



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„TOPOGRAPHIE UND VERTEILUNG RETINALER ZELLEN BEI CANIDEN“

Verfasser

MOHAMED ABDEL KEREAM

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2013

Studienkennzahl lt. Studienblatt: **A 439**

Studienrichtung lt. Studienblatt: **Zoologie**

Betreut von:

A.Prof.Univ. Doz. Dr. Peter Ahnelt

Abt. f. Neurophysiologie u. Neuropharmakologie,

Ztr. f. Physiologie u. Pharmakologie,

Medizinische Universität Wien

Für Ihn
Von Ihm

Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG	4
1.1 Überblick und Zielsetzung	5
1.2 Retina	6
1.2.1 Evolution des Auges	6
1.2.3 Vertebratenretina und ihre Funktionen.....	10
1.2.4 Photorezeptoren in der Vertebratenretina	12
1.3 Caniden	16
1.3.1 Hunde und ihre wilden Verwandten	16
1.3.2 Evolution und Domestikation des Haushundes.....	18
1.3.3 Genealogie.....	21
1.3.4 Rasseneinteilung.....	25
1.3.5 Auswirkung der Domestikation.....	31
2 METHODE UND TECHNIK	31
2.1 Immunhistochemie	32
2.1.1 Sektion	33
2.1.3 Antikörper.....	38
2.1.4 Immunhistochemische Färbung von Wholemoutpräparaten	40
2.1.5 Dichtezählung der Photorezeptoren.....	43
3. MATERIAL	46
3.1 Wildcanidae	47
3.1.1 Rotfuchs (<i>Vulpes Vulpes</i>).....	47
3.1.2 Schabrackenschakal (<i>Canis mesomelas</i>)	49
3.2 Haushunde	50
3.2.1 Schäferhund.....	53
3.2.2 Rottweiler	54
3.2.3 Dobermann	55

3.2.4 Border Collie	56
3.2.5 Crested Chinese	57
3.2.6 Chihuahua.....	58
4 ERGEBNISSE	59
4.1 Wildcanidae	59
4.1.1 Rotfuchs.....	59
4.2 Dichteverteilung der langwelligen Photorezeptoren beim Haushund.....	64
4.2.2 Rottweiler	66
4.2.3 Dobermann	70
4.2.4 Border Collie	72
4.2.5 Crested Chinese Powderpuff	74
4.2.6 Chihuahua.....	76
4.3 Vergleich der Ellipzität mittels Isodensity Lines	78
4.4 Helligkeitsinterpolation.....	80
5 DISKUSSION	80
5.1 Material.....	81
5.1.1 Auswahl	81
5.1.2 Einflussfaktoren auf Ergebnisse.....	82
5.2 Interpretation	85
5.3 Topographie der langwelligen Photorezeptoren bei Wildcaniden	87
5.3.1 Grauwolf (<i>Canis lupus</i>).....	87
5.3.2 Vergleich Wildcanidae.....	89
5.4.4 Retinaler Rassenvergleich bei domestizierten Caniden.....	98
5.5. Weiterführende Forschungsansätze	99
6 LITERATURVERZEICHNIS	100
7 LEBENS LAUF	103

1 EINLEITUNG

1.1 Überblick und Zielsetzung

Der Haushund (*Canis lupus familiaris*) fällt vor allem durch die Mannigfaltigkeit an Größe, Form, Farbe und Beschaffenheit des Fells sowie seiner Verhaltensdiversität auf. Mit der Aufschlüsselung und Sequenzierung seines Genoms wurde ein großer Schritt in der Untersuchung der genetischen Basis für phänotypische Vielfalt getan. Somit ist der Hund- aufgrund dieser phänotypischen Vielfalt- ein wichtiger Modellorganismus.

Als bester Freund und Begleiter des Menschen hat der Haushund im Laufe seiner Domestikation vom Wildcaniden zum zahmen Arbeits- und Familienhund viele phänotypische Veränderungen durchlebt. Diese Vielfalt zeigt sich, einer Landkarte gleich, auch in der Dichteverteilung der retinalen Photorezeptoren.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es mit modernen histochemischen Methoden die Topographie der Photorezeptoren in Form von Dichtekarten zu erfassen. Dies ist die Grundlage eines Vergleichs zwischen Wildcaniden und domestizierten Hunden. Mithilfe von festgelegten Parametern werden Trends in der Dichteverteilung beschrieben und in weiterer Folge auch diskutiert. Grundlegend ist hierbei immer die Frage, ob und wenn ja, wie sich die Domestikation als künstlicher Evolutionsfaktor in Form von Zuchtgeschichte auf die Topographie der Retina ausgewirkt haben kann.

Hierbei soll die Schädelanatomie als Ausgangspunkt für die Unterteilung von brachy-, meso- und dolichocephale Rassen sein. Die Arbeit untersucht ob eine Korrelation zwischen der verkürzten Schnauzenlänge und der zunehmend konzentrischen Verdichtung der Area Centralis bestehen könnte. Bei langschnäuzigen Rassen soll die Ausprägung eines Visual Streak entlang des horizontalen Meridians, ähnlich wie bei den wilden Verwandten Fuchs, Schakal und Wolf, belegt werden.

1.2 Retina

Vertebraten leben unter unterschiedlichen ökophysiologischen Bedingungen. Vor allem das Auge ist besonders für Caniden ein wichtiger Kanal für die Wahrnehmung der Umwelt und somit eine Voraussetzung für das Überleben. Der direkt lichtwahrnehmende Teil des Auges, die Retina, ist ebenso wie der Sehnerv ein entwicklungs- geschichtlich vorgeschobener Teil des Gehirns. Im ersten Kapitel werden der Aufbau und die Entwicklung der Retina näher erörtert, um später auf Funktionsweise und Physiologie der Photorezeptoren in der Vertebratenretina einzugehen. Abschließend wird die daraus resultierende Ökophysiologie diskutiert.

1.2.1 Evolution des Auges

Die ersten Formen von zellulärer Lichtrezeption bei Metazoa findet man bereits bei vielen Arten von Polypen und Nematoden. Es handelt sich dabei um einfache Lichtsinneszellen, die über den Körper des Tieres verteilt sind. Diese Lichtsinneszellen ermöglichen dem Träger aber nur eine Hell/Dunkel Wahrnehmung, also einen gewissen Lichtsinn. Dies bietet schon einige Vorteile, denn dadurch ist eine verbesserte Reaktion auf Beute bzw. auf den Räuber möglich.

Im Laufe der Evolution (**Abb. 1**) können sich diese Sinneszellen am Körperende des Tieres konzentrieren. Zusammen mit einer Pigmentschicht ergeben sie das Flachauge. In Pigmentbecheraugen liegen die Sehzellen vom Licht abgewandt (inverse Lage) in einem Becher aus lichtundurchlässigen Pigmentzellen. Dies ermöglicht nun Richtungssehen. Lochaugen oder Lochkameraaugen sind weiterentwickelte Grubenaugen und funktionieren nach dem Prinzip der Lochkamera. Aus der Grube wird eine blasenförmige Einstülpung, die Öffnung verengt sich zu einem kleinen Loch und der Hohlraum ist vollständig mit Sekret gefüllt. Durch die erhöhte Anzahl der Sehzellen in einem Sehzellenepithel (Netzhaut) ist nun auch Bildsehen möglich.

Das Grubenauge unterscheidet sich durch die dem Licht zugewandte (everse) Lage der Sinneszellen vom Pigmentbecherauge und dadurch, dass die Grube mit Sekret gefüllt ist. In der Grube bilden die Sehzellen eine Zellschicht, die innen an eine Schicht von Pigmentzellen anschließt. Es ist also eine Weiterentwicklung des Flach-

auges. Es ermöglicht die Bestimmung der Intensität und der Einfallsrichtung des Lichts.

Einfache Linsenaugen haben noch nicht den komplizierten Aufbau, den wir vom Wirbeltierauge kennen. Es besteht aus nicht viel mehr als Linse, Pigmentzellen und Retina. Ein Beispiel hierfür ist das Linsenauge der Würfelqualle *Carybdea marsupialis*.

Obwohl sich die Augen von Wirbeltieren und Tintenfischen im Aufbau stark ähneln, haben sie diese sehr ähnliche Funktionsweise unabhängig voneinander entwickelt. Dies wird bei der Bildung des Auges beim Embryo sichtbar. Während sich das Auge bei Wirbeltieren durch eine Ausstülpung von Epithelien entwickelt, die später das Gehirn bilden, entsteht das Auge der Weichtiere durch eine Einstülpung der äußeren Zellschicht, die später die Haut bildet.

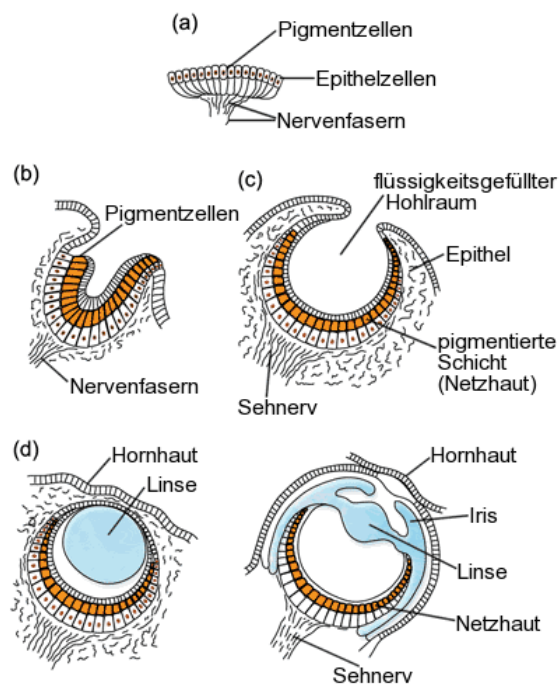


Abb. 1 Evolution des Auges

- (a) Pigmentfleck
 - (b) Einfache pigmentierte Vertiefung
 - (c) Augenschalenbecher der Seeohren
 - (d) Linsenauge von Meeresschnecken
- (MAYR, 2001)

1.2.2 Aufbau des Wirbeltierauges

Bei Vertebraten besteht der Augapfel (Bulbus oculi) aus lichtbrechenden und lichtwahrnehmenden Anteilen. Zu den lichtbrechenden Anteilen gehören Hornhaut, Linse und Glaskörper. Unter dem lichtwahrnehmenden Organ versteht man die Retina: in ihr wird der physikalische Reiz des Lichtes über photochemische Prozessen zu einem neuronalen Reiz umgewandelt.

Das Vertebratenaue ist ein inverses Auge (**Abb. 2**) und besteht embryologisch aus einem epidermalen und einem neuronalen Anteil. Im Frühstadium der Entwicklung werden im Bereich der kranialen Neuralleiste, die sich bereits verdickt hat und die drei Gehirnbälchen bildet, die sogenannten Augenbläschen sichtbar. Dies sind bilaterale Ausstülpungen des Diencephalons, die sich zum optischen Stiel verlängern und schließlich als optische Vesikel bezeichnet werden. Die optischen Vesikel stoßen an einen bestimmten Bereich des Ektoderms an, der die Kompetenz hat, sich zur Linse zu entwickeln. Dies wird durch den Kontakt mit den optischen Vesikeln induziert. Während nun vom Linsenektoderm Zellen einwandern und die Linse bilden, stülpt sich gleichzeitig der distale Bereich der optischen Vesikel ein und bildet die sogenannten Augenbecher. Jetzt liegen zwei Epithelschichten übereinander. Die proximale Schicht bildet die Pigmentzellschicht, während das distale Epithel als neuroretinale Zellschicht bezeichnet wird. Aus ihr entwickelt sich die Retina, die aus Photorezeptorzellen, Horizontal- und Amakrinzellen, Bipolarzellen, Interplexiformzellen, Ganglienzellen und Gliazellen besteht, wobei die Axone der Ganglienzellen den optischen Nerv bilden (SEYFFERT, 2003).

Da im Zuge dieser Arbeit eine Vielzahl von Canidenaugen untersucht worden sind, ist es sinnvoll die Anatomie des Auges detaillierter zu besprechen. Der Bulbus oculi hat eine annähernd kugelige Gestalt, an der man einen vorderen und einen hinteren Pol ausmachen kann. Im Durchmesser misst der Bulbus bei den untersuchten Vertretern des Haushundes (*Canis lupus familiaris*) zwischen 13mm (Chihuahua) und 23mm (Deutscher Schäferhund). Wie in **Abb. 2** sichtbar, besitzt das Vertebratenaue innere Strukturen, die von einer dreischichtigen Wand umschlossen werden. Demnach setzt sich die Bulbuswand von außen nach innen wie folgt zusammen:

- **Tunica fibrosa bulbi** (Sclera und Cornea)
- **Tunica vasculosa bulbi** (Uvea: Iris, Ziliarkörper und Choroidea)
- **Tunica interna bulbi** (Retina)

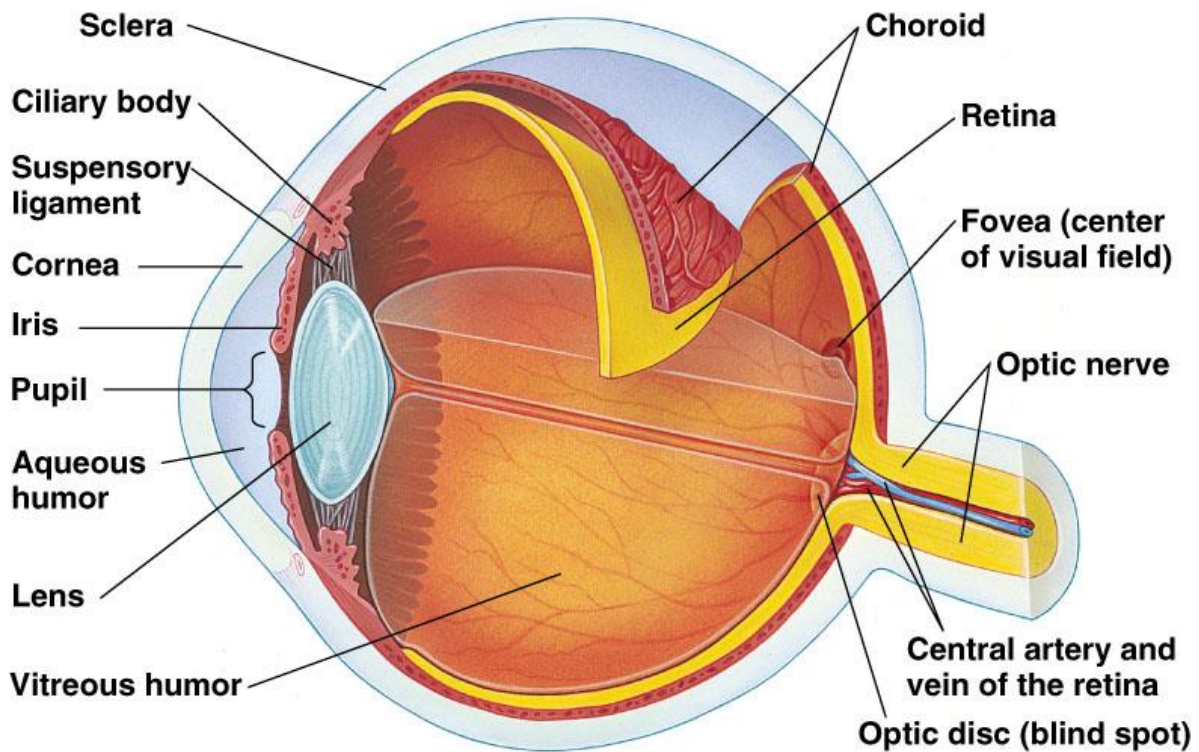


Abb. 2 Aufbau des Vertebratenauge (am Beispiel des menschlichen Auges)

Die einzelnen Augenhäute (Sclera, Choroidea und Retina) sind sichtbar. (MARIEB, 2012)

Die an sich kugelförmige Wand des Bulbus ist am vorderen Pol stärker gekrümmt, dort befindet sich die uhrglasförmige Cornea, die lichtdurchlässig ist. Nach außen hin geht sie in die lichtundurchlässige Sclera über. Die wichtigste Funktion der Cornea ist die Lichtbrechung. Durch ihre stark gekrümmte Form wirkt sie dabei als Sammellinse, um so die Lichtstrahlen auf der Retina zu bündeln und damit eine scharfe Abbildung zu ermöglichen. Im Gegensatz zu der Sclera ist die Cornea völlig gefäßfrei, da die Ernährung von innen über das Kammerwasser und von außen über die Tränenflüssigkeit erfolgt.

Der Sclera lagert sich innen die gefäßhaltige Uvea an, die zwei ringförmige Strukturen (Iris und Ziliarkörper) ins Augennere vorschleibt und mit der Choroidea die rest-

liche Sclera von Innen bedeckt. Im Gegensatz zur Cornea ist die Sclera beinahe lichtundurchlässig.

Die Uvea ist aus mehreren Komponenten aufgebaut: dazu zählen die Choroidea, die Iris und der Ziliarkörper. Erstere, die Choroidea, ist zwischen Sclera und Pars optica der Retina und ist etwa 0,2 mm, stark vaskuliert und enthält Melanozyten, ist also pigmentiert. Die Aufgabe der Choroidea liegt in der Blutversorgung der äußeren Netzhautschichten. Iris und Ziliarkörper sind ebenfalls Derivate der Uvea und damit der Bulbuswand.

1.2.3 Vertebratenretina und ihre Funktionen

Die Retina ist als innerste Wandschicht der lichtwahrnehmende Teil des Auges. Hier werden die optischen Signale in neuronale, also elektrische Impulse, umgewandelt. Wobei die Information bereits auf niedriger Ebene integrierend verarbeitet und anschließend über den Nervus opticus in das höhere visuelle Zentrum des Gehirns geleitet wird.

Die Retina gliedert sich in die vorderen lichtunempfindlichen Abschnitte (Pars caeca: Partes iridica et ciliaris retinae) und die hintere lichtempfindliche Pars optica retinae. Den Übergang zwischen dem lichtempfindlichen und dem lichtunempfindlichen Abschnitt bildet die Ora serrata.

Die Pars caeca enthält nur das Pigmentepithel und legt sich mit diesem dem Ziliarkörper und der Irisrückwand an.

Die Pars optica besteht aus einem äußeren Stratum pigmentosum und einem inneren Stratum nervosum, das Nerven- und Sinneszellen enthält. Wobei das Stratum pigmentosum aus einem einschichtigen, kubischen Epithel besteht. In den Epithelzellen sind melaninhaltige Pigmentkörner eingelagert. Es bildet somit eine adhärente Verbindung mit der Choroidea und ermöglicht die Netzhautversorgung. Das Stratum nervosum enthält als äußerste Schicht, also am Pigmentepithel angrenzend, die lichtwahrnehmenden Sinneszellen, die auch im Rahmen dieser Arbeit untersucht werden. Dabei unterscheidet man Zapfen für das Tageslichtsehen, inklusive Farbwahrnehmung und Stäbchen für das Dämmerungssehen.

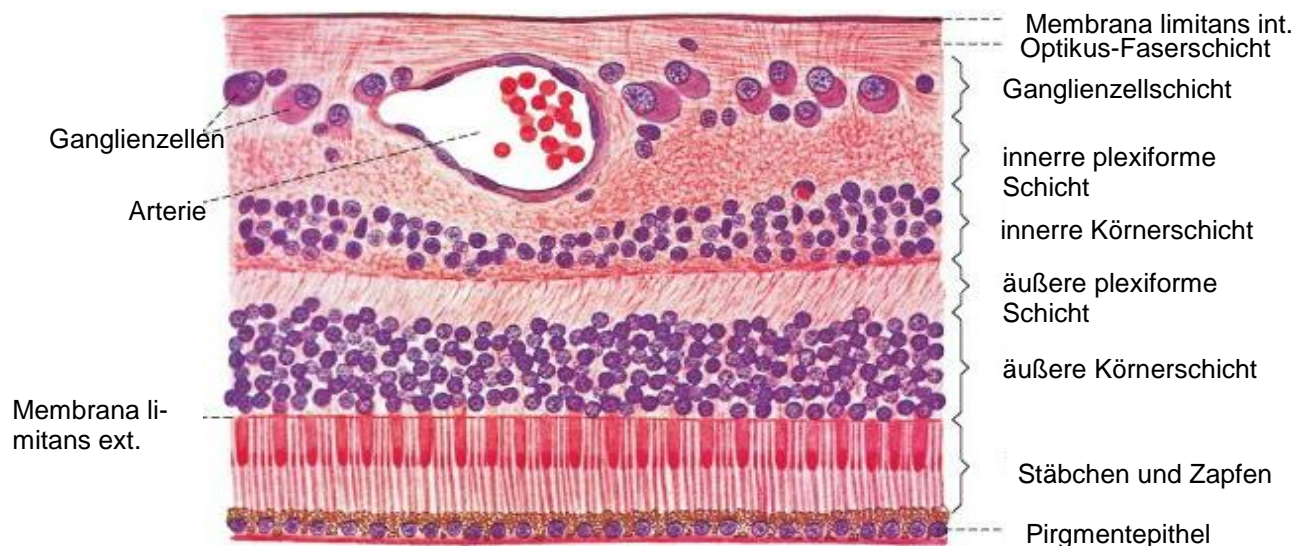


Abb. 3 Retinale Schichten

Schematischer Aufbau und Lage von Photorezeptoren und nachgeschalteten Zellen bis hin zu den Ganglienzellen: histologisch sind bis zu zehn Schichten unterscheidbar, drei davon enthalten Zellkörper, während die anderen Schichten Strukturen wie Dendriten und Axone enthalten. Dazwischen befindet sich sowohl radiale Glia (Müller'sche „Stützzellen“) als auch Mikroglia.

(WELSCH, 2006)

In den darauffolgenden Zellschichten befinden sich neben den typischen retinalen Gliazellen außerdem: Bipolare Zellen, Amakrine Zellen, Horizontalzellen und Ganglienzellen (**Abb. 3**). Die ersten drei Neuronentypen (Bipolare Zellen, Amakrine Zellen und Horizontalzellen) sind Interneuronen, die nur innerhalb der Retina Vorschaltungen bilden. Erst die Ganglienzellen projizieren zu den Kerngruppen außerhalb der Retina und werden deshalb Projektionsneurone genannt. Aufbau und Verschaltung der retinalen Zellen ist in **Abb. 3** sichtbar.

Die Axone der Ganglienzellen leiten die neuronalen Impulse über den N. opticus an höhere visuelle Zentren des Gehirns. Diese befinden sich an der medialen Seite des Occipital-Lappens.

1.2.4 Photorezeptoren in der Vertebratenretina

Die lichtwahrnehmenden Sinneszellen bilden die äußerste der drei Zellschichten innerhalb des Stratum nervosum. Das Licht muss durch alle anderen Schichten durchdringen, bis es auf die Sinneszellen trifft. Diese Sinneszellen nehmen die Lichtreize wahr und wandeln diese in neuronale Signale um. Da sie als Bestandteil der Retina zum Gehirn gehören und damit Nervenzellen sind, die Sinnesreize wahrnehmen, bezeichnet man sie –anders als Sinneszellen in Haut oder Innenohr- als primäre Sinneszellen. Dabei unterscheidet man, wie in **Abb. 4** zu sehen ist, Zapfen für das Tageslichtsehen, inklusive Farbwahrnehmung und Stäbchen für das Dämmerungssehen. In der Photorezeptorschicht befinden sich Zapfen und Stäbchen, mit nach außen (evers) gerichteten Fortsätzen. Diese Fortsätze gliedern sich in ein Innen- und ein Außensegment. Im Außensegment findet die Lichtrezeption - die Umwandlung des optischen Reizes in ein neuronales Signal - statt. Das Außensegment, ein modifiziertes Cilium, hat starke Membraneinfaltungen, in denen der Sehfärbstoff eingelagert ist. Der Sehfärbstoff erfährt bei Belichtung eine molekulare Konformationsänderung und löst das neuronal Signal in der Sinneszelle durch Hyperpolarisierung aus. Die Sehfärbstoffe sind somit Mittler bei der Übertragung des Lichtreizes in eine elektrische Erregung (Transduktion) der Rezeptoren.

Die Sehfärbstoffe finden sich in den Scheibchenmembranen. Sie bestehen aus Opsin (Proteinanteil) und 11-cis-Retinal (Aldehyd). Der Lichtreiz führt über eine Umlagerung im Moleküle und einen „Second messenger“ (cGMP) zur Aktivierung eines Botenstoffes (Phosphodiesterase), welcher intrazelluläre Kationenkanäle steuert. Das Schließen dieser Kationenkanäle bewirkt eine Hyperpolarisation.

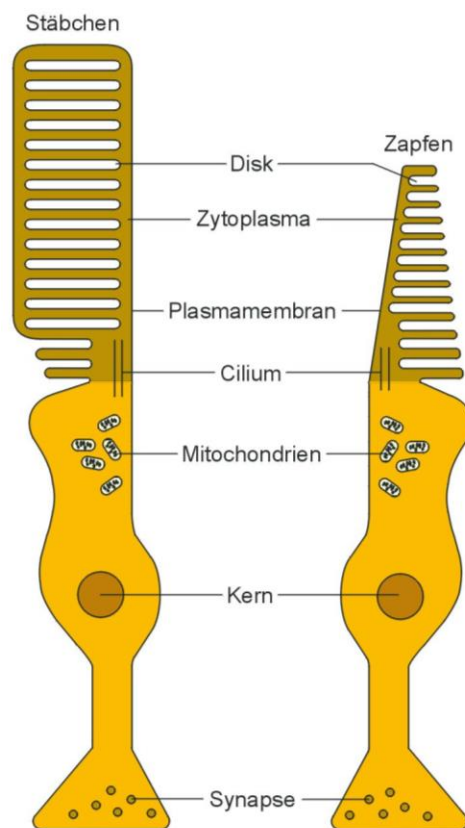


Abb. 4 Schematische Darstellung von Photorezeptoren in der Vertebratenretina

Links: Stäbchen (Rods) für das Dämmerungssehen; rechts: Zapfen (Cones) für das Farbsehen

Aus: <http://www.sinnesphysiologie.de/photor/pho01bh.htm> (2012)

Währenddessen sinkt auch die intrazelluläre Kalziumkonzentration. Das Endprodukt (Metarhodopsin II) in diesem Umwandlungsprozess des Sehfärbstoffes (Rhodopsin) zerfällt schließlich in Opsin und den Aldehydanteil. Der Sehfärbstoff wird unter Energieaufwand wieder regeneriert.

Wir unterscheiden drei Sehfärbstoffe für die vorhandenen drei Zapfentypen. Sie bestehen aus gleichen Aldehydanteilen und wechselndem Opsinanteilen, und absorbieren nur Licht eines engen Wellenlängenbereiches.

Es besteht ein reger Stoffaustausch zwischen den Außensegmenten der Sinneszellen und dem Pigmentepithel: Stoffwechselprodukte, die den verbrauchten Sehfärbstoff beinhalten, aber auch abgestoßene Membrananteile werden vom Pig-

mentepithel aufgenommen. Nährstoffe sowie der regenerierte Sehfärbstoff werden wieder an die Sinneszellen abgegeben.

An das Außensegment schließt sich das stoffwechselaktive Innensegment an. Es wird in ein mitochondrienreiches Ellipsoid und in ein Myoid unterteilt. Letzteres zeichnet sich einerseits durch das ausgebaute endoplasmatische Retikulum und andererseits durch die Proteinbiosynthese aus.

Im Anschluss befindet sich die „Outer nuclear layer“, in dieser Schicht findet man den Zellkörper samt Zellkerne. Von hier aus entspringt das Axon, das mittels Synapse die Zapfen in der äußeren plexiformen Schicht mit den Dendriten der Interneuronen bindet.

1.2.5 Ökophysiologie

Der Aufbau der Retina bei Säugetieren entspricht dem Grundbauplan der Vertebraten. Sie besitzen in ihrer Retina Stäbchen für das Sehen bei Dämmerung und Zapfen für das Farbsehen und für die detaillierte visuelle Orientierung bei Tageslicht.

„Wir können natürliche Selektion in Aktion innerhalb von Arten ablaufen sehen, wenn wir die Variabilität innerhalb der Arten in ihrem geographischen Verbreitungsgebiet betrachten und ökologisch spezialisierte Rassen innerhalb von Arten erkennen (Ökotypen). [...] Die Evolution der Spezialisierung kann als ein Vorgang interpretiert werden, bei dem Organismen immer exakter in ihrer Umwelt eingepasst werden oder bei dem sie in immer engeren Zwangsjacken der Gestalt und des Verhaltens gepresst werden.“

(TOWNSEND, 2009)

Im Laufe ihrer Evolution konnten Säugetiere eine Vielzahl ökologischer Nischen in fast jedem Habitat auf der Erde erobern. Damit leben sie unter vielen unterschiedlichen ökologischen Umständen und nicht zuletzt auch unter unterschiedlichen Lichtverhältnissen und unter damit verbundenen ökophysiologischen Herausforderungen. Der evolutionäre Selektionsdruck und die Anforderung nach einer besseren Anpassung an die Umwelt haben zu einer zunehmenden Spezialisierung des visuellen Apparats geführt.

Dabei können auch Extreme vertreten sein. Eines davon findet man bei tagaktiven Primaten, die mit ihrer Fovea mit einer hohen Dichte von Zapfen eine hohe Auflösung erreichen. Das andere Extrem sind wiederum Blindmäuse (*Spalax arenarius*), die ihr Leben lang unter der Erde leben. Da Haut über die Augen gewachsen ist, sind diese nicht mehr funktionsfähig und das Tier praktisch blind.

1.3 Caniden

Obschon in vielen Fällen das Erscheinungsbild des Haushundes von seinen Vorfahren, den Grauwölfen, abweicht, haben alle Hunderasse viele anatomische und verhaltensbiologische Eigenheiten mit ihren wildlebenden Verwandten gemeinsam.

1.3.1 Hunde und ihre wilden Verwandten

Die dem Hund am nächsten verwandten Wildarten sind die Angehörigen der Gattung *Canis* aus der Familie der hundeartigen Raubtiere, der *Canidae*. Die rezenten *Canidae* lassen sich in die Äste der echten Füchse (*Vulpini*) und der echten Hunde (*Canini*) aufteilen – letztere fächert sich in viele Gattungen auf, wobei die Gattung *Canis* am bedeutendsten ist. Zu dieser Gattung sind die Arten Wolf (*Canis lupus*), Kojote (*Canis latrans*) und die Schakale (*Canis aureus*, *Canis adustus*, *Canis mesomelas*) zu rechnen.

