

Aus der Klinik für kleine Haustiere  
der Tierärztlichen Hochschule Hannover

---

**Untersuchungen am Auge von  
erkrankten und gesunden Igel (Erinaceus europaeus)**

INAUGURAL - DISSERTATION  
zur Erlangung des Grades einer  
DOKTORIN DER VETERINÄRMEDIZIN  
(Dr. med. vet.)  
durch die Tierärztliche Hochschule Hannover

vorgelegt von  
Frauke Elisabeth Grastorf  
aus Gifhorn

Hannover 2002

Wissenschaftliche Betreuung: Univ.-Prof. Dr. M. Fehr

1. Gutachter: Univ.-Prof. Dr. M. Fehr

2. Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Dr. h. c. mult. W. Drommer

Tag der mündlichen Prüfung: 29. November 2002

**FÜR MEINE ELTERN**



## INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	7
2. Literaturübersicht	9
2.1. Zoologische Einordnung und geographische Verbreitung	9
2.2. Lebensraum und Lebensweise	14
2.3. Der anatomische Aufbau des Igelauges	19
2.3.1. Makroskopische und mikroskopische Anatomie	19
2.3.1.1.. Orbita und Bulbus	19
2.3.1.2.. Lider	24
2.3.1.3.. Konjunktiva und Nickhaut	26
2.3.1.4.. Kornea	27
2.3.1.5.. Sklera und mittlere Augenhaut	28
2.3.1.6.. Linse und Glaskörper	30
2.3.1.7.. Innere Augenhaut und Sehnerv	31
2.3.2. Elektronenmikroskopische Untersuchungen	34
2.3.3. Schlußfolgerungen: Bedeutung und Funktion	38
2.4. Gesichtssinn: Biologie und Physiologie	40
2.4.1. Physiologische Daten und Verhaltensbeobachtungen	40
2.4.2. Experimentelle Bestimmung der Leistungsfähigkeit des Sehorgans	41
2.4.3. Informationsaufnahme und –verarbeitung	45
2.4.3.1. Räumliches Sehen	45
2.4.3.2. Refraktion und Akkommodation	46
2.4.3.3. Transduktionsprozeß und Farbsehen	48
2.4.3.4. Sehbahn und optische Reflexbahnen	51

2.5. Augenerkrankungen	60
3. Eigene Untersuchungen	69
3.1. Patientengut, Material und Methode	69
3.1.1. Patientengut	69
3.1.2. Material	69
3.1.2.1. Pharmaka	69
3.1.2.2. Technische Geräte	70
3.1.3. Methode	70
3.1.4. Statistische Methoden	71
3.2. Untersuchungsergebnisse	73
3.2.1. Patienten	73
3.2.2. Einteilung der Patienten	73
3.2.3. Ergebnisse beim klinisch augengesunden Igel	75
3.2.4. Fallbeschreibungen klinisch auffälliger Igel	80
4. Diskussion	85
4.1. Patientengut, Material und Methode	85
4.2. Untersuchungsergebnisse	89
4.2.1. Ergebnisse beim klinisch augengesunden Igel	89
4.2.2. Ergebnisse bei Igeln mit klinischen Auffälligkeiten	92
5. Zusammenfassung	97
6. Summary	99
7. Literaturverzeichnis	101

## 1. Einleitung

Die hierzulande vertretenen Arten des Igels *Erinaceus europaeus* (Braunbrust- oder Westigel) und *Erinaceus concolor* (Weißbrust- oder Ostigel) genießen als besonders geschützte Arten durch das Gesetz über Naturschutz und Landespflege (Bundesnaturschutzgesetz – BNatSchG vom 21. September 1998) und durch die Verordnung zum Schutz wildlebender Tier- und Pflanzenarten (Bundesartenschutzverordnung – BArtSchV vom 21. Dezember 1999) Protektion. Zu den Aufgaben des Artenschutzes zählen nach § 20 BNatSchG neben dem Schutz der Tiere vor Beeinträchtigungen durch den Menschen die Wiederherstellung der Biotope sowie die Gewährleistung sonstiger Lebensbedingungen und die Wiederansiedlung verdrängter wildlebender Arten. Ferner ist es verboten, ohne vernünftigen Grund (§ 20 d und f BNatSchG und § 12 BArtSchV) Wildtiere zu beunruhigen, zu fangen, zu verletzen oder zu töten bzw. ihre Lebensräume zu beeinträchtigen oder zu zerstören. Außerdem wird der Besitz, der Verkauf und das Zurschaustellen besonders geschützter Arten unter Strafe gestellt. Als Ausnahme gilt die Ingewahrsamnahme nach § 20 g BNatSchG von wildlebenden verletzten oder kranken Tieren, die unverzüglich nach Wiederherstellung in die Freiheit zu entlassen sind.

Im Gegensatz hierzu sind die Verhältnisse in Nordamerika, das nicht zum natürlichen Verbreitungsgebiet der Stacheligel zählt, zu beurteilen. Anfänglich aus rein wissenschaftlichem Interesse wurden Igel als Wildfänge z.B. aus Ägypten nach Amerika importiert, heutzutage erfolgt der Transport überwiegend für den Haustiermarkt. Dies geschieht im Einklang mit den dort geltenden und zu berücksichtigenden Gesetzen. Da die Tiere meist lebenslang in menschlicher Obhut verbleiben und zudem regelmäßig tierärztliche Kontrollen erfolgen, liegen neue Erkenntnisse aufgrund des hohen Patientenaufkommens überwiegend aus diesem Raum vor. Der in Nordamerika anzutreffende Igel ist meist eine Kreuzung zwischen den beiden afrikanischen Arten, *Atelerix albiventris* und *Atelerix algirus*. Er gilt dort als äußerst beliebtes Haustier, käuflich zu erwerben in Zoofachgeschäften oder direkt bei zahlreichen Züchtern, die mit ihren detaillierten Tierangeboten im Internet abrufbar sind. Neben Temperament und Charakter stehen eine große Farbvariation und -zeichnung im Vordergrund bei der Züchtung.

Die Farbpalette ist vielfältig (weiß, schneeflocken-, champagner-, aprikosen-, zimtfarben, braun, schwarz etc.) und berücksichtigt auch die Augenfarbe (z.B. schwarz und rot).

In Deutschland gewinnt der europäische Igel seit geraumer Zeit zunehmend als Patient in der Kleintierpraxis an Bedeutung. Nicht zuletzt durch die Bildung und Gründung zahlreicher Igelschutzvereine und Igelschutzinitiativen, die sich zur Aufgabe und zum Ziel die Pflege und eventuell notwendige medizinische Betreuung des Igels bis zu seiner Gesundung und damit Wiedereingliederung in die Natur gesetzt haben, wurde das öffentliche wie auch das wissenschaftliche Interesse für dieses Wildtier geweckt.

Im Schrifttum findet sich keine zusammenfassende Darstellung der wesentlichen Erkenntnisse über die Augen des Igels, die die einzelnen Teilbereiche der Anatomie, Histologie, Biologie, Physiologie und Erkrankungen berücksichtigt. Diese Arbeit beinhaltet einerseits die Zusammenstellung der genannten Gebiete aus vorliegenden Publikationen sowie andererseits die Präsentation der eigenen Untersuchungsergebnisse zu den Themen Physiologie und Pathologie.



## 2. Literaturübersicht

### 2.1. Zoologische Einordnung und geographische Verbreitung

Klasse Mammalia

Subclassis Theria

Infraclassis Eutheria

Ordo Insectivora

Subordo Erinaceoidea

Familie Erinaceidae

Subfamilie Erinaceinae

Zoologische Einordnung nach STARCK (1995)

Nach STARCK (1995) sowie STORCH und WELSCH (1997) gliedert sich die Klasse der Mammalia in zwei Unterklassen, der Subclassis Prototheria und der Subclassis Theria. Die Verbindung der beiden Subklassen ist durch zahlreiche morphologische Merkmale, z.B. Gehirnstruktur, Thermoregulation, Homoiothermie, Kernlosigkeit der Erythrozyten und der Ausscheidung von Harnstoff als Endprodukt des Stickstoffstoffwechsels, charakterisiert (STARCK 1995). ZISWILER (1976) und RÖBEN (1976) sind Befürworter der Dreiteilung der Klasse der Säugetiere in die Unterklassen Prototheria, Metatheria und Eutheria.

Die parallele Entstehung der Infraclassis Metatheria und der Infraclassis Eutheria aus der Subklasse Theria wird mit der geographischen Trennung erklärt (STARCK 1995). Von Eurasien ausgehend haben sich die Eutheria in Amerika und Afrika angesiedelt, während die Metatheria amerikanischen Ursprungs sind. Bei STORCH und WELSCH (1997) entfällt die Infraclassis Metatheria. Es erfolgt eine Aufspaltung der Theria in die Symmetrodonta, die Pantotheria, die Marsupialia und die Eutheria. In der Infraclassis Eutheria unterscheiden STARCK (1995) sowie STORCH und WELSCH (1997) dreißig Ordnungen, von denen zwölf bereits als ausgestorben gelten. Sie differieren allerdings bei einer Ordnung, die bei STORCH und WELSCH (1997) als Ancylopoda, bei STARCK (1995) als Astrapotheria geführt wird.

ZISWILER (1976) und RÖBEN (1976) unterteilen die Eutheria in siebzehn Ordnungen. Die Ordnung der Insectivora wird nach STARCK (1995) sowie STORCH und WELSCH (1997) in vier Subordnungen gegliedert (Tenrecoidea, Chrysochloridea, Soricoida und Erinaceoidea). Die aus den Erinaceoidea hervorgehende Familie Erinaceidae besteht aus zwei Unterfamilien, die Echinisoricinae (Haarigel) und die Erinaceinae (Stacheligel) (STARCK 1995). In Anlehnung an HALTENROTH (1969) propagiert ZISWILER (1976) eine Aufteilung in zwei Ordnungen, die Insectivora im engeren Sinne mit den Familien Talpidae, Soricidae und den Erinaceidae und die Ordnung Zalambdodonta mit den Familien Chrysochloridae, Tenrecidae, Potamogalidae und Solenodontidae.

Über die Einteilung der Stacheligel besteht in der Wissenschaft keine einheitliche Meinung. Es werden bis zu fünf Gattungen genannt:

- Erinaceus (Europa und Teile von Mittelasien)
- Aethechinus (Nordwest- und Südafrika und Somalia)
- Atelerix (Tropisches Afrika)
- Paraechinus (Nordostafrika und Westvorder- und Vorderasien)
- Hemiechinus (Nordostafrika, Südrussland und Turkestan bis China)

THOMAS (1918) und CABRERA (1925) nennen diese fünf Gattungen, auch ROBBINS und SETZER (1985) befürworten diese Einteilung. HONACKI et al. (1982) zählen die Gattungen Atelerix und Aethechinus mit zu der Gattung Erinaceus. Die Arten der Gattung Aethechinus werden von CORBET (1988) mit in die Gattung Atelerix übernommen. Dadurch verbleiben nur noch vier Gattungen mit insgesamt vierzehn Arten:

Erinaceus	Atelerix	Paraechinus	Hemiechinus
E. europaeus	A. algirus	P. aethiopicus	H. auritus
E. concolor	A. albiventris	P. hypomelas	H. collaris
E. amurensis	A. frontalis	P. micropus	H. dauuricus
	A. sclateri		H. hughi

Vergleiche der Chromosomenstruktur beider Gattungen (*Aethechinus* und *Atelerix*), vertreten durch die Arten *Aethechinus algirus* und *Atelerix albiventris*, zeigen neben einigen Unterschieden in Struktur und Anzahl der großen und mittelgroßen Chromosomen weitgehende Übereinstimmungen (HÜBNER et al. 1991). Das Ergebnis bestätigt einerseits die nahe Verwandtschaft der beiden oben genannten Repräsentanten der unterschiedlichen Gattungen und grenzt sie damit gleichfalls deutlich von den anderen Gattungen ab. Weitere Studien erscheinen dennoch notwendig, um letztlich die Richtigkeit der Einteilung nach CORBET (1988) sicherzustellen.

Zu den in Europa vorkommenden Arten zählen Tiere der Gattung *Erinaceus*, in Südwesteuropa *Aethechinus* und in Südosteuropa vereinzelt *Hemiechinus*.

Die systematische Aufgliederung der Gattung *Erinaceus* in Arten bzw. Unterarten ist abhängig von zugrundeliegenden Untersuchungskriterien der einzelnen Wissenschaftler. Zudem zeigen die Europäischen Arten eine stark geographisch gebundene Variationsbreite. Folglich finden sich im Schrifttum verschiedene Interpretationen in Benennung und Anzahl, die dadurch zu keiner einheitlichen Taxonomie führen können.

Bei OGNEW (1928) dient die relative Häufigkeit von ganz weißen Stacheln bei den europäischen Igel als Unterscheidungsmerkmal. Er gliedert die Gattung in vier Arten und vierzehn Unterarten. HERTER (1938) lehnt die Stachelfärbung als Grundlage für die Einteilung ab, da mehrere Kriterien die Anzahl weißer Stacheln beeinflussen können, z.B. die Genetik (Albino) oder das Alter. Er unterscheidet zwei Arten mit sechs bzw. vier Unterarten aufgrund der Fellzeichnung.

Zu den in Deutschland ansässigen und zudem bekanntesten Arten gehören der Braunbrust- oder Westigel (*Erinaceus europaeus*) und der Weißbrust- oder Ostigel (*Erinaceus concolor*). Charakteristisch für beide ist die bereits im Namen erwähnte unterschiedliche Kehlbustfärbung. Das Ausbreitungsgebiet von *Erinaceus europaeus* erstreckt sich nach STARCK (1995) von der iberischen Halbinsel bis östlich zur Verbindungslinie Berlin-Triest, ferner im Norden Südschweden, Nordrussland bis Sibirien. Israel, Südrussland, Kreta, Rhodos und die Türkei sind die Heimat von *Erinaceus concolor*.

Innerhalb dieser Gebiete zählen die oberen Höhenlagen, nach LIENHARDT (1979) über 1000 bis 1100 m Meereshöhe, nicht zum natürlichen Lebensraum des Igels. In den Alpen werden sie noch am Krummholzgürtel bis zu etwa 2000 m über dem Meer und im Kaukasus noch in 1000 m größeren Höhen gefunden (HERTER 1963). Nach MORRIS (1984) kommen diese Tiere in Nordeuropa oberhalb der Laubbaumgrenze nicht vor. Begründet wird dies Verhalten weniger durch ein schlechtes Nahrungsangebot oder zu tiefe Temperaturen sondern durch das Fehlen von Laub, das für den Nestbau wichtigste Baumaterial.

In Mitteleuropa befindet sich eine ca. 200 km breite Überlappungszone, in der beide Arten in Form von Mischlingen anzutreffen sind. HERTER (1938) unterscheidet dabei ein west-östliches und ein nord-südlich verlaufendes Gebiet. HOLZ (1978) analysiert und vergleicht 389 Igelschädel aus der Mischzone des nord-südlichen Areals (Polen, ehemalige DDR und CSSR, Österreich, Ungarn, Istrien) und von in Gefangenschaft erzeugten Hybriden mit Hilfe von multivariaten Rechenverfahren, um u.a. die Frage zu klären, ob in der freien Natur Kreuzungen zwischen Ost- und Westigeln vorkommen, wie bereits durch die von HERTER (1934 b) durchgeführten Experimente mit dem Ziel der Bastardierung an in Gefangenschaft gehaltenen Igeln bewiesen wird. Für das Überlappungsgebiet wird die Anwesenheit von West- und Ostigeln nachgewiesen, doch scheinen Vermischungen beider Arten unter natürlichen Bedingungen recht selten (HOLZ 1978). Die Ausbildung von Bastardpopulationen wird von ANGERMANN (1978) angezweifelt. Lediglich beim Auftreten einer stark verminderten Populationsdichte, die das Auffinden artgleicher Partner erschwert, scheint eine Verpaarung ihrer Ansicht nach möglich.

Tiere, die bei den Untersuchungen nach HOLZ (1978) nicht eindeutig einer Art zugehörig zu erklären sind, können als Bastarde höheren Grades angesprochen werden. Sie könnten allerdings auch die geographische und individuelle Variabilität widerspiegeln. KRATOCHVIL (1966, 1975) deutet die Verhältnisse in der CSSR in einem Gebiet, wo sowohl Ost- als auch Westigel anzutreffen sind, aber keine Bastardierung feststellbar ist. Als Ursache vermutet er Unterschiede in der Brunstzeit, die im allgemeinen gleich nach Ende des Winterschlafs beginnt. Da der Westigel ca. einen Monat später aus dem Winterschlaf erwacht als der Ostigel, könnte dies eine Bastardierung erschweren bzw. sogar verhindern.

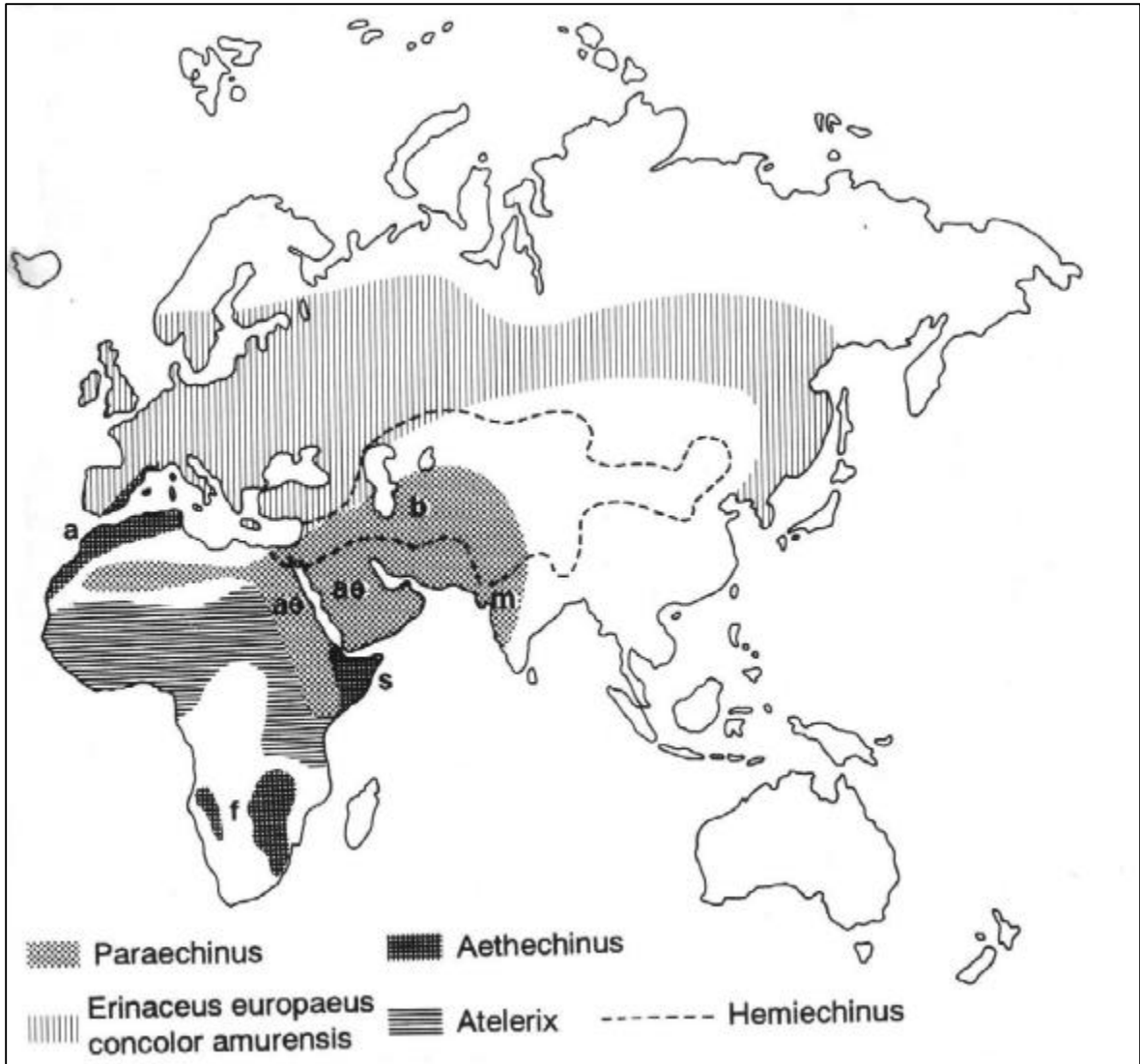


Abb. 1: Geographische Verbreitung der altweltlichen Igel (Erinaceidae)  
nach STARCK (1995)

a = *Aethechinus algirus*, b = *Paraechinus hypomelas*, ae = *Aethechinus aethiopicus*,  
m = *Paraechinus micropus*, s = *Aethechinus sclateri*, f = *Aethechinus frontalis*.

## **2.2. Lebensraum und Lebensweise**

Igel gelten als wenig anspruchsvoll bei der Wahl ihres Lebensraumes, so dass sie in verschiedenen Geländearten zu finden sind. Zu den bevorzugten Biotopen gehören Laubwaldränder mit dichtem Gebüsch, Busch- und Strauchlandschaften mit genügend Unterwuchs, Parkanlagen, Gärten, Hecken, oft auch in der Nähe menschlicher Siedlungen. Gemieden werden Nadelwälder, Moorniederungen, sehr nasse Gelände und kurz begraste Koppeln. Wichtig dabei sind für die eher zurückgezogen lebenden Tiere das Vorkommen von geeigneten und ausreichend trockenen Unterschlupfmöglichkeiten. Die Verteilung der Igel in den Biotopen ist abhängig von ihrer Beschaffenheit, d.h. die Populationsdichte ist eng verbunden mit dem Nahrungs- und Versteckangebot (HERTER 1963).

Die Igel sind Einzelgänger, die nur kurzzeitig, in der Brunstzeit zur Paarung und zur Aufzucht der Jungen, mit Artgenossen zusammenbleiben (LIENHARDT 1979). Ansonsten lebt jedes Individuum für sich und durchstreift von seinem Tagesunterschlupf aus nächtlich ein nicht sehr ausgedehntes Jagdrevier. Mangelndes Futterangebot oder das Fehlen eines Partners zur Paarungszeit kann eine erhebliche Erweiterung des Aktionsraumes nach sich ziehen (SCHICHT-TINBERGEN 1989). Ebenso können Eingriffe in die Natur verbunden mit einer Verkleinerung des Lebensraumes zu veränderten Verhaltensweisen führen, die möglicherweise das Verschwinden des Einzelgängertums zur Folge haben (LIENHARDT 1979). Gewöhnlich sind die Tiere ortstreu, größere Wanderungen werden nicht unternommen. Wenn sie nicht durch äußere Umstände gestört oder vertrieben werden, verweilen sie eine lange Zeit, eventuell mehrere Jahre, in dem einmal gewählten Nest (HERTER 1963).

Allein achtzehn Stunden des Tages dienen den nacht- und dämmerungsaktiven Tieren als Ruhephase. Die verbleibenden sechs Stunden, durch wiederholte Ruhezeiten in drei nächtliche Aktivitätsperioden geteilt, verbringt der Igel mit der Nahrungssuche. Erkundungen, Wanderungen und Begegnungen spielen im Hinblick auf die Sozialordnung der Population eine wesentliche Rolle (HERTER 1963). Demgegenüber schlafen juvenile Igel PODUSCHKA (1969) zufolge kürzere Perioden und nehmen auch tagsüber Nahrung zu sich, wenn sie ihrer habhaft werden können.

Seine bevorzugte Nahrung sind nach HERTER (1963) Insekten aller Art, Schnecken, Regenwürmer, Asseln, Spinnentiere, aber auch Wirbeltiere (Frösche, Kröten, Echsen, Schlangen) und kleine Warmblüter (Vögel und deren Eier sowie Kleinsäuger). Neben lebenden Tieren verzehrt er auch Aas und pflanzliche Kost (Früchte, Samen, Pilze, Halme und Blätter).

Eine Besonderheit des Igels ist seine Fähigkeit zum echten Winterschlaf, der bei gut genährten und winterschlafbereiten Tieren durch Futtermangel und Kälte ausgelöst werden kann. Beim Eintritt von Kälteperioden sind viele Säuger mit relativ großer Körperoberfläche besonderer Belastung ausgesetzt, da die für Wärmeproduktion nötige Erhöhung der Stoffwechselfvorgänge sehr aufwendig ist, gleichzeitig aber das Nahrungsangebot, besonders bei insektenfressenden Arten, eingeschränkt ist. Aus diesem Grund stellt das Tier in dieser Zeit jegliche Aktivität ein, der Stoffwechsel und die vegetativen Funktionen werden auf ein Minimum reduziert und die Fettreserven werden zur Aufrechterhaltung eines minimalen Erhaltungsstoffwechsel genutzt. Ferner sind auch Sinnesleistungen und Nerventätigkeit erheblich herabgesetzt. Die Thermoregulation wird dabei nicht ausgeschaltet, sondern auf einen tieferen Sollwert eingestellt (STARCK 1995). Über die Bedingungen, die zu einer Verstellung des Temperatursollwertes und damit zum Beginn des Winterschlafes führen, ist noch wenig bekannt (WÜNNENBERG 1990). Das Tier fällt in einen lethargischen Zustand (Torpor), den Winterschlaf. Dabei handelt es sich um eine höchst komplexe Anpassung an extreme Lebensbedingungen, die keinesfalls als phylogenetisch primitiv anzusehen ist. Dagegen wird die Winterruhe, die durch Perioden relativer Inaktivität ohne Absinken der Körpertemperatur, der Atemfrequenz und des Kreislaufs charakterisiert ist, mehr oder weniger häufig zur Nahrungsaufnahme unterbrochen. Sie weist somit deutliche Unterschiede zum Winterschlaf auf, wird aber dennoch häufig ebenfalls als Winterschlaf bezeichnet. In Mitteleuropa erwachen die Igel im März bzw. April und bleiben bis Oktober bzw. November aktiv. Die Dauer des Winterschlafes beträgt folglich drei bis sechs Monate (STARCK 1995). Ihm geht laut SCHICHT-TINBERGEN (1995) etwa im Oktober bis November ein ca. vierwöchiges Lethargiestadium voraus. Beim Igel tritt der Winterschlaf nach ZISWILER (1976) etwa bei einer Körpertemperatur von  $14,5^{\circ}\text{C}$  ein. Dabei wird eine Körperabkühlung bis auf ca.  $+1^{\circ}\text{C}$  toleriert.

Wird die Minimaltemperatur unterschritten, erfolgt eine Stoffwechselsteigerung mit einer Wiedererwärmung auf bis zu sechs Grad (ISENBÜGEL 1985). Eine mehrfache Wiederholung bewirkt ein völliges Aufwachen des Igel. Dies kann ebenso bei milden Wintern und starker Sonneneinstrahlung beobachtet werden. Der Ostigel (*Erinaceus concolor*) scheint nach HERTER (1963) kälteempfindlicher als der Westigel (*Erinaceus europaeus*). Aus diesem Grund dehnt sich der Lebensraum des Letztgenannten vermutlich auch auf die weiter nördlich liegenden Gebiete aus. LINDEMANN (1951) zufolge soll anhaltend hoher Luftdruck den Winterschlaf, fallender Druck hingegen das Erwachen begünstigen. Da es bei einer normalen Winterschlafdauer von fünf Monaten zu Gewichtsverlusten von bis zu 35 % kommen kann (LIENHARDT 1979), werden vorher reichlich Fettreserven angelegt. Die Fettspeicherung ist abhängig von der täglichen Belichtungszeit und beginnt, wenn im Herbst die Tage kürzer werden (STARCK 1995). Nach WÜNNENBERG (1990) ist jedoch eine Zunahme des Körpergewichtes bei *Erinaceus europaeus* schon während der Sommermonate zu verzeichnen. Die Angaben über das erforderliche Mindestgewicht zum Überleben des Winterschlafes in freier Natur variieren zwischen 500 und 600 g (SCHICHT-TINBERGEN 1995). Als Folge des oft unzureichenden Nahrungsangebotes nach dem Aufwachen sterben in den Monaten April und Mai Tiere durch allgemeine Schwäche. Zu den weiteren Vorbereitungen auf den Winterschlaf gehört das Aufsuchen bzw. Anlegen frostsicherer Winterquartiere. Das aus Laub, Moos, Heu und kleinen Zweigen zusammengesetzte Winterschlafnest umhüllt den eingerollten, schlafenden Igel fest anliegend, fast filzartig. Es ist derart konzipiert, dass eine Isolation gegen Kälte sowie Wärme als auch eine Wasserundurchlässigkeit (Regen und Schmelzwasser) gegeben sind. Die Winterschlafbereitschaft wird neben exogenen Faktoren wie tägliche Belichtungszeit, erhöhtem Luftdruck, sinkenden Temperaturen und Nahrungsmangel auf endogene Faktoren, Veränderungen hormoneller Art (HERTER 1963; STARCK 1995), zurückgeführt. Durch die Abgabe des Hormons Melatonin steuert die Zirbeldrüse Vorgänge, die circadianen als auch jahreszeitlichen Rhythmen unterliegen (WÜNNENBERG 1990). Diese Tätigkeit wird über den Sympathicus in der Weise reguliert, dass vom Auge aufgenommene Lichtreize die Sekretion hemmen (NICKEL et al. 1992 b). Melatonin hat eine antigonadotrope Wirkung, d.h. es unterdrückt Wachstum und Funktion der Gonaden.



Um ein Überleben der winterschlafenden Arten zu sichern, müssen Fortpflanzungs- und Winterschlafverhalten präzise aufeinander abgestimmt sein (WÜNNENBERG 1990). Da bei vielen dieser Tiere die Aktivierung der Gonaden während der Winterschlafsaion beginnt, obwohl sie in ihren Nestern völliger Dunkelheit ausgesetzt sind (WANG 1982), wird vermutet, dass die tiefen Körpertemperaturen die Melatoninsynthese hemmen (WÜNNENBERG 1990). In wie weit der jahreszyklische Ablauf der Photoperiode und die Melatoninsynthese Einfluß auf den Beginn und den Verlauf des Winterschlafes nehmen, läßt sich anhand des heutigen Erkenntnisstandes nicht eindeutig beantworten. Deutliche Aktivitätsunterschiede zwischen Sommer und Winter sind an der Schilddrüse aber auch an der Hypophyse nachweisbar (STARCK 1995). Nach einer Periode maximaler Aktivität während der Fortpflanzungszeit erfolgt im Sommer und Herbst eine Inaktivierung der Schilddrüse, die dann zu Beginn der Winterschlafsaion die Sekretion nahezu völlig einstellt (WANG 1982). HERTER (1963) hingegen stellt die Beteiligung der Thyreoidea in Frage, da sowohl Igel, denen die Schilddrüsen operativ entfernt sind als auch solche, die mit Schilddrüsenpräparaten gefüttert werden, einen normalen Winterschlaf halten. Bei mehreren winterschlafenden Arten können jahreszyklische Schwankungen der Adenohypophysengewichte festgestellt werden (WANG 1982). Zu Beginn des Winterschlafes wird die Synthese der Neurohormone Oxytozin und Adiuretin eingeschränkt. Ferner steigt zu diesem Zeitpunkt der Insulinspiegel und führt zur Senkung des Blutzuckerspiegels, beim Igel von 100 auf 70 mg/100 ml, sowie zur Glycogenspeicherung in der Leber (STARCK 1995). Ein wichtiger Schutzmechanismus gegen Thrombosegefahr bei verlangsamtem Kreislauf - bei *Erinaceus* liegt bei herabgesetzter Atemfrequenz die Herzfrequenz bei minimal zwei bis vier Schlägen in der Minute - stellt die bei allen Winterschläfern zu findende verlängerte Blutgerinnungszeit dar. Die etwa zwei- bis dreifache Abweichung von der Norm ist auf einen Thrombozytenmangel zurückzuführen. Dem Anstieg der Magnesiumwerte wird eine dämpfende Wirkung auf die nervalen Vorgänge nachgesagt.

Vor dem Erwachen verengen sich die Gefäße außer den zuführenden Blutgefäßen von Schilddrüse, Herzmuskel und braunem Fettkörper. Bei der letztgenannten Struktur handelt es sich um ein thermogenes Organ, das beim Igel in der Schultergegend zu finden ist.

Es wird zu Unrecht als Winterschlafdrüse bezeichnet, da es nicht nur bei Winterschläfern vorkommt. So ist sie auch bei vielen Jungtieren, insbesondere bei Nesthockern, zu finden (STARCK 1995). Erst in der Aufwachphase wird die angelegte Glycogenreserve genutzt. Zu Anfang erfolgt die Erwärmung des Vorderkörpers (Hirn, Herz), anschließend steigt auch die Temperatur im Hinterkörper. Am schnellsten erwärmt sich dabei der braune Fettkörper. Atem- und Herzfrequenz nehmen rasch zu. Abhängig von der Stärke des Weckreizes und der Tierart dauert der Vorgang des Erwachens unterschiedlich lange (STARCK 1995).

Igel aus wärmeren Klimazonen, in denen die mittleren Lufttemperaturen auch im kältesten Monat nicht unter  $+10^{\circ}\text{C}$  sinken und die Tiere daher auch ohne Winterschlaf auskommen könnten, halten entweder überhaupt keinen Winterschlaf oder sie weisen eine andere Induktivtemperatur auf (HERTER 1963).

## 2.3. Der anatomische Aufbau des Igelauces

### 2.3.1. Makroskopische und mikroskopische Anatomie

#### 2.3.1.1. Orbita und Bulbus

Die Orbita der Insectivora, die durch die seitliche Lage im Gesichtsschädel charakterisiert ist, mündet offen in die Temporalgrube (ZISWILER 1976; STARCK 1995). Ein geschlossener Orbitalring, der das Stirnbein mit dem Jochbogen verbindet, ist nach STARCK (1995) bei den Insektenfressern nicht vorhanden.

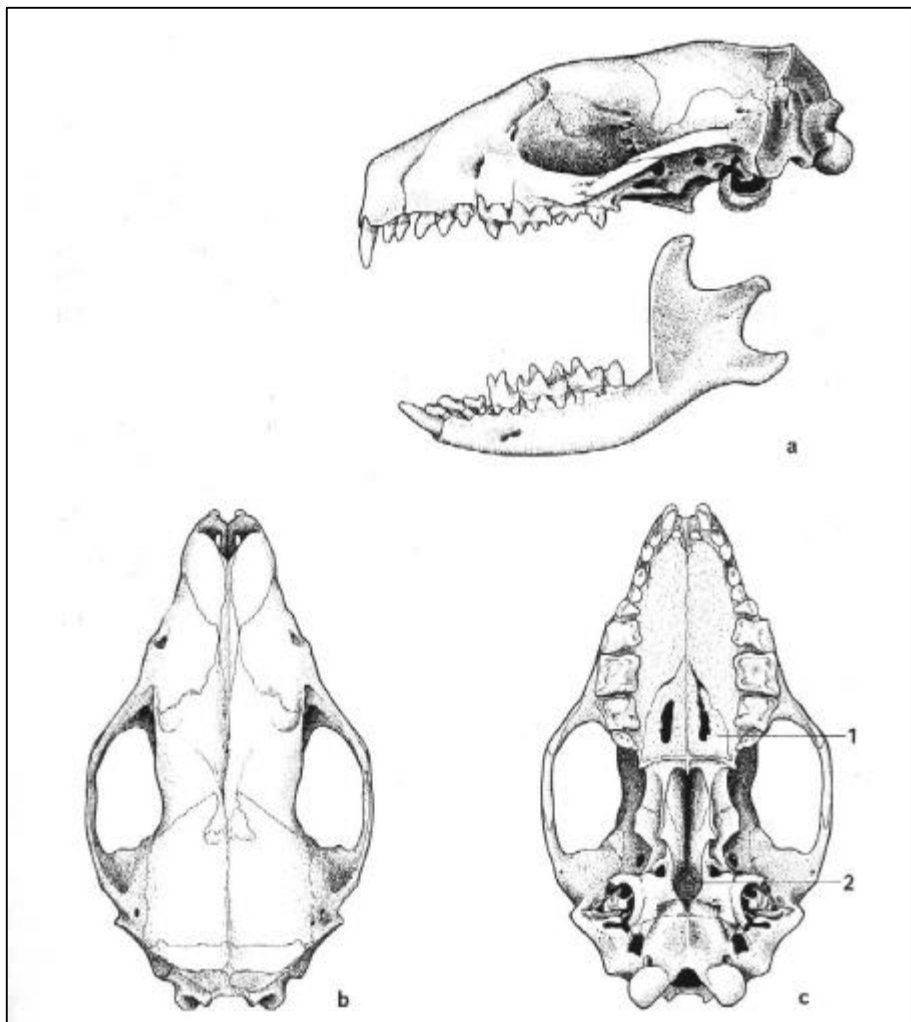


Abb. 2: *Erinaceus europaeus*: Schädel in drei Ansichten nach STARCK (1995)

Genauere Untersuchungen des Schädels von *Erinaceus europaeus* wurden von PARKER (1886), FAWCETT (1918) und MICHELSSON (1922) durchgeführt:

In den Studien von PARKER (1886) werden Igelschädel unterschiedlicher Altersgruppen beschrieben und zudem in zahlreichen verschiedenen Ansichten und Transversalschnitten zeichnerisch dargestellt. Er erwähnt bereits die oben genannten Verhältnisse der Orbita, die frei in die Temporalgrube übergeht, für die Art *Erinaceus europaeus*.

