

Aus der  
Klinik für Vögel  
Der Ludwig-Maximilians-Universität München  
(Leiter: Univ. - Prof. Dr. R. Korbelt)

Angefertigt auf Anleitung von  
Univ.- Prof. Dr. R. Korbelt

# **Augenuntersuchung beim Vogel**

Eine interaktive CD-ROM zum Erlernen des  
ophthalmologischen Untersuchungsganges

INAUGURAL-DISSERTATION  
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde  
der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von  
Nadine Ellen Bohnet  
aus  
Heilbronn

München 2007

**Gedruckt mit der Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität München**

Dekan:	Univ.-Prof. Dr. E. P. Märtlbauer
Referent:	Prof. Dr. Korbel
Korreferent:	Prof. Dr. Köstlin

Tag der Promotion: 9. Februar 2007

---

MEINER FAMILIE

---

INHALTSVERZEICHNIS

Abkürzungsverzeichnis.....	IV
1 EINLEITUNG .....	1
2 LITERATUR.....	3
2.1 Überblick zur Historie der Augenheilkunde.....	3
2.2 Anatomie und Physiologie des Vogelauges.....	6
2.2.1 Lage und Motilität .....	6
2.2.1.1 Augenhöhle (Orbita) .....	6
2.2.1.2 Augapfel (Bulbus oculi).....	7
2.2.2 Adnexe .....	9
2.2.2.1 Muskeln des Augapfels.....	9
2.2.2.2 Augenlider (Palpebrae).....	10
2.2.2.3 Tränenapparat (Apparatus lacrimalis).....	11
2.2.3 Augenhüllen.....	13
2.2.3.1 Äußere Augehaut (Tunica fibrosa seu externa bulbi) .....	13
2.2.3.2. Mittlere Augenhaut (Tunica vasculosa seu media bulbi, Uvea) .....	15
2.2.3.3 Innere Augenhaut (Tunica interna bulbi, Retina) .....	19
2.2.3.4 Augenkammern (Camera bulbi) und Kammerwasser (Humor aquosus) .....	23
2.2.4 Linse und Glaskörper.....	24
2.2.4.1 Die Linse.....	24
2.2.4.2 Glaskörper (Corpus vitreum) .....	26
2.2.5 Augenfächer (Pecten oculi) .....	27
2.2.6 Blutgefäße und Nerven.....	28
2.2.6.1 Innervation des Auges / Sehnerv (Nervus opticus).....	28
2.2.6.2 Blutgefäße des Auges .....	29
2.3 Leistungsfähigkeit des Vogelauges .....	30
2.3.1 Akkommodationsbreite .....	30
2.3.2 Sehschärfe .....	32
2.3.3 Detektion von Bewegungen.....	33
2.3.4 Gesichtsfeld.....	34
2.3.5 Hell-Dunkel-Adaptation.....	35
2.3.6 Farbsehen .....	35
2.3.7 UV-Perzeption .....	36

2.4 Anästhesie beim Vogel.....	38
2.4.1 Injektionsanästhesie .....	38
2.4.2 Inhalationsanästhesie .....	36
2.4.3 Narkosemonitoring .....	40
2.4.4 Oberflächenanästhesie/ Lokalanästhesie .....	41
2.4.5 Mydriasis/ Mydriatika .....	42
2.4.6 Luftsack-Perfusionsanästhesie .....	44
2.5 Augenuntersuchung .....	46
2.5.1 Allgemeines: .....	46
2.5.2 Ophthalmologische Anamnese .....	47
2.5.3 Adspektion und Visusbeurteilung ohne Zwangsmaßnahme .....	47
2.5.4 Vorbereitung und allgemeiner Umgang mit dem Patienten .....	48
2.5.5 Allgemeine ophthalmologische Untersuchung am fixierten Patienten .....	49
2.5.6 Untersuchung des vorderen Augensegmentes.....	50
2.5.6.1 Untersuchung im auffallenden frontalen Licht.....	51
2.5.6.2 Untersuchung im auffallenden seitlichen Licht (Transillumination) .....	52
2.5.6.3 Untersuchung im auffallenden schwingenden Licht.....	52
2.5.6.4 Untersuchung im auffallenden schwingenden Licht mit variablem Blickwinkel.....	54
2.5.6.5 Retroillumination .....	54
2.5.6.6 Untersuchung im seitlich durchfallenden Licht.....	55
2.5.7 Untersuchung des hinteren Augensegmentes = Ophthalmoskopie .....	56
2.5.7.1 Direkt monokular: .....	57
2.5.7.2 Monokular indirekt .....	59
2.5.7.3 Binokular indirekt .....	59
2.6 Spezielle Untersuchung.....	61
2.6.1 Schirmer-Tränen-Test.....	61
2.6.2 Phenolrot-Faden-Test.....	63
2.6.3 Fluoreszeintest .....	63
2.6.4 Tonometrie .....	64
2.6.5 Biomikroskopie .....	69
2.6.6 Gonioskopie.....	70
2.6.7 Elektroretinographie .....	71
2.6.8 Fluoreszenzangiographie .....	73
2.6.9 Radiographie .....	75

2.6.10 Sonographie .....	75
2.6.11 Tomographie .....	76
2.6.12 Photographie .....	77
2.7 Klinisch relevante vogelspezifische Besonderheiten des Auges im Vergleich.....	78
2.8 Computergestütztes Lernen.....	88
3 MATERIAL UND METHODEN .....	89
3.1 Materialien .....	89
3.2 Methoden.....	90
3.2.1 Konzept .....	90
3.2.2 Programmierung.....	91
4 ERGEBNISSE .....	94
5 DISKUSSION .....	100
5.1 Allgemeines .....	100
5.2 Bedeutung des Visus.....	102
5.3 Ophthalmologischer Untersuchungsgang.....	103
5.4 Vor- und Nachteile computergestützten Lernens.....	106
5.5 CD-ROM als Medium.....	107
5.6 Lernziele der CD "Augenuntersuchung beim Vogel".....	109
6 ZUSAMMENFASSUNG.....	111
7 SUMMARY .....	113
8 LITERATURVERZEICHNIS:.....	115
9 EDV LITERATUR: .....	143
10 ANHANG .....	144
11 DANKSAGUNG .....	145

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Aa	= Arteriae
Button	= Schaltfläche
CD	= Compact Disk
CO <sub>2</sub>	= Kohlendioxid
D	= Dioptrien
Drag-and-drop	= Anklicken und Verschieben eines Objekts auf der Programmoberfläche bei gedrückter linker Maustaste
ERG	= Elektroretinogramm
FAG	= Fluoreszenzangiographie
Gl.	= Glandula
i. m.	= intramuskulär
i. v.	= Intravenös
IOD	= intraokularer Druck
Lig.	= Ligamentum
LPA	= Luftsackperfusionsanästhesie
M.	= Musculus
mmHg	= Millimeter Quecksilbersäule
OD	= Oculus dexter
OS	= Oculus sinister
p. appl.	= post applicationem
PaCO <sub>2</sub>	= Kohlendioxidpartialdruck
PC	= Personal Computer
Rollover	= das Bewegen des Mauszeigers über ein Objekt auf der Benutzeroberfläche
ROM	= Read Only Member
Spp.	= Subspezies
STT	= Schirmer-Tränentest
UV	= Ultraviolett
V.	= Vena
WS	= Wellensittich

## 1 EINLEITUNG

Für Vögel hat das Auge als Sinnesorgan übergeordnete Bedeutung, da sie sich primär optisch orientieren. Leistungen wie das Fliegen, das Tauchen oder der selbständige Nahrungserwerb erfordern einen voll funktionsfähigen Visus; Beeinträchtigungen können dagegen nur in sehr beschränktem Maße durch andere Sinnesleistungen kompensiert werden. In Folge dessen werden Vögel bezüglich der Sensorik häufig als „Augentiere“ bezeichnet (KORBEL 1991). Philosophisch gesehen wird dies durch Rochon – Duvigneaud 1943 treffend formuliert: „A bird is a wing, guided by an eye“.

Auf dem Gebiet der Säugetiermedizin ist der ophthalmologische Kenntnisstand im Vergleich zur Vogelmedizin weit höher einzustufen. Dies verleitet dazu, an Säugetieren erprobte und bewährte Techniken kritiklos auf Vogelpatienten zu übertragen. Wenngleich die Morphologie der Vogelaugen in ihrem Grundaufbau demjenigen von Säugetieren ähnelt, gibt es bei den insgesamt mehr als 8700 rezenten Arten, mit mehr als 27000 Unterarten eine Reihe beachtenswerter physiologischer und anatomischer Unterschiede. Die Inhomogenität des Patientenmaterials (Wirtschaftsgeflügel, Ziervögel, Wildvögel u. a.) sowie die häufig geringe Größe und Besonderheiten im allgemeinen Umgang mit Vögeln lassen die Notwendigkeit eines differenzierten Procedere offenkundig werden (KORBEL 1991 a). Nach Untersuchungen von KORBEL (1994) wiesen 7,6 % von 10745 Vogelpatienten unterschiedlicher Spezies pathologische Veränderungen der Augen auf, was entsprechend hohe Anforderungen zunächst an die Diagnostik und dann an die Therapie stellt.

Auf dem Gebiet der Vogelmedizin existieren keine interaktiven Medien, die den ophthalmologischen Untersuchungsgang beim Vogel umfassend darstellen und v. a. praktisch nachvollziehbar machen. KORBEL (1994) entwickelte einen, in Anlehnung an den von WALDE (1989) für Hund und Katze konzipierten ophthalmologischen Untersuchungsgang für Vögel, unter Berücksichtigung von anatomischen und physiologischen Besonderheiten. Dieser wurde in den folgenden Jahren von KORBEL (1997 a, c; 1999 a, 2001, 2002 b, 2004 a, 2005) ausgearbeitet und weiterentwickelt. In der vorliegenden Arbeit wird zum ersten Mal der komplette weiterentwickelte ornitho-ophthalmologische Untersuchungsgang inklusiver einer Vielzahl von speziellen Untersuchungstechniken umfassend, bildlich und interaktiv dargestellt.



Ziel dieser Arbeit ist es den Studierenden der Tiermedizin, Säugetierärzten und Ophthalmologen das notwendige Wissen für eine korrekte und systematische ophthalmologische Untersuchung zu vermitteln und die wichtigsten anatomischen und morphologischen Unterschiede und Besonderheiten rauszustellen. Die Darstellung der anatomischen und physiologischen Unterschiede innerhalb der Klasse Aves, als auch im Vergleich zum Säugetier, Reptil und Mensch soll verdeutlichen, dass eine einfache Übertragung von Kenntnissen oder Techniken aus der Säugetierophthalmologie nicht möglich ist, obwohl die Untersuchungstechnik größtenteils darauf basiert.

Nach dem Durcharbeiten der CD soll der Nutzer mit den Grundlagen der Propädeutik und der Anästhesie, soweit sie für die Ophthalmoskopie maßgeblich sind, vertraut sein, ophthalmologische anatomische und physiologische Grundlagen sowie den kompletten ophthalmologischen Untersuchungsgang beherrschen und Grundlegendes zur Erkennung von Augenerkrankungen kennen.

Neben Texten, Bildern und Graphiken soll durch Videosequenzen der Untersuchungsgang praktisch nachvollziehbar sein, um den Lernerfolg zu erhöhen. Durch ein abschließendes Multiple-Choice-Quiz wird der Nutzer in die Lage versetzt, seinen Lernerfolg zu überprüfen.

Mit der vorliegenden CD-ROM soll ein Hilfsmittel für die studentische sowie postgraduale ophthalmologische Ausbildung, im Rahmen nationaler (z. B. Zusatzbezeichnung Augenheilkunde) als auch internationaler (z. B. Residency-Programm des European College of Veterinary Ophthalmology, ECVO) Weiterbildungsprogramme gegeben werden.

## 2 LITERATUR

### 2.1 Überblick zur Historie der Augenheilkunde




Abb. 1

ca. 300 v. Chr.	<p>Beginn der naturwissenschaftlichen Forschung</p> <p>Aristoteles (384 - 322 v. Chr.) war der erste, der sich mit dem Tierauge befasste. Allerdings beobachtete er die Natur nur insoweit, als sie für das menschliche Leben von Bedeutung war.</p>
60 n. Chr.	<p>Erste Hinweise auf Erkrankungen der Augen mit Vorschlägen für die Heilbehandlung bei Vögeln finden sich z. B. im Werk „De re rustica“ von Lucius Junius Moderatus Columella (FROEHNER 1952), im</p>
4. Jh.	<p>„OPUS Agriculturae“ von Palladius Rutilius Taurus Aemilianus oder in</p>
6. /7. Jh.	<p>„Geoponica“ von C. Bassus Scholasticus (BOESSNECK 1990).</p>
780 n. Chr.	<p>Al Gitrif ibn Qudama al-Gassani widmet sich der Diagnose und Therapie von Augenerkrankungen bei Beizvögeln (MÖLLER und VIRE 1988). Zur Beizjagd gehaltene Vögel nehmen von jeher einen Sonderstatus ein (DRIESCH v. d. 1982). Bereits im 8. Jh. finden sich bei Beizvögeln Beschreibungen von Augenerkrankungen einschließlich Rezeptsammlung.</p>
13 Jh.	<p>Detaillierte Beschreibungen von Augenerkrankungen und Vorschläge zur Therapie finden sich im griechischen Handbuch der Falkenkrankheiten von Demetrius Pepagónemos (zit. nach KRAENNER 1920) sowie im klassischen Werk Kaiser Friedrich II „De arte venandi cum avibus“ (zit. nach WILLEMSSEN 1969).</p>
18. Jh.	<p>Eigentliche Anfänge der Augenheilkunde bei Vögeln. HERVIEUX beschreibt 1716 zum ersten Mal zwei Krankheitskomplexe, die v. a. die Augen der Kanarien betrafen. Er ist einer der wenigen, der sich im 18. Jahrhundert mit Ziervogelkrankheiten beschäftigt.</p>

---

19. Jh.	HERTWIG stellt 1849 Augenerkrankungen v. a. des Nutzgeflügels vor. Er teilt bei Vögeln die entzündlichen okularen Veränderungen nach ihrer Ätiologie und Pathogenese in traumatische, katarrhalische und rheumatische ein und gibt Vorschläge zur Therapie. BALDAMUS beschreibt 1874 Augenveränderungen bei der Federviehzucht. Das erste Lehrbuch über die Krankheiten des Hausgeflügels von Friedrich Anton ZÜRN (1882) beinhaltet ein eigenes Kapitel über die Erkrankung der Sinnesorgane. Er beschreibt hier u. a. Traumen der Konjunktiva oder Kornea, entzündliche Schwellungen oder Neubildungen am Auge, Parasiten im Auge von Hühnern und den grauen Star mit entsprechenden Therapievorschlägen.
20. Jh.	Während sich bisher rein deskriptive Hinweise finden, wird das Vogelauge bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts unter dem Blickwinkel von kurativen und systematischen wissenschaftlichen Interesses gesehen.
1904	Erstmalige Veröffentlichung einzelner deutscher Fallberichte zu Augenerkrankungen beim Vogel (AMMERSCHLÄGER 1904 a, b).
1920	In der „Tierärztliche Augenheilkunde“ (JAKOB) finden sich zahlreiche Illustrationen über aviäre Augenerkrankungen. Forschungen zur Klärung der Ätiologie und der Pathologie von Augenveränderungen folgen (PAPPENHEIMER et al. 1929; PATTERSON 1932, FINDLAY und WRIGHT 1933; HEPDING 1936; FRITZSCHE 1937, GRIZMEK 1939, NELSON und THORP 1943).
Anfang 60er	Bis Mitte unseres Jahrhunderts liegt das Hauptaugenmerk auf dem Wirtschaftsgeflügel. Erst Anfang der 60er Jahre werden einzelne Fallberichte über Erkrankungen beim Ziergeflügel veröffentlicht (BIGLAND et al. 1962, CAVILL 1964, GIDDENS et al. 1971, BLACKMORE 1966). Augenkrankheiten wurden bisher rein deskriptiv und nach der Ätiologie dargestellt. Eine Augenveränderung war ein Indikator zur Erkennung von systemischen Erkrankungen.
Ende 90er Jahre	Erstmals systemisch–morphologische Darstellung von Augenerkrankungen (MURPHY 1984 a).



- Bisher wurde die Vogelophthalmologie hauptsächlich aus rein wirtschaftlichen Aspekten durchgeführt. Ziervögel finden erst in letzter Zeit im Zuge zunehmender Beliebtheit als Haustier und hiermit verbundener ideeller und finanzieller Wertschätzung beginnendes klinisches Interesse in der Veterinärophthalmologie, wie einige Publikationen belegen (KARPINSKI 1986, 1985 a und b; KARPINSKY und CLUBB 1986; KORBEL 1991 a, 1992 d, e).
- 1992 Während bisher die Untersuchungstechniken vom Säugetier auf den Vogel übertragen wurden, wurde Anfang des 21. Jahrhunderts zum ersten Mal spezielle ophthalmologische Untersuchungsverfahren mit Besonderheiten beim Vogel mit Referenzwerten für Vögel aufgezeigt (KORBEL 1992; KORBEL et al. 1993, 1998 b, 1999, 2000 b; KORBEL und LEITENSCHNORFER 1998 a; KORBEL und BRAUN 1999; KORBEL und STÜTZ 1999).
- 1994 KORBEL entwickelte zum ersten Mal einen ornithophthalmologischen Untersuchungsgang mit speziellen Untersuchungstechniken.
- 2002 Im Wirtschaftsgeflügelbereich bekommt die Ophthalmologie immer mehr klinische Relevanz, v. a. im Hinblick auf den Tierschutz (KORBEL et al. 2002 a; KORBEL und STURM 2005). Auf der Basis der in den letzten 15 Jahren erarbeiteten klinischen Untersuchungsverfahren werden für Vögel, welche unter Kunstlicht gehalten werden (Wirtschaftsgeflügel, Ziervögel), künftige Modelle erarbeitet, welche unter Berücksichtigung vogelspezifischer Sehweisen eine artgemäße und tierschutzgerechte Haltung ermöglichen sollen. Der klinischen Ornitho-Ophthalmologie kommt daher eine wesentliche Bedeutung als Wegbereiter für künftige tierschutzrechtlich relevante Fragestellungen zu.

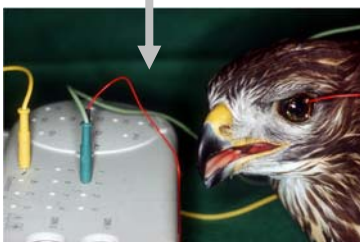


Abb. 2: Elektroretinographie bei einem Mäusebussard (*Buteo buteo* L., 1758)

## **2.2 Anatomie und Physiologie des Vogelauges**

Die Morphologie von Vogelaugen weist zwar prinzipiell die Eigenschaften eines Vertebratenauges auf, spiegelt jedoch auch eine Vielzahl von Adaptationsvorgängen an Lebensraum und Lebensform der Vögel wieder (KORBEL 1997 a, BURKHARDT et al. 1997). Diese haben dazu geführt, dass die visuelle Kapazität in einem Maße so verfeinert worden ist, dass das Vogelauge als das am höchsten entwickelte im gesamten Tierreich gilt (MEYER 1986).

Aufgrund der außerordentlichen Vielfalt von Vogelarten und der morphologischen Variabilität sind die Kenntnisse zur vergleichenden Anatomie von Vogelaugen eine unabdingbare Voraussetzung zur Unterscheidung von physiologischen und pathologischen Gegebenheiten.

### **2.2.1 Lage und Motilität**

#### **2.2.1.1 Augenhöhle (Orbita)**

Die knöcherne Augenhöhle ist nach ventral meist weit offen (TIEDEMANN 1810), kann bei einigen Spezies aber auch geschlossen sein (KORBEL 1994). Sie wird von den Knochen des Hirnschädels durch Anteile der Ossa frontale, squamosum, laterosphenoidale, lacrimale und ethmoidale gebildet (TIEDEMANN 1810, MURPHY 1984). Der obere Augenbogen (Margo supraorbitalis) bildet die dorsale und kaudale knöcherne Begrenzung. Auch der ventrale Rand der Orbita (Margo infraorbitalis) ist bei vielen Papageienvögeln und z. B. auch bei der Herbstente (*Dendrocygna autumnalis discolor*) knöchern als unterer Augenbogen ausgebildet (Arcus suborbitalis), während bei den meisten anderen Vogelspezies die Augenhöhle ventral durch ein faszienartiges Band - das Ligamentum suborbitale - geschlossen wird.

Die linke und rechte Orbita liegen eng zusammen und werden nur durch das sehr dünne, knöcherne Septum interorbitale getrennt, so dass sich die Augäpfel zu berühren scheinen (SLONAKER 1918). Bei vielen jungen Greif- und Rabenvögeln ist das Septum im Zentrum nur häutig.

Ein besonders langer, nach kaudolateral ausgezogener Fortsatz (Proceccus supraorbitalis) am Tränenbein (Os lacrimale) bei Taggreifvögeln ist eine weitere Besonderheit. Er überragt den Augapfel dorsal dachartig, zeichnet sich deutlich unter

der Haut ab und schützt das Auge gegen traumatische Einwirkungen (KORBEL 1994).

Der große Augapfel (*Bulbus oculi*) wird bei tagaktiven Vögeln fast vollständig von der Augenhöhle aufgenommen und bietet Schutz gegen traumatische Einwirkungen. Bei vielen dämmerungsaktiven Spezies wird diese Aufgabe durch den knöchernen Skleralring (*Anulus ossicularis sclerae*) übernommen, da hier die Orbita nur sehr flach ist und dem Augapfel wenig Schutz bietet. Der Augapfel ist bei Vögeln – anders als bei Säugetieren – nicht von einem Fettkörper (*Corpus adiposum orbitae*) umgeben, sondern ruht auf dem Sinus infraorbitalis wie auf einem Luftkissen (VOLLMERHAUS 2004). Diese Nasennebenhöhle ist bei Vögeln nicht knöchern begrenzt, sondern ein häutiger Sack, der mit dem kaudalen Abschnitt der Nasenhöhle in weit offener Verbindung steht (REESE et al., 2001).

### **2.2.1.2 Augapfel (*Bulbus oculi*)**

Größe und Schwere des aviären Augapfels sind als anatomisches Korrelat der Funktion zu sehen (REESE et al. 2000). Verglichen mit Körpergewicht und Hirnmasse erscheinen die Augen sowohl relativ, als auch absolut gesehen von enormer Größe (WALLS 1942, MARTIN 1985). Während die Augen des Menschen nur ca. 1 % seiner gesamten Schädelmasse ausmachen, können sie beim Vogel bis zu 30 % betragen (ENGELMANN 1983). Bei der Schneeeule (*Nyctea scandiaca* L., 1758) und dem Waldkauz (*Strix aluco* L., 1758) beträgt etwa der bulbäre Gewichtsanteil mehr als 32 % des Schädelgewichts, bei adulten Hühnervögeln 7 % und bei juvenilen 12 % (KORBEL 1995).

Mit einer axialen Bulbuslänge von 50 mm besitzt nach Cramp (1977) der Strauß (*Struthio camelus* L., 1758) unter den Landvertebraten das relativ größte Sehorgan, wohingegen das rudimentäre Auge des rein dämmerungsaktiven Kiwi (*Apteryx* sp.) lediglich 8 mm misst (DUKE-ELDER 1958). Bei den meisten Vogelspezies nehmen die Bulbi so viel Raum ein, dass sie sich in der Schädelmitte berühren, lediglich getrennt durch das Septum interorbitale (LEVINE 1955, MARTIN 1985).

Der Augapfel der Vögel ist nicht wie bei Mensch und Säugetier annähernd kugelförmig. Die Form des *Bulbus* ähnelt bei allen unseren Hausvögeln einem Rotationsellipsoid, bei dem der Äquatordurchmesser stets größer als der

Längendurchmesser ist (NICKEL et al. 1992). Sein vorderer Abschnitt (Bulbus oculi anterior) ist wesentlich stärker gekrümmt als der hintere Teil (Bulbus oculi posterior) mit dem schalenartigen Fundus oculi. Verbunden werden diese beiden Teile über einen ringförmigen konkaven Abschnitt, der durch den knöchernen Skleralring (Anulus ossicularis sclerae) gestützt wird (REESE et al. 2000).

Im Querschnitt lassen sich verschiedene Bulbusformen unterscheiden

- flache Augapfelform bei tagaktiven schmalköpfigen Vögeln (Tauben-, Hühnervögel)
- globuläre Augapfelform (z. B. bei Taggreifvögeln)
- tubuläre Augapfelform (dämmerungsaktive Vögel mit breitem Kopf, z. B. Eulenvögel)
- flachglobulärer Mischtyp (z. B. bei Entenvögeln)

Die resultierende Vergrößerung des Abstandes zwischen Linse und Retina bei der tubulären Augapfelform führt zu einer Vergrößerung des abzubildenden Objektes und maximiert so das Auflösungsvermögen (RAVELHOFER 1996). Es stellt einen Adaptationsmechanismus analog zum Aufbau eines Teleobjektivs dar (KORBEL 1997a).

Auffällig ist eine temporonasale Bulbusasymmetrie bei allen Vogelarten, die durch eine Neigung von Hornhaut und Skleralring nasalwärts zustande kommt (FRANZ 1934, WALLS 1942). Ein nasal schmalerer Ziliarkörper hat eine entsprechende Neigung der Augenachse (Axis bulbi) zur Folge. Die optische Achse von Kornea und Linse weicht somit nach nasal von der Mittelachse ab, wodurch die monokularen Sehfelder überlappen (WALLS 1942). Diese nasale Verkürzung des Bulbus soll das binokulare Sehen, das insbesondere bei Spezies mit frontal positionierten Augen von Bedeutung ist, erleichtern (DUKE-ELDER 1958).

Bei den meisten Vogelarten liegen die Augäpfel lateral am Kopf. Dies führt meist zu einem monokularen Sehfeld, ermöglicht gleichzeitig aber ein besonders großes Gesichtsfeld bis zu 360°.

## 2.2.2 Adnexe

### 2.2.2.1 Muskeln des Augapfels

Die Augenmuskelpyramide ist ähnlich der des Säugetierauges aufgebaut. Vögel besitzen wie die übrigen Wirbeltiere vier gerade (M. rectus dorsalis, M. rectus ventralis, M. rectus temporalis, M. rectus nasalis) und zwei schräge (M. obliquus dorsalis, M. obliquus ventralis) Augenmuskeln (SLONAKER 1918). Ein dem Säugetierauge entsprechender M. retractor bulbi fehlt bei Vögeln (SLONAKER 1918, MURPHY 1987 a). Stattdessen besitzen Vögel zwei kräftige Mm. quadratus et pyramidalis membranae nictitantes, die der kaudalen Fläche des Bulbus oculi anliegen. Diese Muskeln sind für die Bewegung der Nickhaut zuständig (BORRICHIOUS 1674).

Der M. quadratus bildet oberhalb des Nervus opticus eine sehnige Schleife (Trochlea) für den Durchtritt der Endsehne des M. pyramidalis (FREWEIN und SINOWATZ 1992). Diese Endsehne, die durch eine ventro-temporale Rinne im Anulus ossicularis sclerae geführt wird, strahlt ventral und kantennah in die Nickhaut ein.

Die Beweglichkeit der Augen kann mit weniger als 2° extrem limitiert oder wie z. B. beim Kakadu sehr groß sein. Bei Greifvögeln etwa füllt im Gegensatz zum Säuger der Augapfel die Orbita fast vollständig aus. Dadurch ist die extraokulare Muskulatur und folglich auch die Bulbusmotilität auf ein Minimum reduziert (GREENWOOD und BARNETT 1981). Die fehlende Beweglichkeit wird jedoch durch das erhöhte Rotationsvermögen des Kopfes ausgeglichen (KING und McLELLAND 1984). Bei Reiher (Ardeidae) erfolgt dies z. B. durch Kopfwackeln, bei Hühnern (Phasianiformes) durch das typische Kopfnicken (BEZZEL und PRINZINGER 1990). Dohlen (*Corvus monedula*) können ihre Augäpfel im beschränkten Maße nach hinten drehen und bekommen so einen vollständigen Rundumblick, ohne dass sie eine verräterische Kopfbewegung ausführen müssen.



### 2.2.2.2 Augenlider (Palpebrae)

Die Augenlider dienen dem Schutz der Kornea. Das untere Lid (Palpebra ventralis) ist hauptverantwortlich für den Lidschluss und somit bei den meisten Vögeln, außer bei nachtaktiven Eulen (KORBEL 1994), größer und mobiler als das obere Augenlid (Palpebra dorsalis) (GREENWOOD und BARNETT 1981, SLATTER 1990). Neben den Eulen besitzen auch Papageienvögel ein sehr bewegliches oberes Augenlid (SEIDEL 1988). Das untere Augenlid deckt die Kornea im geschlossenen Zustand fast vollständig ab und wird vor allem bei Greifvögeln gewöhnlich durch eine knorpelige Platte, den sog. Tarsus palpebralis, gestützt (CUVIER und MECKEL 1809). Die Bewegung des oberen und unteren Augenlides wird durch drei Muskeln gesteuert, den

- M. levator palpebrae dorsalis, der das Oberlid hebt, den
- M. depressor palpebrae ventralis, der Niederzieher des Unterlids, und den
- M. orbicularis oculi, der die Lidspalte wie ein Ring umschließt und bei seiner Kontraktion für den Lidschluss sorgt.

Die Augenlider werden durch kleine, parallel zum Lidrand verlaufende Arterien mit feinen Aufzweigungen versorgt, die aus der A. supraorbitalis stammen. Ihre Durchtrennung kann insbesondere bei einer lateralen Kanthotomie, die bei Eulenvögeln zur Entfernung des Augapfels notwendig ist, sehr starke Blutungen hervorrufen (MURPHY 1987, KORBEL 1994).

Eine weitere Besonderheit ist, dass Vögel keine Wimpern besitzen. Stattdessen kann der Lidrand (Limbus palpebralis) bei Tauben (Columbiformes), Kormoranen (Phalacrocorax) und anderen Spezies völlig federlos sein, bei Hühnern (Phasianiformes) schütter (KOLMER 1930, FREWEIN und SINOWATZ 1992) und bei Papageienvögeln (Psittaciformes), Greifvögeln (Accipitriformes), Straußenvögel (Struthioniformes), Enten- und Gänsevögeln (Anati- und Anseriformes) mit Haarfedern (Cilia palpebralia), denen als Charakteristikum die Federfahne fehlt, besetzt sein. Bei vielen Vogelarten sind der Lidrand oder auch die ganze Außenseite der Augenlider und ihre Umgebung farbenprächtig hervorgehoben. Den Lidern der Vögel fehlen die Tarsaldrüsen (Meibom-Drüsen) (SLONAKER 1918). Das eigentliche Blinzeln zur Verteilung des präkornealen Tränenfilms erfolgt bei den Vögeln mit der Nickhaut.

Die **Nickhaut** (Palpebra tertia seu Membrana nictitans), ein drittes Augenlid, ist eine hoch spezialisierte, dünne Bindehautduplikatur, die im retrahierten Zustand in der

Tiefe des medialen Augenwinkels liegt (HUMMEL 2000). Die Nickhaut wird durch die Endsehnen zweier Muskeln (M. quadratus und M. pyramidalis) im Gegensatz zum Säugetierauge von dorsonasal nach ventrotemporal über die Hornhaut gezogen. Sie wird nicht wie beim Säugetier durch einen knorpeligen Anteil gestützt (MURPHY 1984, SEIDEL 1988). Ihr freier, häufig pigmentierter Rand ist mit feinen federartigen Epithelfortsätzen (KOLMER 1923) besetzt, die den präkornealen Tränenfilm regulieren. Bei vielen Vogelarten ist sie opak, bei Eulen weiß.

Eine vollständig transparente Nickhaut besitzen die meisten Wasser- und insbesondere Tauchvogelarten, die bei der Unterwassersicht als zusätzliches refraktäres Element (vergleichbar mit einer Taucherbrille) dient (MARTIN 1985) und damit zur großen Akkomodationsbreite beiträgt. Die vorgezogene Nickhaut soll vor Auskühlung des Gehirns (KORBEL 1994) und Austrocknung des Auges, insbesondere während des Fluges schützen (DUKE-ELDER 1958).

### 2.2.2.3 Tränenapparat (*Apparatus lacrimalis*)

Der Tränenapparat der Vögel besteht aus:

- Tränendrüse (*Glandula lacrimalis*)
- Nickhautdrüse (*Glandula membranae nicticans/ Hardersche Drüse*)
- Nasendrüse (*Glandula nasalis*)
- tränenableitenden Wegen

Die **Tränendrüse** (*Glandula lacrimalis*) liegt im temporalen Augenwinkel zwischen der Periorbita und der Lidbindehaut. Sie besitzt einen Ausführungsgang, der trichterförmig am temporalen Winkel der Augenlider in den Bindehautsack (*Saccus conjunctivae*), am Umschlagspunkt der *Tunica conjunctiva bulbi* in die *Tunica conjunctiva palpebrarum* mündet (SCHWARZE und SCHRÖDER 1985). Das spärliche Sekret benetzt den Teil der Kornea, der nicht von der Nickhaut erreicht wird (SLONAKER 1918). Bei vielen Vögeln ist es wasserklar und alkalisch oder aber wie beim Kormoran ölig und weißlich (DUKE-ELDER 1958, KORBEL 1994). Eulenvögel (*Strigidae*) und Pinguine (*Sphenisciformes*), bei denen der Tränenapparat nur wenig Tränenflüssigkeit produziert, besitzen keine *Gl. lacrimalis* (BEZZEL und PRINZINGER 1990).

Die **Nickhautdrüse** (*Glandula membranae nictitantis*) ist bei den meisten Vögeln mehr als doppelt so groß wie die *Gl. lacrimalis* (WALLS 1942) und liegt ventrokaudomedial dem Augapfel im nasalen Augenwinkel auf. Ihr Ausführungsgang mündet an der bulbuseitigen Fläche der Nickhaut in den Konjunktivalsack (CUVIER und MECKEL 1809). Sie gilt als Hauptproduzent der Tränenflüssigkeit. Ihr kommt - neben der Produktion von mukoider Tränenflüssigkeit zur Anfeuchtung und Säuberung der Kornea - als peripheres Lymphorgan (Sekretion von Immunglobulin A, Ansammlung von Lymphozyten und Plasmazellen) große Bedeutung innerhalb der immunzellulären Abwehr zu (BABA et al 1990). Eulen (*Strigidae*) dagegen besitzen nur eine kleine Nickhautdrüse, obwohl ihnen eine Tränendrüse fehlt (WALLS 1963).

Die **Nasendrüse** (*Glandula nasalis*) ist eine modifizierte Tränendrüse, die dorsonasal unter der Haut in einer kleinen Knochenvertiefung in der Orbita liegt. Sie kommt auch bei Hühnern (*Phasianiformes*), Enten (*Anatiformes*), Gänsen (*Anseriformes*) und beim Uhu (*Bubo bubo* L., 1758) vor, v. a. aber bei Meeresvögeln, denen sie neben der Niere als zweites Salzausscheidungsorgan dient (PEAKER 1971; KÜHNEL 1972; SCHWARZE und SCHRÖDER 1985). Neben einer desinfizierenden Funktion, soll sie während des Fluges vor dem Austrocknen schützen (LEITENSTORFER 1996). Ein zeitweise vermehrter Tränenfluss kommt bei Möwen als natürlicher Regulationsmechanismus zur Ausscheidung von Salz z. B. nach der Aufnahme von Meerwasser vor.

Das Sekret der Tränen- und Nickhautdrüse fließt im nasalen Augenwinkel (*Angulus oculi nasalis*) bei den meisten Vogelspezies über zwei Öffnungen, die sog. Tränenpunkte (*Ostia canaliculi lacrimalis*), oder wie beim Pinguin über eine Öffnung ab. Die Tränenkanäle (*Canaliculi lacrimales*) sind nur wenige Millimeter lang, liegen auf der Innenseite des oberen und unteren Augenlides mit deutlichem Abstand vom Lidrand und leiten die Tränenflüssigkeit in den *Ductus nasolacrimalis*, der unterhalb der unteren Nasenmuschel in die Nasenhöhle mündet. Von dort fließt die Tränenflüssigkeit direkt in die Mundhöhle über die Choanenspalte ab. Unter normalen Bedingungen werden ca. 90 % des Tränenfilms auf diese Weise über den Drainageapparat abgeführt. Der verbleibende Rest verdunstet während der Blinzelpausen (JONES 1966).

### 2.2.3 Augenhüllen

Wie bei allen Vertebraten wird der intraorbitale Teil des Bulbus aus drei Gewebsschichten gebildet (LIEBICH 2001, FREWEIN und SINOWATZ 1992):

- äußere Augenhaut (Tunica fibrosa bulbi)
- mittlere Augenhaut (Tunica vaskulosa bulbi, Uvea)
- innere Augenhaut (Tunica interna bulbi, Retina)

#### 2.2.3.1 Äußere Augenhaut (Tunica fibrosa seu externa bulbi)

Die äußere Augenhaut wird unterteilt in einen hinteren Abschnitt, die Sklera, und einen vorderen Abschnitt, die transparente Kornea.

#### Weiße Augenhaut (Sklera)

Die Sklera besteht vorwiegend aus kollagenen Fasern (KOMAR und SZUTTER 1968) und ist das formgebende und formerhaltende Element des Auges. In die bindegewebige Sklera ist eine hyaline Knorpelplatte (Lamina cartilaginea sclerae) eingelagert, die den Augenhintergrund unterstützt und um den Sehnerveneintritt zum kleinen hufeisenförmigen Os nervi optici verknöchert sein kann (TIEMEIER 1950). Der vordere, konkav eingezogene Teil der Sklera erhält durch den knöchernen Skleralring (Anulus ossicularis sclerae), eine Besonderheit der Sauropsiden, die nötige Festigkeit. Dieser bildet auch bei der Akkomodation ein wichtiges Widerlager, die im Gegensatz zu den Säugetieren mit einer aktiven Kompression der Linse verbunden ist. Der Skleralring besteht aus zehn bis 18 (meist 15) einzelnen, fischschuppenartig übereinander liegenden Knochenblättchen (ossicula sclerae) und ist zwischen Ora serrata und Anulus conjunctivalis lokalisiert (FRANZ 1934, DUKE-ELDER 1958). Anzahl und Morphologie der Einzelknochen können dabei auch innerhalb einer Spezies variieren. Auffällig ist bei vielen Vögeln eine Führungsrinne im ventro-temporalen Bereich des Knochenringes für die Endsehne des die Nickhaut bewegenden M. pyramidalis (KORBEL 1995 a), die von der geometrischen Achse (Axis bulbi) des Augapfels abweicht. Dadurch konvergieren optische und visuelle Achse zur Medianen hin, was das binokulare Sehen erleichtert (SLONAKER 1918). Die optische Achse stellt eine hypothetische Linie dar, die als zentrale Achse durch die lichtbrechenden Medien des Auges gekennzeichnet ist und nicht mit der Sehachse verwechselt werden darf (WALDE et al 1996).

## Hornhaut (Kornea)

Die Kornea besteht wie bei anderen Wirbeltieraugen aus fünf Schichten, wobei die Descemet'sche Membran bei Vögeln nicht immer ausgebildet ist (PEARSON 1972):

- vorderes Korneaepithel (Epithelium corneae ext.), ein Plattenepithel mit guter Regenerationsfähigkeit
- Bowman-Membran (Lamina limitans superf.), aus Kollagenfasern bestehend zur Stabilisierung der Kornea
- bindegewebige Eigenschicht (Substantia propria corneae)
- Descemet-Membran (Lamina limitans prof.)
- hinteres Hornhautepithel (Epithelium corneae int.)

Außer bei Wasservögeln und einigen tagaktiven Greifvögeln ist die Kornea bei den meisten Vogelspezies relativ dünn und beträgt durchschnittlich 0,4 mm (FREWEIN und SINOWATZ). Der Krümmungsradius variiert dagegen speziesspezifisch stark. Eine stark gekrümmte Hornhaut mit entsprechend tiefer vorderer Augenkammer findet sich z. B. bei Eulenvögeln, während Wasservögel eine flache Kornea besitzen. Nach ROCHON-DUVIGNEAUD (1929) ist die korneale Krümmung absolut regelmäßig, so dass das Vogelauge im Gegensatz z. B. zu Rind und Pferd (KOMAR und SZUTTER 1968) keinen Astigmatismus aufweist.

Der Übergang zur Sklera (Junktura corneaskleralis) ist durch eine ringförmige Vertiefung markiert und besitzt am äußeren Rand der Kornea (Limbus corneae) bei den meisten Vogelspezies Pigmenteinlagerungen (KORBEL 1994), die sich bei der gonioskopischen Untersuchung als inneres und äußeres Pigmentband (Anulus corneae) darstellen.

Aufgrund zahlreicher Nervenfasern ist die Kornea hochsensibel. Die Nährstoffversorgung muss über Diffusion aus dem Kammerwasser und dem präkornealen Tränenfilm erfolgen, da keine Blutgefäße, die die Transparenz der Kornea beeinträchtigen würden, ausgebildet sind. Als Teil des dioptrischen Apparates hat die Kornea eine bedeutende Rolle bei der Lichtbrechung und Akkomodation. Ihre Brechkraft verringert sich allerdings beim Eintritt in Wasser und wird nach SIVAK et al (1978) nicht von der vorgezogenen Nickhaut ersetzt. Vögel, die ein gutes Sehvermögen unter Wasser benötigen, zeichnen sich durch einen stark ausgebildeten Akkomodationsapparat aus (SIVAK et al. 1985), der die verlorene Brechkraft der Kornea ausgleicht.

### 2.2.3.2. Mittlere Augenhaut (*Tunica vasculosa seu media bulbi, Uvea*)

Die mittlere Augenhaut besteht von vorne nach hinten aus

- der Regenbogenhaut (Iris),
- dem Strahlenkörper (Corpus ciliare), der die Akkomodation ermöglicht, und
- der Aderhaut (Choroidea), die den Augenhintergrund auskleidet und die Netzhaut versorgt.

#### Regenbogenhaut (Iris)

Die Iris umragt das bei Vögeln runde, selten querovale Sehloch (Pupilla) und trennt die vordere Augenkammer von der sehr schmalen hinteren Augenkammer ab. Starke Pigmenteinlagerungen gewährleisten, dass das Licht nur durch die Pupille ins Augeninnere strahlt (FREWEIN und SINOWATZ 1992).

Die Pigmentierung der Iris kann nicht nur speziesspezifisch, sondern auch teilweise geschlechts- und altersabhängig variieren und wird bei einzelnen geschlechtsmonomorphen Vogelspezies, z. B. den Kakadus (Cacatuninae), zur Geschlechtsbestimmung herangezogen (KARPINSKI und CLUBB 1986). Weiterhin unterliegt sie bei einigen Vogelspezies nahrungsbedingten und saisonalen Einflüssen (TIEDEMANN 1810, OEHME 1969, MARTIN 1985).

Neben Farbpigmenten spielen auch stark reflektierende Substanzen eine Rolle. In Frage kommende Stoffe und Strukturen sind Melanin, Pteridin, Hämoglobin, Karotinoide, farbloses Fett, Kollagenfasern und Strukturblau, eine von physikalischen Gesetzen abhängige Färbung, die durch die Tyndall-Streuung im Gewebe verursacht wird (OEHME 1969, HOLLANDER und OWEN 1939). Als Besonderheit einiger Taubenvögel (Columbiformes) bilden Iridozyten ein Tapetum lucidum iridis. Typisch für die Taubeniris ist auch der Anulus iridis, eine pigmentfreie, fett- und blutgefäßarme Zone, durch welche die dunkel pigmentierte Irishinterfläche (Stratum pigmentosum iridis) durchschimmert und sich dunkel abzeichnet. Er wird von Taubenzüchtern als Wertring bezeichnet, ist jedoch für die Seh- und Flugleistung ohne Bedeutung (REESE et al. 2001).

Das Irisstroma besteht aus einem lockeren, aber regelmäßigen Geflecht aus kollagenen und elastischen Fasern mit Pigmentzellen, Gefäßen, Muskulatur und Nervenfasern (OEHME 1969). Der lockere Aufbau ermöglicht den großen Bewegungsspielraum, der für Miosis und Mydriasis notwendig ist.

Die Weite der Pupille wird durch die *M. sphincter* und *dilatator pupillae* reguliert, die bei Vögeln überwiegend quergestreift sind. Sie erlauben eine wesentlich schnellere Hell-Dunkel-Adaptation und damit eine rasche Adaptation an die ständig wechselnden Lichtverhältnisse während des Flugs (REESE et al. 2001). Der *M. sphincter pupillae* liegt in der Nähe des freien Pupillenrandes mit zirkulär verlaufenden Fasern, während die Fasern des *M. dilatator pupillae* radiär verlaufen und der Irishinterfläche anliegen (LIEBICH 2001).

Darüber hinaus wird durch die Ablendung von Randstrahlen, die eine Erhöhung der Schärfentiefe und eine Eliminierung von Streustrahlen zur Folge hat, eine Schärfensteigerung des auf die Netzhaut projizierten Bildes erzielt.

