



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Morphologische Aspekte des Auges vom Mauersegler *Apus apus*:
Diotrischer Apparat

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer.nat.)

Verfasserin : Alexandra Zatlokal
Matrikel-Nummer: 0501217
Studienrichtung /Studienzweig Zoologie
(lt. Studienblatt):
Betreuer: Univ.- Prof. Dr. Gerhard Spitzer

Wien, am 14.01. 2010.

Zusammenfassung

In dieser Studie wurde die Linsenmorphologie des Mauerseglers *Apus apus* untersucht. Dazu wurden von Formaldehyd-fixierten Augen Linse, Ringwulst, Iris, Cornea, Ziliarapparat und der Bereich des Crampton'schen und Brücke'schen Muskel seziert, mit Jod gefärbt und mit einem Röntgen-Mikrotomographen (MicroCT) gescannt.

Der ganze Linsenkomplex wies eine Asymmetrie auf. Die Ziliarfortsätze waren an der temporalen Seite länger ausgebildet. Der Ringwulst bedeckte die Linse zu einem sehr großen Teil. Die temporale Ringwulstseite war im Querschnitt etwas mächtiger entwickelt und der Ringwulsthinterrand traf steiler auf die Linse. Der nasale Ringwulsthinterrand war abgerundet. Die Linsenvorderseite und die Linsenhinterseite waren beide halbkreisförmig, aber die Vorderseite der Linse war flacher und in der Vertikalen geneigt. Ein Strahl durch das Zentrum der Linsenvorderseite würde an der Hinterseite peripher austreten. Die Cornea war bei den meisten Mauerseglern aufgrund der Fixierung eingefallen. Der Crampton'sche und der Brücke'sche Muskeln waren mit dieser Technik nicht erkennbar.

In der Literatur wird der Mauersegler als Vogel mit binokularem Sehen beschrieben. Bei einem geraden Strahlengang durch eine asymmetrische Linse ist auch mit einer temporalen Fovea kein binokulares Sehen möglich. Durch den asymmetrischen Ringwulst und Ziliarapparat könnte es zu einer asymmetrischen Verschwenkung der Linse kommen. Dafür sind weitere Untersuchungen der Linse, des Strahlengangs und histologische Untersuchungen der beiden Muskeln und des Ziliarapparates nötig.

Abstract

In this study the lens morphology of the common swift *Apus apus* was analyzed. The lens, annular pad, cornea, iris, ciliar body and the area of the Crampton's and Brucke's muscles of formalin-fixed eyes were dissected, iodine stained, and scanned in an x-ray microtomograph (microCT).

There was an asymmetry in the whole lens complex. Parts of the ciliar body seemed to be asymmetric; the temporal side was larger. The annular pad covered a very large part of the lens. Its temporal part was thicker and had a steeper back side; the nasal back side was more rounded. The front and the back of the lens were semicircular, but the curvature of the front was very flat and seemed to be sloped relative to the vertical axis. A straight line through the centre of the lens front would exit the back of the lens peripherally rather than centrally. In most specimens the cornea was collapsed due to the fixation. The muscles were not visible with this technique.

In the literature *A. apus* is described as a bird with binocular vision. With an asymmetric lens and a straight light path through the lens, there would be no binocular vision even with a temporal fovea. An asymmetric annular pad and ciliar body could cause an asymmetric traversing of the lens. More studies of the lens quality, the light path through the lens, and histological sections of the muscles and the ciliar body are necessary.

Keywords

Apodiforma, Apus apus, eye morphology, lens, accommodation, adaptation

Einleitung

Betrachtet man einen Mauersegler frontal, verdeckt eine Art Federschirm zumindest teilweise die Augen (Abb.1 und Abb.2).

In der Literatur (Walls 1942, Oehme 1962, Brückner 1990) wird *A. apus* binokulares Sehen zugesprochen. Ein ausgeprägter orbitaler Federschirm, der bis zum Schnabelspalt sich fortsetzt, vor den Augen beeinträchtigt zusätzlich zu der lateralen Augenstellung das binokulare Sehen.

Lack und Owen (1955) beschrieben, dass die Mauersegler die Flugrichtung ändern, wenn sie ein Insekt abseits ihrer Flugrichtung sehen. Brückner (1990) erklärte jede Wendung im Flug damit, dass ein Insekt außerhalb des binokularen Sehfeldes durch Änderung der Flugrichtung binokular anvisiert werden kann, um so gezielt gefressen zu werden.

Während der Nahrungssuche wechseln sich Gleitflüge mit 5 – 14 m/s (Glutz et al. 1994), wobei die größte Wendigkeit bei 15 – 25 m/s liegt (Lentink et al. 2007), und Kraftflüge mit 11 – 28 m/s (Oehme 1968, Glutz et al. 1994) mit raschen Richtungsänderungen ab. Die höchsten Geschwindigkeiten von *A. apus* liegen bei 40 – 60 m/s (Glutz et al. 1994). Bei diesen Fluggeschwindigkeiten scheint ein binokulares Anvisieren und gezieltes Aufnehmen einzelner Insekten nicht möglich.

Buurma (2000) beschrieb eine mögliche Nahrungssuche in der Nacht, da sich Mauersegler in den Nachtstunden insektenreiche Luftschicht aufhalten. Da die Retina in dem Foveabereich aber hauptsächlich Zapfen aufweist (Oehme 1962), ist ein gezieltes Fangen von Insekten in der Nacht unmöglich. Auch die Aufnahme von Tieren mit Warnfarben und Wespenmimikry, sowie das Ignorieren von Insekten ohne eine solche Färbung (Lack und Owen 1955) ist ein Hinweis auf ein Filtrieren des Luftraumes. Heinroth (1926) beobachtete, dass juvenile Mauersegler bei der Fütterung die Augen schließen und Insekten im Nest tastend und mit geschlossenen Augen aufnehmen. Er vermutete, dass Mauersegler die Augen nicht auf „Nahsehen“ einstellen können und die Augen schließen um eventuelle Berührungen der Cornea zu vermeiden. Ein passives Filtrieren des Luftraumes schloss er aber aus, vielmehr würden Mauersegler ihre Beute in der Ferne sehen, darauf zufliegen und durch den breiten Rachen das Insekt aufnehmen.

Um zu untersuchen, ob *A. apus* ein Sehfeld vor dem Schnabel besitzt, bedarf es Untersuchungen des gesamten Auges, von dioptrischen Komplex, Retina und Pekten. Hier soll als erstes die Morphologie des dioptrischen Komplexes untersucht werden.