Die knöcherne Augenhöhle besteht nach WINCKLER (1933) nur aus einer inneren Wand, die sich im vorderen Bereich aus Anteilen des Tränenbeins (*Os lacrimale*) und des sich darunter befindenden Oberkieferbeins (*Maxilla*) und im hinteren Bereich aus Anteilen des Stirnbeins (*Os frontale*) und des Keilbeins (*Os sphenoidale*) zusammensetzt.

Nach PARKER (1886) wird die innere knöcherne Orbitalwand rostral zusätzlich durch Anteile des Stirnbeins (*Os frontale*) verstärkt, und kaudal wird sie von Anteilen des Stirnbeins, der Schläfenbeinschuppe (*Squamosum des Os temporale*) und des Scheitelbeins (*Os parietale*) gebildet.

FAWCETT (1918) und MICHELSSON (1922) schildern detailliert die anatomischen Gegebenheiten für das Primordialkranium, in den Abbildungen ergeben sich weitgehende Übereinstimmungen. MICHELSSON (1922) gliedert die *Regio orbito-temporalis* in drei Teilbereiche: das Mittelstück, der Basalteil und die beiden Seitenteile, die *Ala orbitalis* und die *Ala temporalis*. Die beiden letztgenannten Strukturen stellen sich bei beiden Autoren in ihren Zeichnungen als die dreieckige Knorpelplatte *Ala orbitalis* und das kaudal davon gelegene als annähernd viereckiges Knorpelstück, die *Ala temporalis*, dar. Die Spitze der *Ala orbitalis* teilt sich in zwei Äste, die den *Nervus opticus* vor seinem Austritt aus dem ebenfalls von ihnen geformten *Foramen opticum* tunnelartig umschließen, bevor sie das Mittelstück erreichen. Im Bereich der Basalplatte schließt sich kaudal der *Sulcus chiasmaticus* an.

Bei den von YOUSSEF (1971) durchgeführten Studien am Chondrokranium des *Hemiechinus auritus aegyptius* und den anschließend anhand der erhobenen Befunde angestellten

Vergleiche zu *Erinaceus europaeus* ergeben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Arten.

Die weit nach kaudal ziehende Ausdehnung der Nasenhöhle bei *Erinaceus europaeus*, die in PARKERs (1886) Transversalschnitten deutlich zu erkennen ist, führt zu einer stärkeren räumlichen Trennung der beiden knöchernen Augenhöhlen. Ein interorbitales Septum, wie es bei Säugetieren zu finden ist, deren Nasenhöhle vor Beginn der Orbita endet, ist bei *Erinaceus europaeus* somit nicht vorhanden (YOUSSEF 1971).

Im Bereich des Os lacrimale im rostralen Winkel der Orbita befindet sich unterhalb der durch eine schräg verlaufende Erhebung abgegrenzten Fossa der Eingang des Tränennasengangs (PARKER 1886). MICHELSSON (1922) kann bei seinen Untersuchungen ein Os lacrimale, vermutlich wegen des noch recht frühen Entwicklungsstadiums der Tiere, nicht nachweisen. Seiner Ansicht nach nimmt der Tränennasengang seinen Anfang zwischen Stirn- und Oberkieferbein.

Die Periorbita ist nur schwach ausgebildet und haftet der knöchernen Augenhöhle an (WINCKLER 1932). Der *M. temporalis* bedeckt in der dorso-lateralen Region vollständig den Augapfel und bildet eine fleischig-bewegliche Wand. Der Boden wird ebenfalls durch einen der beiden zu den inneren Kaumuskeln gehörenden *M. pterygoideus externus* geformt. Vergleicht man die Aufzeichnungen von MICHELSSON (1922) über die Lage und den Verlauf des Muskels mit den bei den Haussäugetieren vorgefundenen Verhältnissen (NICKEL et al. 1992 a), so entspricht vermutlich der *M. pterygoideus externus* dem *M. pterygoideus lateralis* und der weiter nach rostral ziehende *M. pterygoideus internus* dem *M. pterygoideus medialis*.

Im kaudalen Bereich der Orbita befinden sich von dorsal nach ventral gesehen die folgenden drei Strukturen: das Foramen ethmoidale, das Foramen opticum und anschließend die Fissura orbitalis (WINCKLER 1932).

WINCKLER (1932) beschreibt in seinen Aufzeichnungen das Ganglion ciliare und den Verlauf der Nerven der Orbita bei verschiedenen Säugetieren, u.a. beim Igel:

Der Nervus frontalis, ein Ast des Nervus ophthalmicus (V1: der erste Hauptast des Nervus trigeminus), tritt aus der Fissura orbitalis an die Oberfläche und innerviert als sensibler Nerv mit seinen verschiedenen Zweigen im Terminalgebiet die Haut im Bereich des oberen Augenlides und der Stirnfläche. Ein weiterer Ast des Nervus ophthalmicus, der Nervus lacrimalis, versorgt die Tränendrüse, die jedoch nach FRANZ (1934) beim Igel fehlt.

Die bei den Haussäugetieren durch NICKEL et al. (1992 b) genannten intraorbital gelegenen und im wesentlichen der Bewegung des Augapfels dienenden quergestreiften Muskeln, die sich im einzelnen aus vier geraden und zwei schiefen Augenmuskeln, dem M. retractor bulbi und dem Heber des oberen Augenlides M. levator palpebrae superioris zusammensetzen, werden für den Igel auch bei WINCKLER (1932) erwähnt und in ihrer Anzahl bestätigt. Bei dem von WINCKLER (1932) beschriebenen „muscle choanoide“, der den Nervus opticus mit vier Bündeln umgibt, handelt es sich um den M. retractor bulbi, der später durch WINCKLER (1933) in dieser Form für den Igel erwähnt wird.

Die motorische Innervation der Augenmuskulatur des Igels erfolgt wie bei den Haussäugetieren durch den III., IV. und VI. Gehirnnerven. Demnach wird der M. obliquus dorsalis vom Nervus trochlearis (IV), der M. rectus lateralis und der M. retractor bulbi werden vom Nervus abducens (VI) und alle übrigen intraorbital gelegenen Muskeln vom Nervus oculomotorius (III) innerviert (WINCKLER 1932).

Ein Ganglion ciliare, dessen postganglionären Neurone als Teil des parasymphatischen Systems den M. ciliaris und den M. sphincter pupillae versorgen, während die efferenten Fasern der sympathischen Reflexbahn über seine Radix sympathica den M. dilatator pupillae innervieren, kann WINCKLER (1932) für den Igel nicht nachweisen.

Der häufig im Schrifttum als Kugelaug bezeichnete Bulbus des Igel wurde bei verschiedenen Wissenschaftlern auf seine absolute Größe untersucht:

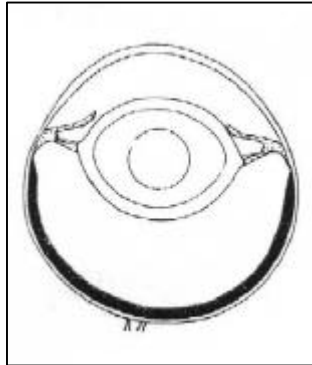


Abb. 3: *Erinaceus europaeus*: Meridionalschnitt durch das Auge nach KAHMANN (1930/1931)

FRANZ (1911) bestimmt die Länge der drei Augenachsen, die für alle Durchmesser jeweils 6,5 mm beträgt, hingegen stellt MENNER (1929) einen Äquatorialdurchmesser von einem Zentimeter fest. Das Augengewicht ist Grundlage der Messung nach PARREIDT (1901) und liegt bei 0,18 g für einen Augapfel. Die Augen des Igel sind im Verhältnis zur Körpergröße gesehen klein (KOLMER u. LAUBER 1936). Dies wird durch KAHMANNs (1930/1931) Untersuchungen erstmalig nachgewiesen, der neben dem Augengewicht das Körpergewicht von vier Igel bestimmt, beide Parameter ins Verhältnis setzt, um Vergleichswerte zu erhalten. Für die beiden kleineren Igel (726 g bzw. 775 g) mit einem Augengewicht beider Bulbi von 0,26 g bzw. 0,261 g ergeben sich annähernd die gleichen Prozentzahlen für das Verhältnis Augengewicht zu Körpergewicht wie für die schwereren Igel (1016 g bzw. 1032 g) bei einem Augengewicht von 0,30 g bzw. 0,34 g. Beim Vergleich des Augenwachstums der Beutelratte mit dem Igel zeigt sich bei *Didelphys aurita* anfänglich ein im Verhältnis zum Körpergewicht stärkeres Wachstum der Augen, das aber später hinter der Zunahme des Körpergewichtes zurückbleibt. Dies führt zu der Schlußfolgerung, dass beim Igel scheinbar das Eigenwachstum des Auges sehr viel früher beendet ist als bei der Beutelratte.

## 2.3.1.2. Lider

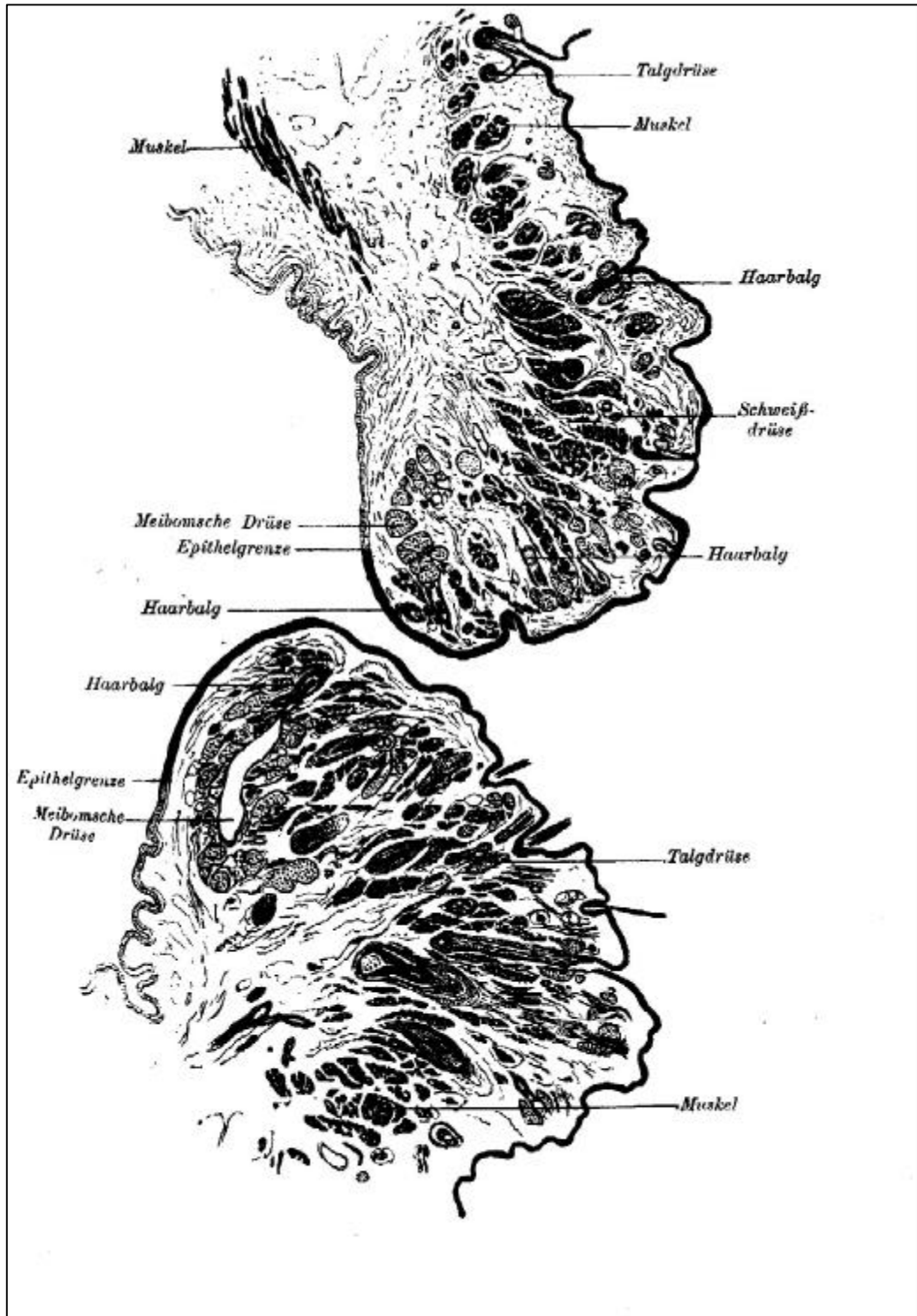


Abb. 4: Senkrechter Schnitt durch die Mitte der beiden Augenlider nach EGGELING (1904)



EGGELING (1904) untersucht die Morphologie der Augenlider bei verschiedenen Säugetieren. Die Lider stellen sich bei Erinaceus und anderen Vertretern der eher primitiven Entwicklungsstufe der Säugetierreihe als plumpe, niedrige und dicke Hautwülste dar. Auf der Außenfläche befinden sich Haare unterschiedlicher Stärke, die weitläufig angelegt und nicht deutlich von den Wimperhaaren abgegrenzt sind. In dem Stroma der Lider liegen Talg- und Schweißdrüsen, die beide in ihrem weiteren Verlauf gegen den freien Lidrand an Größe zunehmen. Im Gegensatz zu den Befunden bei erwachsenen Igel, die ein Übergewicht an mit Haaren in Verbindung stehenden Talgdrüsen aufweisen, kann EGGELING (1904) bei einem jungen Igel mit noch verklebten Augenlidern nur Schweißdrüsen-schläuche nachweisen. Während LOEWENTHAL (1932) die Anwesenheit von langgestreckten Schweißdrüsen für den Igel bestätigt, stellt FRANZ (1934) dies in Frage. EGGELING (1904) spricht bei Erinaceus von „ansehnlichen“ Talgdrüsenmassen mit einem weiten sackförmigen Ausführungsgang, dessen Mündung einem Haarbalg angeschlossen ist. Durch diesen Befund wird die ursprüngliche Entstehung der Meibomschen Drüsen aus Haarbalgdrüsen aufgezeigt. Da den Meibomschen Drüsen Haare fehlen, erfolgt aber gleichfalls eine deutliche Abgrenzung zu den beim Igel gefundenen Talgdrüsen. Im Einvernehmen mit EGGELINGs (1904) Befunden beschreibt WALLS (1942) bei Erinaceus eine Verbindung der Meibomschen Drüsen mit den Haarfollikeln. LOEWENTHAL (1932) bezeichnet die in der Lidbindehaut gelegenen Drüsen als Meibomsche Drüsen, während FRANZ (1934) mit EGGELINGs (1904) Ansicht übereinstimmt.

Anstelle einer derb-bindegewebigen Tarsalplatte befindet sich beim Igel knorpeliges Gewebe (EGGELING 1904; ANELLI 1936; DUKE-ELDER 1958). In mehreren Schnitten im Bereich der nasalen Hälfte der Lider entdeckt EGGELING (1904) sowohl im oberen als auch im unteren Augenlid je ein kleines Knorpelplättchen, auch ANELLI (1936) kann Knorpel im tarsalen Bindegewebe nachweisen.

Nahe unter der Lidoberfläche liegt der vom N. facialis (VII) innervierte, quergestreifte Musculus orbicularis oculi, der Schließmuskel der Lidspalte, der sich nach LOEWENTHAL (1932) aus einem Hauptast und einer schwächeren am Lidrand verlaufenden Portion

zusammensetzt. Ein weiterer Muskel, der *M. levator palpebrae superioris*, wurde bereits erwähnt.

### 2.3.1.3. Konjunktiva und Nickhaut

Über den freien Lidrand hinweg dehnt sich das mehrschichtige Plattenepithel noch weiter auf die Innenfläche der Lider, der *Conjunctiva palpebrarum*, bis zur halben Höhe der dort liegenden Talgdrüsenmassen aus (EGGELING 1904). Die sich in der Lidbindehaut befindende Tränenkarunkel (*Caruncula lacrimalis*) ist nach VIRCHOW (1910) sehr groß und dunkel pigmentiert. Das zentrale grau-schwarze Feld ist von einem schwarzen Hof umgeben. Das dritte Augenlid, die Nickhaut, ist nach LOEWENTHAL (1932) beim Igel nur schwach entwickelt. Im Übergangsbereich zwischen einer Falte der *Conjunctiva* und der Basis der Blinzhaut befindet sich ein Lymphfollikel (LOEWENTHAL 1892). Gestützt wird diese Bindehautfalte nach LOEWENTHAL (1892) durch eine Knorpelplatte, den Blinzknorpel (*Cartilago palpebrae III*).

LOEWENTHAL (1892) beschäftigt sich eingehend mit der Struktur der Harderschen Drüse des Igels und weist bei seinen Untersuchungen eine zweite kleinere Tränendrüse, die teilweise der Knorpelplatte des dritten Augenlides direkt anliegt, nach. Die ca. 11,5 mm lange, 10 mm breite und 5,5 mm dicke Hardersche Drüse ist von einer kompakten, bindegewebigen *Tunica fibrosa* umgeben, die an der äußeren konvexen Oberfläche von einer lockeren, Bindegewebe und elastische Fasern enthaltenden Schicht umhüllt wird. Die dem dritten Augenlid zugewandte Drüsenfläche ist zusätzlich durch bindegewebige Balken verstärkt. Das Stroma besteht neben den Drüsensäckchen im wesentlichen aus Fettgewebe, wobei sich die einzelnen Fettzellen an die Wand der Alveolen anlegen. Die Mündung liegt an der äußeren dem Augapfel abgewandten Fläche im Basalbereich der Nickhaut und enthält am Ende des Ausführungsganges zahlreiche Becherzellen. Ebenso münden die beiden getrennten Ausführungsgänge der kleinen „akzessorischen“ Drüse nicht - wie für die Haussäugetiere beschrieben (NICKEL et al. 1992 b) - auf der Bulbusfläche der Blinzhaut sondern oberhalb des Ausführungsganges der Harderschen Drüse. Neben Lage und Größe unterscheiden sich die beiden Drüsen durch die Anzahl der Alveolen vom schmalen Typus, die bei der kleineren

Drüse zahlreicher vertreten sind. FRANZ (1934) vermutet, dass es sich bei der als „akzessorischen Harderschen Drüse“ bezeichneten entwicklungsgeschichtlich um einen abgesprengten Teil der Harderschen Drüse handeln könnte.

Nach LOEWENTHAL (1892) besteht das Sekret der größeren azinösen, stellenweise auch tubulo-azinösen Drüse mit apokriner Sekretion aus einem fettigen und durch Freisetzung der Becherzellen schleimigen Gemisch. Charakteristisch für diese Drüsenform ist das beschriebene verschieden hohe Epithel und die wechselnden Mengen an Inhalt in den alveolären Endstücken.

Eine weitere Drüse, die sich im Bereich des Jochbogens befindende und in den äußeren Teil des Konjunktivalsackes mündende Glandula infraorbitalis, wird durch LOEWENTHAL (1912) für die Nager detailliert beschrieben und ihr Vorkommen für den Igel lediglich bestätigt. Über die genaue Lage, die Struktur und den Verlauf dieser Drüse speziell beim Igel ist ebenso wenig bekannt wie über die auch zu den subkonjunktivalen Drüsen zählende und der Ohrspeicheldrüse anliegende Glandula orbitalis externa, die laut FRANZ (1934) auch beim Igel vorhanden ist.

#### 2.3.1.4. Kornea

Neben einer recht stark gewölbten Kornea (KAHMANN 1930/1931) ist das kennzeichnende Baumerkmal des Auges der Säuger mit nocturner Lebensweise die ausgedehnte Hornhaut, die auch bei den Insektenfressern zu finden ist (FRANZ 1934; STARCK 1995).

Beim Igel bildet die Kornea etwa ein Drittel der Bulbusoberfläche (MERTÉ 1958). Dies zeigt sich in dem Größenverhältnis zwischen Hornhaut und Augapfel und wird bei FRANZ (1934) durch zwei Parameter bestimmt. Demnach beträgt bei einem Horizontalschnitt der Hornhautdurchmesser 79 % des gesamten Augapfeldurchmessers, die Hornhauttiefe 32 % der Bulbusachse. Der horizontale und vertikale Durchmesser der Kornea liegt nach FRANZ (1911) für beide Achsen bei je 5,1 mm, und sie erscheint somit von vorn gesehen nahezu kreisförmig. Außerdem ergeben sich nach FRANZ (1911) übereinstimmende Werte der

Hornhautdicke von 2 mm, gemessen im peripheren und zentralen Bereich, während LAUBER (1902) eine Zunahme der Dicke in Richtung Peripherie feststellt.

Grundlage der Untersuchungen von DEL DUCA (1931) ist das Hornhautepithel bei verschiedenen Vertebraten. Beim Igel ermittelt er für die Epithelstärke sowohl zentral als auch peripher gemessene Werte von 50  $\mu\text{m}$ . Die basale Schicht wird von zylindrischen Zellen mit Tendenz zu kubischer Form gebildet, deren Höhe 17 - 18  $\mu\text{m}$  und deren Breite 16 - 17  $\mu\text{m}$  beträgt. Die Epitheloberfläche ist glatt. Die etwa 2  $\mu\text{m}$  dicke Descemetsche Membran verjüngt sich beim Igel nach FRITZ (1906) zum Ende hin.

#### 2.3.1.5. Sklera und mittlere Augenhaut

Der distale Anteil der äußeren Augenhaut, die Kornea, geht in den proximalen Teil, die Sklera, ohne scharfe Grenzlinie über (LAUBER 1902). Laut MERTÉ (1958) bedeckt die Lederhaut ca. zwei Drittel der Bulbusoberfläche. Die weiße Augenhaut (Sklera) zeichnet sich durch Pigmentarmut aus, wohingegen die mittlere Augenhaut (Uvea) reich an Pigmenten ist (LAUBER 1902). Das zur Choroidea zählende und im Bereich des Fundus lokalisierte Tapetum lucidum ist nach BRÜCKE (1844) beim Igel nicht vorhanden. Charakteristische Licht- und Farbeffekte in Form von nächtlichem Augenleuchten werden nicht beobachtet (FRANZ 1934). Der Augenhintergrund von *Erinaceus europaeus*, den JOHNSON (1901) entsprechend seiner ophthalmoskopischen Untersuchungsbefunde auch zeichnerisch darstellt, erscheint einheitlich hellgrau.

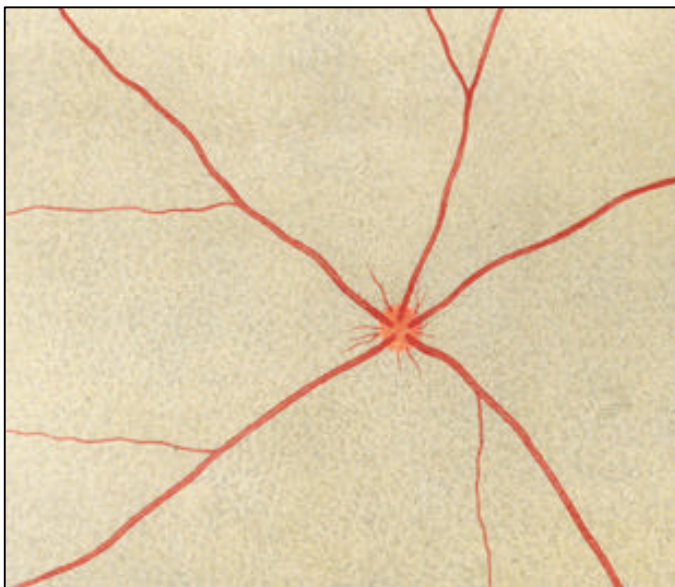


Abb. 5: *Erinaceus europaeus*: Fundus nach JOHNSON (1901)

Der Ziliarkörper ist, bedingt durch die weit nach vorn zum distalen Augenpol gelegene Ora serrata, kurz (LAUBER 1902). Seine Breite beläuft sich sowohl nasal als auch temporal auf etwa einen Millimeter (FRANZ 1911). Auf den von LAUBER (1902) angefertigten Schnitten stellt sich der Strahlenkörper aufgrund seiner starken Pigmentierung als kompakte schwarze Masse dar. Dabei bestehen Unterschiede in der Intensität, die im skleralen Bereich des Corpus ciliare weniger deutlich ist. Nach FRANZ (1934) ist *Erinaceus* ein Vertreter des wulstigen Ziliarfaltentypus, der etwa achtzig Fortsätze mit einer Länge von einem Millimeter auf der nasalen sowie auch der temporalen Seite aufweist. KAHMANN (1930/1931) weist bei seinen Untersuchungen des Strahlenkörpers nur niedrige Wulste und Buckel nach, so dass eine Zuordnung in die glatte oder wulstige Form nicht durchzuführen ist. Ferner scheint ihm eine genaue Zählung, da die vorgefundenen teilweise ungeordneten Strukturen häufig ineinander übergehen, nicht möglich.

In KAHMANNs (1930/1931) Abbildungen ist die rudimentäre Ausbildung des Simses, einer zirkulären Ziliarfalte, die die übrigen Ziliarfalten rechtwinklig schneidet, zu erkennen. FRANZ (1934) bestätigt das Vorkommen des Simses für *Erinaceus*. Diese stets glatte Falte ohne Gyri dient seiner Ansicht nach den anderen Ziliarfalten als Stütze bzw. verlängerte Basalplatte. Der Ursprung des Simses liegt etwa an der Iriswurzel, die an ihrem Distalbereich noch gut ausgebildete Faltenenden aufweist, die erst auf der Irishinterseite abfallen (FRANZ 1934). Die fast ausschließlich von den Tälern der Ziliarfalten ausgehenden Zonulae ciliares sind wenig differenziert und dienen im wesentlichen lediglich der Linse als Aufhängevorrichtung (KAHMANN 1930/1931).

Der glatte *M. ciliaris* ist bei niederen Säugetieren KAHMANN (1930/1931) zufolge gering entwickelt. Einige Muskelbündel reichen bei *Erinaceus europaeus* stellenweise weit in Richtung corneaseitigem Augenpol nach vorn, LAUBER (1902) kann in mehreren seiner Schnitte im Bereich des Kammerwinkels die Lichtung eines von Endothelien begrenzten Gefäßes nachweisen. Er bezeichnet diese Struktur als Schlemmschen Kanal, der seinen Abfluß nach vorn Richtung Konjunktiva findet. Das Bindegewebe des Ligamentum pectinatum, durch dessen Maschen das Kammerwasser den Schlemmschen Kanal erreicht,

tritt nach FRITZ (1906) gegenüber den zelligen Elementen zurück. Die Pupille ist nach JOHNSON (1901) wie bei allen Insektivoren rund.

#### 2.3.1.6. Linse und Glaskörper

Die Linse der Insectivora ist verhältnismäßig groß (FRANZ 1934; STARCK 1995). Durch eine Anpassung an das Dämmerungsleben zeigt sich zudem bei diesen Säugetieren eine Zunahme der Linsenwölbung, ohne die Gesamtmaße des Auges wesentlich zu vergrößern (KAHMANN 1930/1931).

FRANZ (1911) bestätigt durch die Bestimmung des Verhältnisses Linsendurchmesser zur Achse mit einer Wertespanne von 1,1 – 1,27 eine starke Wölbung für Erinaceus. Dabei wird der Durchmesser von FRANZ (1911) mit 6,1 mm angegeben, hingegen beträgt dieser nach KAHMANN (1930/1931) nur 3,23 mm.

Da KAHMANN (1930/1931) bei seinen Untersuchungen einen Wert von 2,23 mm für die Linsenachse ermittelt, liegt der Index mit 1,45 deutlich höher als der von FRANZ (1911) ermittelte. KAHMANN (1930/1931) bestimmt neben dem Augengewicht das Linsengewicht und setzt beide Parameter ins Verhältnis. Demnach entfällt ein Viertel des Bulbusgewichtes auf die 0,065 g schwere Linse. Abbildungen der Linsenform beim Igel finden sich neben anderen Vertretern der Vertebraten bei PRINCE (1956) und im Vergleich einiger Nachtsäugetiere bei KAHMANN (1930/1931).

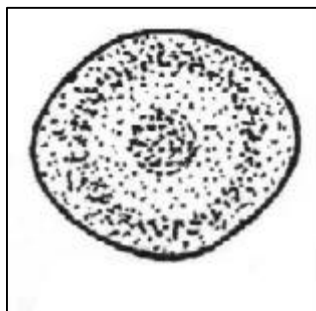


Abb. 6: Linse des Igels nach PRINCE (1956)

Wie bereits erwähnt, ist die Zonula ciliaris der niederen Säugetiere einfach strukturiert (KAHMANN 1930/1931). Die Fasern, die hauptsächlich den Tälern der Ziliarfalten entspringen, erscheinen in ihrer Zonulamasse ungegliedert, im circumlentalen Raum im Querschnitt etwa dreieckig bandförmig und setzen gleichmäßig verteilt im Bereich der

Äquatorzone der Linse an. Aufgrund der starken Wölbung der Linse, bleibt der Faseransatz nach vorn und hinten auf der Linsenkapsel räumlich begrenzt.

Zum Glaskörper finden sich bis auf die Studie von VIRCHOW (1885) keine besonderen Hinweise. Er verweist auf die histologische Struktur des Glaskörpers, insbesondere auf das deutliche Fasergerüst beim Igel.

#### 2.3.1.7. Innere Augenhaut und Sehnerv

Die innere Augenhaut (Retina) besteht aus einem blinden Teil, Pars caeca retinae, und aus einem lichtempfindlichen Teil, Pars optica retinae. Der Übergangsbereich ist durch die Ora serrata gekennzeichnet, die nach LAUBER (1902) beim Igel weit nach vorn zum distalen Augenpol gelegen ist. Die beiden Abschnitte der Pars caeca retinae überziehen als Pars ciliaris retinae den Ziliarkörpers und als Pars iridica retinae die Iris mit Epithel.

Der Sehteil, die Pars optica retinae, gliedert sich in das Außenblatt, bestehend aus dem Pigmentepithel, und das Innenblatt der Retina, dem Stratum nervosum.

Nach KOLMER und LAUBER (1936) besitzen alle europäischen Insectivora ein gut entwickeltes Pigmentepithel, das ihrer Ansicht nach ausschließlich funktionell mit zur Retina gehört. Eine ihrer Abbildungen zeigt eine Pigmentepithelzelle von *Erinaceus europaeus*. Nach FRANZ (1934) ist das Pigment bei nächtlichen Tieren schwach entwickelt und zeigt keine Lageveränderung.

Das Stratum nervosum, nach KOLMER und LAUBER (1936), MENNER (1929) sowie FAVALORO (1927) entspricht diese Schicht der eigentlichen Netzhaut, hat eine Gesamtdicke von 140-150  $\mu\text{m}$  (KOLMER u. LAUBER 1936), von 231  $\mu\text{m}$  (MENNER 1929), von 341,3  $\mu\text{m}$  am Sehscheibenrand (FAVALORO 1927) und von 181,3  $\mu\text{m}$  (FAVALORO 1927) in 100 Mikrometer Entfernung von der Ora serrata gemessen.

FAVALORO (1927) und MENNER (1929) bestimmen die einzelnen Maße des aus neun Schichten bestehenden Innenblattes der Retina, die außer den Photorezeptoren noch zwei nachgeschaltete Neurone enthalten:

Die dem Pigmentepithel anliegende Stäbchen- und Zapfenschicht hat einen Dickendurchmesser von 34  $\mu\text{m}$  (MENNER 1929) bzw. 40  $\mu\text{m}$  (FAVALORO 1927) und stellt als Außenglied die Rezeptorstruktur der Photorezeptoren, die die Sehpigmente führt, und als Innenglied das Stoffwechselzentrum dar. Nähere Angaben zu dem beim Igel (*Erinaceus europaeus* bzw. *Erinaceus concolor*) vorkommenden Sehpigment Rhodopsin finden sich bei den von BRIDGES und QUILLIAM (1973) durchgeführten spektroskopischen bzw. bei den von VAN VEEN et al. (1986) vorgenommenen immunoelektronenmikroskopischen Untersuchungen.

MENNER (1929) kann bei seinen Untersuchungen ein Außenglied nicht abgrenzen, vielmehr besteht das Stratum neuroepitheliale durchgehend aus sehr feinen, kaum einen Mikrometer starken fadenähnlichen Elementen, die aufgrund ihrer Struktur als Stäbchen erscheinen. Die nach MENNER (1929) beim Igel deutlich ausgebildete Membrana limitans externa trennt als äußere Gliagrenzmembran die Stäbchen- und Zapfenschicht von der 34  $\mu\text{m}$  bzw. 52  $\mu\text{m}$  und in der Area centralis 28  $\mu\text{m}$  (beiden letztgenannten Werte: FAVALORO 1927) messenden äußeren Körnerschicht. Die kernhaltigen Zellkörper der Photorezeptoren bilden das Stratum nucleare externum.

Nach MENNER (1929) lassen sich beim Igel zwei Kerntypen unterscheiden:

Neben den Stäbchenkernen, die 3 mal 4  $\mu\text{m}$  groß sind, enthält diese Schicht deutliche, etwa 4 mal 5  $\mu\text{m}$  große Zapfenkerne. Aufgrund der dichten Nachbarschaft zur Membrana limitans externa, der lockeren Chromatinanordnung und der weniger starken Färbbarkeit der Zapfenkerne grenzt MENNER (1929) diese von den Stäbchenkernen, die eine schollenförmige Chromatinstruktur aufweisen, ab. Allein 96,25 % aller äußeren Kerne zählen seiner Ansicht nach zu den Stäbchen und die restlichen 3,75 % zu den Zapfen. Zwar kann in Übereinstimmung mit MENNERs (1929) Befunden bereits KRAUSE (1881) bei seinen Studien ebenfalls Zapfen nachweisen, dagegen bezeichnet SCHULTZE (1866) den Igel als zapfenlos. KRAUSE (1881) führt diese Diskrepanz auf die unterschiedlichen Untersuchungsmethoden zurück. Dennoch wird SCHULTZEs (1866) Auffassung, dass in der Retina des Igels ausschließlich Stäbchen vorkommen, von vielen Wissenschaftlern (KAHMANN



1930/1931; KOLMER u. LAUBER 1936; WALLS 1942; DUKE-ELDER 1958; BRIDGES u. QUILLIAM 1973; LEVIER 1994; STARCK 1995) geteilt. Nach SCHULTZE (1866) beträgt die Stäbchendicke beim Igel 1,4  $\mu\text{m}$ . ALEXANDER-SCHÄFER (1907) errechnet bei *Erinaceus europaeus* eine durchschnittliche Breite eines Sehelementes von 5,42  $\mu\text{m}$ , wobei sie Stäbchen und Zapfen nicht voneinander differenziert.