Zahlreiche Studien einzelner Merkmale und Merkmalskomplexe dieser Art haben gezeigt, dass der Hund überall dort, wo es artliche Unterschiede dieser Merkmale gibt, am ehesten mit dem Wolf, nicht aber mit Kojoten und Schakalen übereinstimmt (Peichl, 1992). Dies ist zum Beispiel am Bau der Reißzähne auf anatomischer Ebene, bei der Lautgebung auf Verhaltensebene und beim Serumeiweißbild auf biochemischer Ebene zu beobachten. So kommt als Stammform für den Hund, entgegen älterer Ansichten, allein der Grauwolf in Frage. Dieser ist in einer großen Anzahl teilweise recht unterschiedlicher geographischer Populationen von Europa über Asien, Nordamerika, bis nach Mittelamerika verbreitet.

Innerhalb dieses riesigen Gebiets ist die Evolution unterschiedliche Wege gegangen und zu unterschiedlichen Lösungen mit den Herausforderungen der hiesigen Umwelt gelangt. In groben Zügen lassen sich hoch entwickelte Nordwölfe von ursprünglich gebliebenen Südwölfen absetzen. Letzteren, nämlich die Wölfe der arabischen Halbinsel und Südasiens, dürfen als Restpopulationen einer evolutiven Alt-schicht des Wolfes mit relativ kleinem Gehirn und vergleichbar schwachen Reißzähnen angesehen werden. Die Nordwölfe in Europa, Nordasien und Amerika zeichnen sich demnach durch ihr größeres Gehirnvolumen und stärkeren Reißzähnen aus.

Ein Merkmalsvergleich von Primitivrassen des Haushundes mit diesen beiden Unterarten des Wolfes erlaubt nun, die Vorfahren des Hundes auf ganz bestimmte geographische Wolfspopulationen einzukreisen. Der Hund unterscheidet sich vom Wolf durch einige morphologische aber auch einer Reihe verhaltensbiologischer Merkmale. Die anatomischen Unterschiede zwischen Wolf und Hund liegen vor allem bei den Schädelmerkmalen. Während der Wolf einen Augenhöhlenwinkel von 40° aufweist, liegen die Augen des Hundes mit einem Winkel von 53-60° näher beieinander. Der Wolf hat somit ein deutlich größeres Sichtfeld als der Hund (HORMANN, 2013)

Ein weiterer Unterschied besteht im Volumen der Gehirnkapsel, die beim Grauwolf entschieden größer ist. Die Größe des vorderen Teiles des Unterkiefers und die Anordnung der Schneidezähne sind ebenso entscheidend: Beim Wolf ist dieser Teil des Unterkiefers verhältnismäßig schmal, seine Schneidezähne sind dicht zueinander angeordnet. Beim Hund hingegen ist der Unterkiefer verhältnismäßig breiter, da die Zähne in Abständen weiter zueinander angeordnet sind. Außerdem unterscheidet sich der Hund durch den über den Gelenksfortsatz liegenden Kronfortsatzes des Unterkiefers, an dem die Kaumuskulatur ansetzt: Bei den Wildcaniden ist der Fortsatz in der Regel breit und oben mehr oder minder gleichmäßig abgerundet. Bei den Hunden erscheint er meist schlanker und nach hinten gekrümmt (HEMMER, 1983).

Neben den anatomischen Vergleichen helfen vor allem Ergebnisse molekularer Untersuchungen bei der Erforschung der Genealogie der Caniden. Hierbei wird vor allem, wie im Abschnitt **1.3.3. Genealogie** näher ausgeführt, die mitochondriale DNA als Vergleichsbasis herangezogen.

Die ersten Vorfahren des Hundes sind von verschiedenen Gesichtspunkten her nur bei den Primitivwölfen Arabiens bis Südasiens zu suchen. Nordwölfe waren über Einkreuzungen stellenweise sekundär bei der Verbreitung des im Süden Eurasiens entstandenen Hundes nach Norden über Europa, Nordasien und Nordamerika beteiligt. Es ist auch nicht auszuschließen, dass es im Laufe der Jahrtausende vereinzelt durch Bastardierung mit den nahe verwandten Arten Goldschakal und Kojote zu weiteren genetischen Anreicherungen lokaler Hundepopulationen kam. Unter Gefangenschaft erbringen solche Kreuzungen fertile Nachkommen (HEMMER, 1983).

1.3.2 Evolution und Domestikation des Haushundes

Die natürliche Evolution beinhaltet die ständige selektive Anpassung der jeweiligen Überlebensfähigkeit unter den sich wandelnden Umweltbedingungen. In der Domestikation hingegen stellt der Mensch die entscheidende selektive Kraft, sodass die Haustierwerdung je nach Standpunkt außerhalb der natürlichen Evolution stehend oder als Spezialfall dieser Evolution betrachtet werden kann. Der evolutive Wechsel einer Art aus der natürlichen in die menschliche Umwelt führt zum Kommensalismus, wenn die aktive Rolle von der betreffenden Art selber ausgeht und dabei ihre Merkwelt anpassend verändert, aber nicht im stärkerem Ausmaß verarmt wird. Andererseits führt er bei der Domestikation zur Verarmung der Merkwelt, wenn der Mensch der selektionsaktive Teil ist (HEMMER, 1983).

Die Haustierwerdung hebt die Überlebensfähigkeit einer Art auf ein neues Niveau und lässt sie mit Hilfe des Menschen vorherige ökologische Ausbreitungsbarrieren leichter überwinden. Somit geht mit der Domestikation der Beginn einer eigenen und neuen Artbildung einher. Diese ist durch die Entstehung von neuen Verpaarungs- und Isolationsmechanismen gekennzeichnet. Die zeitliche und ökologische Isolation, die Vergesellschaftungsisolation und die strukturelle Isolation schränken vor allem die freie Durchmischung mit der wilden Stammart selbst dort ein, wo das Haustier verwildert neben ihr vorkommt.

In der Geschichte der Haustierwerdung ist die des Haushundes hervorzuheben. Der Hund (*Canis lupus familiaris*) gilt als das älteste Haustier des Menschen (Benecke, 1994). Archäologen konnten nachweisen, dass seine Domestikation schon vor mindestens 10.000 Jahren erfolgte (ASKEW, 1997). BENECKE (1994) definiert Domestikation als die Gesamtheit aller Handlungen, Abläufe und Veränderungen, die mit der Überführung von Wildtieren zu Haustieren in Verbindung stehen. Dieser Prozess erstreckt sich über viele Generationen. Den Anfängen der Wolfsdomestikation ging eine längere Phase von gelegentlichen Zähmungen voraus. Zähmungen lassen sich bis ins Jungpaläolithikum (ca. 40.000 – 13.000 v. Chr.) zurückverfolgen (Benecke, 1994). Die biologischen Ähnlichkeiten zwischen Wolf (*Canis lupus*) und Mensch waren ausschlaggebend für den Beginn des Domestikationsprozesses (ASKEW, 1997).

Zum vielschichtigen Prozess seiner Haustierwerdung existieren mehrere Theorien, jedoch ist für eine erfolgreich verlaufende Domestikation einer wildlebenden Tierart ihre Domestikabilität die wichtigste Voraussetzung (DRIESCH, 1989). Der Wolf (*Canis lupus*) erfüllte diese Voraussetzungen: er konnte mit den Menschen in engeren Kontakt treten, da er ein hochgradig geselliger Jäger ist, sich außergewöhnlich an die Umwelt anpasst und als Rudeltier sogar in der Gemeinschaft des Menschen leben kann. Zudem erkennt er eine soziale Rangordnung an und hält seine Höhle sauber (ASKEW, 1997; BARTOLOMAEUS, 1998). Besonders Welpen eigneten sich für die erste Annäherung und Zähmung. Der Mensch nutzte Eigenschaften des Wolfes wie Spürsinn, Wachsamkeit, Anhänglichkeit und Treue (SCHNEIDER – LEYER, 1960).

Eine andere Theorie besagt, dass der Wolf dem Menschen als Abfallvertilger diente und dabei zutraulicher wurde. Bei eintretender Nahrungsknappheit war er dann selbst leichte Beute des Menschen, was jedoch laut Bartolomaeus (1998) eher ein Ausnahmefall in Notzeiten war. Archäologische Befunde aber zeigen, dass z.B. in mesolithischen Küstenstationen im Baltikum oder in Siedlungen Mittelamerikas Haushunde in großem Umfang zur Fleischgewinnung genutzt wurden. So variiert auf Fundplätzen an der mexikanischen Ostküste im Zeitraum 300 v. Chr. – 300 n.Chr. der Anteil des Hundes am Fleischaufkommen der Siedlungen zwischen 11% und 53% (BENECKE, 1994). Domestikation konnte somit auch Folge einer gegenseitigen Ernährungsabhängigkeit sein (BARTOLOMAEUS, 1998).

Seit der Steinzeit ist der Hund Begleiter des Menschen. Primär diente er ihm als Wächter und Jagdhilfe. Daraus ergaben sich für den Menschen jedoch neue Aufgaben hinsichtlich der Fütterung, Pflege und Gesunderhaltung seines Haustieres. Unter den Bedingungen der Haustierhaltung sorgte der Mensch für Nahrung, für die Abwehr von Fressfeinden und für den Schutz der Jungen und Schwachen. Das verringerte die natürliche Auslese und förderte jene Eigenschaften, die für die Hund-Mensch Kooperation von besonderer Relevanz waren.

Die Menschen des Neolithikums (9.000 v. Chr.) bildeten zunehmend größere Gruppen. Sie wurden auf engerem Raum in familienähnlichen Verbänden sesshaft. Mit dem Anbau von Pflanzen und der Aufzucht von Tieren konnte der Mensch erfolgreich gegen den Hunger ankämpfen. Er war in der Lage, die Erträge auf einer gegebenen Fläche zu verzehn- bis zu ver Hundertfachen.

Laut RÖDER (1974) waren es wohl zwei Beweggründe, die den Menschen veranlasst haben, den nach und nach Wildtiere zu domestizieren. Einer war rein wirtschaftlicher Natur und diente der Sicherung des Eigentums. Doch schon sehr früh dürften soziale und moralische Beweggründe hinzugekommen sein. Die Pflege kranker Tiere hatten ursprünglich dieselben Mitglieder der Gemeinschaft zu erledigen, die auch mit der Versorgung der Haustiere betraut waren. In der Regel waren dies die Frauen. Sie wandten die gleichen Mittel und Methoden an, wie sie bei den Krankheiten der Menschen üblich waren. In einem Grab in Lake Baikal in Sibirien fand man die Überreste von Hunden, die ähnlich des Menschen aufgebahrt wurden (**Abb. 5**). Das lässt die Schlussfolgerung zu, dass der Menschen schon am Anfang der Domestikationsgeschichte dem Wolf/ Haushund eine Seele bzw. ein jenseitiges Leben zugesprochen hat. Nicht zuletzt spielen Hunde, wie auch andere Haustiere, in der Mythologie der ersten Zivilisationen eine wichtige Rolle. Der Hund spielt als Wächter der griechischen Unterwelt (Cerberus) oder auch als schakalähnlicher Seelenbegleiter der altägyptischen Toten (Anubis) eine zentrale Rolle in den Jenseitsvorstellungen der Antike.



Abb. 5 Überreste eines vor 7000 Jahren begraben Haushundes in einer menschlichen Siedlung in Lake Baikal, Sibirien. Das Haustier war nicht nur ein vollwertiges Mitglied der menschlichen Gemeinschaft, man fand mittels Isotopenuntersuchung heraus, dass der Haushund sich von der selben Nahrung wie die mitbegrabenen Menschen ernährte. (LOSLEY, 2011)

1.3.3 Genealogie

Der Haushund (*Canis lupus familiaris*) fällt vor allem durch die Mannigfaltigkeit an Größe, Form, Farbe und Beschaffenheit des Fells sowie seiner Verhaltensdiversität auf. Mit der Aufschlüsselung und Sequenzierung seines Genoms wurde ein großer Schritt in der Untersuchung der genetischen Basis für seine phänotypische Vielfalt getan. Somit ist der Hund- aufgrund dieser phänotypischen Vielfalt- ein wichtiger Modellorganismus. Das betrifft vor allem auch humanbiologische Studien, da sich die Krankheitsbilder bei genetischen Erkrankungen bei Hund und Mensch sehr ähneln.

Die Familie der Hunde (*Canidae*) umfasst 35 Arten, die eine starke phänotypische Vielfalt aufweisen. Phylogenetische Studien ergaben dennoch eine nähere Verwandtschaft zwischen vielen phänotypisch unterschiedlichen Taxa (**Abb. 6**) wie zum Beispiel dem Kitfuchs (*Vulpes velox*) und dem Polarfuch (*Alopex lagopus*) wie auch zwischen dem Haushund und dem Grauwolf (*Canis lupus*).



Abb. 6 Vertreter der Familie der Canidae.

Trotz phänotypischer Vielfalt sind diese Taxa eng miteinander verwandt. Von links nach rechts: Grauwolf (*Canis lupus*), Haushund (*Canis lupus familiaris*), Polarfuchs (*Alopex lagopus*) und Kitfuchs (*Vulpes velox*).

Die Aufspaltung in modernen Caniden ist relativ jung, wenn man bedenkt, dass der Ursprung der Familie 50 Millionen Jahre zurückliegt. Der letzte gemeinsame Vorfahre in der Familie der Hunde kann dank molekularer Untersuchungen noch auf 10 Millionen Jahren rückdatiert werden. Danach zweigt sich die Familie in drei Hauptäste auf: fuchsartige Caniden, wolfartige Caniden und Caniden aus dem Südamerikanischen Kontinent. (LINDBLAD-TOH, 2005)

Der Ursprung der wolfartigen bzw. hundeartigen Caniden lässt sich auf 6 Millionen Jahre zurückführen. Der Grauwolf, der Kojote und der Schakal, welche alle am nächsten mit dem Haushund verwandt sind (**Abb. 7**), haben noch vor 3-4 Millionen Jahren einen gemeinsamen Urahn. Infolgedessen ist die phylogenetische Verzweigung viel rezenter als etwa diese von Mensch und Schimpanse (über sechs Millionen Jahre).

Die weitere Evolution des Haushundes, Rückkreuzung sowie geographische Zuordnung sind Gegenstand vieler Diskussionen. Dazu versucht man sich vermehrt auf molekulare Analysen zu stützen. Hierbei wird die mitochondriale DNA (mtDNA) herangezogen.

Phylogenetische Studien an der mtDNA ergaben, dass die Domestikation des Haushundes nicht einmal, sondern weitaus öfters und an unterschiedlichen Orten erfolgte, wobei Rückkreuzungen nicht zu vergessen sind. Infolgedessen lässt sich der genaue Ausgangspunkt nicht rückdatieren, stattdessen spricht man von einem Zeitraum zwischen den letzten 100.000 und 15.000 Jahren.

Bei Hunderassen aus Ostasien findet man bei Untersuchungen der mtDNA eine höhere genetische Vielfalt. Das lässt darauf schließen, dass Ostasien mit großer Wahrscheinlichkeit Ursprung und Zentrum der Domestikation war. Von hier aus haben sich die Haushunde über die ganze Welt verbreitet. Im Zuge dieser Expansion kam es auch zur Reduktion der genetischen Vielfalt, was ebenso an der mtDNA ablesbar ist. Nun muss beachtet werden, dass man anhand von Analysen der mtDNA nur begrenzt Aussagen treffen kann: schließlich dient nur das mitochondriale Genom als Untersuchungsbasis. Dieses ist aber weniger starkem Selektionsdruck der Evolution ausgesetzt und erlaubt somit höhere Vielfalt.

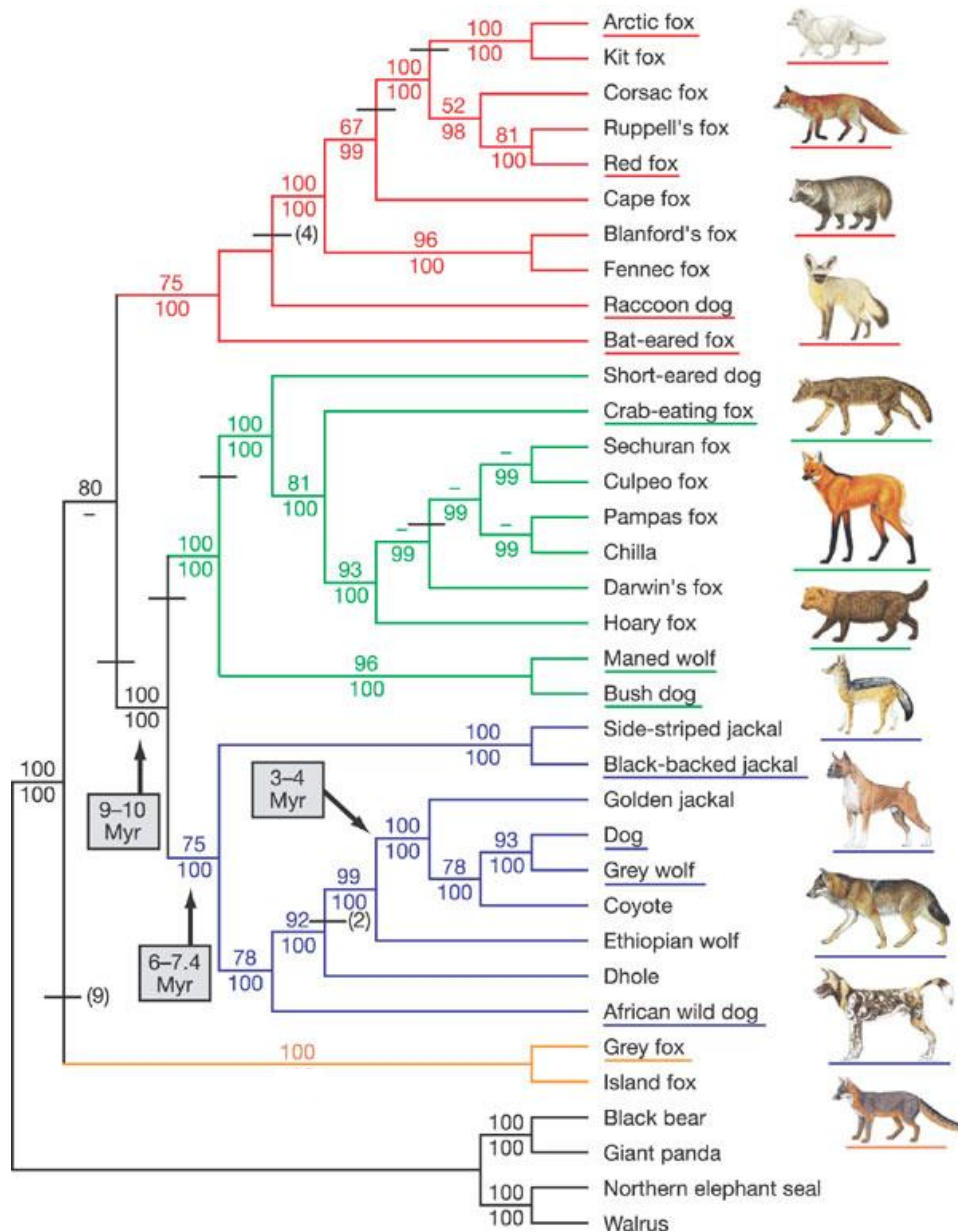


Abb. 7 Molekulare Phylogenie der Caniden.

Der Haushund gehört zusammen mit dem Grauwolf, dem Kojoten und den Schakalen zu dem wolfartigen Ast der Familie der Caniden. (LINDBLAD-TOH, 2005)

Infolgedessen wird auch eine Vielzahl nuklearer Loci herangezogen um die genetische Vielfalt und das damit verbundene evolutionäre Muster zu dokumentieren. Ein wichtiger Genlocus ist das MHC (Major Histocompatibility Complex, kodieren Proteine für Immunerkennung und Gewebeverträglichkeit). Diese Gene weisen eine sehr niedrige Mutationsrate auf. Somit spiegelt ihre Variabilität die Phylogenie des Haushundes, sowie Rückkreuzungen mit Wolf, besser wider.

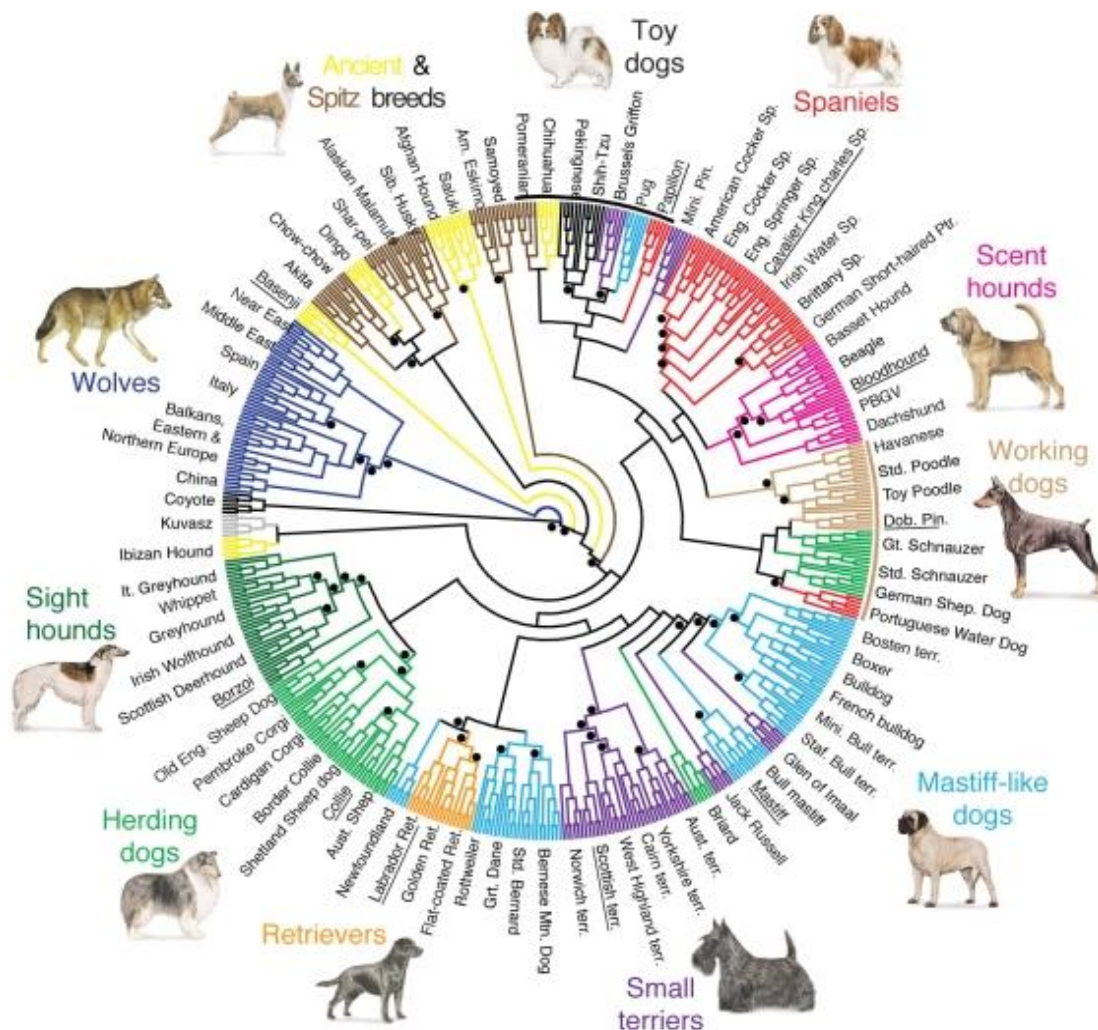
Eine andere Herangehensweise ist die Untersuchung des Y-Chromosoms. Dies bietet einen besonderen Einblick in die geschlechtstypischen Muster der Evolution des Haushundes. Obgleich die Variabilität zwischen den Rassen relativ hoch ist, zeigt das Y-Chromosom eine weniger starke Divergenz. In einer Studie von BANASCH, D.L. im Jahre 2005 wurden 824 Haushunde aus 50 verschiedenen, eingetragenen Rassen untersucht: dabei wurden nur 67 unterschiedliche haploider Genotypen entdeckt.

Drei afrikanische Rassen und der Norwegische Elchhund teilten keine Haplotypen mit anderen Rassen. Dies könnte auf Isolation in ihrer Phylogenie hinweisen. Außerdem deuten weitere Untersuchungen des Y-Chromosoms darauf hin, dass diese drei afrikanischen Rassen zu den ältesten der Haushunde gehören.

Die Aufspaltung und Evolution der Mehrheit der heutigen Hunderassen ist ein relativ modernes Phänomen, das seinen Anfang in der Viktorianischen Zeit nahm. Nichtsdestotrotz sind es ebendiese Rassen, die eine unglaubliche Vielfalt in Aussehen, Körperform, Fellfarbe und Schwanzlänge zeigen. Diese Vielfalt zeigt sich auch im Verhalten der Tiere.

1.3.4 Rasseneinteilung

Die Rasseneinteilung für Hundeausstellungen ist von Land zu Land etwas verschieden. In Nordamerika zum Beispiel werden Toy Hunde der Einfachheit halber in Gebrauchs- und Nichtgebrauchsklassen eingeteilt. Daneben existieren international aber auch beträchtliche Unterschiede in der Anerkennung von neuen Rassen, und in einigen Fällen selbst beim Standard von Rassen. Eine kynologische Systematik der Hunderassen wird unter anderem von der Fédération Cynologique Internationale (FCI) gepflegt, die derzeit 339 Rassen anerkennt (Stand: März 2008) einschließlich sogenannter vorläufig angenommener Rassen. In **Abb. 8** sind einige dieser Rassen sowie deren Phylogenie abgebildet.



Gemais des Komediments des russischen Kennelclubs, dem ältesten kynologischen Institut
Abb. 8 Phylogenie des Grauwolfes (*Canis lupus*) und der verschiedenen Rassen des Haushundes (*Canis lupus familiaris*) (POLLINGER, 2009)

- a. Windhunde**
- b. Mastiffhunde**
- c. Zwerghunde (und Terrier)**
- d. Hütehunde**
- e. Arbeitshunde**
- f. Vorstehhunde**

a. Windhunde

Windhunde können ihre Ahnenreihe bis in die frühesten Tage der Hundedomestikation zurückführen. Da sich diese Tiere vermehrt auf Friedhöfen befanden, beteten schon die alten Ägypter den schakalähnlichen Hund Anubis als Gott der Nachwelt an.

Während die älteren Rassen dazu neigen, sowohl mit den Augen wie mit der Nase –ähnlich dem Wolf- zu jagen, gab es mit der Zuchtgeschichte eine zunehmende Spezialisierung. Windhunde werden im englischen Sprachraum *Sighthound* (Sicht-hund) genannt, schließlich verlassen sich diese bei der Jagd zunehmend auf ihre visuelle Wahrnehmung. Der Geruchssinn wird für diese sichtjagenden Hunde relativ unwichtig. Ihre Nasenkammern sind schmal und geben dem Schädel das typische dolichocephale Aussehen. Anders als viele andere Hunderassen sind Windhunde eher Einzelgänger.

b. Mastiffhunde

Der historische Mastiff ist der Vorfahre vieler heutiger Hunderassen, wie der Deutschen Dogge, des Boxers oder des Bulldoggen. Als „Mastiff“ oder „englischen Mastiff“ wurden in der Vergangenheit massige Hunde aus Britannien bezeichnet. Diese breitmäuligen Hunde mit faltiger Stirn waren schon den Römern bekannt.

Die genaue Herkunft dieses Hundetyps lässt sich nicht ergründen: Von vielen, vor allem älteren Autoren wird als Stammvater die Tibetdogge oder Tibetmastiff ange-

nommen (BECKMANN, 1894), andere sehen in dem alten englischen Mastiff eine autochthone Originalrasse (STUDER, 1901), oder halten eine Kreuzung von Tibethunden mit Britannierhunden für möglich. (ALBRECHT 1903).

Nach einer anderen Theorie ist der historische Mastiff ein Abkömmling des Molossers aus Makedonien und Epirus, der mit Handelsschiffen aus Tyros und Sidon nach England kam. Der Molosser ist nach dem antiken Hirtenvolk auf der Balkanhalbinsel benannt.

Als Namensherkunft steht das niederdeutsche Mast-teve (schwerer, plumper Hund) und das lateinische mixtivus (Mischling) neben anderen als am wahrscheinlichsten zur Wahl.

Erste eindeutige Überlieferungen, dass Mastiffhunde als Kriegshunde verwendet und gezüchtet wurden, stammen aus dem Spätmittelalter. Diese Hunde wurden bald sehr erfolgreich als Jagd-, Kriegs- und Wachhunde eingesetzt.

Stärke und Ausdauer in Verbindung mit seinem Körperbau begründeten die gute Eignung des Mastiffs bei der Hatz auf Bären, Stiere und vor allem auf Wildschweine. Der Beginn der Reinzucht begann 1820, nach anderen Quelle 1835, in England

Der Schädel ist breit, die Stirn ist eben, aber mit Falten versehen. Die Lefzen sind in stumpfem Winkel von der Nasenscheidewand ausgehend, leicht hängend, so dass ein quadratisches Profil entsteht. Die Ohren hängen und sind am höchsten Punkt zu beiden Seiten des Schädels angesetzt.

Der Mastiff gehört zu den Hunderassen mit einer sehr hohen Reizschwelle. Er reagiert auf Reize, die andere Hunde schon zur Aggression veranlassen können, ohne Aufregung. Deshalb eignet er sich genauso als Familienhund. In seinem Ursprungsland England wird er ebenso als Wächter großer Anwesen gehalten.

c. Zwerghunde und Terrier

Beide Gruppen sind eher kleine Rassen, die aber Unterschiede im Verhalten aufweisen. Während Terrier zähe Tiere sind, kennzeichnen sich viele Zwerghunde durch ihre Fügsamkeit und Anhänglichkeit. Eine Großzahl der Terrier stammt aus England, Zwergrassen hingegen haben eine mannigfaltige Herkunft.

Schon im Mittelalter wurden Zwergrassen gezielt als Begleiter von Hofdamen gezüchtet. Sie zeichneten sich schon damals nicht nur durch ihre kleine Größe sondern auch durch eine bessere Anpassung an menschliche Gesellschaft an.