Rabl (1900) untersuchte die Mauerseglerlinse histologisch und wies auf die besondere Form der Linse hin. Sie ist asymmetrisch. Dabei sind sowohl die der Cornea zugewandten wie abgewandten Seite fast plan, verlaufen aber nicht parallel sondern schief zueinander.

Bei einer asymmetrischen Linse kann der Strahlengang anders verlaufen und ein binokulares Sehen ist trotz temporaler Fovea (Walls 1942, Oehme 1962, Brückner 1990) nicht möglich.

Der Ringwulst der Mauersegler soll zu den am stärksten entwickelten der Vögel gehören (Walls 1942, Schätzle 1973, Brückner 1990). Außerdem ist er asymmetrisch ausgebildet (Stesemann 1934), wobei die temporale Seite stärker entwickelt ist.

Nach Schätzle (1973) dient der Ringwulst statt des Pupillenschlusses als optische Blende zur Regulierung des Lichteinfalles und reduziert dazu auch die Randstrahlen der Linse und erhöht damit die Tiefenschärfe. Da aber ein gut entwickelter Ringwulst die Akkommodation durch Veränderung der Linse erschwert, ist die Cornea hauptsächlich für die Akkommodation verantwortlich. Daher soll die Cornea einen großen Durchmesser haben, stark gewölbt und extrem dünn sein. Die Irismuskulatur und die Ziliarmuskulatur sind sehr faserarm. Auch der Crampton'sche Muskel soll wenig Fasern besitzen, die aber für die Krümmung einer extrem dünnen Cornea ausreichend sind.

Mit MicroCT-Scans konnte in dieser Arbeit der dioptrische Komplex des Mauerseglerauges dargestellt und analysiert werden.



Abb.1: Foto eines jungen Mauerseglers in Frontalansicht (Foto von Margers Martinsons (www.londons-swifts.org.uk), publiziert in Open Lecture: Keeping a place for swifts, <http://www.societe.org.gg/press/swifts.html>). Entlang der Orbita befindet sich ein Federschirm, der bei diesem Jungvogel bereits erkennbar ist.



Abb.2: Foto eines adulten Mauerseglers (Foto von Dubois P., publiziert in <http://pdubois.free.fr/espece.php?MyEspece=APUAPU>). Bei diesem Individuum ist der Federschirm deutlich ausgebildet und verdeckt frontal betrachtet die Augen.

Material und Methoden

Untersuchungsmaterial

Zur Verfügung standen insgesamt acht verunfallte Mauersegler *Apus apus*, die an die Veterinärmedizinische Universität Wien kamen. Auf Grund der Schwere ihrer Verletzung mussten die Tiere euthanisiert werden. Die in 4% Formaldehyd fixierten Köpfe wurden uns von Ass. Prof. Dr. Hans Frey zur Verfügung gestellt. Für die Untersuchungen konnten sechs Individuen verwendet werden.

Alle Individuen wurden gewässert und anschließend gefärbt.

Mauersegler I: juvenil. Der Kopf wurde in 70% Ethanol überführt und einen Tag mit I2E (1% metallisches Jod in 100% Ethanol) gefärbt. Die Linsen beider Augen waren geschrumpft. Für die Untersuchung der Federstellungen um das Auge wurde dieser Kopf getrocknet.

Mauersegler II: juvenil. Der Kopf wurde drei Tage mit 100% IKI (Jod-Kaliumjodid) gefärbt. Beide Augen wurden sezirt, zusätzlich beide Linsen anschließend nochmals vier Tage mit 100% IKI gefärbt.

Mauersegler III: adult. Der Kopf wurde vier Tage mit 100% IKI gefärbt. Die Ringwülste beider Augen waren gebrochen.

Mauersegler IV: juvenil. Der Kopf wurde drei Tage mit 100% IKI gefärbt. Beide Augen wurden sezirt, zusätzlich beide Linsen anschließend nochmals vier Tage mit 100% IKI gefärbt.

Mauersegler V: adult. Der Kopf wurde vier Tage mit 100% IKI gefärbt. Beide Augenbulben waren aufgrund von Austrocknung eingefallen.

Mauersegler VI: adult. Der Kopf wurde drei Tage mit 100% IKI gefärbt. Beide Augen wurden sezirt. Die Linsen waren geschrumpft.

Skyscan

Der gesamte Kopf der Individuen I bis VI wurde im Skyscan 1174 Röntgen-Mikrotomograph im Department der Theoretischen Biologie Wien gescannt. Von den Mauersegler I, II und III wurde je ein Auge zusätzlich mit einer größeren Vergrößerung gescannt. Ein Rekonstruktionsprogramm erstellte Querschnitte, sogenannte Stacks, des gescannten Kopfes. Mit diesen Stacks wurde mithilfe des 3D-Visualisierungsprogrammes Amira 5.2.1. ein dreidimensionales Modell des dioptrischen Apparates erstellt.

Diese Bilder geben einen Überblick über die Form von Linse, Ringwulst, Iris, Cornea und Ziliarapparat.

MicroCT

Um die Form der Linse und die des umgebenden Ringwulstes genauer zu untersuchen, wurden die seziierten Augen und Linsen der Individuen II und IV mit einem Xradia Röntgen-Mikrotomographen (MicroCT) im Department der Theoretischen Biologie Wien gescannt. Ein Rekonstruktionsprogramm erstellte drei zweidimensionale Bilder, die die Linse in den drei Raumachsen geschnitten zeigen, und ein dreidimensionales Modell der Linse für eine erste Analyse. Mit den Stacks des MicroCT wurden mit Amira 5.2.1. ebenfalls dreidimensionale Modelle der Linse erstellt.

Ergebnisse

Cornea

Bei den meisten Individuen ist die Cornea durch die Fixierung eingefallen. Gut erhalten ist sie bei Mauersegler II (Abb.3).

Iris

Die Iris ist als sehr dünne Schicht an der Vorderseite des Ringwulstes zu sehen. Dabei reicht sie aber bei Abb.3 nicht ganz zur Linse heran.