In der sich anschließenden 23  $\mu\text{m}$  (MENNER 1929) bzw. 3  $\mu\text{m}$  (FAVALORO 1927) starken äußeren retikulären Schicht bilden die Axone der Sinneszellen mit den Dendriten der bipolaren Nervenzelle Synapsen. Beim Igel enthält sie zudem nach KOLMER und LAUBER (1936) einzelne Zellkerne.

Die Perikaryen des zweiten Neurons bilden die innere Körnerschicht, die nach MENNER (1929) eine Dicke von 34  $\mu\text{m}$  und nach FAVALORO (1927) von 64  $\mu\text{m}$  bzw. von 44  $\mu\text{m}$ , in der Area centralis gemessen, aufweist. Ihre Axone wiederum treten in der inneren retikulären Schicht mit einer Ausdehnung von 69  $\mu\text{m}$  (MENNER 1929) bzw. 84  $\mu\text{m}$  und 36  $\mu\text{m}$  im Bereich der Area centralis (FAVALORO 1927) mit den Nervenzellen des Opticusganglion in synaptischen Kontakt.

Die Axone, der nach MENNER (1929) 12  $\mu\text{m}$  starken Schicht der Ganglienzellen, formieren sich glaskörperwärts zur 23  $\mu\text{m}$  (MENNER 1929) breiten Opticusfaserschicht, um nach konvergierendem Verlauf zum Discus nervi optici den Augapfel über die Area cribrosa sclerae zu verlassen. Sie bilden in der Summe ihrer einzelnen Fasern den in Richtung Gehirn ziehenden N. opticus.

FAVALORO (1927) bestimmt die Dicke der Ganglienzell- und Nervenfaserschicht, die zusammen 88  $\mu\text{m}$  bzw. 28  $\mu\text{m}$  in der Area centralis beträgt. Gegen den Glaskörperraum wird die Retina durch die 1  $\mu\text{m}$  (MENNER 1929) bzw. 1,3  $\mu\text{m}$  (FAVALORO 1927) starke Membrana limitans interna, eine Neuroglia-schicht, abgeschlossen.

Nach MENNER (1929) kommen auf einen Retinaabschnitt von 132  $\mu\text{m}$  130 Sehzellen, 132 durchschnittlich in sechs Schichten gelagerte Sehzellenkerne, davon 5 deutliche Zapfenkerne, 54 durchschnittlich in vier Lagen angeordnete Kerne der inneren Körnerschicht und sieben gewöhnlich in einer Schicht liegende Ganglienzellen. ALEXANDER-SCHÄFER (1907) zählt die Sehelemente, die auf eine quadratische Fläche mit einer Seitenlänge von 0,023 Millimeter fallen und ermittelt achtzehn beim Igel. Während MENNERs (1929) Angaben sich auf den

Netzhautabschnitt beziehen, der ein Viertel Zentimeter temporal der Eintrittsstelle des N. opticus liegt, ist die Lage (Zentrum oder Peripherie) der von ALEXANDER-SCHÄFER (1907) untersuchten Fläche nicht bekannt.

Die einigen Messungen von FAVALORO (1927) zugrundeliegende Area centralis retinae, die sogenannte Stelle des besten Sehens, ist nach KAHMANN (1930/1931) beim Igel nicht vorhanden. FRANZ (1913) spricht sie generell allen Insektenfressern ab.

Der Sehnerv (N. opticus) des Igels ist nach Messung von FRANZ (1911) 0,3 bis 0,4 mm dick. Seine Austrittsstelle, der Discus (Papilla) nervi optici, ist bei *Erinaceus europaeus* kreisförmig, klein und erscheint bei den durchgeführten ophthalmoskopischen Untersuchungen hellrot gefärbt (JOHNSON 1901). Nach KAHMANN (1930/1931) ist der Discus bei den Dämmerungstieren, zu denen er auch den Igel zählt, nahezu im Zentrum des Augenhintergrundes lokalisiert.

Die Netzhaut des Igels ist nach LEBER (1903) holangisch, d.h. sie ist in ihrer ganzen Ausdehnung vaskularisiert. Bei *Erinaceus* kommen die Gefäße neben kleineren Ästen, die am Rand des Discus nervi optici hervortreten, im mittleren Teil der Sehscheibe an die Oberfläche. Bei diesen Netzhautgefäßen handelt es sich um deutliche Abkömmlinge der Arteria und der Vena centralis retinae. JOHNSON (1901) zählt *Erinaceus* aufgrund seiner ophthalmoskopischen Untersuchungsergebnisse zu dem euangiotischen Typ, dessen Beschreibung des Ursprungs und Verlaufes der Gefäße der holangischen Form nach LEBER (1903) weitestgehend entspricht.

### 2.3.2. Elektronenmikroskopische Untersuchungen

Die von SIEMEN (1976) durchgeführten elektronenmikroskopischen Studien des Auges bei nachtaktiven Insektenfressern (u.a. bei *Erinaceus europaeus*) beschränken sich auf die Kornea, die Linse und auf Anteile der inneren Augenhaut.

Von zentral nach peripher nimmt der Umfang der Kornea zu. Die Hornhaut weist von anterior nach posterior die für die Haussäugetiere (NICKEL et al. 1992 b) typischen vier Schichten, das Oberflächenepithel, das Stroma, die Descemetsche Membran und das Endothel auf.

Eine beim Menschen und bei Primaten zu findende Bowman'sche Membran fehlt dem Igel. Das außen liegende unverhornte Epithel, das etwa ein Viertel des Gesamtdurchmessers der Hornhaut ausmacht, besteht aus durchschnittlich acht Zellschichten. Zwischen den basalen Zellen, die kubisch geformt sind, sind frei endende Nervenfasern angeordnet. Die Zellen flachen in den darüberliegenden Schichten, insbesondere in den oberen vier einschließlich der Nuclei, zunehmend ab. Die Substantia propria corneae, die etwa dreimal soviel mißt wie das Korneaepithel und somit die mächtigste Schicht der Hornhaut darstellt, weist im distalen Randbereich Gefäße und Kapillaren auf, die über den Kammerwinkel hinaus in die Kornea vordringen. Die Grundstruktur bilden straffe bindegewebige Fasern. An der Facies posterior ist die Propria durch eine dünne Descemet'sche Membran begrenzt, der das mit großen und flachen Kernen versehene Endothel aufliegt (SIEMEN 1976).

Unter der stellenweise bis etwa 2  $\mu\text{m}$  dicken Linsenkapsel befindet sich an der Vorderfläche das einschichtige Linsenepithel, dessen Zellen mit ihren langen Fortsätzen untereinander in Verbindung stehen. Zellkontakte in Form von Desmosomen sind dabei verhältnismäßig selten nachzuweisen. Auffällig ist im Epithel das Bilden von Blasen, die im Bereich der Zonula ciliaris ihre größten Durchmesser erreichen. An Zellorganellen dominieren im Zytoplasma freie Ribosomen und längsovale Mitochondrien. Das Vorkommen von Zilien und Basalkörnern wird für den Igel bestätigt. Der Verlauf der Linsenfasern, die im peripheren Bereich durch gerade Zellgrenzen und zum Zentrum durch zunehmende Verzahnung gekennzeichnet sind, ist regelmäßig. Zonulae occludentes stellen eine große Anzahl der Zellverbindungen dar. Blasenförmige Auftreibungen der Zellmembranen benachbarter, äquatorialer Linsenfasern sind vermehrt in der Rinde anzutreffen. Das Zytoplasma der einzelnen zentralen Zellen zeigt nach lateral eine stetig ansteigende Verdunkelung und im Zusammenspiel mit der helleren Seite der folgenden Zelle entsteht ein gestreiftes Aussehen. Dadurch werden dunklere Bereiche im helleren Zytoplasma sichtbar, die scheinbar einen Vesikeltransport zwischen benachbarten Zellen von zentral nach peripher bekunden. Möglicherweise könnte es sich dabei auch um Ausschnitte von in sich gewinkelten Füßchen, mit denen sich die Linsenzellen untereinander verhaken, handeln. Der Linsenkern ist unregelmäßig polygonal und weist tiefe Einstülpungen auf (SIEMEN 1976).

Zu den von SIEMEN (1976) untersuchten Strukturen der inneren Augenhaut zählen das Pigmentepithel, die Photorezeptoren und die Müllerschen Stützzellen.

Das Pigmentepithel, bestehend aus etwa 8  $\mu\text{m}$  großen und mit ca. gleichlangen apikalen Mikrovilli versehenen Pigmentzellen, die durch Desmosomen miteinander in Verbindung stehen, sitzt der dreischichtigen (Basallamina, Kollagenfaserschicht und eine elastische Lamina) 0,7  $\mu\text{m}$  starken Bruch'schen Membran auf.

Neben einer stellenweise starken Auffaltung der basalen Plasmamembran kommen ebene Abschnitte mit einer Ausdehnung von 3  $\mu\text{m}$  und mehr vor. Im Zytoplasma befinden sich an Zellorganellen Mitochondrien, Ribosomen, Golgi-Apparate, Lysosomen und das endoplasmatische Retikulum (ER), das in der glatten Form vermehrt vorhanden ist. Dabei sind im apikalen Bereich der Zelle glattes ER und einzelne Mikrotubuli, die teilweise basal entspringen, angeordnet, während basal die Anzahl der Mitochondrien und des granulären ER abnimmt. Ferner ist eine Größenzunahme der einzelnen Lysosomen in Richtung Photorezeptoren zu verzeichnen. Die rundlich bis längsoval geformten und teilweise inhomogen gefärbten Pigmentgrana liegen zusammen mit den verschiedenartig gestalteten, unabgebauten Lamellenkörpern in großer Menge im Bereich der Mikrovilli. Im Umfeld der Kerne lassen sich Reste von Lamellen und Mikrograna in osmiophiler Grana erkennen. Die mit unterschiedlichem Durchmesser ausgestatteten Mikrovilli schieben sich zwischen die Photorezeptoren, genaugenommen den größten Teil der Außenglieder, vor. Ihr Zytoplasma scheint hell und enthält fein filamentöses Material, ansonsten ist es arm an Zellorganellen.

Die Außenglieder der Rezeptoren, die, wie bereits erwähnt, apikal durch die Mikrovilli des Pigmentepithels voneinander getrennt sind, weisen eine einheitliche schlichte Form auf und sind auch aufgrund ihrer Länge und der durchgehenden Außenmembran den Stäbchen zuzuordnen (SIEMEN 1976). In OZHIGOVAs (1978) Abbildungen weisen die Außensegmente, die keine spezifischen Struktureigenschaften der Zapfen bzw. der Stäbchen erkennen lassen, eine ähnlich runde Form auf. Nach SIEMEN (1976) scheinen die Innenglieder mit ihrer schlanken Form und den langen, nicht sehr zahlreichen Mitochondrien ebenso wie die Außenglieder gut zum Stäbchentyp zu passen. Während sich bei den

Untersuchungen von VAN VEEN et al. (1986) zwar die Mehrzahl der Photorezeptoren als Stäbchen darstellen, sind dabei auch einige zapfenartige Rezeptoren mit breitem Innen- und kurzem Außenglied zu erkennen. In Übereinstimmung mit MENNER (1929) enthält der überwiegende Anteil der Kerne der äußeren Körnerschicht elektronendichte Schollen und auch peripher kommen die von MENNER (1929) beschriebenen weniger stark gefärbten Kerne mit randständig ausgebildetem Chromatin vor (SIEMEN 1976). Die letztgenannten Kerne sind ebenfalls in den tieferen Schichten und dort in vielen Zwischenstufen zu den anderen Kernen vertreten. Golgi-Felder, einzelne Stränge von granulärem ER, Glycogen und freie Ribosomen sind in der Umgebung des Kernes anzutreffen. Die Form der synaptischen Endstücke der Rezeptoren ist durch Übergänge von knöpfchen- bis annähernd bäumchenartigen Füßchen charakterisiert. Die letztgenannte bäumchenartige Struktur könnte einen Hinweis auf das Vorkommen von Zapfen darstellen (SIEMEN 1976). Die Zonulae adhaerentes stellen den Zellkontakt zwischen den Rezeptorzellen und den Müllerschen Zellen dar. Diese Gliazellen bilden zwischen äußerer Körner- und Stäbchen- und Zapfenschicht die äußere Grenzmembran *Membrana limitans externa*. Sie können eine beträchtliche Ausdehnung erreichen und sind durch einen hohen Glycogengehalt gekennzeichnet.

Die Netzhaut des Igels gilt als reich vaskularisiert. Kleinere Gefäße kommen sowohl im Glaskörper als auch in der Bipolarenschicht und weiter innen liegenden Schichten vor. Bemerkenswert ist dabei die verhältnismäßig starke Kapillarisation der äußeren retikulären und der inneren Körnerschicht. Daneben führen Ausläufer der *Arteria hyaloidea* zur Einbuchtung der *Membrana limitans interna*.

OZHIGOVA (1978) bestimmt den Konvergenzgrad der Photorezeptoren im Bereich des Netzhautzentrums und in der Retinaperipherie. Dabei erhält eine multipolare Ganglienzelle im Zentrum Informationen von durchschnittlich 8,5 bipolaren Nervenzellen und von 42,5 Photorezeptoren, hingegen in der Peripherie von 13 Zellen des *Stratum ganglionare retinae* und von 78 Rezeptoren. Folglich fallen zentral fünf und peripher sechs Photorezeptoren auf eine bipolare Nervenzelle.

### 2.3.3. Schlußfolgerungen: Bedeutung und Funktion

Als Grundlage der wissenschaftlichen Einschätzung zur Bedeutung und Funktion des Sehorgans für den Igel dient der beschriebene anatomische Aufbau des Igel Auges. Wichtig und daher zu berücksichtigen sind neben seiner Lebensweise die phylogenetische Entwicklung und die systematische Einordnung des Igels.

Als dämmerungs- und nachtaktives Tier spielt der Gesichtssinn im Vergleich zu den anderen wohl ausgebildeten Sinnen wie dem Gehör und dem Geruchssinn eine untergeordnete Rolle (HERTER 1938). Die ausgedehnte Kornea, die große Linse und die Stäbchenretina stellen eine Anpassung an die nocturne Lebensweise dar (STARCK 1995). Die geringe Bedeutung der Augen für die Orientierung zeigt sich nach KAHMANN (1930/1931) in dem Verhältnis Augengewicht zu Körpergewicht, das im Vergleich zu anderen Säugetieren mit kleineren Verhältniswerten auffällt. Der Igel ist wesentlich mehr auf seinen Geruch angewiesen (KAHMANN 1930/1931; HERTER 1938). Dies ist wie bereits beschrieben anhand der weit nach kaudal ziehenden Ausdehnung der Nasenhöhle und an der Größe des Bulbus olfactorius, dessen relativen Anteil am Gesamtcortex STEPHAN (1956) für den Igel mit 14,87 % dem höchsten Wert im Vergleich zu anderen Tieren bestimmt, zu erkennen. WINCKLER (1932) kann makroskopisch bei seinen Untersuchungen ein Ganglion ciliare für den Igel nicht nachweisen. Er führt dieses Fehlen auf die angepaßte Lebensweise des Igels zurück, die eine vorrangige Ausbildung des Sehorgans nicht sinnvoll und notwendig erscheinen läßt. Verdeutlicht wird dies durch die teilweise rudimentäre bzw. wenig differenzierte Ausprägung (z.B. Augenlider, Nickhaut, Ziliarkörper, Zonula ciliaris, Musculus ciliaris, Netzhaut) oder sogar das Fehlen (z.B. Tapetum lucidum, Glandula lacrimalis) von Strukturen des Sehapparates. Zum besseren Schutz des Augapfels gegen mechanische Verletzungen bzw. das zufällige Eindringen von Fremdkörpern ist zum einen die enge Lidöffnung (EGGELING 1904) zum anderen das sehr dicke straffe und widerstandsfähige Korneaepithel (SIEMEN 1976) von Vorteil.

Die an der Akkommodation beteiligten Strukturen, die Linse, der Ziliarmuskel und die Zonulafasern, scheinen aufgrund ihrer anatomischen Verhältnisse ihrer eigentlichen Funktion nicht gerecht zu werden. Der gering entwickelte Ziliarmuskel, die Anordnung der

Zonulafasern und ihr Ansatz an der Linsenkapsel lassen darauf schließen, dass eine Formveränderung der zudem noch harten Linse nur gering ausfallen kann. Folglich dient die große und stark gewölbte Linse, der SIEMEN (1976) einen lebhaften Stoffwechsel bescheinigt, wahrscheinlich vornehmlich der besseren Ausnutzung des diffusen Lichtes, also der stärkeren Erhellung des Augenhintergrundes (KAHMANN 1930/1931). Da die Entstehung der von SIEMEN (1976) beschriebenen Blasenbildung im Linsenepithel nicht geklärt ist, lassen sich keine endgültigen Aussagen über die Auswirkungen auf die Sehtüchtigkeit treffen. KAHMANN (1930/1931) vermutet u.a. beim Igel ein rudimentäres wenn nicht sogar fehlendes Akkommodationsvermögen und führt Versuche zur Bestimmung von Refraktion und Akkommodation durch, die seine Annahme bestätigen.

Nach SIEMEN (1976) erscheint der Sehteil der Netzhaut bestehend aus Pigmentepithel und Stratum nervosum funktionstüchtig. Das Überwiegen der Stäbchen sowie die breitere äußere und die schmalere innere Körnerschicht sind charakteristische Merkmale einer nachtangepaßten Retina (KOLMER u. LAUBER 1936; SIEMEN 1976). Dabei steht das Ausmaß der genannten Schichtdicken im Zusammenhang mit Sehschärfe und Auflösungsvermögen, die bei Nachttieren gegenüber einer höheren Lichtempfindlichkeit von untergeordneter Bedeutung sind (SIEMEN 1976). Dies zeigt sich auch in OZHIGOVAs (1978) Ergebnissen bei der Bestimmung des Konvergenzgrades. Das Weiterleiten von Informationen von vielen Photorezeptoren auf wenige Neuronen beim Igel kennzeichnet eine hohe Konvergenz, die mit einer geringen Sehschärfe und einer hohen Lichtempfindlichkeit korreliert ist. Die Frage des Farbensehens und damit das Vorkommen bzw. Fehlen von Zapfen ist noch nicht endgültig beantwortet und bewiesen. Ungeachtet der Tatsache, dass SCHULTZE (1866) und KAHMANN (1930/1931) dem Igel den Farbensinn absprechen, gestehen sie ihm doch Licht- und Raumsinn, die ein Bewegungssehen ermöglichen, zu. Aufgrund der starken Kapillarisierung der äußeren retikulären und der inneren Körnerschicht können sich ferner Beeinträchtigungen der optischen Leistungsfähigkeit ergeben (SIEMEN 1976).

## **2.4. Gesichtssinn: Biologie und Physiologie**

### 2.4.1. Physiologische Daten und Verhaltensbeobachtungen

Jungigel sind bei der Geburt blind. Nach ROBINSON und ROUTH (1999) sowie GREGORY und STOCKER (1992) kann die Augenöffnung bereits im Alter von zwölf Tagen beginnen. Gewöhnlich erfolgt sie während der dritten Lebenswoche (HERTER 1963; ISENBÜGEL u. BAUMGARTNER 1993; HOEFER 1994; STARCK 1995). Nach MORRIS (1967), der Zuchtversuche durchführt, stellen die Tiere, die erst spät im Alter von zwanzig bzw. recht früh im Alter von dreizehn Tagen die Augen öffnen, Ausnahmen dar.

Verglichen mit seinen nahen Verwandten, dem Maulwurf und der Spitzmaus, hat der Igel recht große Augen mit geringer Effizienz (BURTON 1969). Unter den nachtaktiven Tieren scheint er eine Ausnahme darzustellen, da diese entweder leistungsstarke, gewöhnlich große Augen oder kleine, weniger leistungsfähige Augen und zusätzlich andere stark ausgeprägte Sinne aufweisen. In Übereinstimmung mit BURTON (1969) beschreiben auch HERTER (1963) und STOCKER (1989) die Augen des Igels, die ferner nach den beiden letztgenannten Autoren sehr dunkelbraun (STOCKER 1989) bis schwarz gefärbt, leicht vorstehend und glänzend sind, als relativ groß.

Im Leben der meist nachtaktiven Igel scheint der Gesichtssinn mit den drei Grundempfindungen Lichtsinn, Farbensinn und Raumsinn bei der Orientierung eine untergeordnete Rolle zu spielen. Auffällig ist die geringe Lichtempfindlichkeit der Tiere. Plötzlicher sehr starker Beleuchtungswechsel wie Anstrahlen mit hellem künstlichen Licht irritiert die Igel kaum (GÖRING 1929/1930; HERTER 1963; BURTON 1969; PODUSCHKA 1969). Im Gegensatz hierzu betont SCHICHT-TINBERGEN (1989) eine ausgeprägte Lichtempfindlichkeit, die sich beim Aufdecken von zuvor schlafenden, zugedeckten Igel zeigt. Sind ferner nach PODUSCHKA (1969) erwachsene Tiere längere Zeit starkem elektrischem Licht oder hellem Tageslicht ausgesetzt, versuchen sie sich zu verstecken. Demgegenüber erwecken Jungigel den Anschein, bedeutend unempfindlicher zu sein. Sie nutzen gern die Morgensonne mit geschlossenen Augen zu einem längeren Sonnenbad.



Bei der Raumorientierung (BURTON 1969; LIENHARDT 1979) und der Nahrungssuche (BURTON 1969; MORRIS 1984; SCHICHT-TINBERGEN 1989) ist der Geruchssinn maßgebend. Allerdings zeigen die Tiere häufig ein unverständliches Verhalten, wenn sie bei Nichtgebrauch der Nase ein leicht zu fangendes Beutetier ignorieren oder auf eine drohende Gefahr direkt zulaufen (MORRIS 1984). Obwohl sie nach REEVE (1994) Formen und bewegte Objekte im Mondlicht differenzieren können, scheint dies bei der Nahrungssuche nicht von großer Bedeutung, da sie nach BURTON (1969) ihre Beute unabhängig von Bewegung und Gestalt finden können. Ebenso sind Farbunterschiede des Futters für den Igel nach PODUSCHKA (1969) bedeutungslos. Schwarz gefärbter Grießbrei und artfremd gefärbtes anderes Futter wurden anstandslos gefressen. Verdeutlicht wird der untergeordnete Stellenwert der Augen noch durch die Beobachtungen von BURTON (1969), wonach Igel unbeirrbar geradeaus gehen. Auch wenn sich ihnen Hindernisse in den Weg stellen, weichen sie nur selten aus sondern wählen die weitaus schwierigere Variante des Kletterns. Auch GÖRINGs (1929/1930) nächtliche Studien an freilebenden Igel, die wiederholt mit ihrer Nase gegen die Schuhe des regungslosen Untersuchers stießen und anschließend über seine Füße liefen, belegen das schwache Sehvermögen der Igel gegenüber ruhenden Objekten. Nach MORRIS (1984) ist es den Tieren möglich, in der Dunkelheit entfernte sich auf sie zubewegende Objekte sowie auffällige landschaftliche Markierungen wie Bäume und Häuser wahrscheinlich als sich gegen den Himmel abzeichnende Formen wahrzunehmen. Eine Igelin aus GÖRINGs (1929/1930) Garten registriert den Beobachter erst, nachdem sich dieser bis auf zwei Meter nähert.

Um letztlich eine richtige Einschätzung der Leistungsfähigkeit der Augen des Igels zu erhalten, muß gewährleistet sein, dass die vorrangigen Sinne wie Geruch und Gehör ausgeschaltet werden. Dies geschieht durch die im folgenden Kapitel dargestellten Versuche.

#### 2.4.2. Experimentelle Bestimmung der Leistungsfähigkeit des Sehorgans

Die Beteiligung des Auges bei der Nahrungssuche und dem Beuteerwerb untersucht LISSMANN (1933), indem er einem Igel einen Frosch, der unter einem Glasgefäß sitzt, präsentiert. Von seinem Beutetier nimmt der Igel erst Notiz, als dieses Bewegungen in Form von Hüpfen zeigt und reagiert sodann unter Fauchen mit zielgerichtetem Vorwärtstreben.

Die weiteren unterstützenden Beobachtungen von LISSMANN (1933) während der Fütterung, die das Verfehlen der Futterquelle nach Standortwechsel und anschließendem Stillstehen des fütternden Untersuchers, bei Bewegung aber das sofortige Auffinden zur Folge hat, weisen nach HERTER (1938) auf eine gewisse Beteiligung der Augen bei der Jagd lebender Beute am Tag hin.

Wenig Beachtung finden nach HERTER (1938) die sich in der Umwelt des Igel befindenden Formen von Gegenständen, da das Tier bei den Tondressuren von LISSMANN (1933), die menschliche Gestalt optisch nicht von verschiedenen anderen Objekten unterscheiden kann.

Um den optischen Eigenschaften wie Form, Helligkeit und Farbe der Umweltgegenstände eine biologische Bedeutung für den Igel zu geben, verknüpft sie HERTER (1933, 1934 a) bei seinen Dressurversuchen mit Futterreizen. Dabei wird der Igel in einen zweigeteilten Käfig verbracht mit der Möglichkeit, durch Öffnen der im Zaun verankerten Schiebetüren zum Futter zu gelangen. In den Versuchen werden positive Signale durch Futter belohnt, negative durch Schlag auf die Nase bestraft. Entsprechend dem verfolgten Ziel der Studie ändert sich die Frontfläche der Schiebetüren in ihren Merkmalen.

Die Unterscheidung der Türen in ihrer Raumlage, die sogenannte Ortsdressur, gelingt beim Igel schnell, was nach HERTER (1963) auf das selbständige Antrainieren auf Orte oder Wege in der Natur zurückzuführen ist. Die optische Beteiligung wird mittels einer Glasscheibe, die anstelle einer Schiebetür eingesetzt ist, nachgewiesen (HERTER 1933). Der Igel kollidiert mit der Scheibe, weil er die ehemals weiße Tür scheinbar für offen gehalten hat (HERTER 1938). Bei den Helligkeitsdressuren (HERTER 1933), bei denen die Vorderseiten der Türen mit Papieren der dreißigstufigen Heringschen Graupapierserie beklebt werden, sind bedeutend mehr Übungen nötig. Helligkeitsdifferenzen kann der Igel weitgehend auseinanderhalten, insbesondere in den dunklen Gebieten der Grauserie feiner als in den hellen. Im Vergleich zum Menschen scheint das Unterscheidungsvermögen geringer ausgeprägt zu sein. Verschiedenfarbige Türen kann das Tier bei den von HERTER (1933) durchgeführten Farbdressuren zumindest gelb von anderen Farben und von Graustufen abgrenzen. Es hat demnach einen Farbensinn.

In der folgenden Veröffentlichung von HERTER (1934 a), die ebenfalls Dressurversuche zum Inhalt haben, werden weitere Studien unternommen, um festzustellen, ob die relativen

Helligkeitswerte der Heringschen Farbpapiere für die Igel ähnlich oder gleich denen des helladaptierten farbentüchtigen Menschen sind und um damit der von LOCHER (1933) geforderten Beweisführung nachzukommen. Igel, die auf farblose Helligkeiten dressiert sind, wählen sowohl zwischen farbigen als auch farblosen Signalen nach den relativen Helligkeiten. LOCHERs (1933) Einwand kann durch HERTERs (1934 a) Befunde, wonach farbige Helligkeiten von den Tieren grundsätzlich ähnlich wie vom Menschen gesehen werden, entkräftet werden. Nach WALLS (1942) werden in der zweiten Veröffentlichung HERTERs (1934 a) zum einen nicht alle Kritikpunkte LOCHERs (1933) widerlegt und zum anderen stellt er das Farbsehen beim Igel weiterhin in Frage. Auch DUKE-ELDER (1958) scheint die von HERTER (1933, 1934 a) gezogene Schlußfolgerung, dass der Igel gelb von grau unterscheiden kann, als nicht berechtigt. Vielmehr sind die Helligkeitsunterschiede seiner Auffassung entsprechend in HERTERs (1933, 1934 a) durchgeführten Experimenten nicht ausreichend kontrolliert worden.

SGONINA (1936) analysiert die Ergebnisprotokolle von Farb- und Helligkeitsdressuren bei Meerschweinchen und Igel und kann dabei vier verschiedene Reaktionstypen vom Beginn des Versuchs bis zum Lernerfolg unterscheiden. Mit steigender Dressurzahl steht bei beiden Tierarten die Wahl nach Farbe oder Helligkeit (Reaktionsart IV) im Vordergrund. Sie reagieren also verstärkt auf den Reiz, auf den die Dressur abzielte, das beabsichtigte Ziel kann somit erreicht werden.

Weitere Schiebetürversuche ergeben, dass die Igel auch Formen weitgehend optisch differenzieren können, wobei sie sich nach Konturreichtum und nach Auflösungsgrad der Umrisse richten (HERTER 1934 a).

In Übereinstimmung mit HERTERs Ergebnissen weisen die Untersuchungen von LINDEMANN (1951) ebenfalls auf die nicht unerhebliche Rolle des Gesichtssinns bei der Raumorientierung hin. Während der Igel „Eri“ nach Legen einer Geruchssperre mittels Petroleum die gut bekannte Gitterpforte ohne Zögern passiert, läuft er bei zusätzlich optischer Entfremdung des Gartentores und der angrenzenden Zaunteile achtlos an der Öffnung vorbei. Die Mitwirkung optischer Erinnerung beim Wegfinden neben dem Geruchs- und Tastsinn wird zudem in einem Maskierungsversuch, bei dem die Augen und Schnurrhaare der Igel mit

einer Gesichtsmaske bedeckt sind, demonstriert. Anfänglich bewegen sich die Tiere langsam mit den Vorderpfoten tastend, teilweise unkoordiniert. Nachdem sie sich an die Maske gewöhnt haben, bleiben sie unschlüssig vor der Petroleumsperrung sitzen oder kehren zögernd um, wohingegen sie den gleichen Weg ohne Geruchssperre recht sicher bewältigen. Bei einem weiteren Versuch ohne Petroleumsperrung aber mit optischer Entfremdung der Gitterpforte zeigt sich in gut der Hälfte der Untersuchungen vor dem Hineingehen ein zögerliches Verhalten. Dies ist nach LINDEMANN (1951) ein Maßstab für die Stärke der optisch erlernten Komplexqualitäten.

Bei den Spaziergängen kann LINDEMANN (1951) beobachten, dass die Tiere zum einen von der etwa zwanzig bis dreißig Zentimeter hohen Bordsteinkante die glänzende Wasseroberfläche von Regenfützen und zum anderen weiter entfernte Gegenstände erkennen. Sie steuern einen zwölf Meter entfernten Heckenzaun ebenso sicher an wie ein unbekanntes, sich im Abstand von fünfzehn Meter befindendes Mauerloch. Der Igel „Eri“ nimmt die petroleumverwitterte Gartenpforte über die Straßenbreite sowohl am Tage als auch in der Dämmerung wahr. Zur Bestimmung der Sehweite führt LINDEMANN (1951) Versuche in einem unbekanntem offenen Gelände, das beidseits durch sechzig Meter voneinander entfernte Bäume und Hecken begrenzt ist, durch. Die Tiere werden in der Mitte ausgesetzt und gehen in der überwiegenden Anzahl der Versuche nach kurzem Umherstreifen mit zunehmender Sicherheit auf die Unterschlupfmöglichkeiten zu. Folglich beträgt die Sehweite am Tage etwa dreißig Meter. In der Dämmerung wird eine zielgerichtete Bewegung erst bei einem Abstand von zwölf Metern festgestellt. Die Sehweite im Dämmerungssehen scheint demnach knapp halb so groß zu sein wie am Tage.

Die übliche Annahme (LEVIER 1994), dass der Igel kurzsichtig sei, wird durch LINDEMANNs (1951) Beobachtungen, wonach Igel auch relativ weit entfernte Gegenstände wahrnehmen, entkräftet. HERTER (1963) und LINDEMANN (1951) stimmen in der abschließenden Beurteilung überein, wonach Igel weitaus sehtüchtiger sind, als man nach ihrem Verhalten in der Natur vermuten sollte. Allerdings steht die Leistungsfähigkeit des Gesichtssinns bei der Orientierung hinter dem Geruchssinn und dem Gehör zurück.

### 2.4.3. Informationsaufnahme und –verarbeitung

#### 2.4.3.1. Räumliches Sehen

Die Fähigkeit zu räumlichem Sehen ist abhängig vom Ausmaß des bei fixiertem Kopf mit unbewegtem Auge wahrgenommenen räumlichen Ausschnitts der Umwelt und wird als Gesichtsfeld bezeichnet. Verschiedene Faktoren wie Bau und Stellung der Kornea und der Linse, die Ausdehnung der Netzhaut sowie die Lage des Auges im Kopf sind bei seiner Bestimmung von Bedeutung. Bei Tieren wird die Ausdehnung des Gesichtsfeldes meist in der horizontalen Ebene angegeben (PFLUMM 1996). Der Winkelsektor des monokularen Gesichtsfeldes beim Igel wird von KAAS et al. (1970) mit  $150^\circ$  bis etwa  $170^\circ$  angegeben. LEVIER (1994) hingegen nennt einen Wert von  $130^\circ$ . Die Ausdehnung des gesamten Gesichtsfeldes beider Augen scheint in dem Bereich von  $270^\circ$  bis  $290^\circ$  zu liegen, während das Überlappungsgebiet, das binokulare Sichtfeld, durch einen Wert von etwa  $50^\circ$  charakterisiert wird (KAAS et al. 1970).

Die Horizontalprojektionen der beiden festgestellten Augenachsen schließen einen Winkel ein, der von PFLUMM (1996) als Öffnungswinkel benannt wird und beim Igel nach JOHNSON (1901)  $80^\circ$  beträgt. Es ist üblich, nur die Hälfte des Öffnungswinkel für eine Tierart oder –gruppe (entsprechend  $40^\circ$  beim Igel) anzugeben. Stereoskopisches Sehen ist vorrangig eine gemeinsame Leistung beider Augen und beschränkt sich daher hauptsächlich auf das binokulare Sehfeld. Es ist um so größer, je kleiner der Öffnungswinkel ist. Gleichmaßen nimmt dafür die Größe des gesamt übersehbaren Raumes ab (PFLUMM 1996). Bei der einäugigen Tiefenwahrnehmung werden verschiedene Phänomene wie Konturüberschneidungen, Größenunterschiede und Schattenwurf etc. herangezogen (SILBERNAGL u. DESPOPOULOS 1991).

Tiere wie der Igel mit seitlich stehenden Augen und dadurch bedingt großem Öffnungswinkel sind gut geeignet, Objekte in nahezu allen Richtungen zu erkennen. Die Ausdehnung des binokular abgebildeten Teils der Umgebung verringert sich jedoch wie bereits beschrieben mit zunehmender Divergenz der optischen Achsen (PFLUMM 1996).

