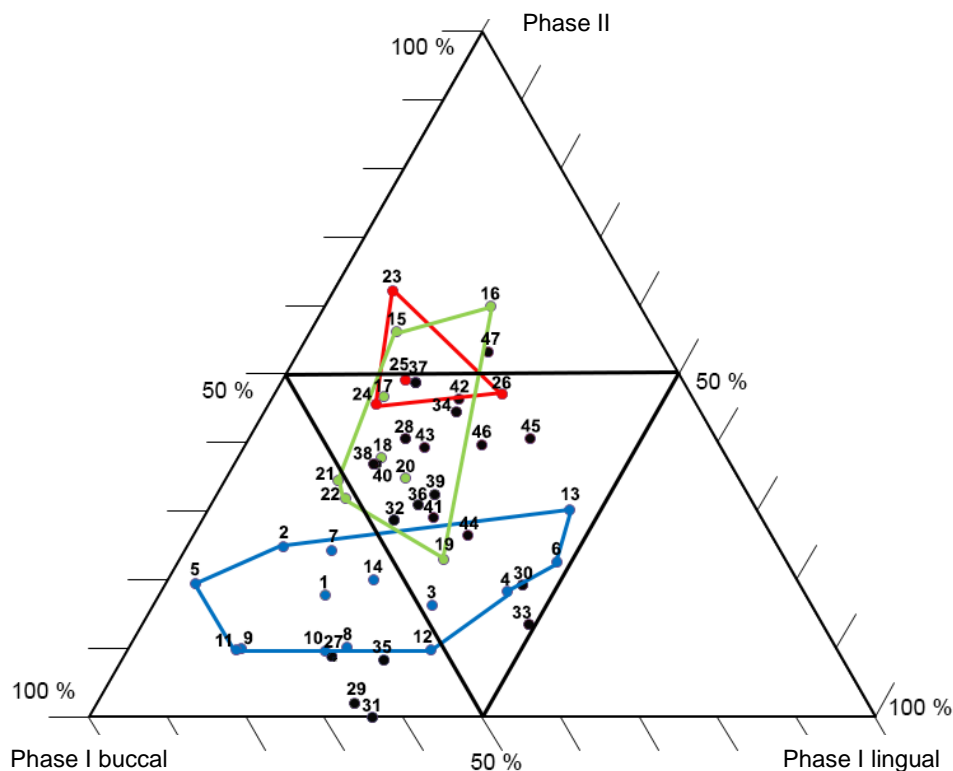


Abb. 4.48.a: Dreiecksdiagramm aller untersuchter Primaten. Von *Cantius* sp. wurden nur 2 Individuen, jeweils aus Level 1 und Level 3 ausgewählt. Die folgende Tabelle ist der Schlüssel zur Nummerierung und Farbgebung:

1	<i>Tupaja glis</i> smf pa gu 861_M1_dex.
2	<i>Cheirogaleus major</i> smf 73562_M1_dex.
3	<i>Galago demidovii</i> smf 73560_M1_sin.
4	<i>Galago senegalensis</i> smf 32751_M1_dex.
5	<i>Hapalemur</i> sp. smf 34722_M1_sin.
6	<i>Lemur catta</i> smf 19089
7	<i>Lemur mongoz</i> smf 2546_M1_sin.
8	<i>Lemur variegatus</i> smf 34723_M1_dex.
9	<i>Lepilemur mustelinus</i> smf 34717_M1_sin.
10	<i>Loris tardigradus</i> smf 3218_M1_sin.
11	<i>Microcebus murinus</i> smf 34590_M1_dex.
12	<i>Otolemur crassicaudatus</i> smf 44754_M1_sin.
13	<i>Perodicticus potta</i> smf 59373_M1_sin.
14	<i>Tarsius syrichta</i> smf 94285_M1_dex.

23	<i>Pongo</i> sp. Schoch_1975_M1_dex.
24	<i>Gorilla gorilla</i> smf 63976_M1_dex.
25	<i>Hylobates lar</i> smf 18718_M1_sin.
26	<i>Pan troglodytes</i> smf pa_pc 383_M1_dex.

27	<i>Absarokius abbotti</i> DPC_2977
28	<i>Aegyptopithecus zeuxis</i> DPC_3161_M1_sin.
29	<i>Afradapis longicristatus</i> DPC_21537_M1_dex.
30	<i>Apidium spec</i> DPC_14238_M1_sin.
31	<i>Cantius</i> sp. 34m USGS_4689_M1_dex.
32	<i>Cantius</i> sp. 521m USGS_7860_M1_sin.
33	<i>Catopithecus browni</i> DPC_11594_M1_sin.
34	<i>Dendropithecus</i> sp. KNM_RU_1850_M1_dex.
35	<i>Palenochtha minor</i> USNM_9590_M1_sin.
36	<i>Paraptithecus grangeri</i> DPC_1090_M1_sin.

15	<i>Presbytis cristatus_smf_1077_M1_sin.</i>
16	<i>Cercocebus torquatus_smf_1049_M1_dex.</i>
17	<i>Chlorocebus aethiops_smf_1053_M1_sin.</i>
18	<i>Colobus guereza_smf_4099_M1_dex.</i>
19	<i>Indri indri_smf_931_M1_dex.</i>
20	<i>Macaca maurus_smf_1020_M1_sin.</i>
21	<i>Nasalis larvatus_smf_5041_M1_sin.</i>
22	<i>Papio ursinus_smf_94224_M1_sin.</i>

37	<i>Proconsul africanus_KNM_RU_7290_M1_sin.</i>
38	<i>Sivapithecus sp._YPM_13799_M1_dex.</i>
39	<i>Victoriapithecus_KNM-MB_18994_M1_sin.</i>
40	<i>Victoriapithecus_KNM_MB_21036_M1_dex.</i>
41	<i>Proconsul sp._KNM_SO_934_M1_sin.</i>
42	<i>Proconsul sp._KNM_RU_7290_M2_sin.</i>
43	<i>Proconsul sp._KNM_RU_7290_M2_dex.</i>
44	<i>Proconsul sp._KNM_CA_388_M2_dex.</i>
45	<i>Proconsul sp._KNM_CA_392_M2_sin.</i>
46	<i>Proconsul sp._KNM_SO_381_M2_sin.</i>
47	<i>Proconsul sp._KNM_SO_485_M2_sin.</i>

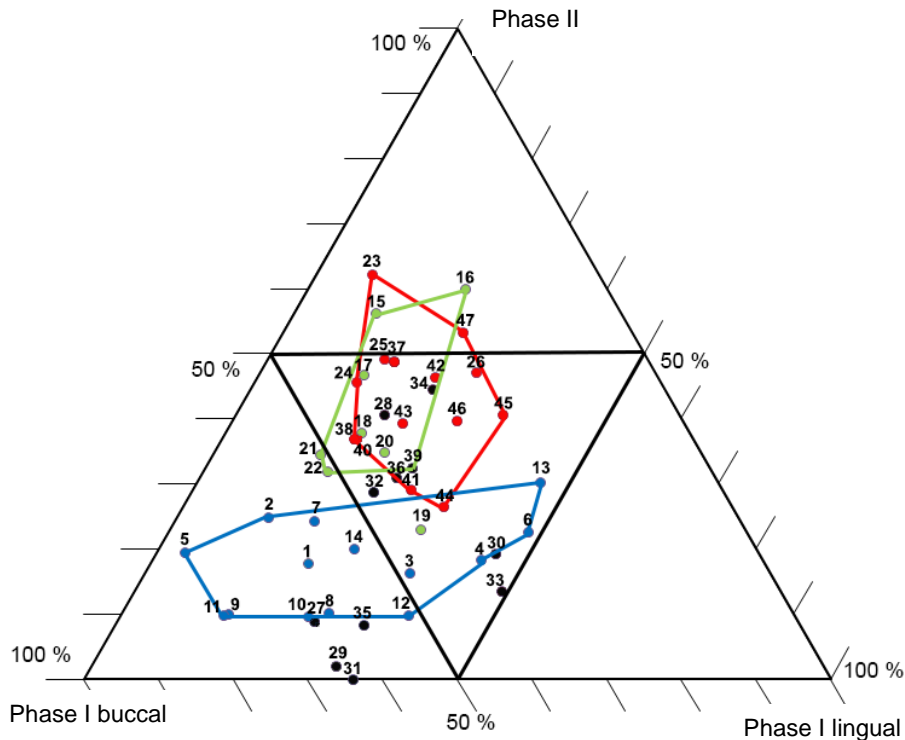


Abb. 4.48.b: Dreiecksdiagramm aller untersuchter Primaten.
 Grün = rezente bilophodonte Molaren, rot = rezente hominoide Molaren + *Proconsul*,
 blau = rezente Prosimiae,
 schwarz = Molaren von fossilen Primaten außer *Proconsul* und *Sivapithecus*

In der Abbildung 4.48.b ist zu erkennen, dass sich die dryopithecinen und die bilophodonten Molaren stark überlappen, wenn man die prozentuale Verteilung der Phasen analysiert. Die Molaren der rezenten Prosimiae grenzen sich statistisch signifikant davon ab (Tab. 9.6.h, S. 220). Über 50% buccale Phase I zeigt sich fast ausschließlich bei den untersuchten Prosimiae. Es gibt zwei Ausnahmen, die zu den bilophodonten Molarenformen gehören: *Nasalis larvatus* (21) mit 50,95% und *Papio ursinus* (22) mit 51,38%, die somit beide nur sehr knapp über 50% liegen. Dafür zeigen beide, verglichen mit allen untersuchten Strepsirrhinen, einen höheren Phase II Anteil.

Der untersuchte M1 des *Indri indri* (19) fällt eindeutig in den Bereich der Strepsirrhini und nicht in den Bereich der bilophodonten Molaren. Die beiden analysierten Molaren von *Victoriapithecus macinnesi* (39+40) passen dagegen in das bilophodonte Muster.

Keiner der hier untersuchten Molaren besitzt einen über 50%igen Anteil der lingualen Phase I. Die Molaren, mit dem höchsten Anteil an der lingualen Phase I, gehören zu den beiden fossilen Primaten *Apidium phiomense* (30) mit 45,5% und *Catopithecus browni* (33) mit 49,2%. Von den rezenten Strepsirrhini haben *Galago senegalensis* (4) einen 44,09%igen, *Perodicticus potto* (13) einen 45,95%igen und *Lemur catta* (6) einen 48,32%igen Anteil an der lingualen Phase I. Bei den o.g. handelt es sich um primär frugivore Primaten, mit Ausnahme des stark insektivoren *Galago senegalensis*. *Galago demidovii* (3), der ebenfalls über 70% Insekten konsumiert, hat mit 35,58% einen deutlich weniger buccalen Phase I Anteil. Beide haben jedoch einen ähnlich geringen Anteil der Phase II Fläche.

Bei der Untersuchung der hier rot eingefärbten Proconsuldaten fällt auf, dass deren M1 und M2 eine stärkere linguale Phase I Komponente haben als die untersuchten rezenten *Pongo* sp. (23) mit 7,5%, *Gorilla gorilla* (24) mit 13,8% und *Hylobates lar* (25) mit 15,7%. *Pan troglodytes* (26) fügt sich mit 29% Flächenanteil an der lingualen Phase I in den Bereich der Proconsuldaten ein, die zwischen 23,05% (43) und 35,87% (45) liegen. *Sivapithecus* (38) hat mit 17,8% nur wenig mehr Anteil als *Hylobates lar*.

Eine gleichermaßen stark ausgeprägte Phase II zeigt sich sowohl bei dem hominoiden, als auch bei dem bilophodonten Höckermuster. *Pongo* sp. (23), der nach Geissmann (2003) primär frugivor ist, darunter aber auch Früchte mit harter Schale und harte Samen konsumiert, hat mit 62,2% die stärkste Phase II Komponente des M1 aller untersuchten Primaten. *Cercocebus torquatus* (16), der sich nach Geissmann (2003) auch von harten Nüssen und Schalen ernährt, folgt mit 59,96%. In der Untersuchung von Grine und Kay (1988) liegen *Cercocebus* und *Pongo* ebenso mit an der Spitze derer, bei denen nachweislich breite Abrasionsspuren der harten Nahrung auf der Zahnoberfläche entstanden sind.

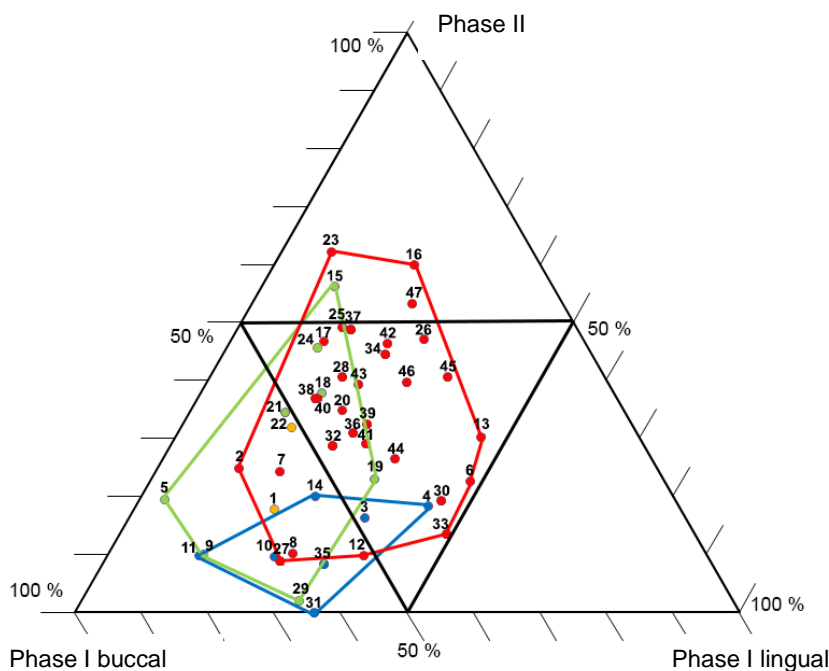


Abb.4.48.c: Dreiecksdiagramm der untersuchten M1 nach Nahrungspräferenz aus Literaturangaben. Rot = primär frugivor, grün = primär folivor, blau = primär insektivor, orange = omnivor

Wenn man (wie in Abb. 4.48.c) die Nahrungspräferenz zu Grunde legt, zeigt sich, dass primär insektivore Primaten gerade bis zu 20% Phase II Flächenanteil des M1 besitzen, wie hier bei *Tarsius syrichta* (14). Die linguale Phase I ist bei *Microcebus murinus* (11) am stärksten ausgeprägt. Vergleicht man das Ergebnis mit der Abb. 4.27.a (links), S. 94, stellt man fest, dass hier die buccalen Facetten sehr großflächig in Kontakt sind. *Microcebus murinus* nimmt neben Früchten auch einen relativ großen Anteil an Insekten zu sich (Maier 1980, Geissmann 2003).

Unter den folivoren Primaten haben die beiden Lemuren *Hapalemur* sp. (5) mit 76,74% und *Lepilemur mustelinus* (9) mit 75,66% den mit Abstand stärksten prozentualen buccalen Phase I Flächenanteil. Die Primaten mit einer insektivoren Nahrungspräferenz sind signifikant verschieden von den frugivoren, wie in Tab.9.6.i, S. 220, zu sehen ist.

5. Diskussion

5.1 Integration des Hypoconus - Funktionsweise und Evolution

„To understand evolution we need to know not only what changes have in fact taken place but also why these changes were of advantage in the functional life of the animal and have thus been selected“ (Butler 2000, S. 201). Was also ist die adaptive Bedeutung des evolutionären Wandels? Butler (2000) zieht für die dentale Adaption zwei Ebenen in Betracht: Zuerst werden die Zähne in ein Mastikationssystem integriert, wobei sich die Kiefer und die Muskulatur entsprechend einbinden. Danach wird das System als Anpassung an die funktionalen Anforderungen durch die Nahrungszerkleinerung modifiziert (Butler, 2000).

5.1.1 Die Hypoconusentwicklung am Beispiel *Cantius*

Die Entwicklung eines distolingualen Höckers des eozänen Primaten *Cantius* wurde bislang vor allem morphologisch beschrieben und nicht funktional erklärt.

Simons schreibt 1962, dass es bei *Cantius* kein Anzeichen für ein Hypoconus gibt, mit Ausnahme einer leichten Verdickung auf dem posterolingualen Teil des Protoconus-Cingulums. Gingerich und Simons veröffentlichten 1977, dass die Oberkiefermolaren von *Cantius* zwischen den biostratigrafischen Zonen Wasatchian 0 (WA0) und Wasatchian 7 (WA7) in der Größe zunehmen und sich ein Hypoconus entwickelt. Und Fleagle (1999) beschreibt die oberen Molaren von *Cantius* als einfach tritubercular unter den frühen Arten, aber die moderneren Arten, zumindest in Nordamerika, haben aus dem Postprotocingulum einen Hypoconus entwickelt. Chew (2005, 2009) hat sich mit der Palaeoökologie der Säugetierfauna im Bighorn Basin in Wyoming befasst, der Lokalität, die für die meisten Funde von *Cantius* Fossilien bekannt ist. Die Sedimente der ersten 3 Millionen Jahre des frühen Eozäns der sogenannten Willwood Säugetierfauna aus dem Bighorn Basin wurden umfassend studiert. Dabei wurde festgestellt, dass durch starke Temperaturschwankungen in dieser Zeit zwei Massenaussterben stattgefunden haben. Da *Cantius* aber in den untersuchten 3 Millionen Jahren belegt ist, muss er sich erfolgreich an veränderte Umweltbedingungen adaptiert haben. Die Größenzunahme der Molaren und die Entwicklung eines Hypoconus belegen eine Ernährungsanpassung.

Anhand der untersuchten Oberkiefermolaren lässt sich mittels der Oriana-Diagramme (Kap. 4.42.) eine spezifische Veränderung in der Molarenfunktion durch die untersuchten stratigrafischen Levels darstellen. Die lateroprotrusiven (LPT), die lateroretrusiven (LRT) und die mediotrusiven (MT) Kontaktfacetten weisen zwar in allen Levels die gleiche

Richtungsverteilung auf, somit unterscheiden sich die Facettenorientierungen der *Cantius*-Molaren aus älteren stratigraphischen Schichten nicht von denen aus jüngeren stratigraphischen Niveaus. Dennoch hat sich in dieser Zeit zwischen Level 1 und Level 3 ein Hypoconus entwickelt, der offensichtlich keinen direkten Einfluß auf die okklusale Bewegungsrichtung hat, aber durch die morphologische Veränderung eine funktionale Anpassung bedingt. Die Facette F1_3_5 auf den Oberkiefermolaren besitzt keine spezifische Hauptrichtung, sondern kann in beliebige Richtungen geneigt sein. In der Abbildung 4.42.a (links, Level 1 M1) sieht man, dass die F1_3_5 beispielsweise in dieselbe Richtung wie die Phase II-Facette 9 (rot schraffiert) orientiert ist. Bei *Cantius* nimmt die F1_3_5 nur einen kleinen Teil auf dem Paraconulus ein. Da diese Facette fast horizontal liegt, kann sie mit ihrer Durchschnittnigung in alle Richtungen leicht gekippt sein, ohne die Kauichtung entscheidend zu beeinflussen. Auffällig ist, dass in den M2 aus Level 3 keine F1_3_5 mehr vorhanden ist. Dies erklärt sich im Folgenden im Vergleich mit den Unterkiefermolaren: Bei den untersuchten ersten und zweiten Unterkiefermolaren von *Cantius* zeigen sich die gleichen Verteilungen der LPT, LRT und MT-Facetten. Es gibt keine Veränderungen von frühen zu moderneren Individuen, was die Lage der Facetten mit und ohne Hypoconus anbelangt. Im Gegensatz zu den Oberkiefermolaren sieht man hier deutlich eine bevorzugte Neigungsrichtung der F1_3_5 nach buccodistal zwischen 90° und 150°. Der Grund hierfür ist, dass die Facette nicht so flach gelegen ist wie an den Oberkiefermolaren. Beim Eingleiten während der Phase I, stoppt das Metaconid am Paraconulus und der Paraconulus rutscht entlang des buccalen Metaconidabhangs in die Zentrische Okklusion. Dadurch wird im Oberkiefer die F1_3_5 nur als kleine, flache horizontale Kontaktfläche auf dem Paraconulus ausgebildet, während die antagonistische Facette auf dem Unterkiefermolaren sich von der Metaconidspitze bis zur Einkerbung zwischen Hypoconid und Protoconid ausdehnen kann (Abb. 5.1.1.a).

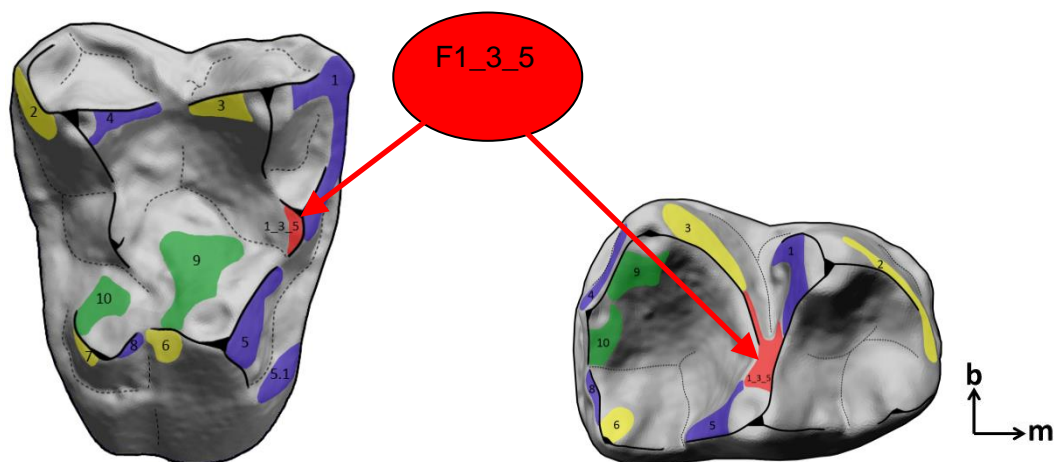


Abb.: 5.1.1.a: Lage der Facette F1_3_5 (rot markiert) auf M1 (links) und m1 von *Cantius*

Die Auswertung der Facettenrichtung der *Cantius* Unterkiefermolaren ergab, dass in dem ältesten untersuchten Level 1 (Abb. 4.42.d, rechts, Level 1 m2) und im moderneren Level 3 (Abb. 4.42.f, rechts, Level 3 m2) keine F1_3_5 auf den m2 vorhanden ist. Insgesamt konnte festgestellt werden, dass sich F1_3_5 auf den oberen und unteren zweiten Molaren von den älteren stratigraphischen Schichten zu den jüngeren stratigraphischen Schichten in ihrer Häufigkeit reduziert. Dass in Level 1 die F1_3_5 auf dem m2 fehlt, liegt aber nicht daran, dass sie in diesem Level nicht vorkommt. Verglichen mit den Oberkiefermolaren, zeigt das Oriana-Diagramm der M2 aus dem Level 1, dass die F1_3_5 vorhanden ist. Da es sich aber bei den meisten der untersuchten Zähne nicht um assoziierte Ober- und Unterkiefermolaren handelt, wird es als Zufall angesehen, dass unter der Stichprobe der m2 aus Level 1 keine F1_3_5 vorhanden ist. Die Ergebnisse aus Level 3 M2 und Level 3 m2 dagegen zeigen, dass die F1_3_5 in den jüngeren stratigraphischen Schichten bei den zweiten Molaren nicht mehr vorkommt. Durch die Bildung und Vergrößerung eines Hypoconus hat auch an den antagonistischen Unterkiefermolaren eine Funktionsänderung stattgefunden. Das Paraconid am m2 hat sich weiter nach lingual verschoben, bis es bei einigen Individuen komplett reduziert wurde, wie am Beispiel USGS 23687 m2 in der Abb. 5.1.1.b zu sehen ist. Die beiden Höcker Protoconid und Metaconid haben sich am m2 annähernd in buccolingualer Richtung parallelisiert. Dadurch ist der nach buccal geneigte Abhang am Metaconid verschwunden und somit auch die Facette 1_3_5, die gegen diesen Abhang abscherte (Pfeil). F1 und F5 haben sich dadurch zu einer durchgängigen Schneidkante vergrößert (Abb. 5.1.1.b rechts, blaue Linie).

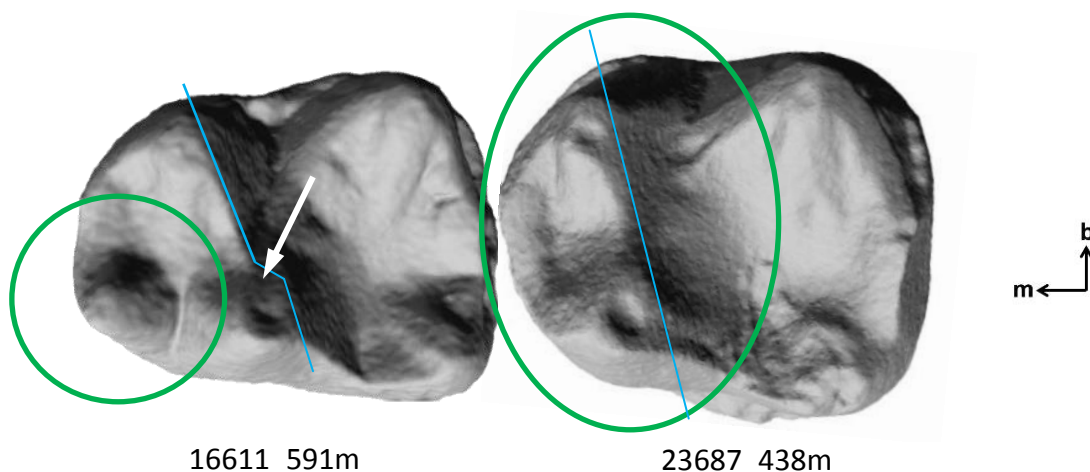


Abb. 5.1.1.b: Rechte Unterkiefermolaren von *Cantius* sp. m1 und m2 (v.l.n.r.). Die linke Abbildung zeigt den m1 mit Paraconid (grün eingekreist). In der rechten Abbildung ist zu sehen, dass sich das Paraconid dieses m2 reduziert hat. Grün eingekreist sind Metaconid (mesiolingual) und Protoconid (mesiobuccal). Die blaue Linie zeigt die transversale Scherkante der F1 und F5, die auf dem m1 noch versetzt ist und sich am m2 zu einer durchgängigen Schneidkante entwickelt hat. Der weiße Pfeil auf dem m1 markiert die Stelle der F1_3_5, die am m2 reduziert ist.

Der Hypoconus des M1 artikuliert mit dem distalen Teil des m1 und dem mesialen Teil des m2. Eine Umgestaltung der Strukturen am mesialen Teil des m1, wie sie gerade für den m2 beschrieben wurde, hat es am m1 nicht gegeben. Dort artikuliert der antagonistische Teil des P4, der keinen Hypoconus entwickelt hat. Somit ergibt sich auch keine Veränderung am m1 hinsichtlich des Paraconids und der F1_3_5. Die Morphologie des m1 bei *Cantius* hat sich in keiner der Schichten verändert. Es hat nur eine Größenzunahme stattgefunden. Die morphologische Eingliederung des Hypoconus am Gebiß von *Cantius* muss mit der Ernährungsweise zusammenhängen. Über die Nahrungspräferenz gibt es in der Literatur unterschiedliche Angaben (Covert 1986, Gregory 1920, Jones et al. 2014). Gregory schreibt 1920 auf Seite 138: "The detailed characters of the wearing-facets of the upper molars, as well as the general form of the whole dentition, indicate that in this oldest and presumably most primitive member of the family *Pelycodus ralstoni* (= *Cantius ralstoni* nach Gingerich und Haskin 1981) the motion of the mandible was more vertical and less transverse than in the later species; also that the small wide molars with fewer cusps gave relatively greater piercing power and less grinding and cutting action; this in turn suggests that the ancestral Notharctinae were probably insectivorous, a conclusion that is supported by considerable collateral evidence."

Covert (1986, 1995) bezeichnet die frühen Arten von *Cantius* als überwiegend frugivor und die späteren Arten als wahrscheinlich folivor. Da *Cantius* die oben erwähnte Temperaturänderung überlebt hat, wird er seine Nahrung entsprechend der damit einhergegangenen Umweltänderungen angepasst haben. Studien von Blattrandanalysen (Wing et al. 1991) und Sauerstoff-Isotopen-Verhältnissen von Hämatit-Knollen (Bao et al. 1999) wurden zur Klimarekonstruktion des Bighorn Basin herangezogen. Beide Studien kommen zu dem Ergebnis, dass sich die durchschnittliche Jahrestemperatur im WA3 um 5-8°C abgekühlt hat und am Ende des WA4 wieder angestiegen ist (Abb. 5.1.1.c, links). Die funktionale Molarenmorphologie der frühen *Cantius* Arten zeigt im Vergleich mit rezenten Prosimiae, dass *Cantius* aus Level 1 sicher mehr Insekten konsumiert hat als *Cantius* aus Level 3. Die modernen insektivoren Strepsirrhini besitzen alle einen spitzen Hypoconus, mit dem sie den Chitinpanzer von Insekten perforieren können. *Cantius* aus Level 1 hat im Gegensatz dazu nur den Protoconus als Perforationsspitze entwickelt. Vergleicht man die Ergebnisse der prozentualen Phasenverteilung von *Cantius* aus Level 1 mit denen moderner insektivorer Strepsirrhini, stellt man fest, dass sowohl *Cantius* als auch die Vergleichsgruppe unter 20% Phase II Anteil hat.

Die OFA-Auswertung, die in Abb. 4.44.d dargestellt ist, zeigt, dass *Cantius_34m* 25,4% Phase II Anteil hat, *Cantius_521m* dagegen 40,3%. Typische insektivore Strepsirrhini bewegen sich zwischen 9% (*Microcebus murinus*) und 1,9% (*Loris tardigradus*). Der insektivore *Tarsius syrichta* hat 31%, gehört aber zu den Haplorrhini. Betrachtet man

zusätzlich den 3D-Index (Abb. 4.44.b und 4.44.c), so kann man *Cantius* aus Level 1 eindeutig den insektivoren Arten zuordnen.