Ziliarapparat

Der Ziliarapparat ist auf den Scans des Skyscans kaum zu erkennen, auf den MicroCT-Scans des Individuums IV ist er deutlicher erkennbar. Die Ziliarfortsätze setzen an der vorderen Hälfte des Ringwulstes, oberhalb des Linsenäquators, an. Das Ligamentum pectinatum der Iris ist bei Mauersegler IV nur schwach und die Zonula ciliaris gar nicht zu erkennen (Abb.4). Im dreidimensionalen Modell sind die Ansätze der Ziliarfortsätze am Ringwulst erkennbar, aber nur an der temporalen Ringwulstseite (Abb.5 und Abb.6).

Muskulatur

Der Crampton'sche und Brücke'sche Muskel sind weder auf den Skyscanbildern noch auf den MicroCT-Bildern eindeutig erkennbar.

Sklera und Skleralring

Die Sklera zeigt bei Individuum II auf einer Seite einen Hohlraum im Bereich des Skleralringes (Abb.3).

Der Skleralring besteht aus 16 Knochenplättchen (Abb.7). Diese sind an der Ansatzstelle des Knorpelringes schmal, verbreitern sich danach V-förmig. Dazwischen befinden sich trapezförmige, fast dreieckige Felder. Nur bei Mauersegler I und VI waren die Skleralringe gut darzustellen, bei den anderen untersuchten Individuen war der Skleralring so schwach, dass er im dreidimensionalen Modell kaum zu sehen ist.



Abb.3: Skyscan-Bild des linken Auges des Mauerseglers II. Al: Augenlid, C: Cornea, I: Iris, L: Linse, Rw: Ringwulst, S: Sklera, Sp: Spaltraum, Sr: Skleralring. Der gesamte Augenausschnitt ist in diesem Fall 6 mm groß.

Die Cornea verläuft sehr regelmäßig. Die Sklera wirkt auf der linken Seite wie gespalten, es hat sich im Bereich des Skleralringes ein Hohlraum gebildet. Anschnitte des Skleralringes sind auf beiden Seiten erkennbar. Weder das Ligamentum pectinatum der Iris, noch die Zonula ciliaris und der Crampton'sche und Brücke'sche Muskel sind zu erkennen. Der Linsenrand ist ähnlich hell wie der Ringwulst angefärbt. Zwischen der Linse und dem Ringwulst befindet sich ein kleiner nicht angefärbter Spaltraum.

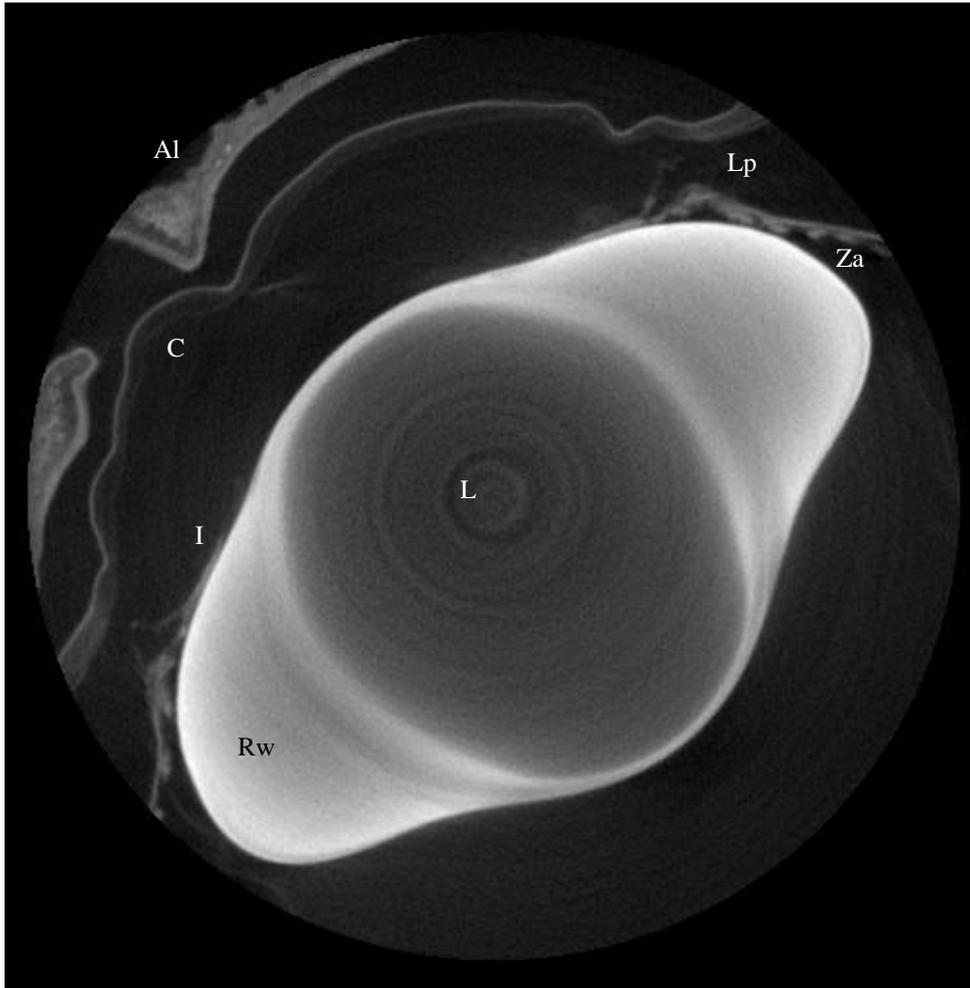


Abb.4: MicroCT-Bild des rechten Auges des Mauerseglers IV. Al: Augenlid, C: Cornea, I: Iris, L: Linse, Lp: Ligamentum pectinatum der Iris, Rw: Ringwulst, Za: Ziliarapparat.

In der Mitte der Linse befinden sich Ringartefakte des MicroCT. Die Cornea ist an mehreren Stellen aufgrund der Fixierung eingefallen. In diesem Scan ist der Ziliarkörper am Ringwulst oberhalb des Linsenäquators zu erkennen. Das Ligamentum pectinatum der Iris, das von der Iris und vom Ziliarapparat zur Cornea zieht, ist schwach erkennbar. Die Zonula ciliaris, die vom Ziliarapparat zum Ringwulst zieht, ist auf diesem Bild nicht zu erkennen.