Die der genaueren Fixation und damit vor allem dem binokularen Sehen dienende Area centralis retinae fehlt dem Igel nach KAHMANN (1930/1931) und FRANZ (1913).

Nach JOHNSON (1901) scheinen sich bei den Insektivoren aufgrund der besonderen Lichtscheue eines gering ausgedehnten, nahe des Discus nervi optici lokalisierten Gebietes Hinweise auf einen empfindlicheren Bereich zu ergeben. Dieser ist bei allen Säugetieren anstelle der beim Menschen und Affen vorhandenen Macula zu finden. Im Gegensatz zu diesen Beobachtungen stehen OZHIGOVAs (1978) Ergebnisse, wonach das Retinazentrum im Vergleich zur Peripherie durch einen geringeren Konvergenzgrad gekennzeichnet ist. Dieser ist verbunden mit einer vergleichsweise höheren Sehschärfe bei geringerer Lichtempfindlichkeit. JOHNSON (1901) vermutet, dass Säugetiere, die phylogenetisch unterhalb der Affen stehen, sich trotz eventuell vorhandenem binokularem Sehen, nicht uneingeschränkt darauf verlassen. Mit Ausnahme von Mensch und Affen zeigen die Säugetiere beim Sehvorgang weniger Augen- sondern alternativ mehr Kopfbewegungen.

#### 2.4.3.2. Refraktion und Akkommodation

Licht, das ins Auge einfällt, muß mehrere transparente Medien passieren, bevor es die Netzhaut mit den lichtempfindlichen Rezeptoren erreicht. Dieser optische Apparat bestehend aus Kornea, Kammerwasser, Linse und Glaskörper wirft ein umgekehrtes, verkleinertes, reelles und mehr oder weniger scharfes Bild der Umwelt auf die Retina. Durchsichtigkeit, Formkonstanz und glatte Oberflächen der einzelnen Teile dieses optischen Systems sind Voraussetzungen für eine einwandfreie Bildwiedergabe (SILBERNAGL u. DESPOPOULOS 1991; PENZLIN 1996). Die optisch verschieden dichten Medien werden durch gewölbte Grenzflächen voneinander getrennt. In einem derart zusammengesetzten optischen System ist der Strahlengang abhängig von den Brechungsindizes der verschiedenen Medien, von dem Krümmungsradius der lichtbrechenden Grenzflächen und vom jeweiligen Abstand der einzelnen Grenzflächen voneinander (PENZLIN 1996). Als Maßeinheit für das Lichtbrechungsvermögen des Auges dient die Einheit Dioptrie, die sich als Kehrwert der vorderen Brennweite (in Meter) ergibt (SILBERNAGL u. DESPOPOULOS 1991).

ALEXANDER-SCHÄFER (1907) bestimmt bei verschiedenen Tieren u.a. dem Igel bei gegebener Größe und Entfernung eines Gegenstandes die Größe des Bildes auf der Netzhaut und errechnet anschließend die Sehschärfe. Bei einer Bulbusentfernung von 112 Zentimetern

des 135 Zentimeter großen Gegenstandes beträgt die Größe des Netzhautbildes 0,3 Zentimeter. Mit der resultierenden Sehschärfe von  $4,5 \mu\text{m}$  steht der Igel weit hinten in der Tierreihe.

Nach KAHMANN (1930/1931) ist die Hyperopie, die Weitsichtigkeit, bei den kleinen Säugetieren außerordentlich groß, nimmt aber in dem Maße ab, wie in der Säugetierreihe die Körpergröße unter gleichzeitigem relativen Kleinerwerden der Linse und stärkerer Wölbung der Kornea zunimmt. Bei Erinaceus liegt die Übersichtigkeit im Bereich von zehn Dioptrien, wobei Durchschnittswerte aufgrund der geringen Materialanzahl (zwei Tiere) nicht bestimmt werden. Da bei den Untersuchungen der anderen Säugetiere die Werte der einzelnen Individuen nur um ein bis zwei Dioptrien voneinander abweichen und nur in Ausnahmefällen größere Differenzen zeigen, folgert KAHMANN (1930/1931), dass bei den Tieren mit geringeren Befundzahlen die ermittelten Werte eine ähnliche Schwankungsbreite aufweisen. Er führt die hohe Übersichtigkeit hauptsächlich auf die geringe Hornhautkrümmung und den damit verbundenen geringen Abstand zwischen Korneahinterfläche und Linsenvorderfläche zurück. Bei geringer Wölbung ist die Brechkraft geringer, das Auge im Verhältnis dazu also zu kurz in seiner Achse (Kurz- oder Kleinbau des Auges). Die bereits beschriebene große und stark gewölbte Linse des Igels würde in Augen mit normalen Proportionen eine myopische Refraktion hervorrufen. Da bei der Hyperopie der Bulbus zu kurz ist, können die Strahlen erst hinter der Netzhaut vereinigt werden. Beim Sehen in die Ferne muß bereits Akkommodationsarbeit geleistet werden, um die Gegenstände scharf abbilden zu können. Für das Nahsehen reicht die Brechkraft nicht mehr aus, d.h. Objekte können nur unscharf abgebildet werden (SILBERNAGL u. DESPOPOULOS 1991). KAHMANN (1930/1931) stellt schon aufgrund der anatomischen Verhältnisse die Funktion der einzelnen an der Akkommodation beteiligten Strukturen in Frage. Deshalb spricht er den Tieren, die Werte von zehn Dioptrien und mehr für die Brechkraft aufweisen, auch aufgrund der Kleinheit der Augen und ihrer Bedeutungslosigkeit für die Lebensweise, mit Sicherheit das Akkommodationsvermögen ab. Bei einer Übersichtigkeit von zehn Dioptrien, müßte das Auge demnach zehn Dioptrien akkommodieren, um die Ferne scharf abbilden zu können. Dieser Wert entspricht in etwa der gesamten Akkommodationsbreite des Menschen und vieler Primaten. Folglich müßte ein Tier für die Nahakkommodation über einen gewaltigen Akkommodationsapparat verfügen (KAHMANN 1930/1931).

Seiner Ansicht nach bleibt den Tieren nur noch ein Sehen in Zerstreuungskreisen. Natürlich kann eine Erhöhung der Bildschärfe noch durch eine Änderung und Anpassung des Pupillendurchmessers erreicht werden. Ferner ist dabei noch die Größe und damit verbunden die Anzahl der Netzhautelemente von Bedeutung. Er hält es außerdem für möglich, dass die Bewegung eines Zerstreuungskreises auf der Netzhaut beim Hinübergehen über den blinden Fleck deutlicher wahrgenommen wird, als wenn dieser kontinuierlich über die rezipierende Fläche weiterlief.

Nach KAHMANN (1930/1931) bleibt, wie bereits erwähnt, den Dämmerungstieren ein ausgesprochenes Bewegungssehen, um optische Veränderungen in der Umgebung wahrzunehmen. Die größte Reaktionsgeschwindigkeit wird dabei in der Dämmerung erzielt.

#### 2.4.3.3. Transduktionsprozeß und Farbsehen

Der Transduktionsprozeß umfaßt alle Vorgänge zwischen der Photonenabsorption durch die Sehfärbstoffe und dem Auftreten der Hyper- oder Depolarisation in den Sehzellen, d.h. die Überführung des Lichtreizes in eine elektrische Erregung. Als Mittler fungieren dabei die in den Außengliedern der Stäbchen und Zapfen lokalisierten Sehpigmente. Der bekannteste Sehfärbstoff der Stäbchen ist das Rhodopsin (Sehpurpur), das sich aus dem Chromophor 11-cis-Retinal und dem Glykoprotein Opsin zusammensetzt (SILBERNAGL u. DESPOPOULOS 1991; PENZLIN 1996). Unterschiedliche Absorptionsmaxima der verschiedenen Rhodopsine im Tierreich sind auf Differenzen im Eiweißträger (Opsin) zurückzuführen (PENZLIN 1996). Bei den von BRIDGES und QUILLIAM (1973) durchgeführten spektroskopischen Untersuchungen beträgt beim Igel das Absorptionsmaximum des Rhodopsins 499 nm. Dieser Wert liegt innerhalb des Normalbereiches von 493 – 502 nm, der den Sehpurpur der oberirdisch lebenden Landtiere charakterisiert.

Beim Auftreffen von Photonen wird die Bindung zwischen 11-cis-Retinal und Opsin gelöst und die cis-Form wird in die trans-Form überführt. Durch diese Konformationsänderung mit anschließender Spaltung wird eine Enzymkaskade ausgelöst, die nach Schließen der Natriumkanäle eine Hyperpolarisation der zuvor im Dunkeln depolarisierten Rezeptor-membran zur Folge hat (SILBERNAGL u. DESPOPOULOS 1991; PENZLIN 1996).



Bei Dämmerungstieren ist nach KAHMANN (1930/1931) die Erregungsschwelle für die Netzhautelemente herabgesetzt, d.h. die Lichtempfindlichkeit ist erhöht.

Während beim unbunten Dämmerungssehen Licht des ganzen sichtbaren Spektrums durch das Rhodopsin der Stäbchen absorbiert wird, können bei den farbempfindlichen Zapfen drei Rezeptortypen mit unterschiedlichen spektralen Empfindlichkeitsfunktionen, d.h. mit unterschiedlichen Sehpigmenten, differenziert werden (SILBERNAGL u. DESPOPOULOS 1991; PENZLIN 1996). Die drei Sehfärbstoffe, die bei den verschiedenen Wirbeltieren gefunden worden sind, weisen wie das Rhodopsin der Stäbchen Retinal als Chromophor auf, unterscheiden sich allerdings in den Eiweißkörpern (Opsinen) und in ihren Absorptionsmaxima. Unterschieden werden entsprechend ihrer unterschiedlichen spektralen Empfindlichkeiten der S-(short)Rezeptor (blau- bis violett empfindlich), der M-(middle)-Rezeptor (grün empfindlich) und der L-(long)Rezeptor (rot- bis gelb empfindlich). Zu berücksichtigen ist dabei, dass die Absorptionsmaxima der grün empfindlichen Zapfen und des Rhodopsins im grünen Spektralbereich nicht sehr weit voneinander entfernt liegen, weshalb nachts grünblaues Licht relativ am hellsten erscheint (SILBERNAGL u. DESPOPOULOS 1991; PENZLIN 1996).

Neben der Netzhaut von Huhn und Schildkröte untersuchen VAN VEEN et al. (1986) die Retina von *Erinaceus concolor* immunoelektronenmikroskopisch. Die eingesetzten Antikörper gegen S-Antigen bzw. gegen Opsin werden in Kaninchen nach Injektion von bovinem Material, Netzhaut bzw. Rhodopsin, gebildet und schließlich gewonnen. Die Wissenschaftler vermuten, dass das S-Antigen ein hoch spezifisches Protein der Photorezeptoren ist. Diese nehmen hauptsächlich mittels Rhodopsin und Porphyropsin das Licht des grünen Spektralbereichs wahr. Antigen-Antikörper-Reaktionen zeigen das Vorkommen von Opsin und S-Antigen sowohl in den Stäbchen der Netzhaut des Igels, der Schildkröte und des Huhnes als auch in bestimmten wahrscheinlich grün empfindlichen Zapfen der beiden letztgenannten Arten. Nach VAN VEEN et al. (1986) enthält die Retina des Igels aufgrund der nächtlichen Lebensweise eine große Menge Rhodopsin. Starke Reaktionen der Außenglieder der Rezeptoren auf das Opsin-Antiserum sprechen für das Vorkommen von Rhodopsin oder Porphyropsin, da sich beide Sehpigmente nicht wesentlich in ihrer Antigenität zum eingesetzten Antiserum voneinander unterscheiden.

Die Innenglieder, die Perikaryen und die Axone der Photorezeptoren zeigen verschieden starke S-Antigen-Antikörper-Reaktionen. Diese Befunde und die bereits beschriebene unterschiedliche Form der Photorezeptoren beim Igel könnten auf das Vorhandensein von Zapfen hinweisen.

PEICHL et al. (2000) führen Studien an der Netzhaut von vier Vertretern der Insektenfresser, drei Spezies der Spitzmäuse (*Sorex araneus*, *Crocidura russula* sowie *Crocidura poensis*) und dem Kleinen Igeltenrek *Echinops telfairi*, durch. Mittels Antikörper kann das Opsin der M- und L-Zapfen von den S-Zapfen unterschieden werden. Die Anzahl der Stäbchen überwiegt bei allen vier Spezies. An Zapfen sind bei allen Tieren sowohl M- bzw. L-Rezeptoren als auch S-Zapfen vertreten. Aus diesem Grund vermuten die Wissenschaftler die Präsenz von dichromatischen Sehsystemen, die bei den meisten Säugetieren zu finden sind. Entsprechend der Lebensweise der Tiere sind zwischen 2 % der Photorezeptoren bei dem nachtaktiven Kleinen Igeltenrek *Echinops telfairi* und 13 % bei der sowohl tag- als auch nachtaktiven Waldspitzmaus *Sorex araneus* als Zapfen nachzuweisen. Die höhere Dichte der S-Rezeptoren im ventralen Retinabereich, die bei allen vier Spezies gefunden wird, könnte als ein Mittel zur verbesserten Kontrastbildung beim Aufwärtsblicken gedeutet werden. Die Netzhaut des Europäischen Maulwurfs *Talpa europaea*, der ebenso zur Gruppe der Insektenfresser zählt, scheint trotz überwiegend unterirdischer Lebensweise des Tieres 10 % Zapfen aufzuweisen (GLÖSMANN et al. 1999), obwohl nach SIEMEN (1976) eine Bildentstehung bei diesem Tier als unwahrscheinlich gilt. In Übereinstimmung mit den Befunden von PEICHL et al. (1998, 2000) für die Spitzmäuse und den Igeltenrek bestätigen GLÖSMANN et al. (1999) das Vorkommen von zwei verschiedenen Zapfenopsinen und einer höheren Anzahl von S-Zapfen in der ventralen Netzhaut für den Maulwurf. Sie vermuten, dass diese Ergebnisse charakteristisch für alle Insektenfresser sein könnten. Da bei den von STEPHAN et al. (1984) untersuchten Insektivoren (u.a. *Talpa europaea*, *Crocidura russula*, *Sorex araneus* und *Echinops telfairi*) die Igel die größten visuellen Strukturen zeigen und ferner bei der Beurteilung des Cephalisationsgrades durch STEPHAN (1958) die Igel zusammen mit den Spitzmäusen und den Maulwürfen zu der mittleren und die Tenrecoidea zu der untersten Schicht gehören, wären weitere Studien an der Netzhaut des Igels von Interesse. Für *Echinops telfairi* (PEICHL et al. 2000) können die aufgrund der elektronenmikroskopischen Untersuchungen von SIEMEN (1976) erhobenen Zweifel an der Fähigkeit zum Farbsehen

dieses Tieres widerlegt werden. Für den Igel *Erinaceus europaeus*, bei dem SIEMEN (1976) einen Farbensinn ebenso für unwahrscheinlich hält, steht der Beweis noch aus.

#### 2.4.3.4. Sehbahn und optische Reflexbahnen

Die Sehbahn läßt sich nach NICKEL et al. (1992 b) in einen peripheren und einen zentralen Abschnitt gliedern. Beim Austritt aus dem Auge bilden die Axone der retinalen Ganglienzellen den N. opticus. Nach konvergierendem Verlauf vereinigen sich die beiden Sehnerven zur Sehnervenkreuzung Chiasma opticum. Jenseits dieser Stelle wird der N. opticus als Tractus opticus bezeichnet. Seine zentripedalen Fasern enden überwiegend im lateralen Kniehöcker, dem Corpus geniculatum laterale, der die Schaltstelle zwischen Netzhaut und Sehrinde darstellt. Die periphere Sehbahn findet in diesem subcortikalen, primären Sehzentrum des Thalamus ihr Ende. Die optische Erregung wird nunmehr über die zentrale Sehbahn zur Sehrinde des Hirnmantels geleitet.

STEPHAN et al. (1984) untersuchen vergleichend die subkortikalen visuellen Strukturen (Augenoberfläche, N. opticus, Chiasma opticum, Tractus opticus, Corpus geniculatum laterale) u.a. von Insektivoren, indem sie zum einen die mittlere Größe zum anderen relative Vergleichswerte bestimmen. Die Igel, vertreten durch die Arten *Erinaceus europaeus*, *Hemiechinus auritus* und *Atelerix algirus*, zeigen innerhalb der Gruppe der Insektenfresser die größten absoluten und relativen Werte und somit die größten visuellen Strukturen.

Im Chiasma opticum erfahren die Fasern der Sehnerven nach NICKEL et al. (1992 b) bei den Säugetieren nur eine teilweise Kreuzung (ca. 80 –90 %). Bei den niederen Säugetieren überwiegt die Anzahl der gekreuzten Fasern noch beträchtlich (NICKEL et al. 1992 b), so auch beim Igel (CAMPBELL et al. 1967; CAMPBELL 1969). Dabei ist die Zahl der ungekreuzten Fasern weitgehend von der Größe des Augenachsenwinkels abhängig. Je mehr sich die beiden Augenachsen beim Menschen einer Parallelstellung nähern, um so zahlreicher werden die ungekreuzten Fasern. Während die sich kreuzenden Nervenfasern aus der nasalen Retinahälfte stammen, zeigen die aus der temporalen Netzhauthälfte ipsilateralen Verlauf. Folglich enthält der Tractus opticus im Gegensatz zum N. opticus Fasern aus der Retina

beider Augen und dies führt u.a. zu den sogenannten konsensuellen Reaktionen des Auges (NICKEL et al. 1992). Nach HALL und EBNER (1970) sowie HALL (1970, 1972) werden die optischen Erregungen von der Retina auf zwei verschiedenen Wegen zur Sehrinde geleitet. Entweder erfolgen die visuellen Projektionen von der Netzhaut über den dorsalen Thalamus zum Telencephalon oder es wird das Tectum opticum des Mittelhirns, das nach NICKEL et al. (1992 b) in etwa den vorderen Zweihügeln der höheren Säugetiere entspricht, dem dorsalen Thalamus vorgeschaltet. Beim Pakistanischen Igel *Paraechinus hypomelas* (HALL u. EBNER 1970; HALL 1970, 1972) sowie bei *Erinaceus europaeus* (CAMPBELL et al. 1967; CAMPBELL 1969) und bei verschiedenen Arten der Gattung *Paraechinus* (CAMPBELL 1969) erhalten zwei Nuclei laterales des Thalamus, der Nucleus lateralis dorsalis und der Nucleus ventralis lateralis, Informationen von der Netzhaut. Die Zielgebiete der contralateralen und ipsilateralen Fasern sind innerhalb der Kerne verschieden und zeigen im Nucleus lateralis dorsalis geringe oder keine Überlappungsbereiche (CAMPBELL 1969; HALL u. EBNER 1970). Zwischen den beiden Kernen des Diencephalons befindet sich bei *Erinaceus europaeus* nach DINOPOULOS et al. (1987) auch eine bei anderen Tieren (Ratte und Kaninchen) beschriebene Region, die überwiegend contralaterale retinale Fasern führt. Während die Fasern des Tectum opticum überwiegend zum Nucleus ventralis lateralis und zum Nucleus lateralis posterior des Thalamus ziehen, empfangen der Nucleus lateralis dorsalis und die Zona incerta nur geringe tectale Projektionen. Der Nucleus lateralis posterior bekommt dabei keine direkten Informationen von der Netzhaut (HALL u. EBNER 1970; HALL 1970, 1972).

Aus dem Corpus geniculatum laterale entspringt die Sehstrahlung, die fächerförmig zum primären visuellen Cortex (Teil des Okzipitallappens) projiziert (NICKEL et al. 1992 b). Hauptsächlich handelt es sich nach PENZLIN (1996) dabei um Neuronen, die in der Schicht 4 der Area striata (Area 17) des Hinterhauptlappens enden. Der visuelle Cortex, der sich aus mehreren Sehfeldern zusammensetzt, u.a. der Area striata, dem sekundären (Area 18) und tertiären (Area 19) visuellen Cortex, ist in sechs Schichten und senkrecht zur Oberfläche in Säulen angeordnet. Die Neuronen einer Säule haben ihre rezeptiven Felder jeweils im gleichen Retinabereich, dies entspricht der retinotopischen Organisation. Diese ist NICKEL et al. (1992 b) zufolge ebenso im primären Sehzentrum des Thalamus zu finden.

Ferner verbessert sich mit zunehmender Anzahl der Sehfelder nach KAAS (1989) bei den Säugetieren die Sehfähigkeit.

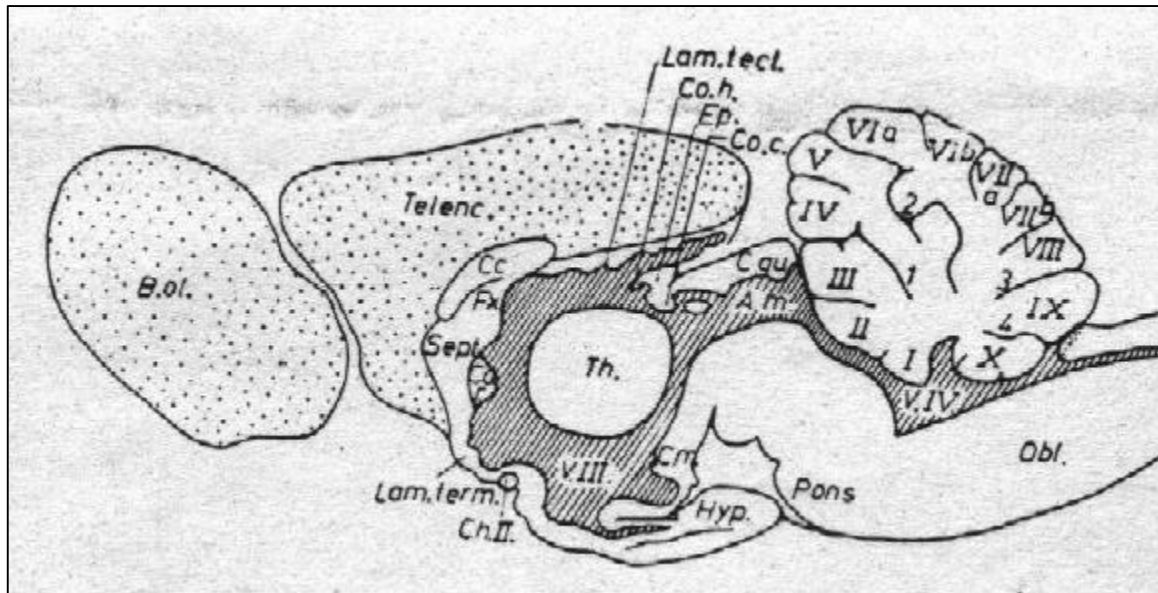


Abb. 7: Igel: Gehirn in der Medialansicht nach STEPHAN (1956)

Ch. II = Chiasma opticum, Ep. = Epiphyse, Hyp. = Hypophyse,  
Telenc. = Telencephalon, Th. = Thalamus.

STEPHAN (1958) führt vergleichend-anatomische Untersuchungen an Insektivorengehirnen durch und bestimmt u.a. die Hirn-Körpergewichtsbeziehungen. Innerhalb der Gruppe der Insektenfresser zeigen sich starke Differenzen im Cephalisationsgrad, der seiner Ansicht nach auch Rückschlüsse auf den Gesamtcerebralisationsgrad ermöglicht. Er zählt die Igel aufgrund des ermittelten Cephalisationsgrades zu der mittleren Schicht innerhalb der Insektivoren. Etwa ein Viertel des Gesamtcortex entfällt beim Igel nach STEPHAN (1956) sowie STEPHAN und SPATZ (1962) auf den Neocortex. Unter Berücksichtigung der Merkmale von Lebensweise und Hirnbau gehören die Igel mit in die Gruppe der terrestrischen „Mikroptischen Insektivoren“, die u.a. durch die dürftige oder fehlende Ausbildung der optischen Zentren charakterisiert sind (STEPHAN u. SPATZ 1962). Die sensorischen und motorischen Gebiete bedecken LENDE und SADLER (1967) zufolge beim Igel (*Erinaceus europaeus* und *Hemiechinus*) den lateralen und dorsalen Bereich der corticalen Oberfläche. Obwohl scheinbar extensive Überlappungen zwischen diesen Gebieten zu finden sind,

entspricht die Topographie der anderer plazentarer Säugetiere. Der entsprechend der Größe der Augen ausgedehnte visuelle Cortex gliedert sich beim Igel in zwei Bereiche, die Area 17 (V1) und die Area 18 (V2) (KAAS et al. 1970; KAAS, 1989; CATANIA et al. 2000; CATANIA 2000).

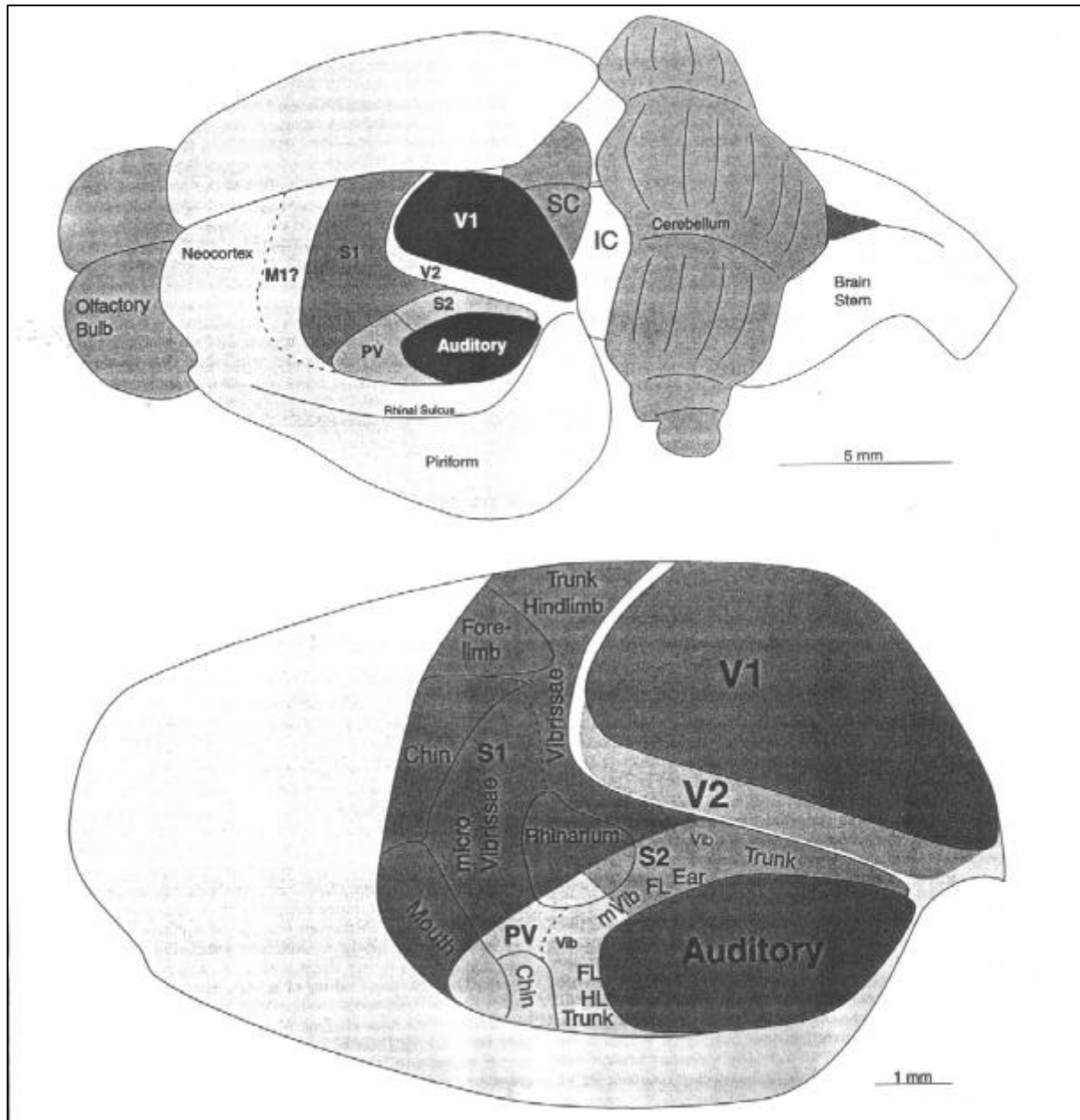


Abb. 8: Igel: Schema der corticalen Organisation nach CATANIA et al. (2000)

Diese beiden Bezirke können auf der Basis von Chemoarchitektur und Elektrophysiologie unterschieden werden und sind im Bereich der Area striata und der angrenzenden Zone lokalisiert.

Nach den von HALL und DIAMOND (1968) durchgeführten Untersuchungen beim Igel scheint die Area striata die Struktureinheit zu sein, die für die Musterunterscheidungsfähigkeit verantwortlich ist. Aufgrund der Studien von GOULD und EBNER (1978 a), die die corticocortikalen Verbindungen im visuellen System des Pakistanischen Igels beinhalten, kann der visuelle Cortex in vier verschiedene Regionen unterteilt werden. Ferner scheinen horizontale sowie vertikale Verbindungen der einzelnen Schichten bei der Organisation der Sehrinde von Bedeutung zu sein (GOULD u. EBNER 1978 b). Nach HALL und DIAMOND (1968) ergeben sich aus den in der Area striata und Umgebung lokalisierten cortikalen Läsionen Hinweise, dass sowohl der Nucleus lateralis dorsalis als auch der Nucleus lateralis posterior des Thalamus zum Cortex projizieren. HALL (1970, 1972) beschreibt die Zielgebiete der aus den beiden Kernen stammenden Fasern. Während die überwiegende Anzahl der Axone des Nucleus lateralis dorsalis in der vierten und der angrenzenden dritten Schicht enden, sind die Zielgebiete des Nucleus lateralis posterior vornehmlich auf die fünfte und sechste Schicht begrenzt. Die hiervon abweichenden Terminationsbereiche einiger Fasern führen später zur Unterscheidung von wenigstens vier abgrenzbaren thalamischen Nuclei, die zum visuellen Cortex projizieren (GOULD et al. 1978). Die Projektionen des Nucleus ventralis lateralis sind hingegen weder für Säugetiere noch für Reptilien bekannt (HALL u. EBNER 1970). In dem gesamten Neocortex des Igels (*Erinaceus europaeus*) ist die vierte cortikale Schicht nicht (VALVERDE 1986) oder nicht eindeutig (SANIDES 1969; SANIDES u. SANIDES 1974) erkennbar. GLEZER et al. (1993) führen vergleichende Studien an dem visuellen Cortex verschiedener Säugetiere, u.a. dem Igel (*Erinaceus europaeus*) durch. Bei dieser Tierart überwiegt der Gehalt des kalziumbindenden Proteins Calbindin gegenüber Parvalbumin in den Neuronen. Diese Proteine unterscheiden sich nicht nur im Verhalten zu den eingesetzten Antikörpern und ihrer Anzahl in den einzelnen Schichten sondern differieren auch in ihrer Form. Der geringe Entwicklungsstand der vierten Schicht bei gleichzeitiger Hypertrophie der beiden oberen Schichten scheint ursächlich für die stärkere Calbindinreaktion zu sein und ist generell eher bei den niederen Säugetieren zu finden. Aufgrund der von YELLIN und JERISON (1980, 1982) am visuellen Cortex des Igels gewonnenen Erkenntnisse befürworten beide den Einsatz dieser Tiere in der elektro- und psychophysiologischen Forschung. Die bei diesem primitiven plazentaren Säugetier

erhaltenen Ergebnisse könnten bei der Funktionsanalyse des ZNS höherer Säugetiere hilfreich sein.

Die Untersuchungen von KAAS et al. (1970) zeigen, dass mindestens  $120^\circ$  des Seh winkels des seitlichen Sehbereiches eines Auges in der contralateralen und der vordere Sehbereich von etwa  $25^\circ$  bis  $30^\circ$  in der ipsilateralen Hemisphäre repräsentiert wird. Aus dem ca.  $8^\circ$  großen Überlappungsbereich der ipsi- und contralateralen Projektionen erhalten beide Hemisphären retinale Signale.