Bei einigen Tauchvögeln, wie Pinguinen und Kormoranen, ist der *M. sphincter pupillae* besonders kräftig entwickelt und wölbt die Linse bei der Akkomodation durch die Pupillenöffnung. Die Linse erlangt so eine extrem hohe Brechkraft und gleicht den Verlust der Brechkraft der Kornea unter Wasser aus (REESE et al. 2001). Bei einigen Vogelspezies, wie Sperlingen (*Passer domesticus* L., 1758) und Rotschwanzbussarden (*Buteo jamaicensis* Gmel., 1788) sind auch glatte Muskelfasern in der Iris zu finden, die möglicherweise für das Feinspiel und die Formerhaltung der Pupillenöffnung für längere Zeit hin verantwortlich sind (OEHME 1969, JOHNSON und OLIPHANT 1984). Die quergestreifte Pupillarmuskulatur kann von den Vögeln willkürlich gesteuert werden. Eine Weitstellung der Pupille (Mydriasis), als unabdingbare Voraussetzung für die Spiegelung des Augenhintergrunds (Ophthalmoskopie), ist daher mit den in der Säugetierophthalmoskopie üblichen Mydriatika (Parasympathicolytica) nicht möglich.

### **Strahlenkörper (Corpus ciliare)**

Der Strahlenkörper hat mehrere zentrale Funktionen im Auge

- Er verankert die Linse im Augapfel.
- Seine Muskulatur kann die Linse und die Kornea verformen.
- Er ist zentraler Bestandteil des Akkomodationsmechanismus.

Das Corpus ciliare liegt als ringförmiger Wulst zwischen der Irisbasis (*Margo ciliaris iridis*) und der Aderhaut (*Choroidea*) und ist nach außen im knöchernen Skleralring (*Anulus ossicularis sclerae*) verankert. Retinale Epithelien, die den Strahlenkörper auf den Ziliarfortsätzen (*Processus ciliares*) überziehen, produzieren und sezernieren das

Kammerwasser, das dann in den Sinus venosus sclerae über den Ziliarspalt wieder abfließt (REESE et al. 1998 a).

Die innere Oberfläche ist mit zahlreichen Falten (Plicae ciliares) besetzt, die nach vorne den Strahlenkranz (Pars plicata, Corona ciliaris) bilden und im hinteren Bereich flach auslaufen (Pars plana, Orbiculus ciliares). Diese Falten sind wiederum mit zahlreichen Ziliarfortsätzen (Processus ciliares) besetzt, die als Besonderheit der Augen von Vögeln und Panzerechsen (GRÜNINGER 2002), die Linsenperipherie umgreifen und an den Spitzen mit der Linsenkapsel verschmolzen sind. Ihre Oberfläche ist von retinalem Epithel überzogen (REESE et al. 2001).

Aus der inneren Retinaepithellage entspringen die Aufhängefasern der Linse, die Zonulafasern (Fibrae zonulares), ziehen zur Linsenkapsel an den Äquator und bilden so eine besonders feste Verbindung (KORBEL 1994).

Ein wichtiger Teil des Ziliarkörpers ist der aus drei Portionen bestehende Ziliarmuskel (MURPHY et al. 1995). Der Ziliarmuskel (M.ciliaris) ist quergestreift und liegt eingelagert in das Stroma des Ziliarkörpers. Der äußere M. ciliaris anterior (Crampton-Muskel) entspringt an der Innenseite des Skleralrings. Mit seiner Endsehne verankert er sich im Stroma der Kornea und bewirkt primär durch seine Kontraktion eine Verstärkung des Krümmungsradius der Kornea (korneale Akkomodation) (FREWEIN und SINOWATZ 1992, PARDUE und SIVAK 1997).

Der M. ciliaris posterior (Brücke-Muskel) entspringt ebenfalls an der Innenseite des Skleralringes, proximal dem vorderen Ziliarmuskel. Dieser orientiert sich aber in die entgegen gesetzter Richtung, um sich in der Basis des Ziliarkörpers zu verankern, und zieht durch seine Kontraktion den ringförmigen Ziliarkörper nach vorne. Dadurch wird gleichzeitig dessen Durchmesser verringert, da der Skleralring vorne enger wird. Die Linse wiederum wird durch den eingeeengten Ziliarkörper komprimiert und dadurch ihre Konvexität gesteigert (lentikuläre Akkomodation).

Der kleine Müller-Muskel liegt dem M. ciliaris posterior auf. Seine Fasern werden heutzutage als Fibrae radiales bezeichnet (REESE et al. 2001).

Die Ausbildung der Ziliarmuskeln zeigt eine Anpassung an die unterschiedlichen Lebensbedingungen. Tauchvögel (Podicipedidae), die fast ausschließlich lentikulär akkomodieren, besitzen einen kräftig entwickelten M. ciliaris posterior, während der M. ciliaris anterior nur rudimentär ausgebildet ist. Bei nachtaktiven Vögeln, die fast ausschließlich korneal akkomodieren, sind die Verhältnisse umgekehrt (REESE et al. 1998 b, c). Die besondere Form der lentikulären Akkomodation wird auch durch den



Ziliarspalt ermöglicht, der eine Verschiebung der inneren Platte des Ziliarkörpers mit den Ziliarfalten gewährleistet.

Ein besonders tiefer Ziliarspalt kommt bei Tauchvögeln vor, bei denen eine extreme Kompression der Linse eine besonders weite Akkomodationsbreite erzeugt. Der Ziliarspalt (Sinus ciliocleralis), der den Ziliarkörper in eine äußere und innere Platte teilt, steht in Höhe der Irisbasis über den Kammerwinkel (Angulus iridocornealis) mit der vorderen Augenkammer in weit offener Verbindung. Der Übergang vom Kammerwinkel in den Ziliarspalt wird durch das gerade, kräftige Ligamentum pectinatum gekennzeichnet. Im Unterschied zu den Säugetieren werden bei den Vögeln die kollagenen durch elastische Fasern ersetzt. Das spielt für den Mechanismus der Akkomodation bei Vogelaugen eine bedeutende Rolle (TRIPATHI 1974).

Ein Maschenwerk aus feinen Bindegewebsbälkchen (Retikulum trabeculare) begrenzt die Fontana-Räume (Spatia anguli iridocornealis), welche die Verbindung zum Schlemmschen Kanal herstellen (EVANS 1979, FREWEIN und SINOWATZ 1992).

### **Aderhaut (Chorioidea)**

Die Aderhaut von Vögeln ist im Vergleich zum Säugetier relativ dick und stark vaskularisiert, da ihre Hauptfunktion in der Ernährung der avaskulären aviären Retina durch Diffusion liegt. Entsprechend findet sich in dickeren Netzhautbereichen eine Häufung von Blutgefäßen. Sie geht aus dem Ziliarkörper hervor und ist mit der Innenfläche der Sklera nur locker über die Lamina suprachorioidea (fusca), dagegen über die Lamina basalis relativ fest mit dem retinalen Pigmentepithel verbunden.

Die Chorioidea ist bei tagaktiven Vögeln pigmentreich, während sie bei dämmerungsaktiven Vogelarten schwach oder überhaupt nicht pigmentiert ist. Der Pigmentreichtum der Chorioidea unterdrückt intraokulare, die Sehschärfe reduzierende Lichtreflexionen und Streustrahlungen (RAVELHOFER 1996). Ein Tapetum lucidum chorioideae ist wie bei vielen dämmerungsaktiven Säugetieren nicht ausgebildet (TIEDEMANN 1810). Die Augen der Vögel weisen daher nur einen schwachen, grünlich-rötlichen Fundusreflex auf. Dieser wird durch von der Sklera reflektiertes Licht verursacht, die zwischen den chorioidalen Gefäßen zu sehen ist. Der schwache Fundusreflex erschwert unter Umständen nicht nur die Untersuchung des lediglich matt illuminierten Augenhintergrundes, sondern auch die Untersuchung der vorderen Augenabschnitte (Hornhaut, vordere Augenkammer, Linse) im

reflektierten Licht. Eine Ausnahme bildet der nachtaktive Ziegenmelker (*Caprimulgus europaeus* L. 1758), der im dorsalen Fundusbereich ein diffus weiß reflektierendes Tapetum lucidum retinae hat, das aber mit dem Pigmentepithel der Retina in Verbindung steht und nicht mit dem choroidalen Tapetum der Säugetiere vergleichbar ist. Bei Spechten (*Piciformes*) sind als Besonderheit in der Choroidea mit mukösen Substanzen gefüllte Sinusoide ausgebildet, die eine Art Kissen zum Abfangen der Erschütterung beim Pickvorgang darstellen (DUKE-ELDER 1958).

### 2.2.3.3 Innere Augenhaut (*Tunica interna bulbi, Retina*)

Entwicklungsgeschichtlich betrachtet ist die innere Augenhaut eine blasenförmige Ausstülpung des Gehirns, wodurch ein doppelwandiger »Becher« entstanden ist. Beide Blätter werden durch den Augeninnendruck aneinander gehalten. Zelluläre Verbindungen bestehen nicht (HUMMEL 2000).

Die innere Augenhaut liegt der mittleren Augenhaut innen und am freien Umschlagsrand am Pupillenrand (*Margo pupillaris*) an. Sie besteht aus zwei Schichten, dem außen gelegenen einschichtigen Pigmentepithel (*Stratum pigmentosum*) und der inneren lichtempfindlichen Schicht (*Stratum nervosum*).

Nach Struktur und Funktion lassen sich an der Retina folgende Abschnitte unterteilen (STARCK 1982, LIEBICH 1990, FREWEIN und SINOWATZ 1992):

- ein vorderer rezeptorloser Abschnitt (***pars caeca retinae***), bestehend aus der *Pars ciliaris retinae*, die dem *Corpus ciliare* anliegt, und der *Pars iridica retinae*, welche die Irishinterfläche bedeckt
- ein hinterer lichtempfindlicher Abschnitt (***pars optica retinae***), der sich analog zum Säugetierauge in zehn Schichten gliedert, von denen neun zum Innenblatt, der nervösen, lichtempfindlichen Schicht (*stratum nervosum retinae*), gerechnet werden. Bei den meisten Vogelspezies ist diese Zellage analog zu den Säugetieren unpigmentiert. Eine Ausnahme bilden die nachtaktiven Eulen. Bei diesen Spezies sind auch die Zellen der inneren Retinaschicht dicht mit großen Pigmentgranula beladen, bei denen es sich nicht um Melanine, sondern um Lipofuzzine handelt. Diese zusätzliche Pigmentierung absorbiert Streulicht im tubusartigen langen Ziliarkörper

und verhindert einen seitlichen Lichteinfall durch die nur unvollständig von der Augenhöhle abgedeckte Sklera.

Die zehnte Schicht, das Pigmentepithel (*Stratum pigmentosum retinae*), bildet das einschichtige Außenblatt der Retina. Es enthält Melaningranula und reicht mit seinen Fortsätzen zwischen die Außenglieder der Photorezeptoren.

Die Trennung zwischen *pars caeca* und *pars optica* erfolgt anhand der *Ora serrata*, die auch den Übergang von *Choroidea* zu Ziliarkörper bildet. Das Pigmentepithel ist mit der *Choroidea* fest, mit dem *Stratum nervosum retinae* aber nur locker verbunden. Hier wird die Retina physiologischerweise durch den Glaskörper in einer relativ stabilen Lage fixiert. Zu Retinaablösungen (*Ablatio retinae*) kann es durch Änderungen der Druckverhältnisse kommen, indem diese beiden Schichten auseinanderweichen. Bei tagaktiven Vögeln enthält das Pigmentepithel reichlich Melaningranula, so dass Lichtstrahlen nach Durchtritt durch die lichtempfindliche Schicht der Retina resorbiert und streulichtbedingte Sehunschärfen verhindert werden (KORBEL 1994). Besonders Papageien, Finken, Tauben, Enten und Taggreifen haben einen relativ dunklen *Fundus oculi* aufgrund der starken Pigmentation, der die ophthalmoskopische Untersuchung erschwert.

Bei dämmerungs- (Kiwis) und insbesondere nachtaktiven Vogelspezies ist das Pigmentepithel nur schwach ausgebildet, so dass es bei der Betrachtung des *Fundus* zum Durchscheinen chorioidaler Gefäße kommt (PEARSON 1972). Diese geben dem Augenhintergrund ein tigerfellartig gestreiftes, sog. *tigroides* Aussehen (KORBEL 1994). Bei vielen Zoovogelspezies gibt es jedoch Abweichungen, z. B. schwach pigmentierter *Fundus* bei verschiedenen Pinguinspezies (KORBEL et al. 1997). Der Pigmentierungsgrad variiert allerdings spezies- und individualspezifisch erheblich und korreliert auch mit der Gefiederfarbe. Die Retina einiger nachtaktiven Schwalben (*Caprimulgiformes*) z. B. zeichnet sich durch ein diffus weiß reflektierendes *Tapetum* im Pigmentepithel des dorsalen *Fundus*bereichs aus (NICOL und ARNOTT 1974).

Die *Pars optica retinae* weist eine bei allen Wirbeltieren vergleichbare Schichtung aus drei dicht vernetzten Neuronen auf (NICKEL et al. 1992, REESE et al. 2001). Dieser retinale Abschnitt besitzt allerdings einige strukturelle vogelspezifische Besonderheiten, die für die besondere Leistungsfähigkeit der Augen vieler Vogelspezies mit verantwortlich sind. Eine Besonderheit ist die Dicke der Retina bei allen Vögeln, die aufgrund der großen Anzahl von Nervenzellen bereits in der Retina Assoziationen bilden, die beim Säugetier höheren nervalen Zentren vorbehalten sind.

So ist die Retina der Taube (*Columba livia* Gmel., 1789) wegen der starken Ausbildung der inneren Körner- und plexiformen Schicht, im Vergleich zu der des Menschen, zweimal so dick, was deutlich die enorme Sehleistung widerspiegelt (CAMPELL et al. 1962).

Vögel sind wie alle Vertebraten mit einer Retina duplex ausgestattet, d. h. sie besitzen sowohl Stäbchen als auch Zapfen (SCHULTZE 1867), wobei einfache und doppelte Zapfen beobachtet werden (HOFFMANN 1876-1877):

- Zapfenzellen für das Tag- und Farbsehen (photopisches Sehen)
- Stäbchenzellen für das Dämmerungs- und Nachtsehen (skotopisches Sehen)

Alle Photorezeptoren sind aus einem Außen- und einem Innensegment aufgebaut. Relativ große zylindrische Außensegmente sind für aviäre Stäbchen charakteristisch, während die der Zapfen kurz und konisch sind (SCHULTZE 1867).

Die Sehpigmente sind im Außensegment enthalten. Im Innensegment konzentrieren sich distal die Mitochondrien (KRAUSE 1894), während sich proximal (Myoid) die übrigen Organellen befinden. Das Myoid der Zapfen reagiert auf Lichteinfall mit Kontraktion, während das der Stäbchen relaxiert. Umgekehrte Verhältnisse herrschen bei Dunkelheit (MEYER 1986).

Die Verteilung von Stäbchen und Zapfen hängt von der jeweiligen Vogelspezies und deren Lebensgewohnheiten ab. Bei tagaktiven Vögeln dominieren die für das Farb- und Helligkeitssehen verantwortlichen Zapfenzellen, während Stäbchenzellen bei diesen Spezies in geringerer Zahl und nur peripher angeordnet sind (PUMPHREY 1948 b, OEHME 1961). Die Zapfendichte liegt bei einigen Taggreifen höher als beim Menschen, des Weiteren bewirkt eine nur geringe Zahl von Zapfenzellen pro ableitender Nervenzelle eine hohe Sehschärfe (KING und McLELLAND 1984).

Bei nachtaktiven Spezies sind die für das nichtfarbige Dämmerungssehen zuständigen und wesentlich lichtempfindlicheren Stäbchen in der Überzahl.

Die höhere Lichtempfindlichkeit der Retina von Eulen im Gegensatz zu den Taggreifvögeln ist durch den hohen Anteil von Stäbchen (bis 90 %) an den Photorezeptoren bedingt, wobei mehr als tausend Stäbchen mit einer bipolaren Nervenzelle verschaltet sind (hohe Konvergenz). Des Weiteren sind die schlanken Stäbchen um das 4-8-fache dichter gepackt (BOWMAKER und MARTIN 1978).

Als Besonderheit der aviären Retina - und einiger Fische, Amphibien, Reptilien und Kängurus - ist das Vorhandensein von farbigen Öltröpfchen in den Zapfenzellen, die chromatische Filterfunktion besitzen. Jeder Öltröpfchen besteht aus einem oder mehreren karotinoiden Pigmenten, die in einer Mischung von Lipiden gelöst sind (MEYER 1986). Es werden mindestens fünf Typen unterschieden, die speziesspezifische unterschiedliche Absorptionsmaxima aufweisen. Zusätzliche farblose Öltröpfchen werden mit der Fähigkeit ultraviolettes Licht zu sehen in Verbindung gebracht. Die für das nichtfarbige Dämmerungssehen zuständigen und wesentlich lichtempfindlicheren Stäbchen enthalten Sehpurpur (Rhodopsin), das sein Absorptionsmaximum im Bereich zwischen 490 und 506 nm, d. h. im blauempfindlichen Bereich, besitzt (CRESCITELLI et al. 1964, SILLMANN 1969, BOWMAKER 1977). Diese Besonderheit ermöglicht den Vögeln ein tetrachromatisches, teilweise auch pentachromatisches Sehen (s. a. Leistungsfähigkeit).

Bei allen Vertebraten treten an einigen Stellen der Retina zirkuläre oder ovale, leicht erhabene Regionen auf (FRANZ 1934, WALLS 1942). In diesen als *Areae retinae* bezeichneten Bereichen sind die Zapfenzellen dünner, länger und besonders dicht angeordnet und haben damit ein besonders hohes Auflösungsvermögen. In diesen Regionen herrscht ein Verhältnis von Rezeptorzellen zu ableitenden Nervenzellen bis zum Optimum von 1:1. Eine weitere Verstärkung der Sehschärfe wird in diesem Bereich durch periphere Verdrängung der im Lichtweg liegenden Neuronen erreicht, so dass flache bis trichterförmige Einziehungen entstehen (PUMPHREY 1948 a). Diese zentrale Eindellung der Area wird als *Fovea retinae* bezeichnet. Lage und Form der verschiedenen *Areae* und *Foveae* variiert speziesspezifisch stark. Die *Fovea centralis* soll dem monokularen Sehen und der Fixierung entfernter Objekte dienen, während die temporale *Fovea* für die Wahrnehmung naher Objekte und binokulares, stereoskopisches Sehen verantwortlich ist (DUKE-ELDER 1958). Nach Untersuchungen von (WOOD 1917 und DUIJM 1958) treten bei Vogelaugen hauptsächlich drei Varianten von *Area-Fovea-Kombinationen* auf. Die meisten Vogelspezies, darunter viele Körnerfresser, besitzen lediglich eine einzelne *Area* (*Area centralis rotunda*), die mit einer flachen *Fovea centralis* ausgestattet sein kann (excl. Galliformes). Sie befindet sich auf der visuellen Achse, die die Stelle des schärfsten monokularen Sehens darstellt.

Bei vielen Wasser- und Ufervögeln ist die Area und gelegentlich die Fovea zu einem horizontalen Streifen modifiziert (Area centralis horizontalis mit einer Fovea centralis). Diese Area ermöglicht den Tieren, sich am Horizont bewegende Objekte über einen großen Radius scharf zu sehen (PUMPHREY 1948 b).

Vögel, die bei ihrer Nahrungssuche Entfernung und/oder Geschwindigkeit eines Objektes genau einschätzen müssen (viele Taggreife, Schwalben, Kolibris), besitzen zwei Areae, die eine Optimierung sowohl der mon- als auch binokularen Nahsicht ermöglicht (MARTIN 1985). Die zentrale Area liegt in diesem Fall nahe der Sehachse und ist gekennzeichnet durch eine tief eingezogene Fovea. Sie dient der monokularen Fernsicht. Die zweite - Fovea temporalis - besitzt eine flache Fovea, die so ausgerichtet ist, dass ein nahe liegendes Objekt binokular abgebildet wird und ein stereoskopes Bild entsteht (binokulare Nahsicht) (PUMPREY 1948b, 1961). So können gleichzeitig 3 Punkte fixiert werden. Eulen dagegen besitzen nur eine Area temporalis.

Die Netzhaut der Vögel ist im Gegensatz zu den meisten Säugetierarten (excl. Biber Chinchilla, Nashörner) avaskulär. Sie wird dementsprechend als anangiotische Retina bezeichnet (de SCHAEPPDRILVER et al. 1989). Die Nährstoffversorgung erfolgt stattdessen aus dem Kapillarnetz der Lamina choroidopapillaris und dem Pecten (MARTIN 1985, PETTIGREW et al. 1990).

#### **2.2.3.4 Augenkammer (Camera bulbi) und Kammerwasser (Humor aquosus)**

Die vordere Augenkammer (Camera anterior bulbi) wird von der Hinterfläche der Kornea, dem iridokornealen Winkel und der Vorderfläche der Iris begrenzt. Die Größe variiert abhängig von der Gestalt des Bulbus und vom Krümmungsradius der Kornea. So finden sich zum Beispiel bei Wasservögeln extrem flache und bei Eulenvögeln extrem tiefe vordere Augenkammern.

Die hintere Augenkammer (Camera posterior bulbi) liegt zwischen Irishinterfläche, Ziliarkörper und Linse. Sie ist im Gegensatz zu den Säugetieren beim Vogel sehr klein, da die Linse sich weit nach peripher erstreckt und Ziliarkörper und Iris sich fast berühren (FREWEIN und SINOWATZ 1992).

Die Augenkammern sind mit dem Kammerwasser, ein Ultrafiltrat aus dem Plasma gefüllt, das kontinuierlich von den Ziliarkörperepithelzellen durch Diffusion,

Ultrafiltration und aktive Sekretion produziert wird. Es handelt sich um eine klare, schwach hyperosmolare und geringgradig azidotische Flüssigkeit, die Dank ihrer wasserähnlichen Beschaffenheit ein ideales optisches Medium ist. Eulen besitzen meist durch Sekretion muköser Substanzen vom hinteren Korneaepithel ein dickflüssiges fadenziehendes Kammerwasser, weshalb sich die Gewinnung von Kammerwasser mittels Parazentese bei dieser Spezies schwierig gestaltet.

Die Aufgabe des Kammerwassers besteht in der Versorgung der Linse, der Hornhaut und des trabekulären Maschenwerks mit nutritiven Substanzen und der Beseitigung von deren Abfallprodukten (RENEWICK 1993). Der Fluss von Kammerwasser aus dem Ziliarkörper wird durch eine energieabhängige metabolische Pumpe und durch das Gegenüberstehen eines energieunabhängigen hydrostatischen Druckgradienten gegen einen osmotischen Druckgradienten bewirkt (BROOKS 1990).

Es fließt über die Pupille aus der hinteren in die vordere Augenkammer (Camera anterior bulbi), wo die Zirkulation des Kammerwassers durch Temperaturdifferenzen zwischen Iris und Kornea, die zu thermalen Konvektionsströmen führen, aufrecht erhalten wird. Von dort kann es den weiten Kammerwinkel durch das Lig. Pectinatum in die Fontana-Räume (Spatia anguli iridocornealis) des Ziliarspaltes (Sinus ciliocleralis) abfließen.

Von hier diffundiert es in den weiten, meist zweigeteilten Plexus venosus sclera, der bei Vögeln wesentlich oberflächlicher in der Sklera liegt als bei den Haussäugetieren. Außer diesem Hauptabfluss gibt es noch einen uveoskleralen durch das Irisgewebe hindurch, sowie die Möglichkeit der Diffusion über Ziliarkörper, Iris, Hornhaut und Glaskörper (SAMUELSON 1991).

## **2.2.4 Linse und Glaskörper**

### **2.2.4.1 Die Linse**

Die Linse ist ein durchsichtiger, absolut klarer bikonvexer Körper epithelialen Ursprungs. Sie besteht bei Vögeln aus der Linsenkapsel, dem Ringwulst, der Linsenkammer und dem Zentralkörper (RAVELHOFER 1996) und liegt zwischen Iris und Glaskörper.

Die Linsenkapsel (*Capsula lentis*), ein Derivat der Basalmembran, bildet eine semipermeable Barriere. Nährstoffe diffundieren z. B. aus dem Kammerwasser und Glaskörper (MARTIN 1995) in den Linsenkern und gleichzeitig wird der Kontakt von Linseneiweiß mit dem Immunsystem des Körpers verhindert. Bei Freisetzung würde dieses als körperfremd erkannt werden und könnte eine phakogene Uveitis (*Endophthalmitis phacoanaphylactica*) induzieren.

Die Linse ist im Gegensatz zu den Verhältnissen beim Säugetierauge am Äquator (*Equator lentis*) innig mit den Ziliarfortsätzen verbunden, deren Spitzen sogar fest mit der Linsenkapsel verwachsen sind. Durch diesen engen Kontakt zum Ziliarkörper, aber auch durch die vergleichsweise weiche Beschaffenheit der aviären Linse wird die aktive lentikuläre Akkomodation ermöglicht (WALLS 1942). Bei Tauchvögeln, für die die lentikuläre Akkomodation von entscheidender Bedeutung ist, ist die Linse besonders weich und kann während der Akkomodation pilzstielartig bis in die Pupillenöffnung vorragen (LEVY und SIVAK 1980), während Eulen, die fast ausschließlich korneal akkomodieren, eine relativ harte Linse besitzen.

Unter der Linsenkapsel liegt ein einschichtiges Epithel, dessen Länge zum Linsenäquator (*Equator lentis*) zunimmt, sechseckige, radiär zur Linsenachse gerichtete Prismen bildet und sich schließlich zu dem für die Linse des Vogelauges typischen, den Linsenäquator gürtelförmig umgebenden Ringwulst (*Pulvinus anularis lentis*) zusammenschließt (SLONAKER 1918, FREWEIN und SINOWATZ 1992).

Die Bedeutung des Ringwulstes ist noch unklar. Ausgeschlossen wird eine Funktion im optischen System. Bei schnell fliegenden Vögeln, insbesondere Taggreifvögeln und Tauben, ist der Ringwulst besonders breit, während er bei tauchenden, nachtaktiven und Laufvögeln schwächer entwickelt ist (DUKE-ELDER 1958). Auffällig schmal ist der Ringwulst auch bei Psittaziden. Vermutet wird daher eine wichtige Funktion für die Schnelligkeit der lentikulären Akkomodation.

Dem Ringwulst dürfte auch eine nutritive Funktion zukommen, da seine Fasern eine muköse Flüssigkeit in die Linsenbläschen (RAVELHOFER 1996) sezernieren, wo diese Flüssigkeit vom Linsenkern (*Corpus centrale lentis*) resorbiert wird. Die Nährstoffversorgung der Linse erfolgt also nicht nur über die Kapsel, sondern auch über die Linsenlamelle (SLONAKER 1918). Möglicherweise erklärt dies bessere Stoffwechselbedingungen und die dadurch verminderte Häufung altersbedingter Kataraktbildungen, wie bei Menschen, Hund und Katze (DUKE-ELDER 1958). Ihre Form ist bei vielen tagaktiven Vögeln abgeflacht und ellipsoid, bei Wasservögeln und



nachtaktiven Vögeln sphärisch und damit von höherer Brechkraft (DUKE-ELDER 1958). Bei Nesthockern ist zu beachten, dass sie in der Nestlingsperiode opak ist und erst mit dem Flüge werden klar wird, was v. a. bei der ophthalmologischen Untersuchung berücksichtigt werden muss. Die Trübung des Linsenkerns wird auf einen Überreichtum an Glykogen zurückgeführt und verschwindet etwa bei Eulenvögeln im Alter von ca. 4-6 Wochen. Dies darf nicht mit einer pathologischen Kataraktformation verwechselt werden (LO et al. 1993, KORBEL 1994). Nestflüchter, z. B. Hühnervögel, besitzen dagegen ab dem ersten Lebenstag ein ungetrübtes Sehvermögen (MARTIN 1985).

Von großer Bedeutung ist die Durchlässigkeit von Linsen zahlreicher Vogelspezies für ultraviolette Strahlung im Gegensatz zum Gelbfiltereffekt von Primatenlinsen. So ist die Voraussetzung für die Wahrnehmung von UV-Strahlung bei den meisten Vögeln gegeben (KING und McLELLAND 1984).

#### **2.2.4.2 Glaskörper (Corpus vitreum)**

Der Glaskörper füllt den hinter Linse und Ziliarkörper liegenden Bulbusinnenraum (Camera vitrea bulbi) aus. Der Glaskörper ist gefäßlos und besteht als gelförmige, transparente extrazelluläre Substanz zu 99% aus Wasser (Humor vitreus), die in ein feines Kollagenfibrillengerüst eingebettet ist (FREWEIN und SINOWATZ 1992). Aufgrund der Kollagenfibrillen (Stroma vitreum) kann der Augeninnendruck und damit gleichzeitig die Lage der Retina stabilisiert werden. Jede Lageveränderung oder Erkrankungen des Glaskörpers kann zu einer partiellen oder vollständigen Retinaablösung (Ablatio retinae) führen (KORBEL 1994).

An der Glaskörpergrenzmembran (Membrana vitrea) sind die Fibrillen verflochten und fixieren den Glaskörper an der Pectenbasis, der Pectenbrücke und am Ziliarkörper (SLONAKER 1918). Der Glaskörper ist im Vergleich zu vielen Säugetierarten von einer relativ dünnflüssigen Konsistenz, wodurch die Diffusion von Nährstoffen vom Pecten oculi zur Retina erleichtert wird und die unterstützenden schwingenden Bewegungen des Augenfächers ermöglicht werden.

### 2.2.5 Augenfächer (Pecten oculi)

Der Augenfächer oder Augenkamm, als herausragende Eigenart des Vogelauges, ragt über der ovalen Eintrittsstelle des Nervus opticus in den Glaskörper. Es handelt sich um eine choroidale, der Eintrittsstelle des N. opticus aufsitzende Projektion in den Glaskörper, die gliales Stützgewebe enthält, von einem dichten Netz aus Kapillaren durchzogen wird und bei den meisten Vogelspezies schwarz oder braun pigmentiert ist (KORBEL 1997 a). Nach Untersuchungen von RAVELHOFER (1996) erreicht der Augenfächer von Mäusebussarden (*Buteo buteo* L., 1758) durchschnittlich eine Länge von 11,25 mm und eine Höhe von 6,17 mm. Seiner Form nach lassen sich drei Typen unterscheiden:

- der Faltentyp (*Pecten plicatus oculi*)
- der Flügel- oder Fahnentyp (*Pecten vanellus oculi*)
- der Konustyp (*Pecten conicus oculi*)

Darüber hinaus wird eine Vielzahl von Variationen beschrieben.

Der **Faltentyp** ist aus eng aneinander liegenden vertikalen Falten aufgebaut, die an ihrer Spitze durch die Pektenbrücke (*Pons pectinis*) verwachsen sind. Diesen Typ findet man bei den Kielbrustvögeln (*Carinata*). Der Augenfächer von Eulenvögeln ist grundsätzlich kleiner als bei tagaktiven Spezies und weist eine geringere Faltenzahl auf. Der Augenfächer der Falkenvögel zeichnet sich unter anderem durch einen mehrgliedrigen dorsotemporalen Ausläufer aus, während dieser bei den *Accipitriformes* (u.a. Bussarde) und Adlern spitz bzw. rund ausläuft.

Beim **Flügel- oder Fahnentyp** sind 25 bis 30 vertikale Flügel an einer zentralen Fahne befestigt. Diesen Typ findet man bei Flachbrustvögeln (*Ratitae*) wie Strauß, Emu und Nandu.

Nur beim Kiwi liegt ein ungegliederter Augenfächer vom **Konustyp** vor. Er ist weder mit Falten noch Flügeln besetzt. Eine ähnliche Struktur findet sich nur als so genannter *Conus papillaris* im Auge vieler Reptilienarten (FRANZ 1934) und zeigt somit die phylogenetische Verwandtschaft der Sauropsiden.

Inzwischen weiß man, dass der Pekten für das *Corpus vitreum* und die avaskuläre Retina eine nutritive Funktion besitzt (KORBEL R, 2000 d). Gestützt wird diese Theorie durch die besondere Beschaffenheit der Kapillarendothelien des Pekten, die für einen ständigen aktiven transepithelialen Stofftransport sorgen. Der Übertritt von Stoffen aus den Kapillaren des *Pecten oculi* in den Glaskörper lässt sich eindrucksvoll

ophthalmoskopisch bzw. fluoreszenzangiographisch verfolgen, wenn in die Blutbahn injizierte Farbstoffe innerhalb von Sekunden über den Pecten in den Glaskörper katapultiert werden (KORBEL und NELL 2001). Die Verteilung im Glaskörper erfolgt durch rhythmische Kontraktionen der extraokularen Augenmuskeln, die oszillatorische Augenbewegungen und ein passives Nachschwingen des Augenfächers zur Folge haben. Sie sind äußerlich kaum sichtbar, jedoch palpatorisch und ophthalmoskopisch sehr gut darstellbar (KORBEL 1997 b). Die Frequenz dieser Augenbewegungen beträgt artspezifisch und erregungsabhängig zwischen 5/min und 35/min (KORBEL 1994).

## **2.2.6 Blutgefäße und Nerven**

### **2.2.6.1 Innervation des Auges / Sehnerv (Nervus opticus)**

Die sensible und motorische Innervation erfolgt über den N. oculomotorius, den N. trochlearis, N. ophthalmicus, N. trigeminus, N. abducens und den N. facialis. Die sensorische Innervation der Netzhaut erfolgt durch den N. opticus. Die Neuriten des Stratum ganglionare sammeln sich an der Sehnervpapille, ziehen durch die Sklera und sammeln sich zum Nervus opticus. Die ovale Eintrittsstelle des Nervus opticus in die Retina wird größtenteils durch den Augenfächer (pecten oculi) abgedeckt und ist daher ophthalmoskopisch nur als schmaler, weiß-gelber Saum an der Basis des Pecten zu erkennen. Bei einigen Vogelspezies findet sich an der Eintrittsstelle ein knorpeliges oder knöchiges Gebilde von hufeisenförmiger bis rundlicher Gestalt, das Os nervi optici, dem schützende Funktion für den empfindlichen Sehnerv zukommen soll (DUKE-ELDER 1958).

Als vogelspezifische Besonderheit kreuzen alle Fasern der beiden Nervi optici im Chiasma opticum die Seiten, wodurch bei Vögeln keine konsensuelle Pupillenreaktion gegeben ist (GREENWOOD und BARNETT 1981, STARCK 1982). Die daraus hervorgehenden Nervi optici ziehen als Tractus optici weiter in Richtung Mittelhirn (Mesencephalon). Hier werden akustische, vestibuläre und optische Erregungen koordiniert und Flucht- und Abwehrbewegungen gesteuert (FREWEIN 1992). Die Formatio reticularis entspricht in ihrer Funktion dem Großhirn der Säugetiere. In seinem Verlauf vom Schädelaustritt zum Augapfel weist der Sehnerv mit seinen

Scheiden aus weicher und harter Hirnhaut nur eine geringe, bei Vögeln mit nahezu unbeweglichen Augen (z.B. Eulenvögeln) überhaupt keine Überlänge auf.

Eine weitere Besonderheit ist das Vorhandensein von efferenten Nervenfasern aus dem Nucleus isthmo-opticus im Mesencephalon. Sie bewirken eine Steigerung der Sehempfindlichkeit und der Sehleistung.

#### **2.2.6.2 Blutgefäße des Auges**

Die Hauptblutversorgung des Augapfels erfolgt über die A. ophthalmica externa, die aus der A. carotis interna hervorgeht und ventrotemporal in der Orbita in ein Rete mirabile ophthalmicum mündet. Dieses ist von klinisch größerem Interesse, da es intraoperativ die Quelle ausgedehnter Blutungen sein kann. Aus diesem geht als stärkster Ast die A. ophthalmotemporalis hervor, die mit einer Vielzahl von Ästen die verschiedenen Abschnitte des Augapfels mit seinen Hilfsorganen, wie die Bulbusmuskeln, den Ziliarkörper, den Pekten oculi oder die Nickhaut bedient. Aus ihr gehen auch die Gefäße zur Versorgung der Lamina choriocapillaris hervor:

Der Augapfel wird medial mit Blut durch die A. ciliaris posterior longa nasalis versorgt, während die A. ciliaris posterior longa temporalis einen kleineren lateralen Abschnitt des Bulbus oculi versorgt. Die Aa. ciliares posteriores breves dringen um den Sehnerv in den Bulbus oculi ein und versorgen hier die Choroidea direkt. Die Aa. ciliares posteriores longae teilen sich dagegen in eine Vielzahl von Aa. parallelae choroideae, die dorsal und ventral Richtung Ziliarkörper durch die gesamte Lamina vasculosa choroidei ziehen und in ihrem Verlauf Zweige in die Lamina choriocapillaris abgeben.

Der Pekten oculi wird über einen eigenständigen Ast der A. ophthalmotemporalis, den A. pectinis oculi, versorgt.

Der venöse Abfluss aus der Choroidea erfolgt über Venen, die großteils parallel zu den genannten Arterien verlaufen und ihnen entsprechend benannt sind.

## **2.3 Leistungsfähigkeit des Vogelauges**

Das Auge ist für Vögel das wichtigste, durch andere Sinnesleistungen nicht ersetzbares Sinnesorgan. Die Leistungsfähigkeit übertrifft nicht einheitlich die des Säugetierauges, es ist jedoch eine starke Spezialisierung und Anpassung an die jeweiligen Lebensverhältnisse zu beobachten. Dies wird anhand einiger Beispiele deutlich, die auch von klinischer Bedeutung sind.

Die Spezialisierung reicht von einem gesteigerten räumlichen Auflösungsvermögen und einer wesentlich höheren Flickerfusionsfrequenz (maximale Auflösung einer Bildabfolge in Einzelbilder), als dies beim Säuger der Fall ist (KORBEL 1991 a), bis zu einer stark in den UV-Bereich erweiterten Sensitivität (BURKHARD 1989). Diese Fähigkeiten finden ihren Ausdruck z. B. in der unterschiedlichen anatomischen Ausbildung des Auges.

1. Verschiedene Bulbusformen
2. Ausbildung eines Skleralringes zur Sicherung der Formbeständigkeit
3. Querstreifung der Binnenmuskulatur des Auges zur Erhöhung von Akkomodations- und Adaptationsgeschwindigkeit
4. Ausbildung eines Pekten oculi
5. Gefäßlose transparente Retina mit Areae und bei den meisten Vögeln mit myoptischen (Fovea temporalis, binokulare Nahsicht) und hyperoptischen (Fovea centralis, Panorama- und Fernsicht) Bereichen.

### **2.3.1 Akkomodationsbreite**

Schon seit Anfang des 19. Jahrhunderts weichen die Ansichten über die Akkomodation, das Einstellen der Linse auf Nah- oder Weitsehen, sehr stark voneinander ab. Dies liegt u. a. an der Kombination unterschiedlicher Mechanismen und daran, dass nicht alle Vögel gleich akkomodieren (GLASSER und HOWLAND 1996). Allgemein ist jedoch die Akkomodation bei Vögeln besser ausgebildet als bei allen anderen Vertebraten. Insbesondere sind die Akkomodationsgeschwindigkeit und der Refraktionsbereich bei ihnen größer (BEZZEL und PRINZINGER 1990). Dies ist u. a. durch die Querstreifung der Binnenmuskulatur und die Verformbarkeit der Linse zu erklären.

Bei Vögeln bedeutet Akkommodation immer eine Nahadaptation (MEYER 1977), da das Auge in Ruhe abgeflacht und auf Fernsicht eingestellt ist (BEZZEL und PRINZINGER 1990).

Während das Hundeauge rund drei Dioptrien (D) (WALDE et al 1997), das Menschaugenauge etwa 10 D Akkomodationsbreite aufweist (SACHSENWEGER 1980), liegt die akkomodative Breite bei nachtaktiven Vogelspezies zwischen 0,6 bis 10 D, bei der Eule z. B. bei 2 bis 4 D (MURPHY und HOWLAND 1983) und bei tagaktiven Spezies bei ca. 30 bis 80 D (Mäusebussard z. B. bei 30 bis 50 D) (MEYER 1986, PUMPHREY 1948 b). Am höchsten ist sie bei einigen Wasservögeln wie Tauchenten, Pinguinen und Kormoranen (*Phalacrocorax carbo* L., 1758) mit 70 D bis 80 D (SIVAK et al. 1985). Hier dient die große Akkomodationsbreite als Ausgleich für den Refraktionsfehler bei der Unterwassersicht.

Modifizierte Verhältnisse finden sich z. B. bei Pinguinen, die gleichzeitig durch unterschiedliche Brechkraft des dioptrischen Apparates im oberen Bereich weitsichtig (zur Kontrolle der Wasseroberfläche) und im unteren Bereich kurzsichtig (zur Erkennung von Beutetieren und Fressfeinden) sind (KORBEL 1997 a). Seeschwalben dagegen sind unter Wasser weitsichtig. Sie können ihre Beute aus der Luft zwar gut anvisieren, verfehlen sie unter Wasser aber häufig (KING und McLELLAND 1984). Kormorane können sowohl unter als auch über Wasser scharf sehen.

Neben der lentikulären Akkommodation wurde beim Vogel auch über einen kornealen (SCHAEFFEL und HOWLAND 1987), einen iridalen (LEVY und SIVAK 1980) und einen retinalen Mechanismus (MARTIN 1985) berichtet.

Korneale und lentikuläre Akkomodation werden durch Bewegungen der Ziliarmuskulatur induziert, die bei Vögeln größtenteils quergestreift und damit willkürlich beeinflussbar ist (FRANZ 1934). Die Kornea agiert an der Luft wie eine Linse und stellt damit einen wichtigen Teil des dioptrischen Apparates dar. Unter Wasser ist dies nicht möglich, da die Kornea fast den gleichen Brechungsindex wie das Wasser besitzt (KING und McLELLAND 1984). Eine korneale Akkomodation spielt v. a. bei Eulen und Taggreifvögeln eine Rolle. Bei diesen Vogelspezies ist der hintere Ziliarmuskel relativ schwach ausgebildet. Die Akkomodation wird hauptsächlich durch den vorderen Ziliarmuskel bewerkstelligt, der an der Kornea und Sklera ansetzt und dazu führt, dass sich die Kornea im Zentrum stärker krümmt. Aus diesem Grund sind bei Greifvögeln Verletzungen der Hornhaut besonders ernst zu nehmen, da nicht nur u. a. der Lichteinfall, sondern auch die Fähigkeit zur

Akkommodation beeinträchtigt werden kann (REESE et al. 1998 a).

Die lentikuläre Akkommodation, die v. a. für Tauchvögel von Bedeutung ist, wird durch die weiche Beschaffenheit der Linse und den engen Kontakt zum Ziliarkörper ermöglicht. Das Corpus ciliare wird durch den hinteren Ziliarmuskel gegen die Linse gedrückt, wodurch die Krümmung aktiv verstärkt wird.

Unter retinaler Krümmungsänderung wird die Bewegung glatter oder quergestreifter Muskelzüge innerhalb der Choroidea verstanden (WALLS 1942).

Bei einigen Vögeln sind lentikuläre und korneale Akkommodation miteinander kombiniert, wie bei den Hühnervögeln, bei denen 9 Dioptrien der gesamten Akkomodationsbreite (15 bis 17 D) mittels kornealer Akkommodation zustande gebracht werden (GLASSER et al 1994).

### **2.3.2 Sehschärfe**

Die Sehschärfe im Bereich der Area centralis, mit dem höchsten Auflösungsvermögen, ist bei Vogel und Mensch annähernd gleich. Allerdings besitzt die Retina der Vögel, v. a. die der Greifvögel, eine höhere Zapfendichte und eine homogenere Verteilung als die des Menschen. Die höhere Zapfendichte der Retina bewirkt z. B. beim Buntfalken (*Tinnunculus sparverius* L., 1758) bzw. Mäusebussard ein vier- bis sechsmal höheres Auflösungsvermögen als beim Mensch und Säuger, was zur Erkennung von kleinen Beutetieren aus großer Höhe nützlich ist. Geier z. B. erkennen Objekte von Mausgröße aus einer Höhe von 2000 m (ANDISON et al. 1992).

Die Vogelretina hat annähernd die Form eines Parabolspiegels. Dies bedeutet, dass sie nahe am Brennpunkt für alle Richtungen des einfallenden Lichts liegt (RAVELHOFER 1996). Das aviäre Blickfeld ist daher in allen Bereichen gleichmäßig scharf und farbig (BEZZEL und PRINZINGER 1990) und nicht wie beim Menschen auf eine Zone besten Sehens in der optischen Achse beschränkt (KING-SMITH 1971).