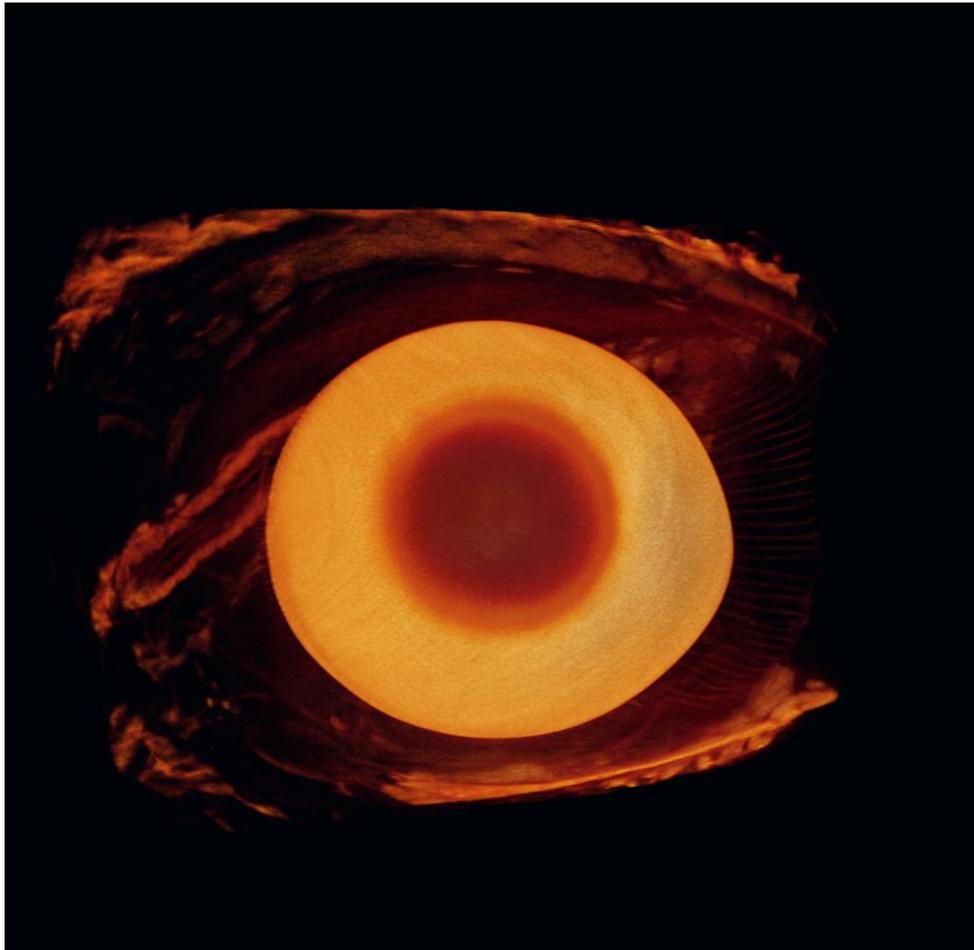


Abb.5: Der linke Linsenkomplex des Mauersegler II in einer Ventralansicht. Im Vordergrund befindet sich die Linse mit dem Ringwulst. Von der temporalen Seite (rechten Seite) des Ringwulstes ausgehend sind die Ziliarfortsätze erkennbar. Auf der nasalen Ringwulstseite sind in diesem Bild keine Ziliarfortsätze zu erkennen. Im Hintergrund befinden sich die Augenlider.

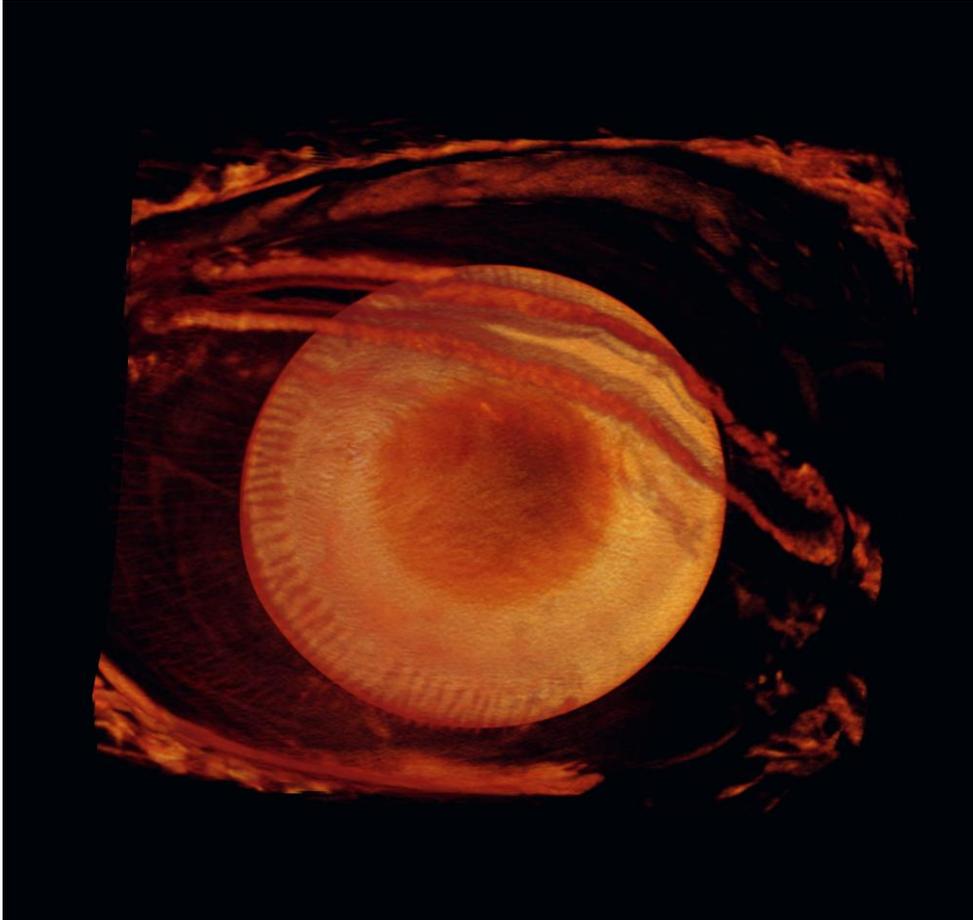


Abb.6: Das linke Auge des Mauerseglers II in Fontalansicht. Im Vordergrund sind die leicht geöffneten Augenlider zu erkennen. Dahinter befindet sich die Linse mit dem Ringwulst. An der temporalen Seite (linken Seite) des Ringwulstes sind die Ansätze der Ziliarfortsätzen erkennbar. Auf der nasalen Ringwulstseite sind bei diesem Individuum keine Ziliarfortsatzansätze zu erkennen.