Vergleicht man zusätzlich die Neigungswinkel der buccalen Phase I-Facetten von *Cantius* und modernen folivoren Strepsirrhini, fällt auf, dass die modernen folivoren *Hapalemur* und *Lepilemur* etwas flachere Neigungswinkel der Facetten zeigen. Trotzdem ist die Verzahnung der oberen und unteren buccalen Phase I-Facetten von *Cantius* den modernen folivoren Strepsirrhini sehr ähnlich. Die Facetten sind ähnlich schmal und mit ihren scharfen Klingen zur schneidenden Zerkleinerung von Blattnahrung gut geeignet. Innerhalb der *Cantius*-Gruppe sind die Neigungswinkel der buccalen Phase I-Facetten in den Levels 1, 2 und 3 gleich steil geblieben.

Vergleicht man die Facetten von *Hapalemur* und *Lepilemur* (Abb. 5.1.2.c, S.152) mit dem des Level 1 *Cantius* (Abb. 4.5.a, rechts), überwiegt bei allen der buccale Phase I Anteil deutlich. Die buccalen Phase I-Facetten sind bei insektivoren Primaten als ähnlich funktionell anzusehen, wie bei Folivoren, auch wenn sie insgesamt steiler ausgeprägt sind. Daraus lässt sich schließen, dass die basalen *Cantius* Arten vermutlich tatsächlich einen höheren Insektenanteil konsumiert haben, als die Formen aus den späteren Level 3. Mit der Hypoconusentwicklung nimmt bei *Cantius* auch der Anteil der Phase II-Facetten deutlich zu. Dies weist darauf hin, dass hier eine Anpassung an eine quetschende Funktion stattgefunden hat, wie es sich typischerweise bei frugivoren Spezies zeigt. Die Molaren von *Cantius* nehmen insgesamt um bis zu 53% an Größe zu und der neue Hypoconushöcker ist auch nicht spitzhöckrig, wie bei modernen insektivoren Primaten, sondern flacher mit einer Vergrößerung der quetschenden Oberfläche (Abb. 5.1.1.c, Mitte oben).

Die Ergebnisse der 3D-Relief Messungen (Abb. 4.44.e) aller untersuchter *Cantius* Arten zeigen, dass sowohl bei den Oberkiefermolaren (links), als auch bei den Unterkiefermolaren (rechts) die jüngeren *Cantius* aus Level 3 ein geringer ausgeprägtes Relief besitzen, als die Stichprobe aus den älteren stratigraphischen Niveaus des Level 1. Vergleicht man *Cantius* mit *Microcebus murinus* und *Tarsius syrichta* in der Abb. 4.44.c hinsichtlich der Nahrungspräferenzen, so lassen auch hierbei die Ergebnisse vermuten, dass *Cantius* aus Level 1 mehr insektivor gewesen ist, als seine Nachfahren aus Level 3.

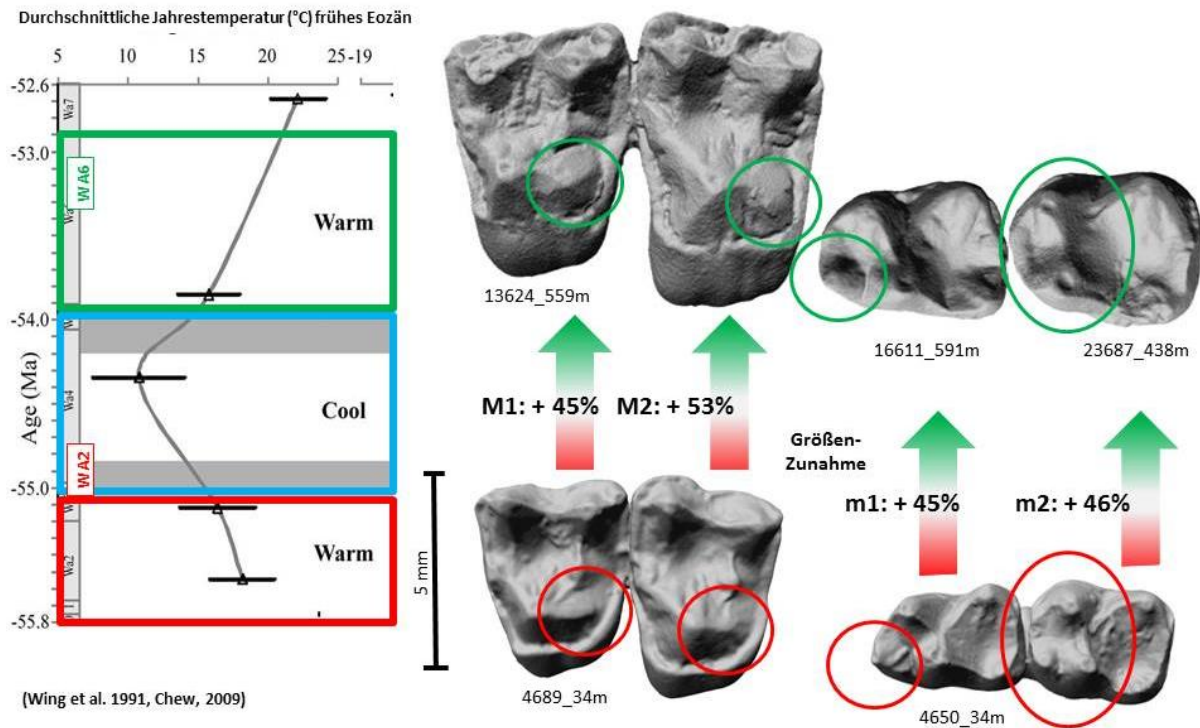


Abb. 5.1.1.c: Temperaturschwankungen im frühen Eozän (links) und Änderung der Molarenmorphologie von *Cantius* aus Level 1 (unten, Mitte und rechts) und aus Level 3 (oben, Mitte und rechts). Oberflächenzunahme in Prozent der Molaren, Hypoconusentwicklung auf den oberen Molaren und Paraconidreduktion am m2 zwischen WA2 und WA6. Das Diagramm links wurde verändert nach Wing et al. (1991) und Chew (2009). Die Zeit der beiden Massenaussterbe-Ereignisse sind grau unterlegt.

Zusammenfassend lässt sich aus den Funktionsanalysen der Molaren schließen, dass sich *Cantius* aus Level 1 primär insektivor ernährt hat, aber vermutlich durchaus fähig war, mit seinen Molaren Blätter mechanisch aufzuschließen. Möglicherweise hat die Abkühlung um 5-8°C im WA3, die Insekten als eine primäre Nahrungsressource reduziert. Die Umbildung zu einem größeren Talonbecken mit einem zusätzlichen flachen Hypoconushöcker, der die quetschende Oberfläche deutlich vergrößert, lässt annehmen, dass sich *Cantius* in Level 3 primär frugivor ernährt hat, aber wahrscheinlich auch weiterhin einen gewissen Anteil an Blattnahrung konsumierte und gelegentlich auch Insekten verspeiste. *Cantius* hat sich an eine omnivore Nahrung angepasst und so die Veränderungen im Nahrungsangebot kompensiert. Die Änderungen der Funktionsmorphologie in den Backenzähnen sind als Resultat einer langfristigen Nutzung von Früchten und frischen Trieben zu bewerten. Der Hypoconus war bei *Cantius* also eine wichtige Neuentwicklung, um zu überleben.

5.1.2 Funktion und Evolution des Hypoconus innerhalb der Vergleichsgruppe

Die Prosimiae mit Hypoconus haben tendenziell einen geringeren prozentualen Phase II Anteil, als die ohne Hypoconus. Besonders deutlich ist das in der Abb. 4.44.d zu sehen, die die Resultate der OFA-Projekte visualisiert. Die untersuchten rezenten insektivoren Primaten, mit Ausnahme des haplorrhinen *Tarsius syrichta*, besitzen alle einen Hypoconus. Betrachtet man den 3D-Index der Prosimiae, zeigt sich, dass das Molarenrelief der Primaten mit Hypoconus tendenziell stärker ausgeprägt ist (Abb. 4.44b). Vergleicht man die Werte des Reliefs mit der bevorzugten Ernährung (Abb. 4.44.c) wird deutlich, dass die Strepsirrhini mit hohem Insektenanteil in der Nahrung, genau diejenigen sind, die einen hohen 3D-Index haben. Obwohl mit dem Hypoconus die Anzahl der Facetten um drei steigt, F7, F8 und F10, ist der Phase II Anteil gering. Teilweise liegt der Phase II Anteil, wie z.B. bei *Loris tardigradus*, unter 2%. Auch bei dem als weniger insektivor eingestuften *Microcebus murinus* ist der Phase II Anteil nur bei knapp 9%.

F7, am distolingualen Abhang des Hypoconus und F8 mesiolingual am Hypoconus gelegen, sind allerdings buccale Phase I-Facetten. F10, buccodistal am Hypoconus gelegen, ist die einzige neu hinzugekommene Facette, die der Phase II zugerechnet wird.

Dass trotz der Zunahme der Phase II-Facetten die Gesamtfläche der Phase II gering ausfällt, liegt daran, dass die Hypoconus Facetten (F7, F8 und F10) bei Insektivora nicht als Quetschflächen genutzt werden. Die spitzen Höcker der Molaren eignen sich sehr gut zur Perforation von Chitin-Exoskeletten. Die Kontaktflächen entlang der steilen Höckerflanken haben nach der Perforation eine schneidende Funktion, um die zähe Insektencuticula zu zerteilen. Daraus resultiert eine wesentlich stärkere Phase I Komponente, als das bei den rezenten frugivoren Primatenmolaren der Fall ist.

Durch die steilen Kontaktflanken ist in der Verzahnung die Lateralbewegung stark eingeschränkt. Beispielsweise gleitet der Unterkiefer des insektivoren *Galago demidoff* mit einem Winkel von knapp 57° in die maximale Verzahnung ein. Beim Zubeißen entstehen durch die punktuelle Kompression an den Höckerspitzen im Insektenpanzer Löcher, die durch den anhaltenden Kaudruck in der Phase I mit dem Eindringen der Krone in den Chitinpanzer entlang der steilen Schneidkanten der Höcker erweitert werden. Bei einer zähen Nahrung wird an den steilen Facetten die Nahrung zerschnitten und mit dem Protokonus ins Talonidbecken gepresst. Der Hypoconus gleitet bei der Inkursion in das Trigonid des m2 und beim Ausgleiten schert die F10 des M1 gegen den mesialen Abhang des auf dem m2 liegenden Protoconids.

Unter den Prosimiae ohne Hypoconus ist der buccale Abhang des Protoconus meist großflächiger. Während der Mastikation findet hier vermehrt ein Quetschvorgang während der Phase II statt, der auch als Reiben mit scherender Komponente bezeichnet wird bzw. als

Scheren mit reibender/quetschender Komponente, je nachdem, in welchem Winkel die Inklination der Phase II-Facetten liegt (Schultz 2011).

Der Orientation Patch Count (OPC) wurde angewendet, um einen Zusammenhang der Komplexität der Zahnoberfläche mit der Nahrungspräferenz zu untersuchen.

Evans et al. (2007) haben in einer Studie unter Anwendung des OPC festgestellt, dass die von ihnen untersuchten herbivoren Spezies eine höhere Zahnoberflächenkomplexität vorweisen als vergleichend untersuchte carnivore Spezies. Die Gruppe mit der höchsten Zahnoberflächenkomplexität hat die höchste Anzahl an OPC Patches. Dabei handelt es sich um gleichorientierte Flächen auf dem Oberflächenrelief der Molaren (siehe Methodenteil Kap.3.6.6).

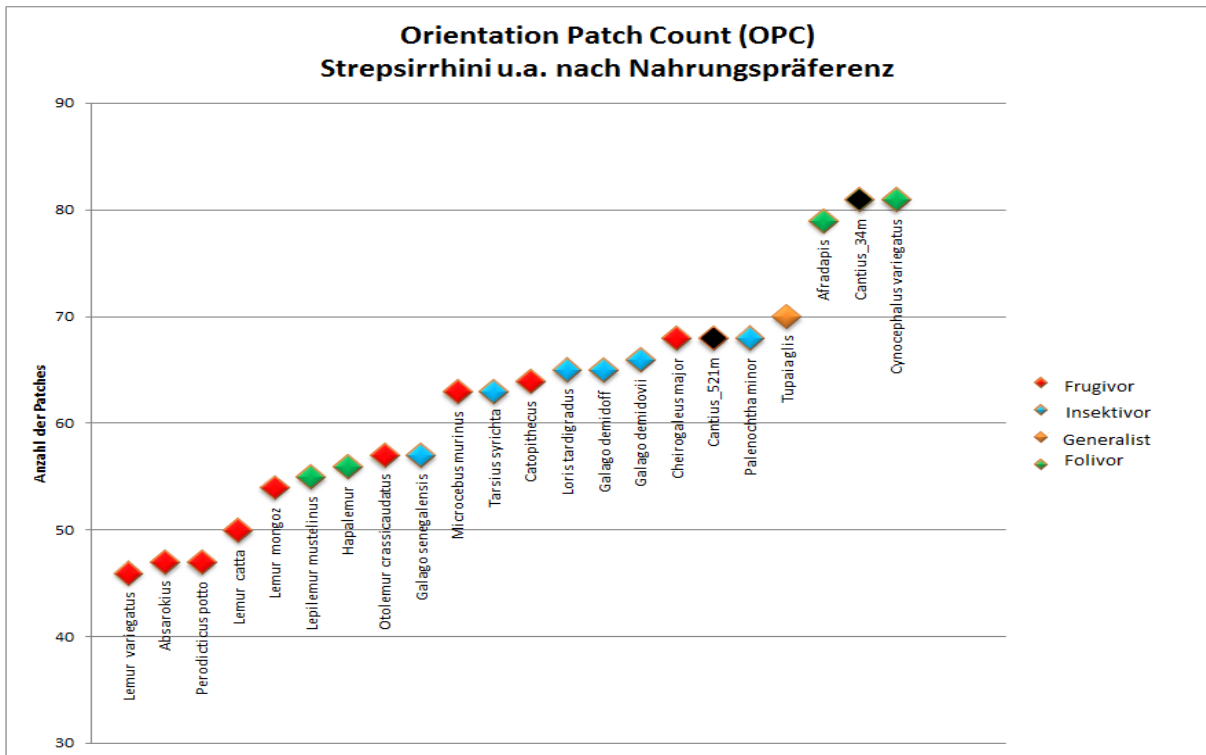


Abb. 5.1.2.a: OPC bei **50 Reihen**. Grün= folivor, orange = omnivor, rot = frugivor, blau = insektivor, die beiden schwarzen Individuen sind *Cantius* sp. (34m = Level 1, 521m = Level 3)

In der vorliegenden Untersuchung tendieren die insektivoren Arten zu einer Komplexität, die sich im mittleren Patchbereich ansiedelt, wie in der Abb. 5.1.2.a, in blau dargestellt. Der als folivor eingestufte fossile Primat *Afradapis* und *Cantius* aus Level 1 haben unter den Primaten mit 79 und 81 die höchste Anzahl an Patches. *Cantius* aus Level 3 besitzt, obwohl ein Höcker mehr vorhanden ist als bei *Cantius* aus Level 1, nur 68 Patches. Das zeigt, dass die Oberfläche des basalen Typs stärker strukturiert ist. Die frugivoren Strepsirrhini sind tendenziell durch eine weniger komplexe Zahnoberflächenmorphologie gekennzeichnet. Die Höcker der untersuchten Fruchtfresser sind insgesamt flacher und die Abhänge weniger steil

als die der insektivoren oder folivoren Spezies. *Cheirogaleus major* besitzt mit 68 Patches einen hohen Wert für einen Fruchtfresser. Dieser resultiert aus der crenulierten Schmelzoberfläche (Abb. 5.1.2.b). Die Crenulation erhöht durch viele feine Schmelzrippen die Patchflächenanzahl. Ein ähnlich hoher Wert kann durch ein dominantes Cingulum entstehen.

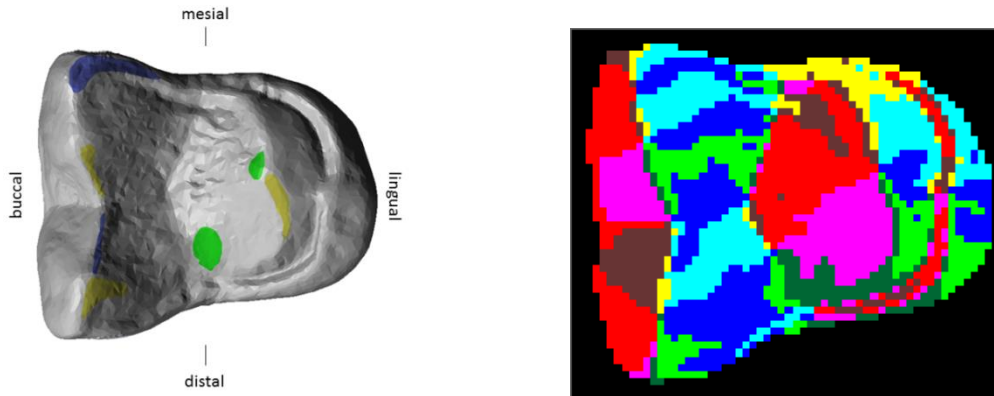


Abb. 5.1.2.b: Facettenanalyse des M1 von *Cheirogaleus major* smf 73562 und OPC-Analyse im Vergleich (v.l.n.r.)

Bei den untersuchten folivoren Arten zeigen die OPC Analyseergebnisse eine Zweiteilung: *Afradapis* und der als Fremdgruppe untersuchte *Cynocephalus* haben die höchste Patchanzahl und die beiden Gattungen *Hapalemur* und *Lepilemur* liegen mit ihrem Patchanteil unterhalb der insektivoren Primaten. *Afradapis* besitzt ein stark ausgeprägtes Cingulum und schmale steile Schneidkanten, *Cynocephalus* zeigt starke Abrasionsbänder (s.S.70, Abb. 4.12.a) und besitzt sehr spitze und hohe Zahnhöcker. Die Zahnmorphologie der beiden Lemuren zeigt keine Crenulierungen und kein besonders ausgeprägtes Relief. Die buccale Phase I Komponente überwiegt (Dreiecksdiagramm, Abb.4.48.c, Nr. 5 und Nr. 9), welche die bekannte Nahrungspräferenz widerspiegelt. *Hapalemur* und *Lepilemur* ernähren sich von Blättern und Gräsern. Die buccalen Phase I-Facetten F1-F4 sind zum zerschneiden der Nahrung klingenartig gestaltet. (Abb. 5.1.2.c)

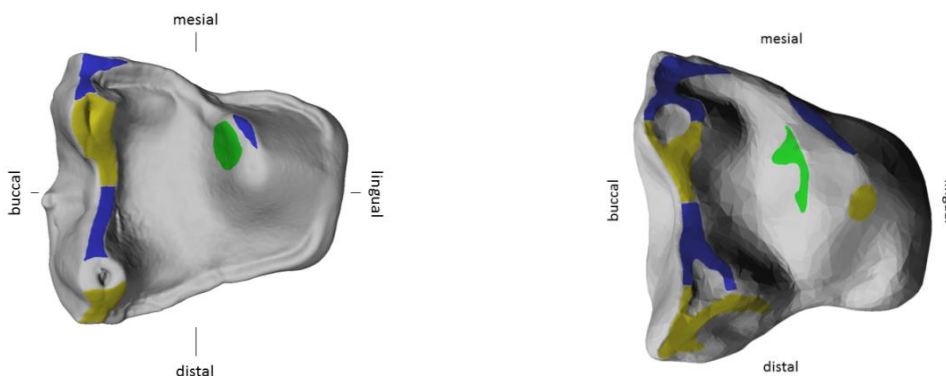


Abb. 5.1.2.c: Die Facettenanalyse von *Hapalemur* sp. smf 34722 (links) und *Lepilemur mustelinus* smf 34717 (rechts) zeigt die klingenartigen buccalen Facetten 1-4 im Vergleich

Beim Kauvorgang wird die Nahrung zwischen den buccalen Facetten der oberen und unteren Molaren geschnitten, ähnlich dem Schneidevorgang einer Schere. Die

spitzwinkligen Klingenkanten gleiten eng aneinander vorbei und zerteilen so die Nahrung. Es entsteht also kein Druck auf einer größeren Fläche, sondern nur punktuell wandernd entlang der schmal gehaltenen buccalen Facettenlinie. Die Phase II Komponente ist bei *Hapalemur* sowie bei *Lepilemur* gering ausgebildet (Abb. 5.1.2.d). Das zeigt, dass hier die Nahrung nur sehr klein geschnitten wird, aber ein Quetschvorgang kaum stattfindet. Die Nahrung, die vorwiegend aus Gräsern und Blättern besteht, hat keinen hohen Nährwert: "This represents the 'poorest' diet hitherto observed in a primate" (Hladik und Charles-Dominique 1974, S. 27). Bei *Lepilemur* ist Caecotrophie nachgewiesen, wie u.a. bei Hasenartigen oder einigen Nagetieren. Hier wird der proteinhaltige Inhalt des Blinddarms oral wiederaufgenommen, um mehr Energie aus der Nahrung zu gewinnen.

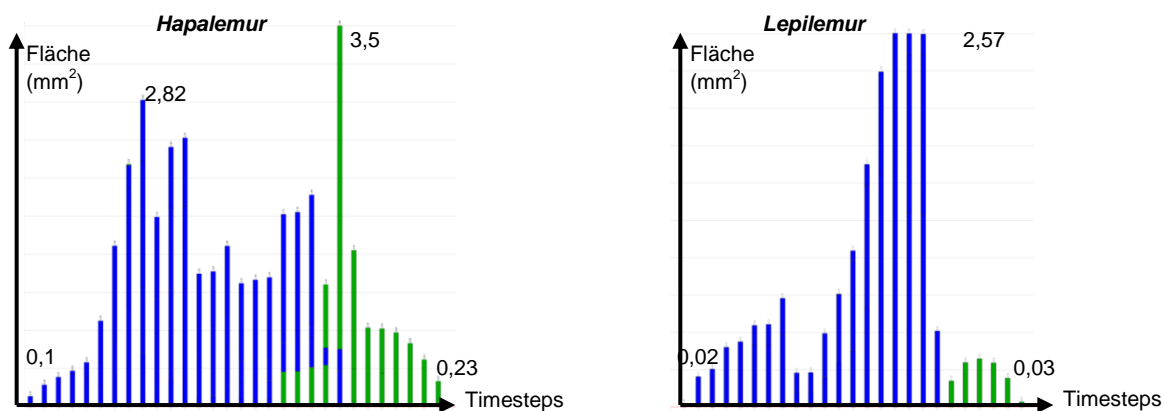


Abb. 5.1.2.d: OFA-Diagramm von *Hapalemur* sp. smf 34722 (links) und *Lepilemur mustelinus* smf 34717. Beide folivoren Primaten haben eine starke Phase I Komponente (blau) und eine geringe Phase II (grün).

5.2 Bilophodontie - Funktionsweise und Evolution

Die bilophodonten Molaren der Cercopithecoidea sind durch zwei buccale und zwei linguale Höcker gekennzeichnet, die durch transversalen Lophen miteinander verbunden sind.

Auch Tapire und Kängurus besitzen bilophodonte Molaren, denen aber die Scherkanten fehlen, die sich bei den bilophodonten Primaten mesial und distal an den buccalen und lingualen Höckern befinden (Butler 2000).

Neben den Cercopithecoidea und den hier nicht untersuchten Platyrrhini gibt es auch unter den Lemuren eine Parallelentwicklung bilophodonter Molaren in der Familie der Indriidae (Maier 1977b). Seiffert et al. haben 2009 den eozänen Primaten *Afradapis longicristatus* beschrieben und festgestellt, dass der M1 morphologisch eine starke Ähnlichkeit mit dem M1 des rezenten folivoren strepsirrhinen *Indri indri* hat. Aus diesem Grund wurde *Afradapis longicristatus* in der vorliegenden Arbeit mit den bilophodonten Molaren verglichen. Den untersuchten Oberkiefermolaren fehlen die für bilophodonte Primatenzähne typischen

okklusalen Strukturelemente, wie z.B. die lingualen Crista transversa anterior und posterior. Somit konnten sich auch die für Cercopithecidenmolaren typische Kontaktfacetten F11 und F12 nicht ausbilden (Abb. 5.2.a, links). Die Molaren m1 und m2 besitzen einen bucco-lingual verlaufenden Loph zwischen Protoconid und Metaconid. Es findet sich nur eine anteriore Fovea, aber keine posteriore an den unteren Molaren. Somit liegt für *Afradapis longicristatus* keine bilophodonte Molarenstruktur vor. Verglichen mit den untersuchten bilophodonten Primaten hat *Afradapis*, sowohl den höchsten 3D-Index als auch die höchste Anzahl der Patches des OPC (Abb. 5.1.2.a und Abb. 5.2.b). Der M1 hat 73 und der zusätzlich untersuchte M2 sogar 79 Patches. Die Begründung liegt darin, dass der Molar stark entwickelte Höcker mit schmalen und steilen Scherkanten hat, was den hohen 3D-Index von 2,08 erklärt. Das ausgeprägte Cingulum von *Afradapis*, das buccal den Paraconus und den Metaconus, und mesial bis lingual den Protoconus umgibt, ist für die hohe Anzahl an Patches verantwortlich. Diese Merkmale weisen insgesamt auf eine stark folivore Nahrungspräferenz hin. Die Scherkanten funktionieren klingenartig, wie das bereits bei den vorher besprochenen Lemuren *Hapalemur* und *Lepilemur* beschrieben wurde. *Afradapis* hat allerdings mit einem Hypoconus noch einen zusätzlichen Höcker in Funktion bzw. ist die linguale Phase I-Facettenreihe deutlich mehr am Zerschneiden der Blattnahrung beteiligt, als dies bei den beiden folivoren Lemuren der Fall ist.

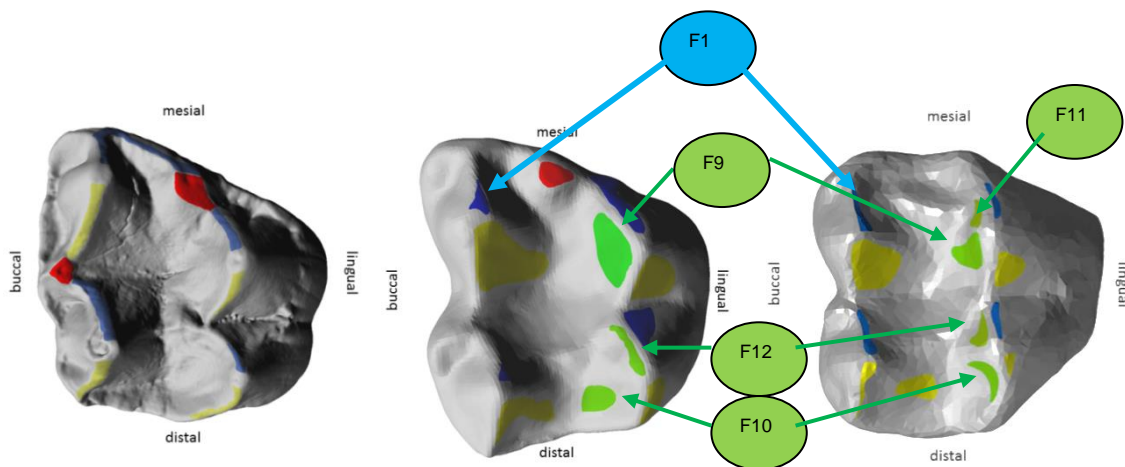


Abb. 5.2.a: Facettenanalyse des M1 von *Afradapis longicristatus* DPC 21537 und des M1 und M2 von *Indri indri* smf 931 im Vergleich (v.l.n.r.)

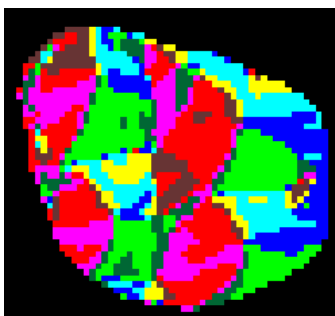


Abb. 5.2.b: *Afradapis longicristatus* DPC 21537, M1 OPC-Analyse mit 73 Patches

Der M1 von *Indri indri* hat drei Phase II-Facetten F9, F10 und F12 entwickelt, eine Facette 11 wurde aufgrund einer fehlenden lingualen anterioren Crista transversa nicht ausgebildet (Abb. 5.2.a, Mitte). Der M2 hingegen zeigt alle Facetten der bilophodonten Primatenmolaren (Abb. 5.2.a, rechts). Deshalb wurde der M2 in die Untersuchung einbezogen, um das Facettenmuster des *Indri indri* mit den Colobinae und den Cercopithecinae zu vergleichen (siehe Gesamtergebnisse: Abb.4.46.a und 4.46.b). Die Richtungswinkel der M1 und M2 von *Indri indri* zeigen keine große Differenz, bei den Neigungswinkeln der F1, F2, F7 und F8 gibt es bis zu 30° Unterschied zwischen M1 und M2. Dieser Unterschied entsteht durch die Lage der Facette, also ob sich eine Facette auf oder unter einem Schmelzgrat gebildet hat oder ob eine Facette nur eine kleine Fläche nahe der Höckerspitze einnimmt. Beispielsweise beträgt bei dem untersuchten Individuum *Indri indri* smf 931 der Neigungswinkel der F1 auf dem M1 32° und auf dem M2 62°. Vergleicht man die Lage der F1 in Abb. 5.2.a Mitte und Abb.5.2.a rechts, lässt sich gut erkennen, dass die F1 auf dem M1 (Mitte) nur eine kleine Fläche einnimmt und durch die Lage an der Höckerspitze relativ flach ist. Auf dem M2 dagegen ist der ganze Grat der Praeparacrista in Kontakt gewesen, was sich in einem steilen Neigungswinkel widerspiegelt. Das bedeutet, dass das System des Scherschneidens auf dem M1 nicht so funktional ist wie auf dem M2, dessen F1 über die gesamte Länge des Grates mit der antagonistischen F1 auf dem distalen Abhang des Protoconids abschert. Die prozentualen Kauflächenanteile des M1 von *Indri indri* liegen im Bereich der Strepsirrhini. Allerdings zeigt sich auch, dass sich durch das Hinzukommen der F11 auf dem M2 der prozentuale Phase II Anteil von 22,9% (M1) auf 32,87% (M2) vergrößert. Der M2 befindet sich im Dreiecksdiagramm (Abb. 4.46.a und 4.46.b) bei dem omnivoren *Papio ursinus* und dem stark folivoren *Nasalis larvatus*. Das bedeutet, dass mit der Entwicklung einer weiteren Facette auf dem M2 des *Indri* die Phase II vergrößert ist und im Bereich der Cercopithecidae liegt.