Auffallend ist vor allem der Schädelbau. Die Schädeldecke ist nämlich nicht ganz ausgeformt, sodass man eine Öffnung, die Fontanelle, unter der Kopfhaut fühlen kann. Dies könnte auf Pädormorphismus hindeuten. Die Schnauze ist bei den meisten Formen verkürzt, sodass Zwerghunde im Allgemeinen zu den brachycephalen Rassen gezählt werden. Dies hat auch Auswirkungen auf die Sinnesphysiologie des Tieres: dadurch dass sich die Reduktion der Schnauzenlänge auch auf die Reduktion der Riechschleimhaut auswirkt, ist die Riechleistung nicht mit einem mesozephalen Hund vergleichbar.

d. Hütehunde

Der Gebrauch von Hunden zum Schutz der Herden vor Raubtieren ist eine alte Tradition. Sie reicht bis zum Beginn der landwirtschaftlichen Tätigkeit zurück. Hüte- und Herdehunde lassen sich in zwei Gruppen einteilen. Die größeren Rassen waren vorab die Beschützer der Herden. Sie arbeiten oft mit kleineren Hunden zusammen, die zur Kontrolle der Herdetiere verantwortlich sind.

Die eigentlichen Hütehunde wurden hauptsächlich für die Arbeit mit Schafen und Ziegen gezüchtet. In Europa entstanden eine große Anzahl solcher Rassen unabhängig voneinander, und weisen daher unterschiedliche äußere Merkmale auf. Ein Merkmal, das sie jedoch meist gemeinsam haben, ist ihr wasserabstoßendes Fell, da sie bei Wind und Wetter im Freien arbeiten müssen.

Hütehunde müssen im Zuge ihrer Aufgabe als Beschützer der Herde große, weite Ebenen überblicken können. Sie gehören in den meisten Fällen der mesozephalen Gruppe der Haushunde an.

e. Arbeits- und Gebrauchshunde

Arbeitshunde sind eine vielfältige Hundegruppe. Es handelt sich dabei um Rassen mit verschiedenen Vorgeschichten. Nicht zuletzt deswegen, weil sie zu unterschiedlichen Zwecken gezüchtet worden sind.

Als Arbeitshund wird ein Hund bezeichnet, der regelmäßig für eine bestimmte Aufgabe eingesetzt wird wie beispielsweise ein Drogenspürhund oder Blindenhund. Im weiteren Sinne werden so umgangssprachlich alle Hunderassen bezeichnet, bei deren Zuchtkriterien der Verwendungszweck eine große Rolle spielt. Dies trifft beispielsweise auf viele Jagdhundrassen zu. Die Begriffe Arbeitshund und Gebrauchshund werden je nach Auffassung parallel gebraucht.

Arbeitshund im Sinne der FCI sind alle Hunde, die zu Rassen gehören, für die eine Arbeitsprüfung vorgesehen ist. Das wird im jeweiligen Rassestandard festgehalten. Es gibt verschiedene Arbeitsprüfungen beispielsweise Gebrauchshundeprüfung, Rettungshundeprüfung und Jagdhundeprüfung.

f. Vorstehhunde

Vorstehhunde werden auch Stöber- oder Apportierhunde bezeichnet und unter dem Namen „Gundogs“ zusammengefasst. Als Vorstehhunde werden alle Hunderassen bezeichnet, die als Jagdhunde die Eigenschaft des Vorstehens ausgeprägt vorweisen. Der vorstehende Hund zeigt dem Jäger, dass er Wild gefunden hat. Grundsätzlich ist die Fähigkeit zum Vorstehen angeboren, kann aber in der Ausbildung des Vorstehhundes gefördert werden.

Allen diesen Hunden ist eigen, dass sie dem Jäger entdecktes Wild durch Vorstehen anzeigen. Dabei verharren sie beispielsweise lautlos in ihrer Bewegung und heben meist gleichzeitig einen Vorderlauf, selten einen Hinterlauf, und winkeln diesen an. Der Jäger kann sich dann zur Schussabgabe vorbereiten. Er muss das vom Hund gefundene Wild aber selbst erlegen und hervorbringen. Vorstehhunde sind auf diese spezielle Fähigkeit abgerichtet. Sie sind nicht dafür vorgesehen, die Beute selbst zu erjagen.

In England begann sich die sportliche Art des Vogeljagens auf Geflügel mit Settern zu entwickeln, die sich beim Anzeigen des Wildes niederlegen. Pointer stehen dagegen idealerweise wie ein Pfeil in Richtung Beute. Sie weisen mit ihrer Nasenspitze exakt in Richtung Geruchsquelle, insbesondere wenn kein Sichtkontakt besteht.

1.3.5 Auswirkung der Domestikation

Die Domestikation ist nicht spurlos am Hund vorbeigegangen. Skelettprobleme sind bei Hunden weitaus häufiger als bei Wölfen. In der Wildnis hindert der Druck der natürlichen Auslese Wölfe mit Erbfehlern daran auf die gesamte Erbmasse bedeutenden Einfluss zu nehmen. Durch ihren Defekt erhalten sie unweigerlich einen niedrigen Sozialstatus und kommen dadurch kaum dazu, sich innerhalb des Rudels zu paaren. Solche Beschränkungen gibt es bei den Haushunden nicht, und es ist nicht ungewöhnlich, mit relativ nah verwandten Tieren zu züchten, um erwünschte Rassemerkmale zu erhalten oder gar zu verstärken. Dabei besteht natürlich das Risiko auch Effekte schädlicher Gene zu fördern.

Dies ist besonders deutlich beim Dackel zu sehen: verglichen mit seinem Vorfahren, dem Grauwolf, hat der Dackel drastisch verkürzte Beine. Sämtliche andere Körperteile, wie bei **Abb. 9** sichtbar, sind unverändert. Somit sind Dackel kurzläufig mit einem langen Körper, was bei ihnen eine funktionelle Bedeutung hat. Es befähigt sie ohne Schwierigkeiten in Fuchs- oder Dachsbauten einzudringen, um deren Bewohner dem Jäger aus ihren Behausungen zu sprengen. Solches wäre für einen Jagdhund bei gleicher Körperlänge nicht möglich. Auch Krallen und Zehen sind von dieser Entwicklung betroffen.

Dackel tendieren zu einer besonderen Form des Bandscheibenvorfalls, welche als Dackellähme bezeichnet wird. Dies führt dazu, dass Spinalnerven von Wirbeln eingeklemmt werden. Das Tier kann daraufhin Körperteile, in der Regel die Hinterläufe, nicht mehr ausreichend koordinieren.

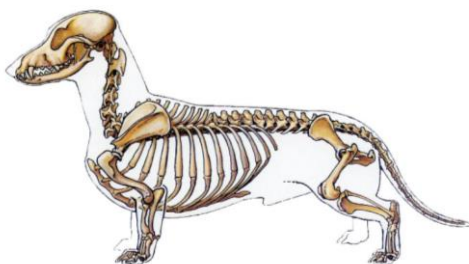


Abb. 9 Skelett des Dachshund

Die Anforderung der Zucht führte beim Dachshund zu drastisch verkürzten Beinen.

(HAAB, 2001)

2.1 Immunhistochemie

Die Immunhistochemie ist eine spezielle Technik, mit deren Hilfe ganz bestimmte körpereigene oder körperfremde Eiweißstoffe an der Zelloberfläche, in der Zelle und im Zellkern nachgewiesen werden können. Dazu werden Antikörper eingesetzt, um diese Proteine, Antigene genannt, sichtbar zu machen. Für Antikörperfärbungen wird fixiertes Gewebe verwendet. Dies kann entweder aus vollständigen Tieren oder aus Gewebeschnitten bestehen. In der Pathologie und vor allem in der medizinischen Histologie dient die Immunhistochemie in der Regel der Identifikation und Klassifizierung von Tumorzellen, die bestimmte Antigene exprimieren.

Im Rahmen dieser Arbeit wird diese Methode an Wholemounts (Ganzpräparaten) der Retina von Caniden praktiziert. Das Ziel ist es, Photorezeptoren in der Netzhaut mit Hilfe der Immunhistochemie spezifisch zu markieren, um anschließend deren Dichte und Verteilung zu erfassen. Dazu wurde die Retina aus verschiedenen wilden und domestizierten Caniden verwendet.

2.1.1 Sektion

Die untersuchten Augen werden direkt nach dem Tod der Versuchstiere aus den Augenhöhlen entnommen und in 4% Paraformaldehyd in 0,1M Phosphatpuffer (PBS) fixiert. Im Zuge der Präparation werden die Bulbi in 0,1M PBS überführt und von jeglichen anliegenden Bindegewebe bzw. Resten der Muskulatur befreit. Anschließend wird der Augendurchmesser mittels Schiebelehre ermittelt. Nun wird der Bulbus entlang des Außenrandes der Cornea kreisrund aufgeschnitten, um danach die Cornea und die Linse entfernen zu können. In **Abb. 11** ist ein eröffneter Bulbus zu sehen. Mit Hilfe der Augenmuskeln bzw. der Sehnen, die noch sichtbar sind, kann die superior-inferior Ausrichtung festgelegt werden. Eine Medianlinie, wie in **Abb. 10**, ist immer an der Sclera sichtbar und erleichtert damit die Orientierung.

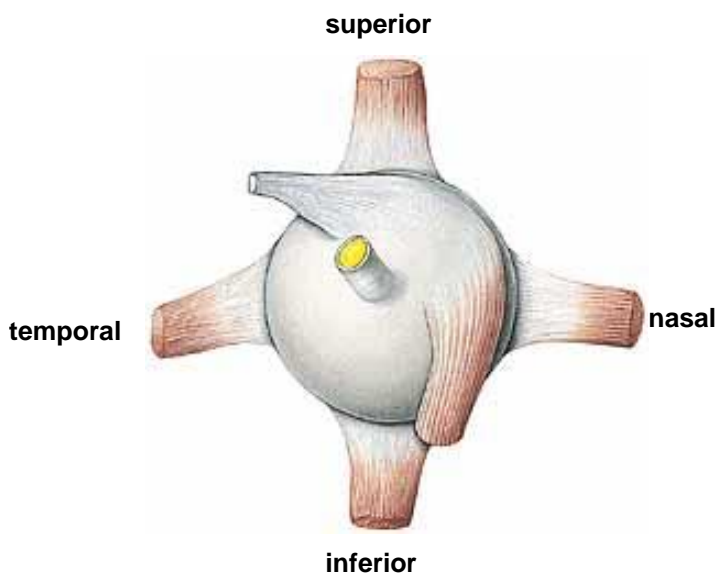


Abb. 10 Dorsale Ansicht des Bulbus und der Augenmuskeln

Mittels Sehnen und Augenmuskeln kann basierend auf die Ausrichtung der Mediane die Orientierung superior-Inferior und lateral-temporal festgelegt werden (PUTZ, 2000)

In der Regel wird nun die Sclera mit anliegender Choroidea und Retina inferior markant eingeschnitten. Anschließend trennt man die Choroidea von der Sclera, um hinterher auch die anliegende Retina vorsichtig von der Choroidea zu lösen. Besonders vorsichtig muss beim Arbeiten rund um den N. opticus vorgegangen werden, da sich Lederhaut und Aderhaut schwer von der Retina lösen und im schlimmsten Fall tiefe Einschnitte hinterlassen können und die Retina unbrauchbar für den weiteren immunhistochemischen Prozess machen.

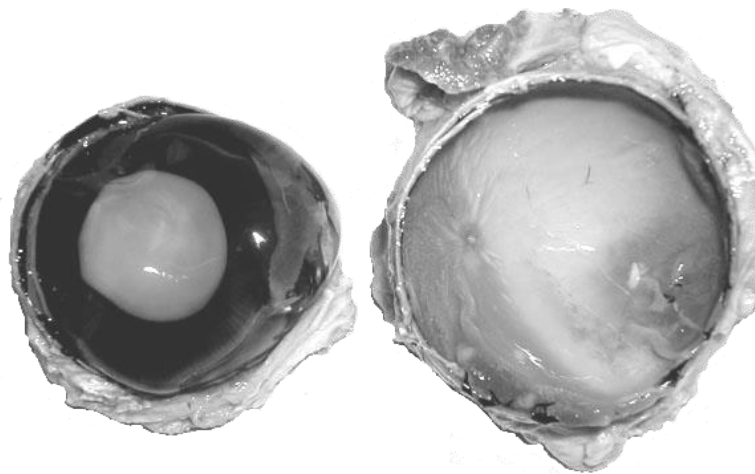


Abb. 11 Sektion eines Auges

Linse und Reste der Aderhaut liegen neben dem restlichen, eröffneten Auge. Rechts: Einblick in den geöffneten Bulbus, wobei Retina und Zonierung der Chorioidea (pigmentiert und tapetal) erkennbar sind.

Die nun herauspräparierte Retina wird nochmal wie in **Abb. 12** in der Peripherie angeschnitten. Die ursprünglich sphärische Netzhaut kann nun flach ausgebreitet werden. Das ist notwendig, um die Retina von den Resten des Glaskörpers zu befreien und vorsichtig zu säubern. Abschließend wird die Retina in 0,1M PBS gewaschen, sodass keinerlei Fixativreste im Gewebe zurückbleiben. Die Orientierung kann nun mit Hilfe der Blutgefäße, die durch die Nervenfaserschicht der Retina verlaufen, nochmals überprüft werden.

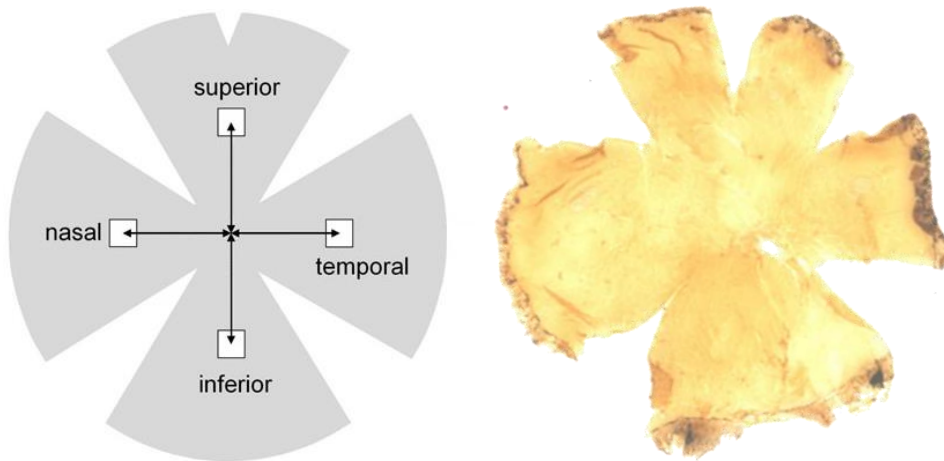


Abb. 12 In der Peripherie angeschnittene Retina eines Vertreters des Haushundes.

2.1.2 Prinzip der Immunhistochemie

Retinale Neuronen tragen, wie jede andere Körperzelle auch, spezifische Strukturen an der Membranoberfläche und im Zellplasma. Diese Epitope nennt man Antigene, manche sind nicht nur für einen bestimmten retinalen Zelltyp spezifisch, sondern können auch durch bestimmte Antikörper detektiert werden. Somit beruht der Nachweis auf der Affinität der Antikörper zu einer bestimmten Gewebeeigenschaft (Epitop) als Antigen-Antikörper-Reaktion. Im Idealfall kommt es zu einer spezifischen und starken Bindung zwischen Antikörper und Epitop. Der Antikörper ist mit einem Detektionssystem gekoppelt, das sein Vorhandensein im Präparat sichtbar macht.

Bei Antikörperfärbungen unterscheidet man drei Reaktionsmuster. Je nach Lokalisation des betroffenen Antigens spricht man entweder von zytoplasmatischer, nukleärer oder membranständiger Färbung.

Im Rahmen dieser Arbeit werden Antikörper eingesetzt, die retinale Neuronen, konkret Photorezeptoren, markieren, da sie ihren Neurotransmittern oder den von ihnen synthetisierten Proteinen entsprechen. Der Antikörper, der gegen das zu findende Epitop gerichtet ist, wird als Primärantikörper bezeichnet. Der primäre Antikörper bindet nun mit der Bindungsdomäne an die für ihn spezifischen Bindungsstellen (Antigene).

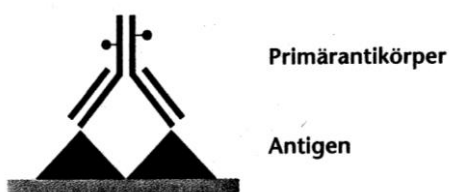


Abb. 13 Direkte Methode

Bei der direkten Methode ist der primäre Antikörper direkt mit dem Enzym konjugiert, das unter Bildung eines Farbstoffes mit dem Chromogen reagiert.

(NOLL, 2000)

Sollte der primäre Antikörper (**Abb. 13**) direkt mit dem Enzym konjugiert sein, das unter Bildung eines Farbstoffes mit dem Chromogen reagiert, spricht man von der direkten Methode. Das zu untersuchende Antigen wird unter definierten Bedingungen mit einem spezifischen Antikörper zusammengebracht, der direkt mit einem Enzym konjugiert ist. Der Antikörper (und somit das Enzym) bindet an das Antigen, nicht gebundener Antikörper wird abgespült. Dem Enzym wird in einem weiteren Schritt ein

Substrat angeboten, das unter Bildung eines Farbstoffs mit dem Enzym reagiert. Dieser Farbstoff bildet sich dort, wo die immunchemische Reaktion stattgefunden hat und ist sichtbar.

Für eine höhere Sensitivität und einer Signalverstärkung ist es sinnvoll die indirekte Methode zu wählen: dabei wird zwischen dem Markerenzym und dem primären Antikörper, der nun unkonjugiert ist, ein weiterer Antikörper eingeschoben. Dieser sekundäre Antikörper ist spezifisch gegen die Tierspezies des Primärantikörpers gerichtet und ist mit dem Markerenzym konjugiert. Primärantikörper sind bivalente Moleküle und haben, wie alle Antikörper auch, zwei Bindungsdomänen: eine davon ist mit dem Antigen der Rezeptorzelle verbunden, die verbleibende bietet eine Bindungsstelle für das sekundäre Antigen. In einem Mehrschrittverfahren werden nun die einzelnen Komponenten des Detektionssystems dem Präparat zugeführt.

2.1.3 Antikörper

Ursprünglich sind Antikörper Abwehrstoffe, die von B-Lymphozyten und Plasmazellen als Reaktion auf das Eindringen von körperfremden Antigenen gebildet werden. Dabei handelt es sich um Eiweißkörper, die zur Immunglobulinfraktion gehören. Sie besitzen die Fähigkeit, eine spezifische Bindung mit einem Antigen einzugehen, zirkulieren in freier Form oder in Immunkomplexen gebunden im Blut und gehören so zur spezifischen, körpereigenen Abwehr des Organismus.

In der Immunelektrophorese unterscheidet man folgende Immunglobulinklassen: IgG, M, A, D und E.

Beim Immunglobulin G (IgG) handelt es sich um folgende Struktur:

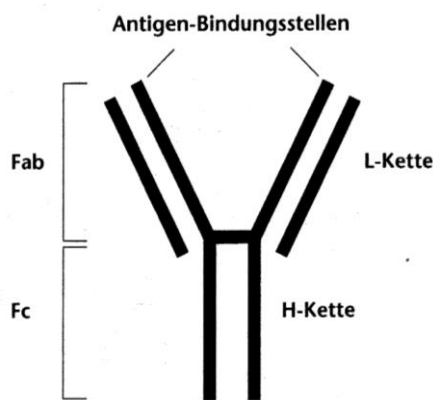


Abb. 14 Struktur des Antikörpers

Antikörper sind Immunglobuline bestehend aus zwei schweren Ketten (H) und zwei identischen leichten Ketten (L), die durch kovalente Disulfidbrücken zu einer Ypsilonförmigen Struktur miteinander verknüpft sind.

(NOLL, 2000)

Der Antikörper besteht aus Glykoproteinen mit zwei langen bzw. schweren H-Ketten („H“ für engl. heavy) und zwei kurzen, leichten L-Ketten („L“ für engl. light). Diese Polypeptidketten sind über Disulfidbrücken miteinander verbunden. Bei Antikörpern unterscheidet man zwei Abschnitte: die beiden *Fab*-Stücke (*ab*= antigenbindend) und das *Fc* Stück (*c*=konstant). Am Ende des *Fab*-Stückes befinden sich die spezifischen, vom jeweiligen Antigen abhängigen Bindungsregionen. Die B- bzw. Plasmazellen produzieren diese Region also „maßgeschneidert“ zum Antigen. Dies ist somit die variable Region des Antikörpers. Ein Antikörper der Ig-Klasse G besitzt zwei variable *Fab*-Regionen. Der nahezu konstante Teil eines Antikörpers ist das *Fc*-

Stück. Hier wird lediglich zwischen den einzelnen Ig-Klassen unterschieden, das heißt hier unterscheidet man zum Beispiel IgG von IgM.

Der Antikörper, der gegen das zu findende Epitop gerichtet ist, wird als Primärantikörper bezeichnet. Dieser Antikörper sollte sich durch hohe Spezifität und Affinität auszeichnen und keine Kreuzreaktionen mit ähnlichen Epitopen zeigen. In einem Mehrschrittverfahren werden die einzelnen Komponenten des Detektionssystems dem Präparat zugeführt.

Bei den im Rahmen dieser Arbeit eingesetzten Antikörpern handelt es sich um IgG-Antikörper. In der Immunhistochemie werden Antiseren und monoklonale Antikörper verwendet. Seren erhält man durch Immunisierung eines Tieres. Das Serum ist im einfachsten Fall eine Blutprobe ohne zelluläre Anteile. Monoklonale Antikörper werden in der Zellkultur aus Hybridomzellen gewonnen. Diese Zellen vereinen die Wachstumseigenschaften von Tumorzellen und die Spezifität von antikörperbildenden Zellen, die nur einen ganz spezifischen Antikörper bilden.

Seren enthalten ein ganzes Spektrum von Antikörpern, von denen die Mehrzahl gegen das Antigen gerichtet ist, mit dem immunisiert worden ist. Wenn das Antigen verschiedene Epitope aufweist, können verschiedene Antikörper gegen das gleiche Antigen gerichtet sein. Monoklonale Antikörper bestehen aus einer ganz spezifischen Form von Antikörpern. Alle sind genau gleich. Die Konzentration der Antikörper, der Titer, ist jedoch normalerweise wesentlich niedriger als beim Serum.

Für ein heterologes Immuserum werden Tiere - häufig Pferde, Schafe oder Kaninchen - mit dem jeweiligen Antigen geimpft. Ein Antigen ist hier ein körperfremdes Protein, beispielsweise ein Krankheitserreger oder ein Teil von diesem, oder ein Protein, welches das Immunsystem als potentiellen Feindkörper erkennt und bekämpft. Dazu zählen auch Photopigmente, was die Grundlage für die histochemische Färbung der Retina ist. Im Rahmen dieser Immunantwort werden spezifische Antikörper gegen diesen körperfremden Stoff gebildet. Diese Immunisierung wird mehrfach wiederholt, um die Konzentration der spezifischen Antikörper zu erhöhen

2.1.4 Immunhistochemische Färbung von Wholemoutpräparaten

Die Antigen-Antikörper-Reaktion ist abhängig von Temperatur, Konzentration, Inkubationszeit, Agitation und dem optimalen Reaktionsmilieu (pH-Wert, Salzkonzentrationen). Das Ergebnis ist auch beeinflussbar durch Fixierungsart, Fixierungsdauer, Einbettungsmethoden und Vorbehandlungsmethoden der Präparate. Deshalb wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Standardisierung der Testdurchführung angestrebt.

Nach den oben genannten Sektionschritten und der Säuberung der nun freipräparierten Retina, die in 0,1M PBS vorliegt, wird diese in den Primärer Antikörper überführt. Dabei handelt es sich um JH 492 (rabbit antiserum) für die Markierung von lang- und mittelwellige Rezeptoren, dieser wird in einer Verdünnung von 1:50.000 in 3% NGS (normal goat serum der Firma Sigma), 0,5% Triton X (Firma Merck), 0,01 % Na-Azid (Firma Merck) und PBS gemischt. Für die Markierung kurzweiliger Photorezeptoren wird auf JH 455 zurückgegriffen. Das Triton X dient dabei als Detergens mit antibakterieller Wirkung. Nach einer Inkubationszeit von maximal drei Tagen im Kühlschrank (bei 4°C) wird der primäre Antikörper abpipettiert und die Retina mit 0,5% Triton X und 0,01% Na-Azid versehenem 0,1M PBS bei Raumtemperatur auf dem Schüttler mindestens 150 Minuten gewaschen.

Anschließend wird das Präparat in den Sekundären Antikörper überführt. Dabei handelt es sich um einen „anti-rabbit-IgG-Biotin“ (Firma Vector), der in diesem Fall in einer Verdünnung von 1:300 in 3% NGS (Firma Sigma), 0,5% Triton X (Firma Merck), 0,01 % Na-Azid (Firma Merck) und PBS verwendet. Auch hier beträgt die Inkubationszeit bei 4°C mindestens 24 Stunden.

Nach der Inkubation im Sekundären Antikörper (biotinierter Goat Anti Rabbit IgG) wird die Retina wieder für mindestens 120 Minuten in einem mit 0,5% Triton X versehenen 0,1M PBS mehrmals bei Raumtemperatur und Schüttler gewaschen.

Für die Visualisierung der nun markierten Zellen greift man auf das Chromogen DAB (3,3 Diaminobenzidin) zurück. Das chemische Prinzip der Visualisierung der markierten Retinazellen mit DAB beruht auf dem Effekt, dass DAB in einer von der Peroxidase (H_2O_2) katalysierten Reaktion zu einem Braunem Farbstoff präzipitiert, wodurch die gewünschten Zellen eine Braunfärbung erfahren.

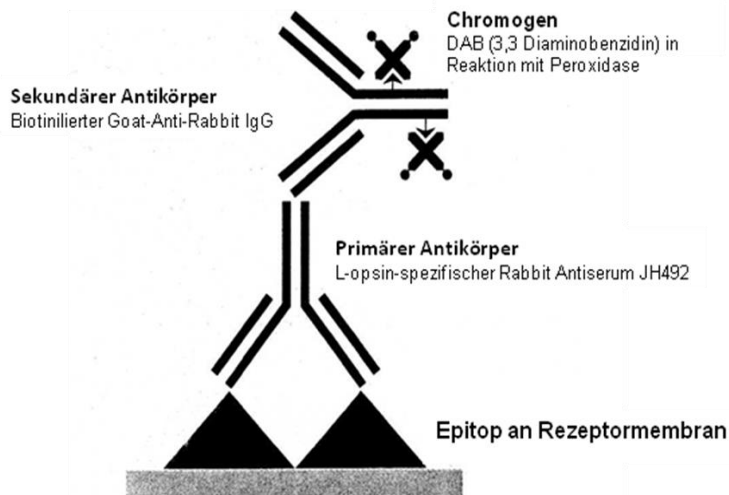


Abb. 15 Immunhistochemischen Färbung

Als Primärantikörper wurde das L-opsin-spezifischer Rabbit Antiserum JH492 verwendet. Als sekundären Antikörper wurde das biotinierte Goat-Anti-Rabbit IgG verwendet. Das Chromogen bildet das DAB, das in Reaktion mit der Peroxidase eine Braunfärbung ergab.

(NOLL, 2000)

Dabei wird die Retina, nachdem sie vom nichtgebundenen biotinierten sekundären Antikörper ausgewaschen wird, in eine 1:200 verdünnten Extravidinperoxidase-Lösung (Verdünnung erfolgt in mit 0,05% Triton X versehenem 0,1 M PBS) für 2 Stunden bei Raumtemperatur inkubiert und anschließend mit 0,5% Triton X versehenem 0,1 M PBS mindestens zwei Stunden lang unter ständigem Schütteln gewaschen.

Die Retina wird dann für 15 Minuten in einer 1:40 in 0,1M PBS verdünnten 0,6% DAB-Lösung vorinkubiert. Diese DAB-Lösung wird anschließend abpipettiert und es

wird eine 1:200 verdünnte 1% H₂O₂-Lösung zugefügt. Die Inkubationszeit beträgt in dem Fall 11- 12 Minuten, die Retina erfährt eine bräunliche Färbung.

Um die Reaktion des DAB mit dem H₂O₂ zu stoppen, wird die Lösung abpipettiert und durch 10%- Glycerin-Lösung ersetzt. Um Haltbarkeit und Transparenz des Präparats zu garantieren, durchläuft der Wholemout jetzt eine Reihe von (10%-, 30%-, 50%-, 70%- und 90% Glycerins in 0,01M PBS, jeweils 15 Minuten) Glycerin-Lösungen in aufsteigender Reihenfolge, jeweils bei Raumtemperatur auf dem Schüttler.

Das nun gefärbte Präparat wird auf einem mit 90% Glycerin in 0,01M PBS versehenem Objektträger ausgebreitet und neu ausgerichtet und mit einem Deckglas bedeckt. Deckglas und Objektträger werden mit Nagellack miteinander versiegelt, um Ausfließen bzw. Austrocknen des Glycerins zu unterbinden. (**Abb 16.**)

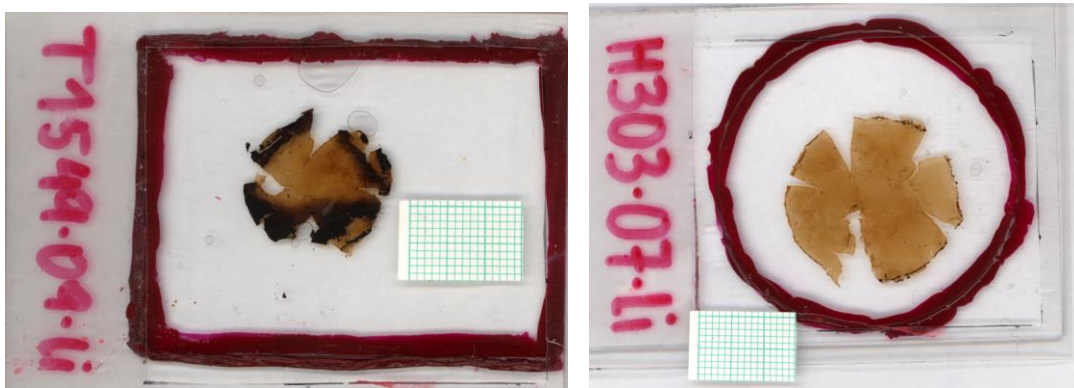


Abb. 16 Immunmarkierte Retinapräparate

Die Ora Serrata sowie Reste des Pigmentepithels sind in der Peripherie an manchen Stellen noch deutlich zu sehen. (re: Rottweiler, li: Chihuahua)

2.1.5 Dichtezählung der Photorezeptoren

Die nun abgedeckten Präparate werden zusammen mit einem Streifen Millimeterpapier, das als Maßstab dienen soll, eingescannt um anschließend mit der Graphiksoftware CANVAS weiterverarbeitet zu werden. Dazu wird der Scan mit einem 1x1mm Gitter überlagert und ausgedruckt..