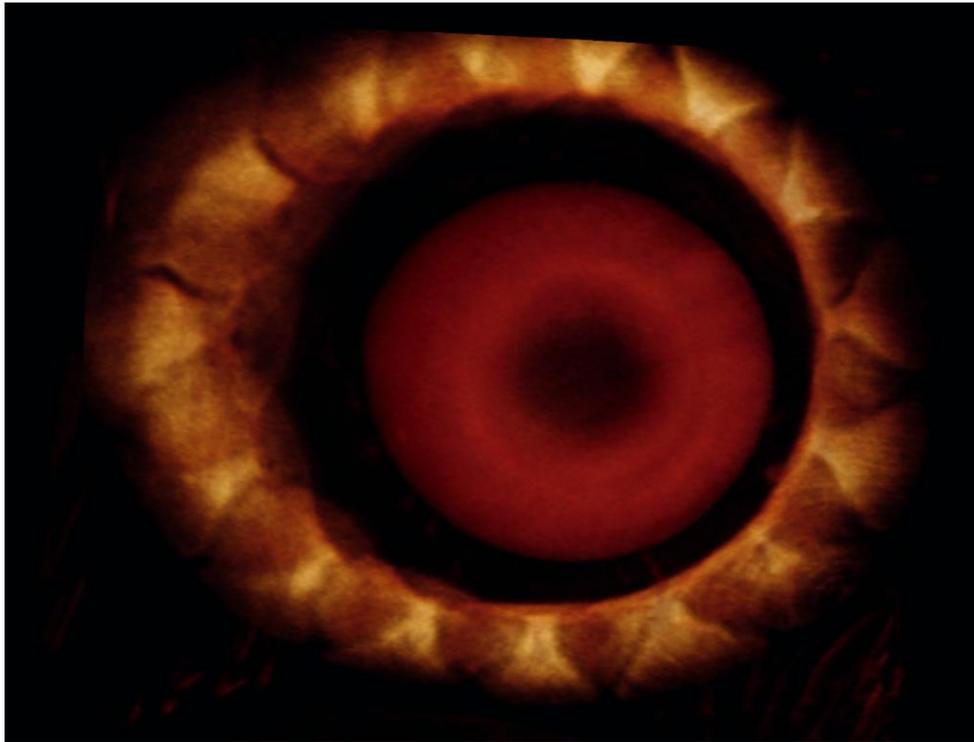


Abb.7: Dreidimensionales Modell des rechten Skleralringes des Mauerseglers I in einer Frontalansicht. Die Knochenplättchen sind etwas heller angefärbt als die Felder dazwischen. Der Ringwulst ist nur unscharf, die Linse ist nicht zu erkennen. Hinter dem Skleralring und der Linse sind Anschnitte der Kopfkapsel erkennbar.

Ringwulst

Der Ringwulst ist mächtig ausgebildet (Abb.8). Er bedeckt einen großen Teil des Linsenumfanges. An der zur Cornea gewandten Vorderseite der Linse ist der dünnste Ringwulstbereich, davon ausgehend wird der Ringwulst breiter und massiger bis knapp unterhalb des Linsenäquators. Der Ringwulst ist asymmetrisch, die temporale Seite ist im Querschnitt mächtiger entwickelt und trifft etwas steiler auf die Linse als die nasale Ringwulstseite. Nasal hat der Ringwulst eine abgerundete Form. Bei Individuum II ist der temporale Hinterrand des Ringwulstes sogar spitz zulaufend und leicht ins Augennere gebogen.

Linse

Ein Großteil der Linse wird vom Ringwulst abgedeckt, nur ein kleiner Bereich nach vorne und ein etwas größerer Bereich nach hinten sind nicht vom Ringwulst bedeckt.

Die Linse wirkt im Längsschnitt annähernd elliptisch (Abb.3), im dreidimensionalen Modell allerdings nicht. Die Vorderseite und Hinterseite der Linse sind halbkreisförmig, die Wölbung der Vorderseite ist allerdings flacher als die der Hinterseite. Im dreidimensionalen Modell ist

die Asymmetrie der Linse gut zu erkennen (Abb.8). Dabei wirkt die Vorderseite der Linse gegen die vertikale Achse geneigt, während die Hinterseite keine solche Neigung aufweist. Dadurch sind die Linsenflächen der Vorder und Hinterseite leicht gegeneinander versetzt (Abb.9 und Abb.10). Ein Strahl durch das Zentrum der Linsenvorderseite würde an der Hinterseite peripher austreten.

Die Färbung des IKI ist nur in den Rand der Linse eingedrungen, sie erreicht aber nicht das Zentrum (Abb.3).

Zwischen Ringwulst und Linse befindet sich ein Spaltraum (Abb.3), der sich durch die Genese der Linse ergibt (Stresemann 1934, Walls 1942, Willenkens und Vrensen 1985).