Betrachten wir das Körpergewicht des *Indri indri* im Vergleich zu den anderen Prosimiae, fällt auf, dass der *Indri* mit ca 6500 Gramm (Geissmann 2003) der schwerste unter den untersuchten Lemuriformes ist und auch den höchsten Phase II Anteil unter ihnen vorweist. Da der *Indri* sich vorwiegend folivor ernährt und Blattnahrung einen geringeren Nährwert hat als Früchte und Insekten, wird vermutlich mit einer größeren Phase II die Nahrung besser aufgespalten und verwertet. Der Phase II Anteil steht offenbar in Zusammenhang mit der Körpergröße. Untereinander zeigen die bilophodonten Primatenmolaren bei der Analyse der Dreiecksdiagramme sowie des OPC keine besonderen Tendenzen. Colobinae und Cercopithecinae lassen sich aber über den 3D-Index differenzieren, da erstere mit einer folivoren Nahrungspräferenz einen höheren 3D-Index haben, als die eher frugivoren und omnivoren Cercopithecinae, wie Ulhaas (2006) bereits beweisen konnte.

Die beiden fossilen Primaten *Apidium* und *Parapithecus* sind im Oligozän belegt und damit einige Millionen Jahre jünger als der eozäne *Afradapis*. *Parapithecus* wird von Kay (1977) als basaler Cercopithecoidea gesehen und Simons (1974) beschreibt ihn gemeinsam mit *Apidium*, als frühesten bekannten Cercopithecoidea. *Apidium* und *Parapithecus* zeigen in der Kauflächenverteilung kein einheitliches Bild. Der M1 des frugivoren *Parapithecus* lässt sich in der Verteilung der Kauphasen nicht von den modernen bilophodonten Molaren unterscheiden. Der M1 des ebenso frugivoren Primaten *Apidium* fällt aus der Gruppe raus. Hier zeigt sich mit 45,5% eine stärkere linguale Phase I Komponente und ein mit nur knapp 20% um ca. 10% geringerer Phase II Anteil, verglichen mit den Durchschnittswerten der bilophodonten Molaren. Die Facettenanalyse (Abb. 5.2.c, links) spiegelt den starken linguale Phase I Anteil wider. Durch das relativ flache Relief, besonders der linguale Höcker, besteht auch ein großer Bewegungsfreiraum während der Mastikation. Es besteht insgesamt ein hoher Facettenflächenanteil an der Zahnoberfläche. Die Phase II Fläche ist nicht klein, aber im Vergleich mit der Phase I ist der Anteil prozentual entsprechend geringer. Bei der Analyse der Facetten konnte an den oberen und unteren ersten Molaren eine Facette 12 und die, für die dryopithecine Höckermorphologie typische Facette 13, bestimmt werden. Eine F11 kam bei dem untersuchten Individuum nicht vor.

Im Gegensatz zu *Apidium* ist bei *Parapithecus* eine deutliche F11 ausgeprägt, die schon in den lateroretrusiven Bereich orientiert ist, wie auf der Abb. 5.2.c, rechts und im Okklusalen Kompass (Abb. 4.33.a, rechts, S.107) zu sehen ist. Vergleicht man die Orientierung der F11 von *Parapithecus* mit der Orientierung moderner bilophodonte Molaren, fällt auf, dass diese ganz ähnlich ausgerichtet sind. Sie zeigt mit 10° in mesiale Richtung, wie auch die F11 von *Papio*. Die F11 von *Colobus* mit 11°, *Cercocebus* mit 16° und *Presbytis* mit 18° gehen von mesial in mmb-Richtung. Unterschiedlich ist hier allerdings der Neigungswinkel: *Parapithecus* hat eine Inklination von 46°, ähnlich den folivoren Colobinae *Colobus* und *Presbytis*, die beide 48° vorweisen.

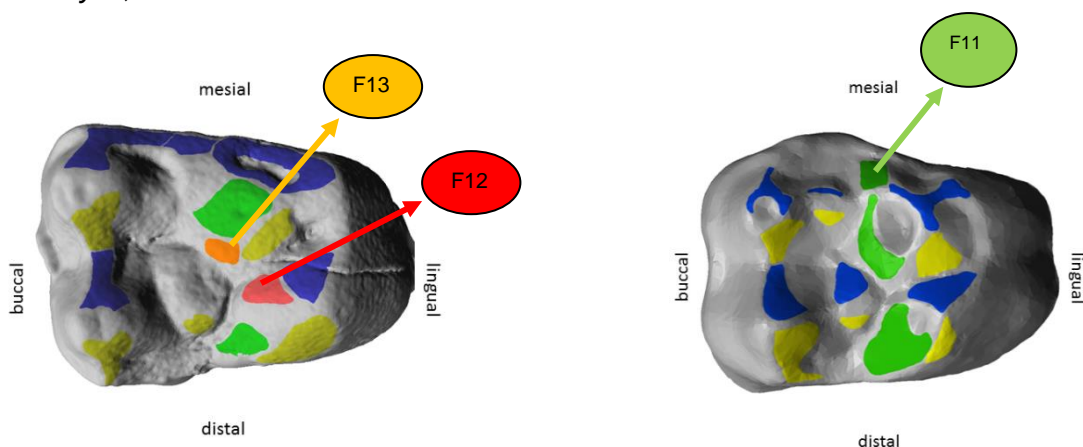


Abb.5.2.c: Facettenanalyse der M1 von *Apidium phiomense* DPC 14238 und *Parapithecus grangeri* DPC 1090 (v.l.n.r.)

Anhand der Ergebnisse wird in dieser Arbeit *Parapithecus* als Vorstufe zum bilophodonten Molarentyp gesehen. Eine Umbildung der beiden Conuli Metaconulus und Paraconulus zu den bilophodonten Querlophen wäre durchaus vorstellbar, da bereits beide Zwischenhöcker mit komplementären Kontaktfacetten in die Mastikation, während der buccalen Phase I, eingebunden sind. Eine F12 und F13 fehlt bei dem untersuchten M1 von *Parapithecus*. Der miozäne Primat *Victoriapithecus* hat bereits alle Facettepaare des bilophodonten Typus ausgebildet, obwohl die Querlophen in den Oberkiefermolaren noch nicht vollständig umgebildet sind. Vergleicht man den Okklusalen Kompass von *Victoriapithecus* (Abb. 4.41.a, rechts, S.119) mit denen rezenter bilophodonter Molaren, fällt auf, dass F9 mit 73° in buccal-mesiobuccale Richtung orientiert ist. Unter den modernen frugivoren und omnivoren Cercopithecinae befindet sich F9 zwischen 109° bei *Papio* und 137° bei *Cercocebus*. Unter den blattfressenden Colobinae ist F9 zwischen 145° für *Nasalis* und 188° für *Colobus* orientiert. Das Ergebnis des 3D-Indexes ordnet *Victoriapithecus* bei den primär frugivoren Cercopithecinae ein. Auch im OPC liegt der M1 mit 54 Patches bei *Cercocebus* und *Chlorocebus*, die beide 55 Patches haben. Im Dreiecksdiagramm wurden zwei M1 von *Victoriapithecus* aufgetragen. Die prozentuale Verteilung der Kauphasen lässt sich nicht von den meisten rezenten bilophodonten M1 unterscheiden. Delson (1975) vermutet, dass *Victoriapithecus* ein Entwicklungsstadium darstellt, das sehr nah am Ursprung der Aufspaltung von Colobinae und Cercopithecinae liegt. Die Gesamtanalyse zeigt, dass die Molaren von *Victoriapithecus* in ihrer Funktionalität denen rezenter Cercopithecinae sehr ähnlich sind.

Betrachtet man das Ergebnis der OFA-Projekte zur Verteilung der Phase I und Phase II, sieht man, dass sich die primär frugivoren bilophodonten Primatenmolaren mit denen der folivoren in der Flächennutzung überschneiden. Hier ist keine Differenzierung der beiden Gruppen möglich (Abb.4.46.d). Das Graue Riesenkänguruh *Macropus giganteus* hat unter den bilophodonten Molaren die stärkste Phase II Komponente. Es gehört aber zur Outgroup. Unter den Primaten haben die primär frugivoren *Parapithecus* und *Macaca* zusammen mit dem omnivoren *Papio ursinus* den höchsten Phase II Anteil. Der fossile *Parapithecus* hat, wie in der Facettenanalyse (Abb. 5.2.c, rechts) zu sehen ist, Metaconulus und Paraconulus in die Attritionsnutzung integriert, was eigentlich ein Hinweis auf eine größere Phase I sein könnte. Das OFA-Diagramm zeigt aber, dass die Phase I hier eine kurze Erscheinung ist und die Phase II sich über einen längeren Abschnitt erstreckt (Abb. 4.33.b, rechts). Das könnte so interpretiert werden, dass die aufgenommene Nahrung einer starken und ausgedehnten lateralen Quetschfunktion ausgesetzt ist. Makaken sind zu 70-80% frugivor (Geissmann 2003). Das bedingt auch eine große frugivore Quetschfläche, die sich in einem hohen Phase II Anteil widerspiegelt. Der hier untersuchte omnivore *Papio ursinus* hat eine etwas

fortgeschrittene Zahnabnutzung. Die Molaren werden durch die Nahrung, die keine primäre Präferenz zeigt, auch auf der Quetschfläche stark beansprucht. Dadurch erklärt sich auch hier eine starke Phase II Komponente.

Insgesamt lässt sich bei den bilophodonten Molaren feststellen, dass die buccale Phase I sehr gerichtet abläuft und wenig Variation zulässt, da die Inkursion stark kontaktgeführt ist. Der größte bewegungsorientierte Spielraum findet in den Phase II Anteilen statt. Das bedeutet, dass während der Exkursion, gerade bei den eher frugivoren Cercopithecinae, eine größere okklusale Bewegungsmöglichkeit besteht. Hier sind die lingualen Höcker insgesamt flacher. Somit haben die Scherkanten der lingualen Phase I-Facetten auch einen flacheren Neigungswinkel. Das ist auch bei den Neigungswinkeln der Phase II-Facetten zu sehen: die der frugivoren Cercopithecinae sind alle flacher als die der Colobinae, wie in der Tabelle 5.2.a zu sehen ist. Beispielsweise beträgt der Durchschnitt des Fallwinkels der F9 der Cercopithecinae 13,75° und der der Colobinae 33,3°. Das zeigt auch, dass die Exkursion der folivoren Colobinae stärker kontaktgeführt ist, als die der Cercopithecinae.

Cercopithecinae	F9	F10	F11	F12
<i>C. torquatus</i>	14°	24°	37°	23°
<i>C. aethios</i>	12°	28°	15°	20°
<i>M. maurus</i>	23°	32°	39°	44°
<i>P. ursinus</i>	6°	24°	17°	27°
Mittelwert	13,75	27	27	28,5

Colobinae	F9	F10	F11	F12
<i>C. guereza</i>	36	42	48	45
<i>N. larvatus</i>	25	21	54 + 43	39
<i>P. cristatus</i>	39	46	48	49
Mittelwert	33,3	36,3	48,25	44,3

Tab. 5.2.a: Neigungswinkel und deren Mittelwert von Phase II-Facetten untersuchter Cercopithecinae (links) und Colobinae (rechts)

Die untersuchten Cercopithecinae ernähren sich primär frugivor von sehr hartschaliger und zäher Kost. Für sie ist es nötig, dass eine Quetschfläche zur Nahrungsbearbeitung vorhanden ist. Besonders ausgeprägt ist dies bei dem omnivoren Primaten *Papio ursinus* entwickelt. Während des Kauzyklus in der OFA-Analyse ist eine kurze Phase I, aber eine ausgeprägte und lange Phase II zu erkennen. Um die Nahrung aufzuschließen wird sie lateral über das gesamte Quetschbecken gerieben. Im Gegensatz dazu ist die Kauphasenverteilung des folivoren *Nasalis larvatus* fast ausgeglichen. Hier werden beim Zerschneiden der Blattnahrung in Phase I und dem Zerreiben in Phase II etwa gleich lange Mastikationsphasen benötigt. Bei *Colobus guereza* überwiegt der Phase I Anteil mit 69,6% (Abb.5.2.d).

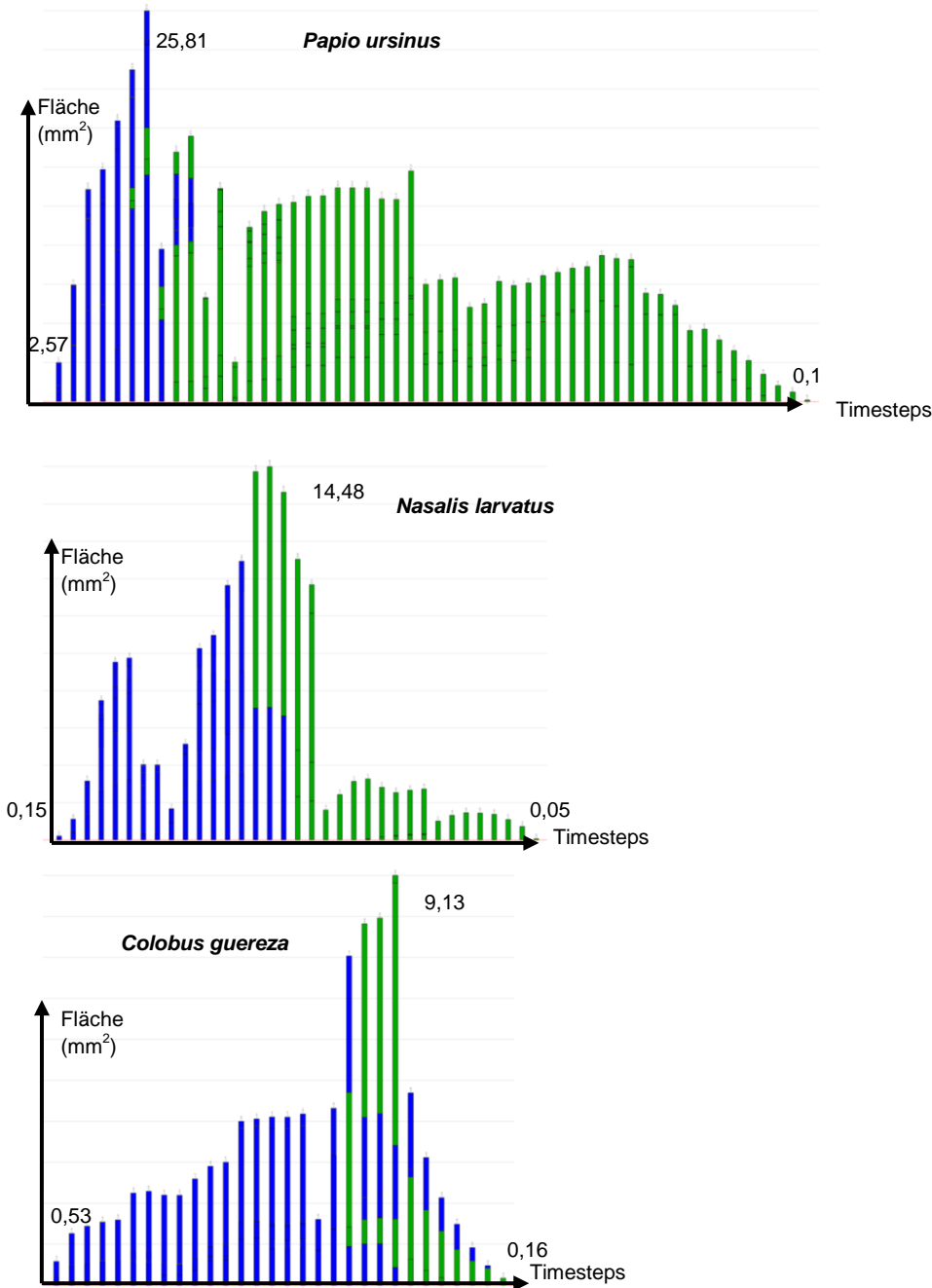


Abb. 5.2.d: OFA-Diagramm von *Papio ursinus* smf 94234 mit kurzer Phase I (blau) und ausgedehnter Phase II (grün) (oben). OFA-Diagramm von *Nasalis larvatus* smf 5041 mit 54,9% Phase I und 45,1% Phase II (Mitte). OFA-Diagramm von *Colobus guereza* smf 1106 mit starker Phase I und nur 30,4% Phase II Anteil (unten).

Das unter den Colobinae die Phase II weniger stark ausgeprägt ist, hängt möglicherweise mit deren Verdauungssystem zusammen. Als Anpassung an die Blattnahrung haben sie einen mehrkammerigen Magen mit Bakterienkolonien entwickelt, die Zellulose abbauen (Geissmann 2003, Davies und Oates 1994). Ein wiederkäuendes Verhalten der Colobinae wurde mehrfach beschrieben (Bauchop und Martucci 1968, Matsuda 2011). Die Kauschläge und die Phasenverteilung der OFA-Ergebnisse zeigen in diesem Fall, welche Nahrung bevorzugt und wie diese während der Mastikation bearbeitet wird. Bei *Papio* wird die

hartschalige und zähe Nahrung länger während der zweiten Kauphase behandelt und zur Verdauung vorbereitet, bei *Colobus* dagegen wird die Blattnahrung klein zerschnitten und die Aufgabe der Phase II möglicherweise mit Hilfe des spezialisierten Verdauungssystems übernommen. Wenn die Blattnahrung der Colobinae quer zur Faserbildung praktisch klein gehäckselt wird, werden vermutlich mehr Zellen aufgeschlossen, die dann im Vormagen fermentiert werden. Matsuda et al (2011) vermuten bei *Nasalis*, dass keine allzu großen Mengen an Nahrung auf einmal aufgenommen werden können, da diese sonst ohne ausreichend verdaut zu werden den Vormagen passieren. Um dem entgegenzuwirken wird die gefressene Blattnahrung erneut in den Mastikationsraum überführt und weiter zerkleinert. Diese so vorbereitete Nahrung kann direkt vom Dünndarm resorbiert werden (Fritz 2007). Bei der Dickdarmverdauung ist die Nahrung von höherer Qualität und muss nicht so spezialisiert, also durch Kleinhäckseln und Wiederkäuen, aufgeschlossen werden. Deshalb genügt bei der Nahrungsaufnahme von Früchten und Samen zur Vorbereitung der Verdauung vielleicht eine intensivere Phase II Nutzung. Das weist darauf hin, dass die Zahnmorphologie der Cercopithecinae und der Colobinae eng mit der entsprechenden Verdauungsweise verknüpft sein könnte. Hier handelt es sich offenbar um zwei verschiedene Lösungswege zur Energieaufnahmeoptimierung.

5.2.1 Methodendiskussion am Beispiel der bilophodonten Molaren

Vergleicht man die Ergebnisse des 3D-Index mit denen des OPC, fällt auf, dass z.B. der zu den Cercopithecinae gehörende *Papio ursinus* einen niedrigen 3D-Index hat, aber eine hohe Patchanzahl. Bei dem colobinen *Presbytis cristatus* ist es umgekehrt. Dennoch haben beide eine bilophodonte Molarenstruktur (Abb. 5.2.e und 5.2.f). Hier kann weder der 3D-Index, noch der OPC allein für die Interpretation der Zahnfunktion genutzt werden. Der höhere 3D-Index, wie er bei den Colobinae zu sehen ist, kann einige funktionale Charakteristika der bilophodonten Molarenmorphologie erklären. Dazu gehören dominante Haupthöcker mit stark ausgeprägten Lophen und auch steil angelegte Scherkanten. Auch eine besonders starke Crenulierung der Zahnoberfläche kann den 3D-Index erhöhen.

Ist die Molarenmorphologie eher flach, wie bei dem strepsirrhinen Primaten *Cheirogaleus major*, ist der 3D-Index niedrig. Der OPC-Wert ist in diesem Fall aber mit 68 Patches besonders hoch. Der Grund hierfür findet sich in der starken Crenulation der Okklusionsfläche und des Cingulums des primär frugivoren *Cheirogaleus major* (Abb. 5.1.2.b).

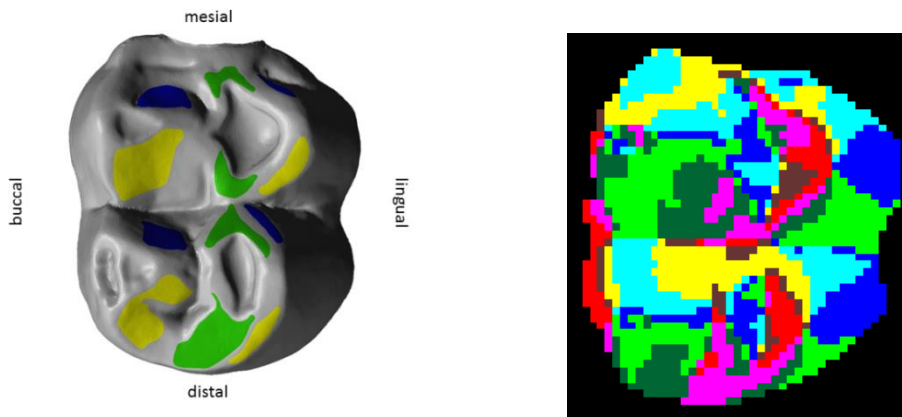


Abb. 5.2.e: *Papio ursinus* smf 94224, M1 Facettenanalyse und OPC mit 70 Patches (v.l.n.r.)

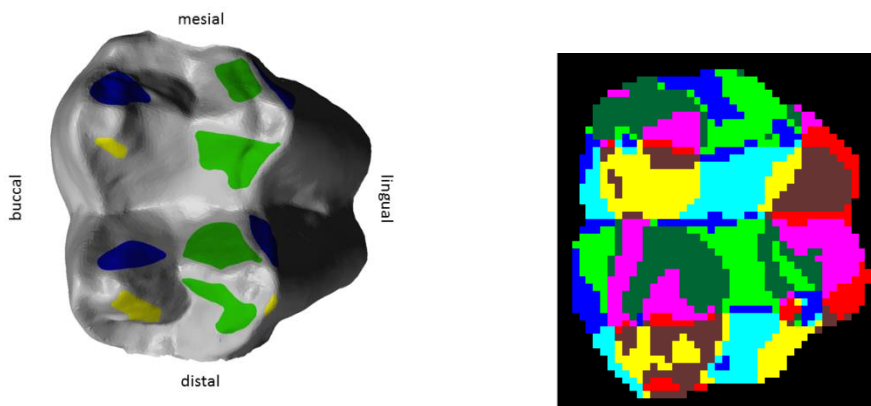


Abb. 5.2.f: *Presbytis cristatus* smf 1077, M1 Facettenanalyse und OPC mit 51 Patches (v.l.n.r.)

Gemeinsam angewendet, können also ein niedriger 3D-Index und ein hoher OPC-Wert darüber informieren, dass nur eine starke Schmelzfaltung auf der Zahnoberfläche vorliegt. In dem o.g. Beispiel von *Papio ursinus* liegt eine eher flache Molarenmorphologie mit weniger steilen Scherkanten vor. Das begünstigt den niedrigen Wert des 3D-Indexes von 1,45. Dadurch, dass die lingualen Höcker bereits Dentinexpositionen aufweisen, werden mehr Patches berechnet und daher steigt der OPC-Wert auf 70. *Presbytis cristatus* hat steile Scherkanten, stark entwickelte Haupthöcker und ausgeprägte Querlophen, was zu einem 3D-Index von 1,9 führt. Die Zahnoberfläche ist aber verhältnismäßig glatt. Es gibt nur kleine Stellen, an denen der Schmelz zurückgegangen ist und das Dentin freigelegt hat. Deshalb beträgt der OPC-Wert bei *P.cristatus* auch nur 51 Patches.

5.3 Hominoides Molarenmuster

Das dryopithecine oder hominoide Höckermuster stellt eine Erweiterung des tribosphenischen Molarentyps dar. Das Grundmuster der Oberkiefermolaren besteht aus Protoconus, Paraconus, Metaconus und zeigt zusätzlich einen abgegliederten

Hypoconus. Im Unterschied zum bilophodonten Muster haben wir in den Unterkiefermolaren einen zusätzlichen Höcker, den Hypoconulus. Die Höcker sind im hominoiden Muster wie ein Parallelogramm angeordnet und nicht durch zwei Querlophen miteinander verbunden, wie im bilophodonten Molarentypus. Hier gibt es nur einen Querloph, die Crista obliqua, die den Protoconus mit dem Metaconus verbindet. Am mesiodistalen Abhang der Crista obliqua hat sich an den Oberkiefermolaren eine zusätzliche antagonistische Kontaktfacette 13 ausgebildet. Die dazu antagonistische Kontaktfacette an den Unterkiefermolaren befindet sich am mesialen Abhang des Entohypoconulidcristids.

Die Umbildung der F1 und die Bildung der F11 ist Voraussetzung für die Entstehung der bilophodonten und dryopithecinen Molarenmorphologie. Die von Maier und Schneck (1981) beschriebene Transversalschere, die aus der F1 und F5 besteht und bei den tribosphenischen Molarentypen vorhanden ist, muss für die Entwicklung einer F11 aufgegeben werden. Den fossilen Fayum-Primaten *Parapithecus*, *Apidium*, *Propliopithecus* (Letzterer wurde in dieser Arbeit nicht untersucht, da bislang keine Oberkieferbezahnung beschrieben wurde) und *Aegyptopithecus* rechnen Maier und Schneck (1981) nach Kay (1977) einen höheren Differenzierungsgrad zu, der die Transversalschere bereits aufgegeben hat. Durch die Bildung eines Postprotocristids an den unteren Molaren wurde die F1 weiter nach buccal verlagert (Maier und Schneck 1981). Sie schert an den Oberkiefermolaren in der Phase I gegen den mesiolingualen Abhang der am Paraconus liegenden F1 ab. Durch die Verlagerung der F1 an den unteren Molaren, konnte sich zwischen dem Postprotocristid und dem Entoprotocristid eine F11 ausbilden. Diese hat Kontakt mit der am mesialen Ausläufer der Praeprotocrista zur Fovea anterior liegenden F11 der Oberkiefermolaren.

F11 konnte bei einem m2 von *Aegyptopithecus zeuxis* (Abb. 5.3.a, unten links) nachgewiesen werden. Bei den untersuchten m1 wurde keine F11 ermittelt. Dort befindet sich am distalen Abhang des Protoconids eine F1 und am distalen Abhang des Metaconids eine F5. Die Lage beider Facetten weist auf eine Schneidekante mit gleicher Orientierung hin. Der m2 von *Aegyptopithecus zeuxis* DPC_2332 hat die F1 in distobuccale Richtung orientiert, dadurch ist distolingual an der Flanke des Protoconids Platz zwischen der F1 und F5 für eine F11 entstanden. Wie oben beschrieben, bildet sich eine F11 durch Kontakte während der Phase II mit der mesialen Flanke des Oberkiefermolaren. An den M1 konnte F11 aber nicht festgestellt werden. Ein Grund dafür könnte der schlechte Erhaltungszustand der Fossilien sein. Durch die Lage des Postprotocristids und die Ausprägung der Fovea anterior verbunden mit der Präprotocrista, wäre hier durchaus eine F11 zu erwarten. Bei *Aegyptopithecus* zeigt sich eine Anpassung an die frugivore Nahrungspräferenz. Die Höckermorphologie ist insgesamt sehr flach, wodurch sich ein hoher Freiheitsgrad in der

Richtung der Mastikationsbewegung ergibt. Verglichen mit den sehr stark kontaktgeführten Molaren der Cercopithecinae ist hier, wie bei den modernen hominoiden Zahnformen, ein großer Bewegungsspielraum bereits in der Phase I zu erkennen.

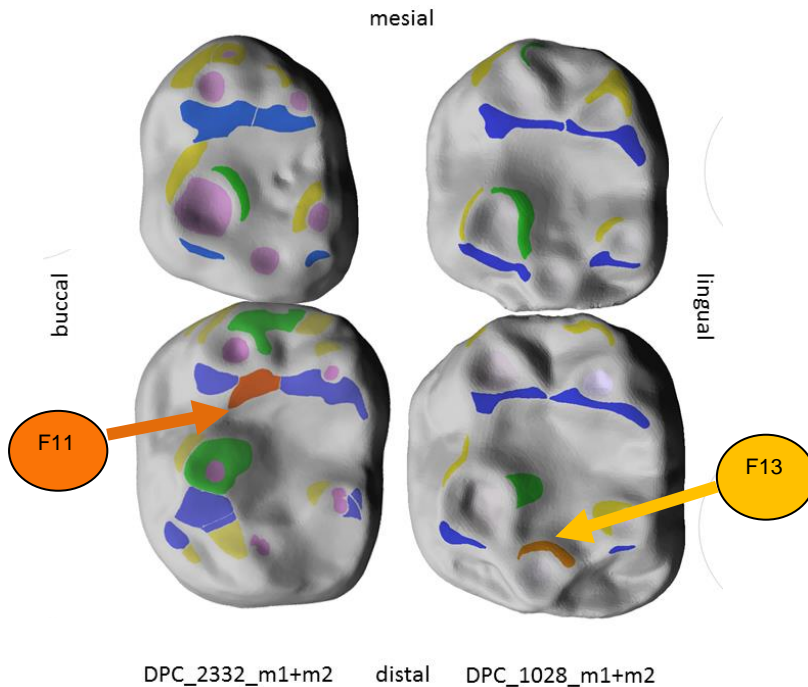


Abb. 5.3.a: *Aegyptopithecus zeuxis* m1 (oben) und m2 (unten) von DPC 2332 und DPC 1028 (v.l.n.r.). In oranger Farbe sind am linken m2 F11 und am rechten m2 F13 dargestellt.