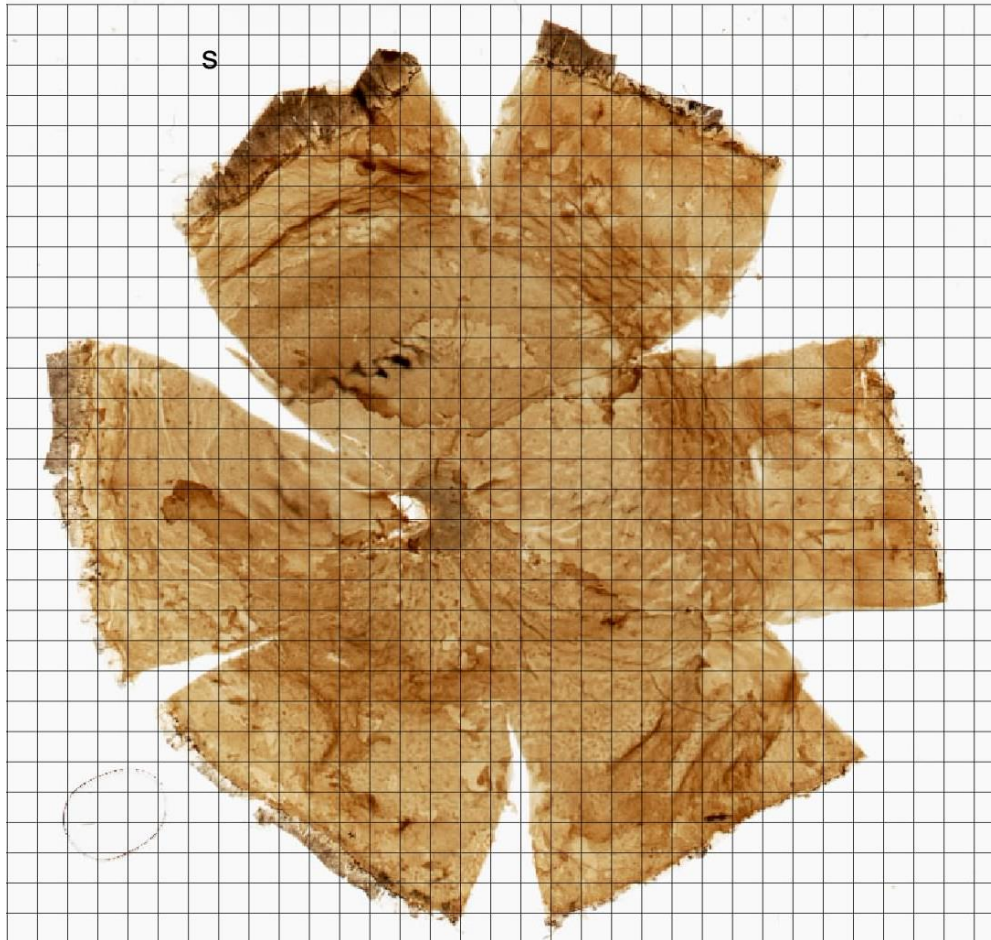


Abb. 16 Millimetergitter über eingescannte Retina

Für das Auszählen der Rezeptoren wird ein Mikroskop NIKON ECLIPSE E600 verwendet. Dieses ist mittels einer Kamera mit einem APPLE MAC-Rechner verbunden. Mit Hilfe einer Videokarte wird nun das Videosignal mit dem Bild des Monitorsignals gemischt und abgeglichen, das ermöglicht das Fokussieren und Verschieben der Retina, die nun auf dem Computerbildschirm synchron erscheint.

Mithilfe der Graphiksoftware CANVAS X.01 wird nun bei einer 40fachen Vergrößerung ein Zählfenster mit den Maßen $150\ \mu\text{m} \times 150\ \mu\text{m}$ über das Live-Bild der Retina gelegt. Bei kleinen Retinae, wie es die von einem Chihuahua ist, wird bei einer 60fachen Vergrößerung ein Zählfenster von $100\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$ verwendet.

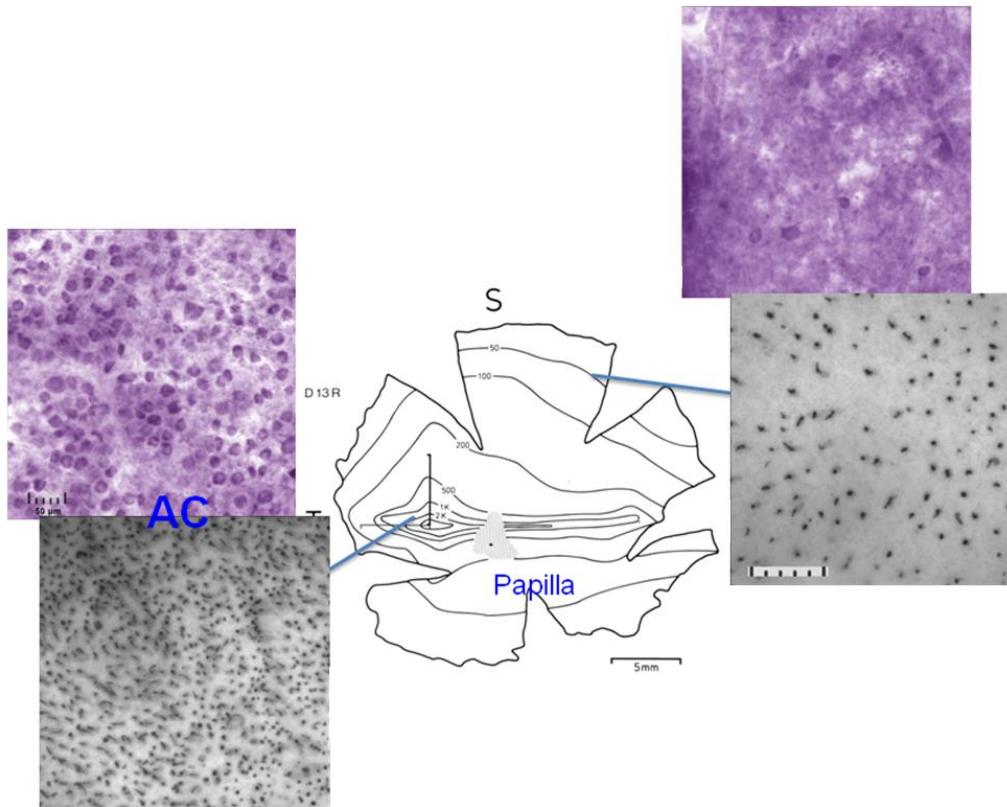


Abb. 17 Zählfenster ($150\ \mu\text{m} \times 150\ \mu\text{m}$) für Retina

Als Beispiel werden hier zwei ausgesuchte Bereiche der Canidenretina gezeigt. Links sieht man die Area Centralis (AC), die eine hohe Dichte an Rezeptoren aufweist. Rechts ist ein Ausschnitt aus der Peripherie zu sehen. Letzteres weist eine geringere Dichte auf.

Nun wird in jedem Quadratmillimeter der Retina eine repräsentative Stelle gesucht und ausgezählt, indem alle sichtbaren Photorezeptoren im Zählfenster markiert und schließlich vom Programm addiert werden. Durch die Verschiebung der maßstabgetreuen Zählbox über die gesamte Retina können so in jedem Quadratmillimeter die Zellendichten für ein abgegrenztes, konstantes Zählfenster ermittelt werden.

Mit der Spreadsheet- und Plotting-Software DELTAGRAPH werden die in CANVAS erhaltenen Ergebnisse zu einer interpolierten Dichtekarte der Retina zusammengesetzt. Diese kann entweder als Graustufenbild oder als Isodensitygraphik die Topographie der jeweiligen Zellpopulationen originalgetreu darstellen. Bei der Graustufengraphik (**Abb. 18 links**) werden ausgehend von der höchsten Konzentration (100%) die Flächen der Retina mit ähnlicher Konzentration gleich angefärbt. Bei der Isodensitygraphik (**Abb. 18 rechts**) hingegen werden sozusagen die Umrissse um diese Flächen gezogen, indem überall dort wo gleiche Konzentrationen auftreten eine Isodensitylinie gezogen wird.

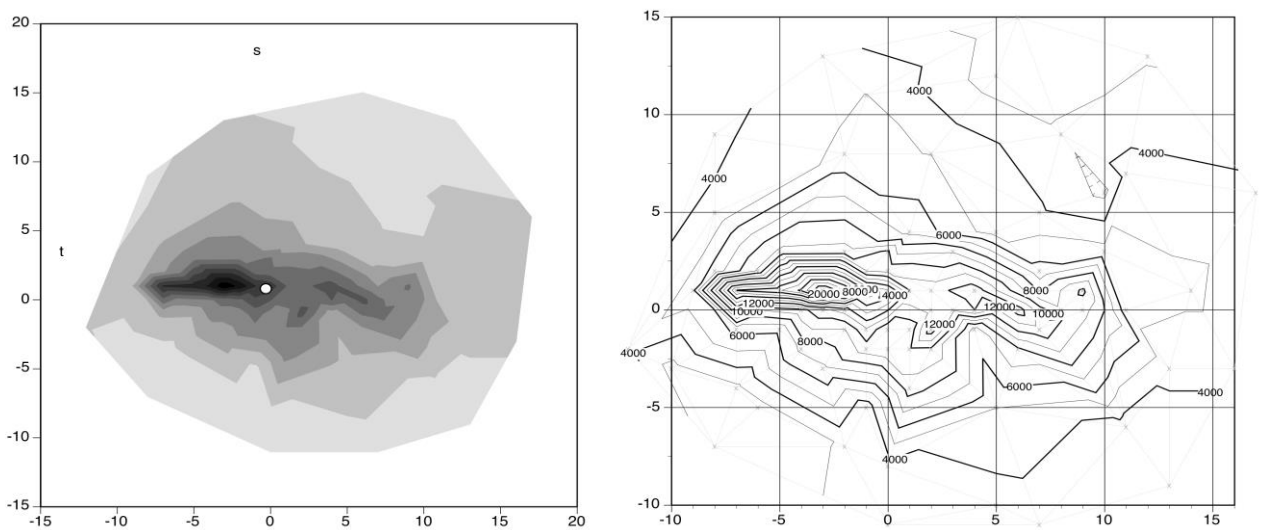


Abb. 18 Gegenüberstellung von Graustufengraphik (li) und Isodensitygraphik beim Schabrackenschakal

Abschließend werden für den Vergleich die Kontraste (wie in **Abb. 19**) mittels Weichzeichnung verändert.

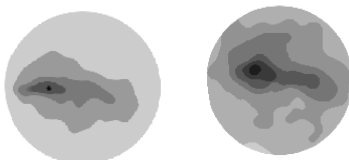


Abb. 19 Weichzeichen-Dichtekarte

Dichtevergleich der langwelligen Rezeptoren bei Schakal (li) und Rotfuchs (re).

3. MATERIAL

Zusammengefasst wurden im Rahmen dieser Arbeit mehr als 50 Retinae verschiedener wildlebender und domestizierter Caniden präpariert. Von diesen konnten nur rund vierzig markiert und gefärbt werden, wobei von diesen wiederum nur die Hälfte (**Tab. 1**) eine einzubettende Retina lieferte, die unter dem Mikroskop ausgezählt werden kann, um eine Dichtekarte der Photorezeptoren zu erstellen.

	BD	BAD	LD	LAD	Gez. Min	Gez. Max
Wildcanide						
Rotfuchs (<i>Vulpes vulpes</i>)	19,7	18,2	11,6	7,2	3555	15865
Schakal (<i>Canis mesomelas</i>)	19,5	18	11,7	6,5	-	21330
Haushund (<i>Canis familiaris</i>)						
Chihuahua	13,5	12,0	7,0	5,0	5777	24500
Dobermann	19	14,5	-	-	2666	13865
Border Collie	24	22,5	12	6,5	1827	6755
Powderpuff	18,5	15	-	-	4000	21687
Schäferhund	22	21	12	6,5	2000	14221
Rottweiler	23	24	12	7	-	11377

Tab. 1 Daten der ausgezählten Caniden. Legende: BD: Bulbusdurchmesser (in mm), BAD: Bulbusachsendurchmesser (in mm), LD: Linsendurchmesser (in mm), LAD: Linsenachsendurchmesser (in mm), Gez. Min.: gezähltes Minimum an Photorezeptoren pro mm², Gez. Max.: gezähltes Max an Photorezeptoren pro mm²

Da die Schädelanatomie ein grundlegendes Merkmal für die Untersuchung der retinalen Topographie ist, wird immer auch bei der Vorstellung des Materials Bezug auf die kraniale Morphologie genommen. Dazu werden Bilder von Wolfs-, Schakals-, Fuchs- und Hundeschädel von der digitalen Morphologiesammlung (www.digimorph.org) und von der Firma Skulls Unlimited International, Inc. (www.skullsunlimited.com), die sich auf Vertebratenschädeln kommerziell spezialisiert hat entnommen.

3.1 Wildcanidae

Wildlebende Vertreter der Familie der *Canidae* werden grundsätzlich in die ursprünglicheren, fuchsartigen Caniden und in die wolfartigen Caniden unterteilt. Als Vertreter des ersten Zweiges wurde der Rotfuchs (*Vulpes vulpes*) gewählt, da er in Mitteleuropa heimisch ist und häufig auch von Jägern geschossen wird. Als Beispiel für die wildlebenden, wolfartigen Caniden wurde der Schabrackenschakal gewählt.

3.1.1 Rotfuchs (*Vulpes Vulpes*)

Von allen wildlebenden Fleischfressern hat der Rotfuchs (**Abb. 20**) das größte geographische Verbreitungsgebiet: Rotfüchse können sowohl nördlich des Polarkreises als auch in fast tropischen Gebieten leben. In Mitteleuropa ist er der einzige Vertreter der Füchse und gleichzeitig auch der häufigste wildlebende Canide.



Abb. 20 Rotfuch (*Vulpes vulpes*) Cranium des Rotfuchses rechts

Der Rotfuchs ist sehr anpassungsfähig und stellt keine großen Ansprüche, weder an seinen Lebensraum noch an seine Nahrung. In der Hinsicht ist er ein Nahrungsopportunist und Allesfresser. Außerdem weist der Rotfuchs einige Ähnlichkeiten mit Katzen auf: Er klettert besser als andere Hundartige und zeigt mit seinem langsamen Anschleichen und dem Mäusesprung ein ähnliches Jagdverhalten wie Katzen. Seine Pupillenschlitze sind senkrecht, die Krallen teilweise einziehbar. Füchse und Katzen gehören zwar verschiedenen Familien an, haben aber aufgrund der gemeinsamen Spezialisierung auf kleine Nagetiere als Beutetiere im Laufe der Evolution eine ähnliche Entwicklung durchgemacht.

Die Rotfuchse, die für diese Arbeit untersucht worden sind, stammen alle aus Österreich und wurden vorwiegend in den Donauauen geschossen. Es wurden bei einem Individuum sowohl L- Zapfen, die grüne Anteile des Lichts absorbieren, als auch S-Zapfen, die die blauvioletten Anteile des Lichts absorbieren, gefärbt, wobei je ein Auge für eine Zapfenart verwendet wurde.

3.1.2 Schabrackenschakal (*Canis mesomelas*)

Der Schabrackenschakal (*Canis mesomelas*) ist ein Wildhund der afrikanischen Savanne und wird zu den Schakalen gerechnet. Als Vertreter der wolfartigen Caniden ist er sowohl mit dem Kojoten als auch mit dem Grauwolf – und somit auch mit dem Haushund- verwandt.



Abb. 21 Schabrackenschakal (*Canis mesomelas*) gehört zu den wolfartigen Caniden. Cranium rechts

Schabrackenschakale (**Abb. 21**) leben in Familienverbänden. Die Ernährung des Schabrackenschakals ist sehr vielseitig. Nach neueren Untersuchungen besteht sie zwar zu über 50 % aus großen Insekten wie Heuschrecken und Käfern, umfasst aber auch Mäuse, Vogeleier, Eidechsen und gelegentlich pflanzliche Nahrung. Seine extreme Anpassungsfähigkeit ist mit der des Rotfuchses vergleichbar und ließ ihn eine große Zahl regional unterschiedlicher Verhaltensmuster entwickeln. Abgesehen von Ähnlichkeiten in der Ernährung gibt es auch Parallelen im Jagdverhalten, die sich wiederum in auffallenden Analogien bei der Verteilung der retinalen Zellen zeigen.

Beim Schabrackenschakal wurden die L- Zapfen immunhistochemisch markiert und deren Dichte berechnet.

3.2 Haushunde

Der Haushund (*Canis lupus familiaris*) fällt vor allem durch die Mannigfaltigkeit an Größe, Form, Farbe und Beschaffenheit des Fells sowie Verhalten auf. Bei der Untersuchung der Retina und der Topographie der retinalen Zellen können mehrere Anhaltspunkte gewählt werden. So zum Beispiel die Genealogie und die Zuchtgeschichte oder auch die Verwendung der jeweiligen Rasse als Hüte- oder Jagdtier. Dessen ungeachtet wird in dieser Arbeit die Anatomie, besonders die kraniale Morphologie, als Kriterium der Unterscheidung gewählt.

Verglichen mit seinem wildlebenden Vorfahren, dem Grauwolf (*Canis lupus*), zeichnet sich der Haushund durch eine enorme craniomorphologische Mannigfaltigkeit aus. Der Hundeschädel kann je nach Rasse zwischen 7 und 28 cm lang sein, wohingegen der Wolf eine konstante Schädelgröße von 30 cm hat. Um nun die Hunderasen nach ihrer kranialen Morphologie zu klassifizieren, bedient man sich wie in **Abb. 22** dem *Cephalic index*. Diesen kann man sich errechnen indem man die maximale Breite des Schädels mit 100 multipliziert und das Produkt wiederum durch die Schädelgröße dividiert. Dadurch ergeben sich drei Kategorien:

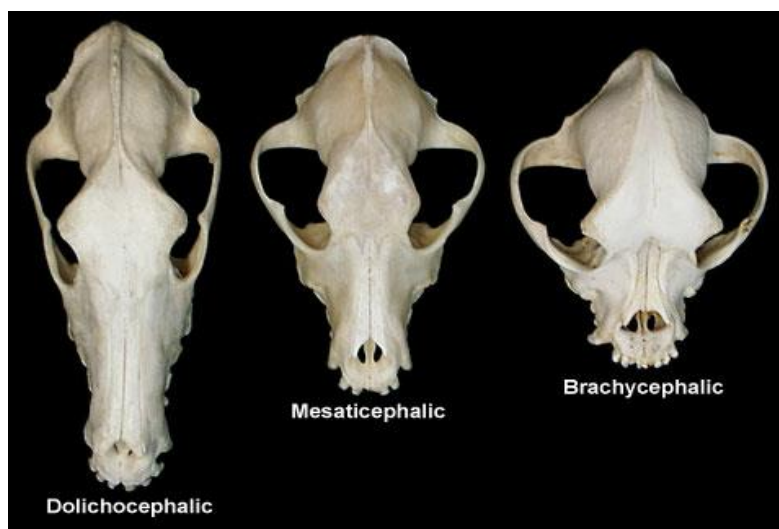


Abb. 22 A. Der **Cephalic Index** ergibt drei Kategorien zur Beschreibung der Schädelgröße bei Caniden.

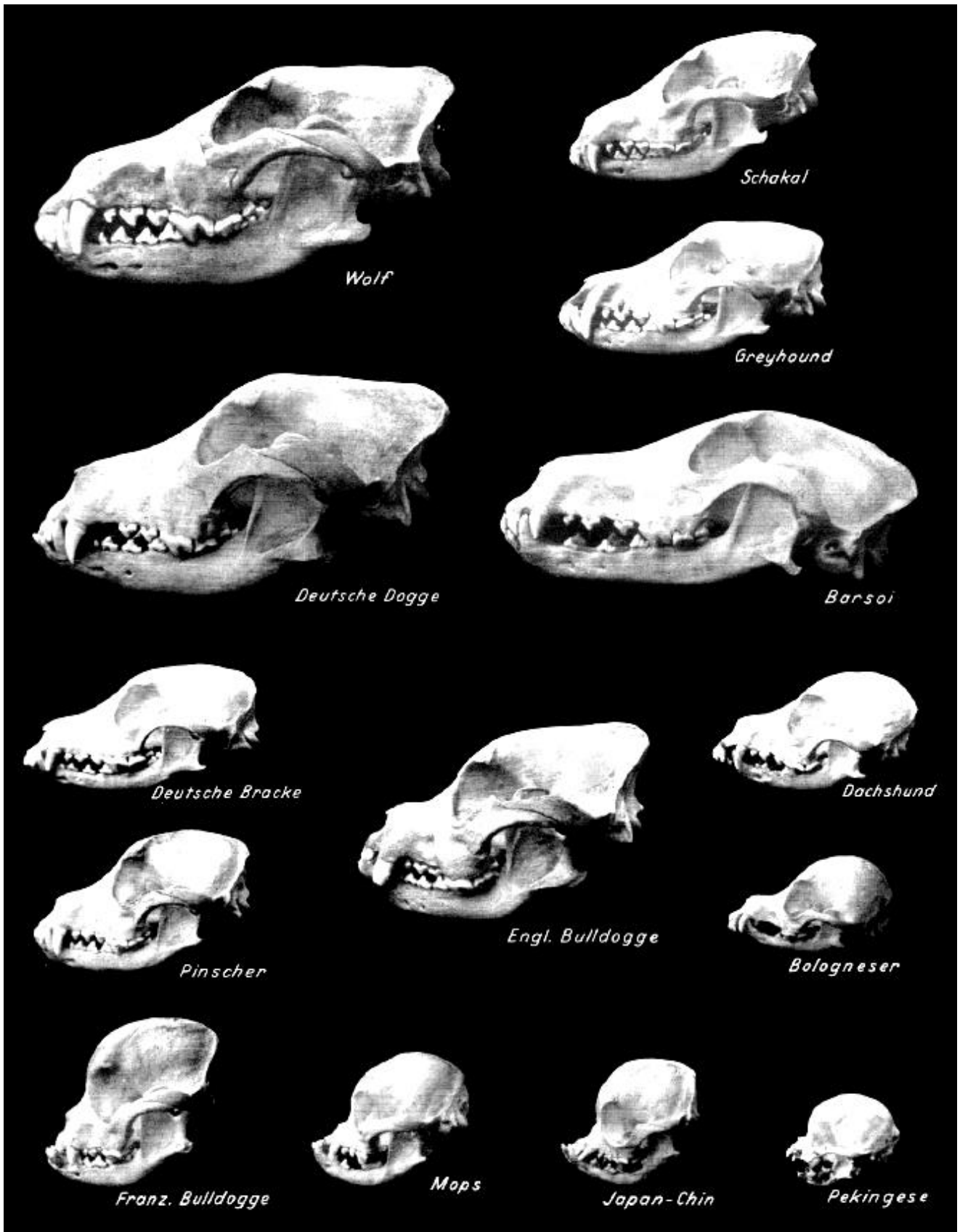


Abb. 23 B. Vergleich der Schädelanatomie von Vertretern der Caniden
 (NACHTHEIM, 1977)



Abb. 24 Mops

Brachycephale Rassen: der Schädel ist relativ klein und breit wie in der **Abb. 23**, wo ein Mops zu sehen ist. (Verhältnis Länge zu Breite min. 80%).



Abb. 25 Beagle

Mesocephale Rassen: der Schädel hat middle Länge und Breite. Die Mehrheit der traditionellen Hunderassen, wie der Beagle (**Abb. 24**), gehören wie der Beagle (**Abb. 24**), gehört zu dieser Gruppe.



Abb. 26 Windhund

Dolichocephale Rassen: der Schädel ist relativ zur Breite sehr lang, die Wangenknochen sind schwach ausgeprägt und die Schnauze läuft wie bei Windhunden (**Abb. 25**) spitz zu.

Untersuchte Rassen:

In diesem Kapitel werden die einzelnen Versuchstiere kurz beschrieben. Dabei ist es wichtig für ein umfassenderes Verständnis auch die Vergangenheit, insbesondere die Zuchtgeschichte der Rasse zu verstehen. Da auch die Anatomie des Schädels einen grundlegenden Einfluss auf das Sichtfeld hat, wird auch diese genauer dargestellt.

3.2.1 Schäferhund



Abb. 27 Schäferhund kann trotz seines wolfsähnlichen Phänotyps genetisch auf eine vielfältige Zuchtgeschichte zurückgreifen, die durch Rückkreuzungen immer wieder modifiziert wurde. (Cranium rechts)

Der Deutsche Schäferhund (**Abb. 26**) ist eine relativ junge Rasse, die im 19. Jahrhundert bewusst aus den damaligen Hütehunden in Deutschland herausgezüchtet wurde. Ziel der Zucht war die Qualitäten eines Arbeitshunds zu verfeinern als auch Form und Statur zu veredeln.

Im Zuge der Züchtung kam es einerseits zu Rückkreuzungen mit Haushunden mit wolfsähnlichem Habitus als auch zur Paarung mit anderen Hüte- und Herdenhunden, die weniger wolfsartig erscheinen. Somit kann beim Deutsche Schäferhund von einem großen Spektrum von genetischen Merkmalen ausgegangen werden.

Die Kopfform ist keilförmig, die Kopfgröße steht in gutem Verhältnis zum restlichen Körper. Die Stirn ist nur wenig gewölbt, der Nasenrücken gerade. Der Schäferhund verfügt über ein Scherengebiss. Die Augen sind in jedem Falle dunkel und etwas schräg liegend. Er gehört grundsätzlich zu den mesocephalen Rassen. Im Rahmen

dieser Arbeit wurden die Augen von zwei Individuen entnommen und gefärbt, um einerseits den Vergleich zwischen Individuen einer Rasse andererseits die Gegenüberstellung der Topographie von lang- und kurzwelligen Photorezeptoren zu gewinnen.

3.2.2 Rottweiler



Abb. 28 Rottweiler gehören zu den ältesten Hütehunden Europas und sind typische Arbeitshunde mit mesocephalen Schädelmaßen

Die deutsche Rasse der Rottweiler ist eine der ältesten Hüte- und Herderassen in der Zuchtgeschichte, die bis in die Antike reicht. Schon im Römischen Reich wurden die Vorfahren der Rottweiler, die eng mit den Sennenhunden (schweizer Bauern- und Hirtenhunde) verwandt sind, als Herdehunde für römische Legionen verwendet. Neben den erwähnten Sennenhunden zählen auch Molosserrassen zu den Vorfahren. Der Rottweiler ist ein typischer Arbeitshund, der nicht nur Herdentiere beschützte sondern auch Wagen zog oder als Botenhund eingesetzt wurde.

Wie in **Abb. 27** zu sehen ist, zählen Rottweiler zu den mesocephalen Rassen mit breitem Schädel und einer mäßig zugespitzten Schnauze mittlerer Länge. Wobei der Oberkiefer den Unterkiefer leicht überlappt.

Die Retina der Rottweiler wurde für eine Markierung der L-Zapfen verwendet.

3.2.3 Dobermann



Abb. 29 Der Dobermann zählt zu den jungen Zuchthunden Mitteleuropas. Er ist das Kreuzungsprodukt von Schäferhunden, Rottweilern und Greyhound, der dem Hund seine schlanke Linie und die elongierte Schnauze verlieh. (Cranium rechts)

Der Dobermann ist eine anerkannte deutsche Hunderasse, mit einer relativ jungen Zuchtgeschichte. Er ist das Kreuzungsprodukt von Schäferhunden, Rottweilern und Greyhound, der dem Hund seine schlanke Linie verlieh. Das vordergründige Ziel war die Zucht eines Wach- und Polizeihundes, der auch im Krieg eingesetzt werden konnte.

Der Schädel ist kräftig und keilförmig und verfügt über eine kräftige Muskulatur. Wie in **Abb. 28** zu sehen ist, ist die Nasenkuppel breit, ohne hervorzutreten. Der Fang ist ebenso breit und liegt ohne Unter- oder Oberbiss an. Die Wangenknochen treten nicht hervor. Die Schnauze wirkt im Vergleich zu Schäferhund und Rottweiler etwas elongiert, ein Erbmerkmal vom Greyhound.

Aufgrund seiner unterschiedlichen Stammrassen vereinigt der Dobermann sowohl auf anatomischer als auch auf verhaltensbiologischer Ebene viele verschiedene Merkmale. Die Untersuchung der retinalen Topographie soll auch hier weitere Aufschlüsse liefern.

3.2.4 Border Collie



Abb. 30 Border Collies gehören zu den ältesten Begleitern der nordeuropäischen Völker, denen sie als Herde- und Hütehunde dienten. (Cranium rechts)

Border Collies zählen zu den ältesten Hunderassen Europas. Laut Kennel Club sind sie schon vor mehr als tausend Jahren Begleiter der nordischen Wikinger, die sie in die neue Heimat, auf die britannischen Inseln und in die Normandie mitnahmen. Diese Anglo-Schottische Rasse war als Herde- und Hütehund sehr beliebt und wird noch heute für diese Eigenschaften geschätzt und von Farmern verwendet.

Der Border Collie ist ein mittelgroßer Hund ohne extreme anatomische Merkmale. Der Schädel ist mittellang, die Schnauze wirkt elongiert, da sie spitz in Richtung Nase zuläuft. Der Unterkiefer ist kräftiger ausgebaut und schließt, wie auf **Abb. 29** zu sehen, mit einem Scherengebiss am Oberkiefer an. Beim Hüten der Herde trägt der Border Collie seinen Kopf in Höhe der Schulter. Er versucht dabei immer das gesamte Areal, in dem sich die Herde befindet zu überblicken.

Auch hier wurden eine Retina für die Untersuchung der Topographie der retinalen L-Zapfen verwendet.

3.2.5 Crested Chinese

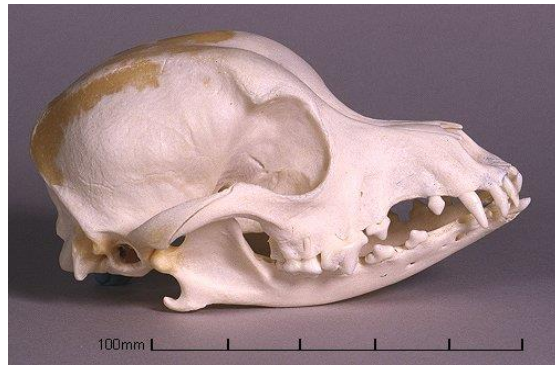


Abb. 31 Der Crested Chinese ist eine sehr junge Rasse, die zwei Erscheinungsformen haben kann: entweder als Nackthund, oder wie oben abgebildet als Powderpuff. Mit der relativ kurzen Schnauze zählt er zu den brachyocephalen Rassen.