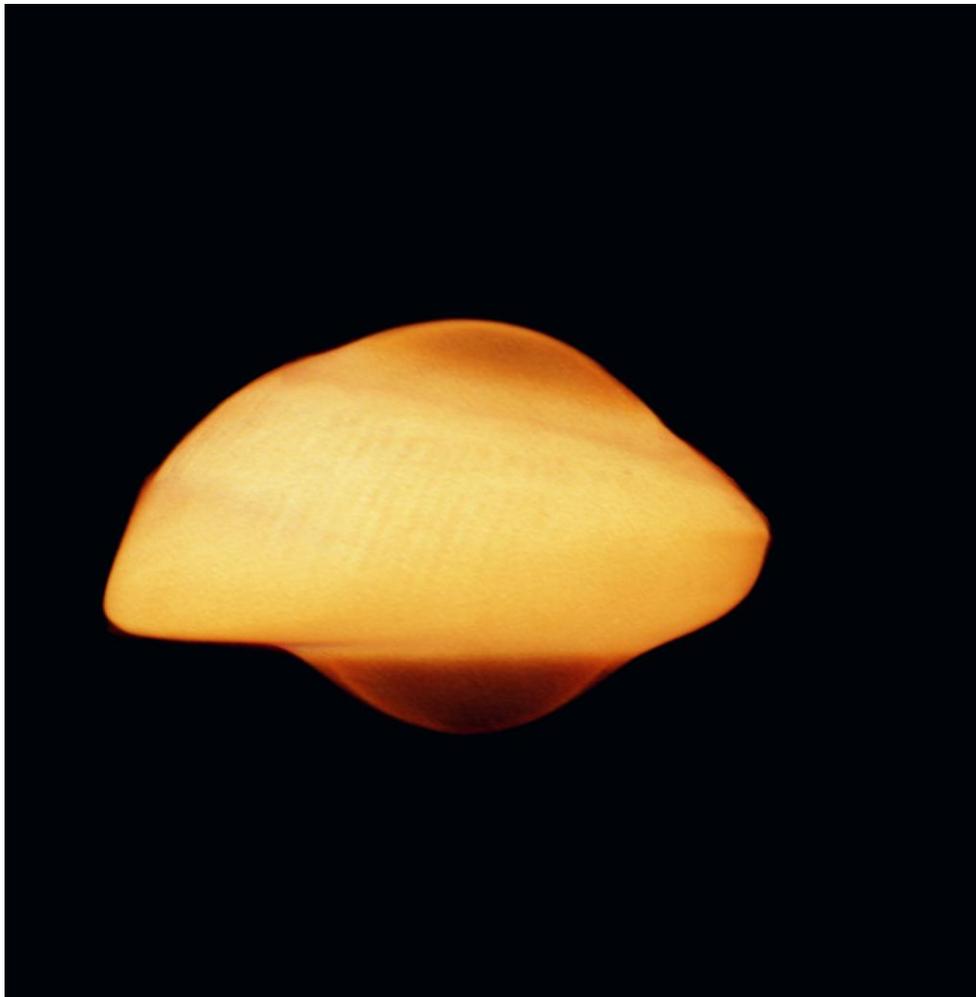


Abb.8: Dreidimensionales Modell der linken Linse mit dem Ringwulst des Mauerseglers II. Der Ringwulst ist sehr mächtig ausgebildet. Die temporale Seite (linke Seite) ist von größerem Ausmaß und trifft sehr steil auf die Linse. Die nasale Seite ist von der Linsenhinterseite bis zum Linsenäquator gerundet, danach verläuft sie etwas steiler. Die Linsenvorderseite ist flacher und in der Vertikalen geneigt. Die Linsenhinterseite zeigt keine Neigung in der Vertikalen.

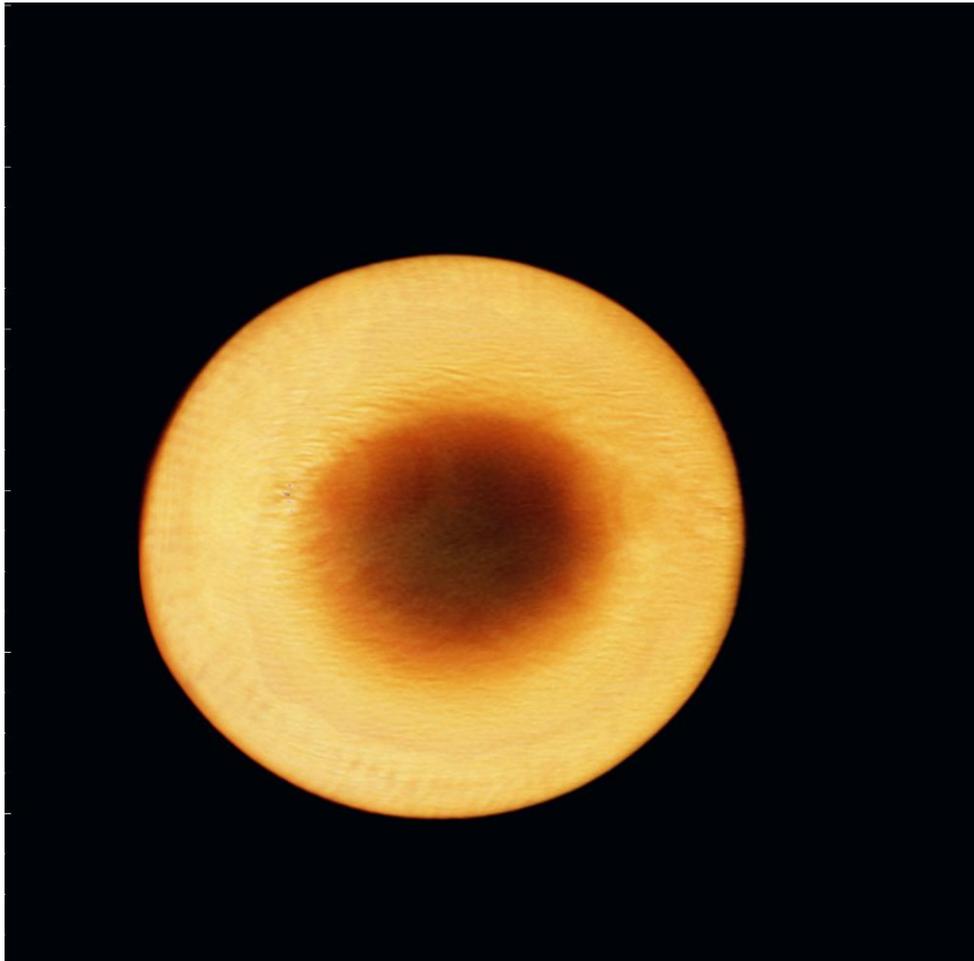


Abb.9: Dreidimensionales Modell der linken Linsenvorderseite des Mauerseglers II in frontaler Ansicht. Der Ringwulst ist an der temporalen Seite (linke Seite) etwas breiter. Sehr undeutlich sind in der Färbung der Ansätze der Ziliarfortsätze an der temporalen Ringwulstseite zu erkennen. Die Linse ist in diesem Modell nicht sehr scharf vom Ringwulst abgegrenzt. Durch die Linse ist die Hinterseite der Linse nur sehr schwach zu erkennen. Das Zentrum der Linsenvorderseite und Linsenhinterseite befinden sich leicht versetzt zu einander.