### 2.3.3 Detektion von Bewegungen

Auch die Fähigkeit zur Detektion von Bewegungen ist hoch entwickelt, was während des Fluges zum Erspähen der Beute und potentieller Fressfeinde von Bedeutung ist (WALLS 1942). Haustauben erkennen z. B. noch eine Folge von 150 Bildern pro Sekunde (DODT und WIRTH 1953) und weisen damit eine der höchsten Flickerfusionsfrequenzen aller Wirbeltiere auf (BERNDT und MEISE 1959-66). Das hohe Auflösungsvermögen eines Bewegungsablaufes hilft der optischen Fixierung schnell fliegender Beutetiere (z. B. bei der Jagd von Baumfalken – im Jagdflug 320 km/h auf Mauersegler). Die Auflösungsgrenze des Menschen liegt bei 10 bis 80 Bildern pro Sekunde in Abhängigkeit von Lichtintensität und Bildkontrast (SZÖLGYENYI et al. 2000).

Daneben können Vögel auch extrem langsame Bewegungsänderungen verfolgen. Eine Taube ist z. B. in der Lage Bewegungen eines Objekts um nur 15° pro Stunde zu erkennen (MEYER 1964), was zum Beispiel die Kontrolle der Sonnenbewegung ermöglicht und damit als Orientierungshilfe dienen könnte (BEZZEL und PRINZINGER 1990). Außerdem erleichtert dies das Erkennen sich anschleichender Fressfeinde, z. B. Katzen.

Probleme ergeben sich hieraus bei der Haltung von Ziervögeln und Wirtschaftsgeflügel unter konventionellen Leuchtstoffröhren. In Europa besitzen diese in Abhängigkeit von der Wechselspannung standardmäßig eine Flickerfrequenz von 100Hz, in Amerika von 120Hz, was für das menschliche Auge nicht zu erkennen ist (KORBEL et al. 2002 a). Bei Vögeln muss aufgrund der höheren Flickerfusionsfrequenz von einer Wahrnehmung als permanentes Flackerlicht ausgegangen werden. Elektroretinographische Untersuchungen am Auge des Haushuhnes beweisen, dass dieses das Flackern als Stroboskopeffekt wahrnimmt (KORBEL et al. 2002 a). Dies kann zu tierschutzrechtlichen Verhaltensstörungen (Kannibalismus, Federzupfen) führen. Daher ist flackerfreies Licht etwas durch Verwendung elektrischer Gleichrichter oder HF Neonröhren (dimable, longer life time) in der Vogelhaltung unbedingt zu empfehlen. Des Weiteren sollten Vögel nicht vor den Fernseher oder PC gesetzt werden.



### 2.3.4 Gesichtsfeld

Der Ausschnitt der Umgebung, den ein unbewegtes Auge bei fixiertem Kopf sieht, heißt Gesichtsfeld (SILBERNAGEL et al. 1991). Das Gesichtsfeld wird durch die Stellung der Augen bestimmt. Je weiter lateral sich die Augen am Kopf befinden, desto größer ist das Gesichtsfeld, desto geringer ist aber auch die Möglichkeit des dreidimensionalen Sehens. Die Lage der Augen und das hiervon abhängige mono- bzw. binokulare Gesichtsfeld zeigen klare Abhängigkeiten von der spezifischen Lebensweise (KORBEL 1997 a). Der größte Teil des Gesichtsfeldes ist aufgrund der lateral angeordneten Augen bei den meisten Vögeln monokular, das zwar eine gute Übersicht der Umwelt liefert, jedoch mit einer Einschränkung des räumlichen Sehens einhergeht. Bei Vögeln mit weit lateral positionierten Augen kann das räumliche Sehvermögen durch Kopfnicken (Hühnervögel) oder durch Augenbewegungen (Papageien) verbessert werden, da so das Objekt aus verschiedenen Seh winkeln betrachtet werden kann (PUMPHREY 1961, KORBEL 1994).

Lateral positionierte Augen finden sich bei fast allen Beutetieren, die Gefahren durch Fressfeinde über ein möglichst großes Gesichtsfeld erfassen müssen (KORBEL 1997 a). Eine gewisse Stereopsis ist durch konvergente Augenbewegungen und den asymmetrischen Aufbau des Bulbus auch bei Vögeln mit lateral ausgerichteten Augen und fovealoser Retina gegeben (HOLDEN und LOW 1989).

Die meisten Vögel weisen ein binokulares Sehfeld von 25° auf, Tauben von durchschnittlich 30° (NALBACH et al. 1990), Papageien von nur 6 bis 10°, Taggreifvögel hingegen von 35 bis 50°. Eulen haben jedoch eines von 60° bis 70°. Dabei werden die Augen oft als frontal gerichtet beschrieben, zeigen aber in ihren optischen Achsen eine Konvergenz von 55° zur anatomischen Medianen und sind somit nicht völlig binokular (MARTIN 1984). Einschränkungen des panoramischen Seh winkels bei stark frontal gelegenen Augen (z. B. bei Eulenvögeln) werden durch eine große Beweglichkeit des Kopfes bzw. Halses ausgeglichen (KORBEL 1994).

Brillenpinguine besitzen kein stereoskopisches Sehfeld. Dafür beträgt das Gesichtsfeld 340°, bei der Haustaube 300° und bei der Waldschnepfe 360°. Ein solch großes, auch als Panoramablick bezeichnetes Gesichtsfeld (WALDVOGEL 1990), ermöglicht eine bewegungslose Betrachtung der Umwelt und damit einen gewissen Schutz vor Beutegreifern (MARTIN 1985). Der Mensch hat ein Gesichtsfeld von ca. 45° bis 55°.

### 2.3.5 Hell-Dunkel-Adaptation

Im Gegensatz zum Säugetier kann die Adaptation an unterschiedliche Lichtverhältnisse beim Vogel wesentlich schneller vonstatten gehen, da durch die quergestreifte Muskulatur der Iris die Pupillengröße willkürlich steuerbar ist. Beim Menschen zum Beispiel liegt das Optimum, sich an ein dunkles Umfeld anzupassen, bei ca. 30 Minuten (SILBERNAGEL et al. 1991). Zusätzlich können Vögel und einige Amphibien das auf die Nervenzellen treffende Licht durch eine weitere Möglichkeit regulieren. Zwischen den lichtempfindlichen Spitzen der Nervenzellen liegen mit Fortsätzen besetzte Zellen des Pigmentepithels der Retina. In diesen Fortsätzen wandert bei der Hell-Dunkel-Adaptation das Pigment nach innen und schirmt die Rezeptorzellen ab (KING und McLELLAND 1984).

### 2.3.6 Farbsehen

Die Frage, ob Vögel Farben sehen, wurde schon frühzeitig diskutiert (HESS 1907, LASHLEY 1916, BAILEY und RILEY 1931, WALD und ZUSSMAN 1938) und man ging lange davon aus, dass sich die photopische Sensitivität der Vögel nicht von der des Menschen unterscheiden würde (PUMPHREY 1948 b). Aber das Farbsehen des Vogels ist ebenfalls anders als bei den übrigen Vertebraten. Die rezeptorischen Zapfenzellen sind bis in den Randbereich der Pars optica retinae ausgebildet. Beim Menschen sind Zapfen bekannt, die ihr Empfindlichkeitsmaximum im Wellenbereich von 560 nm (rot), 530 nm (grün) und 430 nm (blau) besitzen. Über Komplementäreffekte sind verschiedene Mischungen dieser Farben wahrnehmbar (HUMMEL 2000). Bei Vögeln geht das Farbsehen über diese trichromatische Empfindlichkeit hinaus. Sie zeichnen sich durch eine Tetrachromasie, evtl. auch Pentachromasie aus, wobei große interspezifische Unterschiede beobachtet wurden (BEZZEL und PRINZINGER 1990). Generell liegt das Absorptionsmaximum im Bereich von 570 nm (rot), 510 nm (grün), 480 nm (blaugrün), 450 (blau) und 370 nm für ultraviolette Strahlung. Beim Hund konnte auf Netzhautebene eine Trichromasie belegt werden (WALDE et al. 1997), während bei der Katze und auch bei nachtaktiven Vogelspezies, die beide v. a. im skotopischen Bereich empfindlich sind, ebenfalls ein mindestens dichromatisches bzw. trichromatisches Sehvermögen nachgewiesen wurde (WALDE et al. 1997, MARTIN 1974).

### 2.3.7 UV-Perzeption

Die spektrale Perzeption umfasst bei Vögeln einen Lichtwellenlängenbereich von 320 nm bis 680 nm. Dies bedeutet, dass Vögel neben den für das menschliche Auge wahrnehmbaren Grundfarben Rot, Blau und Grün sog. Schillerfarben und ultraviolettes Licht wahrnehmen. Sie können im Gegensatz zum Menschen (400-680 nm) auch im UV-Bereich (280 bis 400 nm) sehen (MAIER 1994). Dies wird u. a. durch elektroretinographische Untersuchungen belegt (KORBEL et al. 2002 a). Ursächlich ist diese Fähigkeit an die UV-Durchlässigkeit des vorderen dioptrischen Apparates, v. a. der Linse sowie an das Vorhandensein spezieller UV-Zapfen der Retina gebunden, die meist ein Absorptionsmaximum von 360 nm (selten auch von 420 nm) aufweisen (GOLDSMITH et al. 1984, BURKHARDT 1996). Dem Menschen ist aufgrund der starken UV-Absorption der transparenten Augenmedien, insbesondere aufgrund der gelblich gefärbten Linse, keine Perzeption im UV-Bereich möglich (KENNEDY und MILKMAN 1956).

Dämmerungs- und nachtaktive Spezies, die v. a. auf skotopisches Sehen ausgerichtet sind und Beute auch akustisch lokalisieren können (PAYNE 1971), besitzen keine entsprechende Sensitivität. Gleiches gilt für palaeognathe Vögel, z. B. Strauße oder Steiþhühner (Tinamidae). Es wird angenommen, dass bei sehr großen Vögeln die enorme Augengröße eine erhöhte Streustrahlung zur Folge hätte und damit nur unscharfe Bilder geliefert würden (BEZZEL und PRINZINGER 1990) bzw. nicht notwendig sei, da die Beute überwiegend olfaktorisch aufgenommen werde.

Diese speziesspezifischen Unterschiede weisen darauf hin, dass die UV-Tüchtigkeit nur unter bestimmten Lebensbedingungen von Bedeutung ist und v. a. das visuell gesteuerte Verhalten der Vögel beeinflusst. So scheint die UV-Reflexion des Gefieders und der Körperfarben bei Vögeln, die dem Menschenauge monomorph erscheinen sowohl eine große Rolle bei der inter- und intraspezifischen Kommunikation, bei der Tarnung und auch bei der Partnersuche zu spielen (BURKHARDT 1989, FINGER et al. 1992, BENNETT et al. 1997). Daneben kommt ihr große Bedeutung bei der Erkennung und Beurteilung von potentiellen Nahrungsmitteln zu. Gebiete, die einen hohen Besatz mit Mäusen aufweisen und damit ein lohnenswertes Jagdrevier für Greifvögel darstellen, können z. B. von Turmfalken (*Tinnunculus tinnunculus* L., 1994) anhand der Ultraviolett-Reflexion von Mäusekot und -harn erkannt werden und veranlassen diese Vögel in einem bestimmten Bereich sesshaft zu werden (VITALA et al. 1995). BURKHARDT (1982)

entdeckte, dass die Wachskutikula von Beeren - im Gegensatz zu Blättern - UV-Licht reflektiert, und MAIER (1992) wies nach, dass sich der Reifezustand von Früchten an ihrer UV-Reflexion erkennen lässt. So erscheinen z. B. reife Schlehen aufgrund starker UV-Reflexion sehr hell und heben sich damit vom unreifen Früchten und Blattgrün ab (KORBEL 1997 a).

Ähnlich wie Bienen sollen sich Vögel durch die Detektion von Polarisationsmustern der Sonne orientieren können (BURKHARDT 1982, JACOBS 1992). Dies kann auch zur Bestimmung der Tageszeit und damit einer Kalibrierung der zirkadianen Rhythmik dienen (POHL 1992).

Dem funktionsfähigen Auge kommt darüber hinaus große Bedeutung bei photorezeptionsbedingten Einflüssen auf die Reproduktionsorgane zu (OOKAWA 1970 a, b). Dies spielt eine bedeutende Rolle sowohl für Zuchttiere, als auch für die Steuerung der Leistungsfähigkeit von wirtschaftlich gehaltenem Geflügel über Lichtprogramme (SIEGMANN 1993). Ein Vogel, der keinem UV-Licht ausgesetzt wird, sieht seine Umwelt in Komplementärfarben. Ein UV-Defizit führt zur Ermüdung des visuellen Apparates und führt zu Störungen der Futterselektion und Störung des Sozialverhaltens.

Kommerzielle Leuchtstoffröhren emittieren kein UV-Licht, was sich bei der Haltung von Vögeln unter künstlicher Beleuchtung zwangsläufig auf ihr Verhalten und ihre Fressgewohnheiten auswirkt (z. B. Federzupfen, Kannibalismus) (KORBEL et al. 2002 a). In der Vogelhaltung sollte daher Kunstlicht mit UV-Anteil, z. B. UV-Emittierende Lichtquellen, Fluoreszenzleuchten (FL), oder Kompaktfluoreszenzleuchten (CL) und UV-permeable Kunststoffe verwendet werden (KORBEL 2002 a).

## **2.4 Anästhesie beim Vogel**

Nicht nur für chirurgische Eingriffe, sondern auch für Kurzeingriffe (Untersuchung, Röntgen, Blutentnahme etc.) ist bei Vögeln aufgrund ihrer höheren Stressanfälligkeit, eine Allgemeinanästhesie indiziert. Durch die alleinige Anwendung von Zwangsmaßnahmen in Kombination mit einer Lokalanästhesie kann der Entstehung u. U. lebensbedrohlicher Schocksituationen bei der ophthalmologischen Untersuchung oft nicht wirksam vorgebeugt werden (KORBEL 1992 a, b).

### **2.4.1 Injektionsanästhesie**

Die Injektionsanästhesie stellt eine kostengünstige, leicht durchzuführende Anästhesieform dar, bei der ein freier Zugang zu Kopf und Auge gewährleistet ist und nur ein geringer Apparatenaufwand besteht. Gängige Injektionsanästhesieverfahren sind jedoch aufgrund ihrer ungenügenden Steuerbarkeit und Relaxation, ausgeprägte Exzitationen in der Einschlaf- und Aufwachperiode sowie Hypothermien, Kreislaufdepressionen und unzureichender Analgesie als Mononarkose beim Vogel ungeeignet. Die noch häufig durchgeführte Narkose mit Ketaminhydrochlorid z. B. ist – abgesehen von der unzureichenden Analgesie, die im Kloakal- sowie Kopf- und Augenbereich besonders notwendig ist – als Ophthalmo-Anästhesie bei Vögeln kontraindiziert, da sowohl in der Einschlaf- als auch Aufwachperiode auftretende massive Exzitationen zu Erhöhungen des IOP führen können (KORBEL 1994). Der IOP kann hier bis zu 45 mmHg erreichen und führt z. B. bei intraokularen Eingriffen zu einer erhöhten Wundbelastung oder zum Vorfall intraokularer Strukturen.

### **2.4.2 Inhalationsanästhesie**

Die Inhalationsanästhesie kann für jeden längeren Eingriff, für den tiefere Anästhesiestufen und eine gute Muskelrelaxation erforderlich sind, empfohlen werden. Methode der Wahl ist derzeit die Inhalationsanästhesie mit Isofluran (Forene®) (KORBEL 1998). Wenngleich sehr kostenintensiv, bietet sich insbesondere bei Risikopatienten, aufgrund der geringen Herz-Kreislauf-Belastung sowie der kurzen

Induktions- und Rekonvaleszenzperiode, die Verwendung von Sevofluran (SEVOrane®) an. (KORBEL 1998 c). Methoxyfluran und Halothan sollten aufgrund ihrer nephro- und hepatotoxischen Wirkung nicht verwendet werden.

Zur Durchführung einer Inhalationsanästhesie beim Vogel werden normalerweise halboffene flowgesteuerte Systeme ohne Rückatmung verwendet, da diese durch einen geringen mechanischen Totraum und Atemwiderstand gekennzeichnet sind (HARRISON 1986) und damit insbesondere bei kleinen Vögeln den besonderen anatomischen Bedingungen des aviären Atmungstraktes entgegenkommen. Geschlossene oder halb geschlossene Systeme sind aufgrund des meist relativ geringen Atemvolumens vieler Patienten einerseits sowie des vergleichsweise hohen Totraums von Narkosegeräten andererseits problematisch (KORBEL 1998).

Wenn möglich ist beim Vogelpatienten grundsätzlich eine endotracheale Intubation anzustreben, da bei alleiniger Verwendung einer Kopfkammer eine ausreichende Ventilation des Patienten im Notfall nicht gewährleistet ist. Endotrachealtuben dürfen keinen Cuff aufweisen und die Spitze sollte abgerundet sein. Tuben mit Cuff können aufgrund der geschlossenen Trachealspangen bei Vögeln zu druckbedingten Schädigungen der empfindlichen Trachealschleimhaut, ggf. mit Blutung und Erstickung oder aber zur Fraktur der Spangen führen (KORBEL 1997 b). Zur Vermeidung eines reflektorischen Atemstillstandes sollte ca. 60-90 sec vor Einführen des Tubus topisch Lidocain (2 %) auf den Larynxrand aufgebracht werden. Nach dem Entfernen des Tubus ist unbedingt auf eine sorgfältige Schleimentfernung aus der Schnabelhöhle und den Larynxbereich zu achten.

Um einen freien chirurgischen Zugang zum Augenbereich zu gewährleisten, kann neben einer endotrachealen Intubation, eine Luftsackperfusionanästhesie durchgeführt werden. Diese bietet neben einem freien chirurgischen Zugang zum Kopfbereich, einer exakten Steuerbarkeit und einer zuverlässigen Ventilation u. a. den Vorteil der Induktion einer reversiblen Apnoe infolge Erniedrigung des  $p\text{CO}_2$ .

Eine wesentliche Grundforderung in der Vogelanästhesie ist, dass die perianästhetische Temperatur nicht mehr als um 2 °C unter die physiologische Temperatur fallen darf, da es sonst zu peri- und postanästhetischen Zwischenfällen wie kardiale Arrhythmien u. U. mit Todesfolge kommen kann (PHALEN und LAU 1997). Hypothermien, die bei der Injektions- als auch bei der Inhalationsanästhesie beobachtet werden, muss daher unbedingt durch exogene Wärmezufuhr, z. B. durch ein regelbares Heizkissen, vorgebeugt werden. Prinzipiell ist zu beachten, dass die

Zufuhr exogener Wärme beim Vogel aufgrund der Isolationswirkung des Gefieders nur eingeschränkt effizient ist und daher der Atemgasbefeuchtung, um der Entstehung von Verdunstungskälte am großflächigen Lungen-Luftsack-System entgegenzuwirken, besondere Bedeutung zukommt (KORBEL 1998).

Hinsichtlich des Temperaturmonitorings ist beim Erwerb von Thermometern auf eine Messgenauigkeit von +/- 0,1°C, den erhöhten oberen Temperaturbereich von bis zu 43° C und eine kurze Ansprechzeit zu achten. Optimal sind Geräte mit Kloakal- bzw. Oesophagealsonde von ca. 3 mm Durchmesser.

### **2.4.3 Narkosemonitoring**

Hinsichtlich der Narkoseüberwachung ist zu beachten, dass die vier klassischen Anästhesiestadien des GUEDEL'schen Narkoseschemas bei Vögeln nicht deutlich voneinander zu trennen sind. Eine genaue Bestimmung der Narkosetiefe ist anhand eines standardisierten Schemas mit Ermittlung eines Reflexscores aus zwölf Reflexen (Lidschluss, Palpebralreflex, Pupillenöffnung, Pupillenreflex, Kornealreflex, Kopflage, Nackentonus, Beintonus, Pectoralisreflex, Propatagiumreflex, Interphalangealreflex, Kloakalreflex) möglich. Größte Bedeutung kommt hier dem Kornealreflex zu, dessen verzögerte Auslösbarkeit (langsam, unvollständiges Vorziehen der Membrana nicticans bei dezentraler Touchierung der Kornea im temporalen Kanthus) eindeutig ein zu tiefes Narkosestadium anzeigt. Der Kornealreflex ist einer der letzten Reflexe, die bei der Einleitung einer Vollnarkose schwinden (MURPHY 1987 a).

Anzustreben ist ein dem Toleranzstadium der Säugetiere gleichzusetzender Zustand (GUEDEL-Schema: Stadium III/2), der nach der vorgenommenen Punktwertung einer Reflexsumme von 3 Punkten entspricht. In diesem Stadium sind die Augenlider geschlossen, es besteht eine unvollständige Mydriasis (1P), der Pupillarreflex auf Lichteinfall fehlt und der Kornealreflex ist verzögert auslösbar. Die Nickhaut wird verlangsamt, aber vollständig über die Kornea gezogen (2P). Die gesamte Skelettmuskulatur ist relaxiert, die übrigen Reflexe sind erloschen.

Hervorzuheben ist, dass beim Wasservogel mit allen derzeit bekannten Narkoseregimes ein chirurgisches Toleranzstadium kaum erreicht wird, lediglich eine tiefe Sedation (KORBEL 1995).

#### 2.4.4 Oberflächenanästhesie/ Lokalanästhesie

Augenkrankheiten können schmerzhaft chirurgische Eingriffe und intensive diagnostische Untersuchungsverfahren erfordern, für die oft eine Anästhesie der Augenoberfläche oder eine Weitstellung der Pupille notwendig ist.

Eine Lokalanästhesie zur Schmerzausschaltung ist beim Vogel aufgrund der fehlenden Bewusstseinsausschaltung und untersuchungsbedingten Aufregungszustände in der Regel nicht angezeigt (KORBEL 1995). Eine Ausnahme bildet die Augenheilkunde.

Diagnostische Indikationen zur Oberflächenanästhesie der Vogelkornea sind u. a. die Tonometrie, die Durchführung des Schirmer-Tränentests (Bestimmung der Basissekretion), Gonioskopie, Sonographie, Parazentese sowie die Evertierung der Nickhaut oder des oberen bzw. unteren Augenlides zum Zwecke der Adspektion.

Derartige Manipulationen sind mit einem vertretbaren Stressrisiko des Patienten verbunden und rechtfertigen aufgrund ihrer schnellen Durchführbarkeit eine Untersuchung ohne Allgemeinanästhesie.

Da die Oberflächenanästhetika nur die freien Nervenendigungen von Konjunktiva, Sklera und des tränenableitenden Systems erreichen (SCHMIDT 1988 a), ist ihre Wirksamkeit auch auf diese Strukturen begrenzt.

Am Auge des Vogels wurden Oxybuprocain (0,45 %, Benoxinat SE, Thilo, Alcon), Proxymetacain (0,5 %ig, Proparacain POS, Ursapharm) und Tetracain (0,5 %ig, Ophthocain, Winzer) erfolgreich eingesetzt (KORBEL und GOERTZ 2000). Bei erwünschter längerer Wirkdauer ist Tetracain vorzuziehen (GOERTZ 2001). Zusätzlich zu den Abkömmlingen des Kokains weist auch Bupranolol in 0,25 %iger Konzentration und Flubiprofen in 0,03 %iger Lösung eine lokalanästhetische Wirkung am Auge auf. Aufgrund der starken Absorption und der damit verbundenen toxischen Wirkung der Lokalanästhetika sollten diese immer nur in der geringst möglichen wirksamer Dosierung und Konzentration appliziert werden (SKARDA 1994).

Meist genügt 1 Tropfen. Ein weiterer Tropfen nach 1 bis 2 Minuten verlängert laut SLATTER (1990) die Anästhesiedauer, vertieft jedoch nicht die Wirkung. Für Oxybuprocain und Proxymetacain wird ein Wirkungseintritt nach 15 Sekunden und eine Wirkdauer von 15-30 Minuten beschrieben (ESSIG 1978, HALL und CLARKE 1983). Zudem sollten aufgrund der Nebenwirkungen der Lokalanästhetika, wie Austrocknung der Kornea und dadurch bedingte Epithelschädigungen sowie systemische Nebenwirkungen, diese nicht regelmäßig appliziert werden. Durch den



eintretenden Gewöhnungseffekt werden immer höhere Dosen verabreicht, die die toxischen Wirkungen verstärken (MARTIN 1994). Um die Wirkung der Anästhesie zu überprüfen kann ein so genannter Ästhesiometer zur Messung der Hornhautsensibilität eingesetzt werden.

#### **2.4.5 Mydriasis/ Mydriatika**

Unter Mydriasis wird eine Weitstellung der Pupille verstanden, die beim Säuger durch Spasmen des M. dilatator pupillae oder aber durch Paralysen des M. sphincter pupillae verursacht werden kann. Sie ist in der Ophthalmologie sowohl für diagnostische als auch therapeutische Verfahren von zentraler Bedeutung. Für eine fachgerechte Untersuchung der Linse und der hinteren Augenabschnitte, z. B. für die Ophthalmoskopie, Elektroretinographie oder Angiographie sowie für verschiedene Eingriffe (Kataraktchirurgie, Linsenimplantationen), ist die Weitstellung der Pupille eine Grundvoraussetzung (SCHMIDT 1988 b, KÖSTLIN et al 1990, GELATT 1999 b). Außerdem kann sie therapeutisch zur Ruhigstellung des Ziliarkörpers und der Iris und damit zur Schmerzlinderung bei einer Iritis, Uveitis oder Keratitis profunda oder prophylaktisch zur Vermeidung oder Sprengung von Synechien eingesetzt werden (KÖSTLIN et al. 1990).

Durch die in der Säugetierophthalmologie übliche lokale Verabreichung von Sympathomimetika bzw. Parasympatholytika wird bei Vögeln und Reptilien aufgrund der größtenteils quergestreiften Ziliar- und Irismuskulatur keine Mydriasis herbeigeführt (TIEDEMANN 1810, MURPHY 1984). Lange Zeit war deshalb keine Untersuchung des Augenhintergrundes bei Vögeln möglich (KORBEL 1995).

WOOD (1917) nutzte bei seinen ophthalmoskopischen Untersuchungen an verschiedenen Vogelspezies die konsekutive Pupillenweitstellung wenige Minuten vor und nach dem Eintritt des Todes. Eine Mydriasis kann bei Vögeln durch den lokalen Einsatz von peripheren, nicht polarisierenden Muskelrelaxantien der Curaregruppe erzielt werden, die durch Blockade der Acetylcholinrezeptoren an der motorischen Endplatte eine Paralyse von quergestreiften Muskeln herbeiführen (GREEF und WIRTH 1980). Das Mittel der Wahl als Mydriatikum bei Vögeln stellt (+) Tubocurarin (ehemals d-Tubocurarin) dar (KRAUTWALD et al. 1989, BELLHORN 1991, VERSCHUEREN und LUMEIJ 1991). Curare ist ein lähmendes Pfeilgift, das

Indianerstämme im äquatorialen Südamerika benutzen (GUTTMANN 1912). Tubocurare wird in Bambusrohren (Tuben) gelagert und ist neben Calebassencurare und Topfcurare eine von drei Curareformen, die nach ihrer Aufbewahrungsart unterschieden werden (HELWIG 1980). CAMPBELL und SMITH hatten bereits 1962 die pupillenerweiternde Wirkung von Tubocurarinlösung bei der Taube beschrieben. Erst in den 80er Jahren des 20. Jh. entwickelte MURPHY (1987) eine Technik zur Weitstellung der Pupille durch den Einsatz von peripheren, nicht-polarisierenden Muskelrelaxantien, vorwiegend der Curaregruppe. Eine Methode ist die Instillation einer 0,01-0,03 ml einer 3 %igen D-Tubocurarine-Lösung direkt in die vordere Augenkammer (MURPHY 1984). Die Mydriasis hält ca. 10 bis 28 Stunden an. Die notwendige Parazentese erfolgt unter Lokalanästhesie mit 27bis 30 Ga Kanülen durch den Limbus corneae im temporalen Kanthus. Handelsübliche wässrige Lösungen von (+) - Tubocurarin, die ohne Permeabilitätshilfe geliefert werden, penetrieren die dicke aviaire Kornea nicht (MURPHY 1984). Die entsprechende sterile Präparation muss durch Lösung der Reinsubstanz (d-Tubocurarine-Chlorid, Sigma ®) in physiologischer Spüllösung (3 %ig) für ophthalmologische Eingriffe (Alcon ®, BSS) eigens hergestellt werden. Auf der Suche nach topisch anwendbaren Präparaten wurden verschiedene curare-ähnliche neuromuskuläre Blocker getestet. Vecuroniumbromid induzierte im Vergleich zu anderen Präparaten, bei vielen Greifvögeln (MIKAELIAN et al. 1994) und Papageien (RAMER et al. 1996), am besten eine Mydriasis ohne erkennbare systemische Nebenwirkungen.

Ein dreimaliges, im Fünf-Minuten-Intervall erfolgreiches Einträufeln von einer handelsüblichen Vecuroniumbromid-Lösung (4mg/ml) in den Lidbindehautsack, soll bei Turmfalken (*Tinnunculus tinnunculus* L., 1758) eine ausreichend diagnostisch nutzbare Mydriasis erzielen (MIKAELIAN et al. 1994).

Durch die konjunktivale Verabreichung einer allgemeinen 3%igen (+) Tubocurarinlösung in 0,025% Benzalkoniumchlorid, Pancuronium-, Atracuriumsulfat-, Zyklopentolat-, sowie Nikotinlösungen, wird aufgrund vergleichsweise dicken Vogelkornea höchstens eine unvollständige Mydriasis erreicht. Zuverlässig wird diese erst durch die intrakamerale Injektion (Parazentese) von 0,1 bis 0,3 ml der obigen Lösung erzielt (MURPHY 1987). Da diese Methode mit einer Reihe von Nachteilen behaftet ist, wie tödlichen Atemlähmungen nach Überdosierung (VERSCHUEREN und LUMEIJ 1989), Verletzungsgefahr intraokularer Strukturen, Infektionsgefahr infolge Transmission konjunktivaler Keime in die vordere

Augenkammer, Erhöhung des Augeninnendruckes oder Injektion von Luftbläschen (Sichtbehinderung für die Untersuchung), sollte möglichst nicht invasiv vorgegangen werden. Bei Eulen z. B. kann man die Schreckmydriasis ausnutzen. Als Alternativmethode wurde ein spezielles Narkoseverfahren entwickelt, die sog. Luftsack-Perfusionsanästhesie (LPA).

#### **2.4.6 Luftsack-Perfusionsanästhesie**

Die Luftsack-Perfusionsanästhesie (LPA), eine Sonderform der Inhalationsanästhesie, stellt eine schonende und gut steuerbare Anästhesietechnik dar und verbindet in besonderem Maße die Vorteile einer kontrollierten Beatmung durch effiziente permanente Lungen-Luftsack-Ventilation mit denen der Inhalationsanästhesie. Es handelt sich um ein Narkoseverfahren, das speziell für ophthalmologische Untersuchungen, Dokumentationen und Operationen im Kopfbereich bei Vögeln entwickelt wurde (KORBEL et al. 1993, 1995, 1996, 1997 a, b) und eine Reihe von Vorteilen bietet. Dies sind im Gegensatz zur konventionellen Kopfkammer-Inhalationsanästhesie ein freier chirurgischer Zugang zum Kopfbereich (für Operationen im Kopf-, Augen- und Schnabelbereich einschließlich der Schnabelhöhle sowie des oberen Verdauungstraktes) sowie eine gute Steuerbarkeit und Verträglichkeit bei absoluter Sicherstellung einer ausreichenden Ventilation. Die LPA eignet sich daher besonders als Langzeitanästhesie bis ca. 5 Stunden.

Weiterhin wird ein stabiler, um durchschnittlich 20 % sinkender Intraokulardruck erzielt, der für intraokulare Eingriffe unabdingbar ist (KORBEL und KÖSTERS 1995). Bei den meisten intraokularen Eingriffen wird ein Zugang durch die vordere Augenkammer gewählt. Um einen Vorfall von intraokularen Strukturen (Iris, Linse, Glaskörper) zu vermeiden, darf der IOD keinesfalls steigen (JANTZEN 1988). Dies gilt ebenso für das bereits eröffnete Auge, wo der IOD zwar 0 mm Hg beträgt, es jedoch trotzdem zu einem Vorfall intraokularer Strukturen kommen kann.

Die LPA eignet sich zur Vermeidung aufregungsbedingter Schockzustände bei zeitintensiven Untersuchungsmethoden, u. a. beim Schirmer-Tränen-Test (KORBEL and LEITENSTORFER 1995), bei der Elektroretinographie (KORBEL and STÜTZ 1997) und Gonioskopie (KORBEL et al. 1998 b) sowie insbesondere zur Induktion einer anästhesiebedingten Mydriasis, als Alternative zur problematischen Applikation

von Muskelrelaxantien per Parazentese.

Zudem wird eine, für mikrochirurgische Eingriffe vorteilhafte, völlige Immobilisation des Patienten erzielt. Sie wird durch eine ca. 10 bis 15 Sekunden nach Umstellung auf die Luftsackperfusion induzierte reversible Apnoe, durch den Wash-out-Effect von CO<sub>2</sub> aus dem Lungen-Luftsack-System, bewirkt. Eine Absenkung des PaCO<sub>2</sub> führt zu fehlender Stimulation des Atemzentrums.

Die narkoseinduzierte Mydriasis mittels LPA gewährleistet eine einwandfreie Untersuchung des dioptrischen Apparates und des hinteren Augensegments bei unproblematischer Handhabung und auch bei zeitintensiven Untersuchungen (KORBEL und KÖSTERS 1995).

Laut SPEMANN (1997) und KORBEL (1994) kann allerdings in einzelnen Fällen auch hier keine maximale Mydriasis erzielt werden, so dass eine ophthalmoskopische Inspektion z. B. des Pulvinus annularis lentis (Ringwulst) und der Fundusperipherie nicht immer möglich ist.

Eine Optimierung der Untersuchungsmöglichkeit durch Vertiefung der Narkose kommt aufgrund der kreislaufdepressorischen Wirkung von Isofluran nicht in Frage. Dies legt den systemischen Einsatz eines peripheren Muskelrelaxans in Verbindung mit der LPA nahe. Laut SPEMANN (1997) wird bei gleichzeitiger systemischer Verabreichung von Vecuroniumbromid stets eine maximale Mydriasis sowie eine Unterbindung der Pupillen- und Nickhautbewegungen erreicht. Da das Präparat bei systemischer Absorption zu Atemdepression führen kann, ist bei der bilateralen Applikation jedoch Vorsicht geboten (RAMER et al. 1996).

Die für die Unterhaltung eines chirurgischen Toleranzstadiums notwendige Isoflurankonzentration ist geringfügig höher als bei Durchführung einer konventionellen Kopfkammerapplikation. So werden artspezifisch unterschiedlich 1,0 +/- 0,2 (z. B. Alexandersittiche) bis 2,4 +/- 0,2 Vol. % (z. B. Haustauben) Isofluran benötigt.

Das Zumischen von Stickoxydul zum Trägergas bewirkt eine Senkung des Isofluranbedarfs von durchschnittlich 11 % und damit eine Reduktion von isofluranbedingter Kreislaufdepression (KORBEL et al. 1996, BURIKE 1995). Cave! Emphysemgefahr bei Vögeln mit "Lufttaschen" ohne offene Verbindung zum Lungen-Luftsacksystem, z. B. Pelikane. Voraussetzung für diese Anästhesieform sind ein mit Low-flow-Messsäulen (0,01-0,5 l/min) im Niederdruck ausgestattetes Narkosegerät, eine Atemgasbefeuchtung und die Möglichkeit zur Pulsoximetrie.

Während der LPA ist ein Narkosemonitoring mittels Pulsoximetrie ( $O_2$ -Sättigungs-Soll: 95 - 100 %) durch Anlegen der Sensoren am Unterschenkel über dem M. gastrocnemius obligatorisch, da aufgrund der fehlenden Spontanatmung und der fehlenden peripheren Körper- sowie Augenreflexe (incl. Cornealreflex bei Lokalanästhesie), ein "konventionelles" Monitoring nicht möglich ist (KORBEL et al. 1993, KORBEL 1994, KORBEL et al. 1996). Der Einsatzbereich der Pulsoximetrie kann bei kleineren Vögeln unter Umständen durch die hohe Pulsfrequenz limitiert werden. Moderne Geräte, die eine gute Unterdrückung von Bewegungsartefakten bieten, verarbeiten jedoch Pulsfrequenzen bis zu 500/min. Ähnliches gilt für die Elektrokardiographie. Kardiale Arrhythmien sind jedoch durch beide Verfahren darstellbar.

## **2.5 Augenuntersuchung**

### **2.5.1 Allgemeines**

Für den Untersucher eröffnen sich durch eine gründliche, einem standardisierten Schema folgende ophthalmologische Untersuchung, diagnostische Möglichkeiten, die wertvolle Hinweise auch auf eine Vielzahl systemischer Erkrankungen geben können (BRAUN 1995). Damit dient sie als Basis für eine rasche und effiziente Therapie. Da Augenerkrankungen vor allem bei Vögeln in verschieden starkem Maße Ausdruck von systemischen Erkrankungen sind, sollte einer speziellen Augenuntersuchung prinzipiell eine gründliche Allgemeinuntersuchung vorausgehen.

Eine vom Säugetier abweichende Untersuchungsmethode ist allein durch die Unterschiede in der Physiologie und Anatomie zwischen Säuger- und Vogelaugen erforderlich. Die häufig geringere Größe des Vogelauges stellt das Hauptproblem der Ornitho-Ophthalmologie dar, wobei weniger die Gesamtgröße, als vielmehr der relativ zum Bulbus oculi geringe Korneadurchmesser limitierend ist für das klinisch-diagnostische und therapeutische Procedere.

Da in erster Linie Ziervögel mit einem relativ kleinen Bulbus oculi (z. B. Psittaziden und Finkenvögel) in die Vogelpraxis kommen, ergibt sich zwangsläufig die Notwendigkeit einer Miniaturisierung von Untersuchungstechniken. Des Weiteren herrscht eine speziesbedingte Varianz innerhalb der Klasse Aves. Zu den Grundlagen der Ornitho-Ophthalmologie gehören neben einem vogelspezifischen ophthalmologischen Untersuchungsgang auch an Vögel adaptierte spezielle Untersuchungsverfahren. So erfordert etwa die erhöhte Stressanfälligkeit einen besonderen Umgang mit Vogelpatienten.

### **2.5.2 Ophthalmologische Anamnese**

Die Erhebung der allgemeinen und speziellen Anamnese stellt einen nicht zu unterschätzenden Anteil der gesamten Augenuntersuchung dar.

- Allgemeines Verhalten (Verbleiben auf der Stange / Boden)
- Orientierung im Käfig, v. a. nach Änderung der Einrichtung
- Fressverhalten (Picken ins Leere)
- Sozialverhalten (gegenüber Partnertieren, Besitzer) einschließlich Gesang
- Flugverhalten (unkoordiniert, kein Flugverhalten)
- Impfstatus (Nutzgeflügel, Tauben, Kanarienvögel)

### **2.5.3 Adspektion und Visusbeurteilung ohne Zwangsmaßnahme**

Da beim Vogel aufgrund des übergeordneten Fluchtreflexes Sehproben nicht analog zum Säugetier z. B. mit Hilfe eines Hindernisparcours oder dem Watteball-Test durchgeführt werden können, kommt der Adspektion aus Distanz große Bedeutung zu (SEIDEL 1988).

Eine eingehende Adspektion erfolgt erst am nichtfixierten, sich unbeobachtet fühlenden Patienten. Einige Vögel (Greifvögel, Eulen) reagieren akustisch sehr empfindlich, daher sind laute Geräusche unbedingt zu vermeiden (SEIDEL 1988). Der Untersucher muss sich einen Überblick über die Futteraufnahme, das Sozialverhalten, das Fluchtverhalten und die Körperhaltung machen. Hinweise auf

Visuseinschränkungen ergeben sich aus einer offensichtlichen Abneigung zu fliegen, das Nichtauffinden von Sitzgelegenheiten und Futter, Picken und Hacken in den leeren Raum, Schreckhaftigkeit (gestörtes Sozialverhalten), fehlendes Fluchtverhalten bei Annäherung mit der Hand und bei unphysiologischer Kopfhaltung, die durch eine Einschränkung des Sehfeldes durch z. B. Fibrinkoagula in der vorderen Augenkammer, partielle Linsenkatarakte oder Korneatrübungen zustande kommen kann. Bei einseitiger Blindheit z. B. ist der Patient stets bemüht, durch drehen des Kopfes Geschehnisse in seiner Umgebung mit dem gesunden Auge zu fixieren. Als Übergang zum eigentlichen ophthalmologischen Untersuchungsgang führt man eine Sehprobe durch Beurteilung des Optikofazialreflex (Drohgebärde) durch und überprüft die Reaktion auf subtile akustische und taktile Reize. Vögel mit einer partiellen oder vollständigen Visuseinschränkung zeigen überschießende Reaktionen. Durch rasche Annäherung einer Hand an den Patienten kann durch Beurteilung des Optikofazialreflex ein Test der Sehfähigkeit erfolgen (KORBEL 1994). Viele Vögel reagieren auf Bedrohung mit einer Schreckstarre. Im Gegensatz zu Haussäugetieren, die bei positiver Reaktion auf eine Drohgebärde die Lider schließen, lässt ein Vogel die Nickhaut vorfallen (GREENWOOD und BARNETT 1981, MURPHY 1987).

#### **2.5.4 Vorbereitung und allgemeiner Umgang mit dem Patienten**

Im Umgang mit Vögeln ist speziell deren erhöhte Schockanfälligkeit zu beachten. Daher sollten grundsätzlich alle Gerätschaften zu Beginn eingestellt werden, um die Untersuchung am fixierten Patienten auf ein Minimum zu beschränken. Falls eine länger andauernde Manipulation unumgänglich erscheint, kann der Vogel anästhesiert werden, was als positiven Nebeneffekt eine Mydriasis hervorruft. Routinemäßig erfolgt die Untersuchung bei völliger Dunkelheit oder stark gedämpften Tages- oder Kunstlicht, um den Patienten zusätzlich ruhig zu stellen (optisches Ruhigstellen) (KORBEL 1994).

Die Fixierung muss zum Schutz des Tieres und des Untersuchungspersonals absolut zuverlässig sein. Abwehrbewegungen der Tiere, die ihren Stresszustand noch erhöhen können, werden somit unterbunden (MURPHY 1987). Die Spreizung der Augenlider kann bei Vögeln mit nach vorne gerichteten Augen (z. B. Eulenvögeln) analog zur Untersuchungstechnik beim Säuger durchgeführt werden (WALDE et al.

1997). Bei Vögeln mit seitlich lokalisierten Augen werden die Lider beider Augen mit Zeigefinger und Daumen gespreizt (Falken, Papageien, Finken u. a.) (KORBEL 1994). Bei sehr kleinen Vogelpatienten ist diese Technik nicht durchführbar, da so Untersuchungsinstrumente nicht ausreichend an das Auge angenähert werden können. In diesem Fall muss sich die fixierende Person an der Spreizung beteiligen. Am besten ist es, kleine Vogelpatienten (unter 100g) ohne Hilfsperson zu fixieren und zu manipulieren. Z. B. wird bei der indirekten binokularen Ophthalmoskopie das Unterlid durch den Daumen der Fixationshand, das Oberlid durch die die Ophthalmoskopierlupe haltende Hand gespreizt (KORBEL 1994). Wichtig ist, dass die freie Hand des Untersuchers immer Kontakt zum Patienten hält.

Falls zytologische oder mikrobiologische Nachfolgeuntersuchungen sinnvoll erscheinen oder ein STT durchgeführt werden soll, erfolgt dies analog zur Säugetierophthalmologie vor dem Einträufeln von Oberflächenanästhetika oder Fluoreszeinlösungen in das Auge (KORBEL 1994).

### **2.5.5 Allgemeine ophthalmologische Untersuchung am fixierten Patienten**

Die ophthalmologische Untersuchung des fixierten Patienten hat unter Berücksichtigung speziesbedingter Verhaltensweisen zu erfolgen. Vor allem den Ordnungen Passeriformes (z. B. verschiedene kleine Singvögel), Phasianiformes (Fasane, Wachteln) und Accipitiformes (z. B. Sperber) zugehörige Vögel weisen einen stark ausgeprägten Fluchtreflexes auf. Eulen dagegen fallen bei fachgerechter Fixation in einen lethargischen Zustand und fixieren einen imaginären Punkt in der Ferne.

V. a. bei Eulenvögeln muss eine Adspektion der Ohröffnungen erfolgen, denn durch die exponierte Augenposition bei diesen Spezies sind bei Bulbusrupturen und Frakturen des Skleralringes an dieser Stelle deutliche Hämorrhagien zu beobachten (KORBEL 1994). Durch Scheiteln des Federkranzes im seitlichen Kopfbereich können die temporäre Bulbuswand und ein Teil der äußeren Fundusperipherie sichtbar und für eine Untersuchung zugänglich gemacht werden (KORBEL 1994). Blutungen in der Ohröffnung weisen jedoch bei allen Vogelspezies mit hoher Wahrscheinlichkeit auf eine Fundusläsion hin. Daher sollte bei jedem Vogel mit Verdacht auf ein Trauma die



Adspektion der Ohröffnung in den ophthalmologischen Untersuchungsgang mit einbezogen werden.