Die Kronenmorphologie des hominoiden Höckermusters weist mit der F13 eine Vermehrung der Phase II-Facetten auf (Maier und Schneck 1981). Diese Facette konnte in dieser Arbeit bei allen untersuchten Molaren der frühen miozänen Gattung *Proconsul* und auch auf dem M1 der aus dem späten Miozän stammenden Gattung *Sivapithecus* festgestellt werden. Von *Aegyptopithecus zeuxis* aus dem Oligozän konnte in der vorliegenden Untersuchung erstmals eine F13 an einem zweiten Unterkiefermolaren nachgewiesen werden (Abb. 5.3.a, rechts unten). Dieser Kontakt entsteht im Kauzyklus nachdem sich der Unterkiefer aus der zentralen Okklusion öffnet und in der Phase II eine Lateralbewegung ausführt. Der mesiale Abhang des Hypoconulids schert dabei gegen den distolingualen Abhang der Crista obliqua. Bei *Aegyptopithecus zeuxis* richtet sich die Exkursion mit 287° nach linguo-mesiolingual, wie auch bei *Gorilla gorilla* smf 63976. Eine F13 konnte an keinem der untersuchten Oberkiefermolaren, aus Gründen des schlechten Erhaltungszustands der Fossilien, festgestellt werden. F12 und F13 wurden bei *Apidium phiomense* am oberen und unteren ersten Molaren bestimmt, wie bereits in Kap. 4.4 und 5.2 beschrieben (Abb. 5.2.c, links und 4.4.b, links). Eine F11 wurde nicht nachgewiesen. An den Unterkiefermolaren ist F1 noch in distale Richtung am Protoconid ausgerichtet. Hier ist die Transversalschere der F1 und F5 also noch vorhanden. Die Ectohypocrista, von der aus gesehen sich F10 in distale und F12

in mesiale Richtung orientieren, ist bei *Apidium* nicht als Grat ausgebildet. Es handelt sich hier vielmehr um eine okklusale Wölbung des Hypoconus auf dessen distalen und mesialen Abhang sich beide Facetten bilden konnten. Das Gleiche gilt für den Protoconus und die Crista obliqua, die hier nur angedeutet ist und die F9 und F13 voneinander trennen. Bei *Apidium* kann, wie auch bei *Aegyptopithecus* davon ausgegangen werden, dass die Molarenmorphologie eine Anpassung an die frugivore Nahrungspräferenz darstellt. Die Phase I war bei *Apidium* noch kontaktgeführter, als das bei *Aegyptopithecus* der Fall war, wie die Untersuchung am M1 ergab. Hier wurde aber der Bewegungsfreiraum sowie der Flächenanteil für die Phase II vergrößert.

Maier und Schneck (1981) sehen die Molarengebisse der Fayum-Primaten *Aegyptopithecus*, *Apidium* und *Parapithecus* bezogen auf die Konstruktionsmorphologie als akzeptable Vorläuferstadien der Hominoidea. Die Ergebnisse bestätigen, dass dies bei *Aegyptopithecus* und *Apidium* zutreffen kann. Wie bereits im Kap. 5.2 diskutiert wurde, hat die Untersuchung ergeben, dass *Parapithecus* eher als Vorläufer der Cercopithecoidea angesehen werden kann, wie bereits von Simons (1974) und Kay (1977) vermutet wurde.

Innerhalb der dryopithecinen Molaren zeigen die Gesamtergebnisse der Kauphasenverteilung eine Zunahme der Phase II Anteile von den miozänen Proconsulidae bis zu den modernen Menschenaffen (Abb. 4.47.a). Durch die Vermehrung des Phase II Anteils können die Proconsul-Molaren als Zwischenstufe zu den Molaren der modernen Hominoidea angesehen werden. Den größten Flächenanteil der Phase II ist bei dem frugivoren *Pongo* sp. mit 53% zu finden, hier zeigt sich auch das niedrigste Relief. Dies wird als Anpassung an die Nahrung gewertet. Von *Pongo* sp. werden Früchte mit harter Schale und Samen sowie Rinde bevorzugt (Geissmann 2003). Alle anderen modernen Primaten mit hominoiden Höckermustern haben einen Phase II Anteil unter 50%.

Unter den rezenten Hominoidea haben die Molaren des folivoren *Gorilla* den stärksten buccalen Phase I Anteil. Unter den fossilen Primaten zeigt sich auch bei *Sivapithecus* ein Anteil von über 45% der Phase I (Abb. 4.47.a). Bei der Analyse des 3D-Index sind *Gorilla* und *Sivapithecus* mit 1,58 die Primaten mit dem höchsten Relief-Index (Abb. 4.47.b). Auch in den OFA Ergebnissen der Okklusionssequenz, zeigen beide eine sehr ausgeprägte Phase II (Abb. 4.47.c). Möglicherweise war die untersuchte Art von *Sivapithecus* YPM13799 mehr folivor als bislang angenommen. Nelson (2003) hat den Zahnschmelz von *Sivapithecus* untersucht und „pits and scratches“ auf der Oberfläche vorgefunden, ähnlich moderner Pongidae, was allerdings eher auf eine frugivore Ernährung schließen lässt. Auch in der Bachelorarbeit von Hauser (2013), die sich mit der Unterkieferbezahnung von *Sivapithecus* befasst, weisen die Ergebnisse auf eine frugivore Ernährung hin.

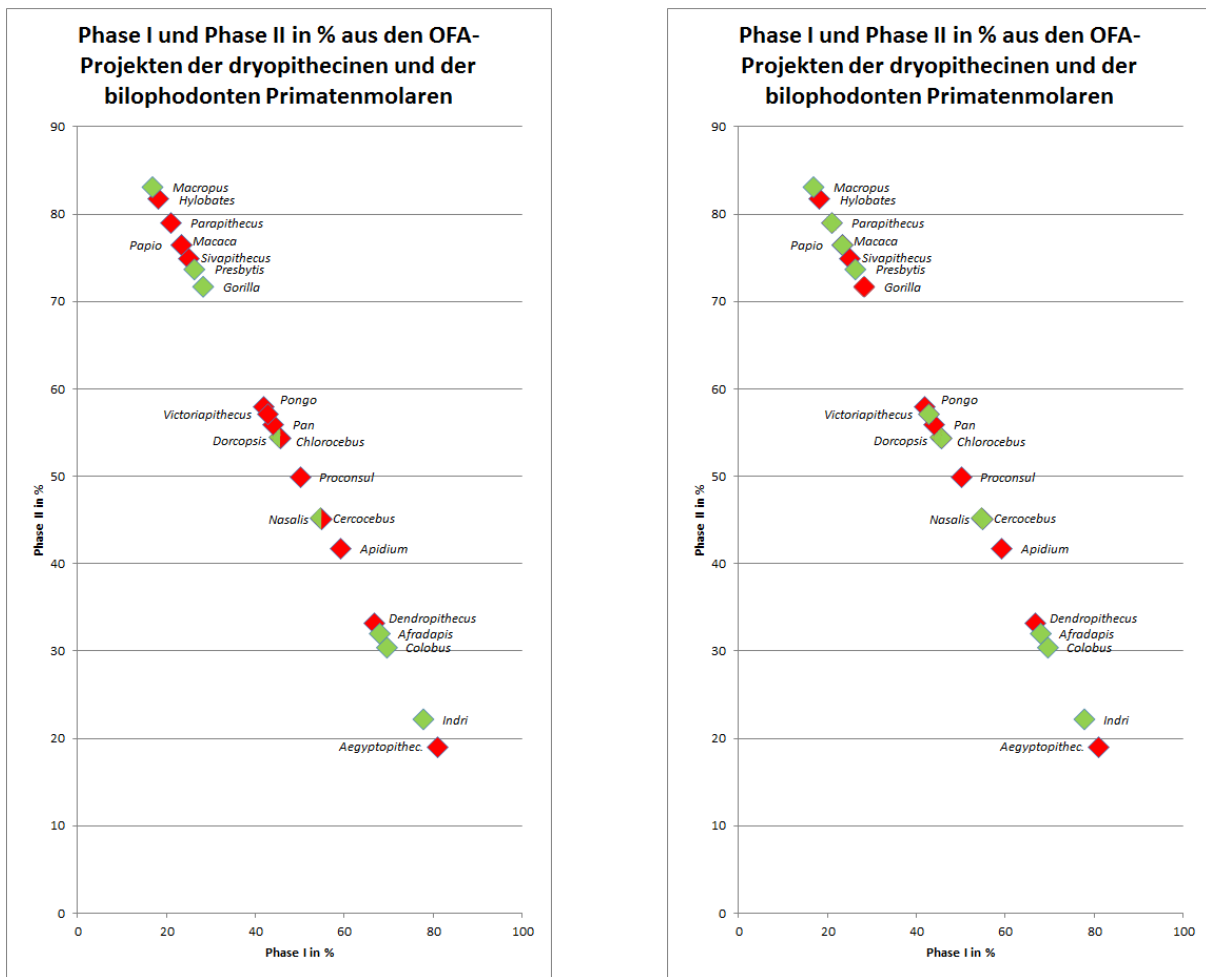


Abb. 5.3.b: Diagramm der Phase I und der Phase II in Prozent aus den OFA-Projekten der bilophodonten und der dryopithecinen Primatenmolaren.

Links: Grün = folivor, rot = vorwiegend frugivor, rechts: grün = annähernd bilophodont, rot = annähernd hominoid

Durch das Hinzukommen der F13 könnte angenommen werden, dass sich der Flächenanteil der Phase II der hominoiden Primaten gegenüber den bilophodonten Primaten. Das ist nicht der Fall, wie die Ergebnisse der Facettenanalyse belegen, die im Dreiecksdiagramm (Abb. 4.48.b) dargestellt sind. Die Daten überlappen deutlich, wie es sich auch in der Auswertung der OFA-Projekte belegen lässt (Abb. 5.3.b). Weder die Einteilung nach Nahrungspräferenzen noch nach Molarenmuster, also bilophodontes oder dryopithecines Muster, lässt eine Unterscheidung zu. Die beiden Molarentypen sind sich in ihrer Funktionalität offenbar sehr ähnlich. Beide zeigen eine Zunahme der Phase II-Facetten und somit auch eine Vergrößerung der Kontaktflächen auf der Zahnoberfläche. Gegenüber den untersuchten Prosimii sieht man eine deutliche Abgrenzung in der Kauphasenverteilung (Abb. 4.48.b). Im Unterschied zu den bilophodonten Molarenstrukturen, sind die Primaten mit dryopithecinen Muster jedoch wesentlich freier in ihrer Kau-Bewegungsmöglichkeit. Wie bereits im vorangehenden Kapitel beschrieben, sind die bilophodonten Molaren sehr stark

kontaktgeführt. Die Colobinae zeigen eine sehr enge Verzahnung und haben dadurch noch weniger Bewegungsspielraum als die Cercopithecinae, was mit deren folivoren Ernährungsspezialisierung zusammenhängt. Die Cercopithecinae sind in ihrer Nahrungswahl weit weniger eingeschränkt und haben zur Verarbeitung der variabler strukturierten Kost niedrigere Höcker entwickelt und die Phase II gegenüber den folivoren Colobinae teils deutlich verlängert. Bei der dryopithecinen Molarenstruktur ist dies noch ausgeprägter. Hier ergibt sich durch eine schwächere Führung eine variabelere Ausgestaltung des Facettenmusters. Eine stark ausgeprägte Phase II ist für die Molaren der primär frugivoren Primaten mit hominoider Höckermorphologie kennzeichnend. Hier ist auch der folivore *Gorilla* keine Ausnahme, da er als Monogastrier seine Nahrung anders aufbereiten muss, als die angesprochenen folivoren Primaten mit spezialisierter Vormagenverdauung. Dies kann möglicherweise mit einer längeren Durchtrittsphase der Nahrung im Darm des Gorillas erklärt werden (Remis 2000).

Der dryopithecine Molar kann nicht als ein Multifunktionswerkzeug mit vielseitigen funktionalen Anpassungen bezeichnet werden. Ein Multifunktionswerkzeug würde bedeuten, dass diese Molarenstruktur Früchte, Blätter, Gras und Fleisch gleichermaßen bearbeiten kann. Die meisten Molaren der Hominoidea haben aber schon zu flache Neigungswinkel, um überhaupt Blattnahrung erfolgreich aufzuschließen, mit Ausnahme des Gorillas oder *Hylobates*. Zur Zerteilung von rohem Fleisch ist die Morphologie auch schlecht geeignet, dazu ist eine Brechschere, wie sie bei den Carnivora vorhanden ist, von enormem Vorteil. Es ist zwar nachgewiesen, dass sich beispielsweise Schimpansen von Buschbabys ernährt haben, diese zählen aber nicht zu deren Nahrungspräferenz (Geismann 2003, Pruetz & Bertolani 2007). Rohes Fleisch ist von seiner physischen Beschaffenheit sehr zäh und lässt sich am besten durch eine scherenartige Konstruktion zerteilen. Dies ist beim dryopithecinen Muster nicht gegeben. Hier zeigt sich allerdings, dass tatsächlich die höchste Anzahl der Kontaktfacetten vorhanden ist. Da die Höcker insgesamt flacher sind und durch die Crista obliqua nur ein Querloph vorliegt, zusätzlich ein fünfter Höcker in den Unterkiefermolaren vorhanden ist, hat sich eine Facette 13 bilden können. Der bilophodonte Molarentyp hat diese Facette nicht ausgebildet. Ein funktionaler Unterschied zeigt sich nicht in der Kauphasenverteilung der bilophodonten und dryopithecinen Muster. Das bedeutet, dass mit zwei unterschiedlichen molaren Entwicklungstypen Früchte und Blätter gleichermaßen aufbereitet werden können. Der Unterschied besteht in der Neigung der Facetten, sowohl innerhalb der bilophodonten, wie auch innerhalb der dryopithecinen Molaren. Die steileren Facetten weisen auf eine folivore Ernährung hin, wohingegen das flachere Relief auf ein breiteres Nahrungsspektrum hinweist.

6. Fazit

Hypoconusentwicklung bei Primaten

Innerhalb moderner Strepsirrhini ernähren sich die Arten, die einen spitzen Hypoconus mit steilen Scherkanten entwickelt haben, mehr insektivor als die Tiere ohne Hypoconus. Vergleicht man die Molaren der modernen Strepsirrhini mit denen der eozänen Primaten *Cantius*, stellt man fest, dass deren Hypoconus nicht spitz und abgegliedert ist, sondern eher flach. Er entsteht an der Postprotocrista und ist direkt in die Okklusalfäche integriert ohne abgegrenzt zu sein. Mit seiner Entstehung vergrößert er die Phase II Oberfläche auf den Molaren und damit auch die quetsch- und shear-cutting-Fläche. Mit dieser Flächenzunahme konnte keine Insektencutikula perforiert werden, wie es bei modernen insektivoren Strepsirrhini der Fall ist, sondern hier wurde das Nahrungsspektrum erweitert, um neben Insekten auch mehr Frucht- und Blattnahrung aufzuschließen. Wobei die faserreiche Blattnahrung an den dafür bestens geeigneten schmalen, steilen und klingenartigen buccalen Phase I-Facetten zerkleinert werden konnte. Vergleicht man die Funktion des Hypoconus von *Cantius* mit dem Hypoconus der modernen Strepsirrhini, ergibt sich eine unterschiedliche Nutzung des distolingualen Höckers. Insektivorie begünstigt den Hypoconus bei Strepsirrhini. Durch die steilen Kontaktflanken ist in der Verzahnung die Lateralbewegung stark eingeschränkt. Wie die Untersuchungen gezeigt haben, wird dadurch die zweite Kauphase, die nach der maximalen Verzahnung mit der Öffnung des Kiefers eintritt, unter den rezenten Strepsirrhini mit Hypoconus nur sehr schwach ausgeprägt.

Bilophodonte und dryopithecine Molarenmorphologie

Wie in dieser Untersuchung festgestellt wurde, zeigt die Unterfamilie der Colobinae eine besonders enge Verzahnung und hat deshalb während der Mastikation weniger Bewegungsspielraum als die der Cercopithecinae. Mit den sehr steilen Scherkanten, die klingenartig aneinander vorbeigleiten, kann die Blattnahrung der Colobinae wie mit einer Schere zerkleinert werden. Die Cercopithecinae sind in ihrer Nahrungswahl flexibler und haben zur Verarbeitung der variabler strukturierten Kost deutlich niedrigere Höcker entwickelt. Beobachtet wurde, dass die zweite Kauphase der Cercopithecinae gegenüber den folivoren Colobinae zum Teil auffällig verlängert ist. Da die Colobinae Vormagenverdauung und die Cercopithecinae Monogastrier sind, kann vermutet werden, dass die Zahnmorphologie eng mit der entsprechenden chemischen Verdauungsweise verknüpft ist. Hier handelt es sich um zwei verschiedene Lösungswege mit der gleichen Grundstruktur zur Optimierung der Energieaufnahme.

Weitergehende Projekte sollten die verwendeten Methoden auf die Variabilität innerhalb einzelner Arten anwenden. Besonders interessant kann hier ein intensiverer Vergleich der Vormagen verdauenden Colobinae mit den Cercopithecinae sein, die zu den Monogastriern gehören.

Verglichen mit den bilophodonten Molaren hat das dryopithecine Höckermuster eine wesentlich flachere Höckermorphologie, dadurch konnte in dieser Untersuchung ein höherer Bewegungsspielraum während der Mastikation beobachtet werden, da die Molaren weniger stark kontaktgeführt sind. Trotz der Vermehrung der Kontaktflächen konnte in der untersuchten Kauphasenverteilung kein signifikanter Unterschied zwischen dem bilophodonten und dem dryopithecinen Muster festgestellt werden. Ein Unterschied besteht in der Neigung der Facetten. Die steileren Facetten sind bei den folivoren Nahrungsspezialisten zu finden, wie den Colobinae bei den bilophodonten, oder den Gorillas unter dem dryopithecinen Molarentyp. Mit einem flacheren Molarenrelief kann auf ein breiteres Nahrungsspektrum zugegriffen werden, was gegenüber den spezialisierten Arten von Vorteil ist.

Welche Analysemethode kann für die Nahrungsuntersuchung und die Zahnfunktion angewendet werden?

Der OPC ist gut geeignet, die Komplexität einer Oberfläche zu analysieren. Wie in dieser Untersuchung zu sehen ist, reicht diese Methode aber alleine nicht aus, um auf die Nahrung eines Individuums oder einer Gruppe zu schließen. Zwischen einer Crenulierung oder starken Reliefunterschieden auf der Zahnoberfläche kann der OPC nicht unterscheiden, da hier nur der Anteil an gleichorientierten Flächen berechnet wird.

Der 3D-Index beurteilt das Kronenrelief aus dem Verhältnis der dreidimensionalen Kronenfläche des Zahns zu seiner zweidimensionalen Grundfläche. Gemeinsam mit dem OPC kann hier eine gute Analyse für die Nahrungspräferenz eines Individuums erstellt werden. Wendet man dazu noch die Facettenanalyse, den Okklusalen Kompass und den OFA an, hat man eine gute Basis um ein Gebiss nach seiner Funktion und somit auch nach der Diät eines Individuums zu beurteilen. Um den OFA anzuwenden, sollten gute zahnmorphologische und –funktionale Kenntnisse vorhanden sein. Die Winkelstellung der zu okkludierenden Molaren zueinander, ist von essentieller Bedeutung, damit der entsprechende Kaupfad realitätsnah dargestellt werden kann. Eine Facettenanalyse sollte jedem neuen OFA-Projekt vorangestellt werden. Wendet man alle o.g. Methoden an, kann daraus ein gutes und realitätsnahes Ergebnis für die Ernährung und die Zahnfunktion einzelner Individuen oder auch ganzer Gruppen gewonnen werden. Der OFA kann sowohl für die Untersuchung und Rekonstruktion von fossilem Zahnmaterial angewendet werden, aber auch für Studien an modernen Gebissen.

7. Danksagung

Vielen Dank an alle Personen und Einrichtungen, die dazu beigetragen haben, dass diese Arbeit ermöglicht wurde.

8. Literaturverzeichnis

- Alt KW, Türp JC (1997) Die Evolution der Zähne. Phylogenie – Ontogenie – Variation. Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin
- Anemone et al (2012) Are there two distinct types of hypocone in Eocene primates? The “pseudohypocone” of notharctines revisited. *Palaeontologia Electronica*, Vol.15, Issue 3; 26A, 13p
- Bao H, Koch PL, Rumble D (1999) Paleocene-Eocene climatic variation in western North America: evidence from the delta18O of pedogenic hematite. *Geological Society of America Bulletin* 111:1405–1415
- Bauchop T, Martucci RW (1968) Ruminant-like digestion of the langur monkey. *Science*, 161(3842), 698-700
- Benazzi S, Kullmer O, Grosse IR, Weber GW (2011a) Using occlusal wear information and finite element analysis to investigate stress distributions in human molars. *Journal of Anatomy*, 219(3), 259-272
- Benazzi S, Viola B, Kullmer O, Fiorenza L, Harvati K, Paul T, Mallegni F (2011b) A reassessment of the Neanderthal teeth from Taddeo cave (southern Italy). *Journal of human evolution*, 61(4), 377-387
- Benazzi S, Kullmer O, Grosse IR, Weber GW (2012) Brief communication: comparing loading scenarios in lower first molar supporting bone structure using 3D finite element analysis. *American journal of physical anthropology*, 147(1), 128-134
- Benazzi S, Kullmer O, Schulz D, Gruppioni G, Weber GW (2013a) Individual tooth macrowear pattern guides the reconstruction of Sts 52 (*Australopithecus africanus*) dental arches. *American journal of physical anthropology*, 150(2), 324-329
- Benazzi S, Nguyen HN, Kullmer O, Hublin JJ (2013b) Unravelling the functional biomechanics of dental features and tooth wear. *PloS one*, 8(7), e69990
- Benazzi S, Grosse IR, Gruppioni G, Weber GW, Kullmer O (2014) Comparison of occlusal loading conditions in a lower second premolar using three-dimensional finite element analysis. *Clinical oral investigations*, 18(2), 369-375
- Benefit BR (1987) The molar morphology, natural history, and phylogenetic position of the middle Miocene monkey *Victoriapithecus*. PhD dissertation, New York University
- Benefit BR (1999a) *Victoriapithecus*, the key to Old World monkey and catarrhine origins. *Evolutionary Anthropology*, 7, 155-174
- Benefit BR (1999c) Biogeography, dietary specialization and the diversification of African Plio-Pleistocene monkeys. In Bromage TG, Schrenk F (eds.) *African Biogeography, Climate Change, and Human Evolution*, 172-188
- Benefit BR (2000) Old World monkey origins and diversification: an evolutionary study of diet and dentition. In Whitehead PF, Jolly CJ (eds.) *Old world monkeys*, 133-179

- Benefit BR, McCrossin ML (1990) Diet, species diversity and distribution of African fossil baboons. *Kroeber Anthropological Society Papers*, 71(72), 79-93
- Bown TM, Kraus MJ (1979) Origin of the tribosphenic molar and metatherian and eutherian dental formulae. *Mesozoic Mammals: the First Two-Thirds of Mammalian History*, eds. Lillegraven JA, Kielan-Jaworowska Z and Clemens WA, 172-181
- Butler PM (1952) The Milk-Molars of Perissodactyla, with Remarks on Molar Occlusion. *Proceedings of the Zoological Society (London)*, Vol. 121, Part IV, 777-817
- Butler PM (1972) Some functional aspects of molar evolution. *Evolution*: Vol. 26, Nr. 3, 474-483
- Butler PM (1973) Molar wear facets of Early Tertiary North American primates. *Symposia of the Fourth Int. Congress of Primatology*, Vol. 3, eds. Montagna W, Zingesser MR, Karger, Basel
- Butler PM (1974) A Zoologist Looks at Occlusion. *British journal of orthodontics* 1.5, 205-212
- Butler PM (1986) Problems of dental evolution in higher primates. *Major topics in primate and human evolution*. Cambridge University Press, 89-106
- Butler PM (1990) Early trends in the evolution of tribosphenic molars. *Biological Reviews*, 65, 529-552
- Butler PM (2000) The evolution of tooth shape and tooth function in primates. *Development, Function and Evolution of Teeth*, Teaford M, Smith M, Ferguson M, (eds.). Cambridge University Press, 201-211
- Charles-Dominique P (1972) Ecologie et vie sociale de *Galago demidovii* (Fischer 1808; Prosimii). *Zeitschrift für Tierpsychologie*, 9, 7-41.
- Chew AC (2005) Biostratigraphy, paleoecology and synchronized evolution in the early Eocene mammalian fauna of the Central Bighorn Basin, Wyoming. Unpublished Ph.D. dissertation, Johns Hopkins University School of Medicine
- Chew AE (2009) Paleoecology of the early Eocene Willwood mammal fauna from the central Bighorn Basin, Wyoming. *Journal Information*, Jg. 35, No 1
- Clyde WCD, Gingerich PD (1994) Rates of evolution in the dentition of early Eocene Cantius: comparison of size and shape. *Paleobiology*, Vol. 20, No. 4, 506-522
- Clymer GA (2006) Foraging responses to nutritional pressures in two species of cercopithecines: *Macaca mulatta* and *Papio ursinus*. Thesis, Georgia State University
- Cooper CF (1932) On some mammalian remains from the lower Eocene of the London Clay. *Journal of Natural History*, 9(53), 458-467
- Cope ED (1874) On the homologies and origins of the types of molar teeth of mammalian Educabilia. *J. Acad. Natur. Sci. Philadelphia* (n.s.) 8 (1): 71-89
- Cope ED (1883) Note on the trituberculate type of superior molar and the origin of the quadrituberculate. *Amer. Naturalist*, Lancaster, 17: 407-408

- Cope ED (1888) On the Tritubercular Molar in Human Dentition... Ginn & Company, 1888
- Cope ED (1889) The mechanical causes of the development of the hard parts of the Mammalia. *Journal of Morphology* 3.2: 137-290
- Covert HH (1986) Biology of the early Cenozoic primates. In D.W. Swindler and J. Erwin (eds.), *Comparative Primate Biology, Vol. 1: Systematics, Evolution, and Anatomy*, 335-359, New York: Alan R. Liss
- Covert HH (1995) Locomotor adaptations of Eocene primates: adaptive diversity among the earliest prosimians, *Creatures of the dark: the nocturnal prosimians*, L. Alterman, G.A. Doyle, and M.K. Izard (eds.) Plenum, New York, 495-509
- Covert HH, Hamrick MW (1993) Description of new skeletal remains of the early Eocene anaptomorphine primate *Absarokius* (Omomyidae) and a discussion about its adaptive profile. *Journal of Human Evolution*, 1993, 25. Jg., Nr. 5, 351-362
- Crompton AW (1971): The origin of the tribosphenic molar. *Early Mammals* (Edited by Kermack DA and Kermack KA). Supplement No. 1, *Zoological Journal of the Linnean Society* 50, 65-87
- Curtis DJ (2004) Diet and nutrition in wild mongoose lemurs (*Eulemur mongoz*) and their implications for the evolution of female dominance and small group size in lemurs. *American Journal of Physical Anthropology*, 124(3), 234-247
- Curtis DJ, Zaramody A (1998) Group size, home range use, and seasonal variation in the ecology of *Eulemur mongoz*. *International Journal of Primatology*, 19(5), 811-835
- Davies AG, Oates JF (1994) *Colobine monkeys: their ecology, behaviour and evolution*. Cambridge University Press
- Douglass GD, DeVreugd RT (1997) The Dynamics of Occlusal Relationship. *Science and practice of occlusion*. Illinois: Quintessence Publishing Co, 69-78
- Engels S (2011) Funktionelle und morphologische Transformationen der Molaren bei frühen Hippomorpha im Hinblick auf den Mastikationsprozess. Doktorarbeit. Universitäts- und Landesbibliothek Bonn
- Fiorenza L (2009) Occlusal Wear Pattern Analysis of Functional Morphology in Neanderthals and Early *Homo sapiens* Dentition. Doktorarbeit. Johann Wolfgang Goethe University, Frankfurt
- Fiorenza L et al. (2010) Brief communication: identification reassessment of the isolated tooth Krapina D58 through occlusal fingerprint analysis. *American journal of physical anthropology*, 143(2), 306-312
- Fiorenza L, Benazzi S, Tausch J, Kullmer O, Bromage TG, Schrenk F (2011a) Molar macrowear reveals Neanderthal ecogeographic dietary variation. *PLoS One* 6:1-11
- Fiorenza L, Benazzi S, Viola B, Kullmer O, & Schrenk F (2011b) Relationship between cusp size and occlusal wear pattern in Neanderthal and *Homo sapiens* first maxillary molars. *The Anatomical Record*, 294(3), 453-461

- Fiorenza L, Benazzi S, & Kullmer O (2011c) Para-masticatory wear facets and their functional significance in hunter-gatherer maxillary molars. *Journal of Archaeological Science*, 38(9), 2182-2189
- Fiorenza L, Kullmer O (2013) Dental Wear and Cultural Behavior in Middle Paleolithic Humans From the Near East. *American journal of physical anthropology*. 152., Nr. 1, 107-117
- Fleagle JG (1999) Primate Adaptation and Evolution. Academic Press, San Diego.
- Fritz J (2007) Allometrie der Kotpartikelgröße von pflanzenfressenden Säugern, Reptilien und Vögeln. Diss. Ludwig-Maximilians-Universität München
- Gebo DL (2002) Adapiformes: phylogeny and adaptation. *The Primate Fossil Record*, edited by Walter C Hartwig, Cambridge Studies in Biological and Evolutionary Anthropology, 21-44
- Geissmann T (2003) *Vergleichende Primatologie*. Springer-Verlag
- Gingerich PD (1986) Early Eocene *Cantius torresi* – oldest primate of modern aspect from North America. *Nature*, 319: 319-321
- Gingerich PD (1995) Sexual Dimorphism in Earliest Eocene *Cantius torresi* (Mammalia, Primates, Adapoidea). *Contr. Mus. Paleont. Univ. Mich.* Vol. 29, No. 8, 185-199
- Gingerich PG (2012) Primates in the Eocene. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments* 92. Jg., Nr. 4, S. 649-663
- Gingerich PD, Simons EL (1977) Systematics, phylogeny, and evolution of early Eocene Adapidae (Mammalia, Primates) in North America, *Contr. Mus. Paleont. Univ. Mich.* Vol. 24, No. 22, 245-279
- Gingerich PD, Haskin RA (1981) Dentition of early Eocene *Pelycodus jarrovi* (Mammalia, Primates) and the generic attribution of species formerly referred to *Pelycodus*. *Contr. Mus. Paleont. Univ. Mich.* Vol. 25, No. 17, 327-337
- Godinot, M (1998) A Summary of Adapiform Systematics and Phylogeny. *Folia Primatol* 1998, 69: 218-249
- Gregory WK (1922) The Origin and Evolution of the Human Dentition. Williams and Wilkins, Baltimore.
- Gregory WK (1920) On the structure and relations of *Notharctus*, an American Eocene primate. *Memoirs of the American Mus. of Nat. Hist.*, New Series, Vol III, Part II
- Grine FE, Kay RF (1988) Early hominid diets from quantitative image analysis of dental microwear. *Nature*, 333(6175), 765-768
- Gunnell GF (2002) Notharctine primates (Adapiformes) from the early to middle Eocene (Wasatchian-Bridgerian) of Wyoming: transitional species and the origins of *Notharctus* and *Smilodectes*. *Journal of Human Evolution* (2002) 43, 353-380
- Hauser L (2013) Zahnabnutzungsmuster von *Sivapithecus* aus dem Miozän der indisch-pakistanischen Sivaliks (unveröffentlichte Bachelorarbeit), Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt am Main
- Henke W, Rothe H (1994) Paläoanthropologie. Berlin / Heidelberg / New York, Springer Verlag