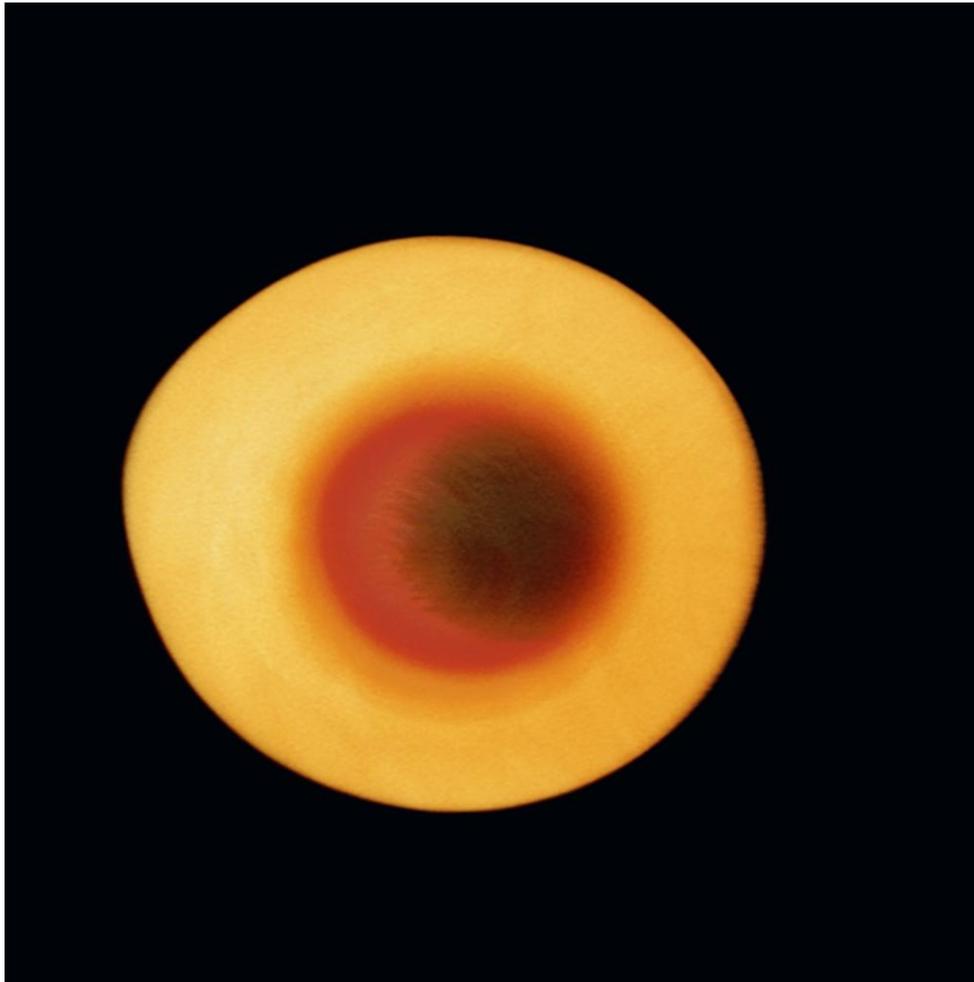


Abb.10: Dreidimensionales Modell der linken Linsenhinterseite des Mauerseglers II in frontaler Ansicht. Der Ringwulst ist temporal (linke Seite) etwas breiter und nicht so gerundet wie auf der nasalen Seite. Die Hinterseite der Linse ist scharf vom Ringwulst abgegrenzt. Durch die Linse ist die Linsenvorderseite erkennbar, deren Zentrum etwas versetzt zum Zentrum der Linsenhinterseite liegt.

Diskussion

Methodenkritik

Die Technik der Röntgen-Mikrotomographie ist für Untersuchungen der Augenmorphologie neu. Knochenmaterial, wie der Skleralring sollte im MicroCT gut darstellbar sein. Bei Mauerseglern besteht der Skleralring aus 16 Knochenplättchen, die schlechter gefärbten Bereiche zwischen den erkennbaren Verknöcherungszentren der einzelnen Ringelemente sind noch nicht verknöcherte Bereiche. Bis auf Individuum I und VI sind bei den Mauerseglern die Skleralringe noch sehr schwach verknöchert. Bei jungen und auch bei bereits ausgeflogenen Mauersegler könnte der Skleralring noch überwiegend knorpelig und daher am Scan schlecht erkennbar sein.

Für die Erkennung von Linsenform und Ringwulstausprägung ist das MicroCT sehr gut geeignet. In den dreidimensionalen Modellen zeigt sich die Wölbung der Cornea, sowie die Linsenform und Ausprägung des Ringwulstes dazu sehr deutlich. Genauere Informationen über die Linsenfasern liefert ein MicroCT-Scan aber nicht. Der Ziliarapparat, sowie Crampton'scher und Brücke'scher Muskeln sind kaum darstellbar. Beim Scan des Individuum IV sind heller angefärbte Bereiche in der Sklera erkennbar. Ob es sich um einen Muskelanschnitt handelt und wenn, um welchen der beiden Muskeln es sich handelt, kann nicht entschieden werden. Hier wären histologische Schnitte unerlässlich. Damit ließe sich feststellen ob Crampton'scher und Brücke'scher Muskel in der Sklera wie der Ringwulst und die Ziliarfortsätze asymmetrisch ausgebildet sind.

Funktionelle Aspekte der Akkommodation

Dem Brücke'schen Muskel wird generell eine Funktion bei der Linsenakkommodation bei Vögeln zugeschrieben (Stresemann 1934, Berndt und Meise 1958). Bei der Kontraktion des Brücke'schen Muskels kommt es zu einer Anhebung des Ziliarkörpers und damit zu einem radialen Zug auf den hinteren Bereich des Ringwulstes, das zu einer Aufwölbung der Linsenfront führt (Nahakkommodation). Die Akkommodationsfähigkeit ist vor allem bei Tauchvögeln, die über eine besonders weiche Linse verfügen, sehr groß, während sie bei nachtaktiven Vögeln wie Eulen kaum gegeben ist. Die Linse des Seglerauges sollte daher kaum zu einer effektiven Nahakkommodation fähig sein. Der bei Mauerseglern gefundene mächtige und asymmetrische Ringwulst sollte eine effektive Akkommodation der Linse kaum ermöglichen, insbesondere wenn man die Wirksamkeit des schwach entwickelten Brücke'schen Muskels ebenso wie des Crampton'sche Muskels (Stresemann 1934, Schätzle

1973) mitberücksichtigt. Die Schwache Ausbildung dieser beider Muskeln kann ein Grund sein, das sie sich bei MicroCT-Aufnahmen kaum darstellen lassen.