Der digitalen Untersuchung des Bulbus bei Traumapatienten kommt ebenso große Bedeutung zu, da sich Eindellungen der starren Bulbusoberfläche palpatorisch sehr einfach erkennen lassen, während Frakturen des Skleralringes am lebenden Vogel nur schwer röntgenologisch darstellbar sind (MURPHY 1984). Dabei darf aber weder der starre Anulus ossicularis sclerae, noch der im Unterlid befindliche Tarsus mit einem erhöhten intraokularen Druck verwechselt werden, was die digitale Palpationsfläche am ohnehin kleinen Vogelauge zusätzlich einschränkt (KORBEL 1995).

### **2.5.6 Untersuchung des vorderen Augensegmentes**

Die Untersuchung erfolgt bei gedämpften Tages- oder Kunstlicht unter Verwendung üblicher Zwangsmaßnahmen mit ca. einer Armlänge Distanz. Der Kopf des Tieres wird von einer Hilfsperson fixiert, während der Untersucher mit einer Hand den Schnabel sichert und gleichzeitig beide Augenlider spreizt.

Zunächst sollte eine vergleichende Adspektion von Augen und Augenumgebung auf Asymmetrien und Verletzungen von frontal und auch von dorsal erfolgen, da sich bei lateral lokalisierten Augen Asymmetrien am besten bei der Betrachtung von oben darstellen lassen (KORBEL 1994, DAVIDSON 1997). Die Bulbi werden auf Veränderungen der Größe, Form und Position durch bilateralen Vergleich untersucht. Ebenso muss die Augenumgebung auf Augenausfluss oder periokularen Federverlust beurteilt werden. Denn neben primären infektiösen oder traumatischen periokularen Veränderungen sind vor allem sekundäre Veränderungen der Augenumgebung von Bedeutung. Periokulare Schwellungen, Augenausfluss, Verfärbungen oder Federausfall rund um die Augen, aber auch seromuköser oder purulenter Nasenausfluss können auf eine Erkrankung der tränenableitenden Wege oder eine chronische Irritation des Auges hindeuten. Form- und Größenveränderungen am Auge oder in seiner Umgebung können eine erworbene Verkleinerung des Bulbus (Atresia bulbi, Phthisis bulbi) sein, wie sie z. B. nach End- oder Panophthalmitis, nach perforierenden Verletzungen oder nach intraokularen Eingriffen vorkommen,

allerdings kann dies auch eine angeborene Fehlbildung ohne Funktionsstörung (Mikrophthalmie) sein.

Diffuse periorbitale Schwellungen können ihre Ursache in periorbitalen sowie peri- und retrobulbären Infektionen oder Neoplasien haben. Sie sind oftmals mit Veränderungen der Augapfelposition verbunden, z. B. Exophthalmus oder Nickhautvorfall.

### **2.5.6.1 Untersuchung im auffallenden frontalen Licht**

Die Untersuchung erfolgt mit frontaler Beleuchtung bei frontaler Betrachtung. Es ist dabei besonders auf den koaxialen Verlauf von Untersuchungslicht und Beobachtungsstrahlengang zu achten (s. Abb. 3). Mit der einen Hand wird eine fokussierte Lichtquelle (Diaskleralkegel oder Handspaltlampe) nahe an das Patientenauge geführt. Die Adspektion erfolgt von der Ferne mit ca. einer Armlänge Distanz. Durch die Korrespondenz zwischen einfallendem Lichtstrahl und Beobachtungsstrahlengang kann die Transparenz des gesamten vorderen dioptrischen Apparates beurteilt werden.

Die Kornea wird auf Veränderungen in der Transparenz, Reflexe der Hornhaut, mangelnder Glanz und Unebenheiten untersucht.

Die avaskuläre, völlig durchsichtig erscheinende, glatte und glänzende Hornhaut verliert bei einer großen Anzahl von Augenerkrankungen primär oder sekundär ihre Transparenz (lokale/diffuse, punktuelle, rauchige, milchige Trübung). Der Grad der Trübung, ihre Ausdehnung und Stärke sowie eine oberflächliche oder tiefe Vaskularisation ist mit Hilfe einer Lichtquelle im Auflicht, aber auch bei seitlicher Durchleuchtung (s. u.) gut zu beurteilen. Auch Verfärbungen (Pigmenteinlagerungen), Pannus, Narben oder Neubildungen ebenso wie Substanzverluste (Epithelverlust, Ulkus usw.) sind mit einer Lichtquelle (und ggf. Hilfsmitteln wie Fluoreszein) sichtbar zu machen. Eine Reihe von Veränderungen an der Iris (Kolobom, Membrana pupillaris/ epipupillaris persistens, Iriszysten, Heterochromie) können mit dieser Untersuchungsmethode erkannt werden. Auch stärkere Trübungen der Linse können beurteilt werden (SEIDEL 1988).

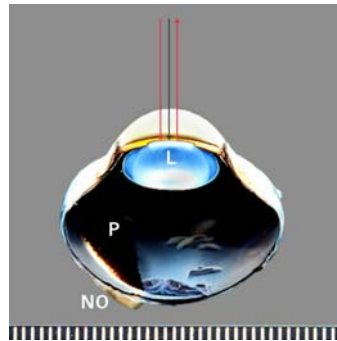


Abb. 3

### 2.5.6.2 Untersuchung im auffallenden seitlichen Licht (Transillumination)

Die Lichtquelle (Diaskleralkegel oder Handspaltlampe) wird im temporalen Limbusbereich angesetzt (KORBEL 1994). Die Untersuchung erfolgt mit seitlicher Beleuchtung und frontaler Blickrichtung ohne Korrespondenz zwischen Betrachtungs- und Beleuchtungsstrahlengang (s. Abb. 4). Bei variierendem Winkel des einfallenden Lichts können die Strukturen des vorderen dioptrischen Apparates einschließlich Linse und der vordere Teil des Glaskörpers beurteilt werden.

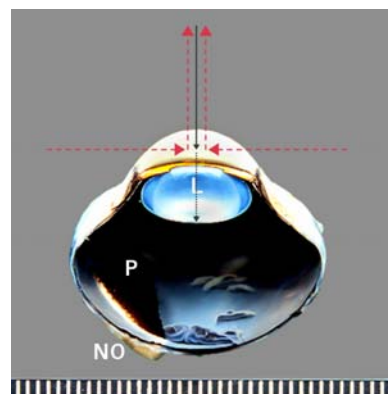


Abb. 4

### 2.5.6.3 Untersuchung im auffallenden schwingenden Licht

Die Lichtquelle wird bei frontaler Blickrichtung von rechts nach links geschwungen. Die Lichtquelle muss dabei immer auf das Patientenaug gerichtet sein (s. Abb. 5). Neben dem Pupillenreflex kann die gesamte vordere Augenkammer beurteilt werden. Der Pupillenreflex ist willkürlich, nicht konsensuell, von äußeren Reizen beeinflussbar und kann paradox und indirekt auslösbar sein (KORBEL 1994).

Aufgrund der Querstreifung der intraokularen Muskulatur beim Vogel und der damit willentlichen Beeinflussung ist der Pupillenreflex hinsichtlich Auslösbarkeit und Vollständigkeit ein unzuverlässiges Beurteilungskriterium. Auch weil er stark von äußeren Reizeinflüssen abhängig ist, kann ihm nur geringe Aussagekraft zugesprochen werden (KORBEL 1994).

Eulen verfallen bei fachgerechter Fixation meist in einen lethargischen Zustand und fixieren bei eingeschränktem Pupillarreflex einen imaginären, im Unendlichen liegenden Punkt. Bei Accipitriformes, Phasianiformes, Passeriformes und Psittaciformes wird der Pupillarreflex durch den übergeordneten Flucht- und Abwehrreflex beeinflusst und erschwert damit die Reflexbeurteilung. Regelmäßig kann bei ausgedehnten, den Patienten belastenden Untersuchungen zunächst ein in rascher Folge wechselndes Öffnen und Schließen der Pupillenöffnung beobachtet werden, das jedoch nach einiger Zeit in einer Mydriasis bei auf Lichtreize verlangsamtem Pupillarreflex endet (KORBEL 1991 a). Bei zahmen Vogelpatienten, insbesondere bei den meisten Papageienvögeln, kann diese auch Ausdruck positiver Emotionen sein.

Berührungen der Kornea lösen ebenfalls Pupillenreaktionen aus (MURPHY 1987). Aufgrund der Sehnervenkreuzung zeigen Vögel keinen echten konsensuellen Pupillarreflex (GREENWOOD und BARNETT 1981, STARCK 1982). Dennoch lässt sich ein scheinbar konsensueller (indirekter) Pupillarreflex auslösen, indem die Retina bei Lichtstimulation des Partnerauges durch das dünne Septum interorbitale retroilluminiert wird. Insbesondere bei Spezies mit weit lateraler Augenposition und stark gebündeltem Licht kann während der indirekten Ophthalmoskopie ein Aufleuchten des Partnerauges mit Auslösen eines scheinbar konsensuellen Pupillarreflexes beobachtet werden (KORBEL 1994, LEVINE 1955).

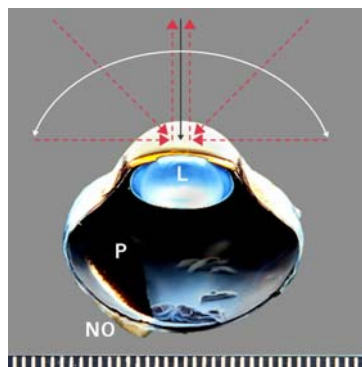


Abb. 5

#### 2.5.6.4 Untersuchung im auffallenden schwingenden Licht mit variablem Blickwinkel

Bei frontaler schwingender Beleuchtung wird der Blickwinkel mit der Beleuchtungsrichtung variiert (Abb. 6). Hierdurch wird die 3-D-Darstellung durch Ausnutzung der „Parallaktischen Verschiebung“ erhöht. Das Prinzip der perspektivischen Verschiebung ist, dass sich bei der durch Eigenbewegung des Untersuchers weiter korneawärts gelegene Strukturen rascher in die entgegengesetzte Richtung zu bewegen scheinen, als weiter funduswärts lokalisierte Strukturen. Somit kann die Tiefe von Veränderungen besser beurteilt werden.

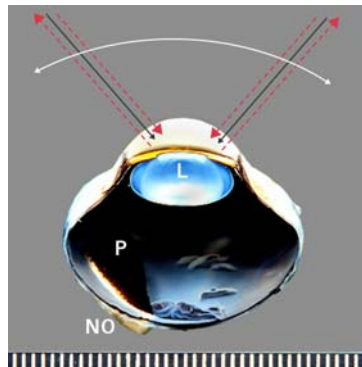


Abb. 6

#### 2.5.6.5 Retroillumination

Die Untersuchung erfolgt im durchfallenden reflektierten Licht. Dazu muss die Lichtquelle dicht (3 cm) vor das Patientenaug positioniert werden. Die Untersuchung erfolgt mit frontaler Betrachtung und frontaler Beleuchtung. Dabei ist besonders auf den koaxialen Verlauf von Untersuchungslicht und Beobachtungsstrahlengang zu achten (Abb. 7) (KORBEL 1994).

Das einfallende Licht wird am Augenhintergrund reflektiert, was als Fundusreflex bezeichnet wird. Durch den Fundusreflex wird der vordere dioptrische Apparat (Glaskörper, Linse, vordere Augenkammer und Kornea) retrograd illuminiert und kann auf Veränderungen der Transparenz beurteilt werden. Die Dichte von Defekten und Trübungen wird anhand der Abnahme der Lichtintensität des Fundusreflexes beurteilt (KORBEL 2004).

Im Vergleich zu Säugetieren, die ein Tapetum lucidum besitzen, ist der Fundusreflex bei Vögeln schwach und erscheint je nach Vogelspezies rot, rotbraun oder grau-weiß

(DAVIDSON 1997). Der Fundusreflex wird durch Licht verursacht, das von der Sklera, die zwischen den chorioidalen Gefäßen zu sehen ist, reflektiert wird. Der schwache Fundusreflex erschwert u. U. nicht nur die Untersuchung des lediglich matt illuminierten Augenhintergrundes, sondern auch die Untersuchung der vorderen Augenabschnitte. im reflektierten Licht. Eine Optimierung der Untersuchungsbedingungen kann durch Erhöhung der Lichtreflexion erreicht werden, indem der Diaskleralkegel insbesondere bei tagaktiven Spezies so ausgerichtet wird, dass der an der Basis des Pekten oculi und von diesem größtenteils verdeckte, lanzettförmige ovale, weiß-graue Sehnervkopf getroffen und das von ihm reflektierte Licht zur Retroillumination transparenter Medien des dioptrischen Apparates ausgenutzt wird (KORBEL et al. 1997).

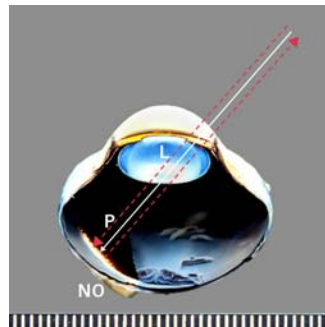


Abb. 7

#### 2.5.6.6 Untersuchung im seitlich durchfallenden Licht

Die Untersuchung erfolgt mit korrespondierender Blickrichtung des einfallenden Lichtstrahls entlang des Iris-Linsen-Diaphragmas. Die Lichtquelle befindet sich nahe am temporalen Limbus des Vogelauges und die Vorderkammer wird in nasaler Richtung durchleuchtet.

Mit parallel zum Lichtstrahl gerichtetem Blickwinkel in temporonasaler Richtung entlang des Iris-Linsen-Diaphragmas kann die Vorderkammer auf ihre Tiefe und mögliche pathologische Inhalte (Hypopyon, Hyphaema, suspendierte Pigmentzellen oder eine erhöhte Zelldichte) beurteilt werden (DAVIDSON 1997).

Bei fokalen Zubildungen der Iris oder Linsensubluxationen ist sie zum Beispiel ungleichmäßig tief, bei diffuser Schwellung (Iritis) oder Vorwölbung der Iris (Napfkucheniris, Linsenschwellung) ist sie seicht. Tiefer als normal ist sie z. B. nach Luxation der Linse in die Vorderkammer. Abnormalen Inhalt stellen Blut (Hyphaema),

Leukozyten (Hypopyon) und andere Entzündungsprodukte (Fibrin) der Iris und des Ziliarkörpers dar. Neben Trübungen und Luxationen der Linse, können auch tiefer gehende Hornhauttrübungen, Vorwölbungen der Hornhaut (Keratokonus, Keratoglobus) und abnorme Beweglichkeiten des Iris-Linsen-Diaphragmas bei spontanen oszillatorischen Augenbewegungen (Iridodonesis, Lentodonesis) erkannt werden (KORBEL 1994). Bei Spezies mit stark gekrümmter Hornhaut wird auf diese Weise sogar eine direkte Gonioskopie möglich.

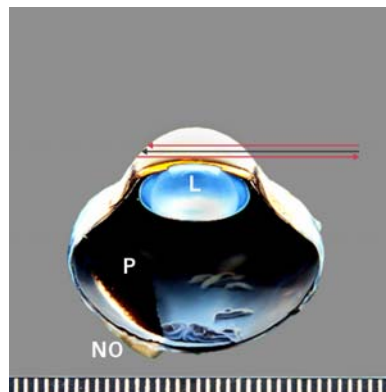


Abb. 8

### 2.5.7 Untersuchung des hinteren Augensegmentes

Bei einer Ophthalmoskopie, d. h. Spiegelung des Augenhintergrunds mit Hilfe von Augenspiegeln, handelt es sich um die Untersuchung der hinter der Linse liegenden Augenabschnitte im durch die Pupille einfallenden fokalen und vom Augenhintergrund reflektierten Strahlengang.

Für diese Untersuchungsart ist ein nahezu koaxialer Strahlengang des einfallenden bzw. reflektierten Lichtes einerseits und der Sehachse des Untersuchers andererseits bei zusätzlich weit gestellter Pupille sowie eine nicht getrübte Linse Voraussetzung (KORBEL 1994, SEIDEL 1988). Nur auf diese Weise werden die vom Patientenfundus reflektierten Strahlen auf die Netzhaut des Untersuchers projiziert und damit eine Abbildung erzielt. Der Fundusreflex wird beim Vogel durch Licht verursacht, das von der Sklera, durch die Choroidea und die Retina reflektiert wird. Im ophthalmologischen Bild lassen sich Blutungen und Trübungen des Glaskörpers, morphologische Veränderungen des Pekten und Retinopathien gut darstellen (SEIDL 1988, DAVIDSON 1997).

Zur Anwendung kommen verschiedene Untersuchungstechniken. Man unterscheidet zwischen monokularer und binokularer sowie direkter und indirekter Ophthalmoskopie. Jede Technik hat dabei ihre Vor- und Nachteile.

Eine Ophthalmoskopie kann laut KORBEL (1997 c) auch bei Vogelaugen mit einem sehr geringen Pupillendurchmesser von ca. 1 mm entgegen dem Angaben von BAUMGARTNER (1995) routinemäßig durchgeführt werden.

Dämmerungsaktive Vogelarten, die grundsätzlich eine vergleichsweise schwache Pigmentierung des retinalen Pigmentepithels (RPE) aufweisen, haben einen stärkeren, rot-orangen Fundusreflex als tagaktive Vogelarten mit einer grundsätzlich stärkeren Pigmentierung des RPE, aus der ein schwacher, grauer Fundusreflex resultiert (KORBEL 2004/2005 b). Der schwache Fundusreflex erschwert u. U. nicht nur die Untersuchung des lediglich matt illuminierten Augenhintergrundes, sondern auch die Untersuchung der vorderen Augenabschnitte wie Hornhaut, vordere Augenkammer und Linse. Eine Optimierung der Untersuchungsbedingungen kann durch Erhöhung der Lichtreflexion erreicht werden, indem der Untersuchungsstrahlengang auf die unpigmentierte Eintrittsstelle des lanzettenförmigen Sehnervenkopfs gerichtet wird, der als schmaler Saum an der Basis des Augenfächers zu sehen ist (KORBEL 1997 a).

#### **2.5.7.1 Direkt monokulare Untersuchung:**

Die Untersuchung erfolgt mit Hilfe einer punktförmigen Lichtquelle, vorzugsweise mit einem Diaskleralkegel, ersatzweise mit einem Otoskoplämpchen, ohne weitere Hilfsmittel zwischen Patienten- und Untersucherauge.

Der nahezu koaxiale Strahlengang wird durch Positionierung der Lichtquelle direkt unterhalb der Verbindungsachse zwischen Untersucher- und Patientepupille (Sehachse) erzielt (KORBEL 1994). Der Diaskleralkegel wird so dicht an das Untersucherauge gehalten, dass der Untersucher knapp über ihn sehen kann. Nachdem der Fundusreflex aus einem Abstand von ca. 40 cm aufgesucht worden ist, kann der Pekten von dorsonasaler Blickrichtung erkannt werden. Der Lichtstrahl bleibt dabei immer koaxial zur Blickrichtung. Der Fundusreflex wird durch Erscheinen des Pekten abgeschattet. Dann nähert der Untersucher sein Auge dem Patientenauge kontinuierlich bis auf ca. 3 cm an, ohne (!) zu akkomodieren. Bleibt das Bild unscharf,



so kommen Trübungen der brechenden Medien oder die Akkomodation des Untersuchers in Betracht.

Das Untersucherauge befindet sich nah am Patientenaug, innerhalb der doppelten Gegenstandsweite. Die hinter dem Linsenzentrum liegenden okularen Strukturen werden aufgrund der vergrößernden Wirkung der Patientenlinse auf das 10-15-fache vergrößert, aufrecht stehend und seitenrichtig dargestellt, es kann jedoch nicht die Peripherie eingesehen werden. Bei Verlagerung der Schärfenebene in Richtung Fundus können die einzelnen Falten bzw. Fahnen und schließlich der Sehnervkopf an der Pektenbasis als weißer Saum durchgemustert werden (NEUMANN 1987). Der Sehwinkel, d. h. das einsehbare Fundusareal, ist umso größer, je geringer der Abstand zwischen Untersucher- und Patientenaug ist.

Um Bissverletzungen beim Untersucher zu vermeiden (Abstand Nase des Untersuchers zum Schnabel), erfolgt die Ophthalmoskopie des rechten Auges mit dem rechten, des linken Patientenauges mit dem linken des Untersuchers.

Die direkte monokulare Ophthalmoskopie ist eine sehr praktikable Methode ohne großen Aufwand bei Vögeln mit großem Pupillendurchmesser (bis ca. 5 mm), wie zum Beispiel bei den Greifvögeln (KORBEL 1995). Das Prinzip der perspektivischen Verschiebung, lässt sich hier am weit in den Glaskörper ragenden Augenfächer eindrucksvoll nachvollziehen. Aufgrund dieses Prinzips verschieben sich Eindellungen im Fundus in Relation zum Fundusniveau scheinbar im Sinne der Bewegungsrichtung (KORBEL 2004). Dies ist z. B. von Bedeutung, um die Fovea centralis und ggf. Fovea temporalis darzustellen. Durch Bewegung der Lichtquelle vor dem Patientenaug und Ausnutzung von Beugungserscheinungen, weisen Sie zusätzlich einen bläulichen Lichtkranz (Halo) auf.

In entgegen gesetzter Bewegungsrichtung des Untersuchers dagegen bewegen sich in den Glaskörper gerichtete Erhebungen, wie z. B. Netzhautablösungen.

Vorteile dieser Untersuchungstechnik sind der geringe gerätetechnische Aufwand und die geringen Kosten. Selbst kleine Fundusdetails können im aufrecht stehenden Bild beurteilt werden. Nachteile sind das gering einsehbare Augenhintergrundareal und die geringe Distanz zum Tier.

### **2.5.7.2 Indirekt monokulare Untersuchung**

Die indirekte monokulare Ophthalmoskopie kann mittels Diaskleralkegel und Ophthalmoskopierlupe, aber auch ohne Zusatzlupe mit dem indirekten Ophthalmoskop erfolgen. Das Bild entsteht untersucherseitig etwa 5-7 cm vor der Lupe. Der Untersucher muss also auf das Bild vor der Lupe akkomodieren und darf nicht durch die Lupe hindurch sehen. Durch Verkippen und Bewegung der Lupe wird das Bild scharf und störende Reflexe und Blendungen werden ausgeschaltet. Bei Verwendung eines indirekten monokularen Ophthalmoskop (Ophthalmoskop 305, Leitz/Reichert) wird durch ein eingebautes Spiegel- und Prismensystem ein seitenrichtiges, aufrecht stehendes und vergrößerndes Bild aus sicherer Entfernung erzeugt. Es kann bei allen Vogelspezies verwendet werden und eignet sich vor allem für die Untersuchung von Augen mit geringem Pupillendurchmesser, z. B. Papageienvögeln. Allerdings entsteht hier ein relativ hoher Kostenaufwand. Generell ist die indirekte monokulare Ophthalmoskopie zur Untersuchung von Vogelaugen aufgrund des schwachen Fundusreflexes (fehlendes Tapetum lucidum) - und dem damit resultierendem dunklen Fundusabbild - nur bedingt zu empfehlen.

### **2.5.7.3 Binokulare indirekte Untersuchung**

Die binokulare indirekte Ophthalmoskopie ist die Methode der Wahl zur Untersuchung des hinteren Augenabschnittes bei Vögeln mit einem Pupillendurchmesser unter 9mm. Zwar ist die Vergrößerung nicht so groß wie bei der direkten Ophthalmoskopie, dennoch vermittelt die, auf den ersten Blick umständlichere, aber sehr viel informativere und bei einiger Übung auch einfacher am Patienten anzuwendende Methode, je nach Dioptrienzahl der gewählten Lupe, einen weitaus übersichtlicheren Einblick auf den Fundus des Vogels. Die Größe des Ausschnittes hängt von der Dioptrienzahl der Ophthalmoskopierlupe ab. Je stärker die Brechkraft der verwendeten Linse, desto größer der untersuchbare Ausschnitt und desto geringer die Vergrößerung.

Für die binokulare indirekte Ophthalmoskopie werden ein Kopfbandophthalmoskop und Ophthalmoskopierlupen mit 30, 40, 60, 78 und 90 Dioptrien Brechkraft benötigt (KORBEL 1995). Bei Benutzung eines binokularen Kopfbandophthalmoskops gewinnt der Untersucher einen stereoskopischen Eindruck und kann durch die sehr plastische

Darstellungsweise des Augenhintergrundes z. B. Erhebungen oder Vertiefungen am Fundus besser beurteilen. Das Bild der indirekten Ophthalmoskopie ist seitenverkehrt und steht auf dem Kopf, bietet aber ein Vielfaches an Gesichtsfeld gegenüber der direkten Ophthalmoskopie. Die Wahl der Ophthalmoskopierlupen erfolgt entsprechend der Größe der Patientenaugen und ihrem Pupillendurchmesser. Je kleiner der Pupillendurchmesser des Patienten, umso größer muss die Brechkraft einer Linse sein, um ein Fundusabbild sehen zu können.

- Greifvögel: 30-40- Dioptrien-Lupen
- Amazonen, Tauben, Turmfalken: 78- Dioptrien-Lupe
- Wellensittich, Finkenvögel: 90-Dioptrien-Lupe

Lupen mit größerer Brechkraft erweitern den Bildwinkel, d. h. ein größeres Fundusareal kann beurteilt werden. Der Augenhintergrund ist auf dem Kopf stehend, seitenverkehrt und verkleinert abgebildet. Diese Tatsache und die Vermeidung von Reflexen auf den Ophthalmoskopierlupen erfordern seitens des Untersuchers viel Übung.

Mit ca. einer Armlänge Abstand wird Kontakt zum Patienten gehalten.

Das Patientenaugewird zentral in den Lichtkegel gebracht und der Fundusreflex aufgesucht. Nach Aufsuchen des Reflektors kann die Lupe dazwischen geschwenkt und dem Patientenaugewegenähert werden, bis sich ein formfüllendes Bild ergibt. Um das gesamte Fundusareal einzusehen, wird die Blickrichtung verändert und nicht die Position des Patienten. Die Schärfenveränderung erfolgt durch Distanzveränderung des Untersuchers zum Patienten. Vorteile dieser Technik sind die Einsehbarkeit der Fundusperipherie, bei einigen Spezies bis zur Ora serrata, bei tubulären Augen partiell auch des Ziliarkörpers, sowie die Mitbeobachtungsmöglichkeit über Spiegel oder Videokamera. Nachteil ist der vergleichsweise hohe instrumentelle Aufwand.

## 2.6 Spezielle Untersuchung

### 2.6.1 Schirmer-Tränen-Test

Störungen des Tränenapparates machen rund 4,2 % aller Augenerkrankungen bei Vögeln aus. Der Schirmer-Tränen-Test (STT) stellt eine semiquantitative Methode zur Messung der Produktion des präkornealen Tränenfilms dar. Er wird zur Diagnostik von Hypo- wie von Hypersekretion eingesetzt und kann ebenso bei experimentellen Fragestellungen, als Dopingkontrollen bei Brieftauben und zur Ermittlung des Immunstatus verwendet werden.

Eine Hyposekretion kommt z. B. bei einer Keratokonjunctivitis sicca (KCS) im Zusammenhang mit einer Uhu- und Waldkauzkeratitis, Hypovitaminose-A bedingten Metaplasien der Tränendrüsen, Tränendrüsentumoren und infektionsbedingten Tränendrüsenenerkrankungen (Mykobakterien) vor.

Eine Hypersekretion wird z. B. durch okulare Irritationen (Fremdkörper, Infektionen), Funktionsstörungen des dritten Augenlids und Abfluss-Störungen hervorgerufen. Hypersekretionen werden neben nasoventralen Sekrettrinnen auch durch verklebtes Gefieder im Bereich der Schwingdecken offensichtlich, da diese zum Abwischen des Kopfes verwendet werden (KORBEL 1998 a).

Prinzipiell erfolgt der STT durch Einlegen eines standardisierten, ggf. mit Millimeterskala und Farbindikator versehenen, sterilen Fließpapierstreifens ohne Oberflächenanästhesie in das temporale Drittel des unteren Konjunktivalsackes. Da laut JONES et al. (1972) die Insertionsstelle des Messstreifens keine Auswirkung auf das Ergebnis hat, wird am besten das temporale Drittel gewählt, da hier die Beeinflussung durch die Nickhaut am geringsten ist. Die Breite der Teststreifen muss an die Lidspaltengröße und das Tränenflüssigkeitsvolumen angepasst werden. Bei Vögeln mit großer Lidspalte (Greifvögel, Wirtschaftsgeflügel) können die in der Säugetierophthalmologie üblichen 5 mm Teststreifen eingesetzt werden. Bei kleineren Vögeln sollten Streifen mit 4 mm (Psittaziden, Beos) und 2 mm (Wellensittich, Nymphensittich, Agaporniden) Verwendung finden.

Der Patient muss im Kappengriff (KORBEL 1992 b) gut fixiert werden, so dass der Untersucher für die Durchführung des Testes beide Hände frei hat. Die Streifen sollten, mit einer Pinzette gefasst, vorsichtig am Ende an seinem Falz geknickt und im Fornix conjunctivae ventralis platziert werden.

Eine Kontamination des Streifens mit Fett und Schweiß von den Fingern würde die Saugkraft des Papiers und damit auch das Messergebnis verringern (EISNER 1960). Als sehr hilfreich erweist sich auch die Verwendung eines stumpfen Augenhakens zum vorsichtigen Abheben des unteren Augenlids, um den STT-Streifen zu platzieren. Nach exakt 1 Minute wird die Tränenflüssigkeitsfließstrecke abgelesen und schließlich mittels der an der Verpackung befindlichen Skala gemessen. Die Ablesung soll immer sofort nach der Entnahme erfolgen, da sonst aufgrund der Kapillarkräfte das Ergebnis verfälscht wird und man falsch negative Befunde erhalten kann (EISNER 1960). Im praktischen Einsatz kann bei unilateraler Erkrankung der STT-Wert des gesunden Auges, bei mehreren Tieren im Bestand, der STT-Wert eines gesunden Kontaktieres, als Referenz dienen (KORBEL und LEITENS DORFER 1998 a). Wie bei Mensch und Säugetier lässt sich auch beim Vogel zwischen verschiedenen Variationen des Schirmer-Tränen-Tests unterscheiden:

STT I: Ermittlung der Fremdkörpersekretion (streifeninduziert) ohne vorherige Oberflächenanästhesie der Kornea

STT II: Ermittlung der Basissekretion nach vorheriger Lokalanästhesie

STT III: Ermittlung unter Allgemeinanästhesie zur Vermeidung übermäßiger Stresszustände ohne Lokalanästhesie

Die Normalwerte bewegen sich mit artspezifischen Schwankungen zwischen < 1mm und 12 mm. Probleme können sich bei Vögeln durch die lange Untersuchungsdauer bei getrennter Durchführung von OS und OD ergeben. Daraus können nicht nur enorme Stresszustände entstehen, sondern auch die Intensität und Frequenz der Nickhautbewegung zunehmen, so dass der STT-Streifen aus dem Konjunktivalsack geschlagen werden kann. Man sollte daher OS und OD gleichzeitig und STTI und STTII fraktioniert untersuchen (KORBEL und LEITENS DORFER 1998).

Für die Interpretation der STT-Werte kommt der Beachtung artspezifischer Eigenarten eine besondere Bedeutung zu. Unterschiede, zum Beispiel zwischen tagaktiven und nachtaktiven Vögeln, lassen sich auf die höhere Luftfeuchtigkeit in den Nachtstunden zurückführen (KORBEL und LEITENS DORFER 1998). Eulenvögel, die generell sehr kleine Tränendrüsen aufweisen und keine Glandula lacrimalis haben, weisen sehr niedrige STT-Werte auf. Auch die große Korneaoberfläche wird hier eine Rolle spielen (MARTIN 1985).

In einer Studie an 42 Vogelspezies ermittelte LEITENSTORFER (1996) speziesspezifische Referenzwerte. Damit war die Grundlage für eine erfolgreiche Integration dieser Methode in den routinemäßigen Untersuchungsgang am Vogelauge gegeben. Aus dieser Basis lassen sich frühzeitig pathologische Veränderungen erkennen, die im schlimmsten Fall zu einer Keratokonjunktivitis sicca führen können.

### **2.6.2 Phenolrot-Faden-Test**

Eine weitere Methode zur Überprüfung der Tränendrüsenfunktion bei Vögeln ist der Phenolrot-Faden-Test (PRT). Hierbei handelt es sich um einen mit dem pH-Indikator Phenolrot imprägnierten Baumwollfaden mit einem Durchmesser von ca. 0,3 mm und vorgefertigtem Falz. Das Einhängen in den Konjunktivalsack erfolgt analog zum STT. Die Messdauer beträgt allerdings nur 15 Sekunden (KORBEL et al. 2002 a). Der gelbe Faden, der mit der alkalischen Tränenflüssigkeit in Kontakt kommt, verfärbt sich rot und kann so leicht abgelesen werden. Vorteile beim PRT gegenüber dem STT ergeben sich durch die kürzere Messdauer, den geringeren Fremdkörperreiz und die geringere Irritation okularer Strukturen. Er eignet sich vor allem bei Vögeln mit kleiner Lidspalte und geringerer Tränenproduktion. Nach Untersuchungen von Korbel et al. (2002 a) weist er auch eine höhere Genauigkeit und eine bessere Vergleichbarkeit von Messwerten verschiedener Spezies auf.

### **2.6.3 Fluoreszeintest**

Ein Fluoreszeintest ist bei allen Patienten indiziert, die eine Schmerzreaktion im Bereich des Auges zeigen (Blepharospasmus, Zwinkern, Kopfschütteln), eine offensichtliche Korneaverletzungen haben oder nach entsprechendem Vorbericht.

Fluoreszein ist ein wasserlöslicher Farbstoff, der durch seine Lipidunlöslichkeit intaktes Korneaepithel nicht penetrieren kann und sich daher nicht an intaktes lipophiles Hornhautepithel anlagert. Epithelerosionen oder Ulzera, die das hydrophile Stroma freilegen, erlauben die Penetration des Farbstoffes. Die Lösung ruft eine Grünfärbung kornealer Epitheldefekte hervor. Somit kann es sowohl zum Nachweis

von Kornealäsionen als auch zur Kontrolle des Heilungsprozesses eingesetzt werden (MARTIN 1995).

Fluoreszein ist als Lösung oder in Form von Streifen zum Einlegen in den Bindehautsack erhältlich (SEIDL 1988), die beide beim Vogel angewandt werden können. Die Lösung kann allerdings bei mehrmaligem Gebrauch leicht verunreinigen. In den unteren Bindehautsack wird ein Fließpapierstreifen eingelegt, dessen nach innen geknicktes fluoreszeingetränktes Ende Farbstoff an die Tränenflüssigkeit abgibt. Möglich ist auch, den Fließpapierstreifen mit steriler Kochsalzlösung zu benetzen, den Teststreifen senkrecht über das Auge halten und 1 Tropfen ins Auge zu träufeln. Die Lösung wird im Folgenden durch das Blinzeln über dem gesamten Auge verteilt.

Nach 20-30 sec. der Instillation wird das Auge mit steriler NaCL-Lösung vorsichtig ausgespült um überschüssigen Farbstoff zu entfernen. Anschließend wird die verbleibende Färbung beurteilt (MARTIN 1995). Nur Defekte im Hornhautepithel bleiben grüngelb gefärbt. Die zusätzliche Beurteilung mit Biomikroskop und Blaufilter ist empfehlenswert, um kleinere Korneadefekte sichtbar zu machen.

#### **2.6.4 Tonometrie**

Die Messung des Intraokulardruck (IOD) beim Vogelpatienten ist klinisch zur Diagnostik von Druckschwankungen pathologischer Ätiologie, zum Beispiel bei Druckerhöhungen als Symptom beim Vorliegen eines Glaukoms oder bei verringertem Druck infolge einer Uveitis, ein wesentlicher Bestandteil des vogelspezifischen ophthalmologischen Untersuchungsganges (KORBEL 1994) und dient als Basis für die Erkennung und effektive Therapie damit verbundener Krankheitskomplexe (KORBEL und BRAUN 1999). Im Gegensatz zum Säuger ist die Ermittlung des IOD beim Vogelpatienten weniger hinsichtlich eines Primärglaukomgeschehens, als vielmehr hinsichtlich der Erfassung traumatisch und entzündlich bedingter Druckschwankungen von Bedeutung (KORBEL 1992 c).

Als IOD wird der durch den Augeninhalt auf die korneasklerale Hülle des Bulbus ausgeübte Druck bezeichnet. Er ist von der Summe der inneren Flüssigkeitsdrücke (v.a. Kammerwasser), der Dehnungsfähigkeit der Augenhülle und den Druckverhältnissen der Augenumgebung abhängig.

Der IOD kann direkt nur durch unmittelbare Druckübertragung aus der Augenvorderkammer nach Parazentese (Ophthalmomanometrie) oder indirekt durch Tensionsprüfung der Augenhüllen (Ophthalmotonometrie) gemessen werden.

Mittels palpatorischer Tensionsprüfung ist beim Vogelpatienten keine fachgerechte Ermittlung des IOD möglich, da es durch fälschliche Palpation des in die Sklera eingelagerten Skleralringes und des Tarsus im Unterlid häufig zu Fehleinschätzungen kommt (KORBEL 1994). Des Weiteren ist der Korneadurchmesser insbesondere bei Ziervögeln zu klein und Aufregungszustände sind unvermeidlich. Eine palpatorische Tensionsprüfung sollte aus diesen Gründen bei Vögeln (KORBEL 1994) wie auch bei Säugern (WALDE 1982) unbedingt vermieden werden.

Die Ermittlung des IOD erfolgt klinisch–praktisch ausschließlich durch Tonometrie. Sie sollte nach Oberflächenanästhesie der Kornea erfolgen, am besten mittels Luftsackperusionsanästhesie (LPA), um stressbedingte Schockreaktionen zu vermeiden. Es gilt aber zu beachten, dass bei der LPA in Abhängigkeit vom Perfusionsvolumen eine deutliche Senkung des IOD auftreten kann (KORBEL und BRAUN 1999). Bekannt ist, dass es unter den Bedingungen der LPA und gleichzeitig vorliegender Hypokapnie (niedriger Blut-pH, Alkalose) zu einer Senkung des IOD kommt. Die Ursache hierfür wird in der perfusionsbedingten Alkalose und eine dadurch bedingten Vasokonstriktion intraokularer Gefäße vermutet. Durch die verringerte intraokulare Perfusion sind eine herabgesetzte Kammerwasserproduktion und damit eine Senkung des IOD denkbar (KORBEL et al. 1994).

Reiher (*Ardea* spp.), Mäusebussarde (*Buteo buteo*) und bestimmte Falken (*Falco* spp.) können laut BRAUN (1995) direkt ohne Lokalanästhesie tonometriert werden.

Die instrumentelle Tonometrie kann mittels Impressions- (Indentationstonometrie) oder Applanationstonometrie erfolgen. Bei der Applanationstonometrie wird der IOD aus der Kraft abgeleitet, die nötig ist, um ein planes Messkörperchen flächig mit der Kornea in Kontakt zu bringen. Vorzugsweise wird ein elektronisches, nach dem Applanations-Tonometrieprinzip arbeitendes Kurzzeittonometer (TONOPEN® XL) verwendet, dessen Hauptvorteile die lageunabhängige und damit stressarme, rasche Ermittlung von IOD-Werten ist (BRAUN 1995). Daneben besitzt er eine geringe Auflagefläche und misst bis zu Korneadurchmessern von 9 mm (Amazonen oder Tauben) zuverlässig und bis 5 mm (Nymphensittich) bedingt zuverlässig (KORBEL 1992 c). Die Spitze des TONOPEN® XL hat einen Durchmesser von 3 mm. Bei stärkerer Krümmung der Kornea, wie es bei Augen mit einem Durchmesser von



weniger als 9 mm der Fall ist, sitzt die Messspitze nicht mehr plan auf der Kornea auf. Dies macht einen korrekten Messvorgang unmöglich; denn je kleiner die Vogelgröße, desto kleiner der Korneadurchmesser und desto höher der Krümmungsradius der Kornea (MURPHY und HOWLAND 1983).

Durch das Aufsetzen der Messspitze auf eine Kornea mit vergleichsweise großem Durchmesser (z. B. bei Menschen und Hunden) kommt es bei der Applanation zur Verdrängung von sehr kleinen Kammerwassermengen. Je geringer der Bulbusdurchmesser aber ist, desto mehr gewinnt dieser Faktor bei konstanter Messspitzengröße an Bedeutung, da das Volumen, das von einem Tonometer verdrängt wird, umgekehrt proportional zum Radius der Korneakrümmung ist und eine Erhöhung des Deformationsvolumens zu einer IOD - Steigerung führt (FRIEDENWALD 1937, 1954). Dies ist eine weitere Erklärung dafür, dass mit abnehmendem Korneadurchmesser bei größer werdender Krümmung sowohl der vom TONOPEN® XL ermittelte Wert als auch seine Varianz zunimmt (KORBEL 1992 c).

Es zeigt sich, dass die Messwerte durch den jeweiligen Erregungszustand des Patienten beeinflussbar sind, so dass der korrekten Durchführung von Zwangsmaßnahmen (KORBEL 1992 b) größte Bedeutung beigemessen wird. Lediglich bei größeren Vogelaugen (Korneadurchmesser >12 mm) einsetzbar, jedoch deutlicher billiger ist das nach dem Impressionstonometrieverfahren arbeitende Schiötz-Tonometer (KORBEL und BRAUN 1995). Bei der Impressionstonometrie wird der Widerstand gemessen, den die Kornea ihrer Deformation durch ein definiertes Gewicht entgegensetzt. Über den Eindellungsgrad wird direkt auf den IOD geschlossen.

Das Schiötz-Tonometer muss aufrecht gehalten und senkrecht auf die Kornea platziert werden (WALDE 1997), wozu der Kopf des Tieres seitlich abgewinkelt fixiert werden muss. Diese unnatürliche Körperstellung, die beim Einsatz des Schiötz-Tonometers unvermeidbar ist, führt zu einer erheblichen Belastung des Patienten. Eine Verwendung des Schiötz-Tonometers ist daher nur bedingt zu empfehlen (KORBEL 1992 a).

Zuverlässige IOD-Messungen bei Vögeln mit sehr kleinen Korneadurchmessern (Wachteln) können manometrisch mithilfe der Parazentese erfolgen (TAKATSUJI et al. 1986).

Bei der IOD-Bestimmung an Vogelaugen muss im Gegensatz zum Säuger die große

Variationsbreite von Augentypen berücksichtigt werden und damit einhergehend auch ein großes Spektrum an artspezifischen Referenzwerten. Der physiologische Augeninnendruck bewegt sich bei Vögeln artspezifisch zwischen 9 und 22 mmHg. Der minimale Korneadurchmesser für realistische Werte beträgt 9 mm (BRAUN 1995). Strigiformes besitzen einen auffällig geringen IOD (KORBEL 1992 c, STILES 1994). Eine mögliche Ursache hierfür stellt evt. der überdurchschnittlich große Glaskörper dar, da das Messergebnis neben dem IOD auch von der Bulbusrigidität abhängt (KORBEL 1992 c). Möglicherweise nimmt die Rigidität mit größer werdendem Glaskörpervolumen ab. Dies bedeutet nach FRIEDENWALD (1937), dass die IOD-Meßwerte niedriger ausfallen.

Adulte Vögel haben einen höheren IOD als juvenile. Eine Erklärung könnte auch hier die Bulbusrigidität sein. Gründe für eine niedrigere Bulbusrigidität bei juvenilen Vögeln könnten z. B. noch nicht kalzifizierte Skleralringe oder noch nicht verknöcherte Syndesmosen sein (KORBEL 1995).

Bei adulten und juvenilen Moschusenten (*Cairina moschata*), Hausgänsen (*Anser anser*) und Turmfalken (*Tinnunculus tinnunculus*) ging aus Beobachtungen bei der Tonometrie hervor, dass in Bezug auf die Altersunterschiede beim IOD im Vergleich zu den Säugetieren, bei denen der IOD mit zunehmendem Alter sinkt (FORISCH 1980, LEYDHECKER 1980, SLATTER 1990, RENWICK 1993), umgekehrt proportionale Resultate vorliegen. Demzufolge erfolgt bei Vögeln im Gegensatz zu Säugern möglicherweise keine stetige Reduktion der Kammerwasserproduktion mit zunehmendem Alter.

Faktoren, die den IOD beeinflussen, sind z. B. Aufregungszustände durch Einfangen oder Zwangsmaßnahmen (KORBEL 1992 b), Kompression der V. jugularis (PILZ und COMBERG 1961), Druck auf den Bulbus (WALDE 1997), Hypoventilation (EZZATT 1973, HEIMANN 1974), Hypoxämie (HEIMANN 1974), Exsikkose (JANTZEN 1988), Hyperventilation (EZZATT 1973, HEILMANN 1974, JANTZEN 1988, KORBEL 1994) oder der Tonographieeffekt (COMBERG und PILZ 1961, DRAEGER 1966).