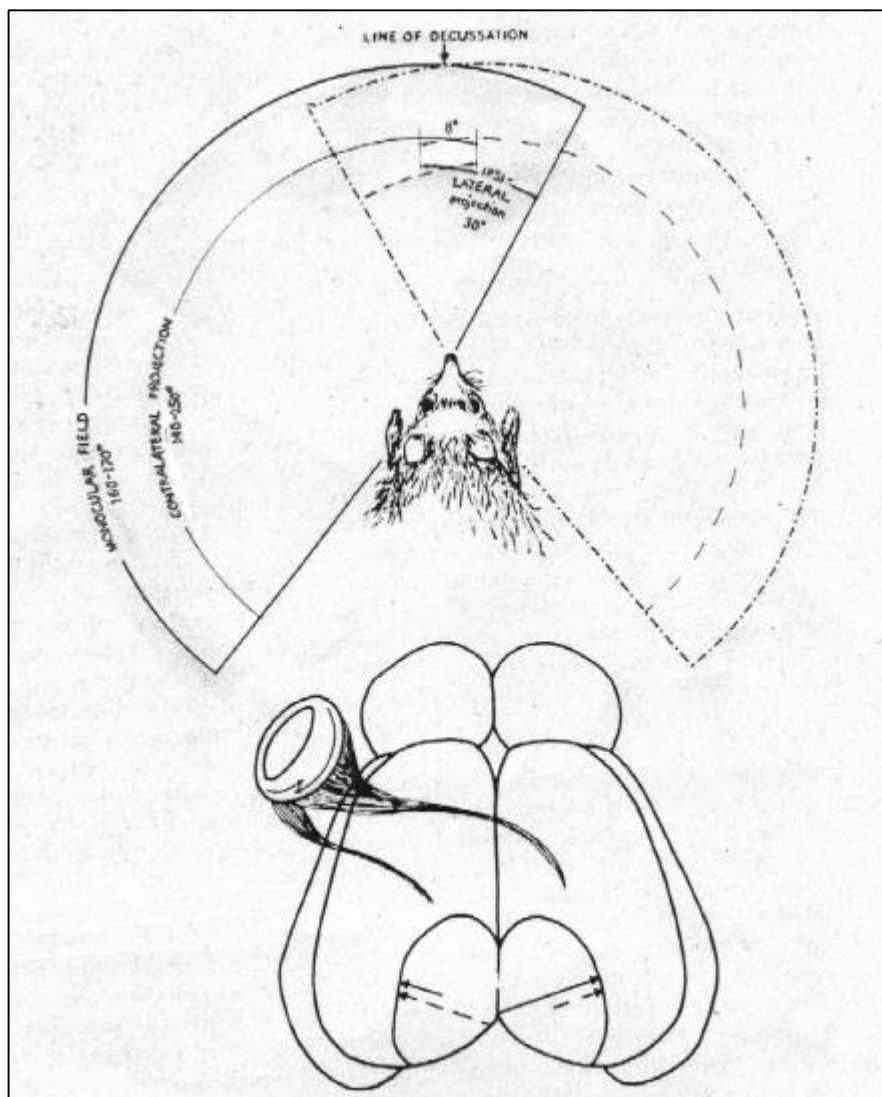


Abb. 9: Schematische Darstellung des gesamten Blickfeldes und seine Repräsentation auf der Netzhaut sowie im Cortexbereich V 1 nach KAAS et al. (1970)

Durch die Reizung der Photorezeptoren der Retina können nach NICKEL et al. (1992 b) zudem Reflexe ausgelöst werden, die der optischen Orientierung dienen und die zum Teil das



Verhalten beeinflussen können. Die zugrundeliegenden Leitungsbahnen werden als optische Reflexbahnen bezeichnet. Ihre afferenten Fasersysteme endigen im Griseum der vorderen Zehnhügel, in der Area praetectalis und in den Endkernen der accessorischen optischen Wurzel. Durch verschiedene Schaltneurone treten die genannten Strukturen mit den motorischen und parasympathischen Oculomotoriuskernen, mit Kernen der *Formatio reticularis tegmenti*, mit den Trochlearis- und Abducenskernen sowie dem Rückenmark in Verbindung. In den *Colliculi rostrales* erfolgt neben der Linsenakkommodation auch die Augeneinstellung entsprechend der jeweiligen Blickrichtung. Außerdem werden die Kopf- und Körperbewegungen den optischen Eindrücken angepaßt. PENZLIN (1996) zufolge reagieren die Neuronen der *Colliculi* stärker auf bewegte Objekte, vor allem auf die Richtung und die Geschwindigkeit, als die Neuronen des *Corpus geniculatum laterale* und des Cortex. Demgegenüber sind sie kaum oder gar nicht an der Mustererkennung beteiligt. Es handelt sich um ein subcortikales Sehzentrum bei dem eine retinotopische Projektion auf die *Colliculusflächen* besteht. Die Area praetectalis erhält neben den Fasern des *Tractus opticus* auch Fasern aus dem *Corpus geniculatum laterale* sowie dem occipitalen Cortex und verbindet diese mit dem parasympathischen Kern des *N. oculomotorius* (NICKEL et al. 1992 b). Sie bildet das Zentrum für den Pupillarreflex. Die Regelung der Pupillenweite ist vor allem von der Intensität des ins Auge einfallenden Lichtes und den über die afferenten Reflexbahnen den Koordinationszentren des Mittelhirns zugeführten Erregungen abhängig. Bei vermehrtem Lichteinfall läuft das efferente Signal über die parasympathische Reflexbahn für die Pupillenverengung vom *Nucleus parasympathicus n. oculomotorii* über das *Ganglion ciliare* zum *M. sphincter pupillae*. Die absteigende sympathische Bahn des Pupillenzentrums erreicht schließlich über mehrere Zwischenstationen den *M. dilatator pupillae* und führt zur Pupillenerweiterung. Dorsal vom *Chiasma opticum* zweigen Faserbündel als sogenannte hypothalamische Opticuswurzel, *Radix optica hypothalamica*, ab. Sie durchbohren die *Lamina terminalis* und enden teils in den *Nuclei paraventricularis* und *infundibularis* der Wand des III. Ventrikels, teils ziehen sie durch das *Infundibulum* in den Hypophysenhinterlappen. So können Lichtreize direkt oder indirekt durch Vermittlung der Hypophyse das ganze vegetative System beeinflussen. Die hypothalamische Opticuswurzel steuert verschiedene Lebensvorgänge durch Lichteinwirkung im Sinne einer neuroendokrinen Regulation. Dazu zählen neben dem tages- und

jahreszeitlichen Rhythmus, der Stoffwechsel, die Keimdrüsenreifung und die Periodizität des Sexuallebens. Als wesentliches Steuerungsorgan dient die Glandula pinealis (Zirbeldrüse). Retinal aufgenommene Lichtreize werden ihr indirekt durch Vermittlung sympathischer Fasern zugeleitet. Vom Tractus opticus zweigen Fasern zum Nucleus suprachiasmaticus des Hypothalamus ab. Weitere Stationen auf dem Weg zur Epiphyse sind der Nucleus hypothalamicus lateralis, das vordere Brustmark und schließlich das Ganglion cervicale craniale, das postganglionäre Fasern zur Glandula pinealis entläßt.

Beim Igel (*Erinaceus europaeus*) erfolgen die retinalen Projektionen überwiegend zur contralateralen Area praetectalis und zum contralateralen Colliculus superior, der vermutlich dem Colliculus rostralis entspricht (CAMPBELL et al. 1967; CAMPBELL 1969; DINOPOULOS et al. 1987). Ipsilaterale Projektionen zu den beiden genannten Strukturen sind vorhanden, doch sind diese vergleichsweise gering ausgeprägt. Die elementaren Komponenten, die drei Endkerne (der dorsale, laterale und mediale Endkern) und die beiden Fasertypen (Fasciculus superior und inferior) bilden in ihrer Gesamtheit das accessorische optische System der Säugetiere (DINOPOULOS et al. 1987). Sein Entwicklungsstand gilt als Maßstab der Phylogenie. Während bei höheren Säugetieren zunehmend Komponenten fehlen, sind diese bei den niederen Säugetieren meist vollständig vorhanden. Nach übereinstimmender Ansicht verschiedener Wissenschaftler (CAMPBELL et al. 1967; CAMPBELL 1969; TIGGES u. TIGGES 1969; DINOPOULOS et al. 1987) ziehen ausschließlich gekreuzte Fasern der Netzhaut zum accessorischen optischen System des Igels (*Erinaceus europaeus*), das drei Endkerne aufweist. Es kann nur eine Faserart (Fasciculus superior) nachgewiesen werden, die andere scheint dem Igel zu fehlen (CAMPBELL et al. 1967; CAMPBELL 1969; DINOPOULOS et al. 1987). Die von CAMPBELL et al. (1967) durchgeführten Untersuchungen können noch nicht das Vorkommen von retinohypothalamischen Projektionen belegen. Erst zu einem späteren Zeitpunkt werden bilaterale retinale Projektionen zum Nucleus suprachiasmaticus des Hypothalamus durch mehrere Autoren (CAMPBELL 1969; MOORE 1973; DINOPOULOS et al. 1987) beschrieben. Aufgrund der erhobenen Daten vermuten DINOPOULOS et al. (1987), dass der Nucleus suprachiasmaticus in zwei funktionelle Einheiten unterteilt sein könnte. Der ventrolaterale Bereich enthält VIP- (=vasoaktives intestinales Polypeptid) ähnliche immunoreaktive Perikaryen. Neben diesen

ausschließlich im medialen Teil zu findenden Strukturen weist der dorsomediale Bezirk Somatostatin und Cholecystokinin-ähnliche immunoreaktive Neuronen auf.

## **2.5. Augenerkrankungen**

Weitergehende Untersuchungen können bei dem wenig kooperativen Igel häufig nur in entspannter Haltung in Narkose, d.h. durch Ausschaltung des Einrollmechanismus durchgeführt werden. Aus diesem Grund finden sich im Schrifttum vornehmlich Augenerkrankungen, die allein bei mit gebührendem Abstand vorgenommener Adspektion Abweichungen von der Norm erkennen lassen.

Nicht selten treten als Folge von Igelkämpfen u.a. Augenverletzungen auf. Auch der Lebensraum des Tieres birgt durch das Vorkommen von scharfen sowie teils ätzenden Materialien, aber ebenso durch Verbrennen von Reisighaufen, die den Igeln als Schlafplätze dienen, Gefahren, die als Ursache in Betracht zu ziehen sind (BHATNAGAR u. WAJDA 2002; SCHICHT-TINBERGEN 1995).

Erkrankungen der Augenlider werden in der Mehrzahl der Fälle im Zusammenhang mit Hautkrankheiten beobachtet. Neben Infektionen mit Bakterien und Pilzen zeichnet sich dieser weiche Bezirk der Haut als vorzugsweiser Sitz von Ektoparasiten aus (SCHICHT-TINBERGEN 1995). Die beherbergten Parasiten rufen Blutverlust oder Juckreiz hervor. Dieser kann eine Traumatisierung der Haut durch Kratzen zur Folge haben, die sekundäre bakterielle und mykotische Infektionen begünstigen (ISENBÜGEL u. BAUMGARTNER 1993). Hauptursache ist der Flohbefall, der bei fast allen in Freiheit lebenden Igeln zu finden ist. In der Regel handelt es sich um den Igelhohlfloh *Archaeopsylla erinacei*, es kommen aber auch Flöhe anderer Kleinsäuger in Betracht wie z.B. der Rattenfloh (*Nosopsyllus fasciatus*), der weniger spezialisierte Säugetierfloh (*Ctenophthalmus agyrtes*) und bei im Haus gehaltenen Igeln der Hunde- oder Katzenfloh (*Ctenocephalides canis* bzw. *felis*) (SCHÜTZE 1988; SAUPE u. PODUSCHKA 1995). Nach REEVE (1994) tritt auch der Menschenfloh *Pulex irritans* auf.

Die am häufigsten beim Igel parasitierenden Zecken sind Schildzecken der Gattung *Ixodes*, wobei der Holzbock *Ixodes ricinus* seltener als die blaugraue Igelzecke *Ixodes hexagonus* anzutreffen ist. Während die Adulti von *Ixodes hexagonus* meist einzeln im Stachelkleid sitzen, bevorzugen die Larven und Nymphen die dünnhäutigen Stellen, u.a. die Augenregion (CARLSON 1981).

Der Milbenbefall spielt beim in Freiheit lebenden Igel nach CARLSON (1981) eine untergeordnete Rolle. In Gefangenschaft als Heimtier gehalten zählt er hingegen zu den häufigsten Hauterkrankungen (BHATNAGAR u. WAJDA 2002). *Demodex erinacei*, eine Unterart von *Demodex canis*, parasitiert in den Talgbeuteln der Haarbälge und verursacht krustige Verdickungen und borkige Auflagerungen der Haut ebenso wie die Grabmilbe *Caparinia tripilis* und die Herbstgrasmilbe *Trombicula autumnalis* (CARLSON 1981). Ferner werden beim Igel *Sarcoptes* sp., *Chorioptes* sp. und *Notoedres cati* nachgewiesen (RÜMPLER 1995). Ein tödlich verlaufender *Sarcoptes*-Räudebefall bei *Erinaceus europaeus* wird durch TADMOR und RAUCHBACH (1972) beschrieben. Zu Beginn der Erkrankung zeigen sich Hautveränderung an der Nase und den Augen, die brillenartig von Borken umrahmt werden. Eine weitere Ausbreitung auf andere Körperregionen wird durch das häufige Kratzen begünstigt. KUTTIN et al. (1977) können eine Mischinfektion als Ursache einer Dermatitis beim Igel nachweisen. Diese wird durch *Sarcoptes scabiei* und verschiedene Pilze (*Trichophyton erinacei*, *Alternaria* und *Helminthosporium* spp.) hervorgerufen und konzentriert sich u.a. auf den Kopfbereich.

Fliegenmaden entwickeln sich bevorzugt im Sommer aus den insbesondere in Wunden abgesetzten Eiern. Ferner sind u.a. die Augen von jüngeren, stark geschwächten, häufig bereits moribunden Tieren Zielgebiet der Fliegenattacken (NIELSEN et al. 1978; GREGORY u. STOCKER 1992; SAUPE u. PODUSCHKA 1995; SCHICHT-TINBERGEN 1995; LARSEN u. CARPENTER 1999; ROBINSON u. ROUTH 1999). Die Prognose ist oft selbst nach Entfernung der Fliegenmaden, die ihre Opfer nach angestellten Beobachtungen bei lebendigem Leib auffressen können, infaust (SCHICHT-TINBERGEN 1995). Letztlich bleibt meist nur noch die Tötung des Igels, um die Leiden zu beenden (GERBER u. HERSCHEL 1963). Nach ROBINSON und ROUTH (1999) sind beim Igel Fliegenarten der Gattung *Lucilia* sowie *Calliphora* zu finden. RÜMPLER (1995) hingegen spricht von den Arten *Diptera*, *Calliphoridae* und *Sarcophagidae*. Das Krankheitsbild wird auch als Fakultativ-Myiasis bezeichnet (FEHR 1992).

Von den ermittelten pathogenen Dermatophyten ist *Trichophyton mentagrophytes* var. *erinacei* nach SMITH (1968) von besonderer Bedeutung, da er beim Menschen eine Trichophytie verursachen kann. In Neuseeland kann er bei der Hälfte der untersuchten Igel nachgewiesen werden.

Gelegentlich sind auch *Microsporum*-Arten beim Igel zu finden (ROBINSON u. ROUTH 1999). Mykosen beim Igel treten außer bei geschwächten Tieren nur als Sekundärinfektionen bei vorgeschädigter Haut z.B. durch Ektoparasiten oder unter Beteiligung von *Staphylococcus aureus* auf (SCHÜTZE 1988; ISENBÜGEL u. BAUMGARTNER 1993). Das Erkrankungsbild ist durch schorfige Auflagerungen der Haut (ISENBÜGEL 1985), insbesondere MORRIS (1984) zufolge durch trockene geschwollene Augen charakterisiert. GREGORY et al. (1976) beschreiben das Vorkommen von Hautgranulomen für *Atelerix albiventris*, die vornehmlich im Kopfbereich (Lippen, harter Gaumen) einschließlich der regionalen Lymphknoten zu finden sind. Ein Rückgang der Igelpopulation wird auf die vermeintliche Ursache dieser Erkrankung, einen Pilzbefall, zurückgeführt. Nach SMITH (1968) können Igel aber auch ohne sichtbare Symptome Träger von Pilzen sein. Er beschreibt auch das Vorkommen von Hefen *Candida albicans* und anderen *Candida*-Arten, die ebenso von SCHICHT-TINBERGEN (1995) bei einem Igel mit starkem Stachelausfall nachgewiesen werden.

Die bakterielle Infektion der Haut, hauptsächlich durch *Staphylococcus*-Arten hervorgerufen, tritt wie bereits erwähnt überwiegend sekundär oder verbunden mit anderen Erkrankungen auf (ROBINSON u. ROUTH 1999). Bißwunden oder traumatische Verletzungen führen oftmals zur Bildung von Abszessen (HERTER 1963; HOEFER 1994; LARSEN u. CARPENTER 1999) und zwar am häufigsten in der Kopfhaut (BHATNAGAR u. WAJDA 2002). Außerdem sind beim Europäischen Igel granulomatöse subkutane Läsionen und Lymphadenitis verursacht durch *Mycobacterium*-Arten bekannt (TAPPE et al. 1983).

Eine große Vielfalt an Tumoren und disseminierten neoplastischen Prozessen sind beim Igel für verschiedene Organsysteme beschrieben. Ab einem Alter von drei Jahren sind die Tiere besonders anfällig (DONE et al. 1992; DONE 1999). In einer Studie, durchgeführt in dem Zoo von Baltimore über einen Zeitraum von sieben Jahren, sind 69 % der Individuen dieser Altersgruppe und in Übereinstimmung mit RAYMONDs und WHITEs (1999) Befunden etwa 30 % von allen untersuchten Tieren betroffen. RAYMOND und GARNER (2001 a, b) hingegen diagnostizieren bei der Hälfte aller Patienten neoplastische Erkrankungen. Hinter den Verdauungs- und Harnorganen liegen die Veränderungen der Haut in der Häufigkeitsverteilung an dritter Stelle (DONE et al. 1992; DONE 1999).

Die Neoplasien rangieren mit 13 % in dem letztgenannten Organsystem hinter den entzündlichen und parasitären Erkrankungen. Sie sind in der Haut RAYMOND und GARNER (2001 a, b) zufolge am häufigsten zu finden und zählen überwiegend zu den malignen Tumoren (RAYMOND u. GARNER 2001 a). PODUSCHKA (1969, 1981) beschreibt das Vorkommen papillomartig wachsender Tumoren der Epidermis beim Igel. Diese multiplen, unterschiedlich großen Warzen zeigen eine ausgeprägte Hyperkeratose, insbesondere sind sie an den Kopfseiten, der Stirn und den Lidrändern des Tieres (*Erinaceus concolor*) so stark entwickelt, dass sie die Augen größtenteils verdecken (PODUSCHKA 1981). Auch SMITH (1992) berichtet von zahlreichen Igeln (*Atelerix albiventris*) mit diesen gutartigen Hauttumoren. Ihre Ursache ist noch nicht bekannt, seiner Ansicht nach ist vermutlich ein Virus für das Auftreten verantwortlich. Als weitere Hauterkrankungen beim Igel werden von BHATNAGAR und WAJDA (2002) Zysten und von PODUSCHKA (1969) in Fallberichten u.a. ein Haarverlust um die Augen vermutlich aufgrund eines Vitaminmangels erwähnt.

Abgesehen vom Organsystem Haut können sich raumfordernde entzündliche sowie neoplastische Prozesse von anderen das Auge umgebenden Strukturen auf die Orbita ausdehnen. PEAUROI et al. (1994) können in zwei Afrikanischen Igeln (*Atelerix albiventris*), die multizentrisch Sarkome im Skelettsystem (u.a. ein Osteochondrom des Oberkieferbeins) aufweisen, Viruspartikel nachweisen. Morphologisch weisen sie Übereinstimmungen mit Typ-C-Retroviren nach. Weitaus häufiger sind in der Mundhöhle entzündliche Veränderungen des Zahnfleisches (Gingivitis) zu finden, die als Folge von starkem Zahnsteinbefall, Infektionen und vereinzelt auch von Verletzungen durch Fremdkörper auftreten (SCHICHT-TINBERGEN 1995). Besonders ältere Freilandigel (PODUSCHKA et al. 1984) aber auch in Gefangenschaft aufgezogene Tiere (ROBINSON u. ROUTH 1999) leiden oftmals unter Zahnsteinbildung, die vermutlich durch die Futterkonsistenz und –zusammensetzung sowie die unterschiedliche Speichelproduktion beeinflusst wird (PODUSCHKA u. PODUSCHKA 1986). Da die angebotene Gefangenschaftskost meist breiig oder weich ist, kann dem Kaubedürfnis des Igels nicht entsprochen werden (ZUHRT 1958). Dadurch entfällt die mit der Kautätigkeit verbundene Zahnreinigung.

LIENHARDT (1979) hingegen kann bei freilebenden Igel mit Zufütterung Gebißabnutzung, Zahnausfall und Zahnstein zu einem späteren Lebenszeitpunkt als bei Tieren ohne Zufütterung nachweisen. Mit zunehmender Zahnsteinbildung kommt es zur Zahnfleischentzündung und zur Lockerung der Zähne in den Alveolen (PODUSCHKA u. PODUSCHKA 1986). Setzt sich die Entzündung in Richtung der Zahnwurzeln fort, entstehen eitrig-prozesse, die auch die Alveolenränder angreifen können. Nicht selten ist das Oberkieferbein betroffen, so dass entzündliche Prozesse auch in die Nasenhöhle vordringen können. PODUSCHKA und PODUSCHKA (1986) berichten von einem Igel, bei dem der Rand der Maxilla einschließlich des Processus zygomaticus zerstört ist. In mehreren Fällen entwickeln sich aus den Erkrankungen des Zahnfleisches Plattenepithelkarzinome. Diese nehmen in der Häufigkeitsstatistik der Tumoren nach RAYMOND u. GARNER (2001 a, b) den dritten Rang ein, sie zeigen nur geringe Tendenz zur Metastasierung. Eine Ausdehnung auf die Nasenhöhle und die Orbita ist jedoch möglich (ISENBÜGEL u. BAUMGARTNER 1993). So beobachten PODUSCHKA und PODUSCHKA (1986) bei einem Tier eine Verdrängung des Augapfels von der Lidöffnung, so dass in der Augenspalte nur noch die Geschwulst zu sehen ist. Bei einem Afrikanischen Igel diagnostizieren REAMS und JANOWITZ (1992) ein oronasales Plattenepithelkarzinom, dessen Ursprung vermutlich die Nasenhöhle bzw. die Nasennebenhöhlen sind. Ferner sind im Schrifttum für den oberen Verdauungstrakt ein Plattenepithelkarzinom der Zunge, ein Karzinom der Speicheldrüsen (DONE 1999) und ein orales Fibrosarkom (RAYMOND u. GARNER 2001 a) beschrieben. Als weitere Erkrankungen werden Schnupfen mit Nasenausfluß und Entzündungen der Mundhöhle und des Rachens festgestellt (LIENHARDT 1979). Als primäre Erreger einer Atemwegsinfektion bzw. sekundär nach Vorschädigung durch Lungenwürmer werden überwiegend *Pasteurella multocida* und *Bordetella bronchiseptica* nachgewiesen (ISENBÜGEL u. BAUMGARTNER 1993; ROBINSON u. ROUTH 1999). Außerdem ist der Igel für das Maul- und Klauenseuche-Virus empfänglich (SCHÜTZE 1988; HOEFER 1994). Diese Virusinfektion ist u.a. durch Stomatitis mit ulzerativen Zungenläsionen gekennzeichnet (HOEFER 1994). Neoplasien der Hypophyse können bei den kleinen Haussäugetieren eine Verschlechterung der Sehfähigkeit durch Kompression des N. opticus mit eventuell teilweiser bzw. kompletter Zerstörung des Sehnervens verursachen (HELPER 1989; NARFSTRÖM et al. 1997).



Das Auftreten von Hypophysen-Adenomen bei *Erinaceus europaeus* (CAMPBELL u. SMITH 1966) sowie *Atelerix albiventris* (RAYMOND u. GARNER 2001 a) ist, da der Igel mehrere Monate im Winterschlaf verharrt und sich das endokrine System in dieser Zeit in Regression befindet, von besonderem Interesse. CAMPBELL und SMITH (1966) vermuten entsprechend der Ausmaße des Tumors, dass dieser seit mindestens einer Winterschlafperiode vorhanden gewesen sein muss. Klinische Auffälligkeiten sind bei *Erinaceus europaeus* nicht zu beobachten. Tumoren der Augen sind bisher nach RAYMOND und GARNER (2001 a) für den Igel noch nicht beschrieben worden, BHATNAGAR und WAJDA (2002) halten ihr Vorkommen aber für möglich. Die genannten raumfordernden entzündlichen sowie neoplastischen Prozesse der periorbitalen Gewebe als auch retrobulbäre Abszesse und durch Trauma verursachte Frakturen und Blutungen können zu einer Vorverlagerung des Augapfels (Exophthalmus) bzw. zum Bulbusvorfall (Prolapsus bulbi) führen (SCHICHT-TINBERGEN 1995; BHATNAGAR u. WAJDA 2002).

Nach SCHICHT-TINBERGEN (1995) entstehen Erkrankungen der Bindehaut meist aus Sekundärinfektionen, die bei gestörtem Allgemeinzustand aufflammen. Als Folge von Zugluft kann Rötung und Entzündung der Bindehaut auftreten, oft auch mit weißlichem bis gelblichem Augenausfluß (BARTENSCHLAGER 1986). Neben diesen beiden Autoren nennt STOCKER (1989) Behandlungsmöglichkeiten der Konjunktivitis beim Igel. FEHR (2001) beschreibt bei einem weiblichen Tier das Auftreten einer Konjunktivalzyste, deren Ursache ungeklärt bleibt.

Verletzungen, Verbrennungen und Verätzungen können nach SCHICHT-TINBERGEN (1995) Erkrankungen der Hornhaut hervorrufen, wobei fast immer das klinische Bild einer mehr oder weniger ausgeprägten Trübung der Kornea mit oder ohne Zusammenhangstrennungen, Ulzera und Vorwölbungen überwiegt. LIENHARDT (1979) berichtet sowohl von einseitig als auch von doppelseitig auftretenden Hornhauttrübungen. PODUSCHKA (1979) weist bei einem jungen Igel eine lokale konische Verformung beider Augäpfel im Gebiet der vorderen Augenwinkel mit Verfärbung der Konjunktiven sowie der Hornhaut nach. Er führt die diagnostizierte Xerophthalmie auf eine unsachgemäße Ernährung während der Wachstumsperiode und damit zusammenhängenden wochenlangen Durchfall zurück. Die darüber hinaus durch Resorptionsstörung bedingte Enterokarenz hat u.a. einen Vitamin-A-Mangel als vermutete Ursache der Augenerkrankung zur Folge.

Bei einem adulten Igel bemerkt PODUSCHKA (1969, 1974) eine Trübung des rechten Auges, das dann mit einem opalisierenden Sekret überzogen ist. Der Augapfel ist zeitweise etwas hervorgetreten, das Sehvermögen scheint während der Trübung ausgeschaltet. Er führt diese Veränderungen auf die sich im äußeren Augenwinkel befindliche Meibomsche Drüse zurück, deren Ausführungsgang verstopft oder entzündet ist. Dies bewirkt ein Anschwellen der Drüse und dadurch bedingt ein Heraustreten des Bulbus. Nach Abklingen der Verstopfung überflutet das angestaute Sekret den Augapfel. JOHNSON-DELANEY (2002) erwähnt eine von Dr. Greg Rich diagnostizierte Zystenbildung der Meibomschen Drüsen.

Im Schrifttum finden sich bei Linsenerkrankungen gehäufte Hinweise auf Katarakte (Linsentrübungen, grauer Star) beim Igel (PODUSCHKA et al. 1984; BARTENSCHLAGER 1986; SCHÜTZE 1988; SAUPE u. PODUSCHKA 1995). Als Ursache wird ebenso wie bei der beschriebenen Xerophthalmie ein Vitamin-A-Mangel vermutet (SAUPE u. PODUSCHKA 1995).

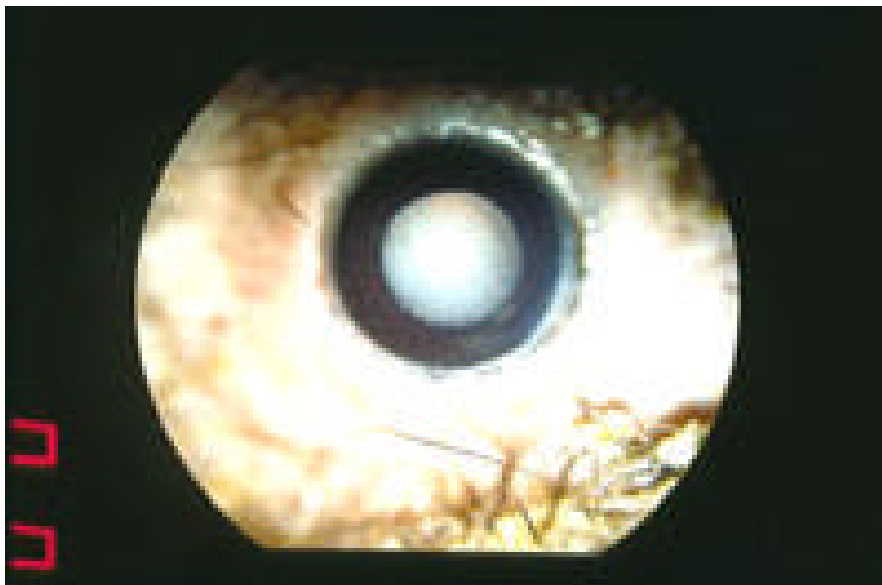


Abb. 10: Katarakt beim Igel

In Verbindung mit Diabetes mellitus ist die Ausbildung von Katarakten bei verschiedenen Tierarten z.B. Kaninchen und Meerschweinchen (EWRINGMANN u. GÖBEL 1998), Chinchilla (MARLOW 1995), Chinesischer Hamster (KERN 1997), Ratte (SCHMIDT-NIELSEN et al. 1964; HACKEL et al. 1967) und nicht zuletzt Hund und Katze von zahlreichen Autoren beschrieben. Die Ursache einer Linsentrübung beim Degu ist möglicherweise ebenfalls diabetogen (persönliche Mitteilung von D. K. BORAKER, zit. nach

WORGUL u. ROTHSTEIN 1975; KERN 1989). Ein endgültiger Beweis steht für diese Tierart noch aus. Diabetes mellitus ist auch beim Igel nachgewiesen (THE WELSH HEDGEHOG HOSPITAL 2001). Ob diese Erkrankung bei dieser Tierart mit einer Linsentrübung einhergeht, ist nicht beschrieben. Unterschieden werden idiopathische primäre und sekundäre Diabetes mellitus-Formen. Zu den letztgenannten zählen der Insulinmangel infolge einer primären Pankreaserkrankung (Nekrose, Fibrose, Tumoren, Entzündung) sowie nichtpankreatogene Endokrinopathien, z.B. Steroid-Diabetes bei Cushing-Syndrom (SUTER 1994). Beim Igel sind Tumoren der Nebennieren (DONE 1999; RAYMOND u. GARNER 2001 a) sowie der Bauchspeicheldrüse (RAYMOND u. GARNER 2001 a) bekannt. Allerdings handelt es sich bei dem letztgenannten um einen Inselzelltumor (Insulom), der einen Hyperinsulinismus mit Hypoglykämie zur Folge hat (KRAFT 1990; SUTER 1994). JOHNSON-DELANEY (2002) diagnostiziert eine Cushing-Erkrankung beim Igel, die durch einen Nebennierentumor ausgelöst wird.

Verschiedene Autoren (LIENHARDT 1979; MORRIS 1984; SCHICHT-TINBERGEN 1995) berichten von blinden Igeln, die trotz ihrer Behinderung relativ selbständig in Freiheit leben. Obwohl sie immer wieder über Hindernisse stolpern, sind sie dennoch in der Lage mit hoher Geschwindigkeit beachtliche Strecken auf ihren Streifzügen zurückzulegen (MORRIS 1984). Der von ihm beobachtete männliche Igel führt ein normales Leben, umwirbt Igelweibchen und vertreibt Widersacher. Erst bei Versagen des Geruchssinns scheinen blinde Igel hilflos zu sein (LIENHARDT 1979). So berichtet sie von einem erblindeten Weibchen, das an Schnupfen erkrankt ist und am hellen Tage nach Futter suchend auf der Straße gefunden wird.

Über die Vererbung von manifesten krankhaften, phänotypisch sichtbaren Merkmalen ist beim Igel bisher nur wenig bekannt. Aufgrund eines genetisch bedingten Melaninausfalls kann es zur farblichen Veränderung des äußeren Erscheinungsbildes kommen. So sind die Ausprägungsstufen Teilalbinos (Leuzismus) sowie echte Albinos gelegentlich anzutreffen (SCHÜTZE 1988). Beide Formen sind auch beim Igel durch pigmentlose Körperregionen und -strukturen charakterisiert (WACHTER 1909; FRITZE 1911/1912; STOHLER 1928; SCHREITMÜLLER 1940; LIENHARDT 1979; PODUSCHKA 1988). Wesentlicher Unterschied ist u.a. das Merkmal der Augenfarbe. Während die Iris beim Vollalbino pigmentlos ist, so dass die Augen dadurch rot erscheinen (WACHTER 1909; STOHLER

1928; SCHREITMÜLLER 1940; PODUSCHKA 1988), sind sie bei leuzistischen Tieren normal schwarz gefärbt (FRITZE 1911/1912; LIENHARDT 1979). Nach PODUSCHKAs (1988) Erfahrungen scheint es regionale Häufigkeitsunterschiede zu geben. So soll die Anzahl albinotischer Igel in Schleswig-Holstein, Westfalen und im westlichen Oberösterreich verhältnismäßig hoch sein. Aufgrund der zahlreichen bekannten Albinos beim Westigel *Erinaceus europaeus* und des durch PODUSCHKA (1988) beschriebenen ersten Fundes östlich der Überlappungszone der beiden Arten schlußfolgert er, dass Albinismus bei *Erinaceus europaeus* weitaus häufiger und damit genetisch (rezessiv) stärker fixiert ist als beim Ostigel *Erinaceus concolor*. STOHLER (1928) diskutiert als Erklärung des Auftretens des Albinismus zwei Möglichkeiten: Seiner Ansicht nach könnte zum einen eine Mutation zum anderen aber auch ein dominant-rezessiver Erbgang vorliegen. LIENHARDT (1979) beschreibt bei zwei leuzistischen Igeln ein abnormes Verhalten. Beide leben als Einzelgänger und vermeiden den Kontakt mit Artgenossen, auch andersgeschlechtlicher. Anzeichen von Brünstigkeit sind nicht zu beobachten und Paarungsversuche scheitern. Ferner lassen sie vermutlich aufgrund eines verminderten Geruchssinns das typische Einspeicheln nach Reizaufnahme vermissen. Am Fundort des einen Tieres wird zwei Jahre später ein weiterer juveniler leuzistischer Igel gefunden.

Da die Tiere ihren Feinden durch ihre helle Färbung auffallen, vermutet SCHREITMÜLLER (1940), dass sie in freier Wildbahn kein allzu hohes Alter erreichen. Aus diesem Grund sollten sie SCHÜTZE (1988) zufolge nicht in die Natur zurückgegeben werden.

### **3. Eigene Untersuchungen**

#### **3.1. Patientengut, Material und Methode**

##### 3.1.1 Patientengut

Für die Untersuchungen zu dieser Studie vom 1. Februar 1999 bis zum 1. Mai 2002 wurden sowohl weibliche als auch männliche Igel aus dem Patientenaufkommen der Klinik für kleine Haustiere der Tierärztlichen Hochschule herangezogen, die eine Augenerkrankung zeigten oder aufgrund einer anderen klinischen Auffälligkeit einer Narkose bedurften. Die Tiere stammten aus der Region Hannover und sind folglich den West- oder Braunbrustigeln (*Erinaceus europaeus*) zuzuordnen. Sofern möglich wurde zu Beginn eine Anamnese erhoben. Anschließend erfolgten die klinische Allgemeinuntersuchung und nachfolgend spezielle, u.a. ophthalmologische Untersuchungen, die teils, wenn eine Narkose indiziert war, nach Anästhesie der Igel fortgesetzt wurden. Im Vorfeld wurde eine Geschlechtsbestimmung durchgeführt und außerdem das Gewicht mit einer Haushaltswaage festgehalten.

##### 3.1.2. Material

###### 3.1.2.1. Pharmaka

Für die Narkose wurden das sedativ-hypnotische Analgetikum Medetomidin (1mg/ml, Domitor<sup>®</sup>, Fa. Pfizer GmbH, Karlsruhe) kombiniert mit dem Injektionsanästhetikum Ketamin 5% (50 mg/ml, Ketasel-5<sup>®</sup>, Fa. Selectavet, Weyarn-Holzolling) und als Antagonist von Medetomidin Atipamezol (5mg/ml, Antisedan<sup>®</sup>, Fa. Pfizer GmbH, Karlsruhe) eingesetzt.

Die Igel wurden mit einer Dosierung von 0,1 mg/kg KM Medetomidin (0,1 ml/kg KM Domitor<sup>®</sup>) und 5 mg/kg KM Ketamin (0,1 ml/kg KM Ketasel-5<sup>®</sup>) intramuskulär anästhesiert. Nach der Untersuchung wurde zur Verkürzung der Nachschlafzeit 0,5 mg/kg KM Atipamezol (0,1 ml/kg KM Antisedan<sup>®</sup>) intramuskulär verabreicht.

Die Applikation von Atropin (10 mg/ml, Atropin-POS<sup>®</sup> 1% AT, Fa. Ursapharm, Saarbrücken) führte zur Dilatation der Pupille (Mydriasis). Zur Darstellung des Tränennasengangs wurde das Röntgenkontrastmittel Omnipaque<sup>®</sup>-350 der Firma Schering Pharma aus Berlin (Wirkstoff: 0,755 mg/ml Jhexol) verwendet.

### 3.1.2.2. Technische Geräte

Zur intraokulären Druckmessung (Tonometrie) diente das Applanationstonometer Tono-Pen XL der Firma Mentor, Norwell. Die Größe des Bulbus wurde mittels Caliper nach Castroviejo (Art.Nr.: 170520, Fa. Eickemeyer, Tuttlingen) und sein Gewicht mit der Waage der Firma Sartorius aus Göttingen (Typ KB BA 100, Modell MC 1) bestimmt. Ophthalmoskopiellinsen der Firma Zeiss mit unterschiedlicher Brechkraft (40, 60 und 90 dpt) und die Funduskamera Genesis (Seriennummer: 26217, Fa. Kowa, Japan) wurden zur Fotografie des Augenhintergrundes eingesetzt.