Ringwulst

Es stellt sich die Frage, warum der Ringwulst im Seglerauge so extrem mächtig und asymmetrisch ist, wobei temporal der Ringwulst massiger und vor allem nach hinten breiter ausgezogen ist. Zu untersuchen wäre, ob der Ziliarapparat, der Brücke'sche und eventuell der Crampton'sche Muskel ebenfalls asymmetrisch ausgebildet sind. Asymmetrische Zugverhältnisse auf den Ringwulst sollten zu einem Verschwenken der Linse führen, wodurch eine scharfe Projektion von Objekten in unterschiedlichen seitlichen Positionen vom Vogel aus gesehen auf den temporalen Foveabereich (Walls 1942, Oehme 1962, Brückner 1990) ermöglicht wäre. Damit wäre die sicher geringe Beweglichkeit des Augapfels in der Orbita (relativ kurze Augenmuskeln) kompensiert.

In wie fern eine Positionierung des Ringwulstes tatsächlich zur Adaptation des Auges an die jeweilige Lichtsituation nach Meinung von Schätzle (1973) beitragen kann, muss offen bleiben.

Die von Stresemann (1934) und Walls (1942) beschriebenen „Spalträume“ (cava lenticuli, Willenkens und Vrensen 1985) temporal zwischen Linse und kragenartig anliegenden Ringwulst sind der Rest der embryonalen Linsenhöhle. Wie weit die Größe dieser Spalten im fixierten Material auf Schrumpfungsprozesse zurückzuführen ist, wäre zu klären.

Rabl (1900) vermutete bei Mauerseglern zwischen linken und rechten Auge Unterschiede in der Ausformung der Linsen. Im zur Verfügung stehenden Material waren nur bei zwei Individuen (II und IV) beide Augen intakt. Es konnte keine Asymmetrie in der Linsenausformung festgestellt werden. Unterschiede zwischen linken und rechten Augen wären aber durchaus zu erwarten, wie die Asymmetrie der Magnetfeldperzeption bei Singvögeln zeigt (Wiltschko und Wiltschko 2007).

Ausblicke

Weitere Untersuchungen zur Morphologie des Auges von Mauerseglern, auch andere Segler und den Seglern nahestehenden Kolibris Trochilidae, sind unbedingt erforderlich.

Literatur

Abbildungen: Ich habe mich bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit eingeholt. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.

Berndt R., Meise W., 1958: Naturgeschichte der Vögel, Band 1: Allgemeine Vogelkunde, Franckh'sche Verlagshandlung Stuttgart, pp. 390

Brückner R., 1990: Das Auge und die Sehweise des Mauerseglers *Apus apus*, Tätigkeitsbericht der naturforschenden Gesellschaft Baselland, Band 36, Liestal, 167-196

Buurma L., 2000: Dusk and dawn ascend of the swift, *Apus apus* L., International Bird strike Committee, IBSC25/WP-BB2

Collins C., 2000: Foraging of Glossy and Pygmy Swiftlets in Palawan, Philippine Islands, Forktail, Vol. 16, 53-55

Glutz von Boltzheim et al. 1994: Handbuch der Vögel Mitteleuropas, Band 9, AULA-Verlag GmbH, pp. 671-712

Heinroth O., Heinroth M., 1926: Die Vögel Mitteleuropas, Band 1, Hugo Bermühler Verlag, Berlin-Lichterfelde, pp. 270-270

Jordan Price J., Johnson K. P., Clayton D.H., 2004: The evolution of echolocation in swiftlets, *Journal of avian Biology*, Vol. 35, 135-143

Lack D., Owen D. F., 1955: The food of the swift, *Journal of Animal Ecology*, Vol. 24, No. 1, 120-136

Lentink D., Müller U. K., Stamhuis E.J., de Kat R., van Gestel W., Veldhuis L. L. M., Henningsson P., Hedenström A., Videler J. J., van Leeuwen J. L., 2007: How swifts control their glide performance with morphing wings, *Nature*, Vol. 446, 1082-1085

Oehme H., 1962: Das Auge von Mauersegler, Star und Amsel, *Journal of Ornithology*, Vol. 103, 187-212

Oehme H., 1968: Der Flug des Mauerseglers, *Biologisches Zentralblatt*, Vol. 87, 287-311

Rabl C., 1900: Über den Bau und Entwicklung der Linse, Wilhelm Engelmann Verlag, Leipzig

Schätzle B., 1973: Entwicklungsgeschichtliche und vergleichend morphologisch-anatomische Untersuchungen an Ciliarkörper und Iris verschiedener Vogelaugen mit besonderer Berücksichtigung der Akkommodation, Diss. Basel Trimbach, Rentsch AG

Stresemann E. 1934: in Kückenthal, , *Handbuch der Zoologie*, Band 7, 2.Hälfte, Walter de Gruyter & Co, Berlin und Leipzig, Augenmorphologie: pp. 134-153

Thomassen H. A., den Tex R.-J. de Bakker M. A. G., Povel D. E., 2005: Phylogenetic relationships amongst swifts and swiftlets: A multi locus approach, *Molecular Phylogenetics and Evolution*, Vol. 37, 264-277

Walls G. L., 1942: The vertebrate eye and its adaptive radiation, The Cranbrook Institute of Science, Bloomfield Hills, Michigan

Willekens B., Vrensen G., 1985: Lens fiber organisation in four avian species, Tissue & cell, Vol. 17, Iss. 3, 359-377

Wiltschko W, Wiltschko R., 2007: Magnetoreception in birds: two receptors for two different tasks, Journal of Ornithology, Vol. 148, 61-76

Danksagung

Ich bedanke mich sehr herzlich bei B.Sc. PhD Brian Metscher, für seine Unterstützung bei der Verwendung der Röntgen-Mikrotomographen.

Lebenslauf



Alexandra Zatlokal

Geboren am 27.04.1987 in Wien

Eltern: Gerhard Zatlokal, Gabriela Bokon

Adresse: Ottakringer Straße 142/Top 8
1160 Wien

Schulische Ausbildung

Volksschule: GTS Wien XV, Reichsapfelgasse 1993 - 1997

Gymnasium: Bundesgymnasium und Bundesrealgymnasium Wien XV,
Diefenbachgasse 1997 – 2005

Matura am BRG Diefenbachgasse 07. 06. 2005

Studium an der Universität Wien

1. Abschnitt: WS 2005 – SS 2007: Diplomstudium Biologie

2. Abschnitt: WS 2007 – WS 2009: Diplomstudium Zoologie

Diplomarbeit Beginn Juli 2009, Abschluss Jänner 2010

04. 08. – 12. 09. 2008: Außerstudiummäßige Mitarbeit an einem Projekt
Am Forschungsinstitut für Wildtierkunde und
Ökologie