Aus nicht korrekt und nicht gleichmäßig ausgeführter Tonometrie können unterschiedliche Messergebnisse resultieren. Zum Beispiel entstehen durch ein nicht zentral und plan ausgeführtes Touchieren der Kornea zu hohe Messfehler (BRAUN 1995). Eine zu starke Eindellung der Kornea, wozu ungeübte Benutzer tendieren, führt zur Kompression des Bulbusinhaltes, wodurch Flüssigkeit verdrängt wird. Da

diese aber nicht sofort abfließen kann, kommt es zu einem kurzfristigen Ansteigen des IOD (WALDE 1982).

Bei ungeübten Anwendern ist oft ein häufiges Touchieren der Kornea nötig, um einen gültigen Messwert zu erhalten. Das häufigere Touchieren hat allerdings eine Bulbuskompression und damit einen IOD-Anstieg zur Folge (WHITACRE et al. 1991). Jede IOD-Erhöhung durch Bulbuskompression wiederum führt zu einem erhöhten Kammerwasserabfluss, der mit einer IOD-Erniedrigung einhergeht (Tonographieeffekt). Die Ausprägung des Tonographieeffektes ist von der Dauer des Messvorganges abhängig (COMBERG und PILZ 1961, DRAEGER 1966). Eine weitere mögliche Fehlerquelle stellt das Touchieren der Nickhaut dar, die bei Aufregungszuständen trotz Lokalanästhesie häufig blitzschnell und nicht nur temporär über die Kornea gezogen wird.

Pelikanen (Pelicaniformes), Kakadus (Cacatuinae) und Amazonen (Amazoninae) ist es möglich aktiv den Bulbus zurückziehen, obwohl sie keinen *M. retraktor bulbi* haben. Dies kann den Vorgang des Tonometrierens beeinflussen (BRAUN 1995). Durch Kontraktion der extraokulären Muskeln wird Druck auf den Bulbus ausgeübt, wodurch der Augeninhalte komprimiert wird. Dies bedingt eine Tensionserhöhung und damit einen IOD-Anstieg.

Die wichtigste Maßnahme, um Fehler möglichst einzuschränken, ist der Erwerb von Routine beim Vorgang des Tonometrierens (MINCKLER et al. 1987).

Größte Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang auch der korrekten Durchführung von Zwangsmaßnahmen zu. Bei nicht korrekt durchgeführter Fixation kann eine IOD-Erhöhung durch eine abrupte Blutdrucksteigerung bei Kompression der *V. jugularis* oder durch Aufregungserscheinungen beim Einfangen hervorgerufen werden (GUM 1991). Bei aufgeregten Vogelpatienten wurden zum Teil Messwerte erzielt, die bis zu 15 mm Hg über den angegebenen Referenzwerten lagen (BRAUN 1995).

Eine plötzliche Blutdruckänderung hat eine entsprechende Änderung des IOD in dieselbe Richtung zur Folge (HART und STOECKEL 1971). Allerdings wird durch Verstärkung bzw. Reduktion des Kammerwasserabflusses oder der Kammerwasserproduktion der IOD in Sekunden bis wenigen Minuten wieder auf sein Ausgangsniveau eingestellt (HEILMANN 1974).

### 2.6.5 Biomikroskopie

Mit Hilfe einer Spaltlampe kann v. a. das vordere Augensegment (Hornhaut, Bindehaut, Lederhaut, Iris und Linse) mit verschiedenen Vergrößerungen untersucht werden. Die Spaltlampe nutzt das Prinzip der fokalen Beleuchtung in Kombination mit einem Biomikroskop aus. Die Lichtstrahlen werden durch ein Linsensystem gebündelt und können als punktförmiges Licht oder als variabler Spalt auf den zu untersuchenden Augenabschnitt gerichtet werden. Das schmale Lichtbündel ermöglicht einen optischen Schnitt durch die transparenten Abschnitte des Augengewebes. So lassen sich Feinstruktur, Lage und Dicke der Gewebe gut erkennen. Ein Handspaltlampen-Biomikroskop erweist sich am Vogelauge als sehr günstig, da die zu untersuchenden Augenstrukturen gleichzeitig um das 10-15-fache vergrößert werden (KORBEL 1994).

Mit Hilfe der Spaltlampe können die sog. Purkinje- Sansonsche- Spiegelbildchen (PSS) sichtbar gemacht werden, deren richtige Bewertung und Interpretation eine ganze Reihe von Informationen über das Auge liefert. Das erste Bild entsteht als Reflektionen der Lichtquelle auf der Hornhaut, das zweite auf der vorderen Linsenkapsel und das dritte auf der hinteren Linsenkapsel (Abb. 9). Die Zuordnung der einzelnen PSS wird erleichtert, indem man die Lichtquelle bewegt und gleichzeitig die Bewegungsrichtung der PSS betrachtet:

Das 1. und 2. Bild bewegen sich gleichläufig, das 3. verhält sich gegenläufig.

Mit diesem einfachen Hilfsmittel kann das Vorhandensein der Linse (alle drei Bilder vorhanden), das Fehlen der Linse (nur ein Bild vorhanden), oder eine Trübung bzw. ein Fremdkörper im Bereich der brechenden Medien des Auges in ihrer Lage bestimmt werden, indem man eine Trübung oder Pigmentansammlung in ihrer relativen Lage einem der Bildchen zuordnet und dadurch die betroffene Struktur identifiziert.

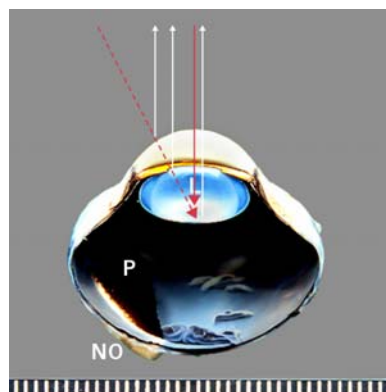


Abb. 9

### 2.6.6 Gonioskopie

Unter Gonioskopie wird die Untersuchung des vorderen Augenkammerwinkels verstanden. Beurteilt wird u. a. die Tiefe der vorderen Augenkammer, die Weite und Struktur des Filtrationswinkels sowie die Morphologie des sich zwischen der Irisbasis und Kornea spannenden Ligamentum pectinatum. Neben einer Differenzierung zwischen Offenwinkel- und Winkelblockglaukom, dient die Gonioskopie zur Feststellung von Veränderungen, die in der Peripherie der vorderen Augenkammer lokalisiert sind, z. B. Iriszysten, Fremdkörper oder Neoplasien.

Während beim Vorliegen eines Glaukoms mittels Tonometrie lediglich ein Symptom (erhöhter Augeninnendruck) diagnostiziert wird, kann mittels Gonioskopie eine ätiologische Diagnose gestellt werden. Aufgrund des hoch geöffneten Kammerwinkels werden Primärglaukome bei Vögeln selten beobachtet.

Bei den meisten Ziervögeln kann mit Hilfe eines Kopfbandophthalmoskops, einer Spaltlampe und doppelt asphärischen Ophthalmoskopierlupen mit 30, 40, 60, 78 oder 90 D eine ausreichende Darstellung des Kammerwinkels erfolgen.

Die direkte Gonioskopie erfolgt ohne Kontaktglas durch seitliche Beleuchtung im durchfallenden Licht und wird vorzugsweise bei Vögeln mit stark gekrümmter Kornea durchgeführt. Der Blickwinkel verläuft coaxial mit dem Beleuchtungsstrahlengang vom temporalen zum nasalen Winkel entlang des Iris-Linsen-Diaphragmas.

Die indirekte Gonioskopie erfolgt mit einem Kontaktglas, das die Krümmung der Hornhaut ausschaltet. In der Säugetierophthalmologie werden gewöhnlich 1- oder 2-spiegelige Linsen (Goldmann-Linsen) oder direkte Gonioskopielinsen mit einer flachen Oberfläche (Lovac Linsen) eingesetzt (WALDE 1997). Die Linsen sind gewöhnlich für die Humanmedizin konzipiert und können nur in eingeschränktem Maße bei Vögeln eingesetzt werden. Selbst Linsen aus der Pädiatrie können eigentlich nur bei Vogelaugen mit relativ großem Korneadurchmesser verwendet werden, z. B. bei Eulen und Bussarden (KORBEL et al. 1998 b). Die Gonioskopielinsen werden nach Oberflächenanästhesie - am besten unter LPA, um erregungsbedingte Schockzustände zu verhindern - auf die Hornhaut aufgesetzt. Durch Applikation einer viskösen Flüssigkeit (Methylcellulose) wird ein direkter luftblasenfreier Kontakt ermöglicht. Bei Spezies mit extrem flachen Korneakrümmungen kann mit keiner dieser Methoden der Kammerwinkel genau untersucht werden (KORBEL et al. 1998 b).

### 2.6.7 Elektroretinographie

Die Elektroretinographie (ERG) ist eine elektrophysiologische Untersuchungsmethode zur Überprüfung der Netzhautfunktion. Sie zeichnet elektrische Potenziale auf, die bei Reizung der Photorezeptoren nach Einwirkung von Lichtreizen auf die Retina entstehen und ein typisches Wellenmuster ergeben (SEIDEL 1988). Dies bedeutet, dass einfallendes Licht eine kurze Spannungsänderung zwischen Netzhaut (negativer Pol) und Hornhaut (positiver Pol) bewirkt (STÜTZ 1997).

Dieser Vorgang ist analog zum Elektrokardiogramm in Form einer Kurve darstellbar, die stark von den Versuchsbedingungen abhängig ist und einen typischen mehrphasigen Kurvenverlauf mit a, b, und c-Wellen zeigt. Die a-Welle (1. negativer Ausschlag) reflektiert die Aktivität der retinalen Photorezeptoren. Diese Welle ist bei gestörter Reizrezeption weniger tief. Es folgt ein stufenweiser Anstieg („oszillatorische Potentiale“) als Ausdruck von Impulsen in Zellen der inneren Körnerschicht; dieser Teil ist vermindert bei Krankheiten mit Netzhautbeteiligung, Nachtblindheit. Den Gipfel der Ableitung bildet die b- Welle. Die b-Welle (1. positiver Ausschlag) entsteht durch Aktivität der inneren Körnerschicht, hauptsächlich der Müller-Zellen, auf Impulse aus den Stäbchen- bzw. Zapfenzellen (MILLER und DOWLING 1970). Die c-Welle spiegelt die Reaktion des Pigmentepithels wider und lässt sich erst bei längerem Lichteinfall ableiten.

Das Elektroretinogramm reflektiert normalerweise die Aktivität aller Strukturen, die an der retinalen Reizantwort beteiligt sind. Eine Ausnahme bildet das so genannte Pattern- und fokale ERG, bei dem separate Netzhautareale mittels schachbrettartigen Lichtreizen (hell/dunkel) stimuliert werden (CELESIA 1988, NIEMEYER 1989).

Ein ERG erlaubt keine Aussage über die Sehfähigkeit, sondern lediglich über den Funktionszustand der Retina (KORBEL und STÜTZ 1999). Das liegt daran, dass die der Netzhaut nachgeschalteten Reizleitungsbahnen (Fasciculus opticus, Sehnervenkreuzung, Sehzentrum des zentralen Nervensystems) durch eine elektroretinographische Untersuchung nicht erfasst werden.

Eine Indikation ist ein nicht direkt einsehbares hinteres Augensegment, z. B. durch Trübung des vorderen dioptrischen Apparates (Hornhauttrübung, Katarakt, Hyphaema, Hypopyon). Ein ERG kann damit z. B. präoperativ vor Kataraktoperationen als Kontrolle der Retinafunktion dienen.

Prognostisch ist das ERG bei traumatischen, degenerativen und hereditären Fundopathien indiziert, etwa bei der Beurteilung traumatischer Fundusläsionen, die

entscheidend für die Rehabilitationsfähigkeit von Wildvögeln sein kann. (NEUMANN 1992). So kann es nach schweren Schädeltraumata durch Ansteigen des IOD und damit Druck auf den Nervus opticus zu einer temporären Erblindung kommen. Mit Hilfe eines ERG kann hier eine retinale Ursache ausgeschlossen werden (NIEMEYER 1979, ZRENNER 1983). Weiterhin stellen retinale Manifestationen von Infektionen (Salmonellose), Intoxikationen (Bleivergiftung), Stoffwechselerkrankungen (Hypovitaminose A), retinale Degenerationen oder Dysplasien sowie hereditäre Funduserkrankungen eine Indikation dar.

Eine weitere wichtige Rolle spielt das ERG auf neurophysiologischem Gebiet, im Zuge von Untersuchungen zur UV-Perzeption. Durch spezifische Stimulierung der retinalen UV-sensitiven Zapfen durch Vorsatz entsprechender Filter vor den Blitzlichtstimulator. Die Ableitung kann prinzipiell von allen Bereichen des Auges erfolgen. Klinisch am einfachsten ist es jedoch dort, wo die größte Potentialamplitude zu erwarten ist, nämlich von der Kornea (GELATT 1999 b). Grundsätzlich wird die durch einen Lichtreiz ausgelöste Potentialdifferenz zwischen einer positiven Elektrode auf der Hornhautoberfläche und einer negativen Referenzelektrode in Augennähe registriert. Dabei soll das zu untersuchende Auge möglichst wenig irritiert und die Messungen nicht beeinflusst werden. Die Null- oder Erdungselektrode wird bei Tieren meist subkutan im Nacken befestigt (SPIESS 1993). Der Lichtstimulus kann die Netzhaut über verschiedene Systeme direkt oder indirekt erreichen. Bei der direkten Stimulation blickt der Patient auf einen Leuchtschirm. Bei der indirekten Stimulation wird der Lichtreiz selektiert, gebündelt und durch die Pupille auf den Augenhintergrund projiziert.

Ein auslösender Impuls markiert dann Reizbeginn und Aufzeichnung, indem er einerseits den Photostimulator zur Abgabe eines Lichtreizes veranlasst und gleichzeitig den Prozessor veranlasst, mit der Registrierung der Reizantwort zu beginnen.

Insgesamt stellt die Ableitung eines ERG ein kompliziertes Untersuchungsverfahren dar, das von der strikten Einhaltung genau definierter Standardbedingungen abhängig ist.

## 2.6.8 Fluoreszenzangiographie

Indikationen für eine Fluoreszenzangiographie (FAG) beim Vogel ergeben sich aus der hohen Inzidenz von Fundopathien durch Systemerkrankungen und bei posttraumatischen Insulten, die bei Greifvögeln unter anderem bis zu 33 % aller traumatisierten Patienten ausmachen (KORBEL 1999 a).

Klinisch können mittels FAG Netzhautablösungen sowie subtile Hämorrhagien und Atrophien der Choroidea, des Augenfächers, der Gefäße und des retinalen Pigmentepithels diagnostiziert werden. Abnorme Befunde werden entweder als Hyperfluoreszenz oder Hypofluoreszenz beschrieben. Hyperfluoreszenz findet sich z.B. nach Übertritt von Farbstoff in den Glaskörper oder den subretinalen Raum, etwa nach Retinaablösungen. Stauungen infolge von Tumoren, frischen Blutungen und Gefäßabnormalitäten erzeugen ebenso Hyperreflexien. Hypofluoreszenz deutet auf Gefäßatrophien, Gefäßokklusionen infolge Pigmentanhäufung, Exsudaten und Ödeme hin.

Bei der FAG wird die Verteilung eines intravenös verabreichten Farbstoffes im Gefäßsystem des Augenhintergrundes beobachtet und im Idealfall mittels Hochgeschwindigkeits-Funduskamera mit ca. 1 Bild pro Sekunde, 5-7 Sekunden post appl. bildlich dokumentiert (KORBEL et al. 2000 a).

Fluoreszein-Natrium ist eine schwache Säure, die durch Bestrahlung mit Licht, einer Wellenlänge von 490 nm zu maximaler Fluoreszenz angeregt, im Blut aber zu 60 bis 80 % an Protein gebunden wird. Ungebundenes Fluoreszein gelangt nach Erreichen der choroidalen Gefäße über Gefäßfenestrations in das choroidale Interstitium. Eine Penetration in retinale Strukturen wird durch sog. „tight junctions“ des retinalen Pigmentepithels unterbunden. Der Farbstoff erreicht anschließend die retinalen Gefäße und verbleibt hier aufgrund des Fehlens von Gefäßfenestrations innerhalb des Gefäßlumens (KORBEL 1999 c).

Für die fachgerechte Untersuchung des Augenhintergrundes ist die Induktion einer Mydriasis obligatorisch. Aufgrund des übergeordneten Fluchreflexes und der erhöhten Stress- und Schockempfindlichkeit der Vögel ist eine Ruhigstellung des Patienten mittels LPA empfehlenswert.

Nach intravenöser Applikation einer 10 %igen Fluoreszin-Natrium-Lösung (40 mg/kg) als Bolus, erscheint der Farbstoff je nach Applikationsform und Spezies innerhalb von ca. 3-6 Sekunden im Bereich der Augenstrukturen. Die Injektion kann in die Vena jugularis oder in die Vena ulnaris superficialis erfolgen.



Aufgrund der speziellen Vaskularisationsverhältnisse des aviären Augenhintergrundes (u. a. avaskuläre Retina, Augenfächer) können drei Phasen unterschieden werden. Eine Füllungsphase ( $4 \pm 2$  sec), eine chorioidale Phase und eine Pektenphase mit anschließendem Fluoreszein-Übertritt in den Glaskörper (KORBEL et al. 2000 a).

Der Augenfächer wird im ventrozentralen Fundusbereich beidseitig von vielen parallel und zentripetal verlaufenden Gefäßen umgeben, die in eine ventrale Gefäßkaskade einmünden und sich oberhalb der dorsotemporalen Pektenspitze im Bereich des Fundusäquators, horizontal mit der dorsalen Gefäßkaskade überlappen. In der chorioidalen Phase werden die Gefäße im oberen Fundusbereich ventrodorsal und im unteren Fundusbereich dorsoventral gefüllt. Die chorioidale Phase dauert laut KORBEL (1999 a) bei Eulen  $10 \pm 3$  sec, bei anderen Greifvögeln  $5 \pm 2$  sec. In der Pektenphase (Dauer bei Eulen  $6 \pm 2$  sec, andere Greifvögel  $3 \pm 1$  sec) diffundiert der Farbstoff aus dem Pekten oculi in den Glaskörper (Tintenfischeffekt). Durch die oszillatorische Augenbewegungen wird die rasche Verteilung des Farbstoffes in die Fundusperipherie unterstützt. Nach ca. 44 Sekunden tritt Fluoreszein in die vordere Augenkammer und wird später über die Niere ausgeschieden (KORBEL und STÜTZ 1999).

Bei schwächerer oder fehlender retinaler Pigmentierung (z. B. Eulen) lässt sich die Verteilung des Farbstoffes am besten beurteilen. Bei starker Pigmentierung des Augenhintergrundes ist das Gefäßmuster meist nur schwach bzw. schemenhaft darstellbar (KORBEL und STÜTZ 1999).

Die FAG kann mittels direkter oder indirekter Ophthalmoskopie erfolgen (NEUMANN 1987), wobei jedoch für eine exakte Auswertung die Fundusfotographie auf Schwarzweiß- oder Farbfilmmaterial sowie als Videoaufzeichnung zu bevorzugen ist (GELATT 1999 a). Hierfür wurden spezielle Funduskameras entwickelt, die sich durch einen vergleichsweise starken Lichtgenerator, einen motorischen Hochgeschwindigkeits-Filmtransport und die Möglichkeit der Einschwenkung eines selektiven Blaufilters auszeichnen (KORBEL und STÜTZ 1999). Die Kamera muss dabei exakt vor der Pupille während des gesamten Untersuchungszeitraums zentriert werden.

Die FAG ist auch zur sicheren Identifikation – analog zum menschlichen Fingerabdruck – von z. B. wertvollen Greif- und Papageienvögeln aufgrund der markanten, individualspezifisch sog. „landmarks“ im Gefäßverlauf und individueller Besonderheiten des Pekten geeignet (KORBEL et al. 2000 a).

### **2.6.9 Radiographie**

Mit Hilfe von Röntgenaufnahmen des Schädels können entzündliche, traumatische und evtl. neoplastische Veränderungen der knöchernen Strukturen des Skleralringes oder der Augenhöhle lokalisiert (MURPHY 1987) sowie röntgendichte Fremdkörper (Geschoßprojekte) erkannt werden (KORBEL 1994). Des Weiteren können Aussagen hinsichtlich einer möglichen Einbeziehung der knöchernen Orbita in neoplastische Prozesse getroffen werden, die sich für die Prognosestellung im Vorfeld operativer Eingriffe als sehr nützlich erweisen (MILLER et al. 1998).

Die röntgenologische Untersuchung des Vogelpatienten erfolgt zur Vermeidung von Stresszuständen im besten Fall unter Allgemeinanästhesie mit einer Isofluran-Inhalationsanästhesie und zusätzlich geeigneten Fixationsmaßnahmen.

Der Schädel ist einer der komplexesten und spezialisierten Teile der Vögel, der beachtliche Unterschiede aufweist. Die vielen kleinen sich überlagernden Knochen, das Weichteilgewebe und die luftgefüllten Bereiche, erscheinen anfänglich als eine einzige große Masse. Um eine Schädelaufnahme beurteilen zu können, sind eine Aufnahme in mindestens 2 Ebenen und eine absolut exakte Lagerung sowie anatomische Kenntnisse notwendig.

### **2.6.10 Sonographie**

Die Sonographie stellt auch beim Vogel eine wertvolle Ergänzung der klinischen Untersuchungsmöglichkeiten dar. Es handelt sich um eine nicht invasive, sichere und schmerzfreie Methode, die mit relativ geringem Zeitaufwand durchgeführt werden kann (KORBEL et al. 2000 b). Sie erlaubt trotz opaker optischer Medien und der lichtoptisch nicht einsehbaren Orbita, eine Beurteilung von Augenbinnenstrukturen und hat sich deshalb fest in der veterinärophthalmologischen Diagnostik etabliert (HOFFMANN und KÖSTLIN 2004). Hauptindikationen zur Sonographie des Auges sind Beurteilungen der inneren Augenstrukturen bei Erkrankungen, die mit Trübungen des vorderen dioptrischen Apparates einhergehen (Keratitis, Katarakt, Hypopyon) und daher eine direkte ophthalmoskopische Untersuchung nicht zulassen (CANTON et al. 1992). So können z. B. Netzhautablösungen (BLUE MCLENDON et al. 1993, DAVIDSON 1997), Linsenluxationen, intravitreale Hämorrhagien und traumatische oder angeborene Pektinveränderungen dargestellt werden (GUMPENBERGER und

KORBEL 2001). Daneben können adnexal oder retrobulbär liegende Strukturen auf Veränderungen (FK, Tumore) untersucht werden (KORBEL et al. 2000 b).

Die sonographische Untersuchung des Vogelauges erfolgt vorzugsweise im B-Modus. Das Bild im B-Modus ist wie ein echographisches Flächenschnittbild aufgebaut, das den Schnittbildern der Computertomographie ähnlich ist. Für die Untersuchung muss der Vogelpatient von einer Hilfsperson fixiert und am entsprechenden Auge eine Oberflächenanästhesie durchgeführt werden. Unter Verwendung von Ultraschallgel auf der Kornea und mittels eines hochfrequenten Ultraschallgerätes (7,5 MHz, Konvexschallkopf mit kleiner Ankopplungsfläche), kann das Vogelauge auf Veränderungen durchgemustert oder vermessen werden (KORBEL et al. 2000 b). Bei Eulenvögeln ist aufgrund des größeren oberen Augenlids die Untersuchung über das geschlossene Augenlid eine ebenso praktikable Methode, bei der das empfindliche Korneaepithel geschont wird.

Bei der Sonographie im A-Modus (Amplitudenmodus) werden die gemessenen reflektierten Echoschallwellen als Zacken von einer Null-Linie ausgehend dargestellt. Sie kann verwendet werden, um biometrische Parameter bei Korneaerkrankungen, die Tiefe der vorderen Augenkammer, Erkrankungen der Linse und um die axiale Länge zu ermitteln (ROSOLEN et al. 2001).

### **2.6.11 Tomographie**

Die Indikationen für eine Computertomographie (CT) oder Magnetresonanztomographie (MRT) entsprechen weitestgehend denen der Sonographie. Sie ermöglichen eine detaillierte Darstellung des Augenhöhleninhalts, des angrenzenden knöchernen Schädels und der Sinusoide sowie extraokularer Muskeln und des Sehnervs. Mittels der computertomographischen Untersuchung lassen sich frühzeitig diffuse und herdförmige Veränderungen erkennen und durch Dichtemessungen und Signalstärkeermittlung objektivieren. Bei der computertomographischen Untersuchung kann allerdings laut GUMPENBERGER und KORBEL (2001) der Augenfächer im Gegensatz zur Sonographie nicht dargestellt werden. Die Magnetresonanztomographie, auch Kernspin-Tomographie genannt, ist eine diagnostische Technik zur Darstellung der inneren Organe und Gewebe mit Hilfe von Magnetfeldern und Radiowellen. Diese Technologie bestimmt die Konzentration

von Protonen in Geweben und liefert eine bessere Darstellung und Auflösung von weichem Gewebe im Vergleich zur CT. Der Vogelpatient sollte bei beiden Verfahren anästhesiert werden, um stressbedingte Schockzustände zu vermeiden. Durch den hohen finanziellen Aufwand bieten sich diese Methoden derzeit allerdings nur bei sehr wertvollen Einzeltieren an.

### **2.6.12 Ophthalmologische Photographie**

Die Photographie ist heute auch in der Veterinärmedizin zum Zwecke der Darstellung von häufig sehr komplizierten Verhältnissen, sowohl am gesunden als auch am erkrankten Auge, zum Zwecke der Dokumentation, Instruktion, Kommunikation und Illustration unverzichtbar geworden (KORBEL 1994, VETTER 1992). Durch die Photographie kann die Sicherheit der Befundung erheblich erhöht werden. Mehrere, in Abständen aufgenommene Fotos lassen die Entwicklung einer Krankheit erkennen. Sie ist somit ein wichtiges Bindeglied zwischen Wissenschaft und Praxis. Bei Vögeln birgt die Photographie den Vorteil, dass der für das Tier mit Stress verbundene ophthalmologische Untersuchungsgang auf ein Minimum reduziert werden kann. Eine detaillierte Befundung kann im Anschluss der Untersuchung anhand der Photographien erfolgen. Angaben über die Vorgehensweise der photographischen Dokumentations-technik findet man im klinischen (KORBEL 1994) und postklinischen Bereich (RAVELHOFER 1996). Bei der Photographie in der Vogelmedizin und speziell in der Augenheilkunde ergeben sich nicht nur aufgrund der Stressanfälligkeit des Vogelpatienten und der oftmals sehr geringen Objektgröße Schwierigkeiten (KORBEL 1994). Sie bedeutet auch Arbeit mit geringem Arbeitsabstand, großen Maßstäben, geringer Schärfentiefe, hohem Lichtbedarf und allen sich hieraus ergebenden Folgen, die hohe Anforderungen an die Fertigkeiten des Photographen stellen. In der Ophthalmo-Photographie wird zwischen fünf Spezialdisziplinen unterschieden: Photographie des äußeren Auges, Spaltlampen-Biomikroskopische Photographie (Spaltlampenmikrographie), Gonioskopische Photographie (Goniographie), Fundusphotographie und Fluoreszenzangiographie (KORBEL 1994). Neben der Photographie, die lediglich Momentaufnahmen erlaubt, können durch Video- und Filmaufzeichnungsverfahren Verlaufskontrollen z. B. in Verbindung mit einer Fluoreszenzangiographie vorgenommen werden.

## 2.7 Klinisch relevante anatomische und morphologische vogelspezifische Besonderheiten des Auges im Vergleich zu Säugetier, Reptil und Mensch

### Augenhöhle (Orbita)

- Die Augenhöhle (Orbita) der Vögel nimmt, vergleichbar jener der Reptilien, einen Großteil des Schädelraumes ein. Die linke und rechte Orbita liegen eng zusammen und werden nur durch das sehr dünne, knöcherne Septum interorbitale (bei vielen jungen Greif- und Rabenvögeln häutig) getrennt, so dass sich die Augäpfel zu berühren scheinen (SLONAKER 1918).
- Durch das dünne Septum kann es bei der Ophthalmoskopie zu einer Retroillumination des Partnerauges und somit zu einem falsch positiv gedeutetem konsensuellen Pupillenreflex.
- Die knöcherne Augenhöhle ist nach ventral meist weit offen (TIEDEMANN 1810), kann bei einigen Spezies aber auch knöchern oder durch ein faszienartiges Band - das Ligamentum suborbitale - geschlossen sein (KORBEL 1994). Vögel besitzen – im Gegensatz von Säugetieren und dem Mensch – kein periorbitales Fettpolster (Corpus adiposum orbitae), sondern der Bulbus ruht auf dem Sinus infraorbitalis wie auf einem Luftkissen (POHLMAYER und KUMMERFELD 1989).
- Ein dem Säugetierauge entsprechender M. retractor bulbi fehlt bei Vögeln (SLONAKER 1918, MURPHY 1987 a). Stattdessen besitzen Vögel zwei kräftige Mm. quadratus et pyramidalis membranae nictitantes, die der kaudalen Fläche des Bulbus oculi anliegen. Diese Muskeln sind für die Bewegung der Nickhaut zuständig (BORRICHIOUS 1674). Die dadurch stark eingeschränkte Motilität des aviären Bulbus wird durch Bewegungen von Kopf und Hals kompensiert (WALLS 1942).
- Ein besonders langer, nach kaudolateral ausgezogener Fortsatz (Proceccus supraorbitalis) am Tränenbein (Os lacrimale) bei Taggreifvögeln ist eine weitere Besonderheit. Er überragt den Augapfel dorsal dachartig, zeichnet sich deutlich unter der Haut ab und schützt das Auge gegen traumatische Einwirkungen (KORBEL 1994).

### Augapfel (Bulbus)

- Vögel besitzen in Relation zum Körpergewicht einen größeren Bulbus oculi als Mensch oder Säugetier (TIEDEMANN 1810). Während die Augen des Menschen nur ca. 1 % des Körpergewichtes ausmachen, können sie beim Vogel bis zu 30 % dessen betragen (ENGELMANN 1983).
- Bei den meisten Vogelarten liegen die Augäpfel lateral am Kopf. Dies führt meist zu einem monokularen Sehfeld, ermöglicht gleichzeitig aber ein besonders großes Gesichtsfeld bis zu 360°.
- Der Augapfel der Vögel ist nicht wie bei Mensch und Säugetier annähernd kugelförmig, er ähnelt vielmehr bei allen unseren Hausvögeln einem Rotationsellipsoid, bei dem der Äquatordurchmesser stets größer als der Längendurchmesser ist (NICKEL et al. 1992). Bei allen Vögeln ist die temporale Seite des Bulbus länger als die nasale, so dass die optische Achse nach nasal von der Mittelachse abweicht. Diese Asymmetrie bewirkt eine maximale Überlappung der monokularen Seefelder (WALLS 1942), um möglichst binokulares Sehen zu ermöglichen.

### Lider (Palpebrae)

- Vögel besitzen analog zu den Säugetieren insgesamt 3 Augenlider. Das untere Lid (Palpebra ventralis) ist bei Vögeln und Reptilien hauptverantwortlich für den Lidschluss und somit bei den meisten Vögeln, außer bei nachtaktiven Eulen (KORBEL 1994), größer und mobiler als das obere Augenlid (Palpebra dorsalis) (GREENWOOD und BARNETT 1981, SLATTER 1990). Das untere Augenlid wird bei den meisten Vögeln durch eine fibroelastische Knorpelplatte, den so genannten Tarsus palpebralis, gestützt (CUVIER und MECKEL 1809).
- Eine weitere Besonderheit ist, dass Vögel keine Wimpern besitzen. Stattdessen kann der Lidrand (Limbus palpebralis) völlig federlos oder mit Haarfedern (Cilia palpebralia), denen als Charakteristikum die Federfahne fehlt, besetzt sein.
- Den Lidern der Vögel fehlen im Gegensatz zu den Säugetieren die Tarsaldrüsen (Meibom-Drüsen) (SLONAKER 1918). Das eigentliche Blinzeln zur Verteilung des präkornealen Tränenfilms erfolgt bei den Vögeln mit der Nickhaut und nicht wie beim Säuger durch den Lidschluss. Die Intaktheit der Nickhaut ist deshalb beim Vogel wichtiger als die Lider, da eine unvollständige

Tränenverteilung zwangsläufig zu chronischen Keratitiden führt (LAVACH et al. 1996).

- Die Nickhaut (Palpebra tertia seu Membrana nictitans), das dritte Augenlid, ist eine hoch spezialisierte dünne Bindehautduplikatur, die im retrahierten Zustand in der Tiefe des medialen Augenwinkels liegt. Die Nickhaut wird durch die Endsehnen zweier Muskeln (M. quadratus und M. pyramidalis) im Gegensatz zum Säugetierauge von dorsonasal nach ventrotemporal über die Hornhaut gezogen. Sie wird nicht wie beim Säugetier durch einen knorpeligen Anteil gestützt (MURPHY 1984, SEIDEL 1988). Eine vollständig transparente Nickhaut besitzen die meisten Wasser- und insbesondere Tauchvogelarten, die bei der Unterwassersicht als zusätzliches refraktäres Element (vergleichbar mit einer Taucherbrille) dient (MARTIN 1985) und damit zur großen Akkomodationsbreite beiträgt. Die vorgezogene Nickhaut soll vor Auskühlung des Gehirns (KORBEL 1994) und Austrocknung des Auges, insbesondere während des Fluges schützen (DUKE-ELDER 1958).

#### Der Tränenapparat (Apparatus lacrimalis)

- Der Tränenapparat der Vögel besteht aus: Tränendrüse (Glandula lacrimalis), Nickhautdrüse (Glandula membranae nicticans/ Hardersche Drüse), Nasendrüse (Glandula nasalis), tränenableitenden Wegen.
- Das Sekret der Tränen- und Nickhautdrüse fließt im nasalen Augenwinkel (Angulus oculi nasalis) bei den meisten Vogelspezies über zwei Öffnungen, die sog. Tränenpunkte (Ostia canaliculi lacrimalis), oder wie beim Pinguin über nur eine Öffnung ab.

#### Weißer Augenhaut (Sklera)

- In die bindegewebige Sklera ist beim Vogel eine hyaline Knorpelplatte (Lamina cartilaginea sclerae) eingelagert, die den Augenhintergrund unterstützt und um den Sehnerveneintritt zum kleinen hufeisenförmigen Os nervi optici verknöchert sein kann (TIEMEIER 1950). Der vordere, konkav eingezogene Teil der Sklera erhält durch den knöchernen Skleralring (Anulus ossicularis sclerae) - eine Besonderheit der Sauropsiden - die nötige Festigkeit. Dieser bildet auch bei der Akkomodation ein wichtiges Widerlager, die im Gegensatz zu den Säugetieren mit einer aktiven Kompression der Linse verbunden ist. Der Skleralring besteht

aus 10 bis 18 (meist 15) einzelnen, fischschuppenartig übereinander liegenden Knochenblättchen (*ossicula sclerae*) und ist zwischen *Ora serrata* und *Anulus conjunctivalis* lokalisiert (FRANZ 1934, DUKE-ELDER 1958).

#### Hornhaut (Kornea)

- Die Kornea besteht wie bei anderen Wirbeltieraugen aus fünf Schichten, wobei die Descemetische Membran bei Vögeln nicht immer ausgebildet ist (PEARSON 1972). Außer bei Wasservögeln und einigen tagaktiven Greifvögeln ist die Kornea bei den meisten Vogelspezies relativ dünn und beträgt durchschnittlich 0,4 mm (FREWEIN und SINOWATZ).
- Der Übergang zur Sklera (*Junktura corneaskleralis*) ist durch eine ringförmige Vertiefung markiert und besitzt am äußeren Rand der Kornea (*Limbus corneae*) bei den meisten Vogelspezies Pigmenteinlagerungen (KORBEL 1994), die sich bei der gonioskopischen Untersuchung als inneres und äußeres Pigmentband (*Anulus corneae*) darstellen.

#### Regenbogenhaut (Iris)

Die Weite der Pupille wird durch die *Mm. sphincter* und *dilatator pupillae* reguliert, die bei Vögeln und Reptilien überwiegend quergestreift sind. Sie erlauben eine wesentlich schnellere Hell-Dunkel-Adaptation und damit eine rasche Adaptation an die ständig wechselnden Lichtverhältnisse während des Flugs (REESE et al. 2001). Bei einigen Vogelspezies, wie Sperlingen (*Passer domesticus* L., 1758) und Rotschwanzbussarden (*Buteo jamaicensis* Gmel., 1788), sind auch glatte Muskelfasern in der Iris zu finden, die möglicherweise für das Feinspiel und die Formerhaltung der Pupillenöffnung für längere Zeit verantwortlich sind (OEHME 1969, JOHNSON und OLIPHANT 1984). Die quergestreifte Pupillarmuskulatur kann von den Vögeln willkürlich gesteuert werden. Reverse Effekte des Pupillenreflexes können auf Lichteinfall auftreten (Öffnen der Pupillenweite bei Lichteinfall beim Vogel bei Anästhesie).

- Eine Weitstellung der Pupille (*Mydriasis*), als unabdingbare Voraussetzung für die Spiegelung des Augenhintergrunds (*Ophthalmoskopie*), ist daher mit den in der Säugetierophthalmoskopie üblichen *Mydriatika* (*Parasympathicolytica*) nicht möglich.



### Strahlenkörper (Corpus ciliare)

- Die innere Oberfläche ist mit zahlreichen Falten (Plicae ciliares) besetzt, die nach vorne den Strahlenkranz (Pars plicata, Corona ciliaris) bilden und im hinteren Bereich flach auslaufen (Pars plana, Orbiculus ciliares). Diese Falten sind wiederum mit zahlreichen Ziliarfortsätzen (Processus ciliares) besetzt, die als Besonderheit der Augen von Vögeln und Panzerechsen (GRÜNINGER 2002), die Linsenperipherie umgreifen und an den Spitzen mit der Linsenkapsel verschmolzen sind. Ihre Oberfläche ist von retinalem Epithel überzogen (REESE et al. 2001).
- Ein wichtiger Teil des Ziliarkörpers ist der aus drei Portionen bestehende Ziliarmuskel (MURPHY et al. 1995). Der Ziliarmuskel (M.ciliaris) ist quergestreift und liegt eingelagert in das Stroma.
- Der Übergang vom Kammerwinkel in den Ziliarspalt wird durch das gerade, kräftige Ligamentum pectinatum gekennzeichnet. Im Unterschied zu den Säugetieren werden bei den Vögeln die kollagenen durch elastische Fasern ersetzt. Das spielt für den Mechanismus der Akkomodation bei Vogelaugen eine bedeutende Rolle (TRIPATHI 1974).

### Aderhaut (Choroidea)

- Die Aderhaut von Vögeln ist im Vergleich zum Säugetier und den Reptilien relativ dick und stark vaskularisiert, da ihre Hauptfunktion in der Ernährung der avaskulären aviären Retina durch Diffusion liegt.
- Die Choroidea ist bei tagaktiven Vögeln pigmentreich, während sie bei dämmerungsaktiven Vogelarten schwach oder überhaupt nicht pigmentiert ist. Ein Tapetum lucidum choroideae ist wie bei vielen dämmerungsaktiven Säugetieren nicht ausgebildet (TIEDEMANN 1810). Eine Ausnahme bildet der nachtaktive Ziegenmelker (*Caprimulgus europaeus* L. 1758), der im dorsalen Fundusbereich ein diffus weiß reflektierendes Tapetum lucidum retinae hat, das aber mit dem Pigmentepithel der Retina in Verbindung steht und nicht mit dem choroidalen Tapetum der Säugetiere vergleichbar ist. Bei Spechten (Piciformes) sind als Besonderheit in der Choroidea mit mukösen Substanzen gefüllte Sinusoide ausgebildet, die eine Art Kissen zum Abfangen der Erschütterung beim Pickvorgang darstellen (DUKE-ELDER 1958).

### Innere Augenhaut (Retina)

- Die Vogelretina hat annähernd die Form eines Parabolspiegels. Dies bedeutet, dass die Retina nahe am Brennpunkt für alle Richtungen des einfallenden Lichtes liegt. Im Gegensatz zum eher kugelförmigen Menschaugen besitzen Vögel über die gesamte Retina verteilt eine gute Sehschärfe.
- Der hintere lichtempfindliche Abschnitt der Retina (Pars optica retinae), gliedert sich analog zum Säugetierauge in zehn Schichten. Bei den meisten Vogelspezies ist diese Zelllage analog zu den Säugetieren unpigmentiert. Eine Ausnahme bilden die nachtaktiven Eulen. Bei diesen Spezies sind auch die Zellen der inneren Retinaschicht dicht mit großen Pigmentgranula beladen, bei denen es sich nicht um Melanine, sondern um Lipofuzine handelt. Diese zusätzliche Pigmentierung absorbiert Streulicht im tubusartigen langen Ziliarkörper und verhindert einen seitlichen Lichteinfall durch die nur unvollständig von der Augenhöhle abgedeckte Sklera.
- Bei tagaktiven Vögeln enthält das Pigmentepithel reichlich Melaningranula, so dass Lichtstrahlen nach Durchtritt durch die lichtempfindliche Schicht der Retina resorbiert und streulichtbedingte Sehunschärfen verhindert werden (KORBEL 1994). Besonders Papageien, Finken, Tauben, Enten und Taggreifen haben einen relativ dunklen Fundus oculi aufgrund der starken Pigmentation, der die ophthalmoskopische Untersuchung erschwert.
- Bei dämmerungs- (Kiwis) und insbesondere nachtaktiven Vogelspezies ist das Pigmentepithel nur schwach ausgebildet, so dass es bei der Betrachtung des Fundus zum Durchscheinen choroidaler Gefäße kommt (PEARSON 1972). Diese geben dem Augenhintergrund ein tigerfellartig gestreiftes, sog. tigroides Aussehen (KORBEL 1994).
- Eine Besonderheit ist die Dicke der Retina bei allen Vögeln, aufgrund der großen Anzahl von Nervenzellen die hier bereits Assoziationen bilden, die beim Säugetier höheren nervalen Zentren vorbehalten sind. So ist die Retina der Taube (*Columba livia* Gmel., 1789) wegen der starken Ausbildung der inneren Körner- und plexiformen Schicht, im Vergleich zu der des Menschen, zweimal so dick, was deutlich die enorme Sehleistung widerspiegelt (CAMPELL et al. 1962).
- Vögel sind wie alle Vertebraten mit einer Retina duplex ausgestattet, d. h. sie besitzen sowohl Stäbchen als auch Zapfen (SCHULTZE 1867), wobei einfache

und doppelte Zapfen beobachtet werden (HOFFMANN 1876-1877). In Anpassung an ihren Tagesrhythmus enthalten die Retinae tagaktiver Spezies v. a. Zapfen und nur peripher wenige Stäbchen, während sich die Netzhäute der nachtaktiven Vögel hauptsächlich aus Stäbchen zusammensetzen (Duke-Elder 1958).

- Als Besonderheit der aviären Retina - und einiger Fische, Amphibien, Reptilien und Kängurus - ist das Vorhandensein von farbigen Öltröpfchen in den Zapfenzellen, die chromatische Filterfunktion besitzen. Jeder Öltröpfchen besteht aus einem oder mehreren karotinoiden Pigmenten, die in einer Mischung von Lipiden gelöst sind (MEYER 1986). Es werden mindestens fünf Typen unterschieden, die speziesspezifische unterschiedliche Absorptionsmaxima aufweisen. Zusätzliche farblose Öltröpfchen werden mit der Fähigkeit ultraviolettes Licht zu sehen in Verbindung gebracht. Die für das nichtfarbige Dämmerungssehen zuständigen und wesentlich lichtempfindlicheren Stäbchen enthalten Sehpurpur (Rhodopsin), das sein Absorptionsmaximum im Bereich zwischen 490 und 506 nm, d. h. im blauempfindlichen Bereich, besitzt (CRESCITELLI et al. 1964, SILLMANN 1969, BOWMAKER 1977). Diese Besonderheit ermöglicht den Vögeln ein tetrachromatisches, teilweise auch pentachromatisches Sehen.
- Bei allen Vertebraten treten an einigen Stellen der Retina sog. Areae auf. In diesen Regionen herrscht ein Verhältnis von Rezeptorzellen zu ableitenden Nervenzellen bis zum Optimum von 1:1. Eine weitere Verstärkung der Sehschärfe wird in diesem Bereich durch periphere Verdrängung der im Lichtweg liegenden Neuronen erreicht, so dass flache bis trichterförmige Einziehungen entstehen (PUMPHREY 1948 a). Diese zentrale Eindellung der Area wird als Fovea retinae bezeichnet. Lage und Form der verschiedenen Areae und Foveae variiert speziesspezifisch stark. Bei den Vögeln können im Gegensatz zu den Säugetieren in den Areae ophthalmoskopisch maximal zwei leichte Vertiefungen, sog. Foveae, dargestellt werden (Fovea centralis, Fovea temporalis), deren Tiere und Ausdehnung variabel ist. Nach Untersuchungen von WOOD (1917) und DUIJM (1958) treten bei Vogelaugen hauptsächlich drei Varianten von Area-Fovea-Kombinationen auf.