- Henke W, Rothe H (1997) Zahnphylogenie der nicht-menschlichen Primaten. In: Alt KW, Türp JC (Hrsg.) *Die Evolution der Zähne. Phylogenie, Ontogenie, Variation*. Quintessenz Verlags GmbH, 279-360
- Hershkovitz P (1977) *Living New World Monkeys (Platyrrhini). With an Introduction to Primates*, Vol. 1. Chicago: University of Chicago Press.
- Hiiemae KM, Kay RF (1973) Evolutionary trends in the dynamics of primate mastication, in *Craniofacial Biology of Primates, 4th International Congress of Primatology*, Portland, Oreg., August 1972: Vol. 3, Montagna W, Zingesser MR (eds.), 28-64
- Hladik CM (1967) Surface relative du tractus digestif de quelques primates, morphologie des villosités intestinales et corrélations avec le régime alimentaire. *Mammalia*, 31(1), 120-147
- Hladik CM, Charles-Dominique P (1974) The behaviour and ecology of the sportive lemur (*Lepilemur mustelinus*) in relation to its dietary peculiarities. *Prosimian biology*. Duckworth, London Martin RD, Doyle GA und Alker AC (eds.), 25-37
- Hladik CM, Charles-Dominique P, Petter JJ (1980) Feeding strategies of five nocturnal prosimians in the dry forest of the west coast of Madagascar. *Nocturnal Malagasy primates: ecology, physiology, and behavior*, 41-73
- Hölzchen E (2012) Simulation funktionsmorphologisch-evolutiver Entwicklungsstadien bunodonter Primatenmolaren. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt am Main
- Hürzeler J (1948) Zur Stammesgeschichte der Necrolemuriden. *Schweiz. Paläont. Abh.* 66 (1), 1-46
- Hunter JP, Jernvall J (1995) The hypocone as a key innovation in mammalian evolution, *Proc. Natl. Acad. Sci.* Vol. 92, 10718-10722
- Jones KE, Rose KD, Perry JMG (2014) Body Size and Premolar Evolution in the Early-Middle Eocene Euprimates of Wyoming. *American journal of physical anthropology* 153: 15-28
- Kay RF (1973) Mastication, molar tooth structure and diet in primates. Ph.D. Thesis, Yale University
- Kay RF (1975) The functional adaptations of primate molar teeth. *American journal of physical anthropology* 43:195-216
- Kay RF (1977a) The evolution of molar occlusion in the Cercopithecidae and early Catarrhines. *American journal of physical anthropology* 46:327-352
- Kay RF (1977b) Diets of early Miocene African hominoids. *Nature* 286: 628-630
- Kay RF (1978) Molar structure and diet in extant Cercopithecidae. *Development, Function and Evolution of Teeth*. P.M. Butler, K. Joysey (eds.) London, Academic Press, 309-339
- Kay RF (1981) The nut-crackers – A new theory of the adaptations of the Ramapithecinae. *American journal of physical anthropology*, 55: 141-152

- Kay RF (1984) On the use of anatomical features to infer foraging behavior in extinct primates. *Adaptations for Foraging in Non-human Primates: Contributions to an Organismal Biology of Prosimians, Monkeys, and Apes*, eds.: Rodman PS & Cant JGH, New York: Columbia University Press, 21-53
- Kay RF, Cartmill M (1977) Cranial morphology and adaptations of *Palaechthon nacimienti* and other Paromomyidae (Plesiadapoidea, ?Primates), with a description of a new genus and species. *Journal of Human Evolution*, 6: 19-53
- Kay RF, Hiiemae KM (1974) Jaw Movement and Tooth Use in Recent and Fossil Primates. *American journal of physical anthropology*, 40, 227-256
- Kay RF, Hylander WL (1978) The dental structure of mammalian folivores with special reference to Primates and Phalangerioidea (Marsupialia). *The Ecology of Aboreal Folivores*. G.G. Montgomery (ed.), Washington, Smithsonian Institution Press, 173-196
- Kay RF, Sheine WS (1979) On the relationship between chitin particle size and digestibility in the primate, *Galago senegalensis*. *American journal of physical anthropology* 50: 301-308
- Kay RF, Simons EL (1980a) The ecology of Oligocene African Anthropoidea. *International Journal of Primatology* 1: 21-37
- Kay RF, Simons EL (1980b) Comments on the adaptive strategy of the first African anthropoids. *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie* 71: 143-148
- Kay RF, Ungar PS (1997) Dental evidence for diet in some Miocene catarrhines with comments on the effects of phylogeny on the interpretation of adaptation. *Function, Phylogeny, and Fossils*. Springer US, 131-151
- Kirk EC, Simons EL (2001) Diets of fossil primates from the Fayum Depression of Egypt: a quantitative analysis of molar shearing. *Journal of Human Evolution*, 40(3), 203-229
- Kuhn-Schnyder E, & Rieber H (1984). Paläozoologie: Morphologie und Systematik der ausgestorbenen Tiere; 24 Tab. Thieme.
- Kullmer et al (2002) Hominid tooth pattern database (HOTPAD) derived from optical 3d Topometry. *Three-Dimensional Imaging in Paleoanthropology and Prehistoric Archeology*. Mafart B, Delignette H (eds), Actes du XIVème Congrès UISPP, Université de Liège, Belgique, 2-8 Septembre 2001, (BAR Int. Ser. 1049), 71-82
- Kullmer O, Benazzi S, Fiorenza L, Schulz D, Bacso S, Winzen O (2009) Technical note: occlusal fingerprint analysis: quantification of tooth wear pattern. *American journal of physical anthropology*, 139(4), 600-605
- Kullmer O, Schulz D, Benazzi S (2012) An experimental approach to evaluate the correspondence between wear facet position and occlusal movements. *The Anatomical Record*, 295(5), 846-852
- Kullmer O, Benazzi S, Schulz D, Gunz P, Kordos L, Begun DR (2013) Dental arch restoration using tooth macrowear patterns with application to *Rudapithecus hungaricus*, from the late Miocene of Rudabánya, Hungary. *Journal of human evolution*, 64(2), 151-160

- Maier W (1977a) Die Evolution der bilophodonten Molaren der Cercopithecoidea: Eine funktionsmorphologische Untersuchung. *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie*, Bd. 68, H 1, 26-56
- Maier W (1977b) Die bilophodonten Molaren der Indriidae (Primates) – ein evolutionsmorphologischer Modellfall. *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie*, 68, 307-344
- Maier W (1980) Konstruktionsmorphologische Untersuchungen am Gebiß der rezenten Prosimiae (Primates). *Abhandlungen der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft* 538, Frankfurt, 1-158
- Maier W, Schneck G (1981) Konstruktionsmorphologische Untersuchungen am Gebiß der hominoiden Primaten. *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie*, Stuttgart, 127 – 169
- Matsuda I, Tuuga A, Higashi S (2009) The feeding ecology and activity budget of proboscis monkeys. *American Journal of Primatology*, 71(6), 478-492
- Martin RD, Martin AE (1990) Primate Origins and Evolution. A phylogenetic reconstruction. Princeton University Press
- Matsuda et al. (2011) Regurgitation and remastication in the foregut-fermenting proboscis monkey (*Nasalis larvatus*). *Biology letters*, 7. Jg., Nr. 5, 786-789
- McCrossin ML, Benefit BR (1994) Maboko Island and the evolutionary history of Old World monkeys and apes. *Integrative Paths to the Past: Paleoanthropological Advances in Honor of F.C. Howell*, Corruccini RS, Ciochon RL (eds.), Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 95-122
- McNulty KP, Begun DR, Kelley J, Manthi, FK (2015) A systematic revision of Proconsul with the description of a new genus of early Miocene hominoid. *Journal of Human Evolution*, Vol. 84, 42–61
- Mills JRE (1955) Ideal dental occlusion in the primates. *Dental Practitioner* 6.2, 47-63
- Mills JRE (1963) Occlusion and Malocclusion of the teeth of primates. *Dental Anthropology* 5, 29-51
- Mills JRE (1966) The functional occlusion of the teeth of Insectivora. *Journal of the Linnean Society of London, Zoology* 46.308, 1-25
- Mills JRE (1986) Molar Morphology and Tooth Wear. *Mémoires du Musée National d'Histoire Naturelle. Serie C, Science de la terre* 53, 1988, 343-350
- Nelson SV (2003) The Extinction of Sivapithecus: Faunal and Environmental Changes in the Sivaliks of Pakistan. *American School of Prehistoric Research Monographs*. Brill Academic Publishers, Leiden, Netherlands
- O'Leary M (1996) Dental evolution in the early Eocene Notharctinae (Primates, Adapiformes) from the Bighorn Basin, Wyoming: documentation of gradual evolution in the oldest true primates. Unpublished PhD dissertation, Johns Hopkins University School of Medicine

- Osborn HF (1888) The evolution of mammalian molars to and from the triangular type. *Amer. Naturalist*, Lancaster, 22: 1067-1079
- Osborn HF (1904) Palaeontological evidence for the original tritubercular theory. *Amer. J. Sci.*, New Haven, (4) 17: 321-323
- Osborn HF (1907) Evolution of mammalian molar teeth. *Biol. Stud & Addr.* 1 IX + 250 S., New York
- Pruetz JD, Bertolani P (2007) Savanna chimpanzees, *Pan troglodytes verus*, hunt with tools. *Current Biology*, 17(5), 412-417
- Rasmussen DT (2002) Early catarrhines of the African Eocene and Oligocene. Cambridge *Studies in Biological and Evolutionary Anthropology*, 203-220
- Roehler HW, Martin PL (1987) Geological investigations of the Vermillion creek coal bed in the Eocene Niland tongue of the wasatch formation, Sweetwater County, Wyoming (No. 1314-AL).
- Röper KM et al. (2014) Vocal acoustics in the endangered proboscis monkey (*Nasalis larvatus*). *American journal of primatology*, 76(2), 192-201
- Rose KD (1995) The Earliest Primates. *Evol Anthropol* 3: 159-173
- Rose KD (2006) The Beginning of the Age of Mammals. The Johns Hopkins University Press, Baltimore
- Rose et al. (1999) Skull of Early Eocene *Cantius abditus* (Primates: Adapiformes) and its Phylogenetic Implications, with a Reevaluation of "*Hesperolemur*" *actius*. *American Journal of Physical Anthropology* 109: 523-539
- Ryder JA (1878) On the mechanical genesis of tooth forms. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*. 45-80
- Ryder JA (1879) Further notes on the mechanical genesis of tooth forms. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*. 47-51
- Schultz JA (2011) Funktionelle Morphologie und Abnutzungsmuster prätribosphenischer Molaren am Beispiel der Dryolestida (Mammalia, Cladotheria). Doktorarbeit. Universitäts-und Landesbibliothek Bonn
- Secord et al. (2008) Stable Isotopes in Early Eocene Mammals as Indicators of Forest Canopy Structure and Resource Partitioning. *Papers in Earth and Atmospheric Science*. Paper 169.
- Seligsohn D (1977) Analysis of species-specific molar adaptations in Strepsirhine primates. *Contrib. Primat.*; 11:1-116 , Basel
- Simons EL (1962) A new Eocene primate genus, *Cantius*, and a revision of some allied European Lemuroids. *Bull. Brit. Mus. Nat. Hist., Geol.*, 7: 1-36
- Simons EL (1970) The deployment and history of Old World monkeys (Cercopithecidae, Primates). *Old World monkeys*. New York & London: Academic Press. p, 97-137

- Simons EL (1974) *Parapithecus grangeri* (Parapithecidae, Old World higher primates): new species from the Oligocene of Egypt and the initial differentiation of Cercopithecoidea. *Peabody Museum of Natural History*, Yale University
- Simons EL, Placvan JM, Fleagle JG (1999) Canine sexual dimorphism in Egyptian Eocene anthropoid primates: *Catopithecus* and *Proteopithecus*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96.5 (1999), 2559-2562
- Simpson GG (1955) The Phenacolemuridae, new family of early Primates. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 105(5), 411-442
- Smith, BH (1984) Patterns of molar wear in hunter-gatherers and agriculturalists. *American Journal of Physical Anthropology*, 63(1), 39-56
- Soligo C, Martin RD (2006) Adaptive origins of primate revisited. *Journal of Human Evolution*, 50: 414-430
- Stehlin HG (1916) Die Säugetiere des schweizerischen Eocäns. *Kritischer Katalog der Materialien. Siebenter Theil, zweite Hälfte. Abh. Schweiz. paläont. Ges.* 41, 1299-552
- Strait SG (2001) Dietary Reconstruction of Small-Bodied Omomyoid Primates. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 2001, 21. Jg., Nr. 2, 322-334
- Swindler, DR (1976) *Dentition of living primates*. Academic Press, London
- Szalay FS (1976) Systematics of the Omomyidae (Tarsiiformes, Primates): taxonomy, phylogeny, and adaptations. *Bulletin of the AMNH*; v. 156, article 3
- Szalay FS, Delson E (1979) *Evolutionary History of the Primates*. New York, Academic Press
- Thenius E, Hofer H (1960) *Stammesgeschichte der Säugetiere*, Springer Verlag, 1-322
- Ulhaas et al. (2004) A new 3d approach to determine functional morphology of cercopithecoidean molars. *Annals of Anatomy* 186, 487-493
- Ulhaas L (2006) Vergleichende computergestützte funktionsmorphologische Analyse an Molaren cercopithecoider Primaten. Dissertation, Johannes Gutenberg-Universität Mainz
- von Koenigswald W, Anders U, Engels S, Schultz JA & Kullmer O (2013) Jaw movement in fossil mammals: analysis, description and visualization. *Paläontologische Zeitschrift*, 87(1), 141-159
- Wing SL, Bown TM, Obradovich JD (1991) Early Eocene biotic and climatic change in interior western North America. *Geology* 19: 1189-1192
- Wood HE (1934) Revision of the Hyrachyidae. *Bulletin of the AMNH*; v. 67, article 5.
- Yeager CP (1989) Feeding ecology of the proboscis monkey (*Nasalis larvatus*). *International Journal of Primatology*, 10(6), 497-530

9. Anhang

Farbcode der Liste 9.1 Messwerte Cantius M1+M2 und m1+m2:

Die weißen Zeilen markieren die Oberkiefermolaren und grauen Zeilen die Unterkiefermolaren. Die gelben Spalten bedeuten LPT-Facetten, die blauen Spalten LRT-Facetten, die grünen MT-Facetten und die roten die Facette 1_3_5.

Der Farbcode der Liste 9.2 Messwerte Primaten M1:

Die abwechselnd grün und weiß markierten Zeilen haben keine Bedeutung, sondern dienen der besseren Lesbarkeit. Die Spalten sind wie oben angegeben.

RE = Referenzebene

9.1 Messwerte Cantius M1+M2 und m1+m2

Sammlungs-Nr + Typ	Tiefe	M1	Oberfl. M1	gesFac.M1	Oberfl./Fac. M1
USGS_23777_M2_dex.	30		x	x	x
USGS_23779_m1-m2_dex.	30		20,92	1,73	12,09
USGS_4650_m1-m2_dex.	34		17,77	1,57	11,32
USGS_4689_M1-M2_dex.	34		26,5	1,77	14,92
USGS_23761_M2_dex.	34		x	x	x
USGS_27208_M1-M2_dex.	34		26,77	1,53	17,5
USGS_13634_M1-M2_sin.	149		33,01	2,04	16,18
USGS_13634_s.o._m1-m2_sin.	149		23,41	2,46	9,52
USGS_13634_s.o._M1-M2_dex.	149		34,55	2,14	16,14
USGS_13634_s.o._m1-m2_dex.	149		22,39	2,48	9,03
USNM_522166_M2_dex.	149		x	x	x
USGS_13582_M1_dex.	190		31,17	2,47	12,62
USGS_10058_M1-M2_sin.	292		32,07	2,39	13,42
USGS_2588_m1-m2_sin.	344		28,65	3,13	9,15
USNM_522187_m1-m2_sin.	360		25,24	3,39	7,45
USGS_30263_M1-M2_dex.	378		36,2	3,46	10,46
USNM_522188_m1-m2_sin.	380		27	3,36	8,04
USGS_453_M1-M2_dex.	400		40,23	3,15	12,77
USNM_495167_M1-M2_dex.	407		46,48	2,18F	21,32F
USGS_25937_m1-m2_dex.	415		27,92	3,19	8,75
USGS_4565_m1_dex.	424		29,67	6,42	4,62
USGS_4521_m1-m2_dex.	425		27,01	4,01	6,74
USGS_4533_M1-M2_dex.	425		45,14	2,94	15,35
USGS_4534_M1-M2_sin.	425		45,78	2,06	22,22
USGS_4539_m1_dex.	425		27,94	3,91	7,15
USGS_433_M1-M2_sin.	438		40,21	1,68	23,93
USGS_23687_m1-m2_sin.	438		26,87	3,97	6,77
USGS_6148_m1-m2_dex.	441		28,62	3,25	8,81
USGS_10021_M1-M2_dex.	450		44,82	3,15	14,23
USGS_7210_M1_dex.	463		37,04	2,89	12,82
USGS_7212_m1_sin.	463		28,88	2,88	10,03
USGS_16577_M1-M2_dex.	463		34,72	1,93	18
USGS_23694_m1-m2_dex.	463		30,23	5,03	6,01
USGS_23747_m1_dex.	463		29,5	3,71	7,95
USGS_25921_M1-M2_dex.	485		42,2	3,66	11,53
USGS_6980_M1-M2_sin.	486		48,96	5,4	9,07
USGS_7860_M1-M2_sin.	521		35,99	4,62	7,79
USGS_7860_m1_sin.	521		25,3	3,51	7,2
USGS_13624_M1-M2_sin.	559		48,33	5,21	9,28
USGS_7235_m1-m2_dex.	591		32,17	4,11	7,83
USGS_7236_M2_dex.	591		x	x	x
USGS_16611_m1-m2_sin.	591		32,04	4,73	6,77

Anhang

Schnittfl. Parallel	3D-Index	F1_M1	Dip	Dip dir
x	x	x	x	x
9,44	2,22	0,13	58	181
9,48	1,87	0,19	37	181
12,85	2,06	0,71	48	354
x	x	x	x	x
15,35	1,74	0,13/0,06/0,28	61/36/60	7/323/358
17,28	1,91	0,19/0,05	48/56	8/348
11,4	2,05	0,41	60	176
17,18	2,01	0,13	40	4
11,22	2	0,67	53	170
x	x	x	x	x
14,95	2,08	0,22/0,23/0,13	42/39/29	358/3/237
17,25	1,86	0,23/0,08/0,18/0,05	54/12/58/42	8/317/4/353
13,52	2,12	0,34	67	247
12,32	2,05	0,62	62	182
17,73	2,04	0,16	58	359
14,3	1,89	0,3/0,46	57/53	178/173
21,95	1,83	0,31/0,19	51/52	357/1
25,69	1,81	0,04/0,26	45/49	350/356
14,51	1,93	0,1	63	166
16,19	1,83	0,62	57	173
14,12	1,91	1	58	169
25,07	1,8	0,3	50	5
25,33	1,81	0,35/0,06	48/39	1/337
15,23	1,83	0,46	47	176
21,82	1,84	0,13/0,06/0,15	51/21/49	358/288/346
14,15	1,9	0,59	62	195
14,93	1,92	0,19/0,13	52/60	154/164
24,82	1,81	0,16/0,57	54/57	354/352
22,79	1,63	1.1: 0,44	52	356
15,09	1,91	0,58	60	174
20,65	1,68	0,14/0,07	55/60	9/351
15,95	1,89	0,69/0,25	58/28	165/128
15	1,96	0,47	58	168
20,71	2,04	0,2/0,22	57/54	5/4
27,26	1,79	0,16/0,28	57/55	8/360
21,12	1,7	0,19/0,45/0,25	54/26/50	6/322/359
13,82	1,83	0,68	56	172
25,87	1,87	0,13/0,42/0,39	47/23/49	5/319/359
17,07	1,88	0,94	60	173
x	x	x	x	x
16,55	1,94	1,1	66	176

Anhang

Sammlungs-Nr + Typ	F2_M1	Dip	Dip dir	F3_M1	Dip	Dip dir
USGS_23777_M2-M3_dex.	x	x	x	x	x	x
USGS_23779_m1-m2_dex.	0,34/0,13	57/45	18/360	0,19	38	6
USGS_4650_m1-m2_dex.	0,31	46	12	0,24	39	42
USGS_4689_M1-M2_dex.	0,08	62	203	0,21	62	214
USGS_23761_OKr_M2-M3_dex.	x	x	x	x	x	x
USGS_27208_P4-M2_dex.	0,12	50	206	0,08	52	194
USGS_13634_M1+M2_sin.	0,24	58	207	0,28	52	220
USGS_13634_s.o._m1+m2_sin.	0,11/0,15	49/49	357/5	0,93	52	49
USGS_13634_s.o._M1+M2_dex.	0,42	66	207	0,36	59	211
USGS_13634_s.o._m1+m2_dex.	0,29/0,08/0,05	55/63/43	32/4/344	0,62	46	36
USNM_522166_or_M2_dex.	x	x	x	x	x	x
USGS_13582_P4-M1_dex.	0,38	65	200	0,38	68	206
USGS_10058_M1-M3_sin.	0,27/0,11	53/25	206/264	0,23	54	211
USGS_2588_m1-m2_sin.	0,2/0,22	49/53	23/34	0,56	61	45
USNM_522187_m1-m2_sin.	0,17/0,33/0,04	65/62/53	12/31/43	0,68	65	41
USGS_30263_P4-M3_dex.	0,91	66	214	0,47	51	218
USNM_522188_m1-m2_sin.	0,32/0,25/0,06	61/50/67	32/2/9	0,36	40	21
USGS_453_M1-M3_dex.	0,3	56	210	0,34	58	213
USNM_495167_P3-M3_dex.	x	67	224	x	19	225
USGS_25937_p4-m2_dex.	0,22/0,28	44/36	3/352	0,47	59	32
USGS_4565_p4-m1_dex.	0,27/0,27	46/53	342/9	0,81	55	28
USGS_4521_p3-m2_dex.	0,23/0,16	47/48	26/3	0,7	53	34
USGS_4533_M1-M2_dex.	0,27/0,17	58/48	204/205	0,54	59	216
USGS_4534_P4-M3_sin.	0,34	56	210	0,32	58	211
USGS_4539_m1_dex.	0,84	60	12	0,49	55	30
USGS_433_P4-M2_sin.	0,41	63	212	0,08	69	220
USGS_23687_m1-m2_sin.	0,43	48	27	0,58	45	30
USGS_6148_p3-m3_dex.	0,19	50	23	0,66/0,19/0,25	51/63/43	24/36/59
USGS_10021_P3-M3_dex.	0,29	55	206	0,52	58	220
USGS_7210_P2-M1_dex.	0,22	59	218	F0,16	56	218
USGS_7212_m1_sin.	0,25/0,24	65/61	38/7	0,64	68	43
USGS_16577_P4-M3_dex.	0,27	64	209	0,2	53	211
USGS_23694_p4-m3_dex.	0,33/0,18	62/60	26/35	0,22/0,31	59/62	25/33
USGS_23747_p4-m1_dex.	0,39/0,14	53/49	26/356	0,39	58	25
USGS_25921_M1-M2_dex.	0,17	61	189	0,2	59	199
USGS_6980_P4-M3_sin.	0,44	55	202	0,33	58	121
USGS_7860_M1-M2_sin.	0,63	61	208	0,33	56	214
USGS_7860_p4-m1_sin.	0,12/0,27	67/55	42/3	0,59	64	34
USGS_13624_M1-M3_sin.	0,32/0,44	66/27	200/240	x	49	214
USGS_7235_p4-m3_dex.	0,31/0,11/0,09	51/41/54	14/336/5	0,59/0,21	47/37	21/68
USGS_7236_M2-M3_dex.	x	x	x	x	x	x
USGS_16611_m1-m3_sin.	0,24/0,38	51/45	2 / 25	0,48	57	37

Anhang

F4_M1	Dip	Dip dir	F5_M1	Dip	Dip dir	F6_M1
x	x	x	x	x	x	x
0,14	36	182	0,35	55	172	0,06
0,24	46	161	0,34	35	156	0,04
0,17	39	352	0,31	46	353	0,13/0,09/0,05
x	x	x	x	x	x	x
0,09	50	347	0,12/0,33	53/46	352/344	0,14/0,07
0,16	43	358	0,47/0,02	43/47	355/354	0,21
0,26	56	167	0,43	55	168	0,11
0,14	36	352	0,65/0,09	41/45	343/341	0,17
0,23	43	174	0,42	52	164	0,08
x	x	x	x	x	x	x
0,26	29	334	0,24	30	16	0,14
0,28	39	356	0,25	57	353	0,08
0,38	52	177	0,24/0,19	62/41	168/112	0,5/0,11
0,27	51	175	0,37	56	171	0,12
0,42	44	344	0,62	54	346	0,23
0,39	49	176	0,35	60	165	0,17
0,24	41	353	0,56	50	358	0,11
x	42	344	0,55	53	359	0,16
0,48	52	157	0,43	66	152	0,16/0,13
0,68	42	168	1,6	51	173	1,4
0,42	48	162	0,46	55	169	0,11
0,19	53	330	0,42	56	358	0,27
0,24	49	345	0,35	52	2	n.f.
0,49	40	170	0,61	48	167	0,12
0,11	62	327	0,3	52	351	0,06
0,43/0,08	48/84	194/164	0,41	54	186	0,57
0,12	47	149	0,32	57	158	0,14/0,2
0,11	46	356	0,42	55	353	0,07
0,2	45	358	0,77	58	353	0,2
0,24	48	165	0,44	56	166	0,17
0,18	41	351	0,21	52	356	0,04
0,45	50	157	0,29	58	162	0,39
0,36	53	156	0,47	58	165	0,26
0,27	45	4	0,36	52	356	0,26
0,25	40	355	0,28	45	3	0,21
0,27	45	346	0,51/ 0,30	50/43	357/353	0,17
0,33	43	156	0,33/0,04	49/45	162/152	0,16
0,47	40	357	0,94/5.2: 0,12	49/18	358/337	0,23
0,43	47	172	0,44	63	161	0,12
x	x	x	x	x	x	x
0,52	52	172	0,67	61	170	0,34

Anhang

Sammlungs-Nr + Typ	Dip	Dip dir	F7_M1	Dip	Dip dir
USGS_23777_M2-M3_dex.	x	x	x	x	x
USGS_23779_m1-m2_dex.	30	46	x	x	x
USGS_4650_m1-m2_dex.	34	54	x	x	x
USGS_4689_M1-M2_dex.	41 / 22 / 18	146 / 155 / 198	x	x	x
USGS_23761_OKr_M2-M3_dex.	x	x	x	x	x
USGS_27208_P4-M2_dex.	32/9	146/166	n.f.	n.f.	n.f.
USGS_13634_M1+M2_sin.	39	228	x	x	x
USGS_13634_s.o._m1+m2_sin.	36	60	x	x	x
USGS_13634_s.o._M1+M2_dex.	43	222	x	x	x
USGS_13634_s.o._m1+m2_dex.	34	53	x	x	x
USNM_522166_or_M2_dex.	x	x	x	x	x
USGS_13582_P4-M1_dex.	46	190	x	x	x
USGS_10058_M1-M3_sin.	31	225	x	x	x
USGS_2588_m1-m2_sin.	24/23	77/73	x	x	x
USNM_522187_m1-m2_sin.	29	40	x	x	x
USGS_30263_P4-M3_dex.	39	236	0,06	39	195
USNM_522188_m1-m2_sin.	25	80	x	x	x
USGS_453_M1-M3_dex.	31	236	0,53	46	193
USNM_495167_P3-M3_dex.	48	216	0,21	48	207
USGS_25937_p4-m2_dex.	29/22	99/55	0,17 analog	49	24
USGS_4565_p4-m1_dex.	22	32	?	x	x
USGS_4521_p3-m2_dex.	37	52	x	x	x
USGS_4533_M1-M2_dex.	41	218	0,4	48	206
USGS_4534_P4-M3_sin.	48	219	x	x	x
USGS_4539_m1_dex.	29	45	x	x	x
USGS_433_P4-M2_sin.	44	232	0,26	27	216
USGS_23687_m1-m2_sin.	20/19	76/184	0,12 analog	40	13
USGS_6148_p3-m3_dex.	20/16	67/76	x	x	x
USGS_10021_P3-M3_dex.	47	203	0,05	36	203
USGS_7210_P2-M1_dex.	37	217	x	x	x
USGS_7212_m1_sin.	44	45	x	x	x
USGS_16577_P4-M3_dex.	33	225	0,19	18	201
USGS_23694_p4-m3_dex.	37	42	0,24	49	1
USGS_23747_p4-m1_dex.	48	31	x	x	x
USGS_25921_M1-M2_dex.	46	205	0,19	55	198
USGS_6980_P4-M3_sin.	39	217	0,24	48	200
USGS_7860_M1-M2_sin.	36	218	0,04	45	187
USGS_7860_p4-m1_sin.	31	51	x	x	x
USGS_13624_M1-M3_sin.	50	211	x	x	x
USGS_7235_p4-m3_dex.	28	40	x	x	x
USGS_7236_M2-M3_dex.	x	x	x	x	x
USGS_16611_m1-m3_sin.	40	39	x	x	x