Der Crested Chinese zählt zusammen mit dem Havanaser zu den jüngsten Hunderasse, die im Rahmen dieser Arbeit untersucht werden. Anders als die Namensgebung vermuten lässt, liegen die Wurzeln des Crested Chinese nicht in China sondern in Afrika. Dort wurde er 1920 aus dem haarlosen Afrikanischen Terrier herausgezüchtet und erst in den Neunziger Jahren des letzten Jahrhunderts als eigenständige Rasse aufgenommen. Es gab immer wieder Rückkreuzungen mit dem Chihuahua.

Beim Crested Chinese bezieht sich die Eigenschaft „Crested“ auf seine „Haarkrone“, die beide Erscheinungsformen dieser Rasse eigen sind. So unterscheidet man den Nackthund, der dennoch ein seidiges Fell am Kopf und an den Pfoten, und den Powderpuff, der –wie der Name sagt– ein dichtes, seidiges Fell trägt, das teilweise auch über den Augen hängt und die Sicht beeinflusst. Das Gen, das verantwortlich für das Fehlen des Haarkleides ist, wird dominant weitervererbt.

Als ein kleines Tier, mit vergleichbar kleiner Schnauze (**Abb. 30**) dient er als Vertreter der brachyocephalen Rassen. Auch hier wurden die langwelligen Photorezeptoren markiert und ausgezählt.

3.2.6 Chihuahua

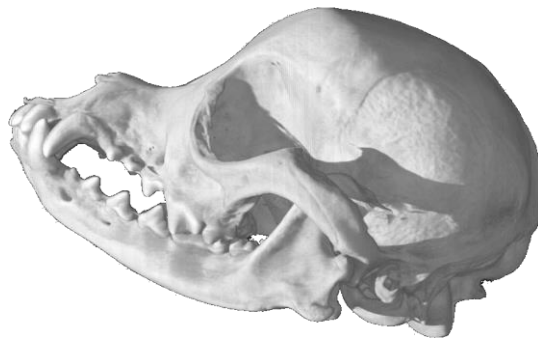


Abb. 31 Der Chihuahua ist ein klassischer Vertreter der brachycephalen Rassen.
(Cranium rechts)

Die Vergangenheit des Chihuahuas liegt vielfach im Dunklen. Dazu gibt es zwei Theorien. Bei der Neuwelttheorie wird davon ausgegangen, dass die Vorfahren des Chihuahuas zu den heiligen Tieren der indigen Bevölkerung von Lateinamerika zählten. Auf unzähligen Abbildungen und Archäologischen Funden sind diese zu finden. Außerdem zählten sie zu den Haustieren der Aristokraten. Nicht zuletzt lässt sich der Name Chihuahua auf die gleichnamige Provinz in Mexiko ableiten. Bei der Altwelttheorie, die sich auf Untersuchungen der mitochondrialen RNA stützt, werden die Anfänge in Ostasien gesucht.

Auffallend sind bei Chihuahua der für den Körper sehr groß scheinende, runde Kopf und die ebenso großen Augen. Die Schnauze ist kurz, spitz und hat einen leichten Unterbiss (**Abb. 31**).

Der Chihuahua, ein klassischer brachycephaler Vertreter, diente der Untersuchung der retinalen Zellverteilung und Dichte von Photorezeptoren bei kurzschnäuzigen Hunden. Auch hier wurden die Grünzapfen markiert, visualisiert und ausgezählt.

4 ERGEBNISSE

4.1 Wildcanidae

Im Rahmen dieser Arbeit wurden der Rotfuchs (*Vulpes vulpes*) und der dem Haushund näher verwandte Schabrackenschakal untersucht.

4.1.1 Rotfuchs

A. VERTEILUNG DER LANGWELLIGEN GRÜNREZEPTOREN

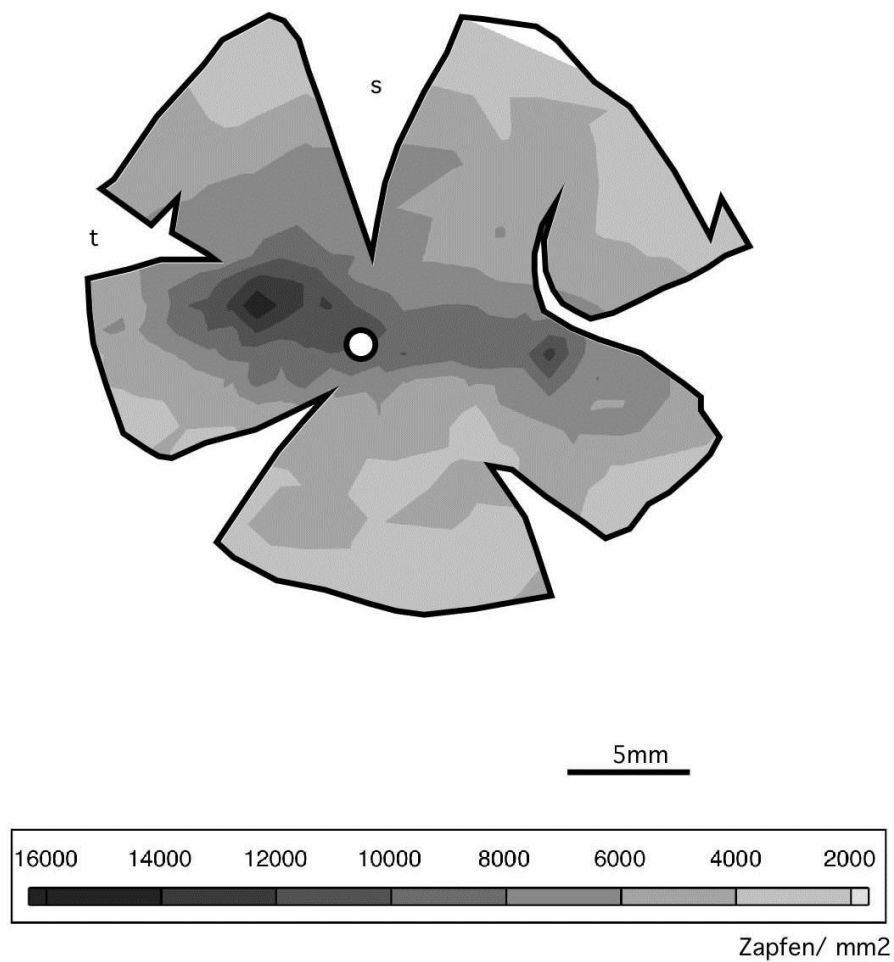


Abb. 32A Dichteverteilung der L-Zapfen in der linken Retina eines Rotfuchses (*Vulpes Vulpes*)

In **Abb. 32A** und **Abb. 32B** ist die Verteilung der langwelligen Photorezeptoren in der Retina des Rotfuchses, die mit JH 492 markiert und mit 3,3 Diaminobenzidin gefärbt wurden, zu sehen. Dabei wurde das Maximum als 100% gewertet, die restlichen Ergebnisse im Verhältnis dazu wurden prozentuell ausgewertet.

Auffallend ist, dass das Maximum (100%) , superior der Mediane temporal der Papilla liegt. In diesem Bereich ist eine deutliche Area Centralis ausgebildet. Ein weiteres Maximum (80%) befindet sich weiter nasal, dazwischen liegt ein Visual Streak, der sich an der Mediane orientiert um dann weiter nasal inferior zu rücken. In der Peripherie fallen die Werte sehr schnell ab, wobei sich generell in der superior gelegenen Hemisphäre eine höhere Dichte (30%) als inferior ergibt.

Im Bereich der Mediane zieht sich die dichte Photorezeptorverteilung -vor allem temporal- bis in die Peripherie. Sowohl im Bereich der Area Centralis als auch im Visual Streak kommt es zu Einschlüssen von Flächen mit dichteren oder weniger dichteren Photorezeptorverteilung als in der unmittelbaren Nachbarschaft, was auf Unregelmäßigkeiten in der Retina oder beim Dichtezählen hinweisen könnte.

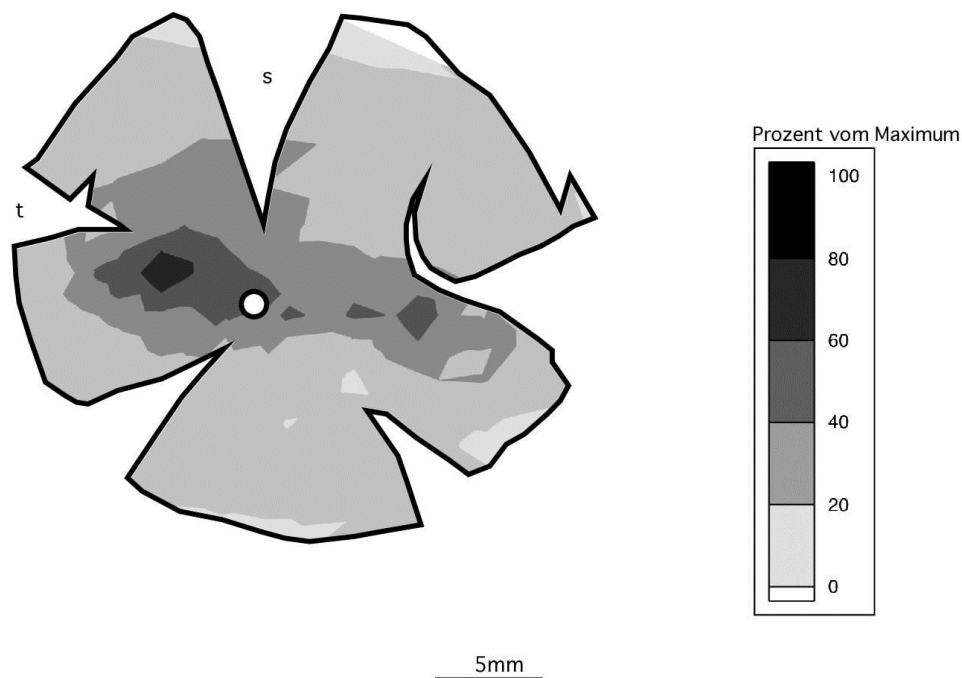


Abb. 32 B Dichteverteilung der L-Zapfen in der linken Retina eines Rotfuchses (*Vulpes Vulpes*) in Prozent angegeben

B. VERTEILUNG DER KURZWELLIGEN BLAUREZEPTOREN

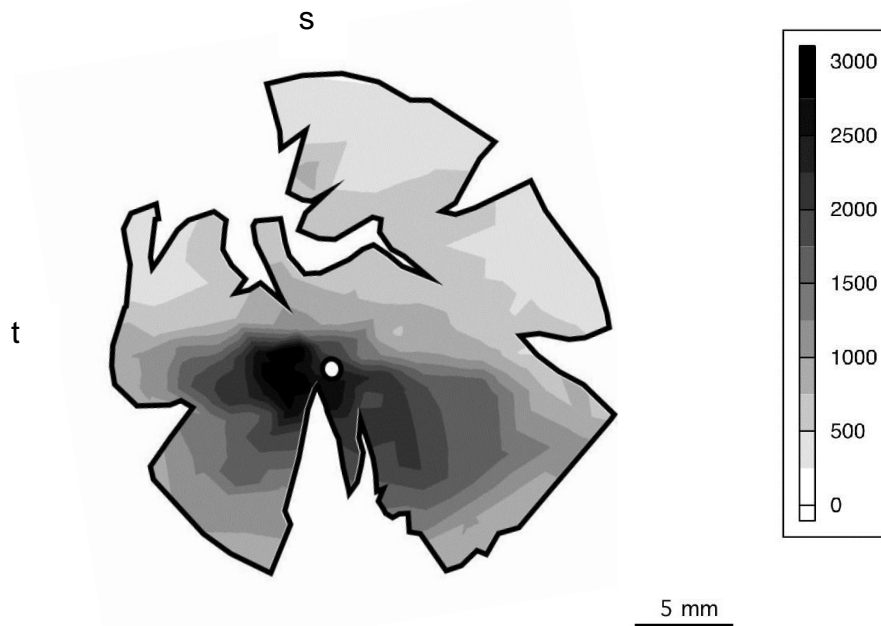


Abb. 33 Dichteverteilung der S-Zapfen in der Retina eines Rotfuchses (*Vulpes Vulpes*). Mit einem Dichtemaximum von 2880 Photorezeptoren/ mm²

Wie in Abb. 33 zu sehen ist, konzentriert sich das Maximum der Dichteverteilung der Blauzapfen auch hier rund um die Papilla, wobei auch hier der Peak temporal liegt. Stark auffallend ist das Verhältnis superior-inferior. Die die Verteilung in der inferior Hemisphäre ist eindeutig dichter und ausgeprägter aus superior, schließlich fällt sie nach der Medianen Richtung Peripherie stark ab. In der Peripherie ist generell eine niedrige Dichte. Hier zeigt der Fuchs Ähnlichkeiten zur Blauzapfenverteilung bei Vertretern der Feliden. (AHNELT, 2005). Katzen und Füchse lassen sich einerseits aufgrund ihrer Augenhöhe aber auch aufgrund der Strukturierung des Habitats vergleichen. Bei beiden ist eine konzentrisches Maximum der Dichteverteilung von Blauzapfen inferior der Mediane untersucht worden. Diese Korrelation ergibt sich möglicherweise durch die Anpassung von Füchsen und Wildfeliden gleicher Größe an Gefahren, die dem Tier von oben auflauern.

4.1.2 Schabrackenschakal

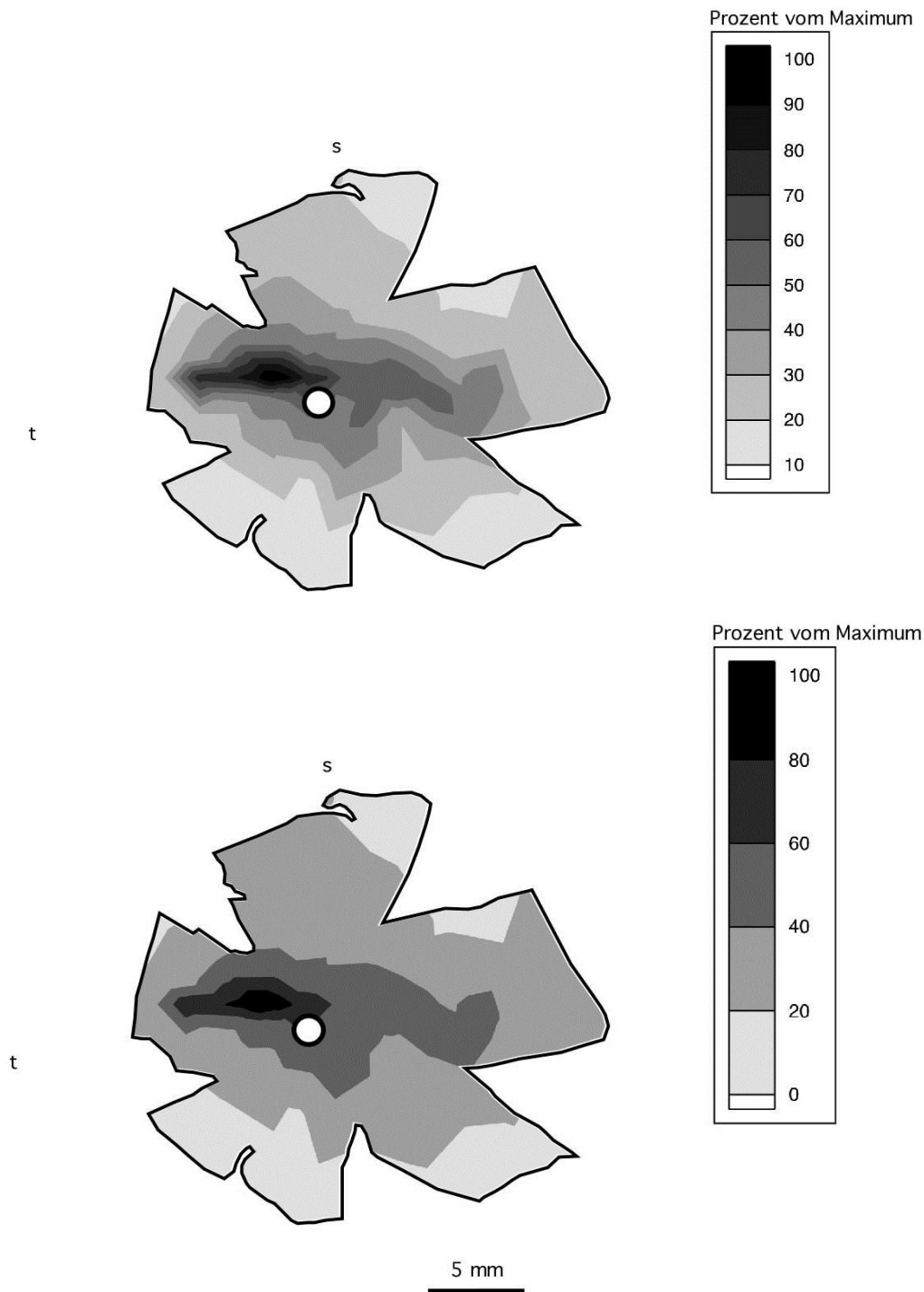


Abb. 32 Dichteverteilung der L-Zapfen in der Retina eines Schabrackenschakals (*Canis mesomelas*) in Prozent angegeben.

Auffallend sind die Area Centralis (superior-temporal) und ein Visual Streak entlang der Mediane. (oben: Isodensityflächen in 10% Abständen, unten: Isodensityflächen in 20% Abständen)

Auch beim Schabrackenschakal (*Canis mesomelas*), ein Vertreter der wolfartigen, wildlebenden Canidae, ist eine Area Centralis superior-temporal der Papilla ausgeprägt wobei sich das Maximum sowohl temporal als auch nasal verbreitet.

Im Vergleich zum Rotfuchs gibt es sehr viele Gemeinsamkeiten. Dazu gehören die Area Centralis und ihre Lage superior-temporal der Papilla und die Ausbildung eines Visual Streak. Der feine Unterschied liegt in der Position der jeweiligen Dichteflächen. Beim Rotfuchs reicht der Visual Streak weit nasal, beim Schakal hingegen ist die Area Centralis elongierter und zieht somit in die temporale Peripherie.

4.2 Dichteverteilung der langwelligen Photorezeptoren beim Haushund

4.2.1 Schäferhund (German Sheperd)

Um einen Vergleich innerhalb ein und derselben Rasse zu haben wurden die Netzhäute zwei unterschiedlicher Individuen der Rasse „Schäferhund“ untersucht. Bei beiden wurde die linke Retina mit dem Primären Antikörper JH 492 behandelt, für die Visualisierung verwendete man ebenso 3,3 DAB. Wobei der Zustand der ersten **Retina A** (Abb. 35A) etwas besser war. Das Netzhautgewebe der zweiten **Retina B** (Abb.35A) war vor allem rund um Papilla und Median wellig und sehr empfindlich. Es konnten Reste des Glaskörpers nicht vollständig entfernt werden, da die Gefahr bestand, das Gewebe zu verletzen.

Bei beiden Retinae lässt sich nicht eindeutig ein Visual Streak ausmachen (**Abb. 35 A**). **Retina A** zeigt eine ausgeprägte Area Centralis superior-temporal der Papilla. Anstelle eines Visual Streaks kommt es dann zu untypischen Ausformungen der Dichteflächen. So findet man einen nasalen Höchstwert entlang der Mediane, was auf einen Visual Streak deuten könnte, wären da nicht noch weiteren Hochwerte inferior. Das Maximum ist dennoch superior zu finden. Durch den schlechteren Zustand der Retina war die Orientierung leider nicht eindeutig. So kann die Drehung der Retina um nur 40° gegen den Uhrzeigersinn neben dem temporalen Maximum eine Häufung von Maxima entlang der Mediane ergeben, was einem Visual Streak entsprechen würde. Gleichzeitig wäre auch ein Hufeisenmuster erkennbar, dass für **Retina B** charakteristisch ist.

Bei **Retina B**, die in einem besseren Zustand erhalten war, ist eine längsgerichtete Dichteverteilung entlang der horizontalen Mediane auszumachen. Ähnlich wie bei wildlebenden Caniden befindet sich auch hier temporal ein Maximum, das aber nur schwach ausgeprägt ist. Außerdem erscheinen man bei **Retina B** weitere zwei Maxima nasal.

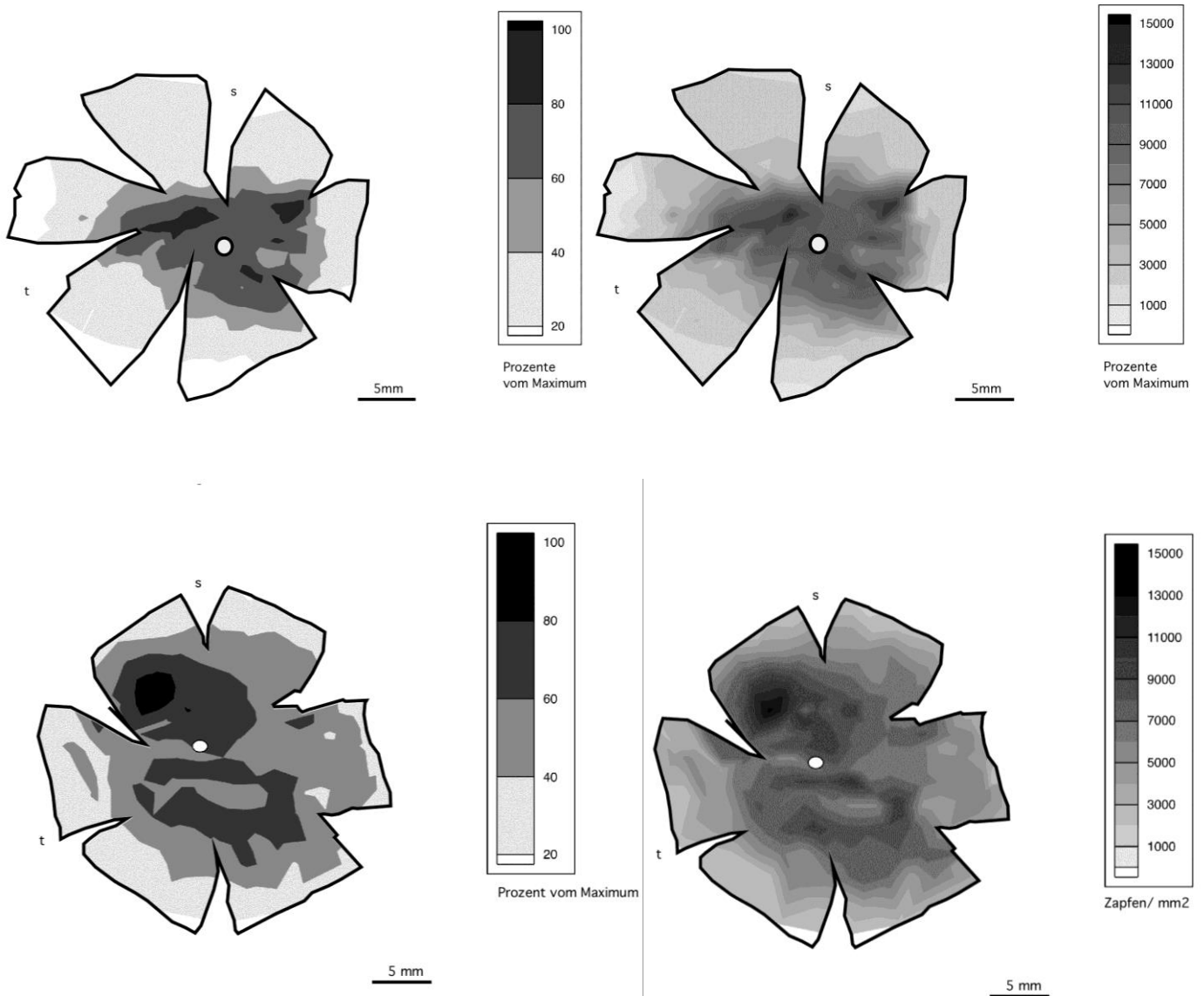


Abb. 35 A Die Verteilung der Grünzapfen in der Retina des Schäferhundes. Oben **Retina A**, die im Vergleich zu **Retina B**, unten, in schlechterem Zustand war. Die Legende zur Dichteverteilung für beide Retinae wurde vereinheitlicht. Dabei wurden die Dichteflächen nicht prozentuell gegliedert, sondern orientierten sich nach der maximalen Dichte von 15000 Rezeptoren/ mm^2

Insgesamt lassen sich drei Maxima ausmachen: eines superior-temporal der Papilla, und zwei nasal der Papilla, wobei jeweils eines superior, mit kleiner Unterbrechung, und eines, etwas schwächer, inferior liegt. Zusammengefasst ergibt die Dichteverteilung ein hufeisenförmiges Muster, das in weiterer Folge auch für Rottweiler (**Abb. 36**), Dobermann (**Abb. 37**) und Border Collie (**Abb. 38**) sehr charakteristisch sein wird. Verglichen mit den genannten Arten ist die Ausprägung des hufeisenförmigen Musters dennoch relativ schwach, da die Dichteverteilung längs der Mediane, sich nicht scharf von der Peripherie abhebt, sodass es nicht zu einem klassischen Visual Streak, wie bei wildlebenden Canidae (**Abb. 32** und **Abb. 34**) kommt.

Im Vergleich ergeben sich mehrere Unterschiede zwischen den Retinae: einerseits befindet sich das Maximum bei **Retina A** temporal, bei **Retina B** nasal der Papilla, - andererseits dominieren bei **Retina A** superior die Höchstwerte, wohingegen bei **Retina B** inferior eine höhere Dichte zu finden ist.

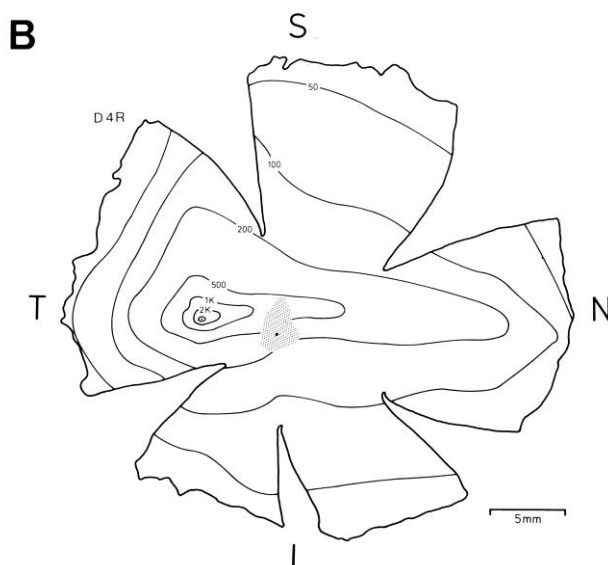
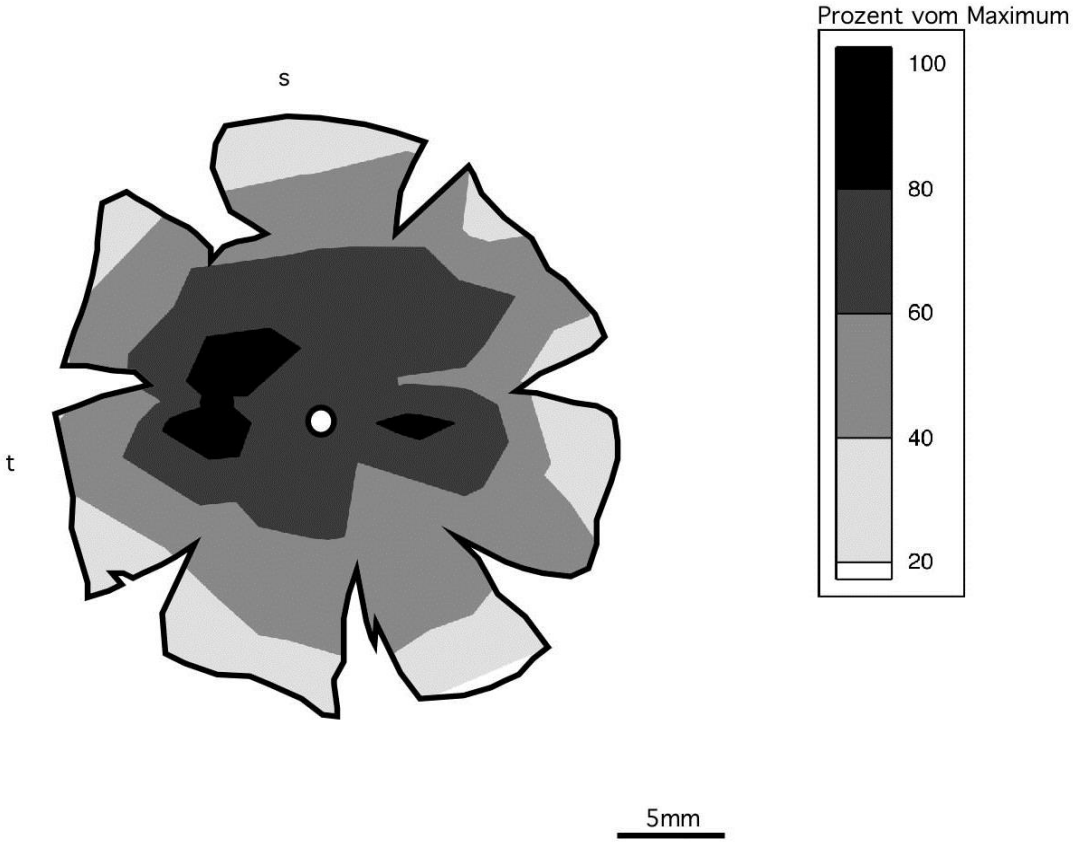
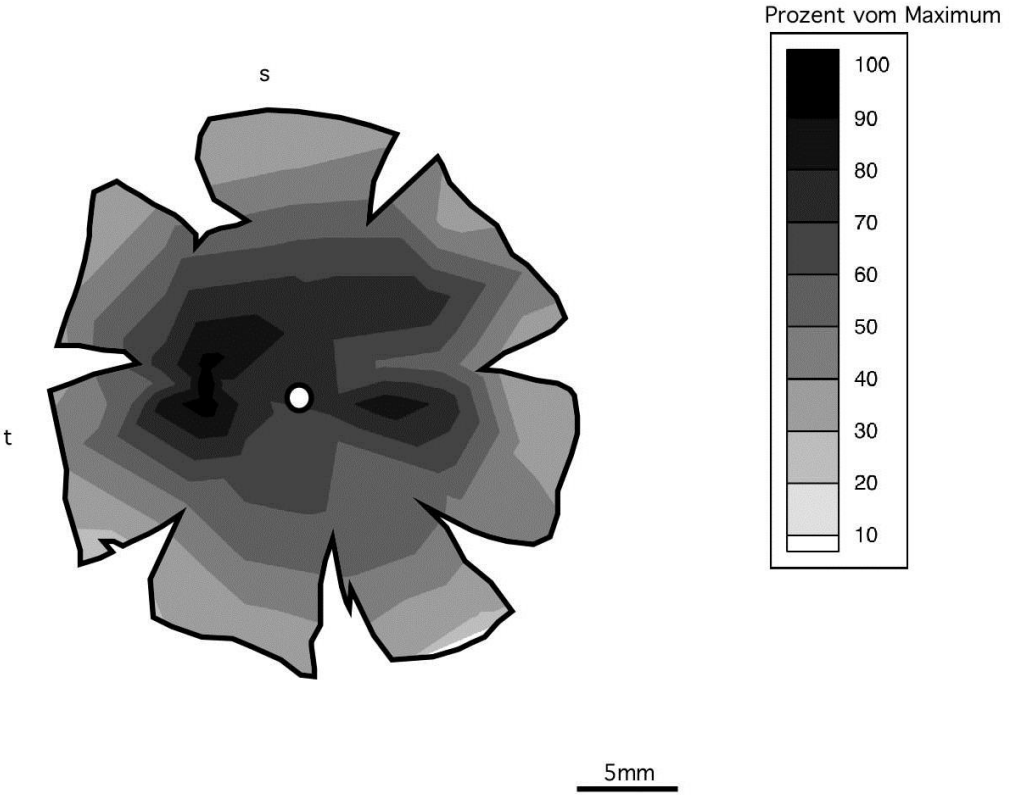