- Die Netzhaut der Vögel ist im Gegensatz zu den meisten Säugetierarten (excl. Biber Chinchilla, Nashörner) avaskulär. Sie wird dementsprechend als anangiotische Retina bezeichnet (de SCHAEPPDRILVER et al. 1989).

#### Augenkammer

- Die hintere Augenkammer (Camera posterior bulbi) ist im Gegensatz zu den Säugetieren beim Vogel sehr klein, da die Linse sich weit nach peripher erstreckt und Ziliarkörper und Iris sich fast berühren (FREWEIN und SINOWATZ 1992).
- Eulen besitzen meist durch Sekretion muköser Substanzen vom hinteren Korneaepithel ein dickflüssiges fadenziehendes Kammerwasser, weshalb sich die Gewinnung von Kammerwasser mittels Parazentese bei dieser Spezies schwierig gestaltet.

#### Linse und Glaskörper

- Die Linse ist im Gegensatz zu den Verhältnissen beim Säugetierauge am Äquator (Equator lentis) innig mit den Ziliarfortsätzen verbunden, deren Spitzen sogar fest mit der Linsenkapsel verwachsen sind. Durch diesen engen Kontakt zum Ziliarkörper, aber auch durch die vergleichsweise zum Säugetier weiche Beschaffenheit der aviären Linse, wird die aktive lentikuläre Akkommodation ermöglicht (WALLS 1942). Bei Tauchvögeln, für die die lentikuläre Akkommodation von entscheidender Bedeutung ist, ist die Linse besonders weich und kann während der Akkommodation pilzstielartig bis in die Pupillenöffnung vorragen (LEVY und SIVAK 1980).
- Unter der Linsenkapsel liegt ein einschichtiges Epithel, dessen Länge zum Linsenäquator (Equator lentis) zunimmt, sechsseitige Prismen bildet und sich schließlich zu dem für die Linse des Vogelauges typischen, den Linsenäquator umgebenden Ringwulst (Pulvinus anularis lentis) zusammenschließt (SLONAKER 1918, FREWEIN und SINOWATZ 1992). Die Bedeutung des Ringwulstes ist noch unklar. Vermutet wird eine wichtige Funktion für die Schnelligkeit der lentikulären Akkommodation und nutritive Funktion der Linse. Die Nährstoffversorgung der Linse erfolgt nicht nur über die Kapsel, sondern auch über die Linsenkommer (SLONAKER 1918). Möglicherweise erklärt dies bessere Stoffwechselbedingungen und die dadurch verminderte Häufung

altersbedingter Kataraktbildungen, wie bei Menschen, Hund und Katze (DUKE-ELDER 1958).

- Ihre Form ist bei vielen tagaktiven Vögeln abgeflacht und ellipsoid, bei Wasservögeln und nachtaktiven Vögeln sphärisch und damit von höherer Brechkraft (DUKE-ELDER 1958).
- Von großer Bedeutung ist die Durchlässigkeit von Linsen zahlreicher Vogelspezies für ultraviolette Strahlung im Gegensatz zum Gelbfiltereffekt von Primatenlinsen. So ist die Voraussetzung für die Wahrnehmung von UV-Strahlung bei den meisten Vögeln gegeben (KING und McLELLAND 1984).
- Der Zentralkörper besteht analog zu den Linsen anderer Wirbeltiere aus konzentrische Lagen von Linsenfasern (Fibrae lentis), die sich allerdings im Gegensatz zum Säugetier nicht in der typischen Y-Form anordnen (KORBEL 1994). Des Weiteren enthält er bei vielen Vogelspezies Glykogendepots, denen sowohl metabolische als auch refraktive Funktionen zugeschrieben wurden (FREWEIN und SINOWATZ 1992).
- Der Glaskörper der Vögel ist an der nutritiven Versorgung der Retina beteiligt und daher dünnflüssiger als der Glaskörper anderer Wirbeltiere, da bei diesen die Netzhaut selbst vaskularisiert ist.
- Der Glaskörper ist im Vergleich zu vielen Säugetierarten von einer relativ dünnflüssigen Konsistenz, wodurch die Diffusion von Nährstoffen vom Pekten oculi zur Retina erleichtert wird und die unterstützenden schwingenden Bewegungen des Augenfächers ermöglicht werden.

#### Augenfächer (Pecten oculi)

- Der Augenfächer stellt eine Eigenart des aviären Augenhintergrundes dar; nur Reptilien besitzen eine vergleichbare Struktur, den sog. Augenkonus (Conus papillaris) (WALLS 1942). Er ragt über der ovalen Eintrittsstelle des Nervus opticus in den Glaskörper. Es handelt sich um eine choroidale, der Eintrittsstelle des N. opticus aufsitzende Projektion in den Glaskörper, der für das Corpus vitreum und die avaskuläre Retina eine nutritive Funktion besitzt (KORBEL 1997 a, KORBEL R 2000 d).
- Die Verteilung der Nährstoffe im Glaskörper erfolgt durch rhythmische Kontraktionen der extraokularen Augenmuskeln, die oszillatorische Augenbewegungen und ein passives Nachschwingen des Augenfächers zur

Folge haben. Sie sind äußerlich kaum sichtbar, jedoch palpatorisch und ophthalmoskopisch sehr gut darstellbar (KORBEL 1997 b) und dürfen nicht mit einem Nystagmus verwechselt werden. Die Frequenz dieser Augenbewegungen beträgt zwischen 5/min und 35/min (KORBEL 1994).

#### N. opticus

- Der Sehnerv (N. opticus) inseriert beim Vogel nicht in der Achse des Augapfels, sondern tritt ventral davon an der Hinterfläche des Bulbus ein (TIEDEMANN 1810) und ist bei Vögeln im Gegensatz zum Säugetier verhältnismäßig kurz. Seine Fasern kreuzen sich am Chiasma opticum vollständig wodurch bei Vögeln keine konsensuelle Pupillenreaktion gegeben ist (GREENWOOD und BARNETT 1981, STARCK 1982).
- Die ovale Eintrittsstelle des Nervus opticus in die Retina wird größtenteils durch den Augenfächer (pecten oculi) abgedeckt und ist daher ophthalmoskopisch nur als schmaler, weiß-gelber Saum an der Basis des Pecten zu erkennen.
- Bei manchen Vogelspezies findet sich hier als Besonderheit ein knorpeliges oder knöchiges, hufeisenförmiges oder rundliches Gebilde, das Os nervi optici, das zum ersten Mal von GEMMINGER (1892) beschrieben wurde und schützende Funktion für den empfindlichen Sehnerv zukommen soll (DUKE-ELDER 1958).
- Eine weitere Besonderheit ist das Vorhandensein von efferenten Nervenfasern aus dem Nucleus isthmo-opticus im Mesencephalon. Sie bewirken eine Steigerung der Sehempfindlichkeit und der Sehleistung.

## 2.8 Computergestütztes Lernen

Ein Beispiel für eine neue Lehrmethode auf elektronischer Basis ist das E-Learning. Unter E-Learning (englisch *electronic learning*– elektronisch unterstütztes Lernen), auch E-Lernen genannt, werden – nach einer Definition von KERRES (2001) – alle Formen von Lernen verstanden, bei denen digitale Medien für die Distribution von Lernmaterialien und/oder die Kommunikation zum Einsatz kommen. Zur Bereitstellung von Wissen werden v. a. das Internet oder Datenträger wie Multimedia CD-ROMs oder DVDs genutzt. Die rasante technologische Entwicklung der Computerindustrie und die damit verbundenen neuen Methoden für die Gestaltung von Inhalten (insb. Hypertext und Multimedia) förderte die Entwicklung so genannter E-Learning-Programme in einem großen Ausmaß.

Computerunterstütztes Lernen wird v. a. in Form von „Computer Based Training“ (CBT) und „Web Based Training“ (WBT) angeboten. Rechnerunterstützter Unterricht bzw. Computer Based Training steht für Systeme (auch Lernsoftware), die als Lernprogramme genutzt werden, die der Lernende vor Ort auf seinem Computer gespeichert hat. Zum Teil muss hier eine Installation der Lernsoftware erfolgen, zum Teil sind die Medien ohne Installation lauffähig (selbst startende CD-ROMs oder DVDs) und ermöglichen es dem Anwender schnell auf die Lerninhalte zurückzugreifen. Sie sind die meist genutzte Form des elektronischen Lernens. Komplexe Sachverhalte können multimedial in Form von Text, Bild, Ton, Video und Animation anschaulich dargestellt werden.

Je nach Grad der Interaktivität unterscheidet man:

- Simulationssysteme, mit denen Sachverhalte spielerisch durch den Lernenden gelöst werden können.
- Tutorielle Systeme, die auf Eingaben des Lernenden reagieren und unterstützend eingreifen.
- Präsentationssysteme, die ein Lernprogramm multimedial in Modulen abspielen. Der Lernende wird durch ein vorgefertigtes Programm geführt.

Web Based Training werden über das Internet oder in abgeschlossenen Netzwerken von Firmen oder Universitäten verbreitet und bieten den Mehrwert durch Aktualität und Vernetzung. Der Anwender kann von jedem beliebigen auf Lerninhalte zugreifen, die sich im weltweiten Internet befinden.

### 3 MATERIAL UND METHODEN

#### 3.1 Materialien

Für die Herstellung der Multimedia CD-ROM wurde ein Desktop PC (AMD Athlon 64 Processor, 3400+, 1GB RAM) sowie ein herkömmlicher Laptop (Celeron (R) CPU. 1.99. GHZ, 256 MB RAM) mit dem Betriebssystem Windows XP verwendet.

Zur Erstellung von ausgesuchtem Bildmaterial wurde einerseits Diamaterial mit Hilfe eines Diascanners (Nikon; Super coolscan 4000) eingescannt, in einem Bildbearbeitungsprogramm (Adobe Photoshop CS, sowie Paint Shop Pro 7) bearbeitet und anschließend in Director MX importiert.

Außerdem wurde Bildmaterial mit Hilfe einer Digitalkamera (Leica R9 mit digitalem Rückteil und einer Auflösung von 3872 x 2576 Pixel (10 M Pixel), CCD-Chip sowie TIFF- und RAW-Filter) in der Klinik für Vögel in Oberschleißheim angefertigt und ebenfalls in einem Bildbearbeitungsprogramm<sup>1</sup> bearbeitet.

Als Software zur Entwicklung der CD-ROM wurde das Programm Macromedia® Director® MX gewählt. Laut Hersteller handelt es sich dabei um ein Programm, mit dem hochleistungsfähige Multimedia-Inhalte und -Anwendungen für CDs, DVDs, Kiosks und das Web erstellt und überall bereit gestellt werden können. Director MX unterstützt eine breite Palette von Medienformaten, auf deren Grundlage man Inhalte - wie Lernanwendungen, Unternehmenspräsentationen oder Spiele – entwickeln kann. Dank der erweiterbaren Plugin-Architektur von Director lassen sich alle Anwendungen individuell anpassen, und die fortschrittliche Speicherverwaltung garantiert die unterbrechungsfreie Wiedergabe auch langer Dateien oder Videos.

Um das Menü benutzerfreundlicher darzustellen, wurde eine zusätzliche Software (StarMenu Xtra, Version 3.0; StarSoft Multimedia) verwendet. Dieses Programm ist ebenfalls über Lingo™ steuerbar und dient zum Erstellen von Menüarten und Eigenschaften, die alleine mit Macromedia® Director® MX nur schwer zu realisieren sind.

<sup>1</sup> Adobe Photoshop CS



## 3.2 Methoden

### 3.2.1 Konzept

Zu Beginn wurden die Lernziele für die CD-ROM definiert, um anschließend ein umfassendes Konzept auszuarbeiten. Um den neuesten Stand der Forschung sowie neueste wissenschaftliche Trends aufzuzeigen, war zum einen ein intensives Studium der Fachliteratur erforderlich. Mit dieser Lern-CD soll der Nutzer folgende Kenntnisse erlangen:

- Korrekte Durchführung eines schematischen allgemeinen ornitho-ophthalmologischen Untersuchungsganges,
- spezielle Untersuchungsverfahren sowie
- Grundlagen der Anatomie des Vogelauges,
- Grundlagen der Leistungsfähigkeit des Vogelauges,
- korrekte Untersuchung, Fixation und Injektionstechniken,
- Vogelanästhesie und Erzielung einer Mydriasis sowie
- Grundlagen der Optik.

Die letzten fünf Punkte sind eine unabdingbare Voraussetzung für die Durchführung eines korrekten ophthalmologischen Untersuchungsganges.

Nach Zusammenstellung der benötigten Grundlagen wurde das Projekt wie folgt strukturiert:

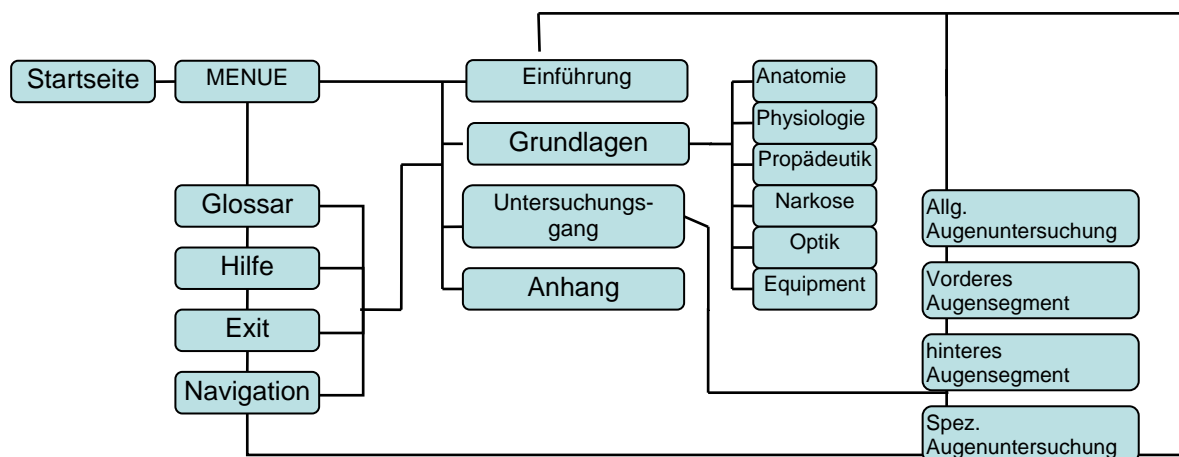


Abb. 10

### 3.2.2 Programmierung

Die fachliche Aufarbeitung sowie die Gestaltung und Programmierung der CD-ROM, wurde von der Verfasserin selbst durchgeführt. Kenntnisse über die Anwendung des Programms und der Programmiersprache wurden durch Einarbeitung mit einem klinikexternen Informatiker sowie Selbststudium einschlägiger Literatur erworben.

Die auf dem Lernprogramm verwendeten Medien sind Texte, Bilder, Grafiken und Videosequenzen. Die Videosequenzen wurden v. a. eingesetzt, um die Bewegungsabläufe bei der Augenuntersuchung darzustellen und anschaulich zu machen. Die wichtigsten Elemente von Director MX sind in Abbildung 11 graphisch dargestellt:

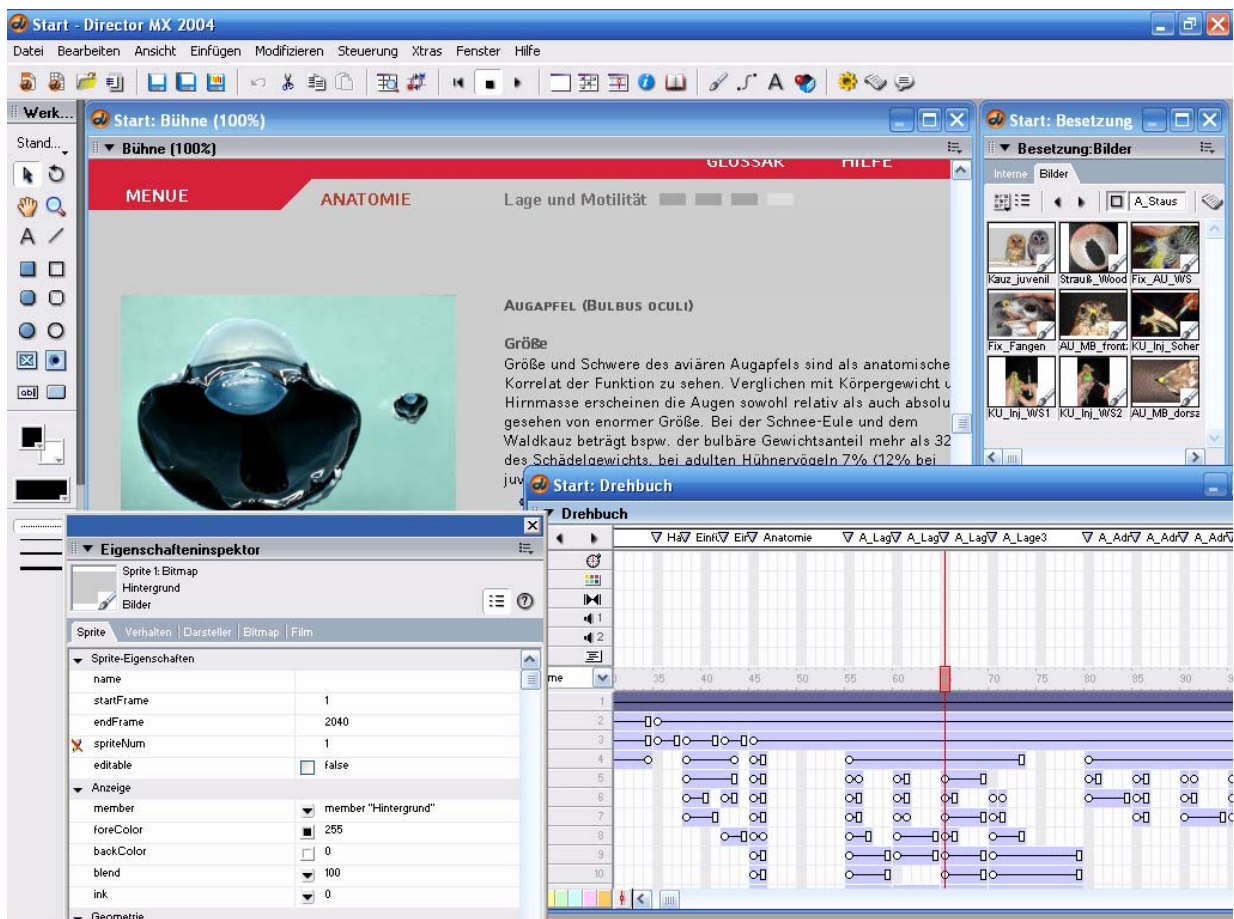


Abb. 11

- Bühne (oben links): Die Bühne ist das zentrale Fenster auf der sich alles abspielt. Nur der Film ist hier zu sehen. Alle Anweisungen und Darsteller bleiben im Verborgenen.
- Besetzung (oben rechts): Im Besetzungsfenster finden sich die so genannten „Darsteller“. Darsteller sind alle Elemente (Bilder, Videos, Texte), die für den späteren Einsatz auf der Bühne vorgesehen sind.
- Eigenschaftsinspektor (unten links): enthält die Eigenschaften jedes Darstellers.
- Drehbuch (unten rechts): Im Drehbuch geht die eigentliche Arbeit mit Director vonstatten. Hier befinden sich alle Darsteller und Anweisungen, die auf der Bühne erscheinen sollen. Das Drehbuch zeigt, wo und wie lange ein Darsteller auf der Bühne auftritt.

Texte können in Macromedia® Director® MX direkt eingegeben und formatiert oder auf die Bühne kopiert werden.

Bildelemente und Grafiken, die hauptsächlich aus der Diasammlung von Prof. Dr. R. Korbel stammen oder an der Klinik für Vögel angefertigt wurden, konnten jedoch erst nach externer Bearbeitung und Anpassung des Formats und der Dateigröße (Adobe® Photoshop®) in Director® MX importiert und mittels *drag-and-drop* vom Besetzungsfenster auf die Bühne gezogen werden.

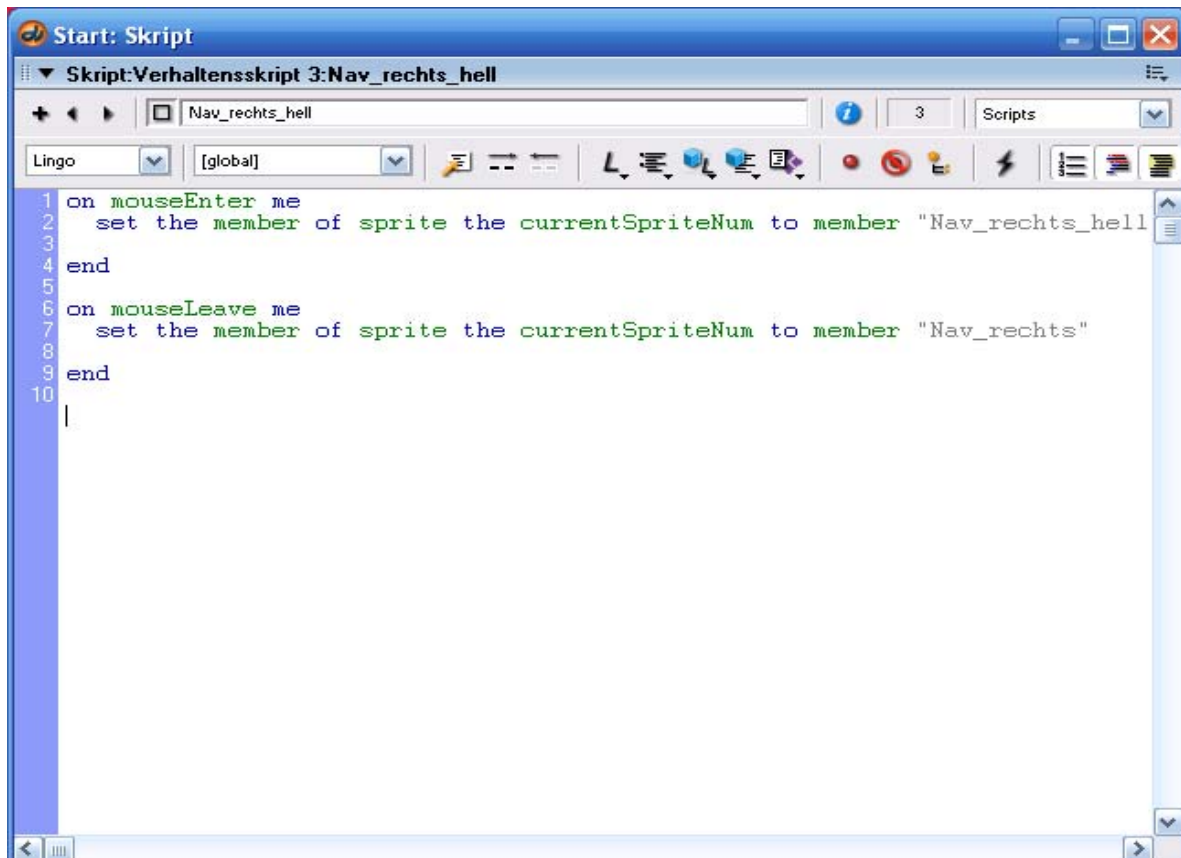
Die wichtigsten Methoden des Augenuntersuchungsganges bei Vögeln, die rein photographisch nicht dargestellt werden können, da es sich dabei um Bewegungsabläufe handelt, wurden mittels Videosequenzen dargestellt. Die erforderlichen Szenen wurden mit einer digitalen Videokamera<sup>2</sup> an der Klinik für Vögel aufgezeichnet. Die Aufnahmen wurden durch die Verfasserin mittels einer Videobearbeitungssoftware (Pinnacle Studio Version 9) geschnitten und nachbearbeitet. Die nunmehr fertig gestellten Filme konnten komprimiert und im QuickTime™-Format gespeichert werden. Dieses Format lässt sich in Macromedia® Director® importieren und in das laufende Programm einbauen. Es wird sowohl von Windows als auch von Apple problemlos unterstützt, wenn das QuickTime™-Format auf dem System vorhanden ist.

<sup>2</sup> Leica R9 mit digitalem Rückwerk, 3872 x 2576 Pixel (10 M Pixel) CCD-Chip

Um den Darstellern ein Verhalten zuzuweisen, war die Einarbeitung in die Programmiersprache Lingo™ notwendig. Dieses lässt einfachere Vorgänge, wie z. B. das Aufrufen der nächsten Seite und auch komplizierte Prozeduren wie z. B. Multiple-Choice-Quiz zu.

In Abbildung 12 wird der Lingo™-code für das Ändern der Farbe beim *Rollover* über den Rechtspfeil und Überspringen zur nächsten Seite bei Mausklick, angezeigt.

Nach Herstellung eines eigenständig ablaufenden Projektors in Form einer exe-Datei wurde die CD-ROM fertig gestellt und vervielfältigt.



The screenshot shows a window titled "Start: Skript" with a sub-window "Skript:Verhaltensskript 3:Nav\_rechts\_hell". The script editor displays the following Lingo code:

```
1 on mouseEnter me
2   set the member of sprite the currentSpriteNum to member "Nav_rechts_hell"
3
4 end
5
6 on mouseLeave me
7   set the member of sprite the currentSpriteNum to member "Nav_rechts"
8
9 end
10
|
```

Abb. 12

## 4 ERGEBNISSE

Bei der Programmierung wurde größten Wert auf Übersichtlichkeit und einfache und somit effektive Handhabung der CD gelegt.

Die CD-ROM „Augenuntersuchung beim Vogel“ ist linear strukturiert und kann wie ein Buch von vorne bis hinten durchgearbeitet werden. Nach der Startseite gelangt der Anwender nach einer kurzen Einführung zum Menü, von wo aus er zu jedem Untermenü und durch Mausklick auch direkt zum jeweiligen Kapitel sowie zum Anhang gelangen kann. Von jeder beliebigen Seite kann der Nutzer auf das Menü zurückgreifen, das Glossar oder die Hilfeseite aufrufen, sowie das Programm über „EXIT“ direkt beenden. Durch das jederzeit aufrufbare Menü kann der Nutzer rasch zwischen einzelnen Kapiteln wechseln. Im Menü sind alle Untermenüs und die dazugehörigen Kapitel aufgeführt. (s. Abbildung 13).

Durch ein *Rollover* über die Untermenüs werden die Kapitel angezeigt. Bei Mausklick auf das jeweilige Kapitel gelangt man zur Übersichtsseite des Kapitels, auf dem die verschiedenen Inhalte aufgelistet sind. Das Menü ist von jeder Seite aus erreichbar, so dass der Nutzer rasch zwischen einzelnen Kapiteln springen kann.

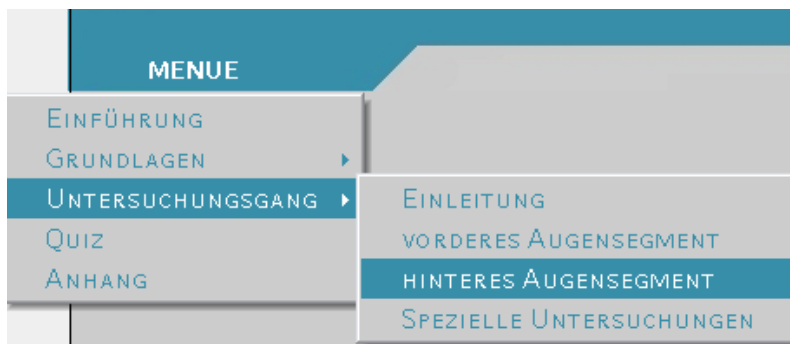


Abb. 13

Im Glossar (Abbildung 14) können einige Fachbegriffe nachgeschlagen werden. Das ganze Glossar ist der Übersichtlichkeit wegen alphabetisch geordnet. Durch Anklicken des Buttons in der Navigationsleiste, der auf jeder Seite vorhanden ist, wird das Glossar geöffnet und kann auf der Oberfläche willkürlich verschoben werden.

Dies bietet für den Anwender den Vorteil, dass parallel die aktuell aufgerufene Seite sehen kann. Durch Schließen des Glossars gelangt der Benutzer wieder auf jene Seite, von der aus er die Glossarseite aufgerufen hat.

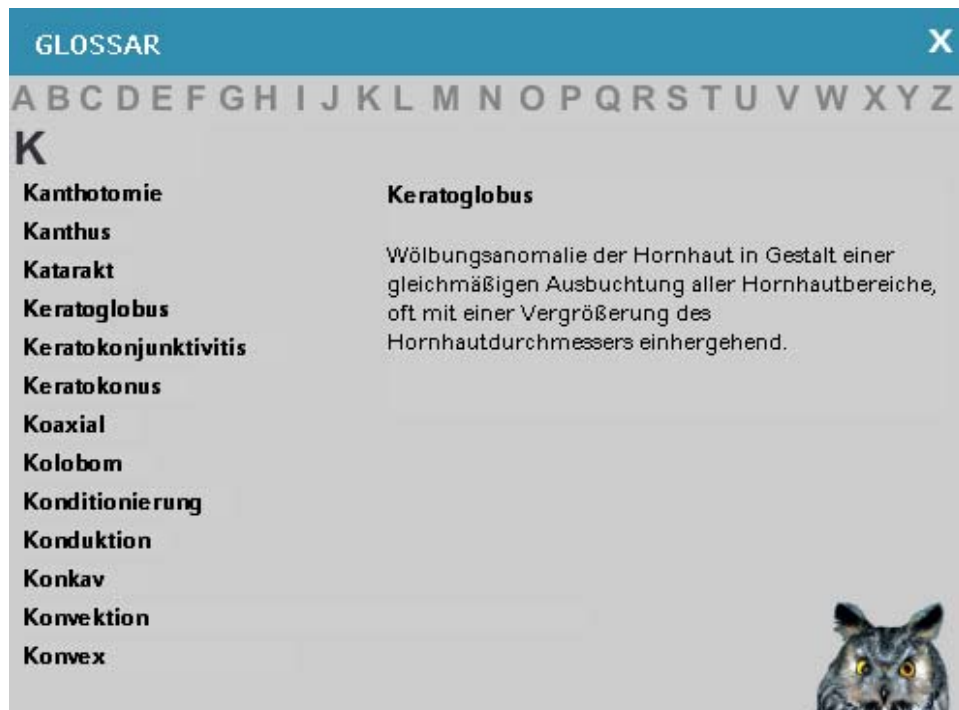


Abb. 14

Die Hilfeseite kann von jeder Seite aus durch Klick des entsprechenden Buttons aufgerufen werden. Sie informiert über den Aufbau und die Anwendung der CD-ROM. Sobald der Anwender die Schließfunktion der Hilfeseite betätigt, wird dieses ausgeblendet und der Nutzer kann weiter dem Programmverlauf folgen.

Bei der Realisierung wurde Wert darauf gelegt, einen Multiple-Choice-Test über den gesamten Lerninhalt zu erstellen, in dem der Nutzer seinen Wissensstand jederzeit überprüfen kann. Der Test baut auf dem gesamten Inhalt der CD-ROM auf. Die Auflösung erfolgt direkt nach jeder Frage durch Mausklick auf „Lösung“. Der Multiple-Choice-Test kann beliebig oft wiederholt werden.

Im Anhang, der vom Hauptmenü aus aufgerufen werden kann, befinden sich folgende Dokumente:

- Befundbogen
- Reflexschema
- Notfallmaßnahmen – Grundregeln
- Anwendung und Dosierung von Medikamenten

Um Tabellen und Befundbögen für den Nutzer praktisch nutzbar machen zu lassen, können sie ausgedruckt werden. Zusätzlich befindet sich im Anhang eine Literaturliste.

Bei der Gliederung der Inhalte war es wichtig, die Themen (z. B. Injektion, Fixation, Allgemeinuntersuchung) in wenige Kapitel (z. B. Propädeutik) zusammen zu fassen, da hierdurch die übersichtliche Struktur der einzelnen Seiten aufrechterhalten wird und der Nutzer nicht die Übersicht verliert. Die einzelnen Kapitel sind einheitlich strukturiert. Jedes Kapitel beginnt mit einer Übersichtsseite, auf der die verschiedenen Themen angegeben sind. Durch Klick auf ein Thema, gelangt man direkt zur entsprechenden Seite. Das Kapitelthema ist immer oben links angezeigt. Durch einen Mausklick gelangt man wieder direkt zur jeweiligen Übersichtsseite.

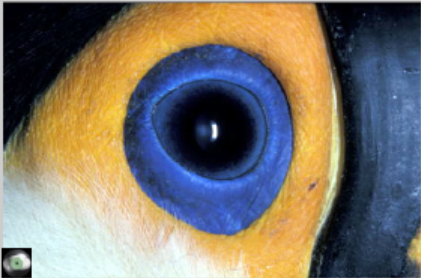

Jede Seite bietet ebenfalls eine Navigationsleiste am oberen Rand und Navigationsbuttons am unteren Rand. Mit den Navigationsbuttons kann man eine Seite vor- und zurückblättern.

In der oberen Navigationsleiste sind verschiedene „Buttons“ vorhanden:

- EXIT, um das Programm zu verlassen
- GLOSSAR, zum Öffnen einer alphabetischen Zusammenstellung und Erklärung von einigen Fachbegriffen
- HILFE zum Aufrufen einer Hilfeseite, welche kurz den Aufbau und die Benutzung des Programms beschreibt
- MENUE, um das Hauptmenü aufzurufen

Die Navigationsleiste ist auf die wichtigsten Punkte beschränkt, damit die Übersichtlichkeit und Bedienerfreundlichkeit erhalten bleibt. Die sich ändernde Farbe beim „Mouse-over-Effekt“ zeigt dem Benutzer an, welche Flächen in der Navigation verlinkt sind. Direkt unterhalb der Navigationsleiste ist für den Nutzer das Kapitel sichtbar, in dem er sich im Moment befindet. Durch Klick auf das Kapitel, gelangt man direkt zur jeweiligen Übersichtsseite des Kapitels zurück. Der Umfang des Themengebiets ist in Form von hellen Kästchen am oberen rechten Rand des Fensters ersichtlich. Nachdem die entsprechenden Themen bearbeitet wurden, wird der jeweilige Lern-Status durch das Einfärben der Kästchen angezeigt. Der Anwender erhält somit jederzeit den Überblick über den Umfang des Kapitels.

MENUE
ANATOMIE
Adnexe
GLOSSAR
HILFE
EXIT

Die Augenlider werden durch kleine, parallel zum Lidrand verlaufende Arterien mit feinen Aufzweigungen versorgt, die aus der A. supraorbitalis stammen. Ihre Durchtrennung kann insbesondere bei einer lateralen Kanthotomie, die bei Eulenvögeln zur Entfernung des Augapfels notwendig ist, sehr starke Blutungen hervorrufen.

Ein häufiger Sitz von Läusen, Flöhen und anderen Ektoparasiten ist beim Hausgeflügel eine grubenartige Einsenkung im oberen Augenlid. Eine weitere Besonderheit ist, dass Vögel keine Wimpern besitzen. Stattdessen kann der Lidrand (*Limbus palpebralis*) bei Tauben (*Columbiformes*), Kormoranen (*Phalacrocorax*) und anderen Spezies völlig federlos sein, bei Hühnern schütter und bei Papageienvögeln (*Psittaciformes*), Greifvögeln (*Accipitriformes*), Straußenvögeln (*Struthioniformes*), Enten und Gänsevögeln (*Anati- und Anseriformes*) mit Haarfedern (*Cilia palpebralis*), denen als Charakteristikum die Federfahne fehlt, besetzt sein.

Bei vielen Vogelarten sind der Lidrand oder auch die ganze Außenseite der Augenlider und ihre Umgebung farbenprächtig hervorgehoben. Den Lidern der Vögel fehlen die Tarsaldrüsen (*Meibom-Drüsen*). Das eigentliche Blinzeln zur Verteilung des präkornealen Tränenfilms erfolgt bei den Vögeln mit der Nickhaut.






Abb. 15: Seite 3 (von 7). Thema: Adnexe im Kapitel „Anatomie“



Kursiv und blau markierte Begriffe, zeigen an, dass durch ein *Rollover* ein neues Fenster geöffnet werden kann, welche Zusatzinformationen für den Anwender bereithalten.

Der Mauszeiger verändert sich beim *Rollover* über einen Link zum Symbol einer Hand, bzw. eines Fingers. So z. B. auch bei zahlreichen Bildern, die mit einem animierten Auge (GIF) gekennzeichnet sind und bei denen sich beim *Rollover* ein Zusatzfenster mit Bildbeschreibung und Zusatzinformation öffnet.

**MENUE** **PROPÄDEUTIK** **GLOSSAR** **HILFE** **EXIT**

Allgemeinuntersuchung

Im Folgenden soll eine Einführung in den klinischen Untersuchungsgang sowie ausgewählte spezielle Untersuchungstechniken unter besonderer Berücksichtigung anatomischer Hintergründe gegeben werden. Die große Variabilität innerhalb der Klasse Aves, mit ca. 8580 Arten und mehr als 27000 rezenten Unterarten, erfordert in einer großen Vielfalt diagnostisch und therapeutisch zu berücksichtigender Eigenarten.

**ANAMNESE**  
Die Anamnese dient als Grundlage jeder klinisch-veterinärmedizinischen Untersuchung. Aufgrund der erhöhten manipulationsbedingten Stressanfälligkeit des Vogelpatienten und der dadurch notwendigen Kürze der Untersuchungszeiten, nimmt eine gründliche Anamnese eine umso wichtigere Stellung ein.

**Signalement**

- *Spezies*
- *Alter*
- *Geschlecht*
- *Kennzeichnung*
- *Körpermasse*

Eine genaue Bestimmung des **Alters** ist bei adulten, ausgefärbten Vögeln in den seltensten Fällen möglich, aber für die Ausprägung bestimmter Krankheitsbilder hilfreich. Der Ring, das Erwerbsdatum, typische Gefiederzeichnungen (Wellenmuster beim Wellensittich) oder Irisfärbungen (z.B. graue Iris bei jungen, gelbliche Iris bei älteren (> 1 Jahr) Graupapageien, können bei der Schätzung des Alters hilfreich sein.

Klinik für Vögel

Abb. 16; Zusatzfenster zum Link „Alter“

Auf den Übersichtsseiten der jeweiligen Kapitel, ändert sich die Farbe des Themas beim *Rollover*. Durch Mausklick auf das Thema gelangt man zur entsprechenden Seite im Kapitel.

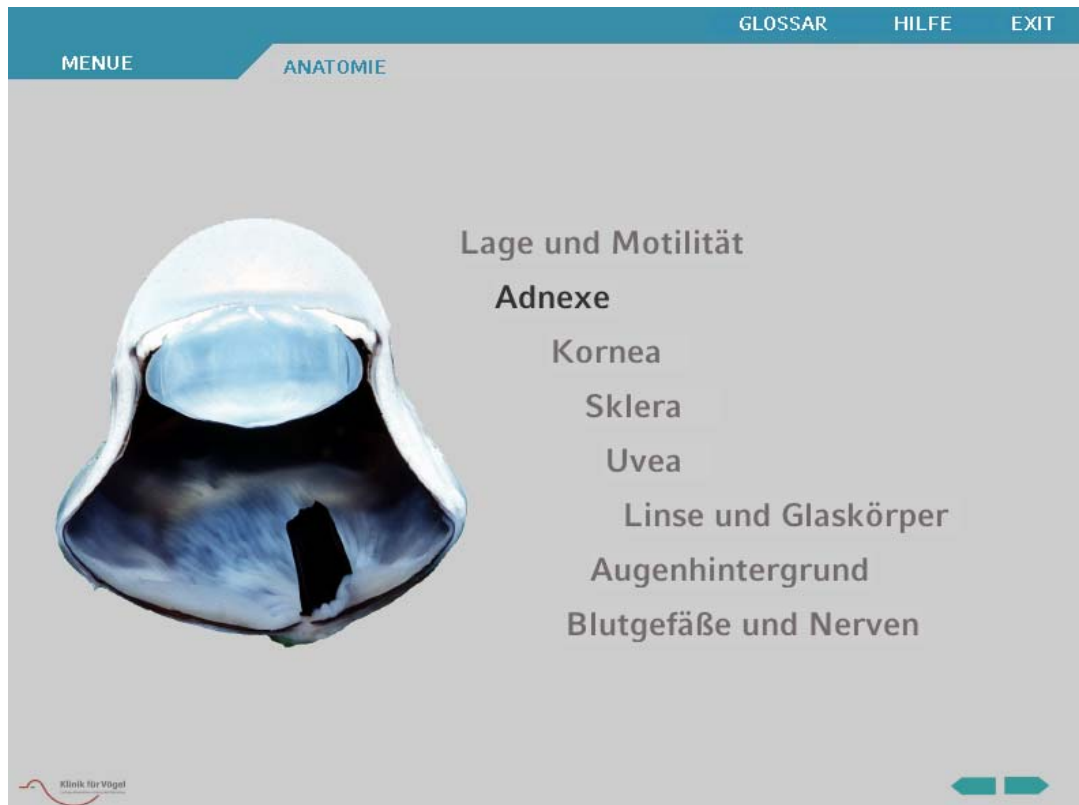


Abb. 17: Übersichtsseite des Kapitels >>Anatomie<<

Es wurde viel Wert darauf gelegt, die Navigation das Farbkonzept und die Strukturierung der Inhalte, auf allen Seiten einheitlich zu halten, um den Benutzer nicht durch ständig wechselnde Optik zu verwirren. Dabei bleiben die Übersichtlichkeit und damit auch die Benutzerfreundlichkeit erhalten.

## 5 DISKUSSION

### 5.1 Allgemeines

Die Augenheilkunde in der Vogelmedizin ist eine vergleichbare junge Medizin welche ihren Ausgang erst Mitte der 80er Jahre genommen hat. Erst die zunehmende finanzielle und ideelle Wertschätzung von Vögeln steigerte die Nachfrage nach intensiver ärztlicher Betreuung und trug zur Etablierung der Vogelophthalmologie bei. Bis Mitte unseres Jahrhunderts galt nicht zuletzt aus wirtschaftlichen Erwägungen das Hauptaugenmerk dem Wirtschaftsgeflügel. Erst Anfang der 60er Jahre werden einzelne Fallberichte über Erkrankungen beim Ziergeflügel veröffentlicht (BIGLAND et al. 1962; CAVILL 1964; GIDDENS et al. 1971, ARNALL 1961; BEACH 1962; BLACKMORE 1966; KEYMER 1959), wobei hier stets eine ätiologische Systematik zugrundegelegt wurde. Zur Beizjagd gehaltene Vögel nehmen von jeher einen Sonderstatus ein (DRIESCH v. d. 1982). Bereits im 8. Jh. finden sich bei Beizvögeln Beschreibungen von Augenerkrankungen einschließlich Rezeptsammlung. Augenveränderungen wurden bis zu den 80er Jahren rein deskriptiv und ätiologisch dargestellt, da sie rein zur Erkennung von systemischen Erkrankungen dienten. Erst Ende der 90er Jahre im Zuge des klinischen Interesses erfolgte eine in der Ophthalmologie übliche morphologisch basierte Darstellung (MURPHY 1984 a), wobei ein routinemäßiger vogelspezifischer, allgemein jedoch noch nicht alle spezifischen Techniken beinhaltender Untersuchungsgang erstmalig von KORBEL (1994) vorgestellt wurde. Auf dem Gebiet der Säugetiermedizin war der ophthalmologische Kenntnisstand vergleichsweise zur Vogelmedizin bislang weit höher einzustufen. Dies verleitete oft dazu, an Säugetieren erprobte und bewährte Techniken kritiklos auf den Vogelpatienten zu übertragen. Inhomogenität des Patientenmaterials (Wirtschaftsgeflügel, Ziervögel, Wildvögel u. a.), große Variabilität von anatomischen und physiologischen Gegebenheiten bei den insgesamt mehr als 8700 rezenten Arten, mit mehr als 27000 Unterarten, die in unterschiedlichen visuellen Umgebungen leben (Tag –und Nachtaktiv, Jäger und Gejagte, Wald- und Steppenbewohner) (PEICHL 1996), häufig geringe Größe und Besonderheiten im allgemeinen Umgang mit Vögeln, lassen jedoch die Notwendigkeit eines differenzierten Procedere offenkundig werden (KORBEL 1991 a).

Mit der Erstellung eines systematischen, routinemäßig verwendbaren, ophthalmologischen Untersuchungsganges für Vögel, wird die Vogelophthalmologie im eigentlichen Sinne erst möglich. Schon eine Basis-Ophthalmologie kann beim Vogel wichtige Hinweise auf systemische Erkrankungen und Zooanthroponosen geben und stellt somit einen integralen Bestandteil jeder Allgemeinuntersuchung dar. Eine vergleichende Darstellung der anatomischen und physiologischen Unterschiede innerhalb der Klasse Aves, als auch im Vergleich zum Säugetier, Reptil und Mensch, scheint gerechtfertigt, da eine Übertragbarkeit des vogelspezifischen ophthalmologischen Untersuchungsganges aufgrund vergleichbarer Problematik – z. B. geringe Augengröße bei kleinen Heimtieren oder Querstreifung der okularen Binnenmuskulatur bei Reptilien – teilweise auch auf andere Patientengruppen gegeben ist. Trotz der Vielzahl von Unterschieden sollen zukünftig Behandlungen von Vogelpatienten mit Augenleiden auch von Tierärzten angenommen werden die sich primär mit säugetierophthalmologischen Problemstellungen beschäftigen. Zum anderen soll die vergleichende Darstellung verdeutlichen, dass eine einfache Übernahme von Kenntnissen oder Techniken aus der Kleintierophthalmologie nicht immer möglich ist.