Ferner wurde die Röntgenröhre Medio 50 CP-H der Firma Philips aus Hamburg und der Spiral-Computertomograph Somatom AR.HP.X der Firma Siemens aus Erlangen verwendet.



Abb. 11: Caliper nach Castroviejo

### 3.1.3. Methode

Zur Weitstellung der Pupille wurde, soweit möglich, am wachen Tier viermal innerhalb eines Zeitraumes von fünfzehn Minuten d.h. alle fünf Minuten in jedes Auge ein Tropfen Atropin-

POS® 1% AT appliziert. Nachdem die anästhesierten Igel in Seitenlage verbracht waren, wurde unverzüglich die nur in Narkose mögliche Behandlung durchgeführt. Anschließend folgten die speziellen Untersuchungen des Auges. Der intraokuläre Druck wurde mit dem Applanationstonometer Tono-Pen XL gemessen. Dabei wurden pro Auge zwölf Werte ermittelt, von denen die vier am engsten zusammenliegenden Zahlen weiter berücksichtigt wurden. Diese vier Werte dienten als Grundlage für die Bestimmung eines Durchschnittswertes, wobei der vom Gerät automatisch nach vier Messungen angezeigte Durchschnittswert ignoriert wurde.

Die vertikale und horizontale Längenmessung des Bulbus wurde mittels Caliper nach Castroviejo durchgeführt. Um Meßungenauigkeiten auszuschließen, wurde dieser Vorgang zweimal wiederholt.

Anschließend erfolgte die fotografische Darstellung des Augenhintergrundes mit der Funduskamera unter Zuhilfenahme von Ophthalmoskopiellinsen der Firma Zeiss.

Bei der Mehrzahl der Igel, die aufgrund infauster Prognose euthanasiert werden mußten, wurden umgehend beide Augäpfel chirurgisch entfernt (Bulbusenukleation), vermessen (Caliper) und zusätzlich mit der Mikrogrammwaage gewogen. Um pathologische Untersuchungen zu ermöglichen, wurden diese dann unverzüglich in 10 %igem Formalin eingelegt. Als weitere diagnostische Verfahren kamen Röntgen und Computertomographie zum Einsatz, u.a. erfolgte so nach mehrmaligem Einträufeln des Kontrastmittels (Omnipaque®-350, Fa. Schering Pharma, Berlin) in beide Augen die Darstellung des Tränennasengangs. Die zeitlichen Abstände der Anwendung wurden der Abflußgeschwindigkeit des Kontrastmittels angepaßt.

#### 3.1.4. Statistische Methoden

Die erhobenen Daten wurden in das Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel übertragen. Mit diesem System wurden der arithmetische Mittelwert und die Standardabweichung ermittelt. Zur Überprüfung der Ergebnisse auf Signifikanz wurde mit dem Statistical Analysis System (SAS) die 2-faktorielle Varianzanalyse für abhängige, d.h. gepaarte Beobachtungen und unabhängige Vorgänge durchgeführt. Bulbusgröße bzw. Augeninnendruck wurden vergleichend linkes zum rechten Auge (abhängiger Vorgang)

ausgewertet und ferner der Bezug der Meßdaten als unabhängige Paarung zum Geschlecht dargestellt. Signifikante Unterschiede wurden ab einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p < 0,05$ , entsprechend einem Signifikanzniveau von  $< 5 \%$ , angenommen.



## 3.2. Untersuchungsergebnisse

### 3.2.1. Patienten

Das Verhältnis von männlichen zu weiblichen Tieren betrug zwei zu eins: Von den vierundvierzig untersuchten Igeln waren neunundzwanzig männlichen und fünfzehn weiblichen Geschlechts. Das Körpergewicht der Patienten lag zwischen 325 und 1495 Gramm, der arithmetische Mittelwert bei den männlichen 902 und bei den weiblichen Igeln 684 Gramm.

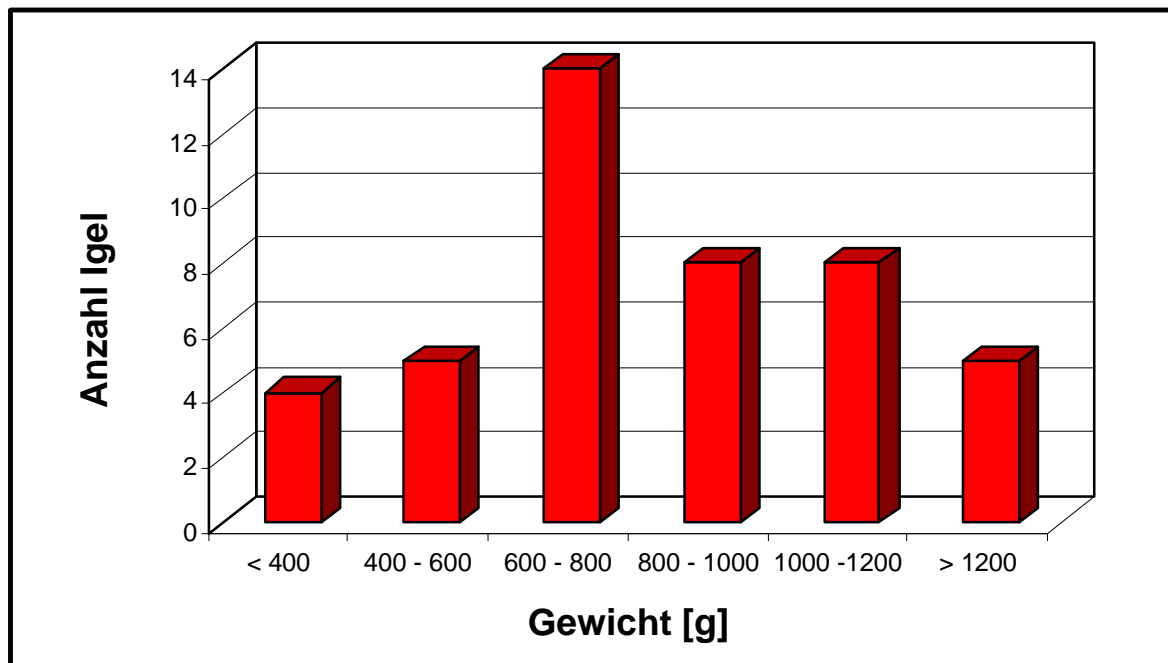


Abb. 12: Gewichtsverteilung der untersuchten Igel, Körpergewicht angegeben in Gramm  
(Gesamtzahl der Tiere n = 44)

### 3.2.2. Einteilung der Patienten

Die Igel wurden bei der Auswertung in zwei Gruppen eingeteilt. In der ersten Gruppe befanden sich vierunddreißig klinisch augengesunde Tiere (Untersuchungsgruppe 1). Die zweite Gruppe (Untersuchungsgruppe 2) bestand aus zehn Igel, die klinische Auffälligkeiten zeigten und im einzelnen in Falldarstellungen näher erläutert werden.

Nr.	Geschlecht	Gewicht [g]	Bulbusgröße [mm]				Augeninnendruck in mm Hg									
			links		rechts		links				rechts					
			horiz.	vertikal	horiz.	vertikal		Ø		Ø		Ø				
1	männlich	480	6	6	5,5	5	22	23	24	22	23	22	19	23	22	22
2	weiblich	750	6	6	6	6	18	22	19	24	21	19	20	23	17	20
3	männlich	1100	7	6	6	6	18	19	23	21	20	23	21	19	21	21
4	weiblich	760	6,5	6	6,5	6	25	21	20	23	22	24	18	21	21	21
5	männlich	1260	3	2							0					0
6	männlich	836	6	6	6	6					0					0
7	männlich	1244	6	7	6	7	21	20	18	24	21	17	19	20	21	19
8	weiblich	935	7	6,5	7	6,5	23	19	20	19	20	18	19	20	19	19
9	männlich	1420	6,5	6	6,5	6	17	24	19	21	20	19	16	21	25	20
10	weiblich	950	7	7	7	7	23	18	27	22	23	18	26	21	25	23
11	weiblich	650	6	6	6	6	17	17	25	21	20	19	21	19	17	19
12	männlich	1080	3	4	6,5	6,5					0	17	26	25	27	24
13	weiblich	610	6	6	6	6	25	25	24	21	24	21	27	23	17	22
14	männlich	1250	6	6	6	6	21	25	21	22	22	18	20	17	22	19
15	weiblich	697	6	6	6	6	17	19	24	16	19	18	27	23	19	22
16	männlich	1160			4	4					0	19	20	23	18	20
17	weiblich	660	6	6	6	6	19	20	18	22	20	22	20	26	28	24
18	männlich	480	6	5,5	5,5	5,5	17	19	14	18	17	23	25	21	20	22
19	weiblich	967	6	6	6	6	17	21	17	16	18	16	17	21	22	19
20	männlich	676	6	6	6	6	15	18	22	19	19	21	23	18	17	20
21	männlich	750	6	6	6	6					0					0
22	männlich	1044	6	6	6	6	17	21	25	21	21	15	19	21	22	19
23	männlich	755	6	5,5	6	5,5	15	17	15	19	17	17	16	18	21	18
24	männlich	524	6	6	3	2	19	26	22	20	22					0
25	männlich	558	6	6	6	6	20	24	24	23	23	22	24	18	17	20
26	weiblich	696	6	6	6	6	19	23	20	21	21	16	18	18	23	19
27	männlich	768	6	6	6	6	8	7	15	12	11	15	12	8	14	12
28	weiblich	765	6	6	6	6	19	21	19	14	18	19	20	23	22	21
29	männlich	970	6	6	6	6	22	22	15	27	22	15	17	23	21	19
30	männlich	1045	6	6,5	6	6,5	15	17	19	19	18	19	22	24	21	22
31	männlich	980	6	6	6	6	16	18	22	18	19	27	22	16	19	21
32	männlich	1100	6	6	6	6	23	16	22	19	20	21	22	18	23	21
33	männlich	1070	6,5	6,5	6,5	6,5	22	21	25	17	21	18	22	22	24	22
34	männlich	1495	7	7	7	7	25	23	19	18	21	19	20	23	22	21
35	männlich	1006	6,5	6,5	6,5	6,5	23	23	18	21	21	23	15	20	25	21
36	weiblich	467	6	6	6	6	19	19	22	23	21	22	22	21	24	22
37	weiblich	600	6	6	6	6	19	19	23	22	21	18	22	19	22	20
38	weiblich	366	5,5	5,5	5,5	5,5	16	25	19	18	20	20	21	18	21	20
39	männlich	640	6	6	6	6	18	22	19	19	20	25	19	20	21	21
40	männlich	325			2	1,5					0					0
41	weiblich	385	5	5	5	5	23	18	21	20	21	20	23	23	22	22
42	männlich	894	6	6	6	6	19	24	22	23	22	21	21	18	22	21
43	männlich	875	6	6	6	6	17	18	22	22	20	18	23	17	22	20
44	männlich	363	5,5	5,5	5,5	5,5	20	17	23	25	21	19	23	22	19	21

Tab. 1: Übersicht aller Igel

### 3.2.3. Ergebnisse beim klinisch augengesunden Igel



Abb. 13: Auge eines klinisch augengesunden Igels

Die Werte für die bei den vierunddreißig klinisch augengesunden Igeln mittels Caliper gemessene Bulbusgröße lagen zwischen dem Minimum von 5 und dem Maximum von 7 mm sowohl für den horizontalen als auch vertikalen Durchmesser. Die arithmetischen Mittelwerte betragen übereinstimmend für das linke und rechte Auge 6,1 mm (horizontal) bei einer Standardabweichung von 0,4 mm. Vertikal konnte für das linke Auge ein Mittelwert von 5,9 mm sowie für das rechte von 6,0 mm bei einer Standardabweichung von 0,4 mm bzw. 0,5 mm festgehalten werden. Vergleichende Betrachtungen der Bulbusgröße zum Körpergewicht zeigten, dass bei Jungigeln mit einem Körpergewicht von weniger als 400 g die Länge der beiden Augenachsen bei 5 bzw. 5,5 mm lag.

Tab. 2: Jungigel mit einem Körpergewicht unter 400 g

Igel Nr.	Körpergewicht in g	Bulbusgröße in mm
38	366	5,5 <sup>1</sup>
41	385	5,0 <sup>1</sup>
44	363	5,5 <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Vertikal- sowie Horizontaldurchmesser für das linke und rechte Auge

Mit zunehmendem Körpergewicht ließ sich ebenso eine Längenzunahme der Augenachsen feststellen: Bei Igel mit einem Körpergewicht zwischen 400 und 500 g (Nr. 18, 36 und 1) wurden für die beiden Achsen Werte von 5 bis 6 mm ermittelt. Der Horizontal- sowie der Vertikaldurchmesser des Augapfels bei der überwiegenden Anzahl der schwereren adulten Tiere betrug hingegen 6 mm. Dabei lag das Minimum bei 5,5 mm (Igel Nr. 23 mit einem Körpergewicht von 755 g) und das Maximum bei 7 mm (Igel Nr. 34, 10, 8, 7 und 3 mit einem Körpergewicht von 935 bis zu 1495 g).

Bei euthanasierten Tieren wurde zusätzlich die Länge des Augapfels bestimmt. Bei den vier klinisch augengesunden Igel (Nr. 29, 31, 36 und 38) entsprach die Länge der dritten Augenachse den beiden zuvor gemessenen, d.h. die Durchmesser der drei Ebenen lagen einheitlich bei 6 mm (3 Tiere) bzw. 5,5 mm (Nr. 38). Das Gewicht betrug für die beiden kleineren Bulbi zusammen 0,203 g (Nr. 38), bei den anderen 0,28 g (zwei Tiere: Nr. 36 und 29) bzw. 0,29 g (Nr. 31). Dabei ist zu berücksichtigen, dass es sich bei Igel Nr. 38 sowie vermutlich auch bei dem Tier Nr. 36 um juvenile und bei den verbleibenden beiden um adulte Igel handelte.

Für das Verhältnis Augengewicht zu Körpergewicht zeigten sich bei den beiden Jungigeln höhere Prozentzahlen (0,055 bzw. 0,060 %) als bei den erwachsenen Individuen (0,029 bzw. 0,30 %).

Tab. 3: Körper- und Augengewicht sowie Verhältniszahlen

Igel Nr.	Körpergewicht in g	Augengewicht in g	Gewichtsverhältnis <sup>1</sup> in %
36	467	0,28	0,060
38	366	0,203	0,055
31	980	0,29	0,030
29	970	0,28	0,029

<sup>1</sup>Verhältnis: Augen- zu Körpergewicht

Bei den erhobenen Werten für den Augeninnendruck war eine Schwankungsbreite von 14 bis 28 mm Hg, in den Durchschnittswerten von 17 bis 24 mm Hg zu verzeichnen. Die aus den Durchschnittswerten errechneten arithmetischen Mittelwerte waren annähernd gleich: 20,4 mm Hg bei einer Standardabweichung von 1,7 mm Hg für das linke und 20,6 mm Hg bei einer Standardabweichung von 1,3 mm Hg für das rechte Auge. Demnach ergibt sich für das Augenpaar ein mittlerer intraokularer Druck von 20,5 mm Hg bei einer Standardabweichung von 1,5 mm Hg.

Signifikante Unterschiede konnten statistisch weder im Bezug zum Geschlecht bzw. beim Vergleich linkes zum rechten Auge für die Werte des Augeninnendrucks noch der Bulbusgröße ermittelt werden. Die Irrtumswahrscheinlichkeit  $p$  war in allen Vorgängen deutlich größer als 0,05, d.h. die Ergebniswerte überstiegen das Signifikanzniveau von 5 %.

Tab. 4: Vergleich der Bulbusgröße bzw. des Augeninnendrucks zum Geschlecht bzw. linkes zum rechten Auge

	Geschlecht	Vergleich: linkes – rechtes Auge
Augeninnendruck	0,4625	0,4405
Bulbusgröße:		
Horizontaldurchmesser	0,8459	0,1642
Vertikaldurchmesser	0,8152	0,4288

Der Verlauf des Tränennasengangs ließ sich im Röntgenbild nach Kontrastmittelgabe lediglich im distalen Bereich, in etwa dem Mündungsstück des Ductus nasolacrimalis in die Nasenhöhle, darstellen. Durch die Computertomographie konnte zusätzlich die proximale Region des Tränenapparates abgegrenzt werden, allerdings handelte es sich bei dem Igel um ein klinisch auffälliges Tier mit eitrigem Augenausfluß.



Abb. 14: Verlauf des distalen Bereichs des Tränennasengangs im Röntgenbild (obere Bilder vor, untere nach Kontrastmitteleingabe)

Der Augenhintergrund ließ sich mit der Funduskamera nur mangelhaft fotografisch darstellen. Bei der indirekten Ophthalmoskopie erschien der Fundus einheitlich hellgrau. Der Discus nervi optici war kreisförmig und hellrot gefärbt. Von seinem Zentrum gingen strahlenförmig sich noch weiterverzweigende Gefäße aus.

### 3.2.4. Fallbeschreibungen klinisch auffälliger Igel

Von den vierundvierzig untersuchten Igeln zeigten zehn Tiere klinische Auffälligkeiten. Darunter war ein Jungigel mit verkleinerten Augäpfeln (Igel Nr. 40), ansonsten handelte es sich um adulte Tiere. Bis auf ein weibliches Tier ( Igel Nr. 2), das mit eitrigem Augenausfluß vorgestellt wurde, waren alle anderen Patienten männlichen Geschlechts.

Tab. 5: Übersicht der zehn klinisch auffälligen Igel

Igel Nr.	Körpergewicht in g	Klinische Befunde
2	750	Eitriger Augenausfluß, M 1 (Oberkiefer) fehlt, Zahnstein, Gingivitis
39	640	Eitriger Augenausfluß, Zahnstein, Gingivitis, Fistelkanal: Mund-/Nasenhöhle
5, 12, 16, 24, 40	325 – 1260	Verkleinerte bzw. fehlende Augäpfel
6	836	Abszeß zwischen dem Augenpaar
21 und 27	750 bzw. 768	Eingefallene Augäpfel

#### 1. Fallbericht

Der Igel Nr. 2 wurde mit einem seit mehreren Wochen bestehenden therapieresistenten, nur rechtsseitigen eitrigem Augenausfluß in der Klinik vorgestellt. Eine genauere Untersuchung der Maulhöhle des Alttieres zeigte einen hgr. Zahnsteinbefall, Gingivitis und rechtsseitig das Fehlen des ersten Molaren (M1) im Oberkiefer. Der Augeninnendruck als auch die Bulbusgröße lagen im Normalbereich. Die Röntgenbilder des Schädels sowie ein angefertigtes Übersichtsbild waren unauffällig. Anschließend wurde eine Computertomographie des Kopfes durchgeführt. Zubildungen als auch Auflösungen der Knochensubstanz waren vornehmlich im Bereich des Os frontale zu finden.



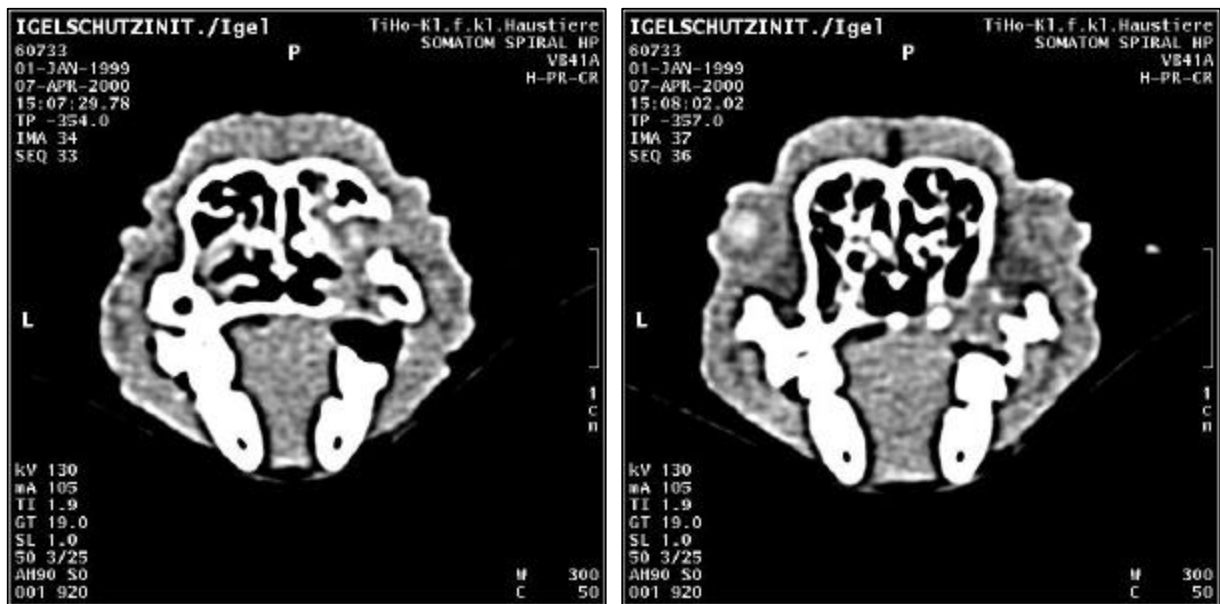


Abb. 15: Auflösungen von Knochensubstanz, rechter Schädelbereich

Ferner waren noch Teile der Orbita umgebenden Strukturen, wie die Maxilla und das Os lacrimale sowie einige Gebiete des Os palatinum, zerstört. Die rechte Nasenhöhle und die angeschlossenen Nebenhöhlen waren teilweise mit verdichtetem Material gefüllt. Die klinische Verdachtsdiagnose Neoplasie konnte durch die pathologische Untersuchung weder bestätigt noch widerlegt werden, da der Tierkörper nicht mehr zur Verfügung stand.

## 2. Fallbericht

Ebenso wie der Igel Nr. 2 zeigte der Igel Nr. 39 rechtsseitigen eitrigen Augenausfluß, allerdings erst bei der zweiten Vorstellung. Der Vorbericht der Erstvorstellung lautete wie folgt: Trotz antiparasitärer Behandlung zunehmender Gewichtsverlust und zudem seit einigen Tagen Futtermittelverweigerung. Das vollständige Öffnen der Mundhöhle zwecks Untersuchung war nicht möglich. Ein hochgradiger Mundgeruch (Foetor ex ore) konnte wahrgenommen werden. Die Backenzähne waren vollständig von Zahnstein umgeben. Da sie nur noch locker verankert und zudem in diesem Bereich vereitert waren, wurden die Backenzähne extrahiert. Obwohl zwischenzeitlich eine Besserung auftrat, wurde das Tier etwa einen Monat später erneut in der Klinik vorgestellt, diesmal mit rechtsseitig eitrigem Augenausfluß. Ebenso wie beim ersten Fallbericht lagen auch bei diesem Tier die für die Bulbusgröße und den Augeninnendruck ermittelten Werte im Normbereich. Im rechten Oberkiefer wurde ein

Fistelkanal, ausgehend von der Mund- zur Nasenhöhle, nachgewiesen. In der anschließend durchgeführten Computertomographie war der Schädel bis auf ein rechtsseitiges zerstörtes Teilgebiet des Processus alveolaris der Maxilla, etwa der Größe eines Zahnfaches entsprechend, unauffällig. Aufgrund des sich verschlechternden Allgemeinbefindens wurde das Tier einige Wochen später euthanasiert. Aus der pathomorphologischen Untersuchung des Tieres ergaben sich keine neuen Erkenntnisse. Der Fistelkanal im rechten Oberkiefer konnte bei der Sektion nicht mehr nachgewiesen werden.

### Zusammenfassende Darstellung von Fallberichten bei Igeln mit klinisch ähnlichen Auffälligkeiten

Ein verkleinerter Bulbus, der in dieser Untersuchung nur bei männlichen Tieren vorkam, trat überwiegend einseitig auf (Igel Nr. 5, 12 und 24). Für den horizontalen Durchmesser ergaben sich Werte von 3 mm und vertikal von 2 bzw. 4 mm. Bei einer erneuten, sechs Wochen späteren Vorstellung des Igels Nr. 24 konnte die weitergehende Verkleinerung des Augapfels fotografisch festgehalten werden. Eine exakte Größenbestimmung mittels Caliper war in diesem Stadium nicht mehr möglich.



Abb. 16: Erstvorstellung des Igels Nr. 24



Abb. 17: Erneute Vorstellung (6 Wochen später) des Igels Nr. 24

Der Igel Nr. 40 wurde mit dem Vorbericht beidseitige therapieresistente Konjunktivitis vorgestellt. Der linke Augapfel war etwa stecknadelkopfgroß, der rechte hatte eine Größe von 2 mm (horizontal) und 1,5 mm (vertikal). Bei allen Tieren mit verkleinertem Bulbus zeigte sich eine unterschiedlich stark getrübte Hornhaut. Aufgrund der Kleinheit der Augen konnten Messungen mit dem Tonopen bei diesen Tieren nicht durchgeführt werden. Zudem war der Bulbus in die Augenhöhle zurückgezogen, so dass keine korrekten Werte für den Augeninnendruck erhoben werden konnten, da der zum Hervortreten des Bulbus von außen ausgeübte Druck auf das Gewebe zu Verfälschungen der Ergebnisse geführt hätte. Ähnliche Bedingungen, allerdings mit dem Unterschied eines diagnostizierten Enophthalmus, waren bei Igel Nr. 6 für das Scheitern der Messungen verantwortlich. Ein sich zwischen dem Augenpaar befindender Abszeß kommt hier ursächlich für das Zurücksinken der beiden Bulbi in die Orbita in Betracht. Igel Nr. 5 fehlte zudem der rechte Bulbus. Auch bei Igel Nr. 16 war der linke Augapfel nicht zu finden, der rechte war verkleinert (beide Durchmesser: 4 mm). Hier wurde ein Corneaödem und eine intraokulare Blutung diagnostiziert, der Augeninnendruck lag im Mittel bei 20 mm Hg.

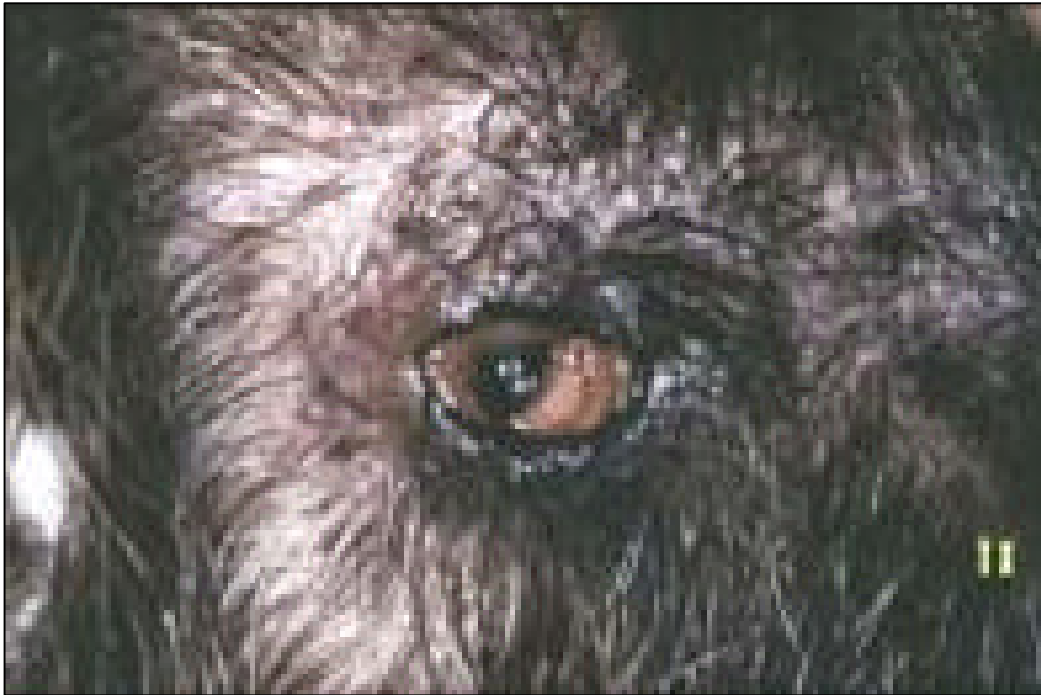


Abb. 18: Igel Nr. 16: Corneaödem und intraokulare Blutung

Bei Igel Nr. 21 und Nr. 27, die kachektisch und zudem durch eingefallene Augäpfel gekennzeichnet hochgradig exsikkotisch waren, war der Augeninnendruck nicht meßbar (Igel Nr. 21) bzw. die Werte waren unterhalb des Normbereiches (Igel Nr. 27). Die Größe der Augäpfel lag für beide Durchmesser bei beiden Tieren mit 6 mm im Normalbereich.

## 4. Diskussion

### 4.1. Patientengut, Material und Methode

Bei den in dieser Studie untersuchten vierundvierzig Igel, die allesamt den Braunbrustigeln zuzuordnen waren, handelte es sich um klinische Patienten und somit um eine heterogene Gruppe von Tieren beiderlei Geschlechts, die sich durch Alter und Gewicht voneinander unterschieden. Da diese Wildtiere als besonders geschützte Arten nur ausnahmsweise bei Verletzungen oder Erkrankungen und für eine begrenzte Zeit bis zur Wiederherstellung in menschliche Obhut genommen werden dürfen, kann eine detaillierte Anamnese häufig nicht erhoben und somit die Ursache der Erkrankung nicht bestimmt werden. Ferner ist eine genaue Altersangabe bei lebenden Igel nicht möglich. Lediglich zwischen juvenilen und adulten Tieren kann aufgrund des Zustandes der Zähne differenziert werden. Nach HERTER (1938) sind beim jungen Tier die Höcker der Backenzähne sehr spitz, bei zunehmendem Alter werden sie stumpfer und niedriger, und bei sehr alten Igel sind die Kauflächen ganz glatt und die Zähne sehr niedrig. Beim toten Tier dienen die Wachstumslinien in den Kieferknochen, die durch Wachstumsperioden im Sommer und Stagnation während des Winterschlafes hervorgerufen werden, zur Altersbestimmung (MORRIS 1984).

Zur Versuchsdurchführung und zur Ruhigstellung der wenig kooperativen Igel war eine Anästhesie unabdingbar, obwohl nach BRYAN (1965) durch eine Allgemeinnarkose die Höhe des Augeninnendruck beeinflusst wird. Mit Medetomidin und Ketamin wurde eine für den Igel gut verträgliche Anästhesieform in einer von STOCKER (1992) empfohlenen Dosierung gewählt, die außerdem durch den Einsatz von Atipamezol teilweise antagonistisierbar war. Die Wirkung von Ketamin auf den Augeninnendruck wird kontrovers diskutiert (PURSCHKE u. HASSOUNA 1973; AUSINSCH et al. 1976; NORBURY et al. 1981). So beschreibt RUBLI (1971) beim Säuger eine Erhöhung um bis zu 5 mm Hg. Eine Steigerung des intraokularen Drucks durch Ketamin wird auch von DUNCALF (1975) beim Menschen und SLATTER (1990) bei der Katze nachgewiesen.

Zur Dilatation der Pupille wird in der Regel bei der Mehrzahl der Heimtiere (wie z.B. Meerschweinchen, Hamster, Gerbil, Kaninchen und Frettchen) deren anatomische

Augenverhältnisse mit denen des Igels vergleichbar sind, neben einprozentigem Tropicamid auch Atropin, ebenfalls einprozentig, eingesetzt (DAVIDSON 1985). Auch GELATT (1991) empfiehlt bei Albinoratten und Mäusen Atropinsulfat oder Tropicamid. Bei pigmentierten Irides kann durch Bindung des Mydriatikums an uveales Melanin eine ungenügende Pupillenerweiterung beobachtet werden. In diesem Fall erreicht man durch die drei- bis viermalige Applikation von Atropin (1%) und Phenylephrin (10%) innerhalb eines Zeitraumes von fünfzehn Minuten eine Dilatation der Pupille (DAVIDSON 1985; KERN 1997). Zur Untersuchung des Fundus war der Einsatz dieser Medikamentenkombination beim Igel bei wiederholter Gabe von einprozentigem Atropin nicht notwendig. Die bei adulten Kaninchen von LEE (1983) beschriebene Atropinesteraseaktivität, die nach Applikation von Atropin eine unvollständige Mydriasis zur Folge hat, wurde beim Igel nicht beobachtet. Zur röntgenologischen Darstellung des Tränennasengangs des Kaninchens dient zum Nachweis von Engpässen das Kontrastmittel Omnipaque®-350 der Firma Schering Pharma aus Berlin (WAGNER et al. 1998). Auch beim Igel wurde, um den Verlauf des Tränennasengangs möglichst anschaulich zu beschreiben, dieses Röntgenkontrastmittel verwendet.

Die Leistungsfähigkeit des Tono-Pens wurde in zahlreichen Studien untersucht (u.a. MOSES u. CHING-HUNG 1968; MENDELSON et al. 1987; MINCKLER et al. 1987; BOOTHE et al. 1988; FARRAR et al. 1989; SAPIENZA et al. 1991; MOORE et al. 1993). Seine Meßgenauigkeit wird bei graphischen Darstellungen durch die Nähe der ermittelten Meßpunkte zur Ideallinie demonstriert. Verglichen mit anderen Geräten, die ebenfalls zur Bestimmung des Augeninnendruckes eingesetzt werden, weisen die Werte, die mittels Tono-Pen erhoben werden, die geringste Streuung auf (MENDELSON et al. 1987). MINCKLER et al. (1987) können zwar statistisch einen signifikanten Unterschied zwischen dem Tono-Pen und dem Goldmann Tonometer nachweisen, doch da die Meßwerte des Tono-Pens ihrer Ansicht nach ausreichend mit denen des renommierten Tonometers übereinstimmen, wird dies als klinisch nicht relevant beurteilt. FARRAR et al. (1989) hingegen lehnen aufgrund der in ihrer Studie gefundenen Meßunterschiede zwischen den beiden genannten Geräten die klinische Nutzung des Tono-Pens ab. Dabei bleibt zu bedenken, dass der Augeninnendruck keine konstante sondern eine variable Größe ist, die durch Faktoren wie Atmung, Blutdruck, Puls und Angst beeinflusst werden kann. Diese Einflüsse können die Diskrepanzen bei Tono-

Pen-Messungen bedingen (MOSES u. CHING-HUNG 1968; MOSES u. ARNZEN 1983; BOOTHE et al. 1988). So könnten die Streßsituationen, die durch wiederholte Messungen hervorgerufen werden, bei den Untersuchungen von MOTOLKO et al. (1982) als mögliche Ursache für die Variabilität der Meßwerte in Frage kommen. Zu berücksichtigen bleibt, dass jede Erhöhung des Augeninnendrucks durch eine Bulbuskompression, wie sie z.B. beim tonometrischen Meßvorgang oder durch forciertes Lidspreizen erfolgt, zu einem erhöhten Kammerwasserabfluß führt, der wiederum mit einer Erniedrigung des intraokularen Drucks einhergeht. Dies wird als sogenannter Tonographieeffekt bezeichnet. Nach MILLER et al. (1991) kommt es bei Messungen mit dem Tono-Pen verglichen mit dem Mackay-Marg-Tonometer zu geringfügig niedrigeren Meßwerten. Der Tono-Pen wurde ursprünglich für den humanmedizinischen Markt konzipiert. Trotz anatomischer Differenzen liegen Untersuchungen zur Anwendung und Leistungsfähigkeit bei Tieren vor: So bestimmen SAPIENZA et al. (1991) neben der Überprüfung der verlässlichen Anwendbarkeit dieses Instrumentes beim Frettchen Normalwerte und MOORE et al. (1993) führen Studien bei Ratten durch, die ähnlich dem Igel bei kleinem Bulbus eine stark gewölbte und dicke Cornea aufweisen. Um Vergleichswerte für die anschließenden Messungen mittels Tono-Pen zu erhalten, wird der Augeninnendruck bei den von MOORE et al. (1993) durchgeführten Untersuchungen zu Beginn durch direkte Messung bestimmt. Die Injektion physiologischer Kochsalzlösung in die vordere Augenkammer dient dabei zum einen der Aufrechterhaltung zum anderen aber auch der Veränderung des intraokularen Drucks. Im niedrigen Augeninnendruckbereich (kleiner gleich 15 mm Hg) kommt es zu höheren Meßwerten durch den Tono-Pen, während niedrigere im hohen Druckbereich (größer gleich 30 mm Hg) festzustellen sind. Aus diesem Grund scheint nach Ansicht der Autoren eine verlässliche Anwendung am normalen Rattenauge möglich. Bei einem Druck über 30 mm Hg werden fünfzehn, bei niedrigerem Druck zehn Messungen als ausreichend zum Erzielen einer akzeptablen Standardabweichung erachtet. Bei den eigenen Untersuchungen wurden pro Auge zwölf Messungen durchgeführt. Dabei wurden Ausreißer im Meßergebnis von vornherein ausgeschlossen, da nur die vier am engsten zusammenliegenden Meßwerte bei der Berechnung des arithmetischen Mittels, der Standardabweichung und der Signifikanz berücksichtigt wurden. Wie viele andere Tonometer arbeitet auch der Tono-Pen in der Nähe von 20 mm Hg mit der größten Genauigkeit (BOOTHE et al. 1988).