Anhang

F8_M1	Dip	Dip dir	F9_M1	Dip	Dip dir
x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x
0,04	62	59	x	x	x
x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x
n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.
x	x	x	0,2/0,22	47/60	128/120
x	x	x	0,06	42	276
x	x	x	0,18	56	122
x	x	x	0,04	41	274
x	x	x	x	x	x
x	x	x	0,09	56	93
x	x	x	0,14	51	88
x	x	x	0,09	35	290
n.f.	n.f.	n.f.	0,43	50	281
x	x	x	0,12	55	80
x	x	x	0,14	48	266
x	x	x	0,05	33	81
x	x	x	0,19	30	129
x	x	x	0,17/0,28	39/41	269/262
x	x	x	0,77	47	265
0,18	26	122	0,39	46	274
0,1	29	315	0,16	41	103
0,1	20	298	0,06	33	107
0,18	20	96	0,11	43	262
x	x	x	0,07	34	108
x	x	x	x	x	x
x	x	x	0,22	44	264
x	x	x	0,16	34	111
0,05	23	325	0,07	39	129
x	x	x	0,15	45	295
x	x	x	0,04/0,07	55/51	93/101
x	x	x	0,42	40	262
0,33	30	151	0,2	48	260
0,03	23	322	0,26	59	89
0,03	10	300	0,34	35	107
0,05	17	300	0,98	44	105
0,1	16	134	0,21	38	277
0,2	22	256	0,33/0,27/0,21	46/52/51	92/127/98
0,16	39	161	0,18	32	261
x	x	x	x	x	x
0,22	42	168	0,11	45	255

Anhang

Sammlungs-Nr + Typ	F10_M1	Dip	Dip dir	F3_4_M1	Dip	Dip dir
USGS_23777_M2-M3_dex.	x	x	x	x	x	x
USGS_23779_m1-m2_dex.	x	x	x	x	x	x
USGS_4650_m1-m2_dex.	x	x	x	x	x	x
USGS_4689_M1-M2_dex.	x	x	x	0,05	21	244
USGS_23761_OKr_M2-M3_dex.	x	x	x	x	x	x
USGS_27208_P4-M2_dex.	n.f.	n.f.	n.f.	0,05	29	260
USGS_13634_M1+M2_sin.	x	x	x	x	x	x
USGS_13634_s.o._m1+m2_sin.	x	x	x	x	x	x
USGS_13634_s.o._M1+M2_dex.	x	x	x	x	x	x
USGS_13634_s.o._m1+m2_dex.	x	x	x	x	x	x
USNM_522166_or_M2_dex.	x	x	x	x	x	x
USGS_13582_P4-M1_dex.	0,09	61	144	x	x	x
USGS_10058_M1-M3_sin.	0,24	45	122	0,1	23	265
USGS_2588_m1-m2_sin.	x	x	x	0,15	41	84
USNM_522187_m1-m2_sin.	x	x	x	0,05	39	107
USGS_30263_P4-M3_dex.	0,31/0,16	53/42	126/133	x	x	x
USNM_522188_m1-m2_sin.	0,19/0,06	14/27	273/107	x	x	x
USGS_453_M1-M3_dex.	0,22	36	152	0,22	22	257
USNM_495167_P3-M3_dex.	0,3	38	146	0,28	26	270
USGS_25937_p4-m2_dex.	x	x	x	x	x	x
USGS_4565_p4-m1_dex.	x	x	x	x	x	x
USGS_4521_p3-m2_dex.	0,18	26	316	x	x	x
USGS_4533_M1-M2_dex.	0,12	41	117	x	x	x
USGS_4534_P4-M3_sin.	0,15	46	127	x	x	x
USGS_4539_m1_dex.	x	x	x	0,17	23	51
USGS_433_P4-M2_sin.	0,04	50	149	0,07	48	282
USGS_23687_m1-m2_sin.	x	x	x	x	x	x
USGS_6148_p3-m3_dex.	0,2/0,1	12/ 23	253/287	x	x	x
USGS_10021_P3-M3_dex.	0,34	28	139	0,03	16	246
USGS_7210_P2-M1_dex.	0,36	43	104	0,22	25	260
USGS_7212_m1_sin.	0,15	23	301	x	x	x
USGS_16577_P4-M3_dex.	0,24	46	136	x	x	x
USGS_23694_p4-m3_dex.	F10a: 0,36/10p: 0,57	36/34	332/296	x	x	x
USGS_23747_p4-m1_dex.	0,29	23	286	x	x	x
USGS_25921_M1-M2_dex.	0,41	58	121	x	x	x
USGS_6980_P4-M3_sin.	0,63	47	129	x	x	x
USGS_7860_M1-M2_sin.	0,37	44	128	0,08	25	282
USGS_7860_p4-m1_sin.	0,21	32	311	0,12	32	100
USGS_13624_M1-M3_sin.	0,44	54	139	0,13	22	242
USGS_7235_p4-m3_dex.	0,09	21	283	x	x	x
USGS_7236_M2-M3_dex.	x	x	x	x	x	x
USGS_16611_m1-m3_sin.	0,13	22	298	x	x	x

Anhang

F1_3_5_M1	Dip	Dip dir	Zusätzlich	Dip	Dip dir
x	x	x	x	x	x
0,35	29	107	x	x	x
0,17	52	110	x	x	x
0,07 / 0,04	7/ 27	345/276	x	x	x
x	x	x	x	x	x
0,11	20	289	x	x	x
0,03	13	273	x	x	x
0,12	33	109	x	x	x
0,18	26	130	x	x	x
0,09	25	108	x	x	x
x	x	x	x	x	x
0,17	5	272	0,28MeCo		
0,15	5	282	x	x	x
0,15	33	147	x	x	x
0,19/0,24	38/26	103/115	x	x	x
0,06	15	300	x	x	x
0,19/0,12	33/34	97/141	x	x	x
0,08	19	251	x	x	x
0,19	21	284	x	x	x
0,3	39	81	x	x	x
0,43	26	100	x	x	x
0,18	36	96	x	x	x
x	x	x	x	x	x
0,09	21	281	x	x	x
0,26/0,18	24/21	93/114	x	x	x
0,08	28	270	x	x	x
0,13/0,14/0,29	8/ 29/ 12	248/80/132	x	x	x
0,21/0,13	35/24	96/122	x	x	x
0,09 / 0,15	8 / 24	29/309	0,19MeCo	7	112
0,2	17	276	x	x	x
0,17	44	103	x	x	x
0,06/0,14	7 / 22	5/326	0,08MeCo	19	185
0,11/0,05	36/38	107/118	F1_3: 0,17/ F6_8: 0,19	26/24	95/92
0,41	31	86	x	x	x
0,18/0,2	22/13	224/266	x	x	x
0,08	9	204	x	x	x
0,08	13	201	0,11MeCo	5	244
0,16/0,1	30/26	88/95	F4_9: 0,09	22	220
0,33	16	287	x	x	x
0,44	28	98	x	x	x
x	x	x	x	x	x
0,41/0,13	30/40	114/127	x	x	x

Anhang

Sammlungs-Nr + Typ	M2	Oberfl. M2	gesF.M2	Oberfl./F. M2	Schnittfl. Parallel	3D-Index
USGS_23777_M2-M3_dex.		32,84	2,4	13,68	17,99	1,83
USGS_23779_m1-m2_dex.		24,44	2,17	11,26	12,42	1,97
USGS_4650_m1-m2_dex.		21,58	1,29	16,73	11,47	1,88
USGS_4689_M1-M2_dex.		25,21	1,84	13,7	14,81	1,7
USGS_23761_OKr_M2-M3_dex.		30,81	2,45	12,58	14,16	2,18
USGS_27208_P4-M2_dex.		27,1	1,27FF	21,43FF	16,89	1,6
USGS_13634_M1+M2_sin.		33,45	2,4	13,94	19,53	1,71
USGS_13634_s.o. m1+m2_sin.		25,6	1,53F	16,73F	13,37	1,91
USGS_13634_s.o. M1+M2_dex.		31,4	1,98	15,86	18,69	1,68
USGS_13634_s.o. m1+m2_dex.		26,24	1,59	16,5	13,62	1,93
USNM_522166_or_M2_dex.		34,01	1,53	22,23	17,68	1,92
USGS_13582_P4-M1_dex.		x	x	x	x	x
USGS_10058_M1-M3_sin.		39,01F	2,19	17,81	19,93	1,96
USGS_2588_m1-m2_sin.		30,7	3,06	10,03	15,53	1,98
USNM_522187_m1-m2_sin.		28,62	4,57	6,26	14,27	2,01
USGS_30263_P4-M3_dex.		40,89	2,67	15,31	22,27	1,84
USNM_522188_m1-m2_sin.		30,35	3,31	9,17	15,47	1,96
USGS_453_M1-M3_dex.		x	x	x	x	x
USNM_495167_P3-M3_dex.		49,62F	3,32	14,95F	x	x
USGS_25937_p4-m2_dex.		38,94	3,65	10,67	20,12	1,94
USGS_4565_p4-m1_dex.		x	x	x	x	x
USGS_4521_p3-m2_dex.		33,47	4,09	8,18	18,3	1,83
USGS_4533_M1-M2_dex.		47,14	2,45	19,24	28,66	1,64
USGS_4534_P4-M3_sin.		48,29	2,07	23,33	28,95	1,67
USGS_4539_m1_dex.		x	x	x	x	x
USGS_433_P4-M2_sin.		36,51	1,38	26,46	22,65	1,61
USGS_23687_m1-m2_sin.		33,71			18,62	1,81
USGS_6148_p3-m3_dex.		31,39	2,59	12,12	16,63	1,89
USGS_10021_P3-M3_dex.		x	x	x	x	x
USGS_7210_P2-M1_dex.		x	x	x	x	x
USGS_7212_m1_sin.		x	x	x	x	x
USGS_16577_P4-M3_dex.		41,96	1,39	30,19	25,74	1,63
USGS_23694_p4-m3_dex.		34,53	5,03	6,84	19,06	1,81
USGS_23747_p4-m1_dex.		x	x	x	x	x
USGS_25921_M1-M2_dex.		47,18	3,19	14,79	26,17	1,8
USGS_6980_P4-M3_sin.		50,2	2,37	21,18	29,53	1,7
USGS_7860_M1-M2_sin.		42,82	3,51	12,2	27,01	1,59
USGS_7860_p4-m1_sin.		x	x	x	x	x
USGS_13624_M1-M3_sin.		53,78	6,91	7,78	31,1	1,73
USGS_7235_p4-m3_dex.		38,83	4,01	9,68	22,05	1,76
USGS_7236_M2-M3_dex.		45,92	2,04	22,51	27,16	1,69
USGS_16611_m1-m3_sin.		39,69	3,83	10,36	22,61	1,76

Anhang

F1_M2	Dip	Dip dir	F2_M2	Dip	Dip dir
0,15/0,1/0,24	53/25/57	358/316/351	0,25	59	179
0,58/0,05	59/46	176/175	0,37	57	28
0,2	53	158	0,4	56	37
0,1/0,16/0,09	53 / 41 / 46	353 / 334 / 349	0,11	54	194
0,08/0,17	49/47	356/344	0,11	64	190
n.f./0,2	n.f./65	n.f./350	0,13/0,14	47/27	195/229
0,18/0,16	50/48	2/352	0,1	56	200
0,25	51	163	0,24	53	22
0,1/0,23	54/46	359/352	0,04	39	194
0,28	53	171	0,22	51	34
0,08/0,07	59/66	354/348	0,1	51	187
x	x	x	x	x	x
0,21/0,08	42/11	3/294	0,44/0,15	59/33	201/240
0,63	58	174	0,18	54	40
0,8	64	174	0,66	58	35
0,16/0,07	55/27	353/282	0,08	56	202
0,43	62	177	0,5/0,09	55/62	33/346
x	x	x	x	x	x
0,25/0,46	49/55	344/349	0,39	46	217
0,74	54	172	0,39	51	26
x	x	x	x	x	x
0,46	62	167	0,16	49	23
0,14/0,32	52/61	11/351	0,12/0,28	52/33	204/220
0,18/0,36	53/56	357/354	0,11	52	209
x	x	x	x	x	x
0,08/0,08	61/28	357/315	0,17	45	205
0,79	55	184	0,54	52	22
0,33	57	162	0,2	55	23
x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x
0,08/0,1	51/51	351/353	0,33	62	205
0,66	53	166	0,38	55	29
x	x	x	x	x	x
0,16/0,2	55/60	350/353	0,14	56	201
0,1	76	327	0,25	52	204
0,16/0,19/0,31	54/30/58	360/325/355	0,38	50	212
x	x	x	x	x	x
0,25/0,09/0,24/0,42	52/27/24/52	335/305/279/331	0,74	51	181
0,52	57	165	0,37	52	21
0,08/0,23	64/61	354/358	0,1	65	223
0,5	56	173	0,49	52	28

Anhang

Sammlungs-Nr + Typ	F3_M2	Dip	Dip dir	F4_M2	Dip	Dip dir
USGS_23777_M2-M3_dex.	0,29	49	212	0,16	39	311
USGS_23779_m1-m2_dex.	0,37/0,05	43/14	35/132	0,11	36	204
USGS_4650_m1-m2_dex.	0,3/0,08	53 / 13	49 / 105	0,06	33	188
USGS_4689_M1-M2_dex.	0,26	48	213	0,1	46	321
USGS_23761_OKr_M2-M3_dex.	0,28	52	204	0,32	35	337
USGS_27208_P4-M2_dex.	0,07	46	229	0,12	54	316
USGS_13634_M1+M2_sin.	0,2	44	214	0,1	63	298
USGS_13634_s.o. m1+m2_sin.	0,37	40	31	0,12	62	151
USGS_13634_s.o. M1+M2_dex.	0,2	37	213	0,05	48	320
USGS_13634_s.o. m1+m2_dex.	0,44	45	45	0,05	63	159
USNM_522166_or_M2_dex.	0,4	52	224	0,03	39	347
USGS_13582_P4-M1_dex.	x	x	x	x	x	x
USGS_10058_M1-M3_sin.	0,21	52	204	0,26	40	360
USGS_2588_m1-m2_sin.	0,34	45	24	0,4	46	161
USNM_522187_m1-m2_sin.	0,47	56	38	0,37	57	159
USGS_30263_P4-M3_dex.	0,25	49	207	0,33	41	334
USNM_522188_m1-m2_sin.	0,31/0,2	51/27	34/71	0,24	44	177
USGS_453_M1-M3_dex.	x	x	x	x	x	x
USNM_495167_P3-M3_dex.	0,22	42	212	0,15	47	335
USGS_25937_p4-m2_dex.	0,73	54	32	0,48	50	157
USGS_4565_p4-m1_dex.	x	x	x	x	x	x
USGS_4521_p3-m2_dex.	0,65	39	35	0,11	36	180
USGS_4533_M1-M2_dex.	0,24	44	219	0,25	57	324
USGS_4534_P4-M3_sin.	0,38	51	221	0,16	42	334
USGS_4539_m1_dex.	x	x	x	x	x	x
USGS_433_P4-M2_sin.	0,23	48	224	0,35	51	345
USGS_23687_m1-m2_sin.	0,54	43	21	0,53	37	172
USGS_6148_p3-m3_dex.	0,38	55	38	0,34	49	157
USGS_10021_P3-M3_dex.	x	x	x	x	x	x
USGS_7210_P2-M1_dex.	x	x	x	x	x	x
USGS_7212_m1_sin.	x	x	x	x	x	x
USGS_16577_P4-M3_dex.	0,39	56	214	0,1	45	344
USGS_23694_p4-m3_dex.	0,52/0,15	61/23	40/83	0,49	52	158
USGS_23747_p4-m1_dex.	x	x	x	x	x	x
USGS_25921_M1-M2_dex.	0,1	50	224	0,47	53	343
USGS_6980_P4-M3_sin.	0,49	47	222	0,25/0,14	29/50	321/344
USGS_7860_M1-M2_sin.	0,39	49	229	0,23	55	332
USGS_7860_p4-m1_sin.	x	x	x	x	x	x
USGS_13624_M1-M3_sin.	0,6	50	194	0,53	45	319
USGS_7235_p4-m3_dex.	0,99	54	34	0,3	49	151
USGS_7236_M2-M3_dex.	0,19	45	212	0,38	43	342
USGS_16611_m1-m3_sin.	0,63	56	40	0,55	49	175

Anhang

F3_4_M2	Dip	Dip dir	F1_3_5_M2	Dip	Dip dir	F5_M2	Dip	Dip dir
x	x	x	0,1	13	21	0,25	54	347
x	x	x	x	x	x	0,3/0,17	58/34	181/146
0,08	42	124	F1_2: 0,05	40	81	0,12	49	144
x	x	x	x	x	x	0,45	50	345
x	x	x	0,09	22	307	0,41	47	337
x	x	x	0,06	11	2	0,04/0,22	35/59	34/352
x	x	x	x	x	x	0,58/0,18/0,12	54/42/46	351/347/356
x	x	x	x	x	x	0,5	53	162
x	x	x	x	x	x	0,48/0,09/0,13	59/49/41	349/345/358
x	x	x	x	x	x	0,35	53	169
x	x	x	0,03	2	228	0,5	61	346
x	x	x	x	x	x	x	x	x
0,1	20	247	x	x	x	0,27	46	353
x	x	x	0,21	37	105	0,31	53	171
0,1	43	106	0,11	38	131	0,34/0,14	62/47	163/132
x	x	x	0,05	18	34	0,59	58	345
0,14	30	156	0,04	37	114	0,7	59	168
x	x	x	x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x	0,67	62	354
x	x	x	x	x	x	0,09	63	159
x	x	x	x	x	x	x	x	x
x	x	x	0,2	28	138	0,59/0,25	60/41	170/144
x	x	x	x	x	x	0,19	51	341
x	x	x	x	x	x	0,23	26	53
x	x	x	x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x	0,3/0,08/0,06	62/50/35	350/8/326
x	x	x	x	x	x	0,69/0,28	52/23	185/172
x	x	x	x	x	x	0,15/0,15	60/38	162/126
x	x	x	x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x	0,22	57	349
x	x	x	x	x	x	0,1/0,17	52/48	158/151
x	x	x	x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x	0,71	64	346
x	x	x	x	x	x	0,04	46	13
x	x	x	x	x	x	0,84	56	358
x	x	x	x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x	1,16	51	332
x	x	x	x	x	x	0,28/0,32	62/33	164/128
x	x	x	x	x	x	5.1: 0,07	23	321
x	x	x	x	x	x	0,26/0,25	59/29	178/135

Anhang

Sammlungs-Nr + Typ	F6_M2	Dip	Dip dir	F7_M2	Dip	Dip dir
USGS_23777_M2-M3_dex.	0,13/0,04	32/42	216/188	x	x	x
USGS_23779_m1-m2_dex.	0,04	34	336	x	x	x
USGS_4650_m1-m2_dex.	0,01	28	54	x	x	x
USGS_4689_M1-M2_dex.	0,06/0,1	43/17	224/181	x	x	x
USGS_23761_OKr_M2-M3_dex.	6.1: 0,21	37	184	x	x	x
USGS_27208_P4-M2_dex.	0,07/0,07	21/16	156/152	n.f.	n.f.	n.f.
USGS_13634_M1+M2_sin.	0,18	32	235	x	x	x
USGS_13634_s.o. m1+m2_sin.	0,09	35	61	n.f.	x	x
USGS_13634_s.o. M1+M2_dex.	0,16	32	240	x	x	x
USGS_13634_s.o. m1+m2_dex.	0,09	36	72	n.f.	x	x
USNM_522166_or_M2_dex.	0,03/0,06	20/22	158/183	x	x	x
USGS_13582_P4-M1_dex.	x	x	x	x	x	x
USGS_10058_M1-M3_sin.	0,1	48	210	0,11	57	206
USGS_2588_m1-m2_sin.	0,05/0,17	29/37	47/43	x	x	x
USNM_522187_m1-m2_sin.	0,24	46	56	x	x	x
USGS_30263_P4-M3_dex.	0,56	39	228	0,05	39	178
USNM_522188_m1-m2_sin.	0,31	31	82	x	x	x
USGS_453_M1-M3_dex.	x	x	x	x	x	x
USNM_495167_P3-M3_dex.	0,14	37	212	0,14/0,36	35/25	187/171
USGS_25937_p4-m2_dex.	0,37	23	87	0,07/0,03	27/47	344/16
USGS_4565_p4-m1_dex.	x	x	x	x	x	x
USGS_4521_p3-m2_dex.	0,36	30	57	x	x	x
USGS_4533_M1-M2_dex.	0,26	40	218	x	x	x
USGS_4534_P4-M3_sin.	0,18	43	222	x	x	x
USGS_4539_m1_dex.	x	x	x	x	x	x
USGS_433_P4-M2_sin.	x	x	x	x	x	x
USGS_23687_m1-m2_sin.	n.f.	33	19	0,4	39	19
USGS_6148_p3-m3_dex.	0,08/0,01	47/27	41/60	0,07	32	18
USGS_10021_P3-M3_dex.	x	x	x	x	x	x
USGS_7210_P2-M1_dex.	x	x	x	x	x	x
USGS_7212_m1_sin.	x	x	x	x	x	x
USGS_16577_P4-M3_dex.	0,07	45	237	x	x	x
USGS_23694_p4-m3_dex.	0,34	43	45	0,17	43	31
USGS_23747_p4-m1_dex.	x	x	x	x	x	x
USGS_25921_M1-M2_dex.	0,49	38	207	0,19	39	214
USGS_6980_P4-M3_sin.	0,12	38	212	0,47	35	200
USGS_7860_M1-M2_sin.	0,14	32	215	0,16/0,12	48/33	200/179
USGS_7860_p4-m1_sin.	x	x	x	x	x	x
USGS_13624_M1-M3_sin.	0,5	40	191	0,3/0,28	46/35	178/152
USGS_7235_p4-m3_dex.	0,09	27	46	0,21_analog	35	36
USGS_7236_M2-M3_dex.	0,32	44	221	0,06	48	192
USGS_16611_m1-m3_sin.	0,09	26	51	0,15/0,18	55/41	33/32

Anhang

F8_M2	Dip	Dip dir	F9_M2	Dip	Dip dir
x	x	x	0,25	43	71
0,13	20	61	0,07	27	257
x	x	x	x	x	x
x	x	x	0,14/0,06	48/47	89/82
x	x	x	0,2/0,1	54/53	83/103
n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.
x	x	x	0,23/0,1	52/32	92/121
x	x	x	0,08	27	307
x	x	x	0,05	31	86
x	x	x	0,1	32	311
x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x
0,06	24	242	0,09	48	94
x	x	x	0,15/0,15	42/25	280/267
x	x	x	0,4/0,17	41/16	266/356
x	x	x	9.1/ 0,12	51	107
x	x	x	0,11	43	265
x	x	x	x	x	x
x	x	x	0,12	30	87
x	x	x	0,75	44	271
x	x	x	x	x	x
0,13	26	104	0,64	43	271
0,39	11	162	0,2	37	90
0,08	29	318	0,24	31	99
x	x	x	x	x	x
x	x	x	0,03	30	72
0,18	19	152	0,08	22	322
x	x	x	0,08	22	317
x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x
X	x	x	0,07	49	98
0,08	14	80	0,23/0,32/0,5	29/29/39	299/318/94
x	x	x	x	x	x
0,17	26	306	0,13	40	80
x	x	x	0,26	33	98
0,05	10	27	0,26	39	101
x	x	x	x	x	x
0,17	23	245	0,16/0,47	44/42	81/83
0,06	17	81	0,17	13	298
0,05	14	80	0,13	45	132
0,03	18	124	0,11	13	328

Anhang

Sammlungs-Nr + Typ	F10_M2	Dip	Dip dir
USGS_23777_M2-M3_dex.	0,35	46	117
USGS_23779_m1-m2_dex.	x	x	x
USGS_4650_m1-m2_dex.	x	x	x
USGS_4689_M1-M2_dex.	0,12	41	130
USGS_23761_OKr_M2-M3_dex.	0,18	51	147
USGS_27208_P4-M2_dex.	0,07	53	109
USGS_13634_M1+M2_sin.	0,27	48	127
USGS_13634_s.o. m1+m2_sin	x	x	x
USGS_13634_s.o. M1+M2_dex.	0,31	42	119
USGS_13634_s.o. m1+m2_dex.	0,11	43	295
USNM_522166_or_M2_dex.	0,07	41	164
USGS_13582_P4-M1_dex.	x	x	x
USGS_10058_M1-M3_sin.	0,11	41	147
USGS_2588_m1-m2_sin.	0,15/0,2	34/30	341/325
USNM_522187_m1-m2_sin.	0,41	30	330
USGS_30263_P4-M3_dex.	0,15/0,24	48/45	118/136
USNM_522188_m1-m2_sin.	0,18	22	324
USGS_453_M1-M3_dex.	x	x	x
USNM_495167_P3-M3_dex.	0,42	28	125
USGS_25937_p4-m2_dex.	x	x	x
USGS_4565_p4-m1_dex.	x	x	x
USGS_4521_p3-m2_dex.	0,27	26	312
USGS_4533_M1-M2_dex.	0,06	42	113
USGS_4534_P4-M3_sin.	0,15	23	101
USGS_4539_m1_dex.	x	x	x
USGS_433_P4-M2_sin.	x	x	x
USGS_23687_m1-m2_sin.	x	x	x
USGS_6148_p3-m3_dex.	0,18/0,19/0,07	19/32/2	309/323/135
USGS_10021_P3-M3_dex.	x	x	x
USGS_7210_P2-M1_dex.	x	x	x
USGS_7212_m1_sin.	x	x	x
USGS_16577_P4-M3_dex.	0,1	28	122
USGS_23694_p4-m3_dex.	10p 0,47/10p.1 0,14/ 10a 0,1/10a1 0,21	30/20/30/28	320/295/307/312
USGS_23747_p4-m1_dex.	x	x	x
USGS_25921_M1-M2_dex.	0,43	40	111
USGS_6980_P4-M3_sin.	0,2/0,17	35/23	155/165
USGS_7860_M1-M2_sin.	0,28	46	136
USGS_7860_p4-m1_sin.	x	x	x
USGS_13624_M1-M3_sin.	0,77/0,23	40/30	106/105
USGS_7235_p4-m3_dex.	0,11	21	313
USGS_7236_M2-M3_dex.	0,14/0,17/0,16	52/50/35	110/111/103
USGS_16611_m1-m3_sin.	x	x	x

Anhang

Metaconule	Dip	Dip dir
0,09	16	150
x	x	x
x	x	x
occl 0,04/ant 0,05	9/ 38	220/26
0,2/0,08	57/19	199/13
0,08		
x	x	x
x	x	x
0,19	37	201
x	x	x
0,16	41	196
x	x	x
0,18	50	191
F10a: 0,12	37	40
F10a: 0,36	44	12
0,07	33	18
F10a: 0,1	27	25
x	x	x
x	x	x
x	x	x
x	x	x
F10a: 0,27	23	302
x	x	x
x	x	x
x	x	x
F10a: 0,07/0,07/0,13	11/ 11/ 36	357/289/284
x	x	x
x	x	x
x	x	x
x	x	x
x	x	x
x	x	x
x	x	x
x	x	x
x	x	x
x	x	x
x	x	x
x	x	x
x	x	x
x	x	x
x	x	x
F10a: 0,41/0,18	24/25	296/291
0,06 MeConule	36	32
F10a: 0,46/0,13	33/27	300/293

9.2 Messwerte Primaten und Outgroup M1

Name	Nummer		Oberfl. RE	Schnittfl. RE	OFA P1%	OFA P2%
<i>Absarokius abbotti</i>	DPC_2977	M1 dex.	12	5,1	86,6	13,2
<i>Aegyptopithecus zeuxis</i>	DPC_3161	M1 sin.	70,4	31,7	81	19
<i>Afradapis longicristatus</i>	DPC_21537	M1 dex.	71,78	21,31	68	32
<i>Apidium phiomense</i>	DPC_14238	M1 sin.	35,24	15,36	59,3	41,7
<i>Cantius sp._34m</i>	USGS_4689	M1 dex.	31,6	9,8	74,6	25,4
<i>Cantius sp._521m</i>	USGS_7860	M1 sin.	49,3	22	59,7	40,3
<i>Catopithecus browni</i>	DPC_11594	M1 sin.	26	9	75,8	24,2
<i>Cercocebus torquatus</i>	smf_1049	M1 dex.	139	38,8	54,8	45,2
<i>Cheirogaleus major</i>	smf_73562	M1 dex.	31,01	9,08	48,4	51,6
<i>Chlorocebus aethiops</i>	smf_1053	M1 sin.	80	13,6	45,7	54,3
<i>Colobus guereza</i>	smf_4099	M1 dex.	121,88	23,99	69,6	30,4
<i>Cynocephalus variegatus</i>	smf_1330	M1 sin.	44,4	10,2	18	82
<i>Dendropithecus macinnesi</i>	KNM_RU_1850	M2 dex.	100,4	40,6	66,8	33,2
<i>Dorcopsis sp.</i>	smf_59278	M3 sin.	90,5	27,7	45,5	54,5
<i>Galago demidoff</i>	smf_83201	M1 dex.	11,93	2,32	94,1	5,9
<i>Galago demidovii</i>	smf_73560	M1 sin.	10,01	2,91	x	x
<i>Galago senegalensis</i>	smf_32751	M1 dex.	16,41	4,72	92,6	7,4
<i>Gorilla gorilla</i>	smf_63976	M1 dex.	608	189,2	28,3	71,7
<i>Hapalemur sp.</i>	smf_34722	M1 sin.	44,21	14,46	74,1	25,9
<i>Hylobates lar</i>	smf_18718	M1 sin.	98,5	23	18,3	81,7
<i>Indri indri</i>	smf_931	M1/M2 dex.	118,14/100,8	34,7/33,3	77,8/x	22,2/x
<i>Lemur catta</i>	smf_19089	M1 dex.	50,39	19,04	74,3	25,7
<i>Lemur mongoz</i>	smf_2546	M1 sin.	39,67	13,31	45,4	54,6
<i>Lemur variegatus</i>	smf_34723	M1 dex.	110,94	38,72	x	x
<i>Lepilemur mustelinus</i>	smf_34717	M1 sin.	20,92	4,33	93,2	6,8
<i>Loris tardigradus</i>	smf_3218	M1 sin.	21,31	5,74	98,1	1,9
<i>Macaca maurus</i>	smf_1020	M1 sin.	127	39,5	23,5	76,5
<i>Macropus giganteus</i>	smf_15974	M3 dex.	217,4	69,3	16,9	83,1
<i>Microcebus murinus</i>	smf_34590	M1 dex.	7,49	1,85	91,1	8,9
<i>Nasalis larvatus</i>	smf_5041	M1 sin.	118	32	54,9	45,1
<i>Otolemur crassicaudatus</i>	smf_44754	M1 sin.	33,24	10,96	77	23
<i>Palenochtha minor</i>	USNM_9590	M1 sin.	4,82	1,8	59	41
<i>Pan troglodytes</i>	smf_pa_pc_383	M1 dex.	285,4	78,6	44,1	55,9
<i>Papio ursinus</i>	smf_94224	M1 sin.	287	88	23,5	76,5
<i>Parapithecus grangeri</i>	DPC_1090	M1 sin.	62	28	21	79
<i>Perodicticus potto</i>	smf_59373	M1 sin.	31,53	9,34	53,2	46,8
<i>Pongo sp.</i>	Schoch_1975_4	M1 dex.	342	104,6	42	58
<i>Presbytis cristatus</i>	smf_1077	M1 sin.	106	28,3	26,3	73,7
<i>Proconsul africanus</i>	KNM_RU_7290	M1 sin.	184,3	62	50,1	49,9
<i>Sivapithecus sp.</i>	YPM_13799	M1 dex.	211,4	77,6	25,1	74,9
<i>Tarsius syrichta</i>	smf_94285	M1 dex.	24,58	6,81	69	31
<i>Tupaja glis</i>	smf_pa_gu_861	M1 dex.	34,28	6,83	96,5	3,5
<i>Victoriapithecus macinnesi</i>	KNM_MB_21036	M1 dex.	80,4	29,5	42,9	57,1