Aufgrund der Vielzahl von Vogelspezies und der großen Variabilität von Vogelaugen sind gründliche anatomische Kenntnisse unabdingbar. Eine irrtümlicherweise Entfernung der Nickhaut beim Vogel z. B. würde zu schwerwiegenden Folgen, u. a. zu chronischen Keratitiden, aufgrund der unvollständigen Tränenverteilung führen. Des Weiteren enthält der Linsenkern bei vielen Vogelspezies Glykogendepots, denen sowohl metabolische als auch refraktive Funktionen zugeschrieben wurden und die eine Trübung der juvenilen Linse bei Nesthockern verursacht. Dies darf nicht mit einer Katarakt verwechselt werden. Selbst die eigentümliche Ohröffnung der Eulen wurde fälschlicherweise schon zugenäht.

Da das allgemein erhöhte Schockrisiko bei Vögeln ein Problem bei zeitaufwendigeren ophthalmologischen Untersuchungsverfahren darstellen kann, das durch die alleinige Anwendung von Fixationstechniken und Lokalanästhesie nicht immer zu bewältigen ist, spielen die Kenntnisse in der Vogelanaästhesie eine bedeutende Rolle um einen Vogel korrekt ophthalmologisch untersuchen zu können.

Ziel dieser Arbeit ist es, den Studierenden der Tiermedizin, praktischen Tierärzten, Säugetierophthalmologen und auch Ophthalmologen der Humanmedizin, die Vögel für humanpathologische Forschungen heranziehen (STETZ und BITO 1978;

SWARNAKUMARI und MADHAVI 1992; GELATT 1977), das notwendige Wissen für eine korrekte und systematische ophthalmologische Untersuchung zu vermitteln und die wichtigsten anatomischen und morphologischen Unterschiede und Besonderheiten rauszustellen.

## **5.2 Bedeutung des Visus**

Für Vögel, die häufig als „Augentiere“ bezeichnet werden (KORBEL 1994), hat das Auge als Sinnesorgan übergeordnete Bedeutung. Beeinträchtigungen können nur in sehr beschränktem Maße durch andere Sinnesleistungen kompensiert werden. Für die Therapie von Augenleiden und insbesondere die Prognose für das Leben des Tieres sind daher Informationen zu Bedeutung des Visus von äußerster Wichtigkeit. Wird ein Vogel mit Augenveränderungen vorgestellt, sollte die Bedeutung des Gesichtsinnes bekannt sein, da sonst z. B. die Entscheidung ob ein Tier euthanasiert oder eine Bulbusenukleation durchgeführt wird nicht möglich ist. Teilweise oder vollständige Visuseinschränkungen sind in vielen Fällen mit schwerwiegenden Folgen verbunden, erfordern jedoch unterschiedliche Behandlungen und Bewertungen. Gerade für Tiere, die bewegte Beute jagen, spielt die Stereopsis - das binokulare räumliche Sehen - eine große Rolle. Eine pathologische Augenveränderung kann die Jagdtauglichkeit von oftmals sehr wertvollen Beizvögeln in Frage stellen und spielt bei der Entscheidung über die Rehabilitationsfähigkeit von Wildvögeln eine zentrale Rolle. Denn neben der körperlichen Unversehrtheit (JAKOBY und KÖSTERS 1990) ist insbesondere die volle Funktionsfähigkeit des Visus Voraussetzung für die erfolgreiche Auswilderung. Für Käfigvögel, die unter konstanten Haltungsbedingungen gut mit einer Sehbehinderung leben können, ist ein vollständiger Visus beim Sozialverhalten in der Gruppe (Revierbildung und Abwehr), der Selektion und Akzeptanz von Futter, bei der Legetätigkeit (annuale Rhythmik) und für eine volle Zuchttauglichkeit von Brutpaaren von großer Bedeutung. Beim Nutzgeflügel ist die Erkennung von Augenveränderungen ein wichtiger seuchenhygienischer und wirtschaftlicher Aspekt, da Augenerkrankungen beim Vogel zum großen Teil okuläre Manifestationen von Systemerkrankungen sind (KORBEL 1997 b). Neben der rein klinischen Ophthalmologie gewinnen zunehmend auch Aspekte der Sinnesphysiologie an Bedeutung. Im Hinblick auf tierschutzrechtliche, verhaltensbedingter und

leistungsbezogener Aspekte (Einrichtung von Lichtumgebung bei der Haltung von Vögeln unter Kunstlichtbedingungen) spielt die Ophthalmologie im Rahmen der visuellen Perzeption beim Zier- und Wirtschaftsgeflügel eine immer größere Rolle (KORBEL et al. 2002 a; KORBEL und STURM 2005). Dem funktionsfähigen Auge kommt große Bedeutung bei photorezeptionsbedingten Einflüssen auf die Reproduktionsorgane zu (OOKAWA 1970 a, b). Dies spielt eine bedeutende Rolle sowohl für Zuchttiere, als auch für die Steuerung der Leistungsfähigkeit von wirtschaftlich gehaltenem Geflügel über Lichtprogramme (SIEGMANN 1993). Durch die Fähigkeit der Vögel im UV-Bereich (280 bis 400 nm) zu sehen (MAIER 1994) und durch die hohe Flickerfusionsfrequenz, ergeben sich Probleme bei der Haltung von Zier- und Wirtschaftsgeflügel. In Europa besitzen konventionelle Leuchtstoffröhren in Abhängigkeit von der Wechselspannung standardmäßig eine Flickerfrequenz von 100 Hz, in Amerika von 120 Hz, was für das menschliche Auge nicht zu erkennen ist (KORBEL et al. 2002 a), bei Vögeln aber aufgrund der höheren Flickerfusionsfrequenz zu einer Wahrnehmung als permanentes Flackerlicht führt. Ein Vogel der keinem UV-Licht ausgesetzt wird sieht seine Umwelt in Komplementärfarben. Dies kann zu tierschutzrechtlichen Verhaltensstörungen (Kannibalismus, Federzupfen) führen. Ein UV-Defizit führt zur Ermüdung des visuellen Apparates und zu Störungen der Futterselektion und des Sozialverhaltens. Daher ist flackerfreies Licht durch Verwendung elektrischer Gleichrichter oder HF Neonröhren (dimable, longer life time) und Kunstlicht mit UV-Anteil, z. B. UV-Emittierende Lichtquellen, Fluoreszenzleuchten (FL), oder Kompaktfluoreszenzleuchten (CL) und UV-permeable Kunststoffe (KORBEL 2002 a) in der Vogelhaltung unbedingt zu empfehlen.

### **5.3 Ophthalmologischer Untersuchungsgang**

Der ophthalmologische Untersuchungsgang des Vogelauges ist in der Literatur bisher wenig beschrieben und kaum photographisch dokumentiert. Mit der Erstellung eines systematischen, routinemäßig verwendbaren, ophthalmologischen Untersuchungsganges für Vögel Anfang der 90er Jahre (KORBEL 1994), der erstmals die Grundlage für eine effiziente Therapie schuf, wurde die klinische Ophthalmologie im eigentlichen erst Sinne möglich. Da schon eine Basis-Ophthalmologie beim Vogel wichtige Hinweise auf systemische Erkrankungen und Zooanthroponosen geben

kann, stellt sie einen integralen Bestandteil jeder Allgemeinuntersuchung dar. Gegenwärtige Aufgabe ist es, das gewonnene Wissen um die Augenheilkunde dem praktisch tätigen Tierarzt zu vermitteln. Die Untersuchungstechnik wurde daher in der vorliegenden Arbeit umfassend, bildlich und interaktiv beschrieben, um sie den Studierenden der Tiermedizin, praktischen Tierärzten und Ophthalmologen in verständlicher Form nahe zu bringen. Als Grundlage diene der für Vögel modifizierte Untersuchungsgang von KORBEL (1994). Spezielle ophthalmologische Fragestellungen, die mit hohem apparativem Aufwand verbunden sind, werden in Zukunft jedoch zunehmend von spezialisierten Kollegen übernommen werden.

Eine vom Säugetier abweichende Untersuchungsmethode ist v. a. durch die geringe Größe des Vogelauges erforderlich, wobei weniger die Gesamtgröße, als vielmehr der relativ zum Bulbus oculi geringe Korneadurchmesser ausschlaggebend ist. Da in erster Linie Ziervögel mit einem relativ kleinen Bulbus oculi (z. B. Psittaziden und Finkenvögel) in die Vogelpraxis kommen, ergab sich zwangsläufig die Notwendigkeit einer Miniaturisierung von Untersuchungstechniken (u. a. STT, Tonometrie, Sonographie) sowie die Etablierung neuer Techniken die für die Erfordernisse der Ornitho-Ophthalmologie modifiziert werden mussten (Elektroretinographie, Fluoreszenzangiographie). Die erhöhte Stressanfälligkeit erfordert einen besonderen Umgang mit Vogelpatienten. Übermäßige Belastungen durch untersuchungsbedingte Manipulationen sind unbedingt zu vermeiden (KORBEL 1992 b). Eine Schonung des Patienten wird zum einen durch die zeitliche Abkopplung der Augenuntersuchung von der Allgemeinuntersuchung und zum anderen durch die teilweise Verwendung einer Allgemeinanästhesie zur Untersuchung der hinteren Augenabschnitte gewährleistet. Durch die erhöhte Stressanfälligkeit muss auch die Reihenfolge der Untersuchungen beachtet werden. Da Stress auch mit einer Erhöhung des intraokularen Drucks verbunden ist, sollte die Tonometrie zu Beginn der Augenuntersuchung durchgeführt werden, um keine falsch erhöhten Werte zu bekommen. Der Untersuchungsgang für Säugetiere enthält unter anderem eine Untersuchung der Augen und ihrer Adnexe am unfixierten Patienten. Beim Vogel ist diese Untersuchung ohne adäquate Fixation nicht möglich, da es sich um ein reflexgeleitetes Fluchttier handelt. Ein besonderes Augenmerk muss im Vergleich zum Säugetier daher auf die Anamnese und v. a. die Adspektion gelegt werden, um die Zeit der Untersuchung mit Zwangsmaßnahmen möglichst gering zu halten. Generell können die Distanzuntersuchungen im auffallenden bzw. durchfallenden Licht und mittels Retroillumination vom

Untersuchungsgang für Säugetiere übernommen werden. Die Notwendigkeit eines Vergrößerungsfaktors, um die in der Regel sehr kleinen Vogelaugen beurteilen zu können, ist zu beachten. Die Untersuchung der vorderen Augenabschnitte mit dem unbewaffneten Auge muss größenbedingt als nicht fachgerecht angesehen werden (KORBEL 1992 d). Die Untersuchung mittels Retroillumination sowie die direkte monokulare und binokulare Ophthalmoskopie werden bei Vögeln durch die mehr oder weniger stark ausgeprägte Pigmentation des Augenhintergrunds und das fehlende Tapetum lucidum erschwert. Bei Vögeln mit dunkel pigmentiertem Augenhintergrund steht hier nur Licht zur Verfügung, das von der unpigmentierten Eintrittsstelle des N. opticus in die Retina reflektiert wird. Bei Vögeln mit schwach pigmentiertem Augenhintergrund wird das Licht von der Sklera reflektiert und verleiht dem Augenhintergrund durch die choroidalen Gefäße ein tigroides Aussehen. Probleme bei der ophthalmologischen Untersuchung treten immer wieder auch bei geübten Ophthalmologen auf. Die geringe Größe von Vogelaugen erfordert Lupen mit größerer Brechkraft. Hierdurch kommt es zu mehr Spiegelung auf der Linse und es entsteht ein kleineres Abbild.

Die quergestreifte Pupillarmuskulatur kann von den Vögeln willkürlich gesteuert werden. Eine Weitstellung der Pupille (Mydriasis), als unabdingbare Voraussetzung für die Spiegelung des Augenhintergrunds (Ophthalmoskopie), ist mit den in der Säugetierophthalmoskopie üblichen Mydriatika, wie z. B. Tropicamid zur Auslösung einer paralytischen Mydriasis oder auch adrenerge Agonisten wie Phenylephrin, aufgrund der quergestreiften Sphinctermuskulatur bei Sauropsiden nicht möglich. Eine Möglichkeit bei Vögeln ist der Einsatz von nicht polarisierenden Muskelrelaxantien der Curaregruppe ((+) - Tubocurarin). Sie werden lokal appliziert und führen durch Blockade der Acetylcholinrezeptoren an der motorischen Endplatte zu einer Paralyse der quergestreiften Irismuskulatur. (+) – Tubocurarin muss mittels Parazentese in die vordere Augenkammer injiziert werden. Wesentliche Nachteile dieser Technik sind zum einen bei Überdosierungen systemische Nebenwirkungen, oder die lokale Verletzungsgefahr für die Iris und die Linse. Darüber hinaus werden bei Vögeln intraokulare Druckerhöhungen beschrieben (KORBEL 1994). Ein Hauptproblem stellt derzeit die rechtliche Lage dar. Aufgrund des Arzneimittelgesetzes darf die Reinsubstanz nur in Apotheken hergestellt werden. Da für eine Parazentese keine Konservierungsstoffe zugesetzt werden dürfen, müsste das Mittel jedes Mal frisch hergestellt werden, was nicht praktikabel ist. Eine Möglichkeit ist, sich eine



Sondergenehmigung von der zuständigen Behörde zu besorgen, was aber auch keine Lösung für jeden Praktiker sein kann. Der konjunktivale Einsatz nicht polarisierender Muskelrelaxantien ist aufgrund der vergleichsweise dicken Kornea und damit schlechten Penetration von wässrigen Lösungen nicht wirksam. Die Ausführungen machen deutlich, dass eine zur Routinediagnostik von Augenerkrankungen einsetzbare Methode zur Induktion einer Mydriasis bislang fehlt. Im Moment kann eine fachgerechte Ophthalmoskopie hauptsächlich nur mittels einer Allgemeinanästhesie oder Ausnutzung der Schreckmydriasis bei Eulen durchgeführt werden. Es muss eine Lösung gefunden werden um Vögel fachgerecht untersuchen zu können.

#### **5.4 Vor- und Nachteile computergestützten Lernens**

E-Learning ist als eine sinnvolle Unterstützung im Lernprozess zu sehen. Insbesondere Menschen, die lieber den PC und das Internet nutzen als Bücher lesen, können durch E-Learning viele Lerninhalte besser aufnehmen oder bereits bekannte Inhalte ergänzend und interaktiv erarbeiten. Zu weiteren Vorteilen des E-Learning gehören zweifellos die ökonomischen Aspekte. Die Lernenden sind räumlich und zeitlich unabhängig. Die Vermittlung von Lernstoffen kann also unabhängig von der persönlichen Anwesenheit geschehen und vom Nutzer jederzeit wiederholt werden. Dank PC und Internet ist die Verteilung größerer Informationsaspekte machbar. Auf der Grundlage von Erkenntnissen der Mediendidaktik (alle pädagogischen Beschäftigungen mit Medien) zeigen sich Vorteile unter anderem darin, dass abstrakte Inhalte mit Hilfe von Simulationen anschaulich gemacht sowie die traditionelle lineare Denk- und Lernkonzepte aufgebrochen und flexiblere, netzwerkartige Konzepte verwirklicht werden können. Komplexe Sachverhalte können multimedial in Form von Text, Bild, Ton, Video und Animation anschaulich dargestellt werden. Durch die digitale Form können die Inhalte gut durchsuchbar gemacht werden (Texte) und ohne Qualitätsverlust und unter Schonung des Originals repliziert werden. Letzteres kann allerdings auch als Nachteil aufgefasst werden. Ein weiter Vorteil ist, dass die Kosten für die Bereitstellung von Internet-Inhalten vergleichsweise gering sind. Druck, Vertrieb und Lagerhaltung entfällt. Allerdings können über Internet kaum kostenpflichtige Angebote vermittelt werden. Die CD-ROM verhält sich kostenmäßig ähnlich wie ein Buch. Des Weiteren kann der Inhalt laufend ergänzt, verbessert,

korrigiert, gestrichen und umgeschrieben werden. Die Änderungen sind unmittelbar nach deren Ausführung der Allgemeinheit zugänglich.

Nachteile werden u. a. darin gesehen, dass die Nutzer erst lernen müssen mit den verschiedenen Publikationsformen (Medien) umzugehen. Die Präsentation der Lerninhalte ist oft von technischen und nicht von didaktischen Faktoren bestimmt. Ein großer Nachteil von Computerunterstützten Programmen, die als CD-ROM verteilt werden, ist die Isolation der Lernenden und das Fehlen der echten Dreidimensionalität. Des Weiteren sind die neuen Medien leseunfreundlich. Sie fördern "Schneller Zugriff"-Verhalten und Rosinenpickerei. Analytische aber auch stilistische Qualitäten können unter Ausdruck-Routinen ("Kapitel ausdrucken") verloren gehen.

Der Einsatz neuer Medien muss auf deren Eigenheiten Rücksicht nehmen. Der Nachteil der Leseunfreundlichkeit wiegt schwer, gerade bei historischen Publikationen, die komplexere Sachverhalte mit einem wissenschaftlichen Anspruch kommunizieren wollen. Die Vorteile sollten daher so zum Tragen kommen, dass sie diesen Nachteil wettmachen können. Aktuelle Ansätze kombinieren daher E-Learning mit der personalen Vermittlung. Ziel dieser Ansätze ist es, die Vorteile des Präsenzunterrichts mit denen des mediengestützten Lernens zu verbinden.

### **5.5 CD-ROM als Medium**

Als Medium für das Lernprogramm wurde eine CD-ROM gewählt. Eine CD-Rom ist in anderen Studiengängen bereits ein etabliertes Lehrmittel, aber auch in der Tiermedizin ein immer weiter verbreitetes Medium. Eine ausreichend statistische Untersuchung über Nutzen und Effektivität dieser Lern-CDs liegt allerdings aufgrund der bisher geringen Anzahl in der Tiermedizin noch nicht vor. Das Ziel der Lern-CD ist es, den ophthalmologischen Untersuchungsgang bei Vögeln in einer neuen Form der Wissensaufbereitung, Studierenden, aber auch praktischen Tierärzten und Ophthalmologen als Lehrmittel zu präsentieren.

Der Vorteil einer CD als Lehrmittel ist, dass durch die Verwendung vielseitiger Medienformate (Texter, Bilder, Grafiken, Videosequenzen) zahlreiche Sinneskanäle angesprochen werden, eine höhere Anschaulichkeit geboten und dadurch der Lerneffekt erhöht wird. Eine Lern-CD bietet dem Nutzer eine portable Möglichkeit auf

Fachwissen unabhängig von Zeit und Ort zurückzugreifen. Durch selbst gesteuertes Vorgehen (Überspringen bekannter Teile) und unter Einbeziehung anderer Medien (Videosequenzen) kann die Lerngeschwindigkeit selbst bestimmt und ein wesentlich höherer Anschaulichkeitsgrad und damit ein schnellerer Lernerfolg als in einem Buch entwickelt werden (WERSEBE 2005). Durch ein Multiple-choice Quiz kann der Lernerfolg jederzeit kontrolliert werden. Ein weiterer Vorteil der CD-ROM ist die hohe Speicherkapazität und die günstige Vervielfältigung.

Dennoch kann eine CD-ROM andere Lehrmedien nicht ersetzen. Computergestütztes Lernen erfordert sehr viel Selbstdisziplin, erlaubt keine Zwischenfragen an den Lehrer und die Gefahr nur reines Wissen vermittelt zu bekommen ist relativ hoch.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass unter dem Blickwinkel, dass das Lernen am Computer den Lernprozess unterstützen soll, eine CD-ROM eine zusätzliche Hilfe mit zahlreichen Vorteilen bietet.

Als Software zur Programmierung der Lernumgebung wurde das Programm Macromedia® Director® MX gewählt. Es handelt sich um ein Multimedia-Tool mit dem multifunktionale, interaktive Inhalte und Anwendungen für CDs/DVDs, Kiosks und das Web erstellt und anschließend überall bereitgestellt werden können. Das Programm bietet lediglich eine Oberfläche mit der eine Anwendung von Grund auf aufgebaut werden muss. Die Oberfläche kann mit einem Theater verglichen werden, in dem die Besetzungen auf ihren Einsatz warten und die Darsteller im Drehbuch und auf der Bühne agieren. Um mit Director® MX zu arbeiten ist eine aufwendige Einarbeitung in die Programmiersprache Lingo™ notwendig. Hierbei handelt es sich um eine programmeigene Sprache durch die man sehr flexibel ist.

Grundsätzlich eignet sich dieses Programm um Filme, Interaktives und selbst ablaufende visualisierte Anwendungen zu erstellen. Um eine buchförmige „Präsentations-CD“ zu erstellen sind die Anwendungsmöglichkeiten teilweise zu komplex und dadurch verwirrend. Allerdings benötigt man für gewisse Sonderfunktionen (benutzerfreundliches Menü, Videos einfügen, PDF-Dateien direkt auf die Bühne stellen) oft zusätzlich kommerziell vertriebene Tools, wie z. B. StarMenu Xtra, Multimedia StarSoft. Zur Erstellung einer Hybrid-CD-ROM, die sowohl für Windows als auch für Mac kompatibel ist, ist die Macromedia MC-Version notwendig. Allerdings ist diese CD aufgrund von zusätzlichen nicht Mac-kompatibler Software (StarMenu Xtra, Multimedia StarSoft) nicht vollständig auf einem MAC funktionsfähig.

Um mit diesem Programm arbeiten zu können ist ein Basiswissen in Computerbedienung- und Sprache, Grafikprogramme, Layouting, ein computertechnisches Grundverständnis um auch komplexe Abläufe zu erkennen sowie ein leistungsfähiger Arbeitsspeicher Voraussetzung.

### **5.6 Lernziele der CD „Augenuntersuchung beim Vogel“**

Bei der Konzeption des Programms wurden als erstes die Lernziele festgelegt. Der Anwender sollte nach Durcharbeiten der CD-ROM folgende Aufgaben selbständig ausführen können:

- Korrekte Fixation von Vögeln
- Korrekte und systematische Untersuchung
- Notfallmaßnahmen durchführen, einschließlich Applikation von Medikamenten
- Anästhesie durchführen
- Korrekte systematische Durchführung des ophthalmologischen Untersuchungsganges

Um diese Ziele zu erreichen, wurde das Programm linear strukturiert. Die Kapitel bauen aufeinander auf. Jeder Abschnitt kann auch für sich bearbeitet werden und kann somit auch als Nachschlagewerk genutzt werden. Den eigentlichen Schwerpunkt bildet das Kapitel „Untersuchungsgang“. Dieses Thema kann nur schwer theoretisch vermittelt werden, da es sich um optisch orientierte Abläufe handelt. Die Darstellung erfolgt auf der CD mittels Bilder, Grafiken und Videosequenzen.

Die Videosequenzen machen es möglich bestimmte Vorgänge beliebig oft zu betrachten. Dem Nutzer werden durch das Zusehen die Bewegungsabläufe vertraut gemacht. Dieses Vorgehen zu üben ist im Rahmen von Praktika aufgrund der Stressempfindlichkeit von Vögeln oft nicht möglich. Die praktische Übung am Tier selbst kann dennoch durch eine Lern-CD nicht vollständig ersetzt werden.

Mit der vorliegenden CD – ROM ist ein wichtiges Hilfsmittel für die studentische sowie postgraduale ophthalmologische Ausbildung, im Rahmen nationaler (z. B.

Zusatzbezeichnung Augenheilkunde) als auch internationaler (z. B. Residency-Programm des European College of Veterinary Ophthalmology, ECVO) Weiterbildungsprogramme gegeben. Erst kürzlich wurde von der Bayerischen Landestierärztekammer (BLTK) der Weiterbildungsgang der Zusatzbezeichnung „Augenheilkunde“ um einen Leistungskatalog „Ophthalmologie beim Vogel“ erweitert, worauf diese interaktive CD entsprechend ausgerichtet ist.

## 6 ZUSAMMENFASSUNG

Die Augenheilkunde beim Vogel stellt - in weitaus größerem Maße als in der Säugetierophthalmologie - einen wesentlichen Bestandteil der allgemeinen Untersuchung dar, da Erkrankungen des Vogelauges häufig okulare Manifestationen von Systemerkrankungen darstellen. Im Laufe der letzten 15 Jahre wurden die einzelnen Bestandteile eines systematischen, routinemäßig anwendbaren ophthalmologischen Untersuchungsganges einschließlich dazugehöriger Referenzbereiche für Standarduntersuchungen (Tonometrie, Schirmer-Tränen-Test, Elektroretinographie u. a.) erarbeitet. Mit der vorliegenden Arbeit werden erstmalig diese Standardtechniken zusammenfassend, aufeinander abgestimmt, in einer vordefinierten Arbeitsabfolge komplett dargestellt.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, einen praktischen Gesamtüberblick über die Augenuntersuchung zum gegenwärtigen Stand beim Vogel, mit dem dazugehörigen Basiswissen als Grundlage zur Beurteilung von Krankheitszuständen in einer multimedialen Umgebung, für Studierende der Tiermedizin, praktischen Tierärzten, Säugetier- und Humanophthalmologen zu schaffen. Die Realisierung dieser Ziele erfolgte auf Basis des Cross-Plattform-Animationsprogrammes Director® MX von Macromedia®, welches als Autorenprogramm die Erstellung komplexer, interaktiver multimedialer Internet, CD- und DVD sowie sog. Kioskanwendungen erlaubt und welches die individuellen, objektorientierten Programmiersprachen Lingo und Java Script beinhaltet. Das Programm bietet eine Oberfläche, auf der die Masken der vorliegenden Arbeit nach eigens hierfür ausgearbeiteten Konzepten und Lernzielen erstellt wurden. Durch die Programmiersprachen Lingo und Java Script konnten Verknüpfungen und automatisiert ablaufende Filme realisiert werden, um zum einen die Anschaulichkeit zu erhöhen und zum anderen dem Nutzer durch die unterschiedliche Verlinkung die Möglichkeit zu geben, das Programm systematisch oder mit Hilfe eines Schlagwortkataloges durchzuarbeiten. Somit erhalten Anfänger und Fortgeschrittene die Möglichkeit den Inhalt ihren eigenen Bedürfnissen anzupassen.

Mit Hilfe der vorliegenden CD-ROM „Augenuntersuchung beim Vogel“ wird dem Anwender eine multimediale Lernumgebung geschaffen anhand derer er den korrekten und systematischen ophthalmologischen Untersuchungsgang beim Vogel erlernen kann. Das Begleitmaterial zur interaktiven CD, welche neben Stehbildern für

das Projekt erarbeitete Videosequenzen beinhaltet, umfasst eine komplette Literaturzusammenstellung zum Thema. Der Hauptteil dieses Lernprogramms befasst sich mit dem ophthalmologischen Untersuchungsgang bei Zier-, Zoo-, Wild- und Wirtschaftsgeflügel. Hierfür wurde ein standardisierter Untersuchungsgang mit vordefinierter Arbeitsabfolge am vorderen Augensegment erarbeitet.

Die Untersuchungstechnik wurde in der vorliegenden Arbeit erstmals umfassend an vogelspezifische Erfordernisse angepasst dargestellt, bildlich und interaktiv beschrieben und komplett unter Einbeziehung aller allgemeinen und speziellen Untersuchungstechniken, einschließlich Schirmer-Tränen-Test, Tonometrie, Gonioskopie, Elektroretinographie und Ophthalmoskopie dargestellt. Ein eigens hierfür modifizierter Befundbogen erleichtert im Anschluss die Dokumentation. Als Grundlage diente der für Vögel modifizierte Untersuchungsgang von KORBEL (1994). Durch die ebenso erstmalige Einbindung von Videosequenzen des hinteren Augenabschnittes wird die Anschaulichkeit und Realitätsnähe erhöht. Die vergleichende Darstellung klinisch relevanter ophthalmologischer Aspekte zwischen Säuger einerseits und Vogel und Reptil andererseits, ist wesentliche Grundlage zur Erweiterung bislang rein säugetierspezifisch ausgerichteter postgradualer Weiterbildungsgänge.

Zusätzlich kann der Anwender sich Wissen über die Anatomie, Leistungsfähigkeit, allgemeine Untersuchung, Fixations- und Injektionstechniken, Anästhesie und Analgesie beim Vogel aneignen, ohne deren Kenntnisse eine korrekte Durchführung des ornithoophthalmologischen Untersuchungsgang nicht möglich wäre.

Multimediale Lernprogramme sind eine attraktive Alternative zur Weiterbildung. Durch interaktive Medien können dem Nutzer zur studentischen oder postgradualen Ausbildung, im Rahmen von nationalen Zusatzbezeichnungen der Tierärztekammern oder im Rahmen von internationalen ophthalmologischen Residencyprogrammen, z. B. des European College of Veterinary Ophthalmology, flexibel Informationen vermittelt werden. Für die Vermittlung von Wissen im Rahmen der Aus-, Fort- und Weiterbildung wird E-Learning, die Verwendung von interaktiven Medien, in Zukunft unerlässlich, so dass mit der vorliegenden CD hierzu ein wichtiger Beitrag für den Bereich Augenheilkunde beim Vogel geleistet werden kann.

## 7 SUMMARY

### **Ophthalmological Examination of the avian eye – an interactive CD-ROM**

Ophthalmological examining of the eye in birds is - to a much greater extent than in mammals - an integral part of a general examination, since ocular disorder in birds frequently demonstrate ocular manifestations of systemic diseases. During the last 15 years various components of a systematic ophthalmological examination routine (including the appropriate reference ranges for standard examination techniques like tonometry, Schirmer's test and electroretinography, among others) have been established. This work presently summarizes all the standard techniques and for the first time presents them concisely and as parts of a defined and harmonized examination procedure.

With the help of a multimedia environment, this work intends to provide students, veterinary surgeons as well as human and mammal ophthalmologists with a practical overview of the currently valid standard of the ophthalmological examination of birds and summarize the basic knowledge necessary to assess the disease situation. This goal was achieved by using the multimedia authoring program Director® MX by Macromedia®, which makes possible the preparation of complex and interactive multimedia applications as well as so-called kiosks and includes the object-oriented scripting languages Lingo and Java Script. Director® MX provides the tools, with which the surface and masks of this CD-ROM were created according to specifically designed concepts and set learning objectives. The inclusion of the scripting languages Lingo and Java Script made it also possible to create links and include automatic film sequences that give a vivid picture of the contents and enhance intuitive understanding. The various links provide the user with the opportunity either to work through the CD systematically or individually with the help of the index. So both beginners and advanced students or scholars and professionals may use this CD and access its contents according to their specific needs.

The CD „Examining avian eye diseases“ offers the user a multimedia learning environment with the help of which the correct and systematic ophthalmological examination procedure of birds may be studied. Additional material accompanying the CD includes both fixed images and video sequences created specifically for this project as well as a comprehensive bibliography. The major part of the learning



program deals with the ophthalmological examination of pet birds, zoo animals, wildfowl and all kinds of farming poultry. For this purpose, a standardized examination procedure with a step-by-step method for the front segment of the eye was established.

For the first time the CD-ROM presents the complete examination procedure fully adapted to bird-specific requirements and visually presented by means of interactive media and with the inclusion of all the general and bird-specific examination techniques (Schirmer's test, tonometry, gonioscopy, electroretinography and ophthalmoscopy). Besides, a documentation sheet was modified for easier follow-up documentation. The procedure suggested here is based on the modified examination method for birds by KORBEL (1994). By also including video sequences of the back section of the eye for the first time, the entire representation becomes more vivid and realistic. A comparison of clinically relevant ophthalmological aspects of mammals with birds and reptiles forms the basis for an expansion of postgraduate education programs that hitherto were focused solely on mammals.

In addition, the user has access to comprehensive knowledge on the anatomy and general properties of birds and is informed of general examination methods, fixation or injection techniques, and anesthesia and analgesia, without which a correct ornitho-ophthalmological examination were impossible.

Multimedia learning programs are an attractive alternative for further education. With the help of interactive media, information may be spread conveniently and flexibly in the course of student or postgraduate education, within the national frameworks of veterinary associations or for international ophthalmological residency programs like the European College of Veterinary Ophthalmology. Since e-learning, the use of interactive media for all kinds of study and education purposes, will be indispensable in the future, this CD delivers an important contribution to the ophthalmology of birds.

**8 LITERATUR**

1. ANDISON ME; SIVAK JG; BIRD DM: The refractive development of the eye of the American kestrel (*Falco sparverius*): a new avian model. *J Comp Physiol A* 1992; 170 (5): 565 - 74.
2. AMMERSCHLÄGER. Neue tödliche Augenkrankheit bei Fasanen. *Berl Tierärztl Wschr* 1904b; 2: 28 - 9
3. BABA T, KAWATA T, MASUMOTO K, KAJIKAWA T. Role of harderian gland in immunoglobulin A production in chicken lacrimal fluid. *Res Vet Sci* 1990; 49: 20-4.
4. BADRINATH SS, VASUDEVAN R, MURUGESAN R, BASTI S; NICHOLSON AD; SINGH P; GOPAL L; SHARMA T; RAO SB; ABRAHAM C. Intraoperative measurement of intraocular pressure in vitrectomized aphakic air-filled eyes using the Tono- Pen XL. *Retina* 1993; 13 (4): 307-11.
5. BAILEY FW, RILEY CFC. Colour vision and the formation of associations with reference to light of various wavelength in the Parakeet, *Melopsittacus undulatus* (Shaw). *Trans Roy Canad Inst* 1931; 18: 47-115.
6. BELLHORN RW. Laboratory animal ophthalmology. In: Gelatt KN (ed): *Veterinary ophthalmology*. Philadelphia, London: Lea & Febiger 1991; 656-79.
7. BENNETT ATD, CUTHILL IC, PARTRIDGE JC, LUNAU K. Ultraviolet plumage color predict mate preferences in starlings. *Proc Natl Acad Sci USA* 1997; 94 (16): 8618 - 21.
8. BERNDT R, MEISE W. *Naturgeschichte der Vögel*. Stuttgart: Schattauer 1959 - 1966
9. BEZZEL E, PRINZINGER R. Sinnesorgane - Auge. In: Bezzel E, Prinzinger R (Hrsg): *Ornithologie*. Stuttgart: Eugen Ulmer 1990; 148 - 54.

10. BIGLAND CH, WHENHAM GR, GRAESSNER FE. A pox-like infection of canaries. *Can Vet J* 1962; 3: 347 - 51.
11. BLACKMORE DK. The clinical approach to tumours in cage birds. *J Small Anim Pract* 1966; 7: 217 - 23.
12. BLAKER A. Handbook for scientific photography. San Francisco: Treeman 1977.
13. BLUE-MCLENDON A, DZIEZYC J, JENSEN JM, MILLICHAMP NJ. Bilateral cataracts in an ostrich hen. *Proc Assoc Avian Vet, Nashville, Tennessee/USA* 1993; 313 - 4
14. BOOTHE WA, LEE DA, PANEK WC, PETTIT TH. The Tono-Pen. A manometric and clinical study. *Arch Ophthalmol* 1988; 106: 1214-7.
15. BOUVEROT P, DOUGUET D, SEBERT B. Ventilatory and circulatory O<sub>2</sub>-convection at 4000 m in pigeons at neutral or cold temperature. *Resp. Physiol.* 1976, 28: 371.
16. BOWMAKER JK. The visual pigments, oil droplets and spectral sensitivity of the pigeon. *Vis Res* 1977; 17:1129-38.
17. BOWMAKER JK, MARTIN GR. Visual pigments and colour vision in a nocturnal bird, *Strix aluco* (tawny owl). *Vision Res* 1978; 18: 1125-30.
18. BORRICHIOUS O. *Hermetis, aegiptiorum et chemicorum sapientia*. *Ab Reg Acad Bibl* 1674; 258 - 9.
19. BRAUN J. Weiterführende Untersuchungen zur Bestimmung des Intraokularsdrucks bei Vögeln mit einem elektronischen Tonometer (TONOPEN® XL). *VetDiss, München* 1995

20. BROOKS DE. Glaukoma in the dog and cat. Vet Clin North Amer, Small Anim Pract 1990; 20: 775 - 97.
21. BRYAN GM. Tonometry in the dog and cat. J Small Anim Pract 1965; 6: 117-120.
22. BURIKE S. Untersuchung von Luftsack-Perfusionsanästhesie bei Haustauben (*Columba livia*, var. dom., Gmel. 1789) unter Verwendung eines reduzierten Trägergasflusses und Lachgas. Vet Med Diss, München, 1995.
23. BURKHARDT D. Birds, berries and UV. Naturwiss 1982; 69: 153 - 7
24. BURKHARDT D. UV-Vision: A bird`s eye view of feathers. J Comp Physiol A 1989; 64: 787 - 96
25. BURKHARDT D. Die Ultraviolett-Tüchtigkeitdes Vogelauges und einige Konsequenzen. DVG-Tagung Vogelkht, München 1996; 10: 44 - 53.
26. BURKHARDT D, KORBEL R, KÖSTERS J, MEURERS R, PEICHL L, PETRY HP, WEILER R. Textband zr Ausstellung: `wie sehen Tiere ihre Umwelt?` Eine Lehrschau des bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten und dem Deutschen Jagd- und Fischereimuseum. München 1997
27. BUYUKMIHCI NC. Lesions in the ocular posterior segment of raptors. I AM Vet Med Assoc 1985; 187 (11): 1121 - 4.
28. CAMPELL HS, SMITH L, HOWARD R. The Fundus oculi of the pigeon. Arch Ophthalmol Am Med Assoc 1962; 68: 252 - 3.
29. CANTON DD, MURPHY CJ, BUYUKMIHCI NC, SCHULTZ T. Pupilloplasty in a great horned owl with pupillary occlusion and cataracts. J AM Vet Med Assoc 1992; 201 (7): 1087 - 90.

30. CARPENTER JW. Ophthalmologic agents used in birds. In: Exotic Animal Formulary Third Ed. Elsevier Saunders, St. Louis, Missouri 2005; 241-44.
31. CAVILL JP. Canary pox: report of an outbreak in roller canaries (*Serinus canaria*). Vet Rec 1964; 76 (17): 463-5.
32. CELESIA GG. Anatomy and physiology of visual evoked potentials and electroretinogramms. Neurologic Clinics 1988; 6 (4): 657-79.
33. CLERC B, KRÄHENMANN A: Augenheilkunde Hund und Katze. Die Untersuchung des Auges. Berlin; Hamburg: Parey 1990; 18 - 48.
34. COMBERG D, PILZ A. Augeninnendruck und Rigiditätsverhalten bei experimenteller Venendruckserhöhung. Arch Ophth 1961; 163: 189-202.
35. CRESCITELLI F, WILSON BW, LILYBLADE AL. The visual pigments of birds. The turkey. Vis Res 1964; 4; 275 - 80.
36. CURTIS PE, BAKER JR, CURTIS R, JOHNSON A. Impaired vision in chickens associated with retinal defects. Vet Rec 1987; 120; 113-4.
37. CUVIER G, MECKEL IF. Vorlesungen über vergleichende Anatomie, 2. Teil. Leipzig: Paul Gotthelf Kummer 1809
38. DAVIDSON M. Ocular consequences of trauma in raptors. Semin Avian Exot Pet Med 1997; 6(3): 121-30.
39. DODT E, WIRTH A. Differentiation between rods and cones by flicker electroretinographie in pigeon and guinea pig. Acta Physiol Scand 1953; 30: 80.
40. DRAEGER J. Über ein lageunabhängiges Applanationstonometer. Klein Mbl Augenheilkunde 1966; 149: 905 - 11.

41. DUIJM M. On the position of a ribbon – like central area in the eyes of some birds. Arch néerl Zool 1958; 13 (Suppl): 128 - 145
42. DUKE-ELDER S Sir. The eyes of birds. In: Duke-Elder S Sir (ed): System of ophthalmology. Vol1 – the eye in evolution. London: Kimpton 1958; 397 - 427.
43. DZIEZYC J., MILLICHAMP NJ, SMITH WB. Comparison of applanation tonometers in dogs and horses. J A Vet Med Ass 1992; 201: 430 - 33.
44. EISNER G. Zur Brauchbarkeit des Schirmer Tränentestes. Graefe`s Arch Ophthalmol 1960; 162: 268 - 98.
45. ENGELMANN C. Sinnesorgane. In: Mehner A, Hartfield W (Hrsg): Handbuch der Geflügelpsychologie – Teil 1. München, Paris, London, New York, Tokyo, Sydney: Karger 1983; 353 - 79.
46. ESSIG CJ. Erfahrungen mit dem Oberflächenanästhetikum Benoxinat 0,4% am Auge des Hundes, Der praktische Tierarzt, 1978, 8, 607-9.
47. EVANS HE. Organa sensorial – eye. In: Baumel JJ, King AS, Lucas AM, Breazile JE, Evans He (eds): Nomina anatomica avium. London, New York, Toronto, Sydney, San Francisco: Academic Press 1979; 505 - 24.
48. EZZATT AE. Physiology of the eye pertinent to anesthesia. Proceed Int Ophthalmol Clin 1973; 13.
49. FINDLAY GM, WRIGHT J. Ocular leasions in epidemic blindness of fowls. J Comp Path Ther 1933; 46: 139 - 48.
50. FINGER E, BURKHARDT D, DYCK J. Avian Plumage colours. Naturwiss. 1992 ; 79 : 187 - 8.
51. FORISCH K. Die Messung des normalen intraokularen Druckes beim Hund mit Hilfe des Impressionstonometer nach Schiötz. Diss Wien 1980.

52. FRANZ V. Versuch einer biologischen Würdigung des Vogelauges. Verhdlg Dtsch Zool Gesellsch 1909 a; 5. Sitzung: 324 - 36.
53. FRANZ V. Höhere Sinnesorgane. In: Bolk L, Göppert e, Kallius E, Lubosch W (Hrsg): Handbuch der vergleichenden Anatomie der Wirbeltiere. Band 2. Berlin, Wien: Urban u. Schwarzenberg 1934; 989 - 1292
54. FREEWEIN J, SINOWATZ F. Sinnesorgane. In: Schummer A, Vollmerhaus B (Hrsg) unter Mitarbeit von Sinowatz F, Frewein J, Waibl H: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band 5 – Anatomie der Vögel. 2. Aufl. Berlin, Hamburg: Parey 1992; 365 - 86.
55. FRIEDENWALD JS. Contribution to the theory and practice of tonometrie. Am J Opht 1937; 20: 985 - 1024.
56. FRIEDENWALD JS. Standardization of tonometers: Decennial report by the committee on standardization of tonometers. Am Acad Opht Otol 1954; 131-61.
57. FRITZSCHE K. Augenveränderungen bei Marek. Dtsch Landwirtsch Geflügelzeitung 1937; 40: 313.
58. FROEHNER R. Kulturgeschichte der Tierheilkunde 1. Band – Tierkrankheiten, Heilbestrebungen, Tierärzte im Altertum. Konstanz: Terra Verlag 1952
59. GELATT KN. Animal models for glaucoma. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 16: 592 – 596.
60. GELATT KN. Fluoreszein angiography and fundus photographie. In: Veterinary ophthalmology, 3<sup>rd</sup> ed. Gelatt KN, ed. Philadelphia: Lippincott, Williams & Wilkins 1999 a; 444 - 8.
61. GELATT KN. Ophthalmic examination and diagnostic procedures. In: Veterinary Ophthalmology, 3<sup>rd</sup> ed. Gelatt KN, ed. Philadelphia, London: Lea und Febiger 1999 b; 427 - 67.

62. GIDDENS WE, SWANGO JL, HENDERSON JD, et al. Canary pox in sparrows and canaries and in weavers. *Vet Pathol* 1971; 8: 260 - 80.
63. GILROY BA, HABERSTROH J. Apparative Ausrüstung. In: Paddleford RR, Erhardt W (Hrsg): *Anästhesie bei Kleintieren*. Stuttgart, New York: Schattauer 1992; 107 - 26.
64. GLASSER A, TROILO D, HOWLAND HC. The mechanism of corneal accommodation in chicks. *Vision Res* 1994 Jun; 34 (12): 1549 - 66.
65. GLASSER A, HOWLAND HC. A history of studies of visual accommodation in birds. *Q Rev Biol* 1996 dec; 71 (4): 475 - 509.
66. GOERTZ B. Oberflächenanästhesie am Auge von Haustauben (*Columba livia* Gmel., 1789). *Vet Diss*, München 2001
67. GOLDSMITH TH, COLLINS JS, LICHT S. The cone oil droplets of avian retinas. *Vision Res* 1984; 24 (11): 1661 - 71.
68. GRAU H, WALTER P: *Grundriss der Histologie und vergleichenden mikroskopischen Anatomie der Haussäugetiere*. Parey, Berlin, Hamburg, 1967.
69. GREEF K, WIRTH JE. Pharmakologische Beeinflussung der cholinergen Erregungsübertragung – pharmakotherapeutische Anwendung von Parasympathomimetika, Parasympatholytika sowie den peripheren und zentralen Muskelrelaxantien. In: Forth W, Henschler D, Rummel W (Hrsg): *Allgemeine und spezielle Pharmakologie und Toxikologie*. 3. Aufl. Mannheim, Wien, Zürich: Bibliographisches Institut – Wiss Verl 1980; 78 - 98
70. GREENWOOD AG, BARNETT KC. The investigation of visual defects in raptors. In: Cooper JE, Greenwood AG (eds): *Recent advances in the study of raptor diseases*. Proc Int Symp Diseases Birds Prey, London/England 1980. Keighley: Chiron Publ 1981; 131 – 5.