Bedingt durch die Kleinheit der Augen wird bei entsprechenden Tierarten die Betrachtung und Beurteilung des Augenhintergrundes mittels indirekter Ophthalmoskopie durchgeführt (DAVIDSON 1985). Bei Kaninchen, Nagetieren und Frettchen wird dazu bei den dabei verwendeten vergrößernden Linsen eine Brechkraft von 30 bis 40 Dioptrien benötigt (KERN 1997; MILLER 1997; WAGNER et al. 1998). Mittels indirekter Ophthalmoskopie ließ sich der Fundus des Igels detailliert erkennen. Die fotografische Darstellung gelang allerdings nicht. Eine scharfe Abbildung erschien technisch nicht möglich.



## 4.2. Untersuchungsergebnisse

### 4.2.1. Ergebnisse beim klinisch augengesunden Igel

Neben den Nagetieren (FRANZ 1934) wird die ophthalmologische Untersuchung auch bei Dämmerungstieren wie dem Igel (KAHMANN 1930/1931) aufgrund der Kleinheit der Augen und der starken Wölbung der Kornea sowie der Linse erschwert.

Abweichend von den Befunden von MENNER (1929), der einen Äquatorialdurchmesser von einem Zentimeter feststellt, betrug der Horizontal- sowie der Vertikaldurchmesser des Augapfels bei der überwiegenden Anzahl der adulten Tiere 6 mm. In Übereinstimmung mit FRANZ (1911) waren darunter auch Igel mit Werten von 6,5 mm vertreten. Bei juvenilen Igeln hingegen lag die Länge der beiden Augenachsen bei 5 bzw. 5,5 mm. Die Länge entsprach dabei den beiden zuvor gemessenen Durchmessern. PARREIDT (1901) ermittelt ein Gewicht von 0,18 g für einen Augapfel, für beide Augäpfel liegt es nach KAHMANN (1930/1931) bei 0,26 g bei den beiden leichteren Tieren (ca. 700 g bzw. 800 g) und bei etwa 0,3 g bei den beiden schwereren (etwa 1000 g). Die Augäpfel des juvenilen Igels Nr. 38 mit einem Gewicht von 366 g wogen zusammen 0,203 g bei einem Wert für alle Durchmesser von 5,5 mm, hingegen lagen die des etwa 100 g schwereren, vermutlich ebenfalls noch juvenilen Igels (Nr. 36), bei 0,28 g, wobei alle Durchmesser eine Länge von 6 mm aufwiesen. Bei den etwa 1000 g schweren adulten Tieren (Nr. 29 und 31) zeigte sich ein Bulbusgewicht von 0,28 bzw. 0,29 g bei einer Länge der drei Augenachsen von 6 mm. KAHMANNs (1930/1931) Vermutung, dass beim Igel das Eigenwachstum des Auges sehr viel früher beendet sei als bei der Beutelratte, konnte durch die eigenen Untersuchungen nicht bestätigt werden. Da die beiden leichteren Jungigel (Nr. 36 und 38) etwa das gleiche Körpergewicht wie die von KAHMANN (1930/1931) untersuchten juvenilen Beutelratten aufwiesen, konnten beide Tierarten miteinander verglichen werden. Für das Verhältnis Augengewicht zu Körpergewicht ergaben sich nicht die von KAHMANN (1930/1931) beschriebenen annähernd gleichen Prozentzahlen. Vielmehr zeigten sich bei den beiden Jungigeln höhere Verhältnisse (0,055 bzw. 0,060 %) als bei den erwachsenen Individuen (0,029 bzw. 0,030 %). Die Augen der Beutelratte sind zwar schon von Anfang an mit einem Gewicht von 0,635 g bei einem in etwa mit Igel Nr. 38 vergleichbaren Körpergewicht schwerer, doch ergeben sich

bei beiden Tieren Zuwachsraten von etwa 40 %, wenn man das Augengewicht von 0,895 g einer adulten Ratte mit einem Körpergewicht von 1067 g und dem Bulbusgewicht von 0,29 g eines adulten Igels (etwa 1000 g Körpergewicht) berücksichtigt. Das Augengewicht des Jungigels Nr. 36 hingegen entsprach in etwa dem der beiden adulten Tiere. Um letztlich die Richtigkeit von KAHMANNs (1930/1931) Vermutung zu überprüfen, erscheinen altersabhängige Untersuchungen mit einer größeren Anzahl von Tieren notwendig. DIEM (1977) untersucht u.a. die altersabhängigen Veränderungen am Bulbus des Gerbils. Die drei Durchmesser des Augapfels nehmen bei dieser Tierart von der ersten bis sechsten Woche deutlich stärker zu (es war eine etwa eineinhalbfache Erhöhung zu verzeichnen) als nach diesem Abschnitt. So wächst der Längsdurchmesser während dieser Zeit von 4,0 mm auf 5,6 mm, der Horizontaldurchmesser von 4,8 mm auf 6,1 mm und der Vertikaldurchmesser von 4,1 mm auf 5,5 mm. Beim einjährigen Tier haben die Durchmesser eine Länge von 6,9 mm, 6,9 mm und 6,5 mm. Dementsprechend sind die stärksten Gewichtszunahmen zu Beginn zu verzeichnen: Das Gewicht des Bulbus oculi beträgt beim Gerbil mit einem Alter von einer Woche 35 mg, mit zwölf Wochen bereits 120 mg und mit zweiundfünfzig Wochen 160 mg. Ähnliches gilt bei der Ratte: Das Bulbusgewicht liegt zum Zeitpunkt der Geburt bei 12,5 mg, nach zehn Wochen bei 105,5 mg und nach einem Jahr bei 162,5 mg (JACKSON 1913). Außerdem scheint die Bulbusgröße der Ratte mit der des Igels in etwa übereinzustimmen. GUIST (1923) findet bei dieser Tierart einen Längsdurchmesser zwischen 5,76 mm und 6,08 mm sowie einem Querdurchmesser zwischen 5,88 mm und 6,18 mm. Bei weiteren kleinen Heimtieren z.B. beim Meerschweinchen und Kaninchen sind die Bulbusmaße größer, bei der Maus kleiner als beim Igel.

Tab. 6: Bulbusgröße und Bulbusgewicht verschiedener Tierarten

	Bulbusgröße in mm			Bulbusgewicht in g
	Ld	Hd	Vd	
Meerschweinchen <sup>1</sup>		13		0,78 – 0,98
Kaninchen <sup>1</sup>	15 – 17,5	16-18,5	15 – 18,5	4,2 – 9,6
Maus <sup>1</sup>	3 – 4	3 - 4	3 - 4	0,034 – 0,05
Igel <sup>2</sup>	5,5 – 6	5 – 7	5 – 7	0,203 – 0,29

<sup>1</sup> Bulbusmaße nach MERTÉ 1958, <sup>2</sup> eigene Untersuchungen

Ld = Längsdurchmesser, Hd = Horizontaldurchmesser, Vd = Vertikaldurchmesser

Die Bestimmung des Augeninnendruckes ist bisher beim Igel weder durch direkte noch durch indirekte Messung erfolgt. In klinischen Studien bei anderen kleinen Heimtieren liegen die arithmetischen Mittelwerte des intraokularen Druckes zwischen 18,5 mm Hg und 24,4 mm Hg bei einer Standardabweichung zwischen 1,3 mm Hg und 5,75 mm Hg.

Tab. 7: Referenzwerte für die intraokulare Druckmessung bei verschiedenen Tierarten

Kaninchen	24,4 mm Hg ± 1,3 mm Hg	(POYER et al. 1992) <sup>1</sup>
New Zealand Red	19,3 mm Hg ± 1,3 mm Hg	(KNEPPER et al. 1985) <sup>3</sup>
Frettchen	22,8 mm Hg ± 5,5 mm Hg	(SAPIENZA et al.1991) <sup>2</sup>
Chinchilla	18,5 mm Hg ± 5,75 mm Hg	(PEIFFER u. JOHNSON 1980) <sup>3</sup>
Igel	20,5 mm Hg ± 1,5 mm Hg	(eigene Untersuchungen) <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pneumatometer Digilab Model 30 R, <sup>2</sup> Tono-Pen, <sup>3</sup>Applanationstonometer Mackay-Marg

Die beim Igel ermittelten Werte von 20,5 mm Hg bei einer Abweichung von 1,5 mm Hg befinden sich demzufolge im Bereich der beschriebenen anderen Tierarten. GRÜNWALD (1999) hingegen weist bei an 104 Kaninchen mit Hilfe des Tono-Pens durchgeführten Messungen einen mittleren Augeninnendruck von 10,72 mm Hg nach. Zu bedenken bleibt die Abhängigkeit der Meßergebnisse von der gewählten Methode, der Anzahl der Messungen

sowie die bei der Berechnung schließlich berücksichtigten Werte. Bei den eigenen Untersuchungen wurde von den zwölf gemessenen Werten lediglich mit den vier am engsten zusammenliegenden Zahlen gerechnet. Dies hatte Auswirkungen auf die Höhe der Schwankungsbreite, die dadurch eingeschränkt wurde. MAISTRELLO et al. (1977) führen bei der Ratte direkte Messungen des intraokularen Druckes durch, die sich durch eine geringe Streuung der Werte auszeichnen. Es ergibt sich ein Mittelwert von 8,2 mm Hg bei einer Standardabweichung von 0,2 mm Hg. Obwohl die Studien von MOORE et al. (1993) die verlässliche Anwendung des Tono-Pens am normalen Rattenaugen belegen, bleibt die vergleichsweise geringe Standardabweichung der direkten Messung unerreicht. Um die Meßgenauigkeit des Tono-Pens am Igelauge exakter zu verifizieren, wäre neben der klinischen Studie die Anwendung der Ophthalmomanometrie, ein Verfahren zur direkten Messung des Augeninnendruckes, sinnvoll. Sie ist die einzige, absolut korrekte Methode zur Bestimmung des intraokularen Drucks, jedoch auch die komplizierteste.

Der Verlauf des Tränennasengangs konnte weder im Röntgenbild noch durch die Computertomographie in seiner ganzen Ausdehnung dargestellt werden. Die von PARKER (1885) beschriebene komplexe Faltung der Nasennebenhöhlen führte zu einer Überlagerung beider Strukturen, so dass in diesem Bereich röntgenologisch eine exakte Abgrenzung nicht möglich war. Durch die Computertomographie konnte lediglich die proximale Region des Tränenapparats eindeutig von den umgebenden Strukturen differenziert werden. Da es sich bei dem Tier zudem um einen Igel mit Augenausfluß handelte, könnte eine Obstruktion als Grund vermutet werden. MICHELSSON (1922) zufolge liegt der Tränennasengang bei *Erinaceus europaeus* in seiner ganzen Länge zwischen Maxilla und der Seitenwand der Nasenkapsel.

Der Fundus des Igels entsprach der Beschreibung von JOHNSON (1901) und erschien einheitlich hellgrau. Der Discus nervi optici war kreisförmig, hellrot gefärbt und von seinem Zentrum gingen strahlenförmig sich noch weiterverzweigende Gefäße aus. Ungeklärt blieb, warum eine scharfe fotografische Abbildung technisch nicht möglich war.

#### 4.2.2. Ergebnisse bei Igeln mit klinischen Auffälligkeiten

Im Schrifttum finden sich nur wenige Hinweise zu den Erkrankungen der Augen beim nachtaktiven Igel. Auch in der Vielzahl von Sektionsprotokollen, die bei den einzelnen

Autoren berücksichtigt werden, sind Augenerkrankungen unter den beschriebenen Krankheits- und Todesursachen nicht erwähnt (MURRAY 1919; LUCAS 1922; TIMME 1980; KEYMER et al. 1991). Lediglich in einer Studie, durchgeführt im Zoo von Baltimore über einen Zeitraum von sieben Jahren, diagnostizieren DONE et al. (1992) beim Igel (*Atelerix albiventris*) am Organsystem Auge eine degenerative Erkrankung sowie zwei Fälle von entzündlichen Veränderungen.

Da zum Krankheitsverlauf bei diesen Wildtieren in der Mehrzahl der Fälle keine näheren Angaben gemacht werden können, gestaltet sich die Bestimmung der Ursache häufig als schwierig. Ferner erfolgt die Vorstellung augenerkrankter Igel erst in einem weit fortgeschrittenen Stadium mit deutlichen klinischen Erscheinungen und hochgradigen Veränderungen, die eine eingehende ophthalmologische Untersuchung von vornherein ausschließen. Bei den überwiegend einseitig auftretenden verkleinerten Augäpfeln scheint es sich um eine Phthisis bulbi zu handeln. Nach LEON (1991) kann sie sich als Folge ernsthafter Augenverletzungen, einer intraokularen Entzündung oder eines degenerativen Prozesses innerhalb des Auges, die den Ziliarkörper betreffen, entwickeln. In der Folge wird weniger oder kein Kammerwasser mehr produziert, was zum Absinken des Augeninnendrucks und im Endstadium zu einem geschrumpften Bulbus mit degeneriertem Inhalt führt. Da beim Igel die Kornea stark gewölbt ist und zudem bei der Mehrzahl dieser Tiere der Bulbus derart verkleinert war, war eine Druckmessung aufgrund der erforderlichen Tono-Pen-Kontaktzone von 1,5 mm nicht möglich. Der bei Igel Nr. 16 ermittelte Augeninnendruck für das verkleinerte rechte Auge (beide Durchmesser: 4 mm) von durchschnittlich 20 mm Hg (damit im Normalbereich liegend) könnte durch den zur Vorlagerung des Augapfels von außen ausgeübten Druck auf das Gewebe verfälscht worden sein. Wenn Druck auf den Bulbus ausgeübt und so der Augeninhalte komprimiert wird, führt dies zu einer Tensionserhöhung (WALDE 1982). Als Folgen eines okularen Traumas wurden bei diesem Tier ein Corneaödem und eine intraokulare Blutung diagnostiziert. Eine Trübung sowie Vaskularisation der Kornea kann sich bei der Phthisis bulbi in einem unterschiedlich starkem Umfang ausbilden (LEON 1991), was auch bei eigenen Igelpatienten beobachtet wurde. Die Phthisis bulbi tritt bei anderen Tierarten gewöhnlich unilateral auf, wobei sich dieser Vorgang der Verringerung der Augengröße über Monate hinzieht (NARFSTRÖM et al. 1997). Diese Entwicklung konnte bei Igel Nr. 24 fotografisch dokumentiert werden, da das Tier im

Abstand von sechs Wochen erneut in der Klinik vorgestellt wurde. Bedingt durch die prädisponierend wirkende Ansammlung von Sekreten am Auge kann sich zudem in der Folge eine chronisch rezidivierende Konjunktivitis ausbilden (LEON 1991). So wurde der Igel Nr. 40 mit verkleinertem Augenpaar und dem Vorbericht beidseitige therapieresistente Konjunktivitis vorgestellt. Bei den Igeln scheint aufgrund der überwiegend nächtlichen Lebensweise in einem oftmals schwer zugänglichen Lebensraum bei vorrangiger Orientierung mit den beiden Sinnen Geruch und Gehör eine Verletzung der Augen als Ursache für die Phthisis bulbi am wahrscheinlichsten. Auffällig war, dass sie in dieser Untersuchung nur bei männlichen Tieren auftrat. SCHICHT-TINBERGEN (1995) beschreibt das gehäufte Vorkommen von Verletzungen verschiedener Körperregionen u.a. des Kopfes bei männlichen Igeln. Solche Wunden sind nach REEVE (1994) bei männlichen viermal häufiger als bei weiblichen Tieren zu finden. Die Ursache hierfür ist nicht bekannt. Rivalenkämpfe während der Brunst, Abwehr durch aggressive weibliche Tiere und eventuell auch Rankkämpfe kommen in Betracht (REEVE 1994; SCHICHT-TINBERGEN 1995). Die Differentialdiagnose Mikrophthalmus als ein kongenital verkleinertes Auge ist meist mit weiteren Augenanomalien vergesellschaftet (LEON 1991), sie konnte durch die klinischen Befunde abgegrenzt werden. Ferner scheint durch das gehäufte Auftreten von Igeln mit verkleinertem Bulbus die Phthisis bulbi wahrscheinlicher.

Die Ursache für einen erniedrigten bzw. nicht meßbaren Augeninnendruck bei normaler Bulbusgröße könnte der Exsikkose und der Abmagerung der beiden Igel (Nr. 21 und 27) zugeschrieben werden. So zeigen BRYAN (1965) zufolge kachektische Tiere sowie in Übereinstimmung mit JANTZEN (1988) exsikkotische niedrigere intraokulare Drücke. Die klinischen Erscheinungen der beiden Igel können als charakteristische Folge des starken Massenverlustes während des Winterschlafes interpretiert werden. In dieser Zeit können Igel bis zu 35 % des Körpergewichts verlieren (LIENHARDT 1979). Als Folge der Dehydratation können u.a. Störungen des Wasserhaushaltes, des Säure-Basen-Gleichgewichtes sowie des Elektrolytstatus auftreten. Klinisch auffällig sind neben dem herabgesetzten Hautturgor die eingefallenen Augäpfel. Für die Konstanz des Augeninnendruckes spielt das Gleichgewicht zwischen Produktion und Abfluß des Kammerwassers nach SILBERNAGL u. DESPOPOULOS (1991) eine wesentliche Rolle. Aktive Ionentransportvorgänge sowie das Enzym Karboanhydrase sind an der Kammerwasserproduktion im Processus ciliaris in der

hinteren Augenkammer beteiligt. Sein Abfluß erfolgt über die vordere Augenkammer und den Schlemmschen Kanal ins Venensystem (SILBERNAGL u. DESPOPOULOS 1991). Bei starker Dehydratation sinkt der Turgor der Augäpfel, das Gleichgewicht zwischen Produktion und Abfluß ist gestört.

Die beiden Igel (Nr. 2 und 39) mit eitrigem Augenausfluß wiesen einen hochgradigen Zahnsteinbefall auf. Als Folgen entstehen nach PODUSCHKA und PODUSCHKA (1986) Zahnfleischartzündung und Lockerung der Zähne in den Alveolen bis zum Zahnausfall. Bei Igel Nr. 2 fehlte rechtsseitig der erste Molare im Oberkiefer, bei dem anderen Tier (Nr. 39) mußten die Backenzähne vollständig extrahiert werden, da sie durch fortschreitende Entzündung und Zahnsteinbildung in ihren Alveolen gelockert worden sind. In die entzündlichen Prozesse sind nicht selten die umgebenden Knochen (Oberkieferbein) involviert. Auch ein Vordringen in die Nasenhöhle ist möglich (PODUSCHKA u. PODUSCHKA 1986). Das Resultat ist eine Knochenlyse, die bei beiden Igeln in unterschiedlich starkem Ausmaß durch die Computertomographie darstellbar war. So berichten PODUSCHKA und PODUSCHKA (1986) von einem Igel, bei dem der Rand der Maxilla einschließlich des Processus zygomaticus zerstört wird. Aus den Erkrankungen des Zahnfleisches können sich Plattenepithelkarzinome entwickeln, wobei eine Ausdehnung auf die Nasenhöhle und die Orbita beschrieben ist (ISENBÜGEL u. BAUMGARTNER 1993). Die Verdachtsdiagnose Tumor, die bei Igel Nr. 2 nach klinischer Untersuchung und Einsatz bildgebender Verfahren (Computertomographie und Röntgen) aufgrund der Zubildungen von Knochensubstanz, die vornehmlich im Bereich des Os frontale zu finden waren, gestellt wurde, konnte durch die pathologische Untersuchung nicht objektiviert werden, da der Tierkörper nicht mehr zur Verfügung stand. Damit scheinen bei beiden Tieren die entzündlichen Maulhöhlenveränderungen Ursache des eitrigem Augenausflusses zu sein.

Da es sich hierzulande bei Igeln um besonders geschützte Tiere handelt, die als Wildtiere nur in Ausnahmefällen in menschliche Obhut genommen werden dürfen, sind klinische Studien bei Igeln verglichen mit anderen Haustieren, die unter ständiger Aufsicht ihrer Besitzer stehen, benachteiligt. Aufgrund vorrangiger Orientierung der Igel mit den Sinnen Geruch und Gehör sind die Tiere beim Vorliegen einer Augenerkrankung oder auch bei völliger Erblindung in ihrem Allgemeinbefinden kaum gestört. Trotz dieser gesundheitlichen

Beeinträchtigung können sie in freier Wildbahn überleben und Augenerkrankungen bleiben unerkant. Es sei denn, es handelt sich um Zufallsbefunde, die in Verbindung mit anderen Erkrankungen diagnostiziert werden. Da die Lebenserwartung in freier Wildbahn zudem nicht sehr hoch ist, sind folglich altersbedingte Augenerkrankungen selten.

In Nordamerika sind die Voraussetzungen für wissenschaftliches Arbeiten mit diesen Tieren günstiger, da die Igel als Haustiere lebenslang in menschlicher Obhut verbleiben und zudem regelmäßig tierärztlichen Kontrollen unterliegen. Aus diesem Grund sind neue Erkenntnisse eher aus diesem Raum zu erwarten nicht zuletzt durch das größere Patientenaufkommen.



## 5. Zusammenfassung

Frauke Grastorf

### **Untersuchungen am Auge von erkrankten und gesunden Igel (*Erinaceus europaeus*)**

Ziele der vorliegenden Arbeit waren, beim Igel neben der Ermittlung physiologischer Befunde auch die Dokumentation und Erfassung von krankhaften Veränderungen der Augen durchzuführen. Hierzu wurde in einer klinischen Studie bei vierundvierzig Tieren eine Augenuntersuchung durchgeführt und dabei wurden Werte für den Augeninnendruck, die Bulbusgröße sowie – falls möglich - das Augapfelgewicht ermittelt. Bei klinischen Auffälligkeiten erfolgte eine gesonderte Erfassung und Darstellung in Form von Fallbeschreibungen.

Bei den vierunddreißig klinisch augengesunden Igel lagen die Werte für die Bulbusgröße, d.h. für den horizontalen und vertikalen Durchmesser gewichtsabhängig zwischen fünf und sieben Millimetern. So lag bei Jungigeln mit einem Körpergewicht von weniger als 400 g die Länge der beiden Augenachsen bei 5 bzw. 5,5 mm, bei der überwiegenden Anzahl der schwereren adulten Tiere hingegen bei 6 mm. Die Länge der dritten Augenachse entsprach den beiden anderen Durchmessern. Das Gewicht der Bulbi betrug bei den beiden Jungigeln 0,203 bzw. 0,28 g und den adulten Tieren 0,28 bzw. 0,29 g. Detaillierte altersabhängige Veränderungen der Bulbusmaße wie z.B. bei Gerbil und Ratte sind für den Igel bisher nicht beschrieben.

Für ein Augenpaar ergab sich ein mittlerer intraokularer Druck von 20,5 mm Hg bei einer Standardabweichung von 1,5 mm Hg. Dabei wurde kein auffälliger Unterschied zwischen dem linken und rechten Auge oder eine Geschlechtsabhängigkeit festgestellt. Der Verlauf des Tränennasenganges konnte in seiner ganzen Ausdehnung nach Kontrastmittelapplikation weder im Röntgenbild noch durch die Computertomographie dargestellt werden. Der Augenhintergrund ließ sich fotografisch nicht deutlich abbilden.

Unter den Igel mit klinischen Symptomen einer Augenkrankheit waren zwei Tiere mit eitrigem Augenausfluß. Als Ursache wurde eine fortschreitende entzündliche Veränderung,

deren Ausgangspunkt die Maulhöhle zu sein schien, angenommen. Fünf männliche Igel wurden mit verkleinerten Augäpfeln vorgestellt. Dabei handelte es sich um eine Phthisis bulbi, die sich vermutlich als Folge einer nicht behandelten Verletzung entwickelte.

Messungen des Augeninnendruckes mittels Tono-Pen waren bei diesen Tieren mit verkleinertem Bulbus aus technischen Gründen (unzureichende Kontaktzone des Gerätes) nicht möglich. Die Ermittlung des Augeninnendruckes scheiterte ebenfalls, wenn die Augäpfel in die Orbita zurückgezogen waren. Bedingt durch eine Kachexie und/oder Exsikkose konnte der intraokulare Druck nicht ermittelt werden.

## 6. Summary

Frauke Grastorf

### **Investigations of the eye of ill and healthy hedgehogs (*Erinaceus europaeus*)**

Apart from determining physiological results, the aims of this study were to document and record pathological changes of the hedgehogs's eyes. The basis for this clinical report was the ophthalmological examination of forty-four animals. In this process the results for the intraocular pressure and the size of the bulbus were determined as well as the weight of the eyeball if possible. Striking clinical effects were described in case reports.

For the thirty-four hedgehogs without any clinical ocular findings, the results of the bulbus' measurements, i.e. the horizontal and vertical diameter, varied from five to seven millimeters, depending on the hedgehogs' weight. While on the one hand the length for both diameters for young hedgehogs with a weight of less than 400 g was 5 and 5.5 mm, respectively, for heavier adult animals on the other hand 6 mm. The length of the third axis of the eye was equivalent to the two others. The bulbi of both young hedgehogs weighed 0.203 and 0.28 g, respectively, and while those of the adult animals were 0.28 and 0.29 g. In contrast to descriptions of the bulbus' measurements of gerbils and rats changing by age, such results could not be found for the hedgehog in literature.

For a pair of eyes, the mean intraocular pressure was 20.5 mm Hg with a standard deviation of 1.5 mm Hg. There was neither a striking difference between the left and the right eye nor an influence of sex. After application of contrast medium the way of the nasolacrimal duct could neither be displayed completely by X-ray nor by computertomography. The photographs taken of the fundus were not clear.

Among those animals with clinical ocular findings there were two with purulent ocular discharge. The assumed reason for this was the advanced inflammation having possibly started at the oral cavity. Five masculine hedgehogs were presented with reduced size of eyeballs. The diagnosis was phthisis bulbi probably as the consequence of an untreated injury.

Because of the small size of the eyes and technical reasons (insufficient contact area of the instrument), measurements of the intraocular pressure by Tono-Pen were not possible. It was either impossible to take accurate readings if the bulbi were pulled back into the orbit. The intraocular pressure could not be determined because of a cachexia and/or dehydration.

## 7. Literaturverzeichnis

- ALEXANDER-SCHÄFER, G. (1907):  
Vergleichend-physiologische Untersuchungen über die Sehschärfe.  
Arch. f. Physiol. 119, 571 – 579
- ANELLI, D. (1936):  
Der Tarsus in der Tierreihe.  
Ric. Morf. 15, 233  
zit. nach H.-J. MERTÉ (1958)
- ANGERMAN, R. (1978):  
Die Igel *Erinaceus europaeus* und *Erinaceus roumanicus* – Kenntnisstand und Probleme.  
Säugetierk. Inform. H. 2, 33 - 44
- AUSINSCH, B., R. L. RAYBURN, E. S. MUNSON u. N. S. LEVY (1976):  
Ketamine and intraocular pressure.  
Anästh Analg 55, 773
- BARTENSCHLAGER, E. M. (1986):  
Alles über Igel in Natur und Haus.  
Falken Verlag, Niedernhausen, S. 61 - 62
- BHATNAGAR, R. u. M. B. WAJDA (2002):  
Veterinary care for your hedgehog.  
Internet: <http://www.hedgehog.org/gohogwild/vet.html>, S. 1 - 6
- BOOTHE, W. A., D. A. LEE, W. C. PANEK u. T. H. PETTIT (1988):  
The Tono-Pen: A manometric and clinical study.  
Arch. Ophthalmol. 106, 1214 – 1217
- BRIDGES, C. D. B. u. T. A. QUILLIAM (1973):  
Visual pigments of men, moles and hedgehogs.  
Vision Res. Vol. 13, 2417 - 2421
- BRÜCKE, E. (1844):  
Stäbchen und Zwillingszapfen.  
Arch. Anat. Physiol. 12  
zit. nach H.-J. MERTÉ (1958)
- BRYAN, G. M. (1965):  
Tonometry in the dog and cat.  
J. Small Anim. Pract. 6, 117 – 120

BURTON, M. (1969):

The Hedgehog.

Verlag Deutsch, London

CABRERA, A. (1925):

Genera Mammalium. Insectivora, Galeopithecia

Zunta. estud. invest. cientif. 1925, 1 –132

zit. nach K. HERTER (1938)

CAMPBELL, C. B. G. (1969):

The visual system of insectivores and primates.

Ann. NY Acad. Sci. 167, 388 - 403

CAMPBELL, C. B. G., J. A. JANE u. D. YASHON (1967):

The retinal projections of the tree shrew and hedgehog.

Brain Res. 5, Nr. 3, 406 – 418

CAMPBELL, D. J. u. W. T. SMITH (1966):

A pituitary adenoma in a hedgehog (*Erinaceus europaeus*).

Endocrinology 79, Nr. 4, 842 – 844

CARLSON, A. (1981):

Diagnose und Therapie der Parasitosen der Igel.

Prakt. Tierarzt 62, Collegium veterinarium, 73 –75

CATANIA, K. C. (2000):

Cortical organization in insectivora: the parallel evolution of the sensory periphery and the brain.

Brain Behav. Evol. 55, Nr. 6, 311 - 321

CATANIA, K. C., C. E. COLLINS u. J. H. KAAS (2000):

Organization of sensory cortex in the East African hedgehog (*Atelerix albiventris*).

J. Comp. Neurol. 421, Nr. 2, 256 - 274

CORBET, G. B. (1988):

The family Erinaceidae: a synthesis of its taxonomy, phylogeny, ecology and zoogeography.

Mammal Rev. 18, Nr. 3, 117 – 172

DAVIDSON, M. G. (1985):

Ophthalmology of exotic pets.

Compend. Contin. Educ. Pract. Vet. 7, 724 –736

DEL DUKA, M. (1931):

Das Hornhautepithel der Vertebraten.

Boll. Ocul. 10, 1091

zit. nach H.-J. MERTÉ (1958)

DIEM, F. (1977):

Anatomische und histologische Untersuchungen über die altersbedingten Veränderungen an Bulbus oculi, Lens, Cornea und Camera anterior bulbi beim Gerbil (*Meriones unguiculatus*).  
Zürich, Univ., Fachber. Veterinärmed., Diss.

DINOPOULOS, A., A. N. KARAMANLIDIS, H. MICHALOUDI, J. ANTONOPOULOS u. G. PAPADOPOULOS (1987):

Retinal projections in the hedgehog (*Erinaceus europaeus*): an autoradiographic and horseradish peroxidase study.

Anat. Embryol. 176, Nr. 1, 65 – 70

DONE, L. B. (1999):

What you don't know about hedgehogs diseases.

Proc. North Am. Vet. Conf. Eastern States Veterinary Association, Gainesville, Fla., 824 – 825

DONE, L. B., DIETZE, M., CRANFIELD, M. u. D. IALEGGIO (1992):

Necropsy lesions by body systems in African hedgehogs (*Atelerix albiventris*): Clues to clinical diagnosis.

Proceedings of Annual Meeting of the American Association of Zoo Veterinarians, Oakland, CA, 110 – 112

DUKE-ELDER, S. (1958):

System of ophthalmology.

Vol. 1: The eye in the evolution.

Kimpton Verlag, London

DUNCALF, D. (1975):

Anaesthesia and intraocular pressure.

Trans. Am. Acad. Ophth. Otol. 79, 562 - 567

EGGELING, H. (1904):

Zur Morphologie des Augenlides der Säuger.

Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaften 39, 1 – 42

EWRINGMANN, A. u. T. GÖBEL (1998):

Diabetes mellitus bei Kaninchen, Meerschweinchen und Chinchilla.

Kleintier-Prax. 43, 337 – 348

FARRAR, S. M., K. N. MILLER, M. B. SHIELDS u. C. M. STOUP (1989):

An evaluation of the Tono-Pen for the measurement of diurnal intraocular pressure.

Am. J. Ophthalmol. 107, 411 – 416

FAVALORO, G. (1927):

Die Durchmesser des menschlichen Auges und ihre Entwicklung in den Altersstufen.