Abb. 35 B Die Verteilung der Ganglienzellen in der Retina des Schäferhundes. (PEICHL, 1992)

Leider sind beide Retina durch den fragilen Zustand nicht aussagekräftig. Vor allem das Auftreten mehrerer Maxima entspricht nicht Ergebnissen von PEICHL, 1992. In der **Abb. 35B** entspricht die Verteilung der Ganglienzellen, die mit der Verteilung der Grünzapfen korreliert, stark den bekannten Ergebnissen bei Wildcaniden,

4.2.2 Rottweiler



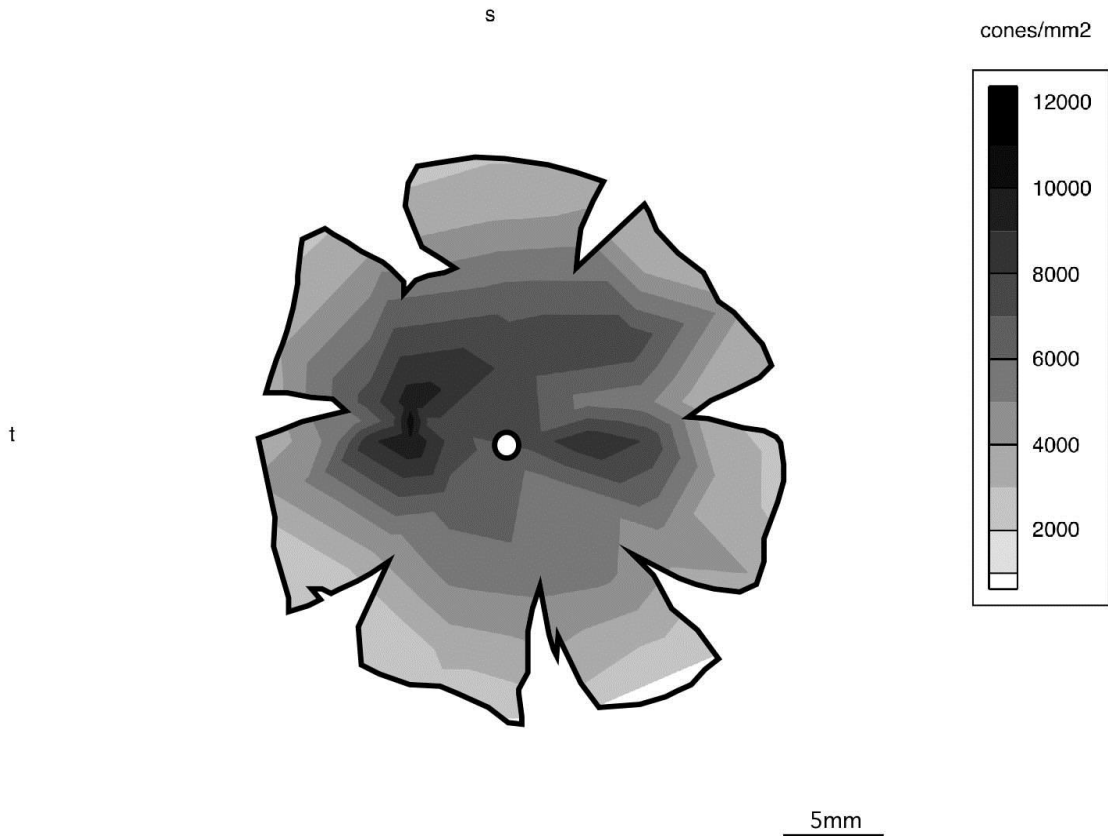


Abb. 36 Dichteverteilung der Grünzapfen beim Rottweiler. Die ersten zwei Dichtekarten basieren auf prozentuelle. Dabei wurden die Dichteflächen nicht prozentuell gegliedert, sondern orientierten sich nach der maximalen Dichte von 14000 Rezeptoren/ mm^2

Beim Rottweiler zeigt sich eine für Caniden typische Zapfenverteilung: superior-temporal der Papilla befindet sich das Maximum und weitet sich in eine Area Centralis aus, die temporal schärfer abgegrenzt ist. Ein weiterer Peak befindet sich nasal längs der horizontalen Mediane, entlang welcher sich ein Visual Streak spannt.

Auffallend ist das besondere Muster des Visual Streaks: es bildet eine Hufeisenform, die beide Maxima (temporal und nasal) und somit auch die Area Centralis umschließt. Der Untere Arm des Hufeisens liegt entlang der Mediane, der obere Arm hingegen superior. Somit ergibt sich auch eine superior- inferior Gefälle: in der oberen Hemisphäre ist die Verteilung der Photorezeptoren weit dichter als inferior der Mediane.

Anders als bei Wildcaniden, fällt die Dichte, abgesehen von der Area Centralis, linear ab. Das heißt, dass selbst in der Peripherie, die Dichte relativ hoch ist. Die Dichteverteilung der Rezeptoren ist verglichen mit Wildcaniden in der Peripherie mit 4000

Photorezeptoren pro mm^2 (ca. 25% des Maximums) noch hoch (**Abb. 32**). Flächenmäßig ist die Retina vergleichbar mit der des Schäferhundes, 800 mm^2 . Dennoch besitzt der Schäferhund mit einem Maximum von $15000 \text{ Zapfen/mm}^2$ eine höhere maximale Dichte an Rezeptoren.

4.2.3 Dobermann

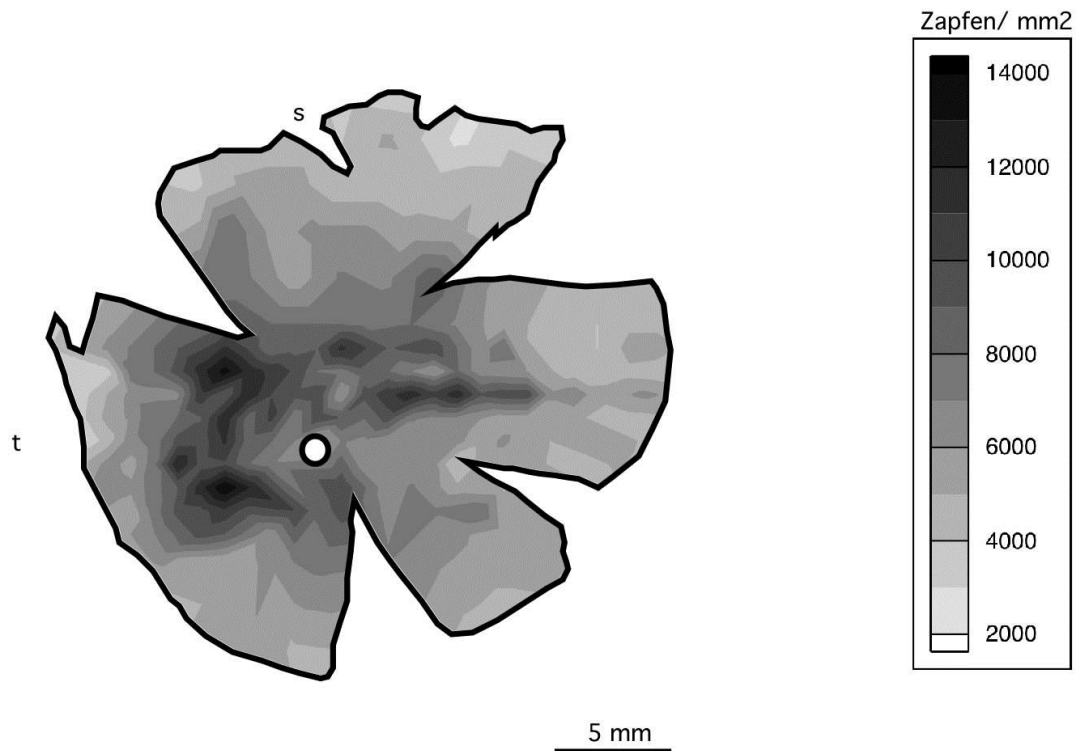


Abb. 33 Dichteverteilung der Grünzapfen beim Dobermann. Dabei wurden die Dichteflächen nicht prozentuell gegliedert, sondern orientierten sich nach der maximalen Dichte von 14000 Rezeptoren/ mm²

Mit einer Fläche von 8200 mm² ist die Retina des Dobermanns etwas größer als die des im vorigen Abschnitt beschriebenen Rottweilers. Auffallend ist, dass beide Retinae ein Maximum bei einer Dichteverteilung von 14000 Rezeptoren pro mm² haben.

Die Retina des Dobermanns gleicht der des Rottweilers in vielen Hinsichten. Bei beiden ist eine klar abgrenzbare Area Centralis temporal zu finden. Anders als beim Rottweiler zieht sich die vertikal elongierte Area Centralis beim Dobermann orthogonal zur Mediane, wobei das Maximum diesmal eher inferior liegt (siehe **Abb. 37**). Ein weiterer Höchstwert lässt sich wieder nasal, parallel zur Mediane finden. Dazwischen spannt sich ein kurzer Visual Streak, der abrupt nasal aufhört, wo auch die Dichte sich schnell vermindert (nur noch 20% der Maximalverteilung). Auch hier ist ein inferior-superior Gefälle zu finden: während superior noch in Teilen der Peripherie mit 7000 Photorezeptoren pro mm² 50-60% der maximalen Dichte eine gute Auflösung

möglich ist, ist inferior die Area scharf abgegrenzt und in der Peripherie nur noch 30% der maximalen Dichte zu finden.

Eine weitere Ähnlichkeit zum Rottweiler ist die Form der Area Centralis, auch hier ein Ast inferior und ein Ast superior parallel der Mediane. Diesmal aber ist der superior gelegene Bogen des Hufeisens stärker ausgebildet. Wobei die Area Centralis temporal sehr dominant ist. Die horizontale Position sagt etwas über Körper-, insbesondere Kopfhaltung, des Tieres. Je superior der Streak liegt, desto niedriger wird der Kopf gehalten. In diesem Fall ist der Streak, verglichen mit dem Rottweiler, um 3 mm superior verschoben.

4.2.4 Border Collie

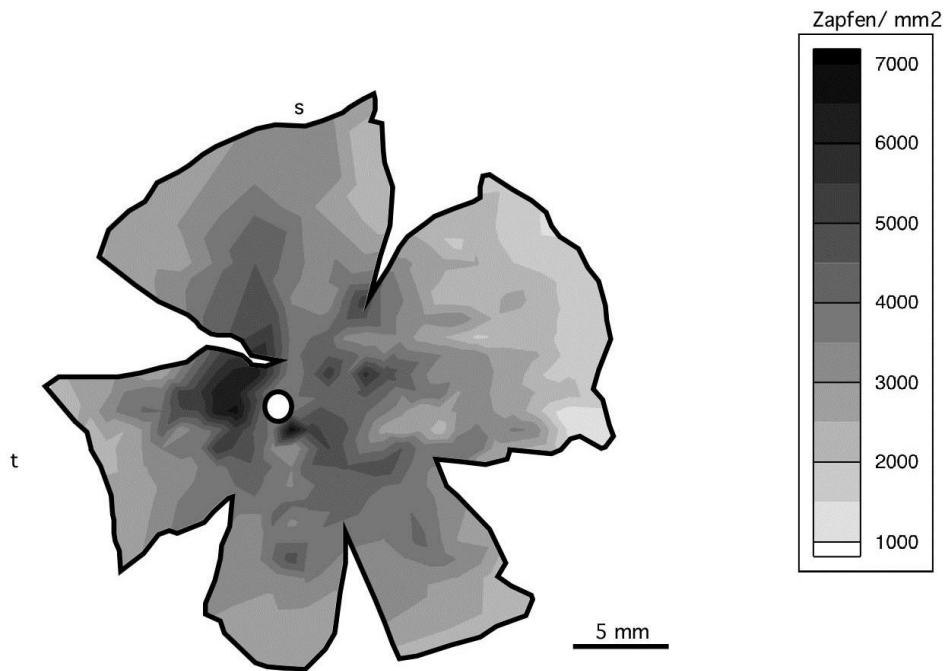


Abb. 34 Dichteverteilung der Grünzapfen beim Border Collie. Dabei orientieren sich die Dichtefelder nach der maximalen Dichte von 7000 Rezeptoren/ mm^2

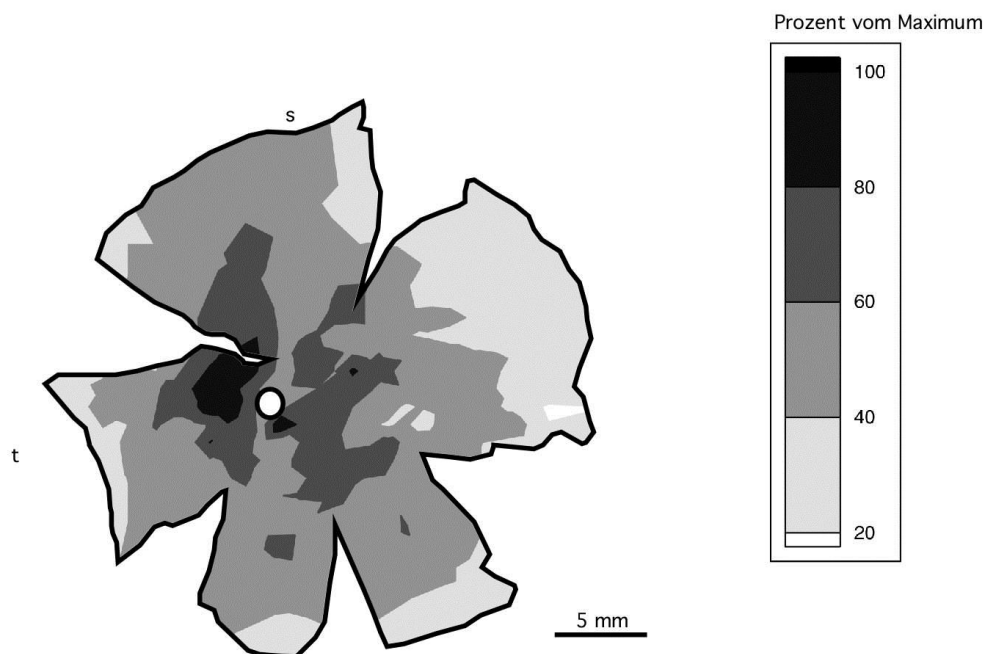


Abb. 39 Dichteverteilung der Grünzapfen beim Border Collie. Die maximale Dichte von 7000 Zapfen/ mm^2 wurde als 100% festgesetzt und die restliche Verteilung in 20% Schritten

Mit einem Radius von 17 mm ist die Retina dieses adulten Border Collies in der gleichen Größenordnung wie Rottweiler und Dobermann. Präparation und Auszählung wurden von verschiedenen Personen übernommen. Da bei der Zählung ohne jegliche Erwartungshaltung vorgegangen wurde, kann man aus der Dichteverteilung (**Abb. 38**) nur schwer Trends herauslesen. Um dies zu erleichtern wurde neben der Dichtekarte auch eine Prozentkarte angefertigt. 100% sind auf **Abb. 39** das Dichtemaximum der Verteilung Grünzapfen und liegt bei 7000 Rezeptoren pro mm^2 .

Auf beiden Karten lässt sich nach bekanntem Muster ein Dichtemaximum temporal der Papilla gut ausmachen. Zum Unterschied zu den anderen bisherig beschriebenen Retinae, ist die Area Centralis vertikal elongierter als horizontal und erstreckt sich somit zwischen 10 mm Höhe, aber nur 5 mm Breite. Das kann auch daran liegen, dass der Trend plötzlich unterbrochen wird, und es zu einer Zweiteilung des Dichtefelds kommt. Temporal liegt das Maximum bei nur 7000 Photorezeptoren pro mm^2 , der nasale Höchstwert ist mit 4500 noch niedriger. Eine Hufeisenform lässt sich nur schwer erahnen. Eher ist es wahrscheinlicher, dass die Area Centralis nicht unterbrochen wird, sondern sich flächig um die Papilla zieht. In der Hinsicht ist kein Visual Streak auszumachen. Ganz im Gegenteil, anstatt dass sich die Werte längs der horizontalen Mediane verdichten, scheint die Dichte entlang der Vertikale mit 4000 Photorezeptoren pro mm^2 relativ hoch. Ein inferior- superior Gefälle ist leicht gegeben: während superior in der Peripherie (vor allem längs der vertikalen Mediane) noch bis zu 80% des Dichtemaximums erreicht werden, sind es superior beim gleichen Abstand von der Papilla nur noch 60%. Der Border Collie ist ein typischer Herde- und Hütehund und seit dem Mittelalter in Nord- und Mitteleuropa weit verbreitet. Deshalb ist das Fehlen eines Visual Streak irritierend und wirft Fragen ob der Orientierung auf. Mit einem Maximum von 7000 Photorezeptoren ist die Retina nicht überzeugend. Bei den untersuchten Schäferhunden lag dieses bei 15000, bei den weiter unten angeführten brachycephalen Rassen sogar weit über 20000. Dies kann eventuell mit der Qualität der Retina oder dem Erfolg des Färbeverfahrens zusammenhängen.

4.2.5 Crested Chinese Powderpuff

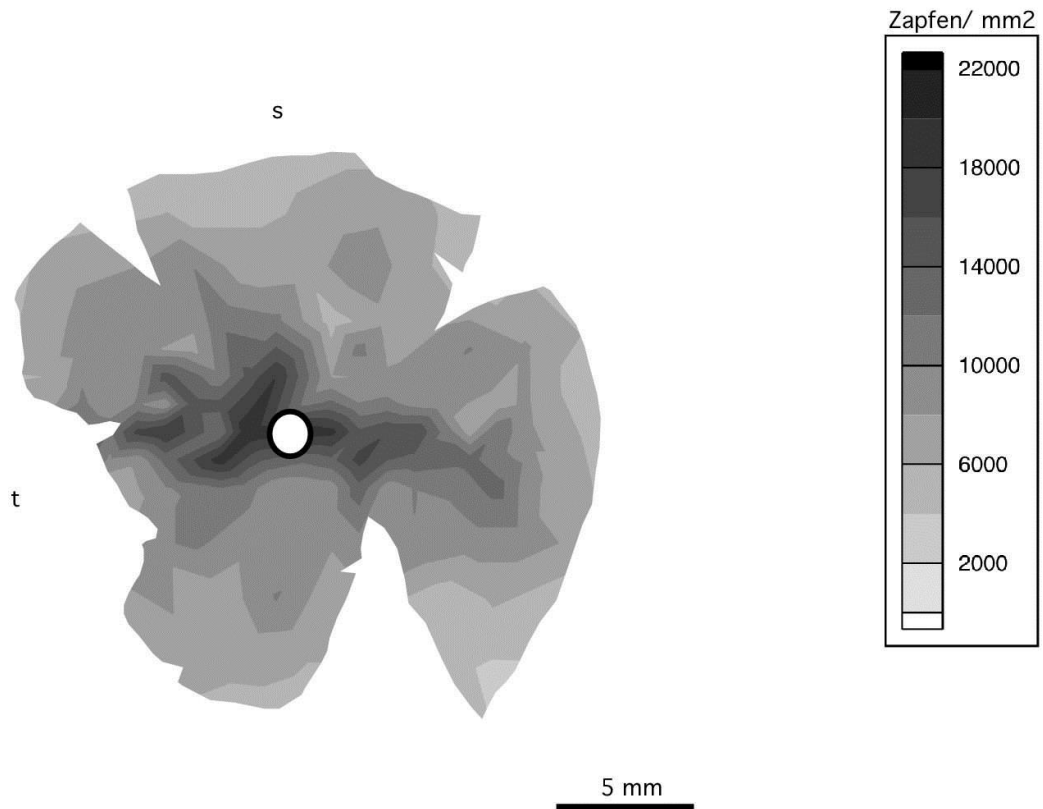


Abb. 40 Dichteverteilung der Grünzapfen bei Crested Chinese Powderpuff. Dabei orientieren sich die Dichtefelder nach der maximalen Dichte von 2200 Rezeptoren/ mm^2

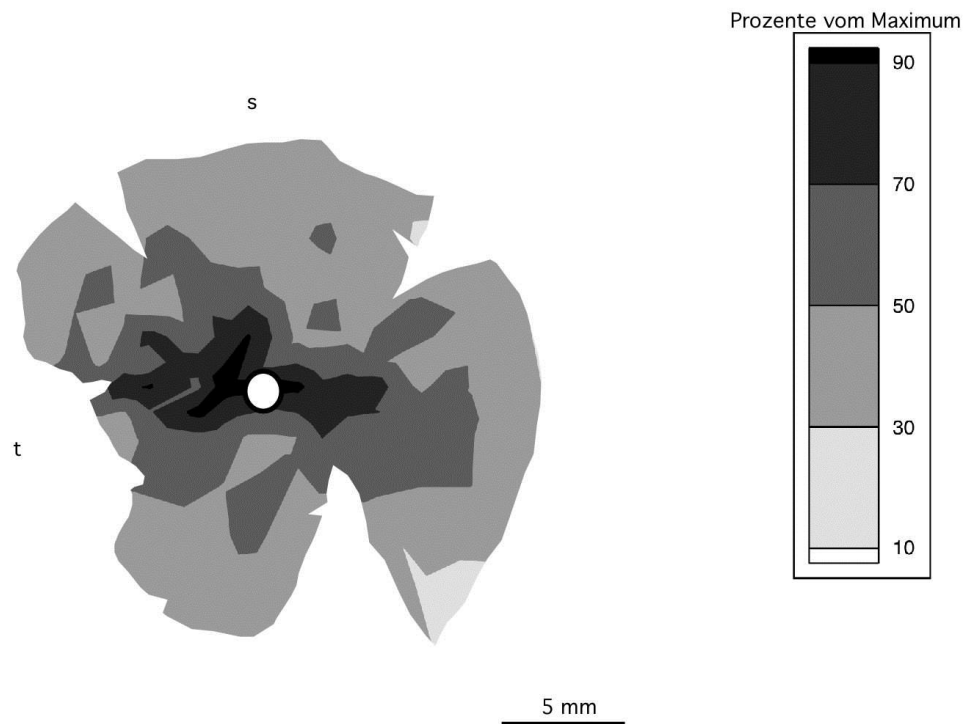


Abb. 41 Dichteverteilung der Grünzapfen bei Crested Chinese Powderpuff. Die maximale Dichte von 22000 Zapfen/ mm^2 wurde als 100% festgesetzt und die restliche Verteilung in 20% Schritten

Mit einem Durchmesser von 11 mm ist die Retina dieses Crested Chinese weitaus kleiner als die Retinae der Rassen, die in den vorgehenden Abschnitten besprochen wurden. Auch hier wurde neben der Dichtekarte (**Abb. 40**) eine Prozentkarte (**Abb. 41**) beigelegt, um Analyse und Interpretation zu erleichtern.

Vor allem die Prozentkarte zeigt, dass auch in der Peripherie die Photorezeptoren mit 60% noch relativ dicht stehen. Erwartungsgemäß liegt das Maximum mit 22000 Rezeptoren pro mm² temporal der Papilla. Die Area Centralis scheint die Papilla förmlich zu umschließen. Temporal und nasal der Area Centralis fallen noch weitere Peaks entlang der horizontalen Mediane und ergeben einen deutlichen Visual Streak, der im Unterschied zu dem von Wildcaniden (**Abb.32**) linear abfällt, sodass mit 6000-1000 Rezeptoren pro mm² die Auflösung auch in der Peripherie sehr hoch scheint. Ein deutliches inferio- superior Gefälle scheint es nicht zu geben. Eher noch scheinen, abgesehen vom Visual Streak, die Dichteflächen orbikular, mit Umrissen ähnlich der Area Centralis, nach außen abzunehmen.

4.2.6 Chihuahua

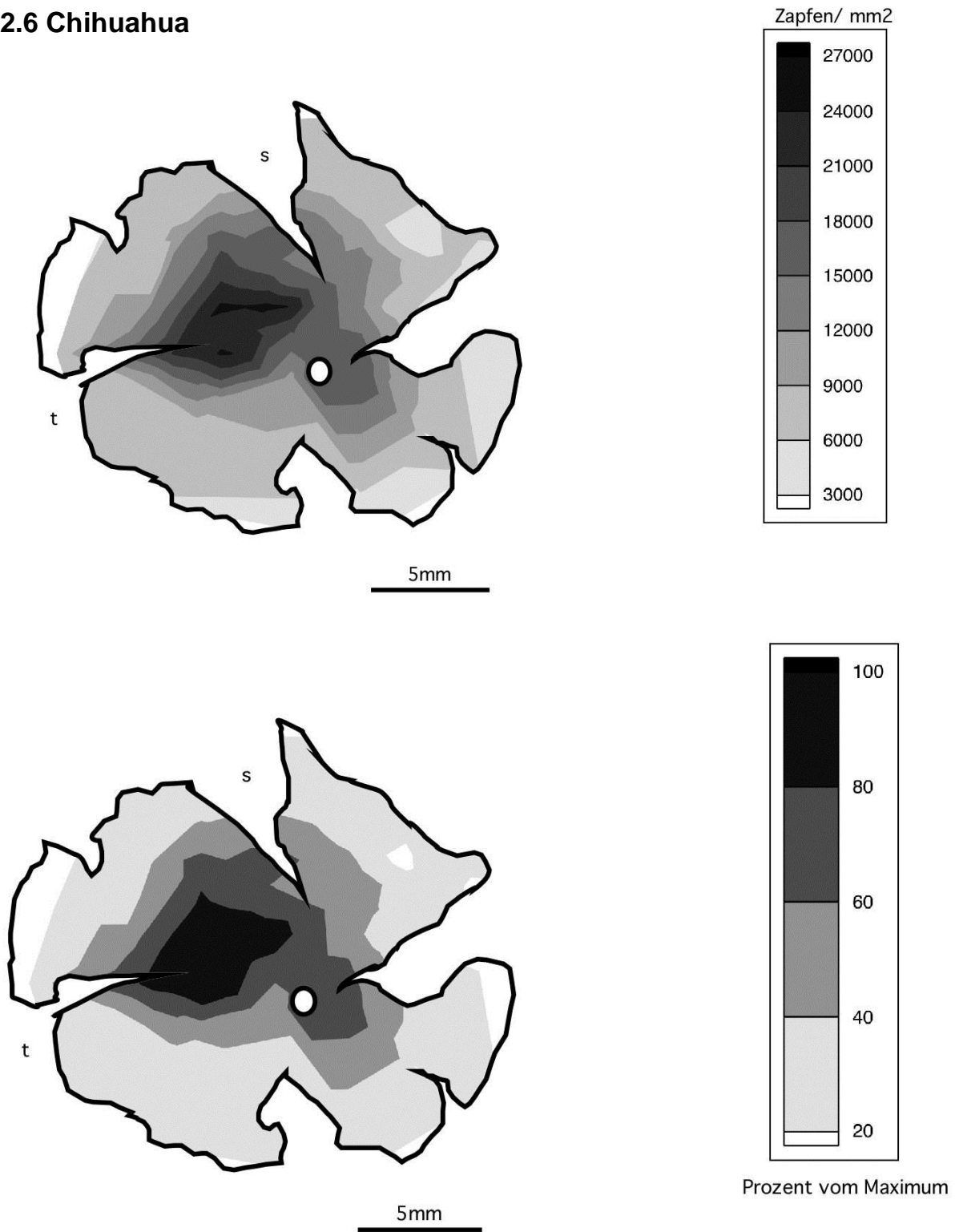


Abb. 42 Dichteverteilung der Grünzapfen beim Chihuahua. Dabei orientieren sich die Dichtefelder nach der maximalen Dichte von 2600 Rezeptoren/ mm²

In **Abb. 42** wird die Dichteverteilung der Grünrezeptoren beim Chihuahua deutlich durch eine Dichtekarte dargestellt. Auffallend ist das temporal liegende Maximum (26000 Rezeptoren pro mm²) nahe der Papilla, das mehr als viermal so hoch im Vergleich zum Border Collie ist. Das Maximum ist nicht wie bei meso- und dolichocephalen Rassen scharf abgegrenzt sondern geht graduell in die Peripherie über. Um das besser zu veranschaulichen ist eine schematische Prozentkarte beigelegt:

Die Area Centralis liegt zwar temporal, zieht sich aber über weite Teile der Retina. Ein Visual Streak ist nicht abgebildet, obgleich es einen Peak nasal inferior der Mediane gibt. Sowohl der Chihuahua als auch der Crested Chinese zählen zu den brachycephalen Rassen.