71. GRIMM F. Anästhesieverfahren. In: Gylstorff I, Grimm F (Hrsg): Vogrlkrankheiten. Stuttgart: Ulmer 1987; 500 - 3
72. GRIMM F. Anästhesie bei Vögeln. Tierärztl Prax 1987; 25: 381 - 4.
73. GRÜNINGER HH. Mikroskopisch – anatomisch und morphometrische Untersuchungen an Reptilienaugen. Diss med vet, München 2002
74. GUM GG. Physiology of the eye. In: Gelatt KN (ed). Veterinary ophthalmology. 2<sup>nd</sup> ed. Philadelphia, London: Lea & Febiger 1991; 128 - 61.
75. GUMPENBERGER M, KORBEL RT. Comparative aspects of diagnostic imaging in avian ophthalmology using ultrasonographie and computed tomographie. Proc 6<sup>th</sup> Conf Europ Assoc Avian Vet, Munich/Germany 2001; 99 - 102
76. GUTTMANN W. Medizinische Terminologie. Berlin, Wien: Urban und Schwarzenberg 1912; 259.
77. HALL W, CLARKE KW. Veterinary Anästhesia, Kapitel 10: General Principles of local Analgesia, Baillière Tindall, 8. Auflage, 1983, 183 - 99.
78. HARMS V. Physik für Mediziner und Pharmazeuten, 13. Auflage. Kiel: Harms Verlag 1994; 232 – 45.
79. HARRISON GJ. Anesthesiology. In: Harrison GJ, Harrison LR (eds): Clinical avian medicine and surgery. Philadelphia, London, Toronto: Saunders 1986; 235-44.
80. HART W, STOECKEL H. Allgemeinanästhesie in der operativen Ophthalmologie. Z Prakt Anästh 1971; 6 (2): 73.
81. HEILMANN K. Glaukom, Tonometrie und Anästhesie. Anaesthesist 1974; 24: 97-102

82. HELWIG B. Tonolytica der quergestreiften Muskulatur. In: Helwig B, Helwig H (Hrsg): Moderne Arzneimittel: Spezialkunde nach Indikationsgebieten für Ärzte und Apotheker. Stuttgart: Wissenschaftl Verlagsgesellsch 1980; 967 - 72.
83. HEPDING L. Beiträge zur Ätiologie und Diagnostik der ansteckenden Hühnerlähmung. Z. Infkth Haustiere 1936; 49: 292.
84. HERTWIG CA. Beiträge zu den Krankheiten der Vögel. In: Gurlt EF, Hertwig CH (Hrsg): Magazin für die gesamte Tierheilkunde. Berlin: Verlag von August Hirschwald 1849; 15: 85 - 115.
85. HERVIEUX JC. Neuer Tractat Von denen Canarien-Vögeln. Leipzig: Cörnerischer Buchladen auff den Neuen Neumarck 1716
86. HESS C. Untersuchungen über Lichtsinn und Farbensinn bei Tagvögeln. Arch Augenheilk 1907; 57:298
87. HESS C. Die Akkomodation bei Tauchervögeln. Arch Vgl Ophthalmol 1910; 1 (2): 153-64.
88. HESSEMER V, RÖSSLER R, JACOBI KW. Tono-Pen, ein neues lageunabhängiges Tonometer. Klein Mbl Augenhk 1988 a; 193: 420 - 6.
89. HESSEMER V, RÖSSLER R, JACOBI KW. Comparison of intraocular pressure measurements with thw Oculab Tono-Pen vs manometry in humans shortly after death. Am J Ophth 1988 b; 105: 678 - 82.
90. HOFFMANN CK. Über den Bau der Retina bei Vögeln. Arch Niederl Zool 1876-77; 3: 217 - 31.
91. HOFFMANN I, KÖSTLIN R. Die sonographische Untersuchung des vorderen Augenabschnittes beim Kleintier. Teil I. Tierärztl Prax 2004; 32 (K): 175 - 9.

92. HOLDEN AL, LOW JC. Binocular fields with lateral-eyed vision. *Vision Res* 1989; 29 (3): 361 - 7.
93. HOLLANDER WF, OWEN RD. The carotenoid nature of yellow pigment in the chicken iris. *Po Sci* 1939; 18: 385 - 7.
94. HUMMEL G. Sinnesorgane. In: *Anatomie und Physiologie der Vögel*. Ulmer 2000; 261 - 273.
95. JACOBS GH. Ultraviolet vision in vertebrates. *Am Zool* 1992; 32: 544 - 54
96. JAKOB H. *Tierärztliche Augenheilkunde*. Berlin: Verlagsbuchhandlung Richard Schoetz 1920.
97. JAKOBY JR, KÖSTERS J, KORBEL R. Rehabilitation von Wildvögeln. *Tierärztl Praxis* 1990; 18; 503 - 05.
98. JANTZEN J. Anästhesie und intraokularer Druck. *Anaesth* 1988; 37: 458 - 69.
99. JOHNSON MR, OLIPHANT LW. Musculature of the avian iris. *Zbl Vet Med C* 1984; 13: 270
100. JONES LT. The lacrimal secretory system and its treatment. *Am J Ophthalmol* 1966; 62: 47 - 60
101. JONES LT., MARQUIS MM, VINCENT NJ. Lacrimal function. *Am J Ophthalmol* 1972; 73: 658 – 9
102. KAJIKAWA J. Beiträge zur Anatomie und Physiologie des Vogelauges. *Graefes arch Ophthalmol* 1923; 112 (2): 260 - 346.
103. KARPINSKY LG, CLUBB S. Further investigations into the ocular problems of caged birds. *Proceed AAV*, Boulder, Colorado USA, 1985: 101 - 8

104. KARPINSKY LG, CLUBB S . Clinical Aspects of Ophthalmologie in caged birds. Currents Vet Th IX, Small animal pract, Saunders, Phil 1986
105. KENNEDY D, MILKMANN RD. Selective light absorption by the lenses of lower vertebrates and its influence on spectral sensitivity. Biol Bull 1956; 111: 375 - 86.
106. KING AS, McLELLAND J. Special sense organs – eye. In: King AS, McLelland J (eds): Birds – their structure and function. Vol 2. London: Ballière Tindall 1984; 284 - 301
107. KING- SMITH PE. Special senses – vision. In: Bell DJ, Freeman BM (eds): Physiology and biochemistry of the domestic fowl. Vol 2. London, New York: Academic Press 1971; 1040 - 61.
108. KÖSTLIN R, SCHÄFFER E, KNOBLOCH S. Zur Ätiologie, Diagnose und Therapie der Uveitis beim Kleintier. Kleintierprax 1990; 35: 101-10.
109. KOLMER W. Gefiedertes Epithel an der Nickhautinnenfläche der Vögel. Anat Anz, 1923.
110. KOLMER W. Das Auge des Amazonenpapegis, *Amazona aestiva*. In: Albrecht von Graef'sches Archiv für Ophthalmologie. Berlin: Julius Springer 1930: 652-60.
111. KOMAR G, SZUTTER L. Tierärztliche Augenheilkunde. Berlin, Hamburg: Paul Parey 1968.
112. KORBEL R. Photographie in der Vogelmedizin. DVG; VII Tagung über Vogelkrankheiten, München 1990; 19 - 24.
113. KORBEL R. Zum derzeitigen Stand der Ophthalmologie. Tierärztl. Praxis 1991 a; 19: 497 - 507
114. KORBEL R. Zur Problematik von Augenerkrankungen bei Wildvogelpatienten. Kleintierpraxis 1991 b; 36: 152 - 5.

115. KORBEL R. Zwangsmaßnahmen beim Vogelpatienten. Theoretische Grundlagen und praktische Durchführung. Teil 1. Tierärztl Prax 1992 a; 20:59 - 64.
116. KORBEL R. Zwangsmaßnahmen beim Vogelpatienten. Theoretische Grundlagen und praktische Durchführung. Teil 2. Tierärztl Prax 1992 b; 20:164 - 70.
117. KORBEL R. Tonometrie am Vogelauge. DVG-Tagung Vogelkrh, München 1992 c; 8: 281 - 91.
118. KORBEL R. Okulare Manifestationen systemischer Erkrankungen beim Vogelpatienten Teil 1. Tierärztl. Prax. 1992 d; 20: 385 - 394.
119. KORBEL R, MILOVANOVIC A, ERHARDT W, BURIKE S, HENKKE J. The Aerosaccular Perfusion with Isofluran in Birds – An Anaesthetical Measure for Surgery in the Head Region. Proc 2<sup>nd</sup> Conf Europ Ass Avian Vet, Utrecht/NL 1993; 9-42.
120. KORBEL R. Augenkrankheiten bei Vögeln: Ätiologie und Klinik von Augenkrankheiten, Luftsack-Perfusionsanästhesie, ophthalmologische Photographie und Bildatlas der Augenkrankheiten bei Vögeln. Vet Habil, München 1994.
121. KORBEL R, ERHARDT W, BURIKE S, MILOVANOVIC A, HENKE J, PETROWICZ O. Augenerkrankungen bei Vögeln – Teil II: Die optimierte Luftsack-Perfusionsanästhesie mit Isofluran/Sauerstoff – Ein Verfahren zur ophthalmoskopischen Untersuchung von Vögeln. IX. DVG-Tagung Vogelkrht, München 1994; 108 - 21.
122. KORBEL RT. Aktuelles Lexikon – Augenheilkunde bei Vögeln: Mydriasis. Luftsack-Perfusionsanästhesie, Augenhintergrund, Augenfächer, Skleralring. Tierärztliche Praxis 1995; 23: 110 - 6.
123. KORBEL RT, KÖSTER J. Untersuchungen zur Ophthalmomanästhesie bei Vögeln. Verh.ber.Erkr. Zootiere (1995) 37.

124. KORBEL R, SPEMANN B, ERHARDT W, HENKE J. Untersuchungen zum systemischen Einsatz des Muskelrelaxans Vecuronium bei Haustauben (*Columba livia* Gmel., 1879, var. *Domestica*) unter den Bedingungen der Luftsack-Perfusionsanästhesie (LPA). X. DVG-Tagung Vogelkht, München 1996: 271 - 6.
125. KORBEL R. Zur Bedeutung der Sinnesorgane bei Zoo- und Wildtieren am Beispiel der Augenheilkunde. Tagungsber 38. Int Symp Krankh Zoo- Wildtiere 1997 a.
126. KORBEL R. Anästhesie bei Vögeln. Seminarband zum Basisseminar I: Der Vogel in der tierärztlichen Praxis. Wien 1997 b: 37 - 57.
127. KORBEL R, WIESNER H, HECTOR J. Ophthalmoskopie bei Zoo- und Wildvögeln. Untersuchungstechniken und Befunde. Verh.ber.Erkr. Zootiere (1997 c) 38.
128. KORBEL R, SCHÄFFNER EH, RAVELHOFER K, KÖSTERS J. Okulare Manifestationen von Mykobakterien bei Vögeln. Tierärztl. Prax (K) 1997 d; 25 (5): 105 - 11.
129. KORBEL R. Anästhesie beim Vogel. Schmerzempfindung, Narkose und Narkosemonitoring. Begleitunterlagen DVG-Sem. Anästhesiologie bei Vögeln und Reptilien, München 1998.
130. KORBEL RT, LEITENSTORFER P; Der modifizierte Schirmer-Tränentest bei Vögeln – eine Methode zur Überprüfung der Tränenfunktion. Tierärztl Prax 1998 a; 26 (K): 284 - 94
131. KORBEL R, REESE S, HEGNER K. Anatomical and clinical examination of the iridocorneal angle (gonioscopie) and the ciliary body in various bird species. Proc 2nd Symp Europ Ass Zoo Wildlife Vet, Chester/ Uk 1998 b; 2 : 329 - 42

132. KORBEL R. Vergleichende Untersuchungen zur Inhalationsanästhesie mit Isofluran (Forene) und Sevofluran (SEVOrane) bei Haustauben (*Columbia livia* Gmel., 1789, var. *Domestica*) und Vorstellung eines Referenz-Narkoseprotokolls für Vögel. *Tierärztl Prax* 1998 c (K); 26 (3): 71 - 83.
133. KORBEL R, BRAUN J. Tonometrie beim Vogel mit dem Tonopen XL. *Tierärztl Prax* (K) 1999; 27: 208-13.
134. KORBEL R, STÜTZ S. Untersuchungen zur Elektroretinographie bei Mäusebussarden (*Buteo buteo* L., 1758). *Tierärztl Prax* (K) 1999; 27: 255 - 62.
135. KORBEL R. Erkrankungen des Augenhintergrundes beim Vogel – Untersuchungstechniken und Befunde. *Wien Tierärztl. Mschr* 1999 a; 86: 11 - 27.
136. KORBEL R. Okulare Manifestationen von Salmonellosen bei Brieftauben (*Columba livia* Gmel., 1789). *Tierärztl. Prax* (K) 1999b; 27 (1) : 7, 71-3.
137. KORBEL R, REDIG P, JONES R. Untersuchungen zur Fluoreszenzangiographie am Greifvogelauge. *Tierärztl Prax* (K) 1999; 27: 396-407
138. KORBEL R, JAKOBY JR, KÖSTERS J, HAFEZ HM. Ocular symptoms of ornithobacterium rhinotracheale infections in turkeys. 2 nd Int. Symp Turkey Diss 1999.
139. KORBEL R, GOERTZ B. Oberflächenanästhesie am Auge von Haustauben (*C.livia*. Gmel., 1789). *DVG-Tagung Vogelkrkht, München* 2000; 12: 26.
140. KORBEL R, REDIG PT, JONES R. Untersuchungen zur Fluoreszenzangiographie am Greifvogelauge. *Tierärztl Prax* (K) 2000 a; 27(6): 396 - 407.
141. KORBEL RT, GUMPENBERGER M, SCOPE A. Sonographische Untersuchungen am Vogelauge. *DVG-Tagung Vogelkrht, München* 2000 b; 12:5.

142. KORBEL R. Diseases of the posterior eye segment. In: Lumeij JT, REDIG PT, REMPLÉ JD, LIERZ M, COOPER JE (eds) Raptor biomedicine III. Lake worth: Zool Educ. Network 2000 c; 179 - 94.
143. KORBEL R, REDIG PT, NELL B, WALDE I. Vergleichende Untersuchungen zur Fluoreszenzangiographie bei Vögeln und Haussäugetieren. DVG-Tagung Vogelkrht, München 2000 d; 12:5.
144. KORBEL R, REESE S, KÖNIG HE. Klinischer Untersuchungsgang, einschließlich ophthalmologischer Untersuchungsgang in: König H, Liebig HG (Hrsg): Anatomie und Propädeutik des Geflügels. Schattauer 2001; 233 - 50.
145. KORBEL R. Linsenluxationen bei Vögeln. Tierärztl. Prax (K) 2001; 29 (4): 219 und 264 - 269.
146. KORBEL R, SZOELGYENYI W. Vision Related Aspects on Animal Welfare in Aviculture, 4th Scientific ECAMS Meeting, März 2001, 11.
147. KORBEL R, HUEMER H, SÖLGYENI W. Elektroretinographische Untersuchungen und zur Ultraviolett-Perzeption und Flickerfusionsfrequenz beim Haushuhn sowie mögliche haltungs- und tierschutzrechtliche Folgen. Tierärztl Prax (G) 2002 a.
148. KORBEL RT, WETTERE A, NELL B. Avian Ophthalmology-Principles and Application. Avian Ophthamology WSAVA 2002 b.
149. KORBEL R. Augenerkrankungen, Erkrankungen des zentralen Nervensystems, Erkrankungen des Atmungsapparates, Anästhesie, Endoskopie. In: Kaleta EF, Krautwald-Junghanns (Hrsg): Kompendium der Ziervogelkrankheiten. Hannover, Schlütersche 2003.
150. KORBEL R. Das ophthalmologische Quiz. Tierärztl Prax (K) 2004 a; 32; 44 - 65.



- 
151. KORBEL R. Speziesspezifische Anästhesie. In: Erhardt W (Hrsg): Anästhesie und Analgesie beim Klein- und Heimtier. Stuttgart, Schattauer 2004 b; 725 - 63.
152. KORBEL RT. Augenheilkunde beim Vogel. In: Leitsymptome und Therapie wichtiger Krankheiten. BLTK-Modul 4; 2004 a, München. 53 - 91.
153. KORBEL R. Leitsymptome wichtiger Erkrankungen beim Vogel. BLTK-Modul Vogelkrh 4; 2004 b, München
154. KORBEL R. Augenuntersuchungsgang beim Vogel. Prinzipien und Anwendung. Seminar über Ophthalmologie beim Vogel. 51. DGK-DVG, Berlin 2005
155. KORBEL R. Digital scanning ophthalmoscopy in birds. 8<sup>th</sup> European AAV Conference, Arles, April 2005 a
156. KORBEL R, STURM K. Review on lightsources for birdhousing under artificial light circumstances. 8<sup>th</sup> European AAV Conference, Arles, April 2005
157. KRAENNER P. Falkenheilkunde. Vet Diss, Berlin 1920
158. KRAUSE W. Die Retina. Anat Physiol 1894; 11:1 - 66.
159. KRAUTWALD M-E, NEUMANN W, RINK P., Ophthalmological procedures and differentiated diagnostics in psittacine birds. Proceed AAV, Seattle, Washington (USA) 1989: 82 - 91.
160. KÜHNEL W. The innervation of the salt gland. Zellforsch 1972 1972: 134:435 - 8.
161. LASHLEY KS. The colour vision of birds: I. The spectrum of the domestic fowl. J Anim Behav 1916; 6: 1 - 26.
162. LAVACH JD, ROSSKOPF WJJR, WOERPEL RW. Diseases of the avian eye. In: Rosskopf WJ, Woerpel RW (eds): Diseases of cage and aviary birds. 3<sup>rd</sup> ed. Baltimore, Philadelphia, London: Lea & Ferbiger 1996; 380 - 6.

163. LEVINE J. Consensual pupillary response in birds. *Science* 1955; 122: 690
164. LEVY B, SIVAK JG. Mechanism of accommodation on the bird eye. *J Comp Physiol A* 1980; 137: 267 - 72
165. LEYDHECKER W. Glaukom. In: Axenfeld T, Paul H (Hrsg): *Lehrbuch und Atlas der Augenheilkunde*. Stuttgart, New York: Fischer 1980; 440 - 62.
166. LIEBICH HG. Sinnesorgane. In: Liebich HG (Hrsg): *Funktionelle Histologie*. Stuttgart, New York: Schattauer 2001; 300 - 14.
167. LO WK, KUCK JFR, SHAW AP, YU NT. The altricial pigeon is born blind with a transient glycogen cataract. *Exp Eye Res* 1993; 56 (1): 121 - 6.
168. MAIER EJ. Spectral sensitivities including the ultraviolet of the passeriform bird *Leiothrix lutea*. *J Comp Physiol A* 1992; 170: 709 - 14.
169. MAIER EJ. Ultraviolet vision in a Passeriform bird: from receptor spectral sensitivity to overall spectral sensitivity in *Leiothrix lutea*. *Vision Res* 1994; 34 (11): 1415 - 8.
170. MARKS JB. Nonmydriatic fundus photography in screening for treatable diabetic retinopathy. *J Diabetes Complications* 1992; 6 (4): 247 - 53.
171. MARTIN CL. *Augenheilkunde bei Hund und Katze*, Kapitel 2: Ophthalmologische Pharmakologie, Verlag M. & H. Schaper, 1994 , 31-54 (44 - 45)
172. MARTIN CL. *Augenkrankheiten bei Hund und Katze (Pferd, Wiederkäuer)*. Hannover: M. & H. Schaper 1995
173. MARTIN GR. Colour Vision in the Tawny Owl (*Strix aluco*). *J Comp Physiol Psychol* 1974; 86 (1): 133 - 42.

174. MARTIN GR. The visual fields of the tawny owl (*Strix aluco*). *Vision Res* 1984; 24 (12): 1739 - 51.
175. MARTIN GR. Eye. In: Kind AS, McLelland J (eds): *Form and function in birds*. Vol 3. London, Orlando, San Diego, New York, Toronto, Montreal, Sydney, Tokyo: Academic Press 1985; 311 - 73
176. MERIN LM. Ophthalmologic photography. In: Vetter JP (ed): *Biomedical photography*. Boston, London, Oxford, Singapore, Sidney, Toronto, Wellington: Butterworth-Heinemann 1992; 333 - 58.
177. MEYER DB. The effect of dietary carotenoid deprivation on avian retinal oil droplets. *Ophthal Res* 1971; 2: 104 - 9
178. MEYER DB. The visual system in vertebrates – The avian eye and its adaptations. In: Crescitelli F (ed): *Handbook of sensory Physiology* Vol. VII/5. Berlin, New York: Springer 1977; 549 - 611.
179. MEYER DB. The avian eye. In: Sturkie PD (ed): *Avian physiology*. 4 th ed. New York, Berlin, Heidelberg, Tokyo: Springer 1986; 37 - 48
180. MEYER ME. Discriminative basis for astronavigation in birds. *J Comp Physiol* 1964; 58: 403.
181. MIKAELIAN I, PAILLET I, WILLIAMS D. Comparative use of various mydriatic drugs in kestrels (*Falco tinnuculus*). *Am J Vet Res* 1994; 55 (2): 271 - 3.
182. MILLER PE, PICKET JP, MAJORS CJ, KURZMANN ID. Evaluation of two applanation tonometers in cats. *Am J Vet Res* 1991; 52: 1917 - 21.
183. MILLER P, PAUL-MURPHY J, SULLIVAN R, COOLEY A, DUBIELZIG R, MURPHY CJ, FADLY AM. Orbital lymphosarcoma associated with reticuloendotheliosis virus in a peafowl. *J A Vet Med Assoc* 1998; 213(3): 377-80.

184. MILLER RF, DOWLING JE. Intracellular responses of the Müller (glial) cells of the mudpuppy retina: their relation to the b-wave of the electroretinogramm. J Neurophysiol 1970; 33: 323 - 41.
185. MINCKLER DS, BAERVELD G, HEUER DK, QUILLEN-Thomas B, WALONKER AF, WEINER J. Clinical evaluation of the Oculab Tono-Pen. Am J Opht 1987; 104: 168 - 73
186. MITTLERER T. Impressionstonometrie nach Schiötz beim Hund: Der Einfluss von Miotika und Mydriatika auf den intraokularen druck unter Berücksichtigung von Rigidität und Hornhautdurchmesser. Diss, Wien 1986
187. MÖLLER D, VIRE F. Die Beizvögel – Ein arabisches Falknereibuch des 8. Jahrhunderts. Hildesheim, Zürich, New York: Georg Olms Verlag 1988.
188. MURPHY CJ, KERN TJ, MACCOY DM. Bilateral keratopathy in a barred owl. I AM Vet Med Assoc 1981; 179 (11): 1271 - 3.
189. MURPHY CJ, KERN TJ, MC EEVER K/L, MACCOY DM. Ocular leasions in free living raptors. J AM Vet Med Assoc 1982; 181 (11): 1302 - 4.
190. MURPHY CJ, HOWLAND HC. Owl eyes: accommodation, corneal curvature and refractive status. J Comp Physiol A 1983; 151: 277 - 84
191. MURPHY CJ. Physiological optics and comparative ocular anatomy of the strigiformes with notes on clinical features of the eyes of birds of prey. PhD Thesis, 1984.
192. MURPHY CJ. Raptor ophthalmology. Proc Assoc Avian Vet, Toronto, Ontario/Canada 1984 a; 43 - 58
193. MURPHY CJ. Raptor ophthalmology. Compend Contin Educ Pract Vet 1987; 9 (3): 241 - 63

194. MURPHY CJ, GLASSER A, HOWLAND HC. The anatomy of the ciliary region of the chicken eye. *Invest ophthalmol Vis Sci* 1995; 36: 889 - 96.
195. NALBACH HO, WOLF-OBERHOLLENZER F, KIRSCHFELD K. The pigeons eye viewed through an ophthalmoscopic microscope: orientation of retinal landmarks and significance of eye movements. *Vision Res* 1990; 30 (4): 529 - 40.
196. NELSON NM, THORP F. Ocular lymphomatosis with special reference to chromatism of the irides. *Am J Vet res* 1943; 4: 294 - 304.
197. NEUMANN W. Die monokulare und binokulare Ophthalmoskopie. *Prakt Tierarzt* 1987; 69: 18 - 25.
198. NEUMANN W, MITTLERER T, WALDE I. TONOPEN – ein neuer Tonometer für die Veterinärophthalmologie. *Prakt Tierarzt* 1989; 70: 5 - 11.
199. NEUMANN W. Ophthalmologische Diagnostik und Befunddokumentation beim Vogel. DVG-Tagung Vogelkrht, München 1992; 8: 303.
200. NICKEL R, SCHUMMER A, SEIFERLE E. Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band 5: Anatomie der Vögel, Berlin, Hamburg, Verlag Paul Parey, 1992, 374 - 86
201. NICOL JAC, ARNOTT HJ. Tapeta lucida in the eyes of goatsuckers (*Caprimulgidae*). *Proc Royal Soc London B* 1974; 187: 349 - 52.
202. NIEMEYER G. Information von der Netzhaut durch Elektroretinographie. *Graefes Arch klein exp Ophthal* 1979; 211: 129 - 137.
203. NIEMEYER G. Indikationen zur elektrophysiologischen Untersuchungen des Auges. *Klin Mbl Augenheilk* 1989; 194: 333 - 6.
204. NOWAK MR, NEUMANN W. Refraktion des Hundauges. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1987; 191 (81): 89.

205. OEHME H. Vergleichende Untersuchungen über die Färbung der Vogeliris. Biol Zbl 1969; 88: 3 - 35.
206. OOKAWA T. Effects of bilateral optic enucleation on body growth and gonad in young male chicks. Poultry Sci 1970 a; 49(1): 333 - 4.
207. OOKAWA T. Some observations on behaviour and reproductive organs in blinded chickens. Poultry Sci 1970 b; 49 (6): 1531 - 5.
208. PAPPENHEIMER AM, DUNN LC, CONE V. Studies on fowl paralysis. Clinical features and pathology. J Exp Med 1929; 49:63 - 86.
209. PARDUE MT, SIVAK JG. The functional anatomy of the ciliary muscle for avian species. Brain Behav Ecol 1997; 49 (6): 295 - 311.
210. PATTERSON FD, WILCKE HL, MURRAY C, HENDERSON EW. So called "range paralysis" of chickens. J AM Vet Med Assoc 1932; 81: 747 - 67.
211. PAYNE R. Acoustic location of prey by barn owls. J Exp Biol 1971; 54: 535 - 73
212. PEAKER M. Philosophical Transactions of the Royal Society of London (Series B). Biological Sciences 1971; 262: 289.
213. PEARSON R. The avian eye and vision. In: Pearson R (ed): The avian brain. London, New York: Academic Press 1972; 279 - 318.
214. PEICHL L. Die Augen der Säugetiere: Anpassung an unterschiedliche Lebensräume und Lebensweisen. Beitr. Jagd. Wildtierforsch. 21, 1996; 261 -275.
215. PETTIGREW JD, WALLMAN J, WILDSOET CF. Saccadic oscillations facilitate ocular perfusion from the avian pecten. Nature 1990; 343: 362 - 3.
216. PHALEN D, LAU M. Considerations for Safely Maintaining the Avian Patient Under Prolonged Anesthesia. Proc Assoc Avian Vet 1997

217. PILZ A, COMBERG D. Kreislaufbedingte Augeninnendrucksschwankungen. Arch Opht 1961; 163: 203 - 14.
218. POHL H. UV radiation: A zeitgeber for the circadian clock in birds. Naturwiss 1992; 79: 227 - 9.
219. POHLMAYER K, KUMMERFELD N. Morphologie der Nasenhöhle und der Nasennebenhöhlen sowie ihre klinische Bedeutung bei Großpapageien. Kleintierprax 1989; 34 (3): 93 - 140.
220. PUMPHREY R J. The theory of the fovea. J Exp Biol 1948 a; 25: 299 – 312
221. PUMPHREY R J. The sense organs of birds. The organs of sight. The ibis 1948 b; 90 (2): 171 - 99.
222. PUMPHREY R J. Sensory organs: Vision. In: Marshall AJ (ed): Biology and comparative physiology of birds. Vol II. New York, London: Academic Press 1961; 55 – 68.
223. RAMER JC, PAUL-MURPHY J, BRUNSON D, MURPHY CJ. Effects of mydriatic agents in cockatoos, African gray parrots, and Blue-fronted Amazon parrots. J Am Vet Med Assoc 1996; 208 (2): 227 - 30.
224. RAVELHOFER C. Pathologisch-anatomische Untersuchungen an Augen verschiedener Vogelspezies. VetDiss München, 1996
225. REESE S, HEGNER K, KORBEL R. Zur Anatomie des Ziliarkörpers und der Kammerwinkelregion von Greifvogelaugen als Grundlage für die Gonioskopie. In: Kösters J. Verhandlungsberichte der XI. Tagung der Fachgruppe Geflügelkrankheiten der DVG 1998 a; 231 - 7.

226. REESE S, LANG S. The accommodation apparatus of the eye in acciptriformes and Strigiformes. A comparative morphological study. In: Hofer H, Pitrac C, Hofmann R. Contributions of the second Symposium of the physiology and ethology of wild- and zoo-animals, Berlin, Germany, 1998 b.
227. REESE S, KORBEL R, LIEBICH HG. Sehorgan. In König HE, LIEBICH HG. (Hrsg.) Anatomie und Propädeutik des Geflügels, 1. Auflage, Stuttgart, New York, Schattauer Verlag, 2001, 195 - 214
228. RENWICK PW. Glaucoma. Manual of small animal ophthalmology, BSAVA, 1993: 193 - 212.
229. ROCHON-DUVIGNEAUD A. La vision des oiseaux. Alauda 1929; 1: 336-45.
230. ROSOLEN SG, GAIDDON JA, DESBROSSE AM, LESCURE F, PFEIFFER R L. Diagnostics. In Small animal Ophthalmology, London, Edinburgh, New York, Sydney, Toronto, WB Saunders 2001, 13 - 41.
231. SACHSENWEGER R. Funktionsprüfung und Funktionsstörung. In: Axenfeld T, Pau H (Hrsg): Lehrbuch und Atlas der Augenheilkunde. Stuttgart, New York: Fischer 1980; 15 - 66.
232. SAMUELSON DA. Ophthalmic embryology and anatomy. In: Gelatt KN. Veterinary ophthalmologie. 3 rd ed. Philadelphia, London: Lea & Febiger, 1999; 3- 123.
233. SCHAEFFEL F, HOWLAND HC. Corneal accommodation in chick and pigeon. J Comp Physiol A 1987; 160 (3): 375 - 84.
234. SCHAEPDRIJVER de L, SIMOENS P, LAUWERS H, GEEST de JP. Retinal vascular patterns in domestic animals. Res Vet Sci 1989; 47: 34 - 42.
235. SCHMIDT DT. Augenkrankheiten der Haustiere, Stuttgart, Enke-Verlag, 2. Auflage, 1988, 35-6.



- 
236. SCHMIDT T. Tonometrie und Differentialtonometrie, Tension und Rigiditätskoeffizient. Doc Ophth 1965; 52: 123-251.
237. SCHMIDT V. Untersuchung augenkranker Tiere. In: Schmidt V (Hrsg): Augenkrankheiten der Haustiere. Stuttgart: Enke 1988; 9-27.
238. SCHOTT E. Untersuchungen zur Anwendung der Lokalanästhesie bei Tauben (*Columba livia* Gmel., 1789, forma urbana) mit Procain und Lidocain. Vet Diss, München 1987.
239. SCHULTZE M. Ueber Stäbchen und Zapfen der Retina. Arch Mikrosk Anat 1867; 3: 215 - 44.
240. SCHWALLER A. Augenheilkunde beim Vogel. Entwicklungsgeschichte, Standortbestimmung und Zukunftsvision. Dissertation, München
241. SCHWARZE E, SCHRÖDER L. Kompendium der Geflügelanatomie. 4. überarb. Auflage Verlag Gustav Fischer Stuttgart. 1985.
242. SEDGWICK CJ, ERHARDT W, KORBEL R, LENDL C. Anästhesie bei Reptilien, Vögeln, Primaten, Kaninchen und kleinen Nagern. In: Paddleford RR, Erhardt W (Hrsg): Anästhesie bei Kleintieren. Stuttgart, New York: Schattauer 1992; 361 - 84.
243. SEIDEL B. Augenkrankheiten der Vögel. In: Augenkrankheiten der Haustiere, 2. Aufl. Schmidt V. Stuttgart: Enke, 1988: 237 - 61.
244. SEVERIN GA. Severin`s Veterinary Ophthalmology Notes. Third Ed. Severin 1996: 11.
245. SIEGMANN O. Haltung. In: Siegmann O (Hrsg): Kompendium der Geflügelkrankheiten. Berlin, Hamburg: Parey 1993: 55 - 64.

- 
246. SILBERNAGEL S, DESPOPOULOS A. Taschenatlas d. Physiologie; 4. Auflage. Stuttgart, New York: Thieme 1991; 300:15.
247. SILLMANN AJ. The visual pigments of several species of birds. *Vision Res* 1969; 9: 1063 - 77.
248. SIVAK JG, BOBIER WR, LEVY B. The refractive significance of the nictitating membrane of the bird eye. *J Comp Physiol A* 1978; 125: 335 - 9.
249. SIVAK JG, HILDEBRAND T, LEBERT C. Magnitude and rate of accommodation in diving and nondiving birds. *Vision Res* 1985; 25 (7): 925 - 33.
250. SKARDA R. Anästhesietechniken bei Vögeln, Fischen, Reptilien, Amphibien, Nagern und exotischen Katzen. In: Muir, Hubbell, Skarda (Hrsg). *Veterinäranaesthesie*. Schattauer Stuttgart – New York 1993; 203 - 22.
251. SKARDA R. Schmerzausschaltung, Sedation, Narkose. In NIEMAND HG, SUTER PF (Hrsg.) *Praktikum der Hundeklinik*, Blackwell Wissenschaftsverlag, 8. Auflage 1994, 77 - 96
252. SLATTER DH. *Fundamentals of Veterinary Ophthalmology*, 3. Ocular Pharmacology and Therapeutics, Philadelphia, London, Toronto, Montreal, Sidney, Tokyo, W.B. Saunders Company, 1981; 45 - 90 (80)
253. SLATTER DH. Glaukoma. In: *Fundamentals of veterinary ophthalmology*, 2nd edit. Philadelphia, London, Toronto, Montreal, Sydney, Tokyo: Saunders 1990
254. SLONACKER JR. A physiological study of the anatomy of the eye and its accessory parts of the english sparrow (*Passer domesticus*). *J Morph* 1918; 31: 351 - 459
255. SPEMANN B. Untersuchungen zum systemischen Einsatz des Muskelrelaxans Vecuronium bei Haustauben (*Columbia livia*, var. *Domestica*, Gmel., 1789) unter Luftsack-Perfusionsanästhesie. *VetDiss*, München 1997

- 
256. SPIESS BM. Elektrophysiologische Untersuchungen des Auges bei Hund und Katze – Elektoretinographie (ERG). Vet Habil, Zürich 1993
257. STARCK D. Lichtsinnesorgane (Seitenaugen). In: Starck D (Hrsg): Vergleichende Anatomie der Wirbeltiere. Band 3. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1982; 581 - 617
258. STETZ DE, BITO LZ: The sensitivity of the chicken eye to the inflammatory effects of x-rays in contrast to its sensitivity to other inflammatory agents. Invest. Ophthalmol. Vis Sci. 17: 412 - 419.
259. STILES J, BUYOKMIHCI NC, FARVERT B. Tonometry of normal eyes in raptors. AM J Vet Res 1994; 55 (4): 477 - 9.
260. STÜTZ S. Elektoretinographie bei Mäusebussarden (*Buteo buteo* L., 1758). VetDiss, München 1997.
261. SWARNAKUMARI VG, MADHAVI R: Growth, development and allometry of *Philophthalmus nocturnes* in the eyes of domestic chicks. J. Helminthol. 66: 100 – 107.
262. SZÖLGYENYI W, KORBEL RT, GROPP U, KÖSTERS J. Zur Ultraviolett-Perzeption und Flickerfusionsfrequenz beim Vogel. DVG-Tagung Vogelkrht, München 2000; 12: 3.
263. TAKATSUJI K, SATO Y, IIZUKA S, NAKATANI H, NAKAMURA A. Animal model of closed angle glaucoma in albino mutant quails. Invest Ophthalmol Vis Sci 1986; 27 (3): 396 - 400
264. TIEDEMANN DF. Von den Sehorganen der Vögel. In: Tiedemann DF (Hrsg): Anatomie und Naturgeschichte der Vögel – Band I. Heidelberg: Mohr und Zimmer 1810; 48 - 88.
265. TIEMEIER OW. The optic of birds. J Morphol 1950; 86 (1): 25 - 46.

266. TRIPATHI RC. Comparative physiology and anatomy of the aqueous outflow pathway. In: Davson H, Graham LT Jr (Hrsg): The eye. New York, London: Academic Press 1974; 163 - 356.
267. ULSHAFFER RJ, ALLEN L, DAWSON WW, DAN WOLF E. Hereditary retinal degeneration in the Rhode island red chickens. Histology and ERG. Exp Eye Res 1984; 39: 125 - 35.
268. VERSCHUEREN CP, LUMEIJ JT. Mydriatics in birds. Proc 2<sup>nd</sup> Europ Symp Avian Med Surg, Utrecht/ Netherlands 1989; 144 - 6.
269. VERSCHUEREN CP, LUMEIJ JT. Mydriasis in pigeons (*Columba livia domestica*) with d-tubocurarine; topical instillation versus intracameral injection. J Vet Pharmacol Ther 1991; 14; 206 - 8.
270. VETTER JP. Gross specimen photography. In: Vetter JP (ed): Biomedical photography. Boston, London, Oxford, Singapore, Sydney, Toronto, Wellington: Butterworth-Heinemann 1992; 359-86.
271. VITALA J, KORPLMÄKL E, PALOKANGAS P, KOLVULA M. Attraction of kestrels to vole scent marks visible in ultraviolet light. Nature 1995; 373: 425 - 7.
272. VOLLMERHAUS B. Kopfskelett – Schädel. In: Nickel R, et al (Hrsg): Anatomy of domestic birds. 3. Aufl. Berlin, Hamburg: Paul Parey 2004
273. WALD GL, ZUSSMANN H. Carotenoids of the chicken retina. J Biol Chem 1938; 122: 449 - 60.
274. WALDE I. Glaukom beim Hunde. 1.-5. Mitteilung. Kleintierpraxis 1982 bis 1983; 27: 343-54 bis 28: 23 - 37.
275. WALDE I, SCHÄFFER EH, KÖSTLIN RG. Atlas der Augenerkrankungen bei Hund und Katze. 2. Auflage. Stuttgart, New York: Schattauer 1997

276. WALDVOGEL JA. The bird`s eye view. Am Sci 1990; 78:342-53.
277. WALLS FL. The vertebrate eye. Bulletin no. 19. Michigan/ USA: Cranbook Institute of Science 1942.
278. WALLS GL. Birds. In: Walls GL (ed): the vertebrate eye and ist adaptive radiation. New York, London: Hafner Publishing Company 1963; 641 - 63.
279. WILLEMSEN CA. De arte vivandi cum avibus. Einleitung und erläuternde Beschreibung zu der Faksimile-Ausgabe des Ms. Pal. Lat. 1071, Biblioteca Apostolica Vaticana. Graz 1969
280. WINGSTRAND KG, MUNK O. The pecten oculi of the pigeon with particular regard to ist function. Biol Skr Dan Vid Selsk 1965; 14 (3): 1 - 89
281. WITHCARE MM, EMING M, HASSANEIN K. The effect of Perkins, Tono-Pen, and Schiötz tonometry on intraocular pressure. Am J Ophth 1991; 111: 59 - 64.
282. WOOD C. The fundus oculi of birds especially as viewed by the ophthalmoscope. Chicago: Lakeside Press 1917.
283. ZRENNER E. Grundlagen elektrophysiologischer Untersuchungen in der Augenheilkunde. In: Lund OE, Waubke THN (Hrsg): Degenerative Erkrankungen des Auges. Stuttgart: Enke 1983; 129 - 178.
284. ZÜRN FA. Die Krankheiten der Sinnesorgane des Hausgeflügels. In: Zürn FA (Hrsg): Die Krankheiten des Hausgeflügels. Weimar: Voigt 1882; 170 – 2.

**9 EDV-LITERATUR:**

1. ADOPE ® Photoshop® CS – CLASSROOM IN A BOOK® - by Adope Systems Incorporated, published by Peachpit Press, Berkeley, CA, Copyright® 2004
2. EBERL M, JACOBSEN J. Director® MX und Lingo™, Markt und Technik Verlag, München 2004
3. HAUSER T, WENZ C. Director® MX 2004. Das Einsteigerseminar. Moderne Industrie Buch AG & Co. KG, Landsberg
4. HAUSER T, WENZ C. Photoshop®, Markt und Technik Verlag 2004
5. KERRES M. Multimediale und telemediale Lernumgebungen. Konzeption und Entwicklung. München 2001, ISBN 3-486-25055-8
6. WERSEBE H. Computergestützte Lernprogramme [www.kas.de](http://www.kas.de)
7. WIEPCKE C. Computergestützte Lernkonzepte und deren Evaluation in der Weiterbildung. Blended Learning zur Förderung von Gender Mainstreaming; Hamburg 2006 ISBN 3-8300-2426-6

## 10 ANHANG

**Abbildungsverzeichnis**

Abb. 1	Archaeopteryx ( <a href="http://www.biologycorner.com">www.biologycorner.com</a> )	S. 3
Abb. 2	Elektroretinographie bei einem Mäusebussard ( <i>Buteo buteo</i> L., 1758)	S. 5
Abb. 3	Schema der frontalen Beleuchtung bei frontaler Betrachtung	S. 52
Abb. 4	Schema der seitlichen Beleuchtung bei frontaler Betrachtung	S. 52
Abb. 5	Schema der schwingenden Beleuchtung bei frontaler Betrachtung	S. 53
Abb. 6	Schema der schwingenden Beleuchtung bei variabler Betrachtung	S. 54
Abb. 7	Schema der Retroillumination	S. 55
Abb. 8	Schema seitliche Beleuchtung bei seitlicher Betrachtung	S. 56
Abb. 9	Schema der Spaltlampenuntersuchung	S. 69
Abb. 10	Konzeptschema zur Arbeit	S. 90
Abb. 11	Wichtigsten Elemente von Director MX	S. 91
Abb. 12	Beispiel eines Lingo™ Codes	S. 93
Abb. 13	Menüaufbau	S. 94
Abb. 14	Glossaraufbau	S. 95
Abb. 15	Beispiel eines Seitenaufbaus aus dem Kapitel „Anatomie“	S. 97
Abb. 16	Beispiel eines Seitenaufbaus aus dem Kapitel „Propädeutik“	S. 98
Abb. 17	Beispiel für eine Übersichtsseite am Kapitelanfang	S. 99

## 11 DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich an alle die zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen haben meinen herzlichen Dank aussprechen.

Mein besonderer Dank gilt:

Herrn Prof. Dr. Dr. habil R. T. Korbel für die Überlassung dieses interessanten Themas, die Einführung in die ornithoophthalmologischen Untersuchungstechniken, Bereitstellung und Anfertigung hochwertiger Photographien, die intensive fachliche und moralische Unterstützung sowie die zahlreichen Anregungen, die zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Danke an Andreas Päsler für seine Hilfsbereitschaft und Anfertigung von Fotografien sowie an Sonja Bergs für die geduldige Assistenz bei den Fototerminen.

Mein Dank gilt ferner den hier nicht namentlich genannten Mitarbeitern der Klinik für Vögel für die Hilfsbereitschaft und die sehr nette Arbeitsatmosphäre.

Ein ganz besonderer Dank geht auch an Daniel Rieberger für die technische Hilfestellung bei der Dissertation, seine Zeit, Geduld und Unterstützung bei Computerproblemen jeglicher Art.

Ganz herzlich möchte ich mich auch bei meiner Schwester bedanken, die mich v. a. bei graphischen Fragestellungen und mit zahlreichen Ideen unterstützt hat. Auch ein herzliches Dankeschön an Sven Koch für die Durchsicht dieser Arbeit und an Christian van Alphen für die Durchsicht, sein Verständnis und die Motivation.

Mein größter Dank gilt meinem Vater, meiner Mutter, meiner Schwester und meinem Opa für Ihr Verständnis, die moralische und finanzielle Unterstützung sowie ihr großes Vertrauen in mich während der Studienzeit und der Anfertigung dieser Arbeit.