Anhang

Name	Oberfl. PARALLEL	Schnittfl. PARALLEL	3D-Index	Mesio-Distal_M1	Bucco-Lingual_M1
<i>A. abbotti</i>	10	5,7	1,75	2,11	3,2
<i>A. zeuxis</i>	44,6	31	1,44	5,7	7,2
<i>A. longicristatus</i>	56,15	26,97	2,08	6,2	5,9
<i>Apidium phiomense</i>	21,11	14,82	1,42	3,70	5,40
<i>Cantius sp._34m</i>	25,5	12,8	1,99	3,5	4,6
<i>Cantius sp._521m</i>	38,6	21,4	1,8	4,5	6,5
<i>Catopithecus browni</i>	19,6	10,8	1,82	3,2	4,2
<i>C. torquatus</i>	60,1	36	1,67	7	7,6
<i>Cheirogaleus major</i>	21,53	12,83	1,68	3,80	4,60
<i>C. aethiops</i>	30	22	1,36	5,6	5,6
<i>Colobus guereza</i>	59,7	34,16	1,75	7,6	6,4
<i>C. variegatus</i>	40,4	12	3,36	3,70	5,50
<i>D. macinnesi</i>	60,6	42	1,44	6,45	7,8
<i>Dorcopsis sp.</i>	60,1	28,9	2,08	6,3	5,58
<i>Galago demidoff</i>	8,41	3,76	2,24	2,11	2,69
<i>Galago demidovii</i>	8,86	3,37	2,63	1,95	2,83
<i>G. senegalensis</i>	14,74	5,48	2,69	2,54	3,39
<i>Gorilla gorilla</i>	297,4	188,7	1,58	15,4	18,8
<i>Hapalemur sp.</i>	32,28	17,63	1,83	4,62	5,40
<i>Hylobates lar</i>	51,8	33	1,57	6,3	6,8
<i>Indri indri</i>	M1=75,17/M2=65,5	40,31/37,7	1,88/1,74	7,20	7,50
<i>Lemur catta</i>	34,63	21,51	1,61	5,20	6,10
<i>Lemur mongoz</i>	28,83	17,36	1,66	4,50	5,70
<i>Lemur variegatus</i>	77,01	45,64	1,68	7,56	8,50
<i>L. mustelinus</i>	11,12	6,7	1,66	3,20	3,40
<i>Loris tardigradus</i>	17,16	7,54	2,28	2,70	3,60
<i>Macaca maurus</i>	60	39,4	1,52	7,50	7,70
<i>Macropus giganteus</i>	178,5	73,5	2,43	10	7,4
<i>Microcebus murinus</i>	5,87	2,63	2,23	1,70	2,10
<i>Nasalis larvatus</i>	71	38	1,87	7,2	6,10
<i>O. crassicaudatus</i>	26,42	13,6	1,94	3,70	4,90
<i>Palenochtha minor</i>	3,21	1,65	1,95	1,30	2,10
<i>Pan troglodytes</i>	167,5	108,5	1,54	12,4	10,4
<i>Papio ursinus</i>	132	91	1,45	12,10	11,40
<i>P. grangeri</i>	35,7	25,5	1,4	4,8	7,00
<i>Perodicticus potto</i>	22,04	12,75	1,73	3,70	4,20
<i>Pongo sp.</i>	155,5	118,5	1,31	13,2	11
<i>Presbytis cristatus</i>	62	32,6	1,9	7,00	6,40
<i>Proconsul africanus</i>	73,3	55	1,33	7,9	9,5
<i>Sivapithecus sp.</i>	115,8	73,5	1,58	8,9	10,2
<i>Tarsius syrichta</i>	16,28	8,45	1,93	2,80	4,40
<i>Tupaja glis</i>	27,97	10,14	2,76	3,60	5,00
<i>V. macinnesi</i>	33,3	23	1,45	6,1	6,4

Anhang

Name	F1_M1	Dip	Dip dir
<i>Absarokius abbotti</i>	0,04/0,14	56/59	4,3/349
<i>Aegyptopithecus zeuxis</i>	0,3	39	332
<i>Afradapis longicristatus</i>	0,7	57	340
<i>Apidium phiomense</i>	0,54	40	345
<i>Cantius sp._34m</i>	0,71	48	354
<i>Cantius sp._521m</i>	0,19/0,45/0,25	54/26/50	6/322/359
<i>Catopithecus browni</i>	0,04	58	336
<i>Cercocebus torquatus</i>	0,25	53	340
<i>Cheirogaleus major</i>	0,3	35	295
<i>Chlorocebus aethiops</i>	0,68	22	315
<i>Colobus guereza</i>	1,01	65	339
<i>Cynocephalus variegatus</i>	-	-	
<i>Dendropithecus</i>	0,9	39	322
<i>Dorcopsis sp.</i>	-	-	
<i>Galago demidoff</i>	0,06	71	355
<i>Galago demidovii</i>	0,05/0,08	68/67	359/3
<i>Galago senegalensis</i>	0,09	66	8
<i>Gorilla gorilla</i>	2,76	30	321
<i>Hapalemur sp.</i>	0,28	40	345
<i>Hylobates lar</i>	1,12	49	347
<i>Indri indri</i>	M1= 0,18/M2= 0,36	32/62	339/312
<i>Lemur catta</i>	0,07	42	349
<i>Lemur mongoz</i>	0,49	37	337
<i>Lemur variegatus</i>	0,88	41	356
<i>Lepilemur mustelinus</i>	0,32	40	339
<i>Loris tardigradus</i>	0,11/0,08	72/76	359/8
<i>Macaca maurus</i>	1,6	52	347
<i>Macropus giganteus</i>	-	-	
<i>Microcebus murinus</i>	0,13	61	355
<i>Nasalis larvatus</i>	1,37	61	340
<i>Otolemur crassicaudatus</i>	0,18/0,14	46/46	330/354
<i>Palenochtha minor</i>	0,02	75	354
<i>Pan troglodytes</i>	1,93	33	327
<i>Papio ursinus</i>	1,89	47	348
<i>Paraptihecus grangeri</i>	0,36/0,07	34,54/38,2	343/330
<i>Perodicticus potto</i>	0,16	52	332
<i>Pongo sp.</i>	2,23	26	313
<i>Presbytis cristatus</i>	1,17	61	339
<i>Proconsul africanus</i>	1,36	19	293
<i>Sivapithecus sp.</i>	1,85	37	327
<i>Tarsius syrichta</i>	0,15/0,12	62/69	354/0
<i>Tupaja glis</i>	0,17	66	8
<i>Victoriapithecus macinnesi</i>	0,53	59	332

Anhang

Name	F2_M1	Dip	Dip dir	F3_M1	Dip	Dip dir
<i>A. abbotti</i>	0,08	57	208	0,11	49	213
<i>A. zeuxis</i>	0,28	53	213	0,18	23	203
<i>A. longicristatus</i>	0,35	63	199	0,36	41	171
<i>Apidium phiomense</i>	0,36	42	200	0,38	35	208
<i>Cantius sp._34m</i>	0,08	62	203	0,21	62	214
<i>Cantius sp._521m</i>	0,63	61	208	0,33	56	214
<i>Catopithecus browni</i>	0,23	59	203	0,16	47	217
<i>C. torquatus</i>	0,59	47	210	0,41	37	196
<i>Cheirogaleus major</i>	0,2	41	252	0,1	37	225
<i>C. aethiops</i>	0,81	37	220	0,81	32	229
<i>Colobus guereza</i>	0,91	59	217	1,19	51	208
<i>C. variegatus</i>	-	-	-	-	-	-
<i>D. macinnesi</i>	0.57/0.34	36/38	259/224	0,83	41	229
<i>Dorcopsis sp.</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Galago demidoff</i>	0,04	57	209	0,06	48	220
<i>Galago demidovii</i>	0,12	49	217	0,18	52	225
<i>G. senegalensis</i>	0,09	48	201	0,07	46	213
<i>Gorilla gorilla</i>	2,7/2,3	34/23	248/178	3,86	26	213
<i>Hapalemur sp.</i>	0,5	49	210	0,88	39	235
<i>Hylobates lar</i>	0,97	34	227	2,04	28	224
<i>Indri indri</i>	M1=1,47/M2=0,29u.0,7	63/51u.50	227/204u.220	2,64/1,9	58/56	229/222
<i>Lemur catta</i>	0,23	27	184	0,13	34	177
<i>Lemur mongoz</i>	0,22	53	195	0,2	41	199
<i>Lemur variegatus</i>	0,95	62	227	0,92	50	226
<i>L. mustelinus</i>	0,37	44	218	0,22	30	220
<i>Loris tardigradus</i>	0,5	56	219	0,19	56	217
<i>Macaca maurus</i>	0,52	47	198	1,29	40	208
<i>Macropus giganteus</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Microcebus murinus</i>	0,07	46	211	0,28	51	226
<i>Nasalis larvatus</i>	2,23	49	200	1,97	47	206
<i>O. crassicaudatus</i>	0,17	55	241	0,2	57	242
<i>Palenochtha minor</i>	0,02	53	202	0,02	48	211
<i>Pan troglodytes</i>	1,45	50	179	3,35	14	213
<i>Papio ursinus</i>	3,78	36	205	4,59	30	218
<i>P. grangeri</i>	1,1/0,16	51/41	225/194	0,54/0,15	46/29	230/204
<i>Perodicticus potto</i>	0,11	45	208	0,08	49	238
<i>Pongo sp.</i>	4,53	36	221	6,26	28	251
<i>Presbytis cristatus</i>	0,85	59	193	0,3	52	181
<i>Proconsul africanus</i>	0.83/1.17	36/41	196/207	0,97	32	220
<i>Sivapithecus sp.</i>	5,89	38	228	5,69	28	258
<i>Tarsius syrichta</i>	0,13	63	202	0,25	58	205
<i>Tupaja glis</i>	0,14	55	171	0,16	76	200
<i>V. macinnesi</i>	0,71	55	185	1,2	40	202

Anhang

Name	F4_M1	Dip	Dip dir
<i>Absarokius abbotti</i>	0,07	38	358
<i>Aegyptopithecus zeuxis</i>	0,25	39	339
<i>Afradapis longicristatus</i>	0,46	46	344
<i>Apidium phiomense</i>	0,33	31	339
<i>Cantius sp._34m</i>	0,17	39	352
<i>Cantius sp._521m</i>	0,27	45	346
<i>Catopithecus browni</i>	0,26	44	347
<i>Cercocebus torquatus</i>	0,44	53	338
<i>Cheirogaleus major</i>	0,06	50	286
<i>Chlorocebus aethiops</i>	0,88	32	332
<i>Colobus guereza</i>	1,49	60	341
<i>Cynocephalus variegatus</i>	-	-	-
<i>Dendropithecus</i>	1,72	44	342
<i>Dorcopsis sp.</i>	-	-	-
<i>Galago demidoff</i>	0,04	61	352
<i>Galago demidovii</i>	0,07	61	4
<i>Galago senegalensis</i>	0,1	62	8
<i>Gorilla gorilla</i>	4,46	37	339
<i>Hapalemur sp.</i>	0,32	37	335
<i>Hylobates lar</i>	1,25	46	338
<i>Indri indri</i>	M1=0,18/M2=0,34	56/52	321/332
<i>Lemur catta</i>	0,18	30	331
<i>Lemur mongoz</i>	0,31	27	357
<i>Lemur variegatus</i>	0,29	51	303
<i>Lepilemur mustelinus</i>	0,24	30	338
<i>Loris tardigradus</i>	0,15	69	9
<i>Macaca maurus</i>	0,98	50	339
<i>Macropus giganteus</i>	-	-	-
<i>Microcebus murinus</i>	0,07	61	2
<i>Nasalis larvatus</i>	0,62	63	338
<i>Otolemur crassicaudatus</i>	0,26	44	330
<i>Palenochtha minor</i>	0,01	42	341
<i>Pan troglodytes</i>	0,58	30	308
<i>Papio ursinus</i>	1,98	54	342
<i>Paraptihecus grangeri</i>	0,78/0,45	46/29	335/10
<i>Perodicticus potto</i>	0,09	40	340
<i>Pongo sp.</i>	5,25	32	324
<i>Presbytis cristatus</i>	1,05	56	348
<i>Proconsul africanus</i>	1,25	25	326
<i>Sivapithecus sp.</i>	3,92	38	337
<i>Tarsius syrichta</i>	0,21	54	359
<i>Tupaja glis</i>	0,42	61	6
<i>Victoriapithecus macinnesi</i>	0,46	43	324

Anhang

Name	F5_M1	Dip	Dip dir	F6_M1	Dip	Dip dir
<i>A. abbotti</i>	0,12	45,4	346	0,06	34	235
<i>A. zeuxis</i>	0.12/0.06	30/31	333/306	0,16	15	257
<i>A. longicristatus</i>	0,22	42	331	0,16	42	173
<i>Apidium phiomense</i>	0,87	48	356	0,26	11	160
<i>Cantius sp._34m</i>	0,31	46	353	0,13/0,09/0,05	41 / 22 / 18	146 / 155 / 198
<i>Cantius sp._521m</i>	0,51/ 0,30	50/43	357/353	0,17	36	218
<i>Catopithecus browni</i>	1_5= 0.30	54	350	0,61	35	204
<i>C. torquatus</i>	x	x	x	1,39	40	215
<i>Cheirogaleus major</i>	x	x	x	0,13	13	188
<i>C. aethiops</i>	0,22	50	312	0,27	29	220
<i>Colobus guereza</i>	0,27	73	339	0,96	55	211
<i>C. variegatus</i>	-	-	-	-	-	-
<i>D. macinnesi</i>	1,49	37	328	1,09	37	224
<i>Dorcopsis sp.</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Galago demidoff</i>	0,03	69	352	0,02	30	196
<i>Galago demidovii</i>	0,06	61	355	0,19	39	219
<i>G. senegalensis</i>	0,2	68	354	0,05	48	225
<i>Gorilla gorilla</i>	x	x	x	3,17	36	216
<i>Hapalemur sp.</i>	0,1	34	24	x	x	x
<i>Hylobates lar</i>	0,47	43	348	1,04	29	245
<i>Indri indri</i>	M1=1,02/M2=0,21	55/49	333/342	1,4/0,69	56/51	226/221
<i>Lemur catta</i>	0,85	41	337	0,16	42	208
<i>Lemur mongoz</i>	0,26	11	1	0,14	27	168
<i>Lemur variegatus</i>	0,69	41	293	0,21/0,46	21 / 9	205/201
<i>L. mustelinus</i>	0,13	43	338	0,09	29	233
<i>Loris tardigradus</i>	0,05	71	348	0,16	48	221
<i>Macaca maurus</i>	0,42	45	332	0,98	39	210
<i>Macropus giganteus</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Microcebus murinus</i>	0,03	52	342	0,03	45	186
<i>Nasalis larvatus</i>	0,11	63	339	0,74	42	204
<i>O. crassicaudatus</i>	0,26	45	4	0,21	24	230
<i>Palenochtha minor</i>	0,02	76	352	0,02	36	186
<i>Pan troglodytes</i>	1,07	58	340	4,34	36	243
<i>Papio ursinus</i>	0,43	52	344	1,49	24	203
<i>P. grangeri</i>	0,62	34	339	0,56	23	232
<i>Perodicticus potto</i>	0,52	43	6	0,22	34	224
<i>Pongo sp.</i>	0,79	38	335	2,72	29	249
<i>Presbytis cristatus</i>	0,38	67	330	x	x	x
<i>Proconsul africanus</i>	1,16	28	328	0,62	39	208
<i>Sivapithecus sp.</i>	2,72	36	337	1,69	34	249
<i>Tarsius syrichta</i>	0,12	62	347	0,3	58	192
<i>Tupaja glis</i>	0,22	54	20	0,09	46	179
<i>V. macinnesi</i>	0,23	57	335	0,41	40	207

Anhang

Name	F7_M1	Dip	Dip dir
<i>Absarokius abbotti</i>	x	x	x
<i>Aegyptopithecus zeuxis</i>	0,06	36	188
<i>Afradapis longicristatus</i>	0,2	43	151
<i>Apidium phiomense</i>	0,63	46	178
<i>Cantius sp._34m</i>	x	x	x
<i>Cantius sp._521m</i>	0,04	45	187
<i>Catopithecus browni</i>	x	x	x
<i>Cercocebus torquatus</i>	0,3	51	200
<i>Cheirogaleus major</i>	x	x	x
<i>Chlorocebus aethiops</i>	0,48	36	218
<i>Colobus guereza</i>	0,09	55	226
<i>Cynocephalus variegatus</i>	-	-	-
<i>Dendropithecus</i>	0,15	43	226
<i>Dorcopsis sp.</i>	-	-	-
<i>Galago demidoff</i>	0,02	44	204
<i>Galago demidovii</i>	0,06	47	185
<i>Galago senegalensis</i>	0,13	36	200
<i>Gorilla gorilla</i>	2,3	48	218
<i>Hapalemur sp.</i>	x	x	x
<i>Hylobates lar</i>	0,58	46	218
<i>Indri indri</i>	M1=0,66/M2=0,13	55/43	228/239
<i>Lemur catta</i>	x	x	x
<i>Lemur mongoz</i>	x	x	x
<i>Lemur variegatus</i>	x	x	x
<i>Lepilemur mustelinus</i>	x	x	x
<i>Loris tardigradus</i>	0,08	52	202
<i>Macaca maurus</i>	0,8	43	209
<i>Macropus giganteus</i>	-	-	-
<i>Microcebus murinus</i>	0,03	57	159
<i>Nasalis larvatus</i>	0,5	58	225
<i>Otolemur crassicaudatus</i>	0,2	46	199
<i>Palenochtha minor</i>	x	x	x
<i>Pan troglodytes</i>	1,06	27	214
<i>Papio ursinus</i>	1,22	34	192
<i>Paraptihecus grangeri</i>	0,33	34	203
<i>Perodicticus potto</i>	0,07	34	185
<i>Pongo sp.</i>	0,49	40	209
<i>Presbytis cristatus</i>	0,08	39	199
<i>Proconsul africanus</i>	0,72	30	212
<i>Sivapithecus sp.</i>	1,93	39	239
<i>Tarsius syrichta</i>	x	x	x
<i>Tupaja glis</i>	x	x	x
<i>Victoriapithecus macinnesi</i>	0,12	53	198

Anhang

Name	F8_M1	Dip	Dip dir	F9_M1	Dip	Dip dir
<i>A. abbotti</i>	x	x	x	0,06	54	88
<i>A. zeuxis</i>	0,11	8	281	0,27	34	93
<i>A. longicristatus</i>	0,01	30	9	x	x	x
<i>Apidium phiomense</i>	0,32	29	36	0,59	17	86
<i>Cantius sp._34m</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Cantius sp._521m</i>	0,05	17	300	0,98	44	105
<i>Catopithecus browni</i>	x	x	x	0,25	49	100
<i>C. torquatus</i>	0,2	47	318	1,36	14	137
<i>Cheirogaleus major</i>	x	x	x	0,07	30	72
<i>C. aethiops</i>	0,19	44	329	1,12	12	112
<i>Colobus guereza</i>	0,61	62	345	0,67	36	188
<i>C. variegatus</i>	-	-	-	-	-	-
<i>D. macinnesi</i>	0,71	46	337	1,94	37	88
<i>Dorcopsis sp.</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Galago demidoff</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Galago demidovii</i>	0,06	37	44	0,07	32	53
<i>G. senegalensis</i>	0,03	49	359	0,14	29	94
<i>Gorilla gorilla</i>	x	x	x	4,6	21	105
<i>Hapalemur sp.</i>	x	x	x	0,5	58	102
<i>Hylobates lar</i>	0,31	37	354	2,91	33	100
<i>Indri indri</i>	M1=0,65/M2=0,2	52/40	337/349	1,54/1	57/56	103/108
<i>Lemur catta</i>	x	x	x	0,47	19	76
<i>Lemur mongoz</i>	x	x	x	0,52	45	101
<i>Lemur variegatus</i>	x	x	x	0,5	10	197
<i>L. mustelinus</i>	x	x	x	0,15	36	88
<i>Loris tardigradus</i>	0,11	60	7	0,07	35	111
<i>Macaca maurus</i>	0,17	26	279	1,32	23	121
<i>Macropus giganteus</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Microcebus murinus</i>	0,01	28	28	0,02	17	78
<i>Nasalis larvatus</i>	0,42	61	334	0,45	25	145
<i>O. crassicaudatus</i>	0,04	35	25	0,08	62	98
<i>Palenochtha minor</i>	x	x	x	0,01	47	259
<i>Pan troglodytes</i>	2,4	44	330	7,3	24	97
<i>Papio ursinus</i>	0,83	44	339	1,23	6	109
<i>P. grangeri</i>	0,7	36	358	0,74	17	84
<i>Perodicticus potto</i>	0,04	14	307	0,36	48	97
<i>Pongo sp.</i>	0,51	32	300	12,98	6	93
<i>Presbytis cristatus</i>	0,67	63	332	1,84	39	149
<i>Proconsul africanus</i>	0,34	41	303	1,93	10	151
<i>Sivapithecus sp.</i>	0,47	34	310	5,85	8	69
<i>Tarsius syrichta</i>	x	x	x	0,32	73	92
<i>Tupaja glis</i>	x	x	x	0,26	76	91
<i>V. macinnesi</i>	0,4	50	328	0,42	10	73

Anhang

Name	F10_M1	Dip	Dip dir
<i>Absarokius abbotti</i>	x	x	x
<i>Aegyptopithecus zeuxis</i>	0,77	36	132
<i>Afradapis longicristatus</i>	x	x	x
<i>Apidium phiomense</i>	0,29	34	131
<i>Cantius sp._34m</i>	x	x	x
<i>Cantius sp._521m</i>	0,37	44	128
<i>Catopithecus browni</i>	x	x	x
<i>Cercocebus torquatus</i>	1,31	24	139
<i>Cheirogaleus major</i>	0,19	24	158
<i>Chlorocebus aethiops</i>	0,88	28	121
<i>Colobus guereza</i>	0,91	42	137
<i>Cynocephalus variegatus</i>	-	-	-
<i>Dendropithecus</i>	1,5	40	110
<i>Dorcopsis sp.</i>	-	-	-
<i>Galago demidoff</i>	x	x	x
<i>Galago demidovii</i>	0,1	49	180
<i>Galago senegalensis</i>	0,03	34	112
<i>Gorilla gorilla</i>	2,7/0,5	29/32	146/142
<i>Hapalemur sp.</i>	x	x	x
<i>Hylobates lar</i>	2,21	34	129
<i>Indri indri</i>	M1=0,7/M2=0,63	47/54	136/122
<i>Lemur catta</i>	x	x	x
<i>Lemur mongoz</i>	x	x	x
<i>Lemur variegatus</i>	x	x	x
<i>Lepilemur mustelinus</i>	x	x	x
<i>Loris tardigradus</i>	0,08	62	84
<i>Macaca maurus</i>	1,11	32	116
<i>Macropus giganteus</i>	-	-	-
<i>Microcebus murinus</i>	0,05	51	95
<i>Nasalis larvatus</i>	1,72 Teil auf M2: 0,28	21	129
<i>Otolemur crassicaudatus</i>	0,1	38	154
<i>Palenochtha minor</i>	x	x	x
<i>Pan troglodytes</i>	2,84	35	99
<i>Papio ursinus</i>	3,85	24	137
<i>Paraptihecus grangeri</i>	1,46	26	123
<i>Perodicticus potto</i>	0,2	45	193
<i>Pongo sp.</i>	10,36	19	170
<i>Presbytis cristatus</i>	1,36	46	122
<i>Proconsul africanus</i>	2,07	27	121
<i>Sivapithecus sp.</i>	4,29	8	142
<i>Tarsius syrichta</i>	x	x	x
<i>Tupaja glis</i>	x	x	x
<i>Victoriapithecus macinnesi</i>	0,66	31	141

Anhang

Name	F11	Dip	Dip dir	F12	Dip	Dip dir
<i>A. abbotti</i>	x	x	x	x	x	x
<i>A. zeuxis</i>	x	x	x	x	x	x
<i>A. longicristatus</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Apidium phiomense</i>	x	x	x	0,29	29	68
<i>Cantius sp._34m</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Cantius sp._521m</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Catopithecus browni</i>	x	x	x	x	x	x
<i>C. torquatus</i>	1,28	37	16	1,42	23	11
<i>Cheirogaleus major</i>	x	x	x	x	x	x
<i>C. aethiops</i>	1,01	15	38	0,79	20	38
<i>Colobus guereza</i>	1,01	48	11	1,38	45	16
<i>C. variegatus</i>	-	-	-	-	-	-
<i>D. macinnesi</i>	0,55	27	46	1,04	32	65
<i>Dorcopsis sp.</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Galago demidoff</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Galago demidovii</i>	x	x	x	x	x	x
<i>G. senegalensis</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Gorilla gorilla</i>	x	x	x	5,1	27	59
<i>Hapalemur sp.</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Hylobates lar</i>	0,31	34	55	1,4	33	52
<i>Indri indri</i>	M1=x/M2=0,29	x/57	x/64	0,3/0,44	40/54	72/67
<i>Lemur catta</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Lemur mongoz</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Lemur variegatus</i>	x	x	x	x	x	x
<i>L. mustelinus</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Loris tardigradus</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Macaca maurus</i>	0,5	39	49	0,68	44	50
<i>Macropus giganteus</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Microcebus murinus</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Nasalis larvatus</i>	0,31/0,42	54/43	0,8/16	1,31	39	24
<i>O. crassicaudatus</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Palenochtha minor</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Pan troglodytes</i>	0,97	41	22	1,07	35	60
<i>Papio ursinus</i>	0,91	17	10	1,62	27	16
<i>P. grangeri</i>	0,41	46	10	x	x	x
<i>Perodicticus potto</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Pongo sp.</i>	4,28	9	12	5,99	4	5
<i>Presbytis cristatus</i>	0,89	48	18	1,69	49	25
<i>Proconsul africanus</i>	0,61	7	50	2,52	16	57
<i>Sivapithecus sp.</i>	1,22	8	336	1,39	10	326
<i>Tarsius syrichta</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Tupaja glis</i>	x	x	x	x	x	x
<i>V. macinnesi</i>	0.28/0.37	43/27	351/351	0,65	26	3

Anhang

Name	F13_M1	Dip	Dip dir
<i>Absarokius abbotti</i>	x	x	x
<i>Aegyptopithecus zeuxis</i>	x	x	x
<i>Afradapis longicristatus</i>	x	x	x
<i>Apidium phiomense</i>	0,1	24	124
<i>Cantius sp._34m</i>	x	x	x
<i>Cantius sp._521m</i>	x	x	x
<i>Catopithecus browni</i>	x	x	x
<i>Cercocebus torquatus</i>	x	x	x
<i>Cheirogaleus major</i>	x	x	x
<i>Chlorocebus aethiops</i>	x	x	x
<i>Colobus guereza</i>	x	x	x
<i>Cynocephalus variegatus</i>	-	-	-
<i>Dendropithecus</i>	1,24	23	154
<i>Dorcopsis sp.</i>	-	-	-
<i>Galago demidoff</i>	x	x	x
<i>Galago demidovii</i>	x	x	x
<i>Galago senegalensis</i>	x	x	x
<i>Gorilla gorilla</i>	5,2	31	176
<i>Hapalemur sp.</i>	x	x	x
<i>Hylobates lar</i>	0,67	21	172
<i>Indri indri</i>	F_1_3_5: 0,35	F_1_3_5: 18,5	F_1_3_5: 90
<i>Lemur catta</i>	x	x	x
<i>Lemur mongoz</i>	x	x	x
<i>Lemur variegatus</i>	x	x	x
<i>Lepilemur mustelinus</i>	x	x	x
<i>Loris tardigradus</i>	x	x	x
<i>Macaca maurus</i>	x	x	x
<i>Macropus giganteus</i>	-	-	-
<i>Microcebus murinus</i>	x	x	x
<i>Nasalis larvatus</i>	x	x	x
<i>Otolemur crassicaudatus</i>	x	x	x
<i>Palenochtha minor</i>	x	x	x
<i>Pan troglodytes</i>	2,23	21	147
<i>Papio ursinus</i>	x	x	x
<i>Paraptihecus grangeri</i>	x	x	x
<i>Perodicticus potto</i>	x	x	x
<i>Pongo sp.</i>	3,86	8	207
<i>Presbytis cristatus</i>	x	x	x
<i>Proconsul africanus</i>	0,86	22	187
<i>Sivapithecus sp.</i>	1,31	11	216
<i>Tarsius syrichta</i>	x	x	x
<i>Tupaja glis</i>	x	x	x
<i>Victoriapithecus macinnesi</i>	x	x	x

Anhang

Name	F1_3_5	Dip	Dip dir	F3_4	Dip	Dip dir	Zusätzlich	Dip	Dip dir
<i>Absarokius abbotti</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Aegyptopithecus zeuxis</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Afradapis longicristatus</i>	0,44	30	232	0,18	25	212	0,06_MeCo	17	28
<i>Apidium phiomense</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Cantius sp._34m</i>	0,07 / 0,04	7/ 27	345/276	0,05	21	244	x	x	x
<i>Cantius sp._521m</i>	0,08	13	201	0,08	25	282	0,11MeCo	5	244