4.3 Vergleich der Ellipzität mittels Isodensity Lines

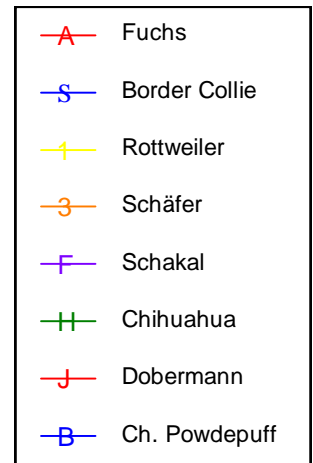
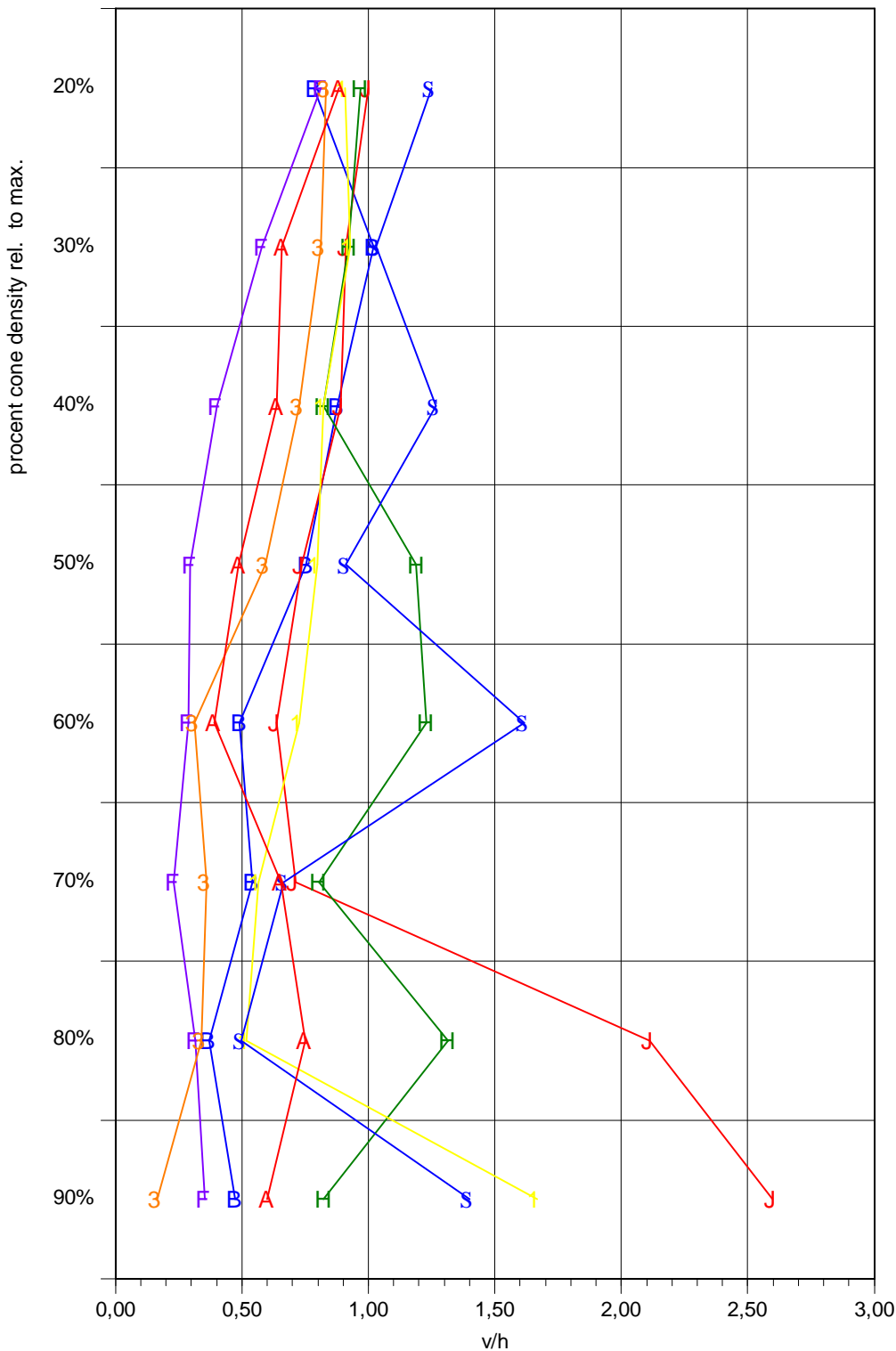


Abb. 44 Vergleich der Ellipzität der Isodensity Lines als Ausdruck eines elongierten Visual Streaks bei den verschiedenen Caniden. Auf der Y-Achse ist die prozentuelle Dichte angeführt, auf der X-Achse der Quotient aus vertikaler und horizontaler Ellipsenachse.

Die Isodensity Lines bieten die Möglichkeit die Retinae der behandelten Tiere zu vergleichen. Dabei werden mittels einer Graphiksoftware (Canvas 11) Ellipsen rund um die prozentuell dargestellten Dichtefelder gelegt. Anschließend wird der Quotient zwischen vertikaler und horizontaler Achse der Ellipse zu der jeweiligen Prozentverteilung errechnet. In **Tab. 2** sind die Faktoren der einzelnen Dichtefelder angeführt.

Je größer der Faktor, desto ausgeprägter die Vertikale Achse. Bei allen Tieren wurde eine Area Centralis ausgemacht.

Bei Dobermann und Rottweiler ist diese Achse sowohl laut Tabelle als auch laut Graphik sehr verlängert. Das kommt daher, dass es neben der temporalen Area Centralis auch ein nasales Maximum gibt, dazwischen spannt sich bei beiden Rassen deutlich sichtbar ein Visual Streak, der auch ablesbar ist.

Tab. 2 Vergleich der Faktoren der prozentuellen Dichtefelder bei verschiedenen Caniden.

	100%- 90%	90% - 80%	80% - 70%	70% - 60%	60% - 50%	50% - 40%	40% - 30%	30% - 20%
<i>Schakal</i>	0,35	0,31	0,23	0,29	0,3	0,4	0,58	0,81
<i>Fuchs</i>	0,6	0,75	0,65	0,39	0,49	0,64	0,66	0,88
Chihuahua	0,82	1,31	0,8	1,23	1,19	0,82	0,92	0,97
Schäfer	0,17	0,34	0,36	0,31	0,59	0,73	0,81	0,83
Rottweiler	1,67	0,52	0,56	0,73	0,8	0,82	0,93	0,91
Boder C.	1,4	0,5	0,67	1,62	0,91	1,27	1,03	1,25
Powderpuff	0,47	0,37	0,54	0,49	0,75	0,88	1,02	0,79
Dobermann	2,6	2,11	0,71	0,64	0,73	0,89	0,91	1

4.4 Helligkeitsinterpolation

Mit Hilfe eines Filters zu Helligkeitsinterpolation werden die Dichtekarten zu einer Weichzeichnung (**Abb. 45**), die den Vergleich erleichtert. Allen gemein ist die Ausprägung einer Area Centralis, die grundsätzlich temporal-superior zu finden ist.

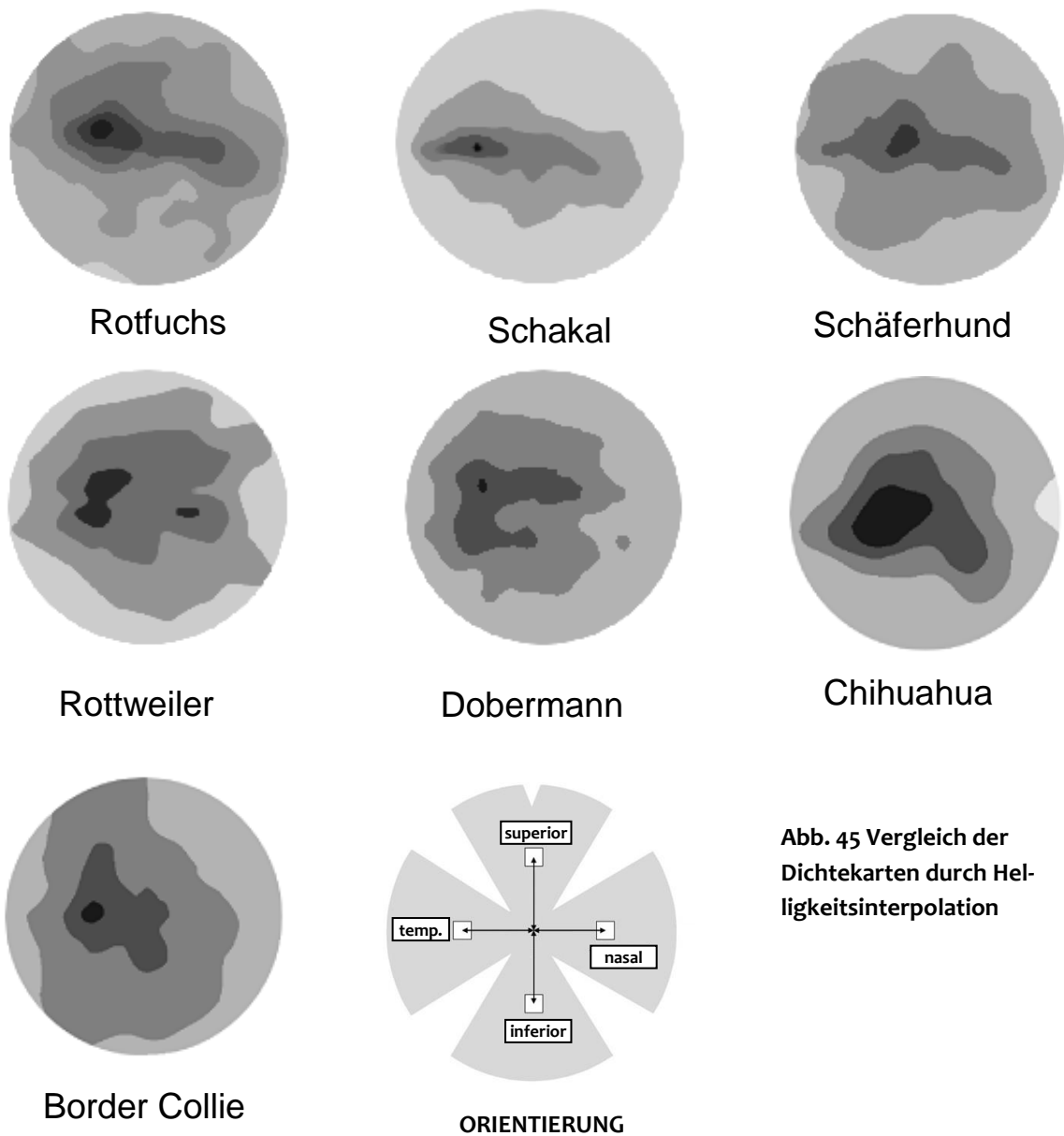


Abb. 45 Vergleich der Dichtekarten durch Helligkeitsinterpolation

5 DISKUSSION

5.1 Material

5.1.1 Auswahl

Der Haushund (*Canis lupus familiaris*) ist der älteste Begleiter des Menschen und lebte seit jeher in enger Beziehung mit diesem. Auch heute ist der Nachfahre des Wolfes mit knapp 600.000 Hunden in ganz Österreich und weltweit 500 Millionen Hunden ein häufiges Haustier.

Von diesen Zahlen ermutigt ist von einer großen Auswahl von Hunden ausgegangen worden. Schließlich werden für eine aussagekräftige Interpretation Vertreter verschiedener Hunderassen gebraucht und dies in einer repräsentativen Stückanzahl. Dennoch gestaltete sich gerade die Suche nach geeignetem Material besonders schwierig.

Die Beziehung Hund-Besitzer geht heute oft weit über die Nutzfunktionen hinaus und wird oft von einer starken emotionalen Bindung getragen. Hundebesitzer trauern ihrem ehemaligen Tierfreund nach, lassen ihn begraben oder einäschern. Es besteht sogar die Möglichkeit, aus der Asche einen künstlichen Diamanten unter hohem Druck produzieren zu lassen, um den verstorbenen Liebling als Ketten- oder Schlüsselanhänger immer bei sich zu tragen.

Auch war ich nicht auf die Reaktion von Züchtern vorbereitet, die, vor allem wenn es sich um seltene Rassen handelte, nicht bereit waren zu kooperieren. Abgesehen davon handelte es sich meistens bei den von ihnen angebotenen Exemplaren um Welpen oder Jungtiere, die einerseits nicht dem Zuchtstandards entsprachen, andererseits gerade deshalb und des Alters wegen für die hiesige spezielle Aufgabenstellung nicht dienlich waren.

Besonders problematisch hat sich die Suche nach langschnäuzigen Hunderassen gestaltet, die heute noch immer sehr selten in Österreich sind. Es wurden zwar einige dolichiocephale Hundeaugen von der Veterinärmedizinischen Universität Wien

zur Verfügung gestellt, meistens waren sie aber Mischlinge oder die Rasse war unbekannt.

Die Veterinärmedizinische Universität von Wien, Abteilung Pathologie, blieb weiterhin der Erstlieferant von Hundeaugen. Die häufigsten Rassen waren der Deutsche Schäferhund, Beagle, Labrador und Collie. Kurz- oder langschnäuzige Tiere waren Seltenheit.

Was die Wildcaniden betrifft, so wurden Augen von Rotfüchsen (*Vulpes vulpes*) von Jägern geliefert.

Schabrackenschakale (*Canis mesomelas*), die nicht heimisch sind, und Wölfe (*Canis lupus*) wurden über die Veterinärmedizinische Universität und von Zoogärten wie Givskudzoo (Dänemark) und Schönbrunn (Österreich) geliefert.

Vor allem die Suche nach geeigneten Wolfsaugen war sehr langwierig und letztlich ergebnislos, da die Qualität der Retinae nicht für die spätere immunhistochemischen Färbung brauchbar war. Vor allem Tiere, die durch einen Kopfschuss erlegt worden sind, wiesen große Hämatome an der Sclera und Verletzungen an der Retina auf. Oft waren diese Beeinträchtigungen und deren Folgen erst im Laufe des immunhistochemischen Färbeverfahrens oder gar erst unter dem Mikroskop sichtbar.

Zusammengefasst wurden im Rahmen dieser Arbeit mehr als 50 Retinae verschiedener wildlebender und domestizierter Caniden präpariert. Von diesen konnten nur rund vierzig markiert und gefärbt werden, wobei von diesen wiederum nur die Hälfte eine einzubettende Retina lieferte, die unter dem Mikroskop ausgezählt werden kann, um eine Dichtekarte der Photorezeptoren zu erstellen.

Im Weiteren soll ein wenig über weitere Faktoren in Bezug auf das Material eingegangen werden, wie Qualität der Retina, Fixierung und Fehler bei der immunhistochemischen Markierung.

5.1.2 Einflussfaktoren auf Ergebnisse

Abgesehen von der Auswahl verschiedener Hunderassen, war auch der Erhaltungszustand der Retina für die Ergebnisse von großer Bedeutung. Wurden die Bulbi nicht rechtzeitig oder schlecht fixiert, kam es später zu Rissen oder Lappungen bei

der Retina. Andererseits konnte zu schnelle Fixierung, gleich nach dem Ableben des Tieres, dazu führen, dass sich das Pigmentepithel nur schlecht oder fetzenweise löste.

Die Sektion und Präparation hing im großen Maße von der Qualität der Fixierung ab. War die Sclera zu weich, waren die Sektion und vor allem das Ablösen der einzelnen Augenhäute sehr schwierig. Fehlten Bindegewebe bzw. Muskulatur, vor allem M. obliquus inferior und M. obliquus superior, konnte die Orientierung nur schlecht, manchmal gar nicht, gefunden werden. Die größte Herausforderung stellte das Ablösen der Sclera und Choroidea rund um den Nervus opticus dar, ohne dabei die Netzhaut zu verletzen oder gar einzureißen. Schließlich befindet sich bei vielen Tieren die Area Centralis in unmittelbarer Nähe zur Papilla. War die Retina sehr fragil, konnte man sie nur schwer von den Resten des Glaskörpers oder Teile des Pigmentepithels säubern. Beim Entfernen des Pigmentepithels konnten versehentlich auch Außensegmente von Photorezeptoren zerstört werden.

Die schlechte Fixierung wirkte sich dahingehend auf die Qualität der Retina aus, dass das Gewebe wellig war und sich immer wieder Risse ergaben. Außerdem erschwerte es die Markierung der Außensegmente, die das Zählen unter dem Mikroskop erheblich erleichterten. Blutgefäße, die der Orientierung dienen könnten, waren in so einem Fall schwer auszumachen. Auch beim Eindecken war in so einem Fall die Gefahr hoch, die Retina zu verletzen.

Dass weniger als die Hälfte der präparierten Retinae eine klare Markierung aufweisen, geht sicher auch auf Fehler bei der immunhistochemischen Markierung und Färbung zurück. Der Färbeprozess besteht aus vielen kleinen Einzelprozessen wie das Auftragen des Primären und Sekundären Antikörpers, oder die Bearbeitung mit dem Chromogen. Ein einziger Fehler in einem der histochemischen Zwischenschritte, konnte die ganze Retina unbrauchbar machen. Vor allem ist es wichtig, die richtigen Verdünnungen und Mengen abzustimmen und die zu einhaltenden Zeitspannen, besonders bei der Inkubation mit 3,3 DAB zu beachten. Außerdem darf die Retina nicht trocken gelegt werden.

Der Einfluss der Qualität der Präparate auf die Aussagekraft des Materials lässt sich sehr gut am Einzelpräparat vom Border Collie zeigen:

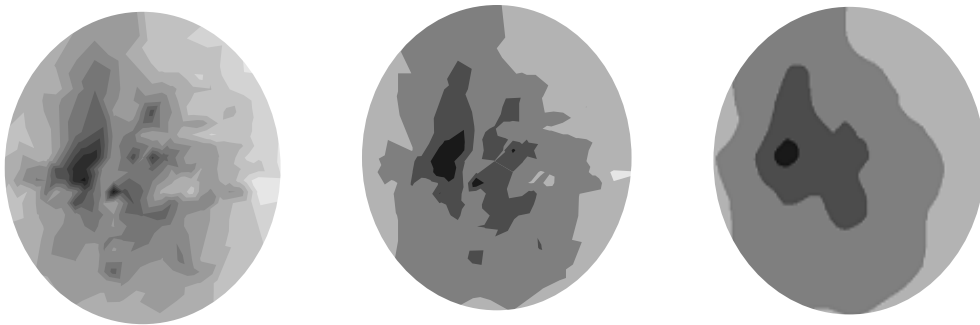


Abb. 54 Verschiedene Darstellungsformen der Dichteverteilung beim Border Collie.

Die erste Darstellungsform (li) führt noch 14 Dichtestufen, bei der zweiten (mitte) sind die Sprünge größer, es sind nur noch acht Stufen, bei der letzten Darstellung (re) sind es durch die Helligkeitsinterpolation nur noch vier.

Bei der detaillierten Darstellung (**Abb. 54 links**) lassen sich Unregelmäßigkeiten rund um die Papilla ausmachen. Hier wurde das Gewebe histochemischen nur schwach markiert, andererseits behinderten Risse in der Retina die Zählarbeit. Diese Unterbrechung sieht man noch deutlicher bei der Reduktion der Dichtestufen bei der mittleren Darstellung (**Abb. 54 mitte**) . Mit größter Wahrscheinlichkeit dominiert eine Area Centralis im temporalen Feld und ein Visual Streak ist flach ausgebildet. Legt man aber den Filter zu Helligkeitsinterpolation an (**Abb. 54 rechts**) , verschwinden diese Unregelmäßigkeiten und lassen den Betrachter im Irrglauben zurück, dass der Border Collie, anders als alle anderen Rassen, eine Dichteerweiterung die nicht in der Mediane liegt sondern sich entlang der inferior-superior Achse als Streak ausbildet und in seiner Ausprägung einer Area Centralis den brachycephalen Arten entspricht.

Deshalb stellt sich bei der Interpretation immer die Frage auf welche Darstellungsform man sich bezieht und wie ausschlaggebend diese für die gesamte Rasse ist- besonders wenn man nur von nur einer einzigen Retina ausgeht.

5.2 Interpretation

Im Zuge dieser Arbeit wurde die Dichteverteilung, primär von den Grünzapfen, in der Retina von Caniden im Vergleich zu ihrer Schnauzenlänge betrachtet. Nach der Auswertung der Ergebnisse sollte betont werden, dass neben diesem morphologischen Merkmal weitere Kriterien eine wichtige Rolle bei den präsentierten Werten spielen. So deckten sich keineswegs die Dichtemuster bei allen mesocephalen Rassen wie am Beispiel des Border Collies und des Schäferhundes zu sehen ist.

Das Ziel der Arbeit war es, eventuelle Trends in der Verteilung zu finden und zu beschreiben. Wie aber in weiterer Folge sichtbar wird, kann ein einzelnes Individuum nicht genügen um allgemeingültige Aussagen für Art oder Rasse zu treffen.

Es spielt nicht nur die Anatomie eine besondere Rolle. Jede Hunderasse hat eine spezifische Zuchtgeschichte, die bei jüngeren Rassen wie beim Dobermann klarer und lückenloser ist als beim Chihuahua, der eine lange Vergangenheit hat.

Anatomie und Genealogie decken sich nicht immer: das zeigt sich vor allem beim Dobermann, der viele verschiedene Einschläge und Rückkreuzungen im Rahmen der Zucht vorweist. Es ist schwer zu sagen, von welchem seiner genetischen Vorfahren er nun die retinale Beschaffenheit hat. Das zeigt sich genauso beim Schäferhund, der zwar wolfsähnlich wirkt, aber bei der Verteilung der Grünzapfen auch viele Gemeinsamkeiten mit brachycephalen Rassen hat. Schließlich kommt es bei Schäferhunden zu keiner scharfen Abgrenzung eines Visual Streaks, und die Dichte fällt in Richtung Peripherie eher linear und weniger scharf ab.

Neben der Genealogie ist auch der ursprüngliche Gebrauch der Hunderasse als Herde-, Arbeits- oder Schoßhund ein möglicherweise prägendes Merkmal. Bis in die Neuzeit waren Hunde wichtige Helfer auf dem Weide- und Kriegsfeld. Schließlich wurden sie von modernen Geräten (Alarmsystem) und Waffen abgelöst. Dennoch lebt die Vergangenheit in ihnen weiter. Ein Border Collie ist ein typischer Herdehund und zeigt sowohl in seiner generellen Anatomie als auch im Verhalten diesbezüglich klare Zeichen.

Wie gesagt, die alten Hunderassen wurden vor ungefähr 150 Jahren vermehrt von der Moderne abgelöst. Die Zucht suchte sich neue Ziele: es waren die äußere Erscheinung und das Verhalten, das nun im Vordergrund stand. Heute achten Züchter

von Familienhunden auf andere Qualitäten als die von Polizeihunden. Das muss nicht unbedingt mit der Anatomie zusammenhängen. Die Frage bleibt auch hier offen, ob diese rezenten „Selektionsfaktoren“ bereits ihren Niederschlag in der retinalen Topographie finden.

Neben der kranialen Anatomie ist auch die äußere Morphologie des Schädels wichtig. Ebenso hat die Beschaffenheit und die Form des Fells in diesen Bereich Auswirkung auf die Sicht: so haben wir einen Chinese Crested Powderpuff in der Auswahl, der durch einen Fellvorhang vor den Augen auffällt. Klarerweise muss auch diese Behinderung der Sicht eine Auswirkung auf die Retina und die optische Abstimmung haben. Die Frage die sich stellt: Seit wie vielen Generation muss so ein Merkmal getragen werden, um sich schon genotypisch bemerkbar zu machen.

Zusätzlich zu den genannten Faktoren spielt das Habitat eine entscheidende Rolle in der Ausprägung bestimmter Merkmale. **Tab. 1.** zeigt besonders anschaulich die Wechselwirkung von Auflösungsvermögen und Habitat. Während der Chihuahua als Zwergrasse in einem strukturierten Umfeld in menschlicher Nähe wohnt, verbringen Hütehunde, wie es der Border Collie ist, den Großteil ihrer Zeit im Freien. Letztere werden so gezüchtet, dass sie helfen, die verstreute Herde immer im Auge zu behalten. Ihre Umwelt ist weniger strukturiert. Die horizontale Sichtebeine ist von Bedeutung.

Der Chihuahua, wie auch der Fuchs leben hingegen in einem Habitat, dass sich in mehrere Ebenen teilen lässt. Hier spielt auch die Vertikale eine Rolle und dies lässt sich vor allem auch in der Erweiterung superior-inferior Achse der Area centralis erkennen.

Zusammengefasst: die Interpretation der Dichtekarten einzig und allein in Beziehung zur Anatomie wäre sehr eingeschränkt. Vor allem der Hund, der sowohl auf genealogischer, verhaltensbiologischer und morphologischer Ebene eine nicht dagewesene Vielfalt zeigt, sollte allumfassend betrachtet werden. In diesem Sinne wird in den folgenden Abschnitten trotz des beschränkten Materials versucht, diese Faktoren herauszuarbeiten und durch Vergleich von Körperbau, Lebensweise und Zuchtgeschichte zu möglichen Trends zu kommen.

5.3 Topographie der langwelligen Photorezeptoren bei Wildcaniden

5.3.1 Grauwolf (*Canis lupus*)

Der Haushund (*Canis lupus familiaris*) ist ein domestizierter Nachfolger des Grauwolfes. Im Rahmen dieser Arbeit kam es leider nicht zur Präparation und Auswertung von Wolfsretinae, da einerseits das Material gefehlt hat, andererseits, das vorhandene Material schlecht fixiert wurde.

Um dennoch einen Vergleichswert Hund-Wolf zu haben, nehmen wir hier Bezug auf die Erforschung der Ganglienzellen in der Wolfretina. In der Entwicklung der Retina werden Ganglienzellen und Grünzapfen schon früh gleichzeitig angelegt und haben eine ähnliche Verteilung. (HARZMANN, 1989). Stäbchen kommen erst, beginnend beim Zentrum der Retina schrittweise in Richtung Peripherie, später dazu. In diesem Sinne spiegelt die Zapfenverteilung die der Ganglienzellen wider und umgekehrt. In der Arbeit von PEICHL, 1992, wurden Wholemounts von der Wolfretina angefertigt und mit Cresyl Violet gefärbt um die Ganglienzellen in der Retina des Wolfes sichtbar zu machen.

Wie in **Abb. 46** sichtbar befindet sich das Dichtemaximum auch beim Wolf temporal-superior zur Papilla gelegen. Im Vergleich zu dem Haushund ist das Dichtemaximum auffällig horizontal elongiert und verläuft parallel zur Mediane. Der Visual Streak ist gegenüber der Peripherie stärker abgegrenzt. Damit liefert der Wolf, sofern man die Dichteverteilung der Ganglienzellen mit der der Zapfen vergleichen kann, eine ähnliche Verteilung wie bei Rotfüchsen und bei Schabrackenschakalen (**Abb. 47**).

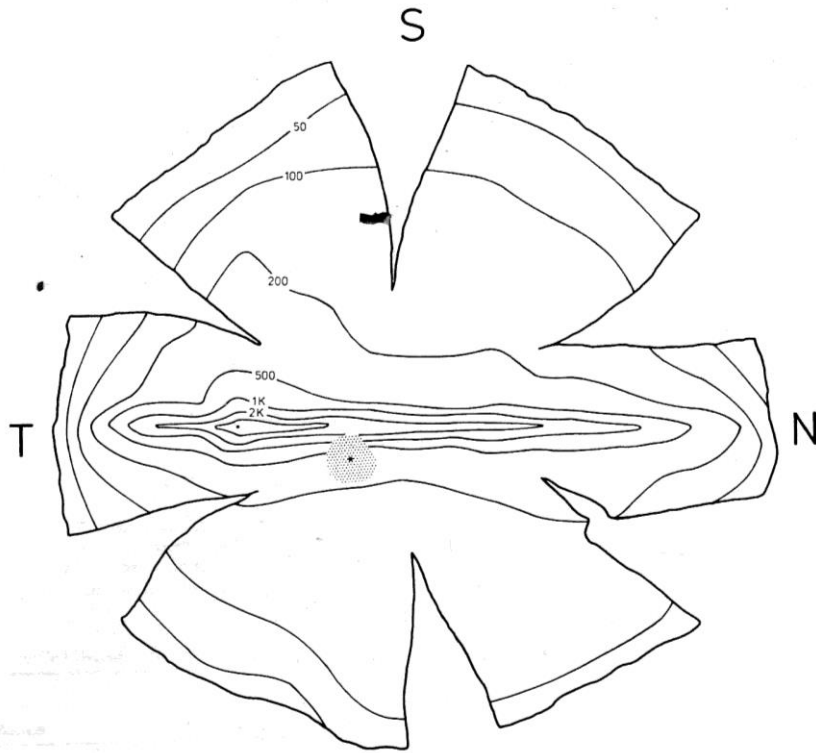


Abb. 46 Dichteverteilung der Ganglienzellen in einer linken Wolfsretina.

(S.: superior; T.: temporal; N.: nasal)

(PEICHL, 1992)

5.3.2 Vergleich Wildcanidae

Beim Vergleich der Dichteverteilung von langwelligen Rezeptoren von Schabrackenschakal (*Canis mesomales*) und Rotfuchs (*Vulpes vulpes*) gibt es viele Ähnlichkeiten.

Beide haben eine Area Centralis temporal der Papille, wobei sie beim Schakal ausgeprägter ist und weiter in die temporale Peripherie reicht. Auch der Visual Streak ist deckungsgleich mit einem Peak nasal der Papilla und einer Verdichtung längs der horizontalen Mediane. Auch hier zeigt der Schakal beim nasalen Peak eine schärfere Abgrenzung. Auch das inferior- superior Gefälle fällt bei beiden Spezies zugunsten der superioren Hemisphäre aus, die eine dichtere Verteilung von Grünzapfen aufweist. Teilweise ist dieses Gefälle viel deutlicher als beim Haushund.