Giorn. Ocul. 8, 13

zit. nach H.-J. MERTÉ (1958)

- FAWCETT, E. (1918):  
The primordial cranium of *Erinaceus europaeus*.  
*Journal of Anatomy* 25, 211 – 250
- FEHR, M. (1992):  
Aspekte der Heimtierdermatologie.  
*Kleintier-Prax.* 37, 393 – 401
- FEHR, M. (2001):  
Operative Eingriffe bei Igel – Gewöhnliches und Außergewöhnliches.  
in: 2. Fachtagung „Rund um den Igel“, Münster/Westf., 2001, S. 33 – 59
- FRANZ, V. (1911):  
Studien zur vergleichenden Anatomie der Augen der Säugetiere.  
*Arch. vergl. Ophthalm.* 2, 180  
zit. nach V. FRANZ (1934) u. H.-J. MERTÉ (1958)
- FRANZ, V. (1913):  
Das Sehorgan.  
in: A. OPPEL (Hrsg.): *Lehrbuch der vergleichenden mikroskopischen Anatomie der Wirbeltiere*.  
Fischer Verlag, Jena, Teil 7
- FRANZ, V. (1934):  
Vergleichende Anatomie des Wirbeltierauges.  
in: L. BOLK, E. GÖPPERT, E. KALLIUS u. W. LUBOSCH (Hrsg.): *Handbuch der vergleichenden Anatomie der Wirbeltiere*.  
Urban und Schwarzenberg Verlag, Berlin-Wien, Bd. 2, 2. Hälfte, S. 989 – 1292
- FRITZ, W. (1906):  
Über die Membrana Descemetii und das Ligamentum pectinatum iridis bei den Säugetieren und beim Menschen.  
*Sitzungsber. d. math.-naturw. Klasse der Kais. Akad. d. Wiss. Wien* 115, Abt. 3, S. 485 – 568
- FRITZE, A. (1911/1912):  
Ein Fall von Albinismus.  
*Hannov. Jahrbuch Prov. Mus.* 1911/1912, 113
- GELATT, K. N. (1991):  
*Veterinary ophthalmology*.  
5. Aufl., Verlag Williams & Wilkens, Baltimore
- GERBER, R. u. K. HERSCHEL (1963):  
Igel als Opfer von Goldfliegen.  
*Zeitschrift für Säugetierkunde* 28, 313 – 314



- GLEZER, I. I., P. R. HOF, C. LERANTH u. P. J. MORGANE (1993):  
Calcium-binding protein-containing neuronal populations in mammalian visual cortex: a comparative study in whales, insectivores, bats, rodents, and primates.  
Cereb. Cortex 3, Nr. 3 , 249 – 272
- GLÖSMANN, M., FLIESSER, M. u. P. K. AHNELT (1999):  
Cone opsin topography in the retina of the European mole.  
Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 40, 158
- GÖRING, E. (1929/1930):  
Vom Igel.  
Naturschutz 11, 107 – 111
- GOULD, H. J. u. F. F. EBNER (1978 a):  
Connections of the visual cortex in the hedgehog (*Paraechinus hypomelas*).  
II. Corticocortical projections.  
J. Comp. Neurol. 177, 473 – 502
- GOULD, H. J. u. F. F. EBNER (1978 b):  
Interlaminar connections of the visual cortex in the hedgehog (*Paraechinus hypomelas*).  
J. Comp. Neurol. 177, 503 – 517
- GOULD, H. J., W. C. HALL u. F. F. EBNER (1978):  
Connections of the visual cortex in the hedgehog (*Paraechinus hypomelas*).  
I. Thalamocortical projections.  
J. Comp. Neurol. 177, 445 – 471
- GREGORY, M. W., KARSTAD L., FRANK, H. u. J. S. KAMINJOLO (1976):  
An enzootic „growth“ of Kenya hedgehogs: preliminary observations.  
in: L. A. PAGE (Hrsg.): Wildlife diseases.  
Plenum Press, New York, S. 661 – 673
- GREGORY, M. W. u. L. STOCKER (1992):  
Hedgehogs.  
in: P.H. BEYNON (Hrsg.): Manual of exotic pets.  
British Small Animal Veterinary Association, Cheltenham, Gloucestershire, S. 63 - 68
- GRÜNWARD, A. (1999):  
Die Messung des intraokularen Druckes beim Kaninchen mit Hilfe des Tonopen XL®  
Wien, Univ., Veterinärmed. Fak., Diss.
- GUIST, G. (1923):  
Ernährungsverhältnisse der Netzhaut und der Aderhaut des Rattenauges. Bericht über 211 von Koppanyi transplantierte Rattenaugen.  
Z. Augenheilk. 50, 195 - 236

HACKEL, D. B., MIKAT, E. LEOVITZ, H. E., SCHMIDT-NIELSEN, K., HORTON, E. S. u. T. D. KINNEY (1967):

The sand rat (*Psammomys obesus*) as an experimental animal in studies of diabetes mellitus. *Diabetologica* 3, 130 – 134

HALL, W. C. (1970):

Visual pathways from the thalamus to the telencephalon in the turtle (*Pseudemys scripta*) and the hedgehog (*Paraechinus hypomelas*).

*Anat. Rec.* 166, 313

HALL, W. C. (1972):

Visual pathways to the telencephalon in reptiles and mammals.

*Brain. Behav. Evolut.* 5, Nr. 2, 95 – 113

HALL, W. C. u. I. T. DIAMOND (1968):

Organization and function of the visual cortex in hedgehog: I. Cortical cytoarchitecture and thalamic retrograde degeneration. II. An ablation study of pattern discrimination.

*Brain Behav. Evolut.* 1, 181 – 214, 215 – 243

HALL, W. C. u. F. F. EBNER (1970):

Parallels in the visual afferent projections of the thalamus in the hedgehog (*Paraechinus hypomelas*) and the turtle (*Pseudemys scripta*).

*Brain Behav. Evolut.* 3, Nr. 1, 135 – 154

HALTENORTH, T. (1969):

Das Tierreich VII/6, Teil 1: Säugetiere.

Gruyter Verlag, Berlin

zit. nach V. ZISWILER (1976)

HELPER, L. C. (1989):

Magrane's canine ophthalmology.

4. Aufl. Verlag Lea & Febiger, Philadelphia, S. 265

HERTER, K. (1933):

Dressurversuche mit Igel (I. Orts-, Helligkeits- und Farbdressuren).

*Z. vgl. Physiol.* 18, 481 - 515

HERTER, K. (1934 a):

Dressurversuche mit Igel (II. Form-, Helligkeitsdressuren, Farbenunterscheidung, Labyrinthversuche, Rhythmus- und Selbstdressuren).

*Z. vgl. Physiol.* 21, 450 - 462

HERTER, K. (1934 b):

Studien zur Verbreitung der europäischen Igel (*Erinaceidae*).

*Archiv für Naturgesch.* 3, 313 – 382

zit. nach H. HOLZ (1978)

- HERTER, K. (1938):  
Die Biologie der europäischen Igel.  
Zentralblatt für Kleintierkunde und Pelztierkunde, 14. Jahrgang, 5, Nr. 6, Verlag Schöps,  
Leipzig
- HERTER, K. (1963):  
Igel.  
2. Aufl. Ziemsen Verlag, Wittenberg
- HOEFER, H. L. (1994):  
Hedgehogs.  
Vet. Clin. North Am. (Small Anim. Pract.) 24, Nr. 1, 113 – 120
- HOLZ, H. (1978):  
Studien an europäischen Igeln.  
Z. zool. Syst. Evolut.-forsch. 16, 148 – 165
- HONACKI, J. H., K. E. KINMAN u. J. W. KOEPPL (1982):  
Mammal species of the world: A taxonomic and geographic reference.  
Allen Press, Lawrence, Kansas, S. 65 - 67
- HÜBNER, R., T. MADDALENA u. W. PODUSCHKA (1991):  
The karyotype of the Middle-African hedgehog *Atelerix albiventris* Wagner, 1841 and its  
cytotaxonomical relationships to other Erinaceinae (Insectivora: Erinaceidae).  
*Genetica* 83, 243 – 246
- ISENBÜGEL, E. (1985):  
Igel.  
in: E. ISENBÜGEL u. W. FRANK (Hrsg.): Heimtierkrankheiten.  
Ulmer Verlag, Stuttgart, S. 140 – 154
- ISENBÜGEL, E. u. R. A. BAUMGARTNER (1993):  
Diseases of the hedgehog.  
in: M. E. FOWLER (Hrsg.): Zoo and wild animal medicine, current therapy 3.  
Saunders Verlag, Philadelphia, S. 294 – 302
- JACKSON, C. M. (1913):  
Postnatal growth and variability of the body and the various organs in the albino rat.  
*Am. J. Anat.* 15, 1 – 68  
zit. nach F. DIEM (1977)
- JANTZEN, J. (1988):  
Anaesthesie und intraokularer Druck.  
*Anaesth.* 37, 458 – 469

JOHNSON, G. L. (1901):

Contributions of the comparative anatomy of the mammalian eye, chiefly based on ophthalmoscopic examination.

Philos. Tr. Roy. Soc. London 194, 1 – 82

JOHNSON-DELANEY, C. A. (2002):

African Pygmy Hedgehogs.

Internet: <http://www.whh.org/help/africa/africa22.htm>, S. 1 - 6

KAAS, J. H. (1989):

Why does the brain have so many visual areas?

J. Cogn. Neurosc. 1, 121 – 135

KAAS, J., W. C. HALL u. I. T. DIAMOND (1970):

Cortical visual areas I and II in the hedgehog: relation between evoked potential maps and architectonic subdivisions.

J. Neurophysiol. 33, Nr. 5, 595 - 615

KAHMANN, H. (1930/1931):

Untersuchungen über die Linse, die Zonula ciliaris, die Refraktion und Akkommodation von Säugetieren.

Zool. Jb., Abt. Zool. u. Physiol. 48, 509 - 588

KERN, T. J. (1989).

Ocular disorders of rabbits, rodents and ferrets.

in: R. W. KIRK (Hrsg.): Current veterinary therapy.

Verlag Saunders, Philadelphia, S. 681 –685

KERN, T. J. (1997):

Rabbit and rodent ophthalmology.

Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine 6, 138 – 145

KEYMER I. F., E. A. GIBSON u. D. J. REYNOLDS (1991):

Zoonoses and other findings in hedgehogs (*Erinaceus europaeus*): a survey of mortality and review of the literature.

Vet. Rec. 128, 245 – 249

KNEPPER, P. A., J. A. COLLINS u. R. FREDERICK (1985):

Effect of dexamethasone, progesterone and testosterone on IOP and GAG's in the rabbit eye.

Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 26, 1093 – 1100

KOLMER, W. u. H. LAUBER (1936):

Haut und Sinnesorgane, zweiter Teil: Auge

in: W. VON MÖLLENDORFF (Hrsg.): Handbuch der mikroskopischen Anatomie des Menschen.

Springer Verlag, Berlin, Bd. 3

- KRAFT, W. (1990):  
Kleintierkrankheiten.  
2. Aufl., Bd. 1: Innere Medizin.  
Verlag Ulmer, Stuttgart, S. 497
- KRATOCHVIL, J. (1966):  
Zur Frage der Verbreitung des Igels in der CSSR.  
Zool. Listy 15, 291 – 304  
zit. nach H. HOLZ (1978)
- KRATOCHVIL, J. (1975):  
Zur Kenntnis der Igel der Gattung Erinaceus in der CSSR (Insectivora, Mammalia).  
Zool. Listy 24, 297 - 312  
zit. nach H. HOLZ (1978)
- KRAUSE, W. (1881):  
Über die Retinazapfen der nächtlichen Thiere.  
Arch. Mikrosk. Anat. 19, 309 – 313
- KUTTIN, E. S., A. M. BEEMER u. U. GERSON (1977):  
A dermatitis in a hedgehog associated with Sarcoptes scabiei and fungi.  
Mykosen 20, 51 – 53
- LARSEN, R. S. u. J. W. CARPENTER (1999):  
Husbandry and medical management of African hedgehogs.  
Veterinary Medicine 24, Nr. 2, 877 – 888
- LAUBER, H. (1902):  
Beitrag zur Anatomie des vorderen Augenabschnittes der Wirbeltiere.  
Anat. H. 19, 369 – 453
- LEBER, T. (1903):  
Die Zirkulations- und Ernährungsverhältnisse des Auges.  
in: A. GRAEFE u. T. SAEMISCH (Hrsg.): Handbuch der gesamten Augenheilkunde.  
2. Aufl. Engelmann Verlag, Leipzig, Bd. 2, Abt. II  
zit. nach V. FRANZ (1913, 1934)
- LEE, V. H. L. (1983):  
Esterase activities in adult rabbit eyes.  
J. Pharm. Sci. 72, 239 – 244
- LENDE, R. A. u. K. M. SADLER (1967):  
Sensory and motor areas in neocortex of hedgehog (Erinaceus).  
Brain Res. 5, Nr. 3, 390 - 405

LEON, A. (1991):

Einschränkung der Sehkraft.

in: R. L. PEIFFER (Hrsg.): Ophthalmologie bei Kleintieren

Verlag Schattauer, Stuttgart, S. 120 - 121

LEVIER, M. (1994):

Etude du herisson *Erinaceus europaeus* a travers un echantillon de population recueilli en aquitaine et midi Pyrenees.

Toulouse, Ecole Nat. Vet., Diss.

LIENHARDT, G. (1979):

Beobachtungen zum Verhalten des Igels (*Erinaceus europaeus*) und seine Überlebensmöglichkeit im heutigen Biotop.

Zool. Beitr. 25, 447 – 484

LINDEMANN, W. (1951):

Zur Psychologie des Igels.

Z. Tierpsychol. 8, 224 - 251

LISSMANN, H. W. (1933):

Beobachtungen und Experimente am Igel, nebst einer allgemeinen Kennzeichnung der Arbeitsweisen über Sinnesfunktionen der Tiere.

Arbeiten des Ungarischen Biologischen Forschungsinstitut Tihany 6, 73 – 85

LOCHER, C. J. S. (1933):

Untersuchungen über den Farbensinn von Eichhörnchen.

Leiden, Diss.

zit. nach K. HERTER (1934 a) u. G. L. WALLS (1942)

LOEWENTHAL, N. (1892):

Notiz über die Harder'sche Drüse des Igels.

Anat. Anz. 7, 48 – 54

LOEWENTHAL, N. (1912):

Drüsenstudien. IV: Beitrag zur Kenntnis der Entwicklung der Augenhöhlendrüsen.

Arch. mikrosk. Anat. 79, Abt. 1, H. 3, 464

zit. nach V. FRANZ (1934) u. H.-J. MERTÉ (1958)

LOEWENTHAL, N. (1932):

Transformistische Untersuchungen über die Orbitaldrüsen.

Arch. d'Anat. 15, 1 – 41

LUCAS, N. S. (1922):

Report of the deaths which occurred in the Society's Gardens during 1921.

Proc. Zool. Soc. Lond. 1922, 281 - 283

MAISTRELLO, I., G. RIGAMONTI u. P. DE RUGGIERI (1977):  
Direct measurement of intraocular pressure in the rat.  
Ophthal. Res. 9, 247 – 255

MARLOW, C. (1995):  
Diabetes in a chinchilla.  
Vet. Rec. 136, 595 - 596

MENDELSON, A. D., R. K. FORSTER, S. L. MENDELSON, J. J. DENNIS, D. G.  
HEIDEMANN, I. K. LEVINE, J.-M. PAREL u. J. M. DI MAIO (1987):  
Comparative tonometric measurements of eye bank eyes.  
Cornea 6, Nr. 3, 219 – 225

MENNER, E. (1929):  
Untersuchungen über die Retina mit besonderer Berücksichtigung der äußeren Körnerschicht.  
Z. vgl. Physiol. 8, 761 – 826

MERTÉ, H.-J. (1958)  
Sinnesorgane: Sehorgan: A. Normale Anatomie.  
in: P. COHRS, R. JAFFÉ u. H. MEESEN (Hrsg.): Pathologie der Laboratoriumstiere  
Springer Verlag, Berlin, Bd. 1, S. 600 – 650

MICHELSSON, G. (1922):  
Das Chondrocranium des Igels (*Erinaceus europaeus*).  
Z. Anat. Entwicklungsgesch. 65, 509 – 543

MILLER, P. E. (1997):  
Ferret ophthalmology.  
Sem. Avian Exotic Pet Medicine 6, Nr. 3, 146 – 151

MILLER, P. E., J. P. PICKETT, L. J. MAJORS u. I. D. KURZMAN (1991):  
Evaluation of two applanation tonometers in cats.  
Am. J. Vet. Res. 52, 1917 – 1921

MINCKLER, D. S., G. BAERVELDT, D. K. HEUER, B. QUILLEN-THOMAS, A. F.  
WALONKER u. J. WEINER (1987):  
Clinical evaluation of the Oculab Tono-Pen.  
Am. J. Ophthalmol. 104, 168 – 173

MOORE, C. G., S. T. MILNE u. J. C. MORRISON (1993):  
Noninvasive measurement of rat intraocular pressure with the Tono-Pen.  
Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 34, Nr. 2, 363 - 369

MOORE, R. Y. (1973):  
Retinohypothalamic projection in mammals: a comparative study.  
Brain Res. 49, Nr. 2, 403 – 409

- MORRIS, B. (1967):  
The European hedgehog (*Erinaceus europaeus*, L.).  
in: The staff of U.F.A.W. (Hrsg.): The U.F.A.W. Handbook on the Care and Management of Laboratory Animals.  
3. Aufl. Verlag Williams & Wilkens, Baltimore, S. 478 – 488
- MORRIS, P. (1984):  
Alles über Igel.  
Müller Verlag, Rüslikon-Zürich
- MOSES, R. A. u. R. J. ARNZEN (1983):  
Instantaneous tonometry.  
Arch. Ophthalmol. 101, 249 – 252
- MOSES, R. A. u. L. CHING-HUNG (1968):  
Repeated applanation tonometry.  
Am. J. Ophthalmol. 66, 89 -91
- MOTOLKO, M. A., F. FELDMAN, M. HYDE u. D. HUDY (1982):  
Sources of variability in the results of applanation tonometry.  
Can. J. Ophthalmol. 17, 93 –95
- MURRAY, J. A. (1919):  
Report on deaths of animals in the gardens in 1918.  
Proc. Zool. Soc. London 1919, 13 – 16
- NARFSTRÖM, K., E. BJERKAS u. B. EKESTEN (1997)  
Visual impairment.  
in: R. L. PEIFFER u. S. M. PETERSEN-JONES (Hrsg.): Small animal ophthalmology: A problem-oriented approach.  
2. Aufl. Verlag Saunders, London, S. 128 – 129, 161
- NICKEL, R., A. SCHUMMER u. E. SEIFERLE (1992 a):  
Lehrbuch der Anatomie der Haustiere.  
6. Aufl., Bd. I: Bewegungsapparat.  
Verlag Parey, Berlin, S. 326 – 332
- NICKEL, R., A. SCHUMMER u. E. SEIFERLE (1992 b):  
Lehrbuch der Anatomie der Haustiere.  
3. Aufl., Bd. IV: Nervensystem, Sinnesorgane, endokrine Drüsen.  
Verlag Parey, Berlin
- NIELSEN, S. A., B. O. NIELSEN u. H. WALHOVD (1978):  
Blowfly myiasis (Diptera: Calliphoridae, Sarcophagidae) in the hedgehog (*Erinaceus europaeus* L.).  
Entomologiske Meddelelser 46, Nr. 2, 92 –94



NORBURY, A., A. D. ROCKE, J. G. BROCK-UTNE, R. MACKENZIE, N. WELSH u. J. W. DOWNING (1981):

Balanced total intravenous anaesthesia and intraocular pressure.  
*Anaesth. Intensive Care* 9, 255

OGNEW, S. I. (1928):

The mammals of the eastern Europe and of the northern Asia.  
 Vol. 1: Insectivora and Chiroptera.

Moskau

zit. nach K. HERTER (1938)

OZHIGOVA, A. P. (1978):

Comparative morphologic features of the retinas of insectivores and primates.  
*Arkhiv Anatomii Gistologii i Embriologii*, 74, Nr. 3, 61 – 67

PARKER, W. K. (1886):

On the structure and development of the skull in the Mammalia. III. Insectivora.  
*Phil. Trans.* 176, 121 – 275

PARREIDT, R. (1901):

Beitrag zur Anatomie von *Endyotes chryscocome* und zur Entwicklung des Pecten im Vogelauge.

Leipzig, Univ., Phil. Fak., Diss.

zit. nach H.-J. MERTÉ (1958)

PEAUROI, J. R., LOWENSTINE, L. J., MUNN, R. J. u. D. W. WILSON (1994):

Multicentric skeletal sarcomas associated with probable retrovirus particles in two African hedgehogs (*Atelerix albiventris*).

*Vet. Pathol.* 31, 481 - 484

PEICHL, L., KÜNZLE, H. u. P. VOGEL (1998):

Cone photoreceptors in insectivore retinae.

*European Journal of Neuroscience* 10 (Suppl.10), 355 (abstract no. 149.10)

PEICHL, L., KÜNZLE, H. u. P. VOGEL (2000):

Photoreceptor types and distribution in the retinae of insectivores.

*Vis. Neurosci.* 17, Nr. 6, 937 – 948

PEIFFER, R. L. u. P. T. JOHNSON (1980):

Clinical ocular findings in a colony of chinchillas (*Chinchilla laniger*).

*Lab. Anim.* 14, 331 – 335

PENZLIN, H. (1996):

Lehrbuch der Tierphysiologie.

6. Aufl. Fischer Verlag, Jena

PFLUMM, W. (1996):  
Biologie der Säugetiere.  
2. Aufl. Parey Verlag, Berlin

PODUSCHKA, W. (1969):  
Ergänzungen zum Wissen über *Erinaceus europaeus roumanicus* und kritische Überlegungen zur bisherigen Literatur über europäische Igel.  
Z. Tierphysiol. 26, 761 - 804

PODUSCHKA, W. (1974):  
Augendrüsensekretionen bei Tenreciden *Setifer setosus* (Froriep 1806), *Echinops telfairi* (Martin 1938), *Microgale dobsoni* (Thomas 1918), und *Microgale talazaci* (Thomas 1918).  
Z. Tierphysiol. 35, 303 - 319

PODUSCHKA, W. (1979):  
Xerophthalmie bei einem Igel.  
Kleintier-Prax. 24, 43 - 45

PODUSCHKA, W. (1981):  
Starke Papillomatose bei einem Igel (*Erinaceus concolor roumanicus*).  
Kleintier-Prax. 26, 379 - 380

PODUSCHKA, W. (1988):  
Erster Beleg eines Albinos aus dem Verbreitungsgebiet des Weißbrustigels *Erinaceus concolor roumanicus* Barr-Hamilton, 1900.  
Biol. Rundsch. 26, 217 - 219

PODUSCHKA, W. u. C. PODUSCHKA (1986):  
Zahnstein, Zahnfleischerkrankungen und Zahnanomalien bei Erinaceinen (Mammalia: Insectivora).  
Z. angew. Zool. 73, 231 - 243

PODUSCHKA, W., E. SAUPE u. H.-R. SCHÜTZE (1984):  
Das Igelbrevier.  
6. Aufl. Verlag Vertriebsgesellschaft für Landmaschinen, Ebikon-Luzern

POYER J. F., B. GABELT u. P. L. KAUFMANN (1992):  
The effect of topical PGF<sub>2</sub>-alpha on uveoscleral outflow and outflow facility in the rabbit eye.  
Exp. Eye Res. 54, 277 - 283

PRINCE, J. H. (1956):  
Comparative anatomy of the eye.  
Verlag Thomas, Springfield, S. 216

PURSCHKE, R. u. J. HASSOUNA (1973):  
Der Einfluß von Ketamin auf den intraokularen Druck.  
Z. Prakt. Anästh. 8, 227

- RAYMOND, J. T. u. M. M. GARNER (2001 a):  
Spontaneous tumours in captive African hedgehogs (*Atelerix albiventris*): a retrospective study.  
J. Comp. Pathol. 124, 128 – 133
- RAYMOND, J. T. u. M. M. GARNER (2001 b):  
Spontaneous tumors in hedgehogs: a retrospective study of fifty cases.  
Proc. Am. Association of Zoo Vet., Joint conference, Orlando, Florida, S. 326 - 327
- RAYMOND, J. T. u. M. R. WHITE (1999):  
Necropsy and histopathologic findings in 14 African hedgehogs (*Atelerix albiventris*).  
J. Zoo. Wildl. Med. 30, Nr. 2, 273 - 277
- REAMS, R. u. E. JANOVIK (1992):  
Oronasal squamous cell carcinoma in an African hedgehog (*Atelerix albiventris*).  
J. Wildl. Dis. 28, 148 - 150
- REEVE, N. (1994):  
Hedgehogs.  
Poyser Verlag, London
- ROBBINS, C. B. u. H. W. SETZER (1985):  
Morphometrics and distinctness of the hedgehog genera (Insectivora: Erinaceidae)  
Proceedings of the Biological Society of Washington 98, 112 – 120
- ROBINSON, I. u. A. ROUTH (1999):  
Veterinary care of the hedgehog.  
In Practice 21, 128 - 137
- RÖBEN, P. (1976):  
Systematische Zoologie.  
in: D. BURKHARDT, K.-H. KÖNIG, E. LÜSCHER u. D. MÜLLER (Hrsg.): Studium  
Naturwissenschaften.  
Akademische Verlagsgesellschaft, Wiesbaden, S. 238 – 245
- RUBLI, E. (1971):  
Tonometrie in Narkose. Über den Einfluß von Halothan, Cycloproan und Ketamin auf den  
normalen intraokularen Druck bei Kindern.  
Anästhesist 20, 337
- RÜMPLER, G. (1995):  
Insektenfresser.  
in: R. GÖLTENBOTH u. H.-G. KLÖS (Hrsg.): Krankheiten der Zoo- und Wildtiere.  
Blackwell Verlag, Berlin, S. 401 – 406

SANIDES, F. (1969):

Comparative architectonics of the neocortex of mammals and their evolutionary interpretation.

Ann. NY Acad. Sci. 167, 404 – 423

zit. nach I. I. GLEZER et al. (1993)

SANIDES, F. u. D. SANIDES (1974):

A comparative Golgi study of the neocortex in insectivores and rodents.

Z. Mikrosk. Anat. Forsch. 88, 957 – 977

zit. nach I. I. GLEZER et al. (1993)

SAPIENZA, J. S., D. PORCHER, B. R. COLLINS, G. G. GUM u. D. E. BROOKS (1991):

Tonometry in clinically normal ferrets (*Mustela putorius furo*).

Prog. Vet. Compar. Ophthalmol. 1, 291 – 294

SAUPE, E. u. W. PODUSCHKA (1995):

Igel.

in: K. GABRISCH u. P. ZWART (Hrsg.): Krankheiten der Heimtiere.

3. Aufl. Schlütersche Verlagsanstalt, Hannover, S. 297 – 325

SCHICHT-TINBERGEN, M. (1989):

Der Igel: Wintergast und Patient.

2. Aufl. Fischer Verlag, Jena

SCHICHT-TINBERGEN, M. (1995):

Der Igel-Patient.

Fischer Verlag, Jena

SCHMIDT-NIELSEN, K., HAINES, H. B. u. D. B. HACKEL (1964):

Diabetes mellitus in the sand rat induced by standard laboratory diets.

Science 143, 689 – 690

SCHREITMÜLLER, W. (1940):

Ein Totalalbino vom gemeinen Igel.

Zeitschrift für Säugetierkunde 15, 316 – 317

SCHÜTZE, H.-R. (1988):

Krankheiten des Igels.

in: E. WIESNER (Hrsg.): Kompendium der Heimtierkrankheiten 1: Hasenartige und

Nagetiere, Igel, Primaten, Geflügel, Ziervögel, Zierfische, Lurche (Amphibien), Kriechtiere (Reptilien).

Fischer Verlag, Stuttgart, S. 92 – 101

SCHULTZE, M. (1866):

Zur Anatomie und Physiologie der Retina.

Arch. mikroskop. Anat. 2, 175 - 286

- SGONINA, K. (1936):  
Über das Lernen von Meerschweinchen und Igel.  
Zool. Anz. 114, 168 – 173
- SIEMEN, D. (1976):  
Elektronenmikroskopische Untersuchungen zur Reduktion des Auges bei unterirdisch lebenden oder nachtaktiven Säugetieren: *Talpa europaea* (Linne, 1758), *Erinaceus europaeus* (Linne, 1758), *Echinops telfairi* (Martin, 1838).  
Kiel, Univ., Dipl.
- SILBERNAGL, S. u. A. DESPOPOULOS (1991):  
Taschenatlas der Physiologie.  
4. Aufl. Thieme Verlag, Stuttgart
- SLATTER, D. (1990):  
Glaukoma.  
In: Fundamentals of veterinary ophthalmology  
6. Aufl. Saunders Verlag, Philadelphia, S. 339
- SMITH, A. J. (1992):  
Husbandry and medicine of African hedgehogs (*Atelerix albiventris*).  
J. Small Exotic Anim. Med. 2, Nr. 1, 21 – 28
- SMITH, J. M. B. (1968):  
Diseases of hedgehogs.  
Vet. Bull. 38, 425 – 430
- STARCK, D. (1995):  
Lehrbuch der speziellen Zoologie.  
Bd. II: Wirbeltiere, Teil 5/1: Säugetiere  
Fischer Verlag, Jena
- STEPHAN, H. (1956):  
Vergleichend-anatomische Untersuchungen an Insektivorengehirnen. I. Hirnform, palaeo-neokortikale Grenze und relative Zusammensetzung der Cortexoberfläche. II. Oberflächennmessungen am Allocortex im Hinblick auf funktionelle und phylogenetische Probleme.  
Morphol. Jb. 97, 77 – 122; 123 – 142
- STEPHAN, H. (1958):  
Vergleichend-anatomische Untersuchungen an Insektivorengehirnen. III. Hirn-Körpergewichtsbeziehungen.  
Morphol. Jb. 99, 853 – 880
- STEPHAN, H., H. D. FRAHM u. G. BARON (1984):  
Comparison of the brain structure volumes in insectivora and primates. IV. Non-cortical visual structures.  
J. Hirnforsch. 25, Nr. 4, 385 – 403

- STEPHAN, H. u. H. SPATZ (1962):  
Vergleichend-anatomische Untersuchungen an Insektivorengehirnen. IV. Gehirne afrikanischer Insektivoren. Versuch einer Zuordnung von Hirnbau und Lebensweise. Morphol. Jb. 103, 108 – 174
- STOCKER, L. (1989):  
Das große Buch der Igel (Originalausgabe: The complete hedgehog, 1987). Lübbe Verlag, Bergisch Gladbach
- STOCKER, L. (1992):  
Medication for use in the treatment of hedgehogs (*Erinaceus europaeus*). The Wildlife Hospital Trust, Aylesbury
- STOHLER, R. (1928):  
Albinotische Igel.  
Zoologischer Anzeiger 79, 123 – 127
- STORCH, V. u. U. WELSCH (1997):  
Systematische Zoologie.  
5. Aufl. Fischer Verlag, Stuttgart, S. 676 – 745
- SUTER, P. F. (1994):  
Endokrine Erkrankungen, Störungen der Drüsen mit innerer Sekretion.  
in: P. F. SUTER (Hrsg.): Praktikum der Hundeklinik  
8. Aufl., Verlag Blackwell, Berlin, S. 674
- TADMOR, A. u. K. RAUCHBACH (1972):  
Zum Vorkommen von Räude beim Igel (*Erinaceus europaeus* (Linné)).  
Berl. Münch. tierärztl. Wochenschr. 85, 214
- TAPPE, J. P., I. WEITZMANN, S. LUI et al. (1983):  
Systemic *Mycobacterium marinum* infection in a European hedgehog.  
J. Am. Vet. Med. Assoc. 183, 1280 – 1281  
zit. nach H. L. HOEFER (1994)
- THE WELSH HEDGEHOG HOSPITAL (2001):  
Diabetes in Hedgehogs.  
Internet: <http://www.whh.org/treatments/sect6diabetes.htm>
- THOMAS, O. (1918):  
The generic division of the hedgehogs.  
Ann. Mag. Nat. Hist. 9, Nr. 1, 193 – 196  
zit. nach K. HERTER (1938)
- TIGGES, J. u. M. TIGGES (1969):  
The accessory optic system in *Erinaceus* (insectivora) and *Galago* (primates)  
J. Comp. Neurol. 137, Nr. 1, 59 – 66

TIMME, A. (1980):

Krankheits- und Todesursachen beim Igel (*Erinaceus europaeus* L.) Sektionsfälle 1975 bis 1979.

Prakt. Tierarzt 9, 744 - 748

VALVERDE, F. (1986):

Intrinsic neocortical organisation: some comparative aspects.

Neuroscience 18, 1 -23

zit nach I. I. GLEZER et al. (1993)

VAN VEEN, T., I. VIGH-TEICHMANN, B. VIGH u. H. G. HARTWIG (1986):

Light and electron microscopy of S-antigen- and opsin-immunoreactive photoreceptors in the retina of turtle, chicken, and hedgehog.

Exp Biol. 45, Nr. 1, 1 - 14

VIRCHOW, H. (1885):

Die morphologische Natur des Glaskörpergewebes.

in: 17. Versamml. der Ophthalmol. Ges., Heidelberg, 1885

Klin. Monatsblätt. f. Augenheilk., 23. Jahrg., Beilageheft

VIRCHOW, H. (1910):

Mikroskopische Anatomie der äußeren Augenhaut und Lidapparates.

in: A. GRAEFE u. T. SAEMISCH (Hrsg.): Handbuch der gesamten Augenheilkunde.

2. Aufl. Engelmann Verlag, Leipzig Bd. 1/I, 2. Kap.

zit. nach V. FRANZ (1934) u. H.-J. MERTÉ (1958)

WACHTER, O. (1909):

Igel – Albino.

Sankt Hubertus 26, 468

WAGNER, F., H.-J. HEIDER, C. GÖRIG u. M. FEHR (1998):

Augenerkrankungen beim Zwergkaninchen.

Teil 1: Anatomie, Untersuchungsgang, Erkrankungen der Augenlider, der Konjunktiva und des Tränennasengangs.

Tierärztl. Prax. 26, 205 – 210

WALDE, I. (1982):

Glaukom beim Hunde. Mitt. 3 Die Messung des intraokularen Druckes (Tonometrie)

Kleintier-Prax. 27, 343 - 354

WALLS, G. L. (1942):

The vertebrate eye and it's adaptive radiation.

Cranbrook Institute of Science

Bull. 19

- WANG, L. C. H. (1982):  
Hibernation and the endocrines.  
in: C. P. LYMAN, J. S. WILLIS, A. MALAN u. L. C. H. WANG (Hrsg.): Hibernation and torpor in mammals and birds.  
Academic Press, New York, 206 – 236  
zit. nach W. WÜNNENBERG (1990)
- WINCKLER, G. (1932):  
Les nerfs de l'orbite et le ganglion ophtalmique dans la série des mammifères et chez l'homme.  
Arch. d'Anat. 14, 301 - 386
- WINCKLER, G. (1933):  
Le muscle retractor bulbi. Étude d'anatomie comparée.  
Arch. d'Anat. 17, 131 – 180
- WORGUL, B. V. u. H. ROTHSTEIN (1975):  
Congenital cataracts associated with disorganized meridional rows in a new laboratory animal: the degu (*Octodon degus*).  
Biomedicine 23, 1 – 4
- WÜNNENBERG, W. (1990):  
Physiologie des Winterschlafes.  
In: W. HERRE u. M. RÖHRS (Hrsg.): *Mammalia depicta*.  
Verlag Parey, Berlin, H. 14
- YELLIN, A. M. u. H. J. JERISON (1980):  
Photically evoked potentials and afterpotentials recorded from the visual cortex of the unanesthetized hedgehog.  
Brain Res. 182, Nr. 1, 79 – 84
- YELLIN, A. M. u. H. J. JERISON (1982):  
Visual evoked potentials (VEP) recorded from the hippocampus of the chronically-implanted unanesthetized hedgehog.  
Brain Res. Bull. 8, Nr. 5, 551 – 554
- YOUSSEF, E. H. (1971):  
The chondrocranium of *Hemiechinus auritus aegyptius* and its comparison with *Erinaceus europaeus*.  
Acta Anat. 78, Nr. 2, 224 - 254
- ZISWILER, V. (1976):  
Wirbeltiere: Spezielle Zoologie.  
Bd. II: Amniota  
Thieme Verlag, Stuttgart, S. 560 – 615



ZUHRT, R. (1958):  
Zahnfleischerkrankung beim Igel als Todesursache.  
Zool. Gart. 24, 74 - 80

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich bei der vorliegenden Arbeit auf ihre Weise unterstützt haben:

Herrn Prof. Dr. M. Fehr für die Überlassung des Themas und die wissenschaftliche Betreuung,

Herrn Prof. Dr. I. Nolte für die Bereitstellung der technischen Ausstattung,

Herrn Dr. F. Wagner für wertvolle fachliche Anregungen und Hilfen sowie für die Bereitstellung von Bildmaterial,

Herrn A. Thiele für die jederzeit gewährte tatkräftige Unterstützung und die angenehme Zusammenarbeit,

Frau N. Brunkhorst sowie Frau A. Niebergall für ihre Mithilfe und aufmunternden Worte,

meinem Bruder Gerd für die Zeit und Geduld, die er geopfert hat, um mich im Kampf am Computer zu unterstützen und

nicht zuletzt meiner Familie und meinen Freunden für Zuspruch und Rücksichtnahme.