9.3 Messdaten Dreiecksdiagramme

Der Farbcode entspricht den aufgetragenen Punkten in der Abb. 4.48.a, b und c

Prosimiae rezent und Outgroup: <i>Tupaia glis</i>		Phase II %	Phase I lingual %	Phase I buccal %
1	<i>Tupaja glis_smf_pa_gu_861_M1_dex.</i>	17,81	21,23	60,96
2	<i>Cheirogaleus major_smf_73562_M1_dex.</i>	24,76	12,38	62,86
3	<i>Galago demidovii_smf_73560_M1_sin.</i>	16,35	35,58	48,07
4	<i>Galago senegalensis_smf_32751_M1_dex.</i>	18,28	44,09	37,63
5	<i>Hapalemur sp_smf_34722_M1_sin.</i>	19,38	3,88	76,74
6	<i>Lemur catta_smf_19089_M1_dex.</i>	22,49	48,32	29,19
7	<i>Lemur mongoz_smf_2546_M1_sin.</i>	24,3	18,69	57,01
8	<i>Lemur variegatus_smf_34723_M1_dex.</i>	10,2	27,76	62,04
9	<i>Lepilemur mustelinus_smf_34717_M1_sin.</i>	9,87	14,47	75,66
10	<i>Loris tardigradus_smf_3218_M1_sin.</i>	9,49	25,32	65,19
11	<i>Microcebus murinus_smf_34590_M1_dex.</i>	9,72	13,89	76,39
12	<i>Otolemur crassicaudatus_smf_44754_M1_sin.</i>	9,78	38,59	51,63
13	<i>Perodicticus potto_smf_59373_M1_sin.</i>	30,27	45,95	23,78
14	<i>Tarsius syrichta_smf_94285_M1_dex.</i>	20	26,25	53,75

Bilophodontes Molarenmuster rezent		Phase II	Phase I lingual	Phase I buccal
15	<i>Presbytis cristatus_smf_1077_M1_sin.</i>	56,23	10,99	32,78
16	<i>Cercocebus torquatus_smf_1049_M1_dex.</i>	59,96	21,17	18,87
17	<i>Chlorocebus aethiops_smf_1053_M1_sin.</i>	46,68	14,25	39,07
18	<i>Colobus guereza_smf_4099_M1_dex.</i>	37,83	18,35	43,82
19 (a)	<i>Indri indri_smf_931_M1_dex.</i>	22,9	33,64	43,46
19b	<i>Indri indri_smf_931_M2_dex. (Abb. 4.46.a und b)</i>	32,87	17,13	50
20	<i>Macaca maurus_smf_1020_M1_sin.</i>	34,81	22,85	42,34
21	<i>Nasalis larvatus_smf_5041_M1_sin.</i>	34,53	14,52	50,95
22	<i>Papio ursinus_smf_94224_M1_sin.</i>	31,95	16,67	51,38

Anhang

Hominoidea Molarenmuster rezent		Phase II	Phase I lingual	Phase I buccal
23	<i>Pongo</i> sp_Schoch_1975_M1_dex.	62,2	7,5	30,3
24	<i>Gorilla gorilla</i> _smf_63976_M1_dex.	45,6	13,8	40,6
25	<i>Hylobates lar</i> _smf_18718_M1_sin.	49,1	15,7	35,2
26	<i>Pan troglodytes</i> _smf_pa_pc_383_M1_dex.	47,1	29	23,9

Fossilien		Phase II	Phase I lingual	Phase I buccal
27	<i>Absarokius abbotti</i> _DPC 2977_M1_dex.	8,82	26,47	64,71
28	<i>Aegyptopithecus zeuxis</i> _DPC_3161_M1_sin.	40,6	19,9	39,5
29	<i>Afradapis longicristatus</i> _DPC_21537_M1_dex.	1,91	32,8	65,29
30	<i>Apidium phiomense</i> _DPC_14238_M1_sin.	19,3	45,5	35,2
31	<i>Cantius</i> sp_34m_USGS_4689_M1_dex.	0	36,13	63,87
32	<i>Cantius</i> sp_521m_USGS_7860_M1_sin.	28,72	24,47	46,81
33	<i>Catopithecus browni</i> _DPC_11594_M1_sin.	13,5	49,2	37,3
34	<i>Dendropithecus macinnesi</i> _KNM_RU_1850_M1_dex.	44,6	24,5	31
35	<i>Palenochtha minor</i> _USNM_9590_M1_sin.	8,33	33,33	58,34
36	<i>Paraptihecus grangeri</i> _DPC_1090_M1_sin.	30,97	26,4	42,63
37	<i>Proconsul africanus</i> _KNM_RU_7290_M1_sin.	48,7	17,3	34
38	<i>Sivapithecus</i> sp_YPM_13799_M1_dex.	36,8	17,8	45,4
39	<i>Victoriapithecus macinnesi</i> _KNM-MB_18994_M1_sin.	32,5	27,8	39,7
40	<i>Victoriapithecus macinnesi</i> _KNM_MB_21036_M1_dex.	37	18	45
41	<i>Proconsul major</i> _KNM-SO 934_M1_sin.	29,16	29,28	41,56
42	<i>Proconsul major</i> _KNM-RU 7290_M2_sin.	46,37	23,9	29,73
43	<i>Proconsul major</i> _KNM-RU 7290_M2_dex.	39,25	23,05	37,7
44	<i>Proconsul major</i> _KNM-CA 388_M2_dex.	26,49	35,01	38,5
45	<i>Proconsul major</i> _KNM-CA 392_M2_sin.	40,62	35,87	23,51
46	<i>Proconsul major</i> _KNM-SO 381_M2_sin.	39,64	30,19	30,17
47	<i>Proconsul major</i> _KNM-SO 485_M2_sin.	53,24	24,16	22,6

9.4 Liste OPC

Name	Sammlungsnr.	Patches M1 - 50rows
<i>Absarokius abbotti</i>	DPC_2977_M1_dex.	47
<i>Aegyptopithecus zeuxis</i>	DPC_3161_M1_sin.	69
<i>Afradapis longicristatus</i>	DPC_21537b_M1_dex.	73
<i>Afradapis longicristatus</i>	DPC_21537d_M2_dex.	79
<i>Apidium phiomense</i>	DPC_14238_M1_sin.	68
<i>Cantius sp.</i>	7860_521m_M1_dex.	68
<i>Cantius sp.</i>	4689_34m_M1_sin.	81
<i>Catopithecus browni</i>	DPC_11594_M1_sin.	64
<i>Cercocebus torquatus</i>	smf_1049_M1_dex.	55
<i>Cheirogaleus major</i>	smf_73562_M1_dex.	68
<i>Chlorocebus aethiops</i>	smf_1053_M1_sin.	55
<i>Colobus guereza</i>	smf_4099_M1_dex.	56
<i>Dendropithecus macinnesi</i>	KNM_RU_1850_M1_dex.	81 Dentinexp!
<i>Dendropithecus macinnesi</i>	KNM_RU_1850_M2_dex.	75
<i>Galago demidoff</i>	smf_83201_M1_dex.	65
<i>Galago demidovii</i>	smf_73560_M1_dex.	66
<i>Galago senegalensis</i>	smf_32751_M1_dex.	57
<i>Gorilla gorilla</i>	smf_63976_M1_sin.	67
<i>Hapalemur sp.</i>	smf_34722_M1_sin.	56
<i>Hylobates lar</i>	smf_18718_M1_sin.	46
<i>Indri indri</i>	smf_931_M1_dex.	61
<i>Lemur catta</i>	smf_19089_M1_dex.	52
<i>Lemur mongoz</i>	smf_2546_M1_sin.	54
<i>Lemur variegatus</i>	smf_34723_M1_dex.	46
<i>Lepilemur mustelinus</i>	smf_34717_M1_sin.	55
<i>Loris tardigradus</i>	smf_3218_M1_sin.	65
<i>Macaca maurus</i>	smf_1020_M1_sin.	57
<i>Microcebus murinus</i>	smf_34590_M1_dex.	63
<i>Nasalis larvatus</i>	smf_5041_M1_sin.	57
<i>Otolemur crassicaudatus</i>	smf_44754_M1_sin.	57
<i>Palenochtha minor</i>	USNM_9590_M1_sin.	68
<i>Pan troglodytes</i>	smf_pa_pc_383_M1_dex.	78
<i>Papio ursinus</i>	smf_94234_M1_dex.	70
<i>Parapithecus grangeri</i>	DPC_1090_M1_sin.	61
<i>Perodicticus potto</i>	smf_59373_M1_sin.	47
<i>Pongo sp.</i>	Schoch_1975_4_M1_dex.	63
<i>Presbytis cristatus</i>	smf_1077_M1_sin.	51
<i>Proconsul africanus</i>	KNM_CA_388_M2_dex.	69
<i>Rudapithecus hungaricus</i>	RUD_200_M1	70
<i>Sivapithecus sp.</i>	YPM_13799_M1_dex.	56 Abguss!
<i>Sivapithecus sp.</i>	S44_M2_dex.	62
<i>Tarsius syrichta</i>	smf_94285_M1_sin.	63
<i>Victoriapithecus macinnesi</i>	KNM-MB-21036_M1_dex.	54

Anhang

OUTGROUP:

Cynocephalus variegatus

smf_1330_M1_sin.

81

Dorcopsis sp.

smf_59278_M3_sin.

50

Macropus giganteus

smf_15974_M3_dex.

59

Tapirus terrestris

smf_15667_M1_dex.

68

Tupaia glis

smf_pagu861_M1_dex.

70

9.5 Oriana Circuläre Statistik für *Cantius*

***** indicates that a result could not be calculated.

Statistische Angaben zur Abb. 4.42.a, links, Level 1_M1

Variable	LRT	LPT	MT	1_3_5
Data Type	Angles	Angles	Angles	Angles
Number of Observations	4	4	2	4
Data Grouped?	No	No	No	No
Group Width (& Number of Groups)				
Mean Vector (μ)	352,75°	200,244°	123°	281,441°
Concentration	128,114	5,659	328,314	0,688
Circular Variance	0,002	0,036	1,52E-4	0,507
Circular Standard Deviation	3,192°	15,459°	1°	68,143°
Rayleigh Test (Z)	3,988	3,719	1,999	0,972
Rayleigh Test (p)	0,007	0,012	0,137	0,405
Rao's Spacing Test (U)	261	236	*****	142
Rao's Spacing Test (p)	< 0.01	< 0.01	*****	0.50 > p > 0.10
Watson's U ² Test (Uniform, U ²)	*****	*****	*****	*****
Watson's U ² Test (p)	*****	*****	*****	*****

Statistische Angaben zur Abb. 4.42.a, rechts, Level 1_M2

Variable	LT	LPT	MT	1_3_5
Data Type	Angles	Angles	Angles	Angles
Number of Observations	7	7	7	4
Data Grouped?	No	No	No	No
Group Width (& Number of Groups)				
Mean Vector (μ)	340,57°	201,841°	118,152°	328,383°
Concentration	73,459	20,66	5,309	0,931
Circular Variance	0,004	0,015	0,06	0,452
Circular Standard Deviation	5,263°	9,978°	20,16°	62,87°
Rayleigh Test (Z)	6,941	6,791	6,185	1,2
Rayleigh Test (p)	< 1E-12	< 1E-12	1,69E-4	0,322
Rao's Spacing Test (U)	292,571	280,571	238,571	117
Rao's Spacing Test (p)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.50 > p > 0.10
Watson's U ² Test (Uniform, U ²)	*****	*****	*****	*****
Watson's U ² Test (p)	*****	*****	*****	*****

Statistische Angaben zur Abb. 4.42.b, links, Level 2_M1

Variable	LT	LPT	MT	1_3_5
Data Type	Angles	Angles	Angles	Angles
Number of Observations	8	8	8	7
Data Grouped?	No	No	No	No
Group Width (& Number of Groups)				
Mean Vector (μ)	347,503°	212,998°	118,972°	277,187°
Concentration	43,998	72,535	23,411	10,666
Circular Variance	0,008	0,005	0,014	0,029
Circular Standard Deviation	7,042°	5,476°	9,687°	13,991°
Rayleigh Test (Z)	7,88	7,927	7,775	6,595
Rayleigh Test (p)	< 1E-12	< 1E-12	< 1E-12	< 1E-12
Rao's Spacing Test (U)	295	294	282	259,571
Rao's Spacing Test (p)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Watson's U ² Test (Uniform, U ²)	*****	*****	*****	*****

Watson's U² Test (p) ***** ***** ***** *****

Statistische Angaben zur Abb. 4.42.b, rechts, Level 2_M2

Variable	LT	LPT	MT	1_3_5
Data Type	Angles	Angles	Angles	Angles
Number of Observations	6	6	6	1
Data Grouped?	No	No	No	No
Group Width (& Number of Groups)				
Mean Vector (μ)	340,508°	210,34°	103,183°	34°
Concentration	24,905	45,425	7,678	*****
Circular Variance	0,011	0,006	0,037	*****
Circular Standard Deviation	8,665°	6,399°	15,818° *****	
Rayleigh Test (Z)	5,864	5,926	5,56	1
Rayleigh Test (p)	8,04E-5	2,44E-5	4,84E-4	0,512
Rao's Spacing Test (U)	274	283	251	*****
Rao's Spacing Test (p)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	*****
Watson's U ² Test (Uniform, U ²)	*****	*****	*****	*****
Watson's U ² Test (p)	*****	*****	*****	*****

Statistische Angaben zur Abb. 4.42.c, links, Level 3_M1

Variable	LT	LPT	MT	1_3_5
Data Type	Angles	Angles	Angles	Angles
Number of Observations	7	7	7	7
Data Grouped?	No	No	No	No
Group Width (& Number of Groups)				
Mean Vector (μ)	349,146°	205,28°	115,144°	269,185°
Concentration	55,895	12,203	58,678	1,437
Circular Variance	0,006	0,026	0,005	0,375
Circular Standard Deviation	6,037°	13,055°	5,892°	55,582°
Rayleigh Test (Z)	6,923	6,646	6,926	2,731
Rayleigh Test (p)	< 1E-12	< 1E-12	< 1E-12	0,06
Rao's Spacing Test (U)	290,571	267,571	288,571	160,571
Rao's Spacing Test (p)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.50 > p > 0.10
Watson's U ² Test (Uniform, U ²)	*****	*****	*****	*****
Watson's U ² Test (p)	*****	*****	*****	*****

Statistische Angaben zur Abb. 4.42.c, rechts, Level 3_M2

Variable	LT	LPT	MT	1_3_5
Data Type	Angles	Angles	Angles	Angles
Number of Observations	6	6	6	0
Data Grouped?	No	No	No	No
Group Width (& Number of Groups)				
Mean Vector (μ)	341,935°	204,127°	112,066°	*****
Concentration	7,152	14,934	8,064	*****
Circular Variance	0,04	0,019	0,036	*****
Circular Standard Deviation	16,415°	11,234°	15,42°	*****
Rayleigh Test (Z)	5,527	5,774	5,581	*****
Rayleigh Test (p)	5,42E-4	1,77E-4	4,48E-4	*****
Rao's Spacing Test (U)	249	268	254	*****
Rao's Spacing Test (p)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	*****
Watson's U ² Test (Uniform, U ²)	*****	*****	*****	*****
Watson's U ² Test (p)	*****	*****	*****	*****

Statistische Angaben zur Abb. 4.42.d, links, Level 1_m1

Variable	LT	LPT	MT	1_3_5
Data Type	Angles	Angles	Angles	Angles
Number of Observations	4	4	2	4
Data Grouped?	No	No	No	No
Group Width (& Number of Groups)				
Mean Vector (μ)	170,249°	16,571°	275°	108,5°
Concentration	99,008	3,821	328,314	1042,927
Circular Variance	0,002	0,053	1,52E-4	1,90E-4
Circular Standard Deviation	3,632°	18,993°	1°	1,118°
Rayleigh Test (Z)	3,984	3,584	1,999	3,998
Rayleigh Test (p)	0,007	0,015	0,137	0,007
Rao's Spacing Test (U)	260	224	*****	267
Rao's Spacing Test (p)	< 0.01	< 0.01	*****	< 0.01
Watson's U ² Test (Uniform, U ²)	*****	*****	*****	*****
Watson's U ² Test (p)	*****	*****	*****	*****

Statistische Angaben zur Abb. 4.42.d, rechts, Level 1_m2

Variable	LT	LPT	MT	1_3_5
Data Type	Angles	Angles	Angles	Angles
Number of Observations	4	4	2	0
Data Grouped?	No	No	No	No
Group Width (& Number of Groups)				
Mean Vector (μ)	164,248°	43,506°	305°	*****
Concentration	111,699	11,364	82,104	*****
Circular Variance	0,002	0,018	6,09E-4	*****
Circular Standard Deviation	3,419°	10,806°	2°	*****
Rayleigh Test (Z)	3,986	3,86	1,998	*****
Rayleigh Test (p)	0,007	0,009	0,138	*****
Rao's Spacing Test (U)	261	242	*****	*****
Rao's Spacing Test (p)	< 0.01	< 0.01	*****	*****
Watson's U ² Test (Uniform, U ²)	*****	*****	*****	*****
Watson's U ² Test (p)	*****	*****	*****	*****

Statistische Angaben zur Abb. 4.42.e, links, Level 2_m1

Variable	LT	LPT	MT	1_3_5
Data Type	Angles	Angles	Angles	Angles
Number of Observations	9	9	8	9
Data Grouped?	No	No	No	No
Group Width (& Number of Groups)				
Mean Vector (μ)	169,546°	36,009°	269,529°	111,162°
Concentration	17,106	30,204	6,091	6,47
Circular Variance	0,02	0,012	0,056	0,055
Circular Standard Deviation	11,659°	8,734°	19,414°	19,312°
Rayleigh Test (Z)	8,635	8,793	7,132	8,033
Rayleigh Test (p)	< 1E-12	< 1E-12	< 1E-12	< 1E-12
Rao's Spacing Test (U)	287	289	248	254
Rao's Spacing Test (p)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Watson's U ² Test (Uniform, U ²)	*****	*****	*****	*****
Watson's U ² Test (p)	*****	*****	*****	*****

Statistische Angaben zur Abb. 4.42.e, rechts, Level 2_m2

Variable	LT	LPT	MT	1_3_5
Data Type	Angles	Angles	Angles	Angles
Number of Observations	7	7	7	4
Data Grouped?	No	No	No	No
Group Width (& Number of Groups)				
Mean Vector (μ)	166,295°	36,295°	314,63°	122,008°
Concentration	52,929	30,898	4,52	7,704
Circular Variance	0,006	0,01	0,071	0,026
Circular Standard Deviation	6,205°	8,139°	21,984°	13,182°
Rayleigh Test (Z)	6,918	6,86	6,042	3,794
Rayleigh Test (p)	< 1E-12	< 1E-12	2,88E-4	0,011
Rao's Spacing Test (U)	288,571	280,571	242,571	237
Rao's Spacing Test (p)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Watson's U ² Test (Uniform, U ²)	*****	*****	*****	*****
Watson's U ² Test (p)	*****	*****	*****	*****

Statistische Angaben zur Abb. 4.42.f, links, Level 3_m1

Variable	LT	LPT	MT	1_3_5
Data Type	Angles	Angles	Angles	Angles
Number of Observations	6	6	6	6
Data Grouped?	No	No	No	No
Group Width (& Number of Groups)				
Mean Vector (μ)	162,668°	29,167°	283,164°	102,144°
Concentration	46,16	89,077	20,483	13,204
Circular Variance	0,006	0,003	0,014	0,022
Circular Standard Deviation	6,348°	4,563°	9,566°	11,962°
Rayleigh Test (Z)	5,927	5,962	5,835	5,744
Rayleigh Test (p)	2,34E-5	< 1E-12	1,10E-4	2,13E-4
Rao's Spacing Test (U)	284	286	277	265
Rao's Spacing Test (p)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Watson's U ² Test (Uniform, U ²)	*****	*****	*****	*****
Watson's U ² Test (p)	*****	*****	*****	*****

Statistische Angaben zur Abb. 4.42.f, rechts, Level 3_m2

Variable	LT	LPT	MT	1_3_5
Data Type	Angles	Angles	Angles	Angles
Number of Observations	3	3	3	0
Data Grouped?	No	No	No	No
Group Width (& Number of Groups)				
Mean Vector (μ)	145,98°	38°	312,337°	*****
Concentration	11,826	82,17	13,189	*****
Circular Variance	0,011	0,002	0,01	*****
Circular Standard Deviation	8,653°	3,267°	8,189°	*****
Rayleigh Test (Z)	2,932	2,99	2,939	*****
Rayleigh Test (p)	0,037	0,034	0,037	*****
Rao's Spacing Test (U)	*****	*****	*****	*****
Rao's Spacing Test (p)	*****	*****	*****	*****
Watson's U ² Test (von Mises, U ²)	*****	*****	*****	*****
Watson's U ² Test (p)	*****	*****	*****	*****

9.6 NPMANOVA Statistik aller Dreiecksdiagramme

Tab. 9.6.a: NPMANOVA Statistik für Abb.4.43.a

Cantius sp. M1 und M2 aus allen Levels

p-Wert unkorrigiert

<i>Cantius</i> sp.	M1 und M2 Level 1	M1 und M2 Level 2	M1 und M2 Level 3
M1 und M2 Level 1	xxx	0,3491	0,0783
M1 und M2 Level 2	0,3491	xxx	0,0422
M1 und M2 Level 3	0,0783	0,0422	xxx

Bonferroni-Korrektur

<i>Cantius</i> sp.	M1 und M2 Level 1	M1 und M2 Level 2	M1 und M2 Level 3
M1 und M2 Level 1	xxx	1	0,2349
M1 und M2 Level 2	1	xxx	0,1266
M1 und M2 Level 3	0,2349	0,1266	xxx

Vergleich (NPMANOVA) zwischen Oberkiefermolaren M1 und M2 von *Cantius* sp. aus den Levels 1-3. Gemessen wurden die prozentualen Anteile der lingualen Phase I, der buccalen Phase I und der Phase II. Die signifikanten p-Werte (<0,05) sind in roter Schrift dargestellt.

Tab. 9.6.b: NPMANOVA Statistik für Abb.4.43.b

Cantius sp. m1 und m2 aus allen Levels

p-Wert unkorrigiert

<i>Cantius</i> sp.	m1 und m2 Level 1	m1 und m2 Level 2	m1 und m2 Level 3
m1 und m2 Level 1	xxx	0,0036	0,0013
m1 und m2 Level 2	0,0036	xxx	0,5816
m1 und m2 Level 3	0,0013	0,5816	xxx

Bonferroni-Korrektur

<i>Cantius</i> sp.	m1 und m2 Level 1	m1 und m2 Level 2	m1 und m2 Level 3
m1 und m2 Level 1	xxx	0,0108	0,0039
m1 und m2 Level 2	0,0108	xxx	1
m1 und m2 Level 3	0,0039	1	xxx

Vergleich (NPMANOVA) zwischen Unterkiefermolaren m1 und m2 von *Cantius* sp. aus den Levels 1-3. Gemessen wurden die prozentualen Anteile der lingualen Phase I, der buccalen Phase I und der Phase II. Die signifikanten p-Werte (<0,05) sind in roter Schrift dargestellt.

Tab. 9.6.c: NPMANOVA Statistik für Abb.4.44.a
Prosimiae und Outgroup
p-Wert unkorrigiert = Bonferroni-Korrektur

Prosimiae und Outgroup	Ohne Hypoconus	Mit Hypoconus
Ohne Hypoconus	xxx	0,1694
Mit Hypoconus	0,1694	xxx

Vergleich (NPMANOVA) zwischen Oberkiefermolaren M1 mit und ohne Hypoconus von rezenten und fossilen Prosimiae und der Outgroup. Gemessen wurden die prozentualen Anteile der lingualen Phase I, der buccalen Phase I und der Phase II. Die signifikanten p-Werte (<0,05) sind in roter Schrift dargestellt.

Tab. 9.6.d: NPMANOVA Statistik für Abb.4.46.a
Bilophodonte Primaten
p-Wert unkorrigiert = Bonferroni-Korrektur

Bilophodonte Primatenmolaren	rezent	fossil
rezent	xxx	0,0294
fossil	0,0294	xxx

Vergleich (NPMANOVA) zwischen Oberkiefermolaren M1 von rezenten und fossilen bilophodonten Primaten und möglicher Vorläufer. Gemessen wurden die prozentualen Anteile der lingualen Phase I, der buccalen Phase I und der Phase II. Die signifikanten p-Werte (<0,05) sind in roter Schrift dargestellt.

Tab. 9.6.e: NPMANOVA Statistik für Abb.4.46.b
Bilophodonte Primaten
p-Wert unkorrigiert = Bonferroni-Korrektur

Bilophodonte Primatenmolaren	folivor	frugivor
folivor	xxx	0,6259
frugivor	0,6259	xxx

Vergleich (NPMANOVA) zwischen Oberkiefermolaren M1 von folivoren und frugivoren bilophodonten Primaten und möglicher Vorläufer. Gemessen wurden die prozentualen Anteile der lingualen Phase I, der buccalen Phase I und der Phase II. Die signifikanten p-Werte (<0,05) sind in roter Schrift dargestellt.

Tab. 9.6.f: NPMANOVA Statistik für Abb.4.47.a**Dryopithecine Primaten****p-Wert unkorrigiert = Bonferroni-Korrektur**

Dryopithecine Primatenmolaren	rezent	fossil
rezent	xxx	0,0522
fossil	0,0522	xxx

Vergleich (NPMANOVA) zwischen Oberkiefermolaren M1 und M2 von rezenten und fossilen dryopithecinen Primaten und möglicher Vorläufer. Gemessen wurden die prozentualen Anteile der lingualen Phase I, der buccalen Phase I und der Phase II. Die signifikanten p-Werte (<0,05) sind in roter Schrift dargestellt.

Tab. 9.6.g: NPMANOVA Statistik für Abb.4.48.a**Dreiecksdiagramm Gesamtansicht****p-Wert unkorrigiert**

	Prosimiae und Outgroup	Bilophodonte Molaren	Dryopithecine Molaren	Fossile Molaren
Prosimiae und Outgroup	xxx	0,0005	0,0001	0,0055
Bilophodonte Molaren	0,0005	xxx	0,1916	0,047
Dryopithecine Molaren	0,0001	0,1916	xxx	0,0162
Fossile Molaren	0,0055	0,047	0,0162	xxx

Bonferroni-Korrektur

	Prosimiae und Outgroup	Bilophodonte Molaren	Dryopithecine Molaren	Fossile Molaren
Prosimiae und Outgroup	xxx	0,003	0,0006	0,033
Bilophodonte Molaren	0,003	xxx	1	0,282
Dryopithecine Molaren	0,0006	1	xxx	0,0972
Fossile Molaren	0,033	0,282	0,0972	xxx

Vergleich (NPMANOVA) zwischen Oberkiefermolaren M1 und M2 von allen untersuchten rezenten und fossilen Primaten. Von *Cantius* sp. sind in dieser Stichprobe nur ein Exemplar aus Level 1 und ein Exemplar aus Level 3. Gemessen wurden die prozentualen Anteile der lingualen Phase I, der buccalen Phase I und der Phase II. Die signifikanten p-Werte (<0,05) sind in roter Schrift dargestellt.

Tab. 9.6.h: NPMANOVA Statistik für Abb.4.48.b

Dreiecksdiagramm Gesamtansicht

p-Wert unkorrigiert

	Prosimiae und Outgroup	Bilophodonte M. + Victoriapithecus	Rezente Hominoide + Proconsul, Sivap.	Fossile Molaren
Prosimiae und Outgroup	xxx	0,0001	0,0001	0,4017
Bilophodonte M. + Victoriapithecus	0,0001	xxx	0,1437	0,0033
Rezente Hominoide + Proconsul, Sivap.	0,0001	0,1437	xxx	0,0007
Fossile Molaren	0,4017	0,0033	0,0007	xxx

Bonferroni-Korrektur

	Prosimiae und Outgroup	Bilophodonte M. + Victoriapithecus	Rezente Hominoide + Proconsul, Sivap.	Fossile Molaren
Prosimiae und Outgroup	xxx	0,0006	0,0006	1
Bilophodonte M. + Victoriapithecus	0,0006	xxx	0,8622	0,0198
Rezente Hominoide + Proconsul, Sivap.	0,0006	0,8622	xxx	0,0042
Fossile Molaren	1	0,0198	0,0042	xxx

Vergleich (NPMANOVA) zwischen Oberkiefermolaren M1 und M2 von allen untersuchten rezenten und fossilen Primaten. Von *Cantius* sp. sind in dieser Stichprobe nur ein Exemplar aus Level 1 und ein Exemplar aus Level 3. Die Molaren der fossilen Gattung *Victoriapithecus* wurden hier den bilophodonten Molaren zugerechnet. Die beiden fossilen Gattungen *Proconsul* und *Sivapithecus* wurden mit den rezenten Hominoidea den dryopithecinen Molarenformen zugeordnet.

Gemessen wurden die prozentualen Anteile der lingualen Phase I, der buccalen Phase I und der Phase II. Die signifikanten p-Werte (<0,05) sind in roter Schrift dargestellt.

Tab. 9.6.i: NPMANOVA Statistik für Abb.4.48.c

Dreiecksdiagramm Gesamtansicht nach Nahrungspräferenz

p-Wert unkorrigiert

	Omnivor	Insektivor	Folivor	Frugivor
Omnivor	xxx	0,3166	0,9093	0,1597
Insektivor	0,3166	xxx	0,0478	0,0002
Folivor	0,9093	0,0478	xxx	0,0219
Frugivor	0,1597	0,0002	0,0219	xxx

Bonferroni-Korrektur

	Omnivor	Insektivor	Folivor	Frugivor
Omnivor	xxx	1	1	0,9582
Insektivor	1	xxx	0,2868	0,0012
Folivor	1	0,2868	xxx	0,1314
Frugivor	0,9582	0,0012	0,1314	xxx

Vergleich (NPMANOVA) zwischen Oberkiefermolaren M1 und M2 von allen untersuchten rezenten und fossilen Primaten. Von *Cantius* sp. sind in dieser Stichprobe nur ein Exemplar aus Level 1 und ein Exemplar aus Level 3. Die Gruppen wurden nach Nahrungspräferenz farblich unterschieden.

Gemessen wurden die prozentualen Anteile der lingualen Phase I, der buccalen Phase I und der Phase II. Die signifikanten p-Werte (<0,05) sind in roter Schrift dargestellt.