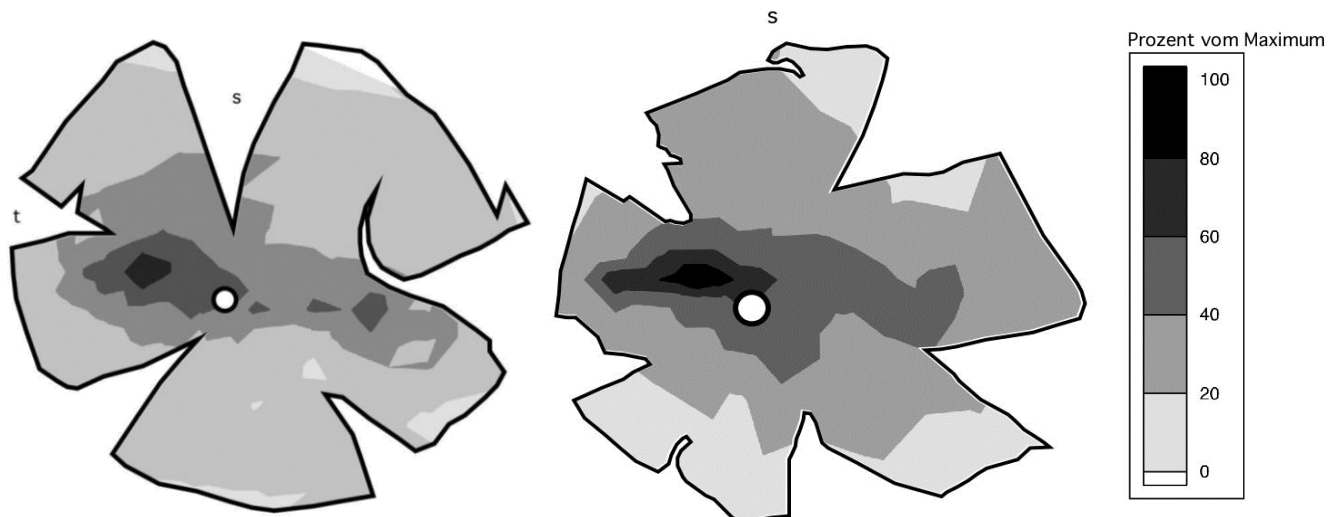


Abb. 47 Vergleich der Dichteverteilung der langwelligen Photorezeptoren bei Wildcaniden in Prozenten (20% Schritte). Rechts der Schabrackenschakal (*Canis mesomales*) links Rotfuchs (*Vulpes vulpes*)

Die Area Centralis ist wichtig für das binokulare Sehen, der Visual Streak hingegen für die Orientierung in weiten, offenen Flächen. Letzteres ist besonders für den Schabrackenschakal wichtig, der größtenteils in offenen Habitaten wie der Steppe lebt. Die superior Verdichtung der Zapfenverteilung lässt sich dadurch erklären, dass Caniden weniger auf Beute oder gar Jäger aus der Luft angewiesen sind. Für Rot-

fuchs und Schabrackenschakal, beides Allesfresser und Nahrungsopportunisten spielt die Nahrungssuche am Boden vor der Nase eine natürliche Rolle. Dazu kommt, dass Schabrackenschakale und fuchsartige Caniden vergleichbare Jagdweisen haben. Denn neben der seltenen Hetzjagd, wird die Nahrung, bestehend aus Mäusen, Eidechsen und allem leicht zu Erbeutendem, ähnlich dem Rotfuchs angesprungen. Dabei läuft der Schakal erst, die Augen, Ohren und Nase zum Boden gerichtet, aufmerksam hin und her. Sobald er eine Beute ortet, pirscht er sich zu ihr heran. Der Körper wird angespannt, plötzlich springt der Jäger mit gekrümmtem Rücken fast einen Meter nach oben, stößt dann, mit der Schnauze voran, steil nach unten und packt die Beute blitzschnell mit den Zähnen und verschluckt diese. Ähnlich dem Fuchs sind die Ohren weit aufgerichtet.

Neben dieser Art des Jagens kennt der Schabrackenschakal auch die Hetzjagd im Rudel, oft folgen sie auch nur dem Löwenrudel und warten bis die Jäger fertig sind um sich auch dann von der Beute zu ernähren.

Ähnlichkeiten in der Lebensweise und im Jagdverhalten zeigen sich somit nicht nur in äußere Gestalt sondern auch in der Verteilung der retinalen Zellen. Verglichen dazu hat sich beim Wolf, dessen Beute oft groß und wehrhaft ist, die Hetzjagd im Rudel bewährt. Hier sind die Orientierung im Gelände und die Wahrnehmung von schnellen Bewegungen in der Peripherie wichtig, um rechtzeitig zu reagieren. Die Retina weist bei der Untersuchung der Ganglienzellen somit einen sehr scharf abgrenzbaren Visual Streak auf, die Area Centralis hingegen ist verglichen mit seinen besprochenen Verwandten in den Streak integriert.

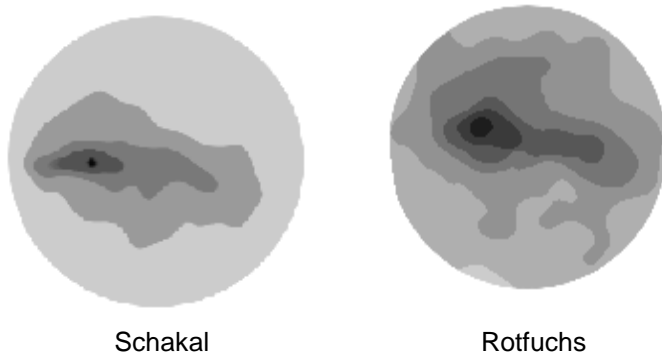


Abb. 48 Dichtevergleich von langwelligeren Photorezeptoren bei Schakalen (*Canis mesomales*) und Rotfüchsen (*Vulpes vulpes*).

Der Schakal (li) als Hetzjäger hat ein abgrenzbaren Visual Streak, wohingegen beim hemi-forestalen Fuchs (re) ein flacherer dorso-ventraler Dichteabfall erkennbar ist.

Schabrakenschakal und Rotfuchs sind Nahrungsoportunisten, Allesfresser, die sich auf jegliche, kleine, leicht zu erbeutende Beute stürzen. Hier ist die Area centralis, verglichen mit dem Wolf, besser ausgebildet (**Abb. 48**). Je dichter die Zellverteilung um das Zentrum der Area Centralis, desto besser die fixationsrelevante Auflösung. Schließlich spielt sich der Hauptteil der Jagd vor der eigenen Schnauze ab.

5.4 Haushund (*Canis lupus familiaris*)

5.4.1. Korrelation zwischen Schädelgröße und Augengröße

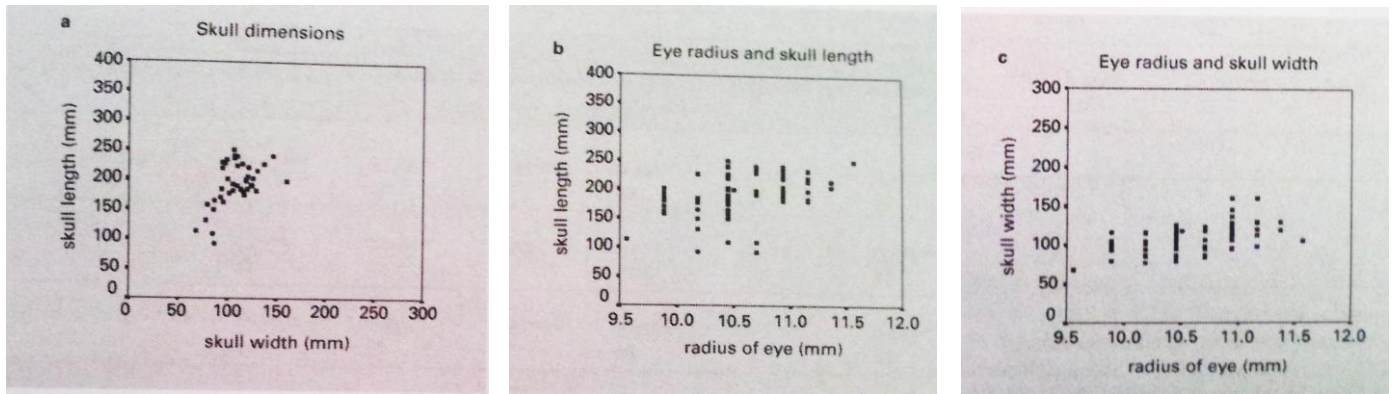


Abb. 49 Korrelation zwischen Schädelmaßen und Augengröße. Während in der rechten Graphik die Schädelbreite in Korrelation mit dem Augenradius gesetzt wird, wird in der mittleren Graphik die Schädelgröße mit dem Augenradius verglichen. Ganz links findet man eine Gegenüberstellung von Schädelgröße zu Schädelbreite. (MCGREEVY, 2004)

Wie in der **Abb. 49** sichtbar, gibt es vor allem in der Verteilung der Schädelgröße eine breite Streuung von 70mm bis zu 280mm. Bei der Breite hingegen konzentriert sich der Durchschnitt zwischen 80mm und 150mm.

Verglichen mit der Schädelgröße gibt es eine kleinere Streuung in der Messung des Durchmessers des Bulbus oculi. Der Augendurchmesser lässt sich in einem Bereich von 9,56 und 11,57mm eingrenzen. In der Arbeit von McGreevy (2004) zeigt sich deutlich, dass der Augendurchmesser mit der Schädelbreite ($r=0,573$, $p<0,001$, $n=81$) und der Schädelgröße ($r=0,470$, $p<0,001$, $n=81$) stärker korreliert als mit dem Cephalic Index. (MCGREEVY, 2004).

Diese Korrelation von Schädelmaßen und Augendurchmesser ist sowohl für die Verteilung der Photorezeptoren als auch für die der Ganglienzellen von Bedeutung. So stellt MCGREEVY (2004) einen Zusammenhang zwischen der Gesamtzahl der Ganglienzellen und den Schädelmaßen dar. Auch wenn die begrenzte Zahl von Präparaten keine Verallgemeinerungen hier zulässt, kann die Tendenz zu konzentrischen Organisationen der Dichtemaxima wie zum Beispiel beim kurzschnäuzigen Chihuahua beobachtet werden.

5.4.2. Trends

A. Area Centralis

Verglichen mit seinem wildlebenden Ahnen, dem Grauwolf, weisen alle untersuchten Hunderassen eine ausgedehntere Area Centralis auf. Je kürzer die Schnauze (siehe Chihuahua **Abb. 42**), desto ausgeprägter ist diese, aber selbst bei den untersuchten Rassen mit längerer Schnauze (siehe Dobermann **Abb. 37**) ist diese vorhanden. Die Position der Area Centralis haben die Hunde mit ihren wildlebenden Verwandten gemein: die Area Centralis liegt temporal, in unmittelbarer Nähe zur Papilla meist superior, selten inferior oder die Papilla umschließend. Wie schon erwähnt ändert sich mit den Schädelmaßen nicht nur die Dichteverteilung sondern auch die Größe der Augen. Auch die Zahl der Photorezeptoren pro mm^2 scheint bei kleineren Tieren deutlich höher: der Border Collie weist ein Maximum von 7000 Grünzapfen pro mm^2 , wohingegen beim Chihuahua der Höchstwert bei 26000 Grünzapfen pro mm^2 liegt.

Hunderassen mit einer ausgedehnten Area Centralis sind auch jene mit kürzerer Schnauze. Oft gehören diese zu den Zwergrassen und werden als Schoßhunde gehalten. Für diese Verwendung als Familienhunden gibt es in Bezug auf die auffallend gestaltete Area Centralis zwei Ansätze:



Abb. 50 Gegenüberstellung von Chihuahua (li) und Schäferhund (re). Während der Chihuahua eine in die Peripherie hin orbikular erweiterte Area Centralis besitzt, erkennt man beim Schäferhund einen horizontal elongierten Visual Streak

Andererseits sehen Hunde mit kurzer Schnauze und einer großen Area Centralis die Welt rund um sie ganz anders, als etwa Dobermann, die mit ihrer längeren Schnauze auch einen Visual Streak vorweisen. Dadurch, dass sich die Dichteleistung bei der Area Centralis zentriert, werden Stimuli aus der Peripherie schwächer wahrgenommen. Dazu kommt, dass die Auflösung bei max. 26.000 Rezeptoren/ mm² beim Chihuahua verglichen mit den 15.000 Rezeptoren/ mm² beim Schäferhund oder gar 7000 Rezeptoren/ mm² bei dem hier bearbeiteten Border Collie um ein Vielfaches höher ist. Wie in **Tab. 1.** zu sehen, ist das Verhältnis der Retinaflächen von Chihuahua und Border Collie fast 1:2, während das Dichteverhältnis umgekehrt fast 4:1 steht.

Abgesehen davon bekommen sie durch die hohe Auflösung in der Area Centralis mehr Information über ihre direkte Umwelt. Ihr soziales Verhalten ist stärker ausgeprägt als bei Herde- und Arbeitshunden. Dies qualifiziert sie als Schoßhunde.

Eine mögliche Erklärung für die besondere retinale Topographie bei Zwergrassen ist Pädomorphie. Pädomorphie bedeutet, dass Merkmale der frühen Entwicklungsstadien (Juvenilstadien) eines Vorfahrens im Erwachsenenstadium (Adultstadium) eines Nachfahrens auftreten. Eine Form der Pädomorphose ist die Neotenie, bei der sich die Ausbildung eines Adultmerkmals verzögert. Pädomorphe Effekte dürften als Zuchtziel bei manchen Rassen eine Rolle gespielt haben. Denn Hunde mit kurzer Schnauze empfinden wir als menschähnlicher (Kindchenschema).

Ontogenetisch betrachtet besteht die Möglichkeit, dass die konzentrische Form der juvenilen Tiere konserviert wird. Eine andere Erklärung bietet die kürzere Schnauzenlänge. Durch die kurze Schnauze wird das Gesichtsfeld freier und erlaubt so die Erschließung jener Sektoren, die vorher von der Schnauze verdeckt wurden.

B. Visual Streak

Sowohl bei den Wildcaniden als auch bei Haushunden mit mesocephaler, bzw. dolichocephaler, Kopfform kommt es zur Ausbildung eines Visual Streaks. Alle gemein haben sie den nasalen Peak, meistens auf der Höhe der horizontalen Mediane. Der Streak spannt sich zwischen der Area und dem nasalen Höchstpunkt, der gleichzeitig auch Grenze für den Visual Streak ist. Dabei muss beachtet werden, dass verglichen mit der Area Centralis, die einen konzentrischen Gradienten um ihr zentrales Maximum aufweist, der Visual Streak das hohe Auflösungsvermögen horizontal in die Peripherie mitzieht. Somit sind diese Tiere auch empfänglicher für Reize aus der Peripherie, vor allem auf horizontaler Ebene. Das begünstigt im Endeffekt die Sicht in offenen Biotopen entlang des Horizontes.

Die Höhe des Visual Streaks im Vergleich zur Mediane hängt von der Körperhaltung und damit Arbeitsweise des Tieres ab. Beim Dobermann (**Abb. 37**) liegt der Visual Streak superior der Mediane. Dies hängt wahrscheinlich mit der Größe der Tiere zusammen, denn je größer der Abstand zwischen Auge und Untergrund, desto gesenkter die Kopfhaltung.

C. Position zur Mediane

Bei der Untersuchung der Topographie der retinalen Rezeptorverteilung ist es wichtig auch die Position des Visual Streaks bzw. der Area Centralis im Verhältnis zur Mediane zu vergleichen. (**Abb. 51**). Dabei sieht man vor allem beim Dobermann eine starke Verdichtung rund um die Area Centralis, die sich inferior in die Mediane als Visual Streak erweitert aber auch superior von der Area Centralis vor allem in der temporalen Region ähnlich eines Streaks erweitert. Interessant ist in diesem Zusammenhang auch der Rasseneintrag in der *Fédération Cynologique Internationale* von 1994, wo tiefliegende Augen zu einem Rassenkennzeichen des Dobermanns erhoben werden.

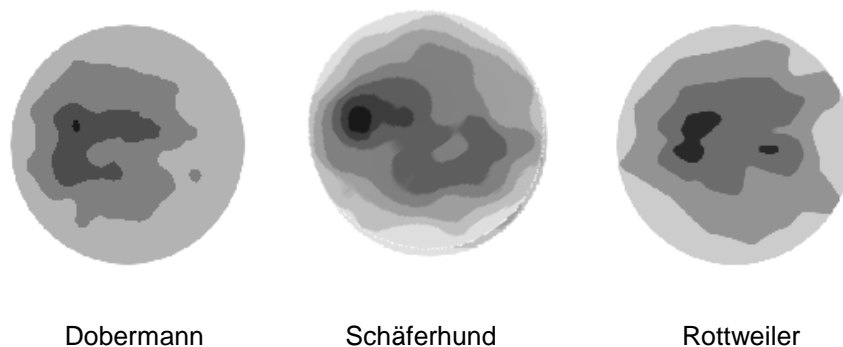


Abb. 51 Gegenüberstellung von Dobermann (li) und Schäferhund (mitte) und Rottweiler (re). Die Ausprägung eines Hufeisenmusters der maximalen Dichteverteilung ist sichtbar.

Eine eindeutige Erklärung für diese phänotypische Ausprägung lässt sich nur schwer finden, da der Dobermann an sich eine Mischrasse ist. Die bedeutendste Rolle bei der Bildung der Dobermannrasse spielten sicherlich die sogenannten "Fleischerhunde" die unter den damaligen Verhältnissen schon als eine relativ durchgezüchtete "Rasse" angesehen werden konnten. Diese Hunde waren eine Art Vorläufer der heutigen Rottweiler vermischt mit einer Art Schäferhund, der in Thüringen in schwarz mit rostroten Abzeichen vorhanden war. Mit der hier aufgezählten Mischung von Hunden hat Dobermann in den 70er Jahren des 19 Jahrhunderts gezüchtet. In so einem Fall ist es schwer zu sagen, woher die genetischen Voraussetzungen für diese phänotypische Ausprägung kommen. Einerseits könnte es sich um ein Erbe aus der Vergangenheit als Schäferhund oder Rottweiler sein, andererseits könnte es das Ergebnis einer Kombination mehrerer Erbgutsätze.

5.4.3 Ellipzität der Isodensity Lines

Auch die Ellipzität der Isodensity Lines deuten bei mesocephalen Rassen auf einen Visual Streak hin. Bei Dobermann und Rottweiler, **Abb. 52**, ist diese Achse laut Graphik sehr verlängert. Das kommt daher, dass es neben der temporalen Area Centralis auch ein nasales Maximum gibt, dazwischen spannt sich bei beiden Rassen deutlich sichtbar ein Visual Streak, der auch ablesbar ist.

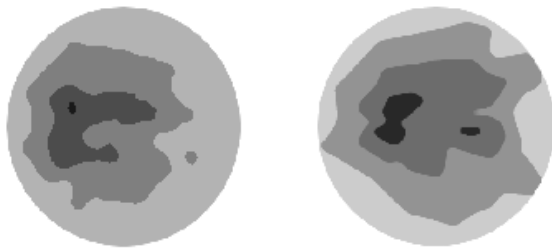


Abb. 52 Gegenüberstellung von Dobermann (li) und Rottweiler (re).

5.4.4 Retinaler Rassenvergleich bei domestizierten Caniden

Im Am Vergleich der beiden Individuen der Rasse „Schäferhund“ (**Abb. 53**) wird deutlich, dass die Ergebnisse immer sehr individuell sind. Sie dürfen nicht als absolut rassentypisch gewertet werden. So zeigt der „Schäferhund (1)“ eine fast schon überspitzt typische Ausprägung eines Visual Streaks und erinnert in dieser Hinsicht sehr stark an seinen wilden Verwandten, den Schakal. Das andere Individuum, „Schäferhund (2)“, zeigt hingegen einen leichten Trend zum Hufeisenmuster, wenn auch die Area Centralis stärker inferior ausgeprägt ist. Dabei ähnelt es stark brachycephalen Rassen.

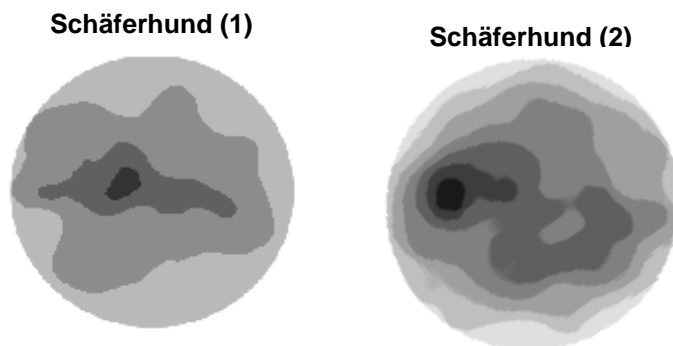


Abb. 53 Gegenüberstellung von zwei Individuen der Rasse German Shepherd. Hier als Schäferhund (1) und Schäferhund (2) bezeichnet.

Beim Schäferhund (1) lassen sich wiederum Parallelen zu den bereits genannten Untersuchungen von PEICHL, 1992, erkennen. Wie in **Abb. 35B** ist auch hier ein deutlicher Visual Streak erkennbar. Temporal zur Papille ist das Maximum vor allem auch dorsal erweitert,

5.5. Weiterführende Forschungsansätze

Da sich mangels quantitativer Aussagekraft topographische Trends innerhalb der Canidengattung nur ansatzweise beschreiben ließen, ist das Forschungsfeld retinaler Topographie beim Vergleich von Wildcaniden und Hunderassen bei weitem noch nicht ausgeschöpft und bietet viele Ansätze für neue Untersuchungen.

Hierbei sollte immer beachtet werden, dass sich phänotypische Merkmale in der Geschichte der Evolution und Domestikation von Arten von vielen Faktoren beeinflusst werden können. Argumente die sich nur auf die diachrone Betrachtung der Zuchtgeschichte, nur auf Schädelmorphologie oder nur auf die Verhaltensbiologie der untersuchten Tiere beschränken sind vor allem im quantitativen Vergleich nicht immer haltbar.

In der weiteren Fortsetzung dieser Forschungsarbeit wäre eine intraspezifische Untersuchung an genügend Vertretern innerhalb standardisierter Rasse interessant. Außerdem wäre eine Materialaufteilung aufgrund des Alters für die Untersuchung der embryonalen, juvenilen und adulten retinalen Topographie hilfreich, um auch hier die ontogenetische Entwicklung für die wichtigsten Hunderassen zu untersuchen.

6 LITERATURVERZEICHNIS

- Ahnelt, P. K. and H. Kolb** (2000). The mammalian photoreceptor mosaic-adaptive design. *Prog Retin Eye Res* 19(6): 711-777.
- Ahnelt, P. K. et al** (2005). Independent variation of retinal S and M cone photoreceptor topographies: A survey of four families of mammals. *Visual Neuroscience* (2006), 23, 1-7
- Althaus, T.**, (1978). Die Ontogenese von Verhaltensweisen bei Haus- und Wildhunden. Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung, KTBL-Schrift 240. KTB, Schriften Vertrieb, Münster – Hiltrup.
- Albrecht, O.**, (1903). Zur ältesten Geschichte des Hundes. *Vet.-Med. Diss.*, Bern. Verlagsbuchhandlung E. Reinhardt, München.
- Askew, H. R.** (1997). Behandlung von Verhaltensproblemen bei Hund und Katze. Parey Buchverlag, Berlin
- Bannasch, D.L et al.** (2005). Y chromosome haplotype analysis in purebred dogs. *Mamm Genome*;16(4):273-80.
- Beckmann L.** (1894). Geschichte und Beschreibung des Hundes, Helga Fleig Verlag S. S/3
- Benecke, N.**, (1994) : Der Mensch und seine Haustiere. Die Geschichte einer jahrtausendealten Beziehung. Konrad Theiss Verlag GmbH und Co., Stuttgart.
- Feddersen-Petersen, D.**, (1994) : Vergleichende Aspekte der Verhaltensentwicklung bei Wölfen und Hunden: Neue Ergebnisse zur Domestikation und Züchtung im ethischen Argument. *Tierärztliche Umschau* 9, 527 - 531.
- Feddersen-Petersen, D.**, Ohl, F., (1995) : Ausdrucksverhalten beim Hund. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Galibert, F. and C. Andre** (2002). The canine genome: alternative model for the functional analysis of mammalian genes. *Bull Acad Natl Med* 186(8): 1489-1499; discussion 1499-1502.
- Galibert, F. and C. Andre** (2006). The dog genome. *Genome Dyn* 2: 46-59.
- Galibert, F. and C. Andre** (2008). The dog: A powerful model for studying genotype-phenotype relationships. *Comp Biochem. Physiol Part D Genomics Proteomics* 3(1): 67-77.
- Haab M.** (2001). Anatomy of the Dachshund, Universität Zürich, World Union Teckel.
- Hare, B., M. Brown, et al.** (2002). The domestication of social cognition in dogs. *Science* 298(5598): 1634-1636.

- Nachtsheim, H. and H. Stengel** (1977): Vom Wildtier zum Haustier. 3., neubearb. Aufl. Parey, Berlin/Hamburg
- Hemmer, H.** (1983). Domestikation- Verarmung der Merkwelt. Friedr. Vieweg& Sohn. Braunschweig/Wiesbaden
- Hormann, M.** (2013). "Hundebegleitschein BVdH". Epuli Verlag S.7
- Hebel, R.** (1971). Receptor types and synapses in the retina of the dog. *Verh Anat Ges* 66: 253-256.
- Kolb, H., R. Nelson, et al.** (2001). Cellular organization of the vertebrate retina. *Prog Brain Res* 131: 3-26.
- Lindblad-Toh, K. et al.** (2005). Genome sequence, comparative analysis and haplotype structure of the domestic dog. *Nature*
- Losey, R. J. et al.** (2011). Canids as persons: Early Neolithic dog and wolf burials, Cis-Baikal, Siberia. *J. of Anthropological Archaeology*, 30, Heft 2: S. 174–189
- Mass, A. M. and A. Y. Supin** (2000). Ganglion cells density and retinal resolution in the sea otter, *Enhydra lutris*. *Brain Behav Evol* 55(3): 111-119.
- Mayr, E.** (2001). *What Evolution Is*. New York: Basic Books, 2001, 192 pp.
- Marieb E.N.** (2012). "Essentials of Human Anatomy and Physiology. Cummings 10. Auflage Pearson Education
- McGreevy, P., T. D. Grassi, et al.** (2004). A strong correlation exists between the distribution of retinal ganglion cells and nose length in the dog. *Brain Behav Evol* 63(1): 13-22.
- Montagu, M. F.** (1942). On the Origin of the Domestication of the Dog. *Science* 96(2483): 111-112.
- Mowat, F. M., S. M. Petersen-Jones, et al.** (2008). Topographical characterization of cone photoreceptors and the area centralis of the canine retina. *Mol Vis* 14: 2518-2527.
- Nachtsheim H. and H. Stengel** (1977). Vom Wildtier zum Haustier. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg pp. 56/57
- Noll, S. and S. Schaub-Kuhen** (2000). *Praxis der Immunhistochemie*. Urban & Fischer Verlag
- Ostrander, E. A. and R. K. Wayne** (2005). The canine genome. *Genome Res* 15(12): 1706-1716.
- Peichl, L.** (1992). Morphological types of ganglion cells in the dog and wolf retina. *J. Comp. Neuro.* , 324: 590–602.
- Peichl, L.** (2005). "Diversity of mammalian photoreceptor properties: adaptations to habitat and lifestyle?" *Anat Rec A Discov Mol Cell Evol Biol* 287(1): 1001-1012.

- Pollinger J.P. et al** (2010). Genome-wide SNP and haplotype analyses reveal a rich history underlying dog domestication. *Nature* 464: 898-902
- Putz, R. und R. Pabst** (2000). Atlas der Anatomie des Menschen, Sobotta. 21. Aufl. Urban & Fischer
- Röder, K.-H.** (1974). Opferpriester, Kurschmied, Tierarzt – Porträt eines Berufes. *Tierärztl. Umschau* 29: 397–400
- Schneider-Leyer, E.** (1960). Der Hund – unser ältestes Haustier im Wandel der Zeiten. *Die Blauen Hefte* 3: 300 –314
- Studer, T.,** (1901). Die prähistorischen Hunde in ihrer Beziehung zu den gegenwärtig lebenden Rassen. *Abh. Schweiz. Palaeont. Ges., Vol. 28.*
- Townsend, C. R. and M. Begon et al.** (2009). *Ökologie. Springer-Lehrbuch*
- Wayne, R. K. and E. A. Ostrander** (2007). Lessons learned from the dog genome. *Trends Genet* 23(11): 557-567.
- Webb, K. M. and M. W. Allard** (2009). "Mitochondrial genome DNA analysis of the domestic dog: identifying informative SNPs outside of the control region." *J Forensic Sci* 54(2): 275-288.
- Welsch, U.** (2006). *Sobotta Lehrbuch Histologie. Zytologie, Histologie, mikroskopische Anatomie. 2., völlig überarbeitete Auflage. Elsevier, Urban & Fischer*

Lebenslauf

Name: Mohamed Abdel Keream

Wohnort: Schüttelstraße 19/1/4
1020 Wien

Geburtsdatum: 15. Mai, 1987

Geburtsort/ Staatsbürgerschaft: Wien/ Österreich

Familienstand: verheiratet

Schulbildung: September 1993 bis Juni 1997
Volksschule
1100 Wien, Hebbelplatz

September 1997 bis Mai 2005
Bundesrealgymnasium mit Schwerpunkt Naturwissenschaften und Sprachen
1050 Wien, Reinprechtsdorferstraße

Schulabschluss: 2005, Matura mit ausgezeichnetem Erfolg

Hochschulausbildung: Oktober 2005 bis Juni 2007
Studium der Allgemeinen Biologie an der
Universität Wien, Abschluss des ersten Abschnitts
Abschluss des 1. Abschnittes am Oktober, 2007

seit Oktober 2007
Diplomstudium der Allgemeinen Biologie mit **Spezialisierung Zoologie** an der
Universität Wien mit **Schwerpunkt Histologie und Embryologie**

Abschluss des 2. Abschnittes am November, 2013

Seit Februar 2013

Lehramtstudium der Deutschen **Philologie** und **Romanistik** (Französisch)

Sprachkenntnisse:

Arabisch	(Muttersprache)
Deutsch	(Muttersprache)
Englisch	sehr gut in Wort u. Schrift
Französisch	Schulniveau (4 Jahre)
Italienisch	Schulniveau (2 Jahre)
Latinum	

Befristete Dienstverhältnisse:

Feber 2006- Juli 2006

Projektmanagment-Praktikum bei der „**Brunnen-
passage**“ der Caritas Wien

Dezember 2009 bis August 2011

Erste-Hilfe-Trainer für Schulen im Rahmen des Pro-
jekt „**Helfen macht Schule**“ des Österreichischen
Jugendrotkreuzes

Projektpraktika

Projektpraktikum zur „**Histologie/Methoden**“ bei
Univ. Prof. Walzl (2009)

Projektpraktikum zur „**Funktionellen Anatomie
der Vertebrata**“ bei Univ. Prof. Weisgram (2009)

Projektpraktikum zur „**Neuroanatomie bei
Arthropoda**“ bei Univ. Prof. Anton (2008)

Projektpraktikum zur „**Vergleichenden Histologie
bei Vertebraten**“ bei Univ. Prof. Bielek (